



# ANAS S.p.A.

DIREZIONE REGIONALE PER LA SICILIA

## PA17/08

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

### Bolognetta S.c.p.a.

Contraente Generale:  
Ing. Pierfrancesco Paglini

Il Responsabile Ambientale:  
Ing. Claudio Lamberti

## - PERIZIA DI VARIANTE N.1 -

BOLOGNETTA S.c.p.a.

Titolo elaborato:

### MODIFICA TECNICA N. 117

### OPERE DI SOSTEGNO - ASSE PRINCIPALE - Lotto 2a - OS 100- Paratia di pali dx dal km 8+097 al km 8+153

### Relazione di calcolo

Codice Unico Progetto (CUP) : F41B03000230001

Codice elaborato:	OPERA	ARGOMENTO	DOC. E PROG.	FASE	REVISIONE
PA17/08	P V	OS100	R C 0 1	5	1

CARTELLA:	FILE NAME:	NOTE:	PROT.	SCALA:
0 7	PVOS100RC01_51_4137.dwg	1=1	4 1 3 7	Relazione
5				
4				
3				
2				
1	REVISIONE A SEGUITO DI ISTRUTTORIA ANAS/D.L.	Febbraio 2016	M.Mancone	S. Fortino D. Tironi
0	PRIMA EMISSIONE	Novembre 2015	M.Mancone	S. Fortino D. Tironi
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO APPROVATO

A.T.I. Progettisti :

Capogruppo:

Mandante:

### POLITECNICA

INGEGNERIA E ARCHITETTURA

Viale Amendola, 6 - 50121 Firenze  
tel 055/2001660 fax 055/2344856  
e-mail polifi@politecnica.it

### ACS ingegneri

Via Catani, 28/c - 59100 Prato  
tel 0574.527864 fax 0574.568066  
E-mail acs@acsingegneri.it

Il Progettista Responsabile  
Ing. Marcello Mancone



Il Geologo  
dott. Pietro Accolti Gil



Il Coordinatore per la Sicurezza  
in fase di esecuzione:  
Ing. Francesco Cocciante

Il Coordinatore per la sicurezza  
in fase di Esecuzione  
Ing. Francesco Cocciante

Il Direttore dei Lavori:  
Ing. Sandro Favero

Il Direttore dei Lavori  
Ing. Sandro Favero

ANAS S.p.A.

DATA: \_\_\_\_\_ PROTOCOLLO: \_\_\_\_\_

VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

CODICE PROGETTO **LO410C E 1101**

Dott. Ing. Ettore de Cesbron de la Grennelais

1	PREMESSA .....	2
2	Normativa di riferimento .....	7
3	Elaborati di progetto di riferimento .....	8
4	MATERIALI .....	9
4.1	Acciaio.....	9
4.1.1	Acciaio per armatura strutture in c.a.....	9
4.2	Calcestruzzo.....	9
4.2.1	Calcestruzzo per pali.....	9
4.2.2	Calcestruzzo per trave di coronamento.....	9
5	Caratterizzazione geotecnica del sito .....	9
5.1	Parametri geotecnici e definizione dei parametri costitutivi del Modello .....	15
6	Caratterizzazione sismica dell'area .....	25
6.1	Periodo di riferimento per l'azione sismica.....	25
6.2	Azione sismica di riferimento .....	25
7	ANALISI E VERIFICA DELLE OPERE .....	27
7.1	Metodologie di calcolo .....	27
7.1.1	Plaxis VIP 2012: metodologia di calcolo, legami costitutivi e parametri .....	28
7.1.1.1	Metodologia e legami costitutivi dei materiali .....	28
7.1.1.2	Stabilità globale .....	32
7.1.1.3	Falda, carichi, sovraccarichi e combinazioni .....	33
7.2	Descrizione del modello.....	35
7.3	Descrizione delle fasi di calcolo .....	35
7.3.1	Sezione di calcolo .....	36
7.4	Risultati e verifiche .....	40
7.4.1	Spostamenti.....	40
7.4.2	Sollecitazioni sugli elementi strutturali.....	42
7.4.2.1	Sollecitazioni SLE Q.P.....	42
7.4.2.2	Sollecitazioni SLE RARE.....	44
7.4.2.3	Sollecitazioni SLU Statiche e Simiche.....	46
7.4.3	Verifiche di resistenza .....	48
7.4.3.1	Verifica di resistenza pali compressi.....	48
7.4.3.2	Verifica di resistenza pali tesi.....	52
7.4.3.3	Verifica di resistenza trave di coronamento.....	55
7.4.4	Stabilità globale.....	58

## 1 PREMESSA

La presente relazione prende in esame il consolidamento dell'attuale S.S. n°121 tra il Km 230+000 ed il Km 230+100, tratto interessato da un anomalo cedimento del piano viabile che, riferito alle progressive di progetto, interessa il tratto tra la Progr.8+097.80 e Progr.8+154.05 del lotto 2a.

Le prime avvisaglie del cedimento si sono registrate, in particolare, nei giorni 22 e 23 febbraio 2015, quando in seguito alle anomale ed intense precipitazioni registrate nei giorni precedenti, si è manifestato un abbassamento del piano viabile della semicarreggiata, in direzione Agrigento, della attuale SS. N°121, che ha portato il C.G., di concerto con D.L. ed A.S. Anas, ad istituire un senso unico alternato, regolato da impianto semaforico, dal Km 229+900 al Km 230+600. Contestualmente, si è proceduto ad allargare lato monte la semi carreggiata in direzione Palermo, al fine di garantire il transito del traffico veicolare nelle necessarie condizioni di sicurezza, rispetto al dissesto occorso. Il cinematismo, che ha interessato un tratto stradale ove non erano in atto lavorazioni di alcun tipo, è stato innescato dallo scalzamento/dilavamento al piede del rilevato stradale, a causa dei livelli di piena eccezionale del Torrente Buffa, che si sono registrati nel periodo in cui si è verificato il dissesto. Il torrente, infatti, lambisce la sede stradale in tale tratto, attraversandola successivamente mediante un tombino in c.a..



Foto 25 febbraio 2015

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 VARIANTE

OS 100 – DISSESTO AL KM 8+100 - Relazione Tecnica e di Calcolo

Successivamente, il cinematismo si è evoluto ed il cedimento del piano viabile si è accentuato, sino a trovare un suo equilibrio nell’attuale configurazione e facendo registrare, in ultimo, un abbassamento di circa un metro della sede stradale, come riportato nelle foto di seguito.



Foto 10 Marzo 2015

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 VARIANTE

OS 100 – DISSESTO AL KM 8+100 - Relazione Tecnica e di Calcolo

A supporto della tesi posta a base dell'origine del dissesto, è bene ricordare che, con particolare riferimento al mese di Dicembre 2014 ed ai primi tre mesi del corrente anno 2015, in tutto il territorio interessato dai lavori di ammodernamento della SS121, si sono verificate condizioni metereologiche tali da poter essere considerate decisamente fuori dall'ordinario, contraddistinte da un aumento consistente del numero di giorni piovosi e da un significativo incremento delle precipitazioni giornaliere e mensili cumulate.

Il grafico riportato in fig. 1, mette in evidenza il confronto fra le piogge registrate dalla stazione meteorologica di Mezzojuso negli ultimi mesi (cumulate mensili rappresentate dalle barre in blu) e le precipitazioni medie mensili misurate dalla stessa stazione nel decennio 2002/2012 (andamento medio stagionale riportato in verde).

I dati mostrati sono stati acquisiti dal Servizio Informativo Agrometeorologico Siciliano (Regione Siciliana, Assessorato Risorse Agricole e Alimentari - Dipartimento Interventi Infrastrutturali).

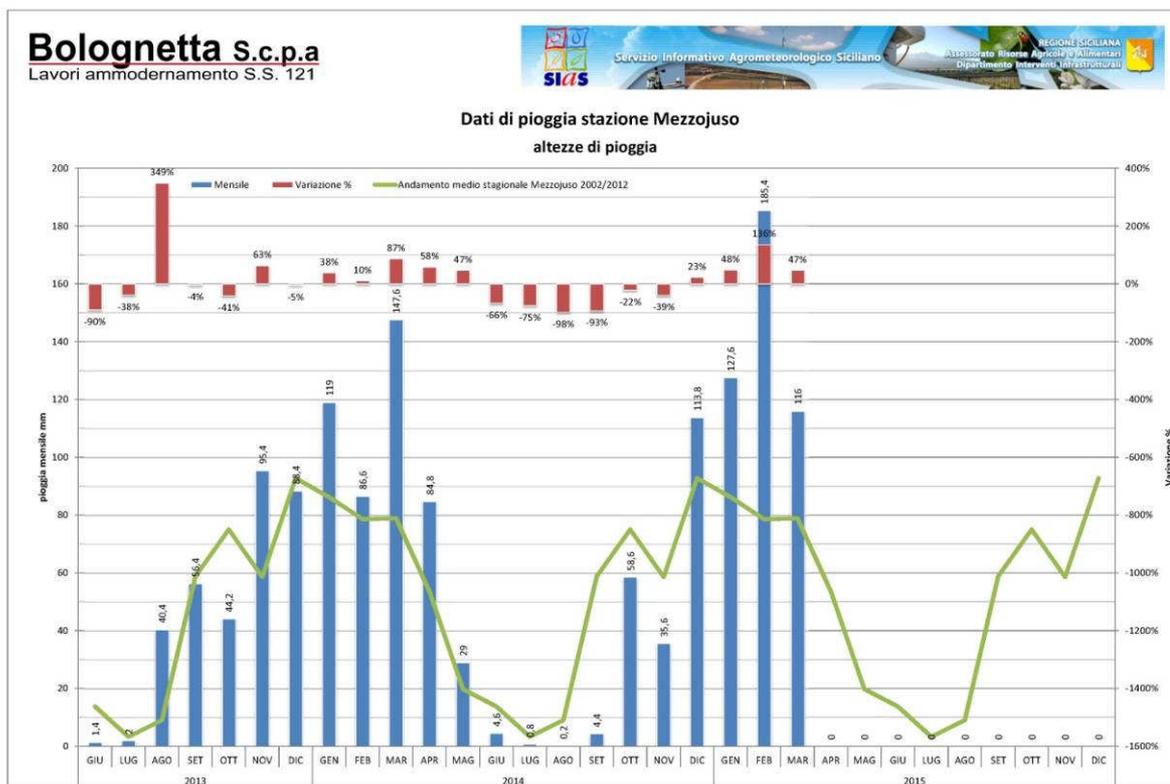


Figura 1 - Confronto dei dati pluviometrici 2014/2015 con l'andamento delle serie storiche 2002/2012

Dall'analisi del grafico risulta evidente come, nei mesi di Dicembre 2014 e nei primi tre mesi dell'anno 2015, i volumi di pioggia caduti siano stati di molto superiori alla media mensile stagionale, con un picco nel mese di Febbraio, nel quale si sono registrate precipitazioni cumulate

più di due volte maggiori (185,4mm di pioggia, pari ad una variazione percentuale del +136%) rispetto alla media mensile dello stesso mese per il periodo 2002/2012.

Il perdurare di condizioni pluviometriche così anomale, caratterizzate da piogge incessanti e valori cumulati di gran lunga fuori dall'ordinario, ha determinato livelli di piena anomali del torrente Buffa che hanno innescato fenomeni di erosione/dilavamento al piede del rilevato, originando il fenomeno descritto in precedenza. E' risultato necessario procedere, dunque, con la progettazione di un intervento di consolidamento, con funzione di sostegno del rilevato stradale, al fine di consentire il ripristino, nel più breve tempo possibile, della carreggiata danneggiata, ripristinando le condizioni di sicurezza del traffico veicolare. Si è ritenuto opportuno, pertanto, preliminarmente ed a supporto della progettazione dell'opera di consolidamento, eseguire apposite indagini geognostiche, in modo da poter definire stratigrafia, livelli di falda e caratterizzazione geomeccanica delle formazioni geologiche ivi presenti, che hanno permesso di redigere la Relazione Geologica, a supporto dell'intervento in esame (elab PVOS100RG01\_40\_4137), nonché il modello geotecnico di riferimento per il dimensionamento geotecnico e strutturale dello stesso.

In definitiva alla luce del quadro geologico e geotecnico definito, per la messa in sicurezza definitiva della sede stradale, si è ritenuto opportuno prevedere la realizzazione di una paratia di pali disposti a doppia fila, lungo il ciglio della carreggiata stradale, del diametro 800 mm e lunghezze comprese tra 14.0 m e 17.0 m. In particolare, il tratto con pali di lunghezza 17.0 m presenta uno sviluppo di circa 44.0 m, mentre il tratto con pali di lunghezza 14.0 m ha uno sviluppo di circa 13.0 m.

La sommità dei pali è collegata mediante trave di spessore 1.0 m e larghezza 2.80 m.

Lo sviluppo complessivo dell'intervento risulta essere di circa 57.0 m.

L'opera di sostegno, di cui si riporta degli stralci significativi nelle immagini successive, ha carattere definitivo.

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 VARIANTE

OS 100 – DISSESTO AL KM 8+100 - Relazione Tecnica e di Calcolo

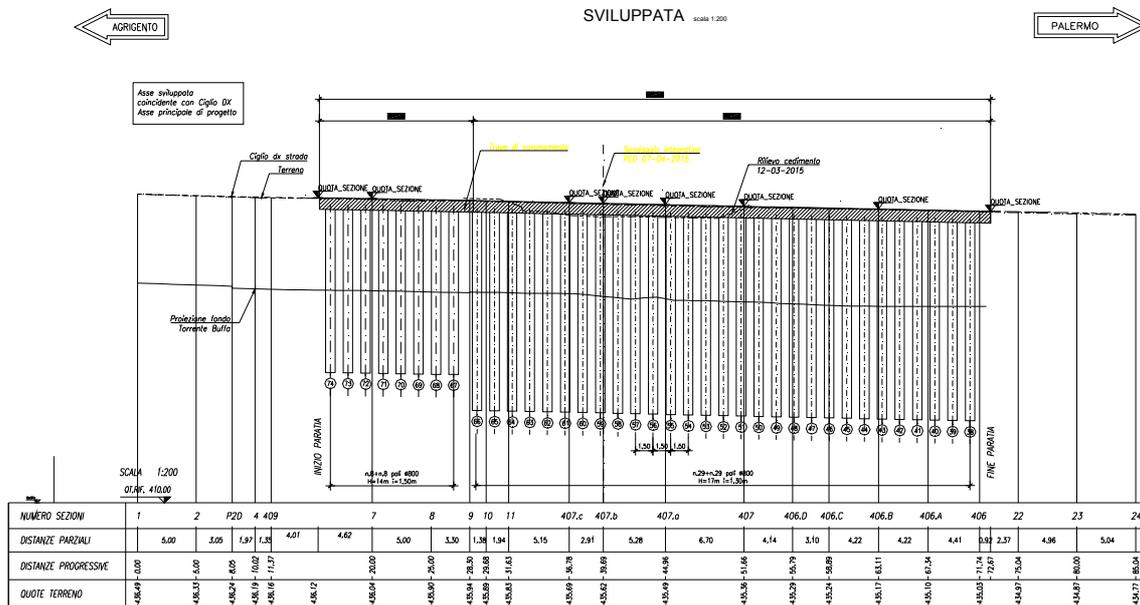


Figura 2 – Prospetto paratia di pali Ø 800 mm, interasse 1.5 m

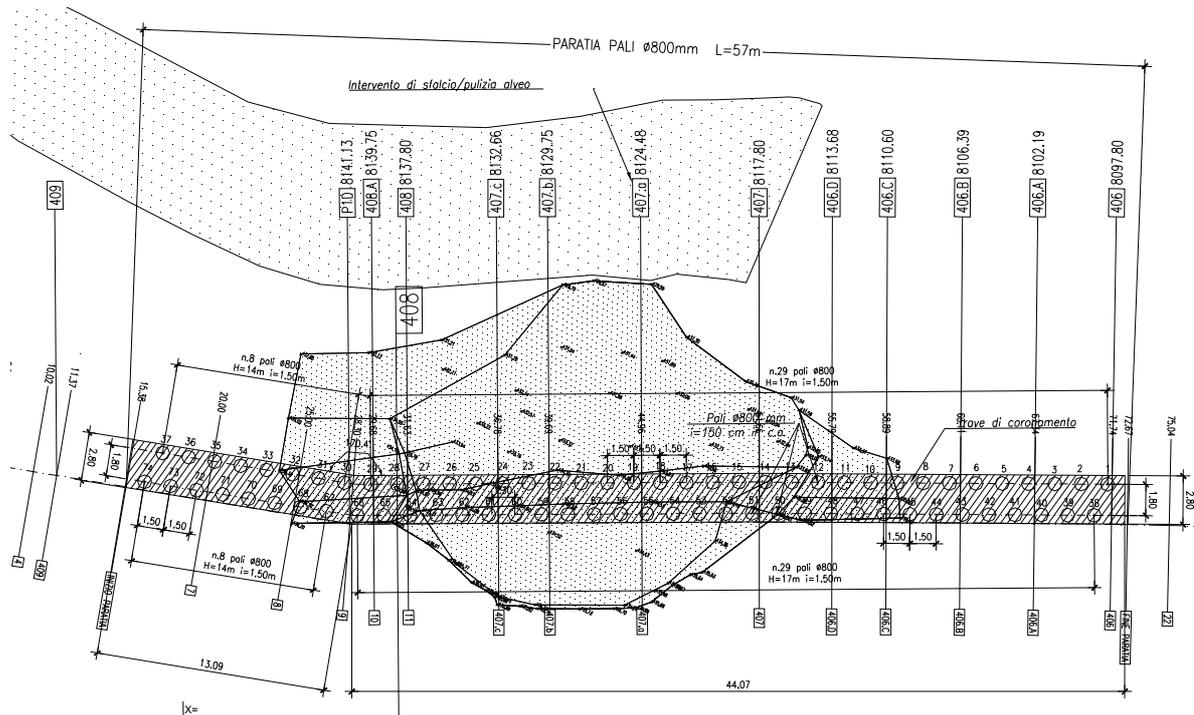


Figura 3 – Planimetria di progetto

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 VARIANTE

OS 100 – DISSESTO AL KM 8+100 - Relazione Tecnica e di Calcolo

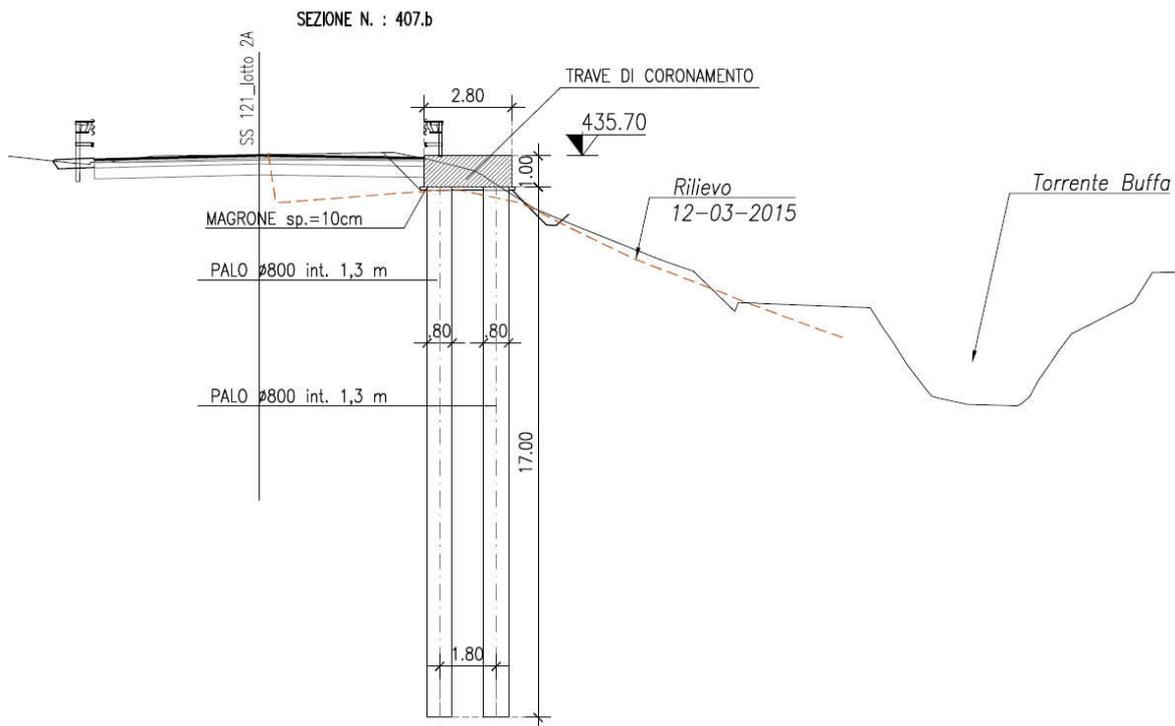


Figura 4- Sezione trasversale rappresentativa dell'intervento

Per quanto riguarda la geometria dell'opera stato predisposto il seguente elaborato grafico di progetto, cui si rimanda per maggiori dettagli:

Planimetria, sviluppata e sezioni tipo	varie	PVOS100N001	_	40	_	4137
--	-------	-------------	---	----	---	------

## 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] D.M. 14.01.2008 – “Norme tecniche per le costruzioni”.
- [3] Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 - “Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008”
- [4] Eurocodice 8 “Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici”, febbraio 1998.

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 VARIANTE

OS 100 – DISSESTO AL KM 8+100 - Relazione Tecnica e di Calcolo

### 3

### ELABORATI DI PROGETTO DI RIFERIMENTO

---

[1] Relazione geologica geomorfologica idrogeologica (PEA)	PE_GE_RT01_31_4137
[2] Relazione geotecnica (PEA)	PE_GT_RT01_31_4137
[3] Relazione sismica (PEA)	PE_SI_RT01_30_4137
[4] Relazione geologica (PV)	PV_OS100_RT01_40_4137

## 4 MATERIALI

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

### 4.1 ACCIAIO

#### 4.1.1 Acciaio per armatura strutture in c.a.

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

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

### 4.2 CALCESTRUZZO

#### 4.2.1 Calcestruzzo per pali

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

#### 4.2.2 Calcestruzzo per trave di coronamento

Classe di resistenza	C25/30
dimensione massima dell'inerte	$D_{max} = 32$ mm
classe di esposizione	XC2
classe di consistenza	S4
copriferro minimo	$c_{f,min} \geq 40$ mm

## 5 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL SITO

Le indagini geognostiche integrative sono state effettuate dalla ditta L&R laboratori e Ricerche srl incaricata dell'esecuzione delle stesse, il cui rapporto tecnico dettagliato è riportato in allegato alla

Relazione Geologica (Elab..PV\_OS100\_RT01\_40\_4137).

In particolare sono state effettuate le seguenti indagini:

- n°1 sondaggio a carotaggio continuo L=20 m, con in stallazione di piezometro a tubo aperto Norton. Esecuzione di Pocket Penetrometer sulle carote scortecciate e prelievo di n°3 campioni indisturbati. La posizione del prelievo di tali campioni è a -2 m, -4 m, -6 m da p.c.;
- n°1 prova penetrometrica statica con punta meccanica CPT spinta sino a rifiuto.

Sui campioni indisturbati, prelevati dal sondaggio a CC, sono state eseguite le seguenti prove di laboratorio:

- Apertura campione, caratterizzazione geotecnica e prove speditive di consistenza
- Determinazione del contenuto naturale d'acqua
- Peso specifico dell'unità di volume e dei grani
- Analisi granulometrica completa meccanica + sedimentazione
- Limiti di Atterberg
- Prova triassiale TxCIU
- Prova di taglio diretto con misura del residuo



Foto delle indagini eseguite

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 VARIANTE

OS 100 – DISSESTO AL KM 8+100 - Relazione Tecnica e di Calcolo

Di seguito si riporta la stratigrafia riscontrata dal sondaggio a carotaggio continuo, realizzato a quota 432.67 m s.l.m., a circa -3.0 m dal piano viabile della S.S. n°121. La prova penetrometrica è stata eseguita, invece, a quota 436.35, circa 60 cm al di sopra del piano viabile. La falda, in data 07/04/2015, è stata rilevata a -3.90 m rispetto a quota boccaforo, pari a 428.77 m s.l.m.

Quota (m)	Descrizione Strato	Spessore (m)	Profilo Litologico	Sp. (m)	Complet.	Velocità Penetrometrica (m/s)	Velocità Penetrometrica (m/s)	Falda (m)	Penetrom.
0.00	Materiali detritici costituiti da ghiaie con sabbie e ciottoli in matrice argilloso-limosa di colore bruno giallastro.	2.20	NO-02						
2.20	Sabbie fini e limi argillosi di colore giallo bruno con inclusi litici arrotondati. Si riscontrano frequenti livelli di spessore da millimetrico a centimetrico di argille di colore grigio scuro plastiche. Tra 3,00 e 3,10 si nota la presenza di un livello scuro d'acqua con ciottoli.	3.50	NO-100	3		2.90		3.90	
5.70	Argille grigio scure plastiche con inclusi litici di dimensione centimetrica.	1.70	NO-100	4		4.30			
7.40	Sabbie fini poco sabbiate con livelli di ghiaie e ciottoli in matrice sabbiosa limosa.	1.40	NO-05	2,5					
8.80	Complessi poligenici costituiti da un'alternanza di livelli cementati di colore variabile dal giallastro al grigio e da livelli sciolti di ghiaie e ciottoli arrotondati talora cementati.	6.30	NO-10				9.30		
15.10	Argille di colore grigio-nerastre, poco plastiche. Da 15,00m si presentano consolidate e con livelli millimetrici sabbiosi.	5.90	NO-100	8			14.00	14.00	
21.00							20.00		

Stratigrafia riscontrata nel sondaggio eseguito a CC



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 VARIANTE

OS 100 – DISSESTO AL KM 8+100 - Relazione Tecnica e di Calcolo



Foto delle cassette del sondaggio eseguito a CC

Nel grafico seguente si riporta l'andamento della resistenza alla punta  $q_c$  della prova penetrometrica condotta.

### Resistenza alla punta penetrometrica

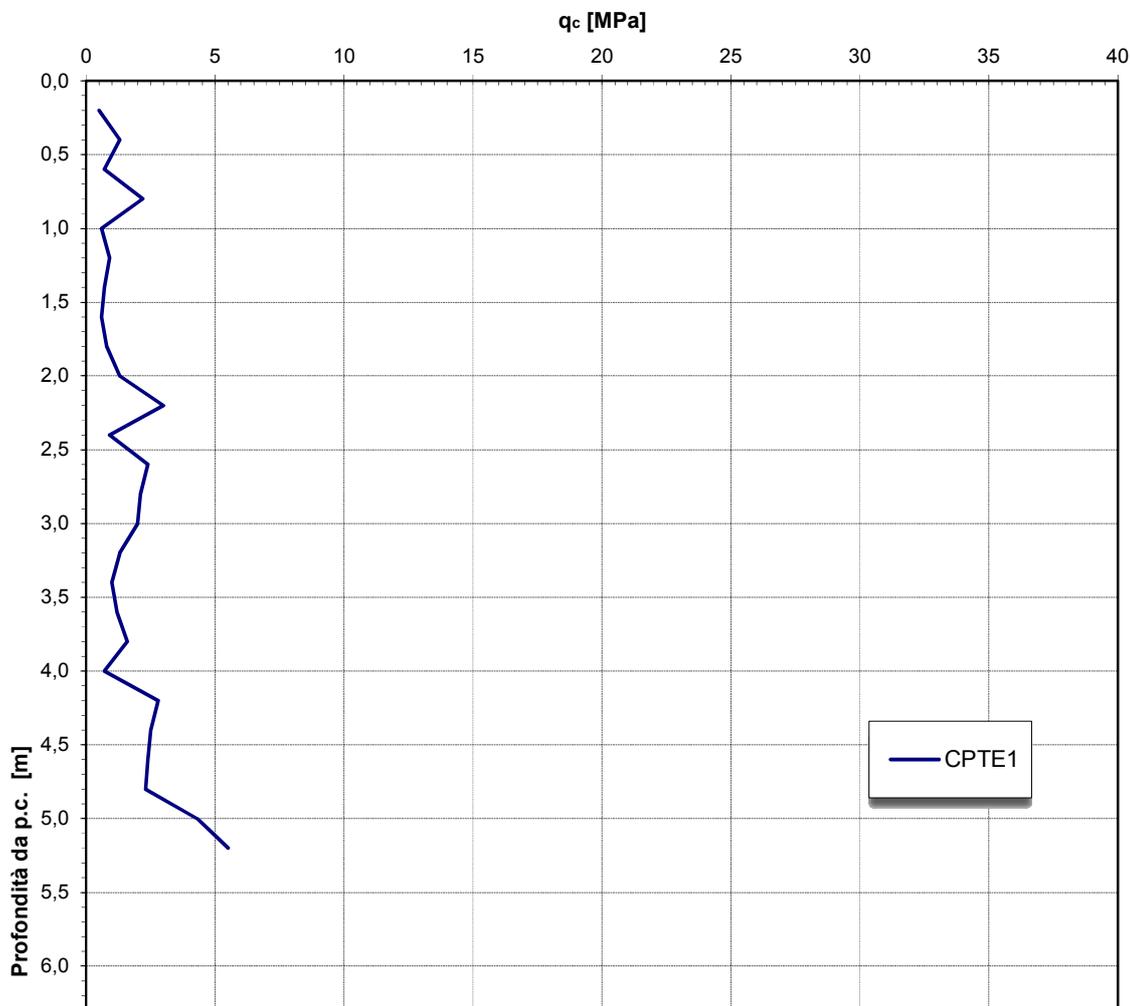


Grafico dell'andamento della resistenza alla punta  $q_c$ , durante l'esecuzione della prova penetrometrica

Nel grafico a seguire si riporta l'andamento della coesione non drenata  $c_u$  con la profondità, ottenuto dalla rielaborazione della prova penetrometrica.

Resistenza al taglio non drenata

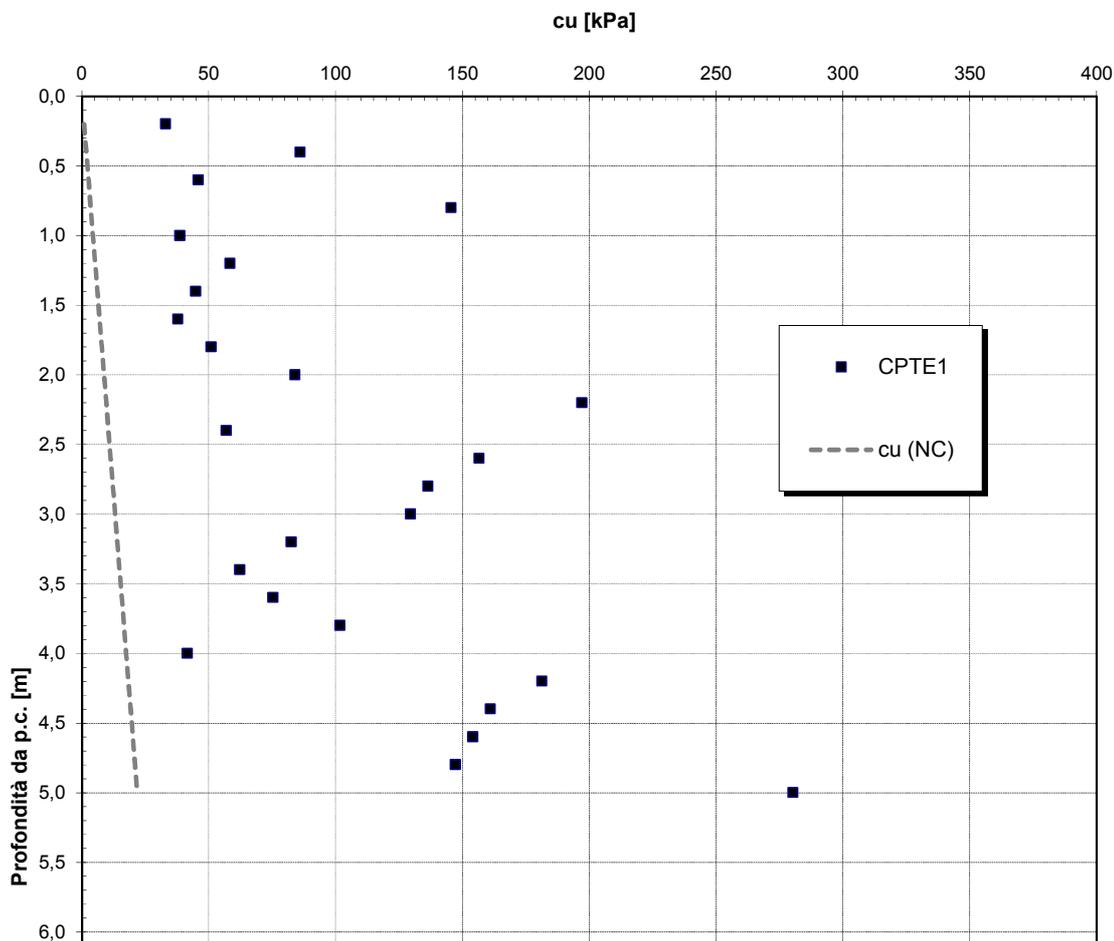


Grafico dell'andamento coesione non drenata  $c_u$ , ottenuto dalla rielaborazione della prova penetrometrica

Nella seguente tabella si riportano i risultati delle prove di laboratorio eseguite sui campioni prelevati nel sondaggio.

Sond.	Camp.	prof. (m)	W (%)	$\gamma$ ( $t/m^3$ )	$\gamma_s$	$e_0$	n	Sr (%)	granulometria				limiti			CLASS. UNI 10066	Taglio				Traslazione C.U.U.			
									Giàlia %	Sabbia %	Limo %	Argilla %	LL	LP	Ic		$c'$ $KN/m^2$	$\phi'$ (°)	$c_f$ $KN/m^2$	$\phi_f$ (°)	$c_u$ $KN/m^2$	$\phi_u$ (°)	$c'$ $KN/m^2$	$\phi'$ (°)
S1	C1	2,00 - 2,40	16,18	1,99	2,72	0,59	0,37	74,73	27,10	29,36	21,51	22,04	49	26	1,43	A7-6	11	21	0	13	--	--	--	--
S1	C2	4,00 - 4,50	18,73	1,99	2,80	0,67	0,40	78,47	18,84	30,62	23,81	26,73	36	22	1,23	A6	30	18	0	12	43	18	37	21,5
S1	C3	6,00 - 6,50	16,06	2,02	2,72	0,56	0,36	77,90	12,22	36,28	28,02	23,49	33	21	1,41	A4	34	19	7	11	55	20	41	22

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 VARIANTE

OS 100 – DISSESTO AL KM 8+100 - Relazione Tecnica e di Calcolo

Pertanto le Unità Geotecniche prese in considerazione alla luce della stratigrafia riscontrata nel sondaggio e di quanto riportato nella Relazione Geologica (elab PVOS100RG01\_40\_4137) sono le seguenti:

Profondità m da p.c.	Descrizione	Formazione di appartenenza	Unità Geotecniche
0-2,20	Materiale detritico costituito da ghiaie con sabbie e ciottoli in matrice argilloso-limosa di colore bruno giallastro	RIL	LSA/LSA(a)
2,20-5,70	Sabbie fini e limi argillosi di colore giallo bruno con inclusi litici arrotondati: Si rinvencono frequenti livelli di spessore millimetrico a centimetrico di argille di colore grigio azzurro plastiche. Tra 5,00 e 5,15m si nota la presenza di un livello saturo di acqua con ciottoli.	bn1	
5,70-7,40	Argille limose a tratti sabbiose grigio azzurre plastiche con inclusi litici quarzarenitici di dimensioni centimetriche	bn1	
7,40-9,00	Sabbie fini poco addensate con livelli di ghiaie e ciottoli in matrice sabbioso-limosa	TRVcg alterato	
9,00-14,10	Conglomerati poligenici costituiti da un'alternanza di livelli cementati di colore variabile dal giallastro al grigio e da livelli sciolti di ghiaie e ciottoli arrotondati talora cementati	TRVcg	CG
14,10-20,00	Argille di colore grigio-nerastre, poco plastiche. Da 15m si presentano consolidate e con livelli millimetrici sabbiosi.	TRVsa	AG

Stratigrafia ed unità geotecniche di riferimento

## 5.1 PARAMETRI GEOTECNICI E DEFINIZIONE DEI PARAMETRI COSTITUTIVI DEL MODELLO

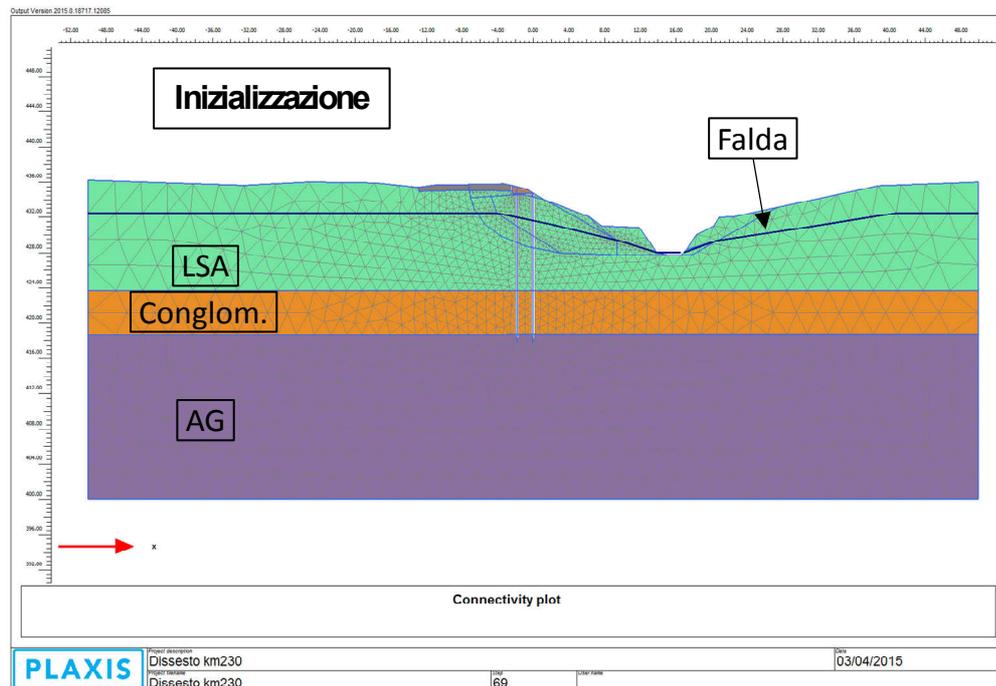
Di seguito si riporta la geometria della sezione analizzata ed il modello stratigrafico utilizzato nelle verifiche



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 VARIANTE

OS 100 – DISSESTO AL KM 8+100 - Relazione Tecnica e di Calcolo



Inizializzazione del modello

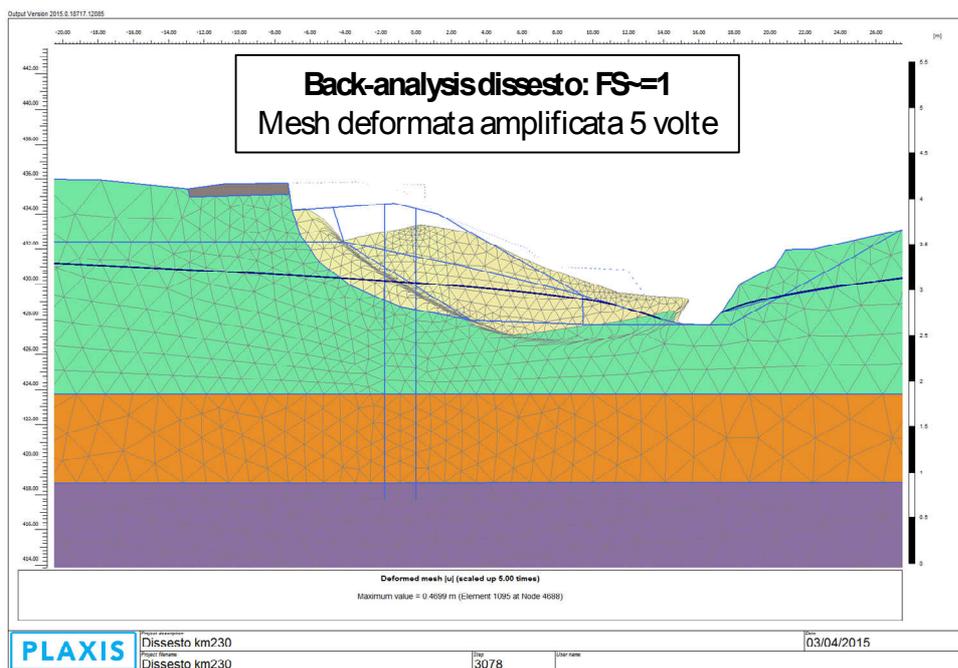
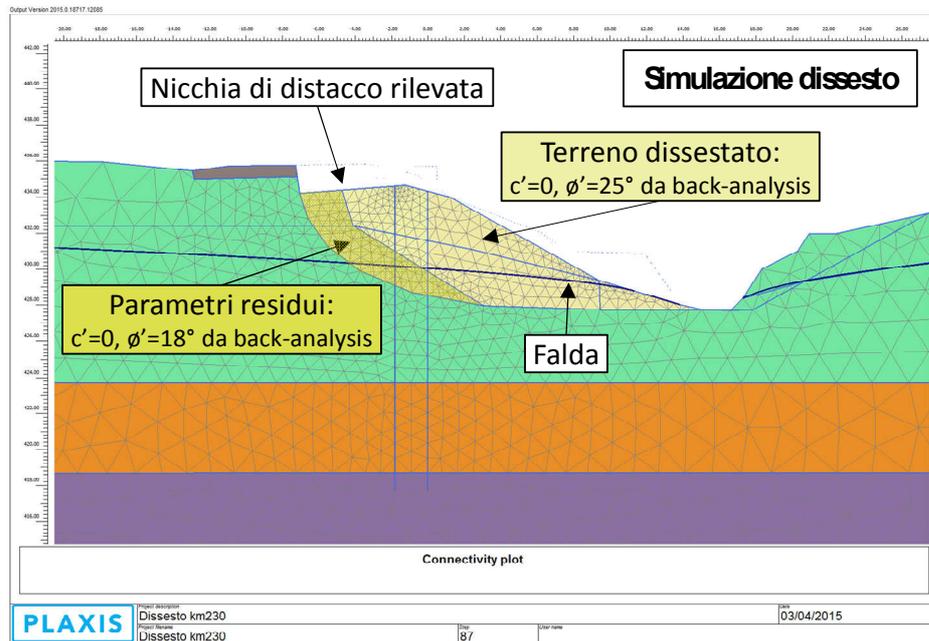
La fase iniziale di back-analysis per simulare il dissesto esistente ha consentito di individuare i parametri del volume detritico soggetto a fenomeno gravitativo. Esso è stato caratterizzato con modulo  $E'=20$  MPa,  $c'=0$  e  $\phi'=25^\circ$ . tali parametri consentono la stabilità del pendio e del piede della scarpata con  $FS\sim 1$ . Con tali parametri, però, si originano solo superfici di scorrimento piuttosto superficiali, non compatibili con la nicchia di distacco rilevata. Si è quindi individuata una zona (campita con un colore giallo lievemente più scuro nella figura alla slide successiva), cui si sono attribuiti parametri residui,  $c'=0$  e  $\phi'=18^\circ$ . tale caratterizzazione ha consentito di originare una superficie di scorrimento più aderente a quella effettiva

Si è quindi individuata una zona (campita con un colore giallo lievemente più scuro nell'immagine del modello di seguito riportata), cui si sono attribuiti parametri residui,  $c'=0$  e  $\phi'=18^\circ$ . tale caratterizzazione ha consentito di originare una superficie di scorrimento più aderente a quella effettivamente registrata.

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 VARIANTE

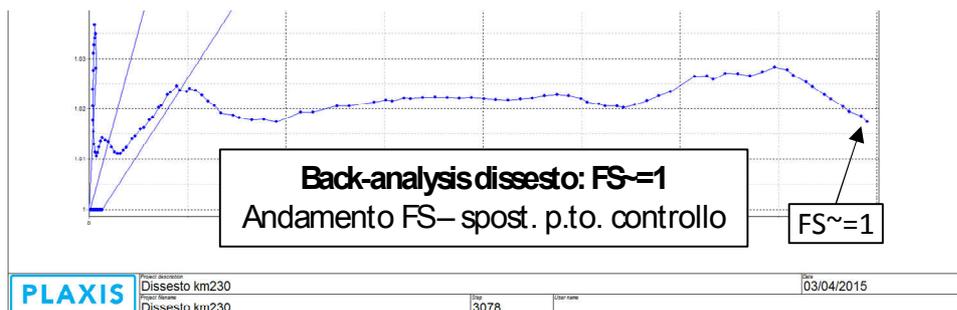
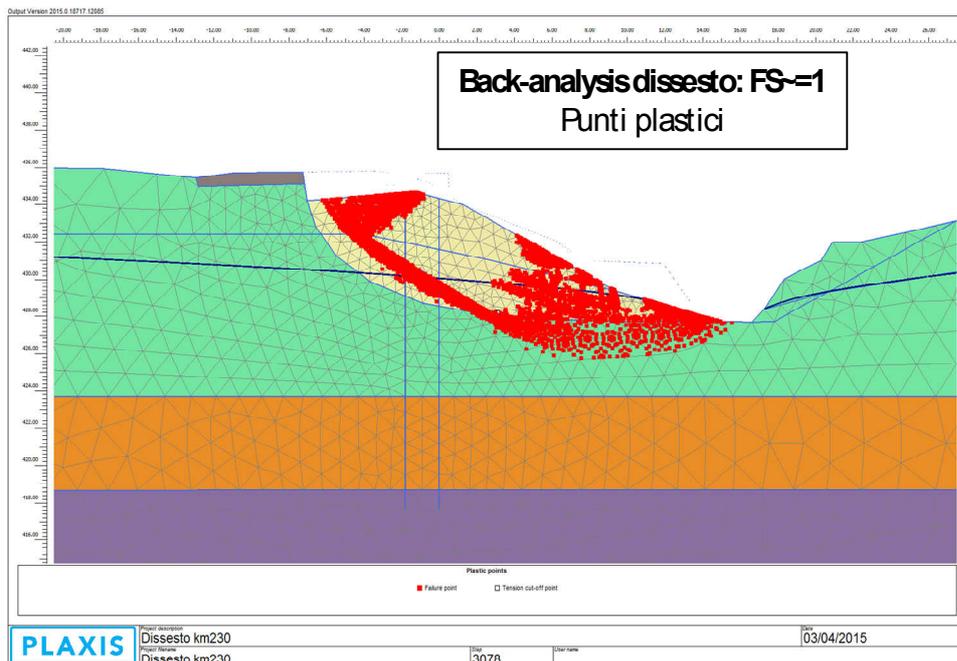
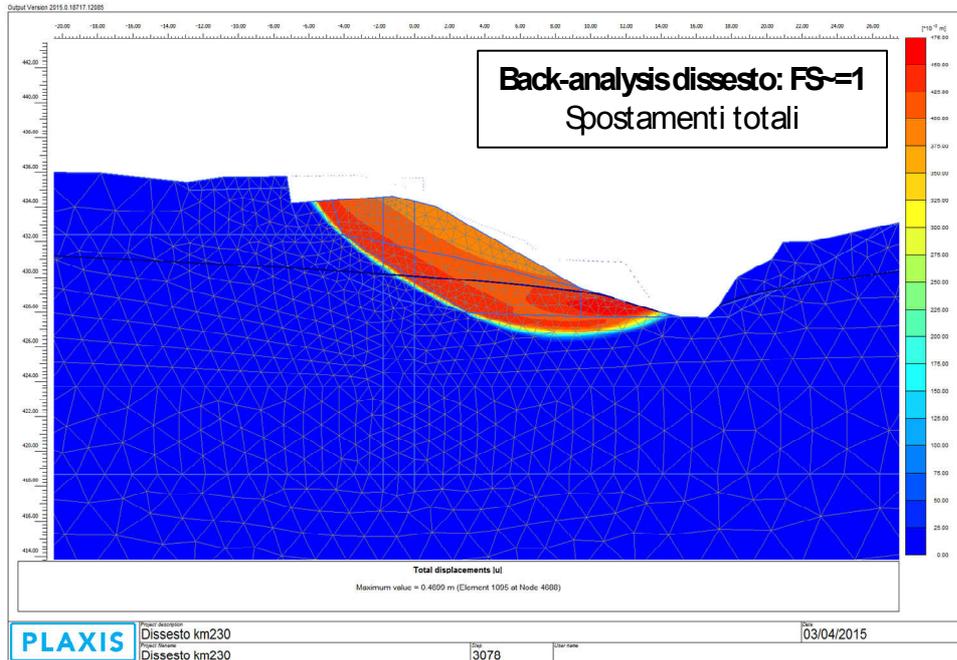
OS 100 – DISSESTO AL KM 8+100 - Relazione Tecnica e di Calcolo



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 VARIANTE

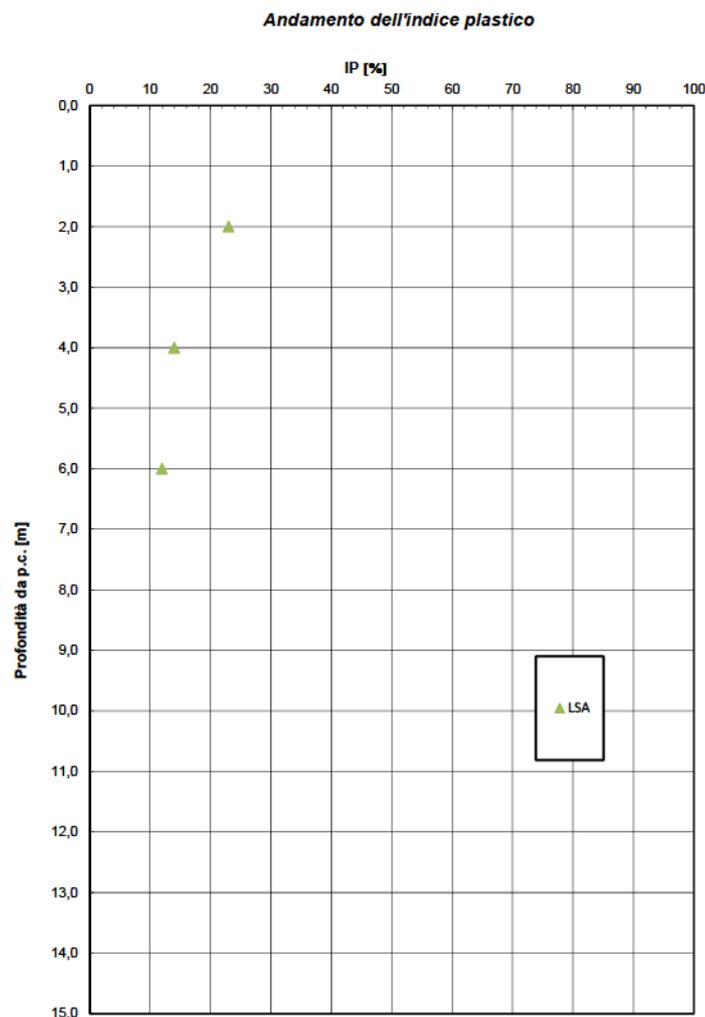
OS 100 – DISSESTO AL KM 8+100 - Relazione Tecnica e di Calcolo



Dal sondaggio effettuato all'interno del corpo instabile, i campioni d'interesse prelevati, sono due: C1 e C2. Per tali campioni è necessario adottare i parametri residui misurati quali  $c'=0$  kPa e  $\phi'=12-13^\circ$ . Se confrontati con quelli ottenuti dal modello di calcolo risultano più bassi. Bisogna considerare però che tali campioni sono prelievi puntuali e che rappresentano in modo discreto l'unità e non quindi l'intero volume detensionato.

In bibliografia tecnica, sono disponibili numerosi studi accreditati che si basano su un numero elevatissimo di prove e che correlano l'Indice Plastico (IP) ed il contenuto di argilla (CF) al valore della coesione residua. È possibile vedere come i parametri desunti dalla modellazione FEM, trovano ampio riscontro in questi studi.

Nei grafici seguenti si riporta il valore dell'indice plastico IP in funzione della profondità ed i valori del grado di umidità W, del limite liquido e del limite plastico, sempre in funzione della profondità desunti dalle prove di laboratorio effettuate nel corso della campagna d'indagine.

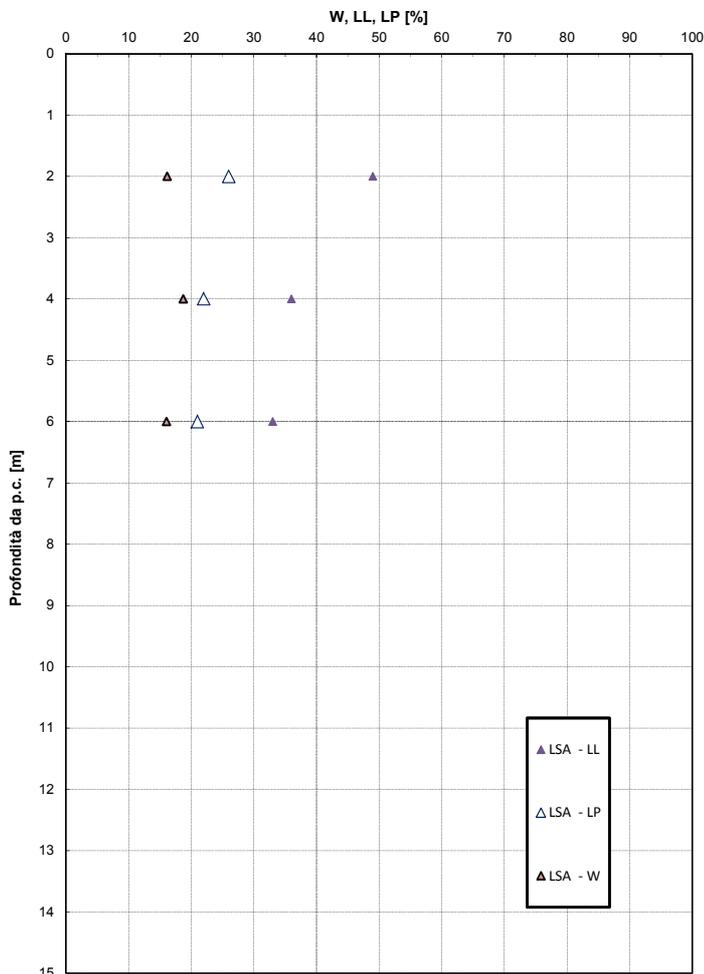


Affidamento a Contraente Generale dei “Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali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

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE

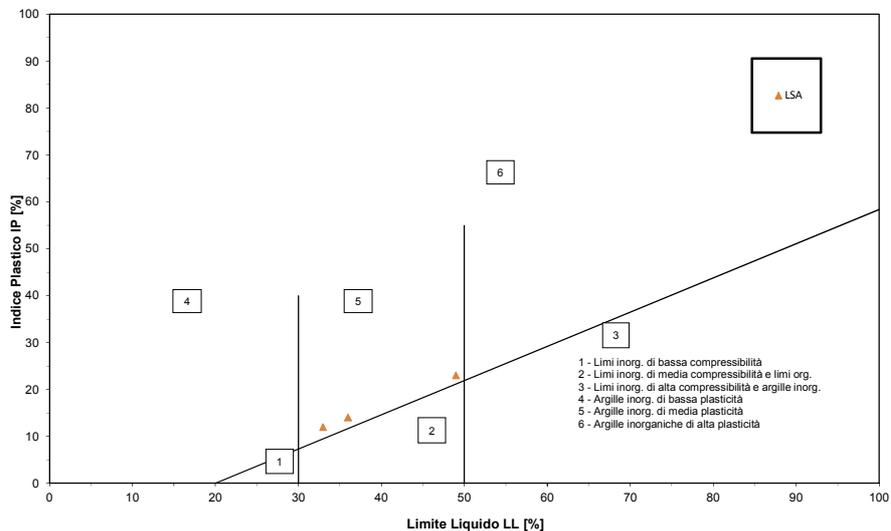
OS 100 – DISSESTO AL KM 8+100 - Relazione Tecnica e di Calcolo

Limiti di Atterberg e contenuto d'acqua naturale



Utilizzando la “Carta di plasticità di Casagrande” [Casagrande, 1948] il terreno è classificabile come “argilla inorganica di media plasticità”.

Carta di Plasticità di Casagrande



In bibliografia sono disponibili due correlazioni riportate nelle figure seguenti.

La prima di Lupini et al. [1981], che in funzione dell'indice plastico (IP), riporta una forbice di valori della resistenza residua  $\phi_r$ . Considerando valori di IP ottenuti dalle prove di laboratorio compresi tra IP = 12 – 25, risulta rispettivamente  $\phi_r = 28 - 21^\circ$ .

La seconda correlazione di Skempton [1964] è funzione del contenuto di argilla (CF) che in base alle prove di laboratorio sui campioni, varia tra CF = 22 ÷ 27%, pertanto risulta  $\phi_r = 25 - 20^\circ$ .

Pertanto i parametri residui ottenuti con la back analysis del modello FEM per l'Unità LSA(a), pari a:

$$c_r = 0 \text{ kPa}$$

$$\phi_r = 18^\circ$$

sono in linea con quelli desunti dalle suddette correlazioni e quindi verranno utilizzati per il dimensionamento dell'opera.

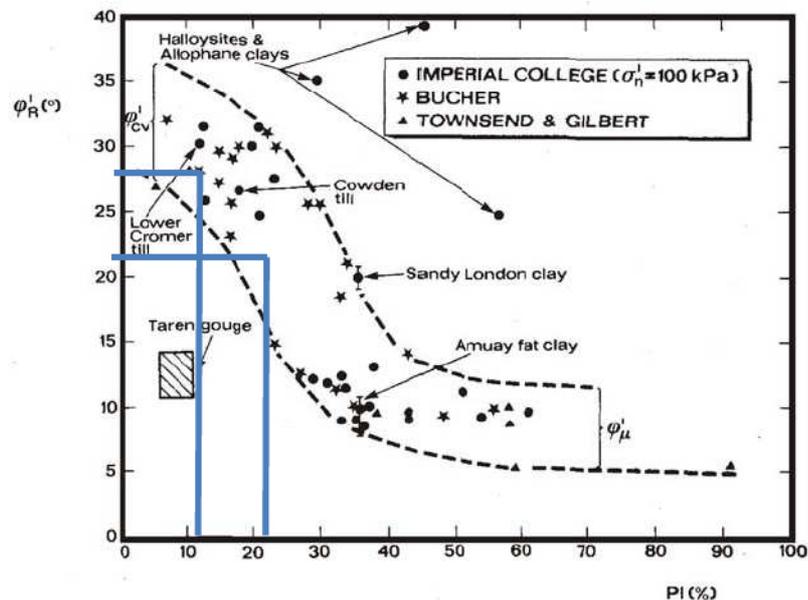


Fig. 7.5 – Variazione dell'angolo  $\phi'_R$  (angolo d'attrito residuo in termini di sforzi efficaci) in funzione dell'indice di plasticità (PI) per terreni coesivi (LUPINI et al., 1981).

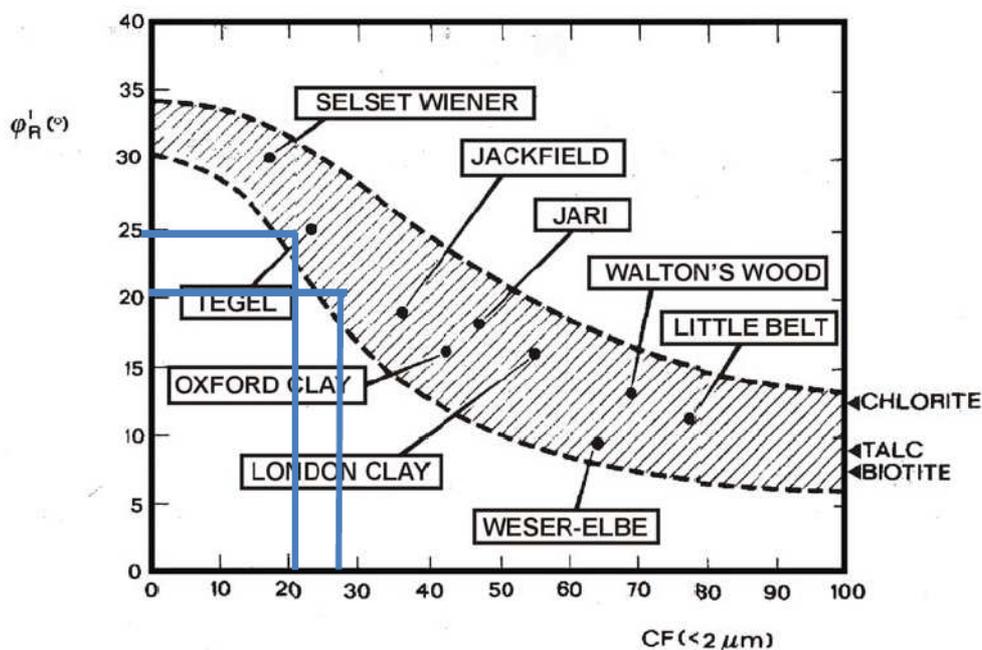


Fig. 7.6 – Variazione dell'angolo  $\phi_R^i$  (angolo d'attrito residuo in termini di sforzi efficaci) in funzione del contenuto di argilla ( $CF$ ) per terreni coesivi (SKEMPTON, 1964).

Il campione C3, è stato prelevato all'interno dell'Unità LSA, non alterata, pertanto i parametri di riferimento sono quelli di picco  $c' = 34 - 41$  kPa e  $\phi' = 19^\circ - 22^\circ$ . Nel modello di calcolo sono stati adottati per tale formazione i limiti inferiori dei parametri caratteristici desunti dalla Relazione Geotecnica di PEA, che risultano maggiormente cautelativi ( $c' = 5$  kPa e  $\phi' = 24^\circ$ )

**Sulla base delle considerazioni sopra riportate nella seguente Tabella si riportano pertanto per le unità geotecniche individuate, i parametri geotecnici adottati nelle analisi numeriche per il dimensionamento dell'opera, desunti dalla back-analysis per l'unità LSA(a) e dalla relazione geotecnica di PEA per le restanti formazioni.**

Unità [--]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$k_0$ [--]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]
LSA(a)	20.0	0.593	0	18
LSA	20.0	0.593	5	24
CG	20.0	0.426	0	35
AG	20.5	0.562	10	26

Tabella: parametri geotecnici dei terreni assunti nelle analisi

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 VARIANTE

---

OS 100 – DISSESTO AL KM 8+100 - Relazione Tecnica e di Calcolo

Per quanto riguarda la falda si ritiene che la sua quota sia localmente legata al regime idrico del T. Buffa, con conseguenti sensibili oscillazioni stagionali. In data 07/04/2015, periodo in cui il torrente registra un regime stazionario, è stata rilevata a -3.90 m rispetto a quota boccaforo, pari a 428.77 m s.l.m..

Ai fini della progettazione, vista la possibile oscillazione del sistema idrico del T. Buffa, si considera un livello di falda a monte della paratia a quota 432.40 m s.l.m. per poi decrescere con un leggero gradiente vero il fosso stesso.

## 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

in base a ciò 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

Ai fini della caratterizzazione sismica per la progettazione delle opere minori distribuite lungo il tracciato questo è stato suddiviso in tratti di 5 km caratterizzati da superfici pianeggianti, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$ . Ciascun tratto di 5 km è stato contraddistinto in base alle coordinate del punto baricentrico del tratto stesso.



Localizzazione tracciato

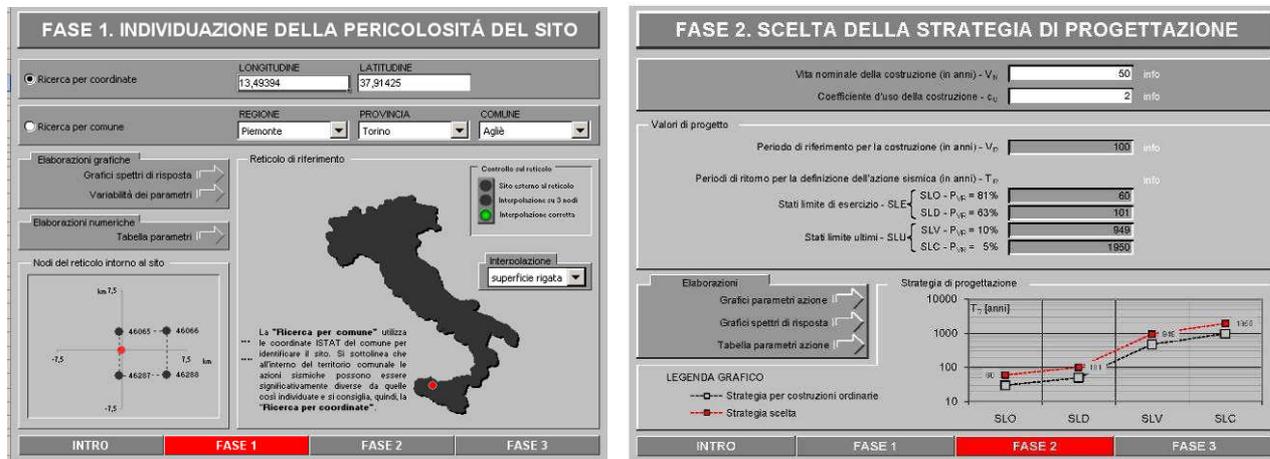
Le seguenti tabelle indicano l'identificazione della zona in cui ricade l'opera in esame in relazione alle coordinate geografiche corrispondenti alle medesime progressive.

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 VARIANTE

OS 100 – DISSESTO AL KM 8+100 - Relazione Tecnica e di Calcolo

Progressive km 5+000 - km 10+000



Si riportano, nella tabella seguente, i valori di accelerazione di picco e gli altri parametri significativi degli spettri di progetto, relativamente al tratto in cui ricade l'opera in oggetto.

Progressiva	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_{c^*}$ [s]
5+000 – 10+000	0.183	2.485	0.319

Per quanto riguarda il profilo di terreno (Classe A, B, C, ...) si fa riferimento alla seguente tabella:

Progressiva	Categoria
4+020 – 10+000	B

Trattandosi di un'opera definitiva, con riferimento a quanto prescritto al p.to 2.4.1 del DM 14.01.2008, le verifiche ad azioni sismiche vengono considerate.

## 7

## ANALISI E VERIFICA DELLE OPERE

---

L'analisi è stata condotta con modello FEM 2D, con la geometria della sezione 407.b e la stratigrafia del sondaggio con quota boccaforo a 432.67 m s.l.m. e falda posta a quota 432.40 m drenando sino al fosso. Nelle varie fasi di calcolo, inclusa la simulazione del dissesto esistente, la cadente della falda è calcolata dal codice FEM 2D con apposite analisi di filtrazione.

### 7.1 METODOLOGIE DI CALCOLO

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

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

In relazione agli obiettivi sopra esposti si è scelto di operare con il programma di calcolo Plaxis 2D 2012 - analisi FEM bi-dimensionale.

La finalità delle analisi FEM 2D, eseguite mediante il programma Plaxis VIP 2012, è quella di esaminare gli aspetti tenso-deformativi del sistema geotecnico terreno-struttura nel suo insieme per le successive verifiche strutturali e geotecniche di progetto. La modellazione è quindi idonea anche ad indagare la stabilità globale del sistema geotecnico struttura-terreno e all'analisi dei fenomeni deformativi indotti nell'intorno dalle operazioni di scavo; consente di ottenere campi di spostamento che tengano correttamente conto dei fenomeni di interazione terreno struttura.

Tale modellazione, utilizzata per la sezione di calcolo 1, ha consentito di cogliere il comportamento del sistema geotecnico strutturale. In particolare ha consentito di modellare correttamente, senza semplificazioni di calcolo, l'effetto di contrasto offerto dai micropali a cavalletto.

Il codice Plaxis VIP 2012 utilizzato a tale scopo è stato appositamente sviluppato per lo studio di problematiche geotecniche e di interazione terreno-struttura. Presentano una vasta libreria di legami costitutivi attribuibili ai terreni; sono disponibili inoltre elementi strutturali di vario tipo che consentono di simulare elementi strutturali che interagiscono con il terreno circostante mediante elementi interfaccia.

In ogni caso tutte le analisi sono state condotte mediante modellazioni volte a rappresentare il sistema geotecnico struttura-terreno con la simulazione sequenziale delle principali fasi costruttive previste: prescavi, realizzazione dei micropali ed esecuzione delle varie fasi di scavo.

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

### **7.1.1 Plaxis VIP 2012: metodologia di calcolo, legami costitutivi e parametri**

#### *7.1.1.1 Metodologia e legami costitutivi dei materiali*

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

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

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

La versione 2012 del programma Plaxis, rende disponibile un modello costitutivo denominato Hardening Soil Small Strain Model, che permette di descrivere in maniera soddisfacente i principali aspetti del comportamento meccanico dei terreni da considerare nelle analisi dei problemi di scavo.

In generale nel modello costitutivo in esame, il terreno è assimilato ad un mezzo poroso continuo, caratterizzato da un legame costitutivo elastico-plastico con superficie di snervamento chiusa (vedasi Figura 7) e incrudimento isotropo regolato dalle deformazioni volumetriche plastiche (con legge flusso associato) e distorsionali plastiche (con legge di flusso non associato).

Le principali caratteristiche del modello costitutivo sono le seguenti:

- una differente rigidità per percorsi tensionali di primo carico e di scarico-ricarico;
- sviluppo di deformazioni plastiche per stati tensionali deviatorici (con legge di flusso non associata) e sferici (con legge di flusso associata);

- criterio di rottura di tipo Mohr-Coulomb;
- il modulo di rigidezza secante  $E_{50}$  per percorsi tensionali di primo carico è funzione della tensione di confinamento applicata (Figura 7.a):

$$E_{50} = E_{50ref} \left[ \frac{(c' \cos \varphi' - \sigma'_{min} \sin \varphi')}{(c' \cos \varphi' + p_{ref} \sin \varphi')} \right]^m$$

dove:  $p_{ref} = 100$  kPa è la pressione di riferimento,

$\sigma'_{min}$  è la tensione efficace principale minore,

$E_{50ref}$  è il modulo di rigidezza secante alla pressione di riferimento ( $\sigma'_{min} = p_{ref}$ ),

$m$  è un coefficiente esponenziale che regola la dipendenza della rigidezza dallo stato tensionale,

$E_{50}$  è il modulo di rigidezza secante (al 50% della rottura) riferito alla tensione  $\sigma'_{min}$ ;

- il modulo di rigidezza Eur per percorsi tensionali di scarico-ricarico funzione della tensione di confinamento applicata (Figura 7.a):

$$E_{ur} = E_{urref} \left[ \frac{(c' \cos \varphi' - \sigma'_{min} \sin \varphi')}{(c' \cos \varphi' + p_{ref} \sin \varphi')} \right]^m ; \quad E_{ur} = E_{urref} \times k_{-1}$$

dove:  $p_{ref} = 100$  kPa è la pressione di riferimento,

$\sigma'_{min}$  è la tensione efficace principale minore,

$E_{urref}$  è il modulo di rigidezza secante alla pressione di riferimento ( $\sigma'_{min} = p_{ref}$ ),

$m$  è un coefficiente esponenziale che regola la dipendenza della rigidezza dallo stato tensionale,

$E_{ur}$  è il modulo di rigidezza secante alla tensione  $\sigma'_{min}$ ;

la rigidezza secante a taglio  $G$  funzione dell'ampiezza della deformazione a taglio  $\gamma$  (Figura 7.b) e della tensione di confinamento applicata:

$$G = \frac{G_0}{\left( 1 + a \frac{|\gamma|}{|\gamma_{0.7}|} \right)}$$

dove:  $G_0$  è la rigidezza a taglio in campo dinamico,  $a = 3/7$ ,

$\gamma_{0.7}$  è la deformazione a taglio in corrispondenza della quale  $G_0$  si riduce al 70% del suo valore iniziale.

- Il legame funzionale fra  $G_0$  e lo stato tensionale è espresso dalla seguente relazione:

$$G_0 = G_{0ref} \left[ \frac{(c' \cos \varphi' - \sigma'_{\min} \sin \varphi')}{(c' \cos \varphi' + p_{ref} \sin \varphi')} \right]^m$$

$$\gamma_{07} = 1 / (9 \times G_{0ref}) \times [(2c'(1 + \cos(2\varphi')) - \sigma'_1(1 + Ko) \sin(2\varphi'))]$$

- dove
- $p_{ref} = 100$  kPa è la pressione di riferimento,
  - $\sigma'_{\min}$  è la tensione efficace principale minore,
  - $G_{0ref}$  è il modulo di rigidità secante alla pressione di riferimento ( $\sigma'_{\min} = p_{ref}$ ),
  - $m$  è un coefficiente esponenziale che regola la dipendenza della rigidità dallo stato tensionale,
  - $G_0$  è il modulo di rigidità a taglio alla tensione  $\sigma'_{\min}$ .

Nel seguente paragrafo verranno compiutamente definiti tutti i parametri di modello utilizzati per le varie unità geotecniche, determinati alla luce della caratterizzazione geotecnica di dettaglio sopra esposta.

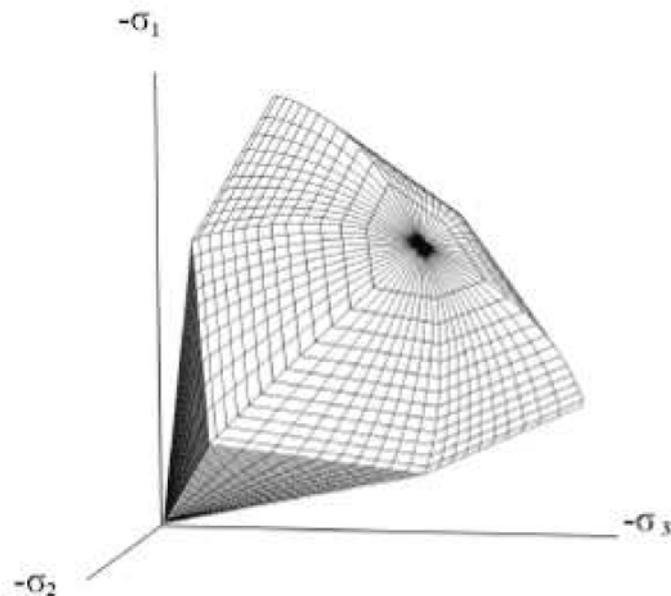


Figura 7. – Superficie di snervamento chiusa (Hardening Soil model)

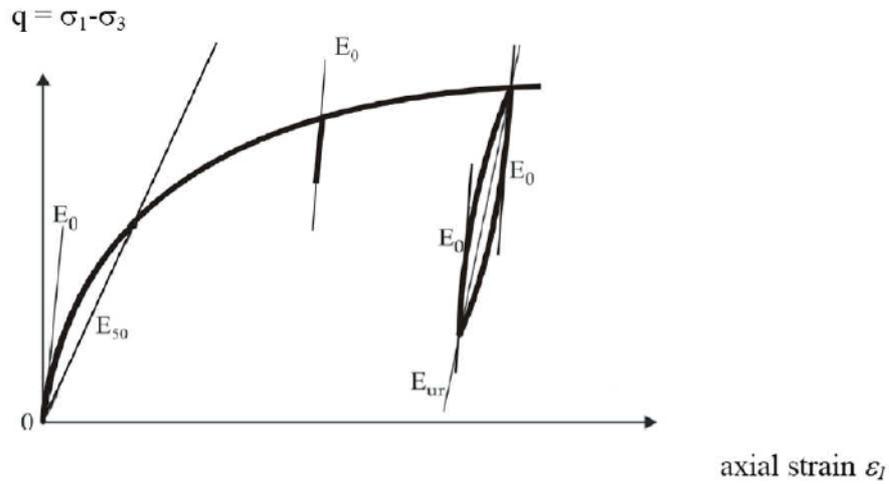


Figura 7.a – Definizione di  $E_0$ ,  $E_{50}$  e  $E_{ur}$  nel modello costitutivo "HSSmall"

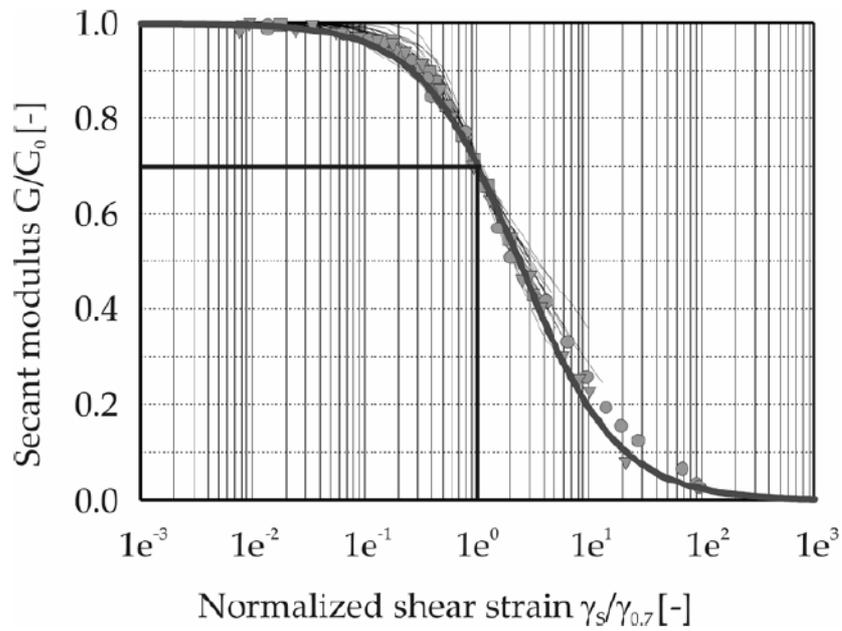


Figura 7.b – Riduzione del modulo  $G_0$  in funzione di  $\gamma$

### 7.1.1.2 Stabilità globale

La determinazione del coefficiente di sicurezza avviene mediante un algoritmo iterativo ( $\varphi' - c'$  reduction method, Dawson, Roth and Drescher, 1999) che, sulla base dei dati di partenza ( $c'$  e  $\tan \varphi'$ ), determina successive condizioni di equilibrio del sistema eseguendo, ad ogni ciclo, una progressiva riduzione delle resistenze fino al raggiungimento del collasso (condizione di non equilibrio del sistema):

$$c'_{\text{prova}} = c' / FS_{\text{prova}}$$

$$\varphi'_{\text{prova}} = \arctan(\tan \varphi' / FS_{\text{prova}})$$

In Figura 7.c la progressiva riduzione delle resistenze è rappresentata nel piano di Mohr-Coulomb per il singolo elemento di terreno. Si osserva che i parametri di deformabilità non influenzano in maniera apprezzabile i risultati del calcolo e, pertanto, possono essere considerati senza particolari affinamenti.

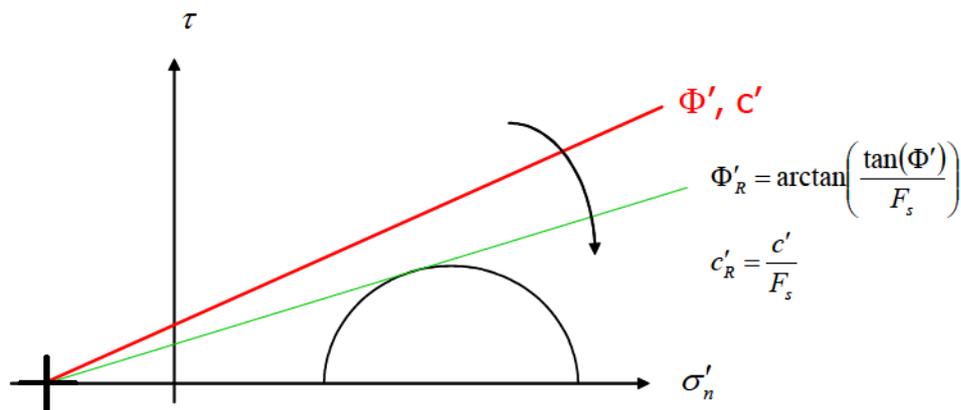


Figura 7.c – Phi-c reduction method

Rispetto ai classici metodi dell'equilibrio limite presenta numerosi vantaggi (e.g. Dawson and Roth, 1999, and Cala and Flisiak, 2001):

- le superfici di rottura si propagano in maniera “naturale”; quindi non occorre specificare preventivamente i cinematismi e le potenziali superfici di rottura su cui ricercare il coefficiente di sicurezza minimo;
- non richiede al definizione di ipotesi di calcolo “artificiali” (es. ipotesi sulle forze di interfaccia);
- la metodologia non implica limitazioni sulla forma e la modalità di propagazione delle potenziali superfici di rottura (anche multiple e/o con propagazioni complesse delle zone di snervamento) in funzione delle esigenze del sistema;

- l'interazione con eventuali elementi strutturali vengono modellate in maniera realistica con una mobilitazione delle resistenze in funzione della deformazione relativa rispetto al terreno circostante e non semplicemente mediante forze equivalenti.
- la soluzione converge in un meccanismo che è cinematicamente ammissibile (si noti che i metodi classici dell'equilibrio limite prescindono dalla valutazione degli spostamenti e non richiedono pertanto la conoscenza dei legami tensioni-deformazioni ma del solo criterio di resistenza dei terreni interessati).

Tale analisi di stabilità viene generalmente svolta a partire dalla configurazione di progetto maggiormente cautelativa che risulta essere la fase di raggiungimento della massima profondità di scavo.

Tale analisi equivalgono alla verifica SLU (GEO) prevista dalla normativa vigente: combinazione 2 (A2+M2+R2), in base alla quale la stabilità geotecnica deve essere verificata con i parametri di resistenza del terreno ridotti tramite i coefficienti parziali del gruppo M2 ( $\gamma_M = 1.25$  sia per la coesione sia per la resistenza al taglio) ed il coefficiente parziale  $\gamma_R = 1.1$ .

Pertanto, per verificare le verifiche di stabilità geotecnica richieste dalla normativa occorre avere  $FS > 1.25 \times 1.1 = 1.375$ .

### 7.1.1.3 Falda, carichi, sovraccarichi e combinazioni

Le analisi sono state effettuate in conformità alla al DM 14 gennaio 2008 (Norme Tecniche per le Costruzioni). In particolare la norma prevede due condizioni di verifica distinte. La prima combinazione, indicata con la sigla **STRU**, è quella di riferimento per le verifiche di resistenza degli elementi strutturali. La terza, indicata con la sigla **GEO**, è di riferimento per le verifiche di stabilità geotecnica.

Per le verifiche di resistenza allo stato limite ultimo si adotta l'approccio 1 previsto dalla normativa. Nelle seguenti Tabella 7.a e Tabella 7.b si riportano i coefficienti parziali indicati dalla normativa (moltiplicativi per le azioni e riduttivi per i parametri di resistenza del terreno).

Azioni ( $\gamma_F$ )				Proprietà del terreno ( $\gamma_M$ )		
Permanenti		Variabili		tan $\phi'$	c'	cu
sfavorevoli	favorevoli	sfavorevoli	favorevoli			
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Tabella 7.a – Combinazioni per analisi statiche in esercizio (SLE)

	Azioni ( $\gamma_F$ )				Proprietà del terreno ( $\gamma_M$ )		
	Permanenti		Variabili		tan $\varphi'$	c'	cu
	sfavorevoli	favorevoli	sfavorevoli	favorevoli			
EQU	1.1	0.90	1.50	0.00	/	/	/
STRU (A1 + M1)	1.30	1.00	1.50	0.00	1.00	1.00	1.00
GEO (A2 + M2)	1.00	1.00	1.30	0.00	1.25	1.25	1.40

Tabella 7.b – Combinazioni per analisi statiche SLU

### **Verifiche di esercizio (SLE)**

I valori delle proprietà meccaniche da adoperare nell'analisi sono quelli caratteristici e i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri di resistenza sono sempre unitari. Tale combinazione è di riferimento per le verifiche tensionali sui materiali e le verifiche di fessurazione. E' inoltre rappresentativa delle condizioni di deformazione dell'opera e del terreno circostante.

### **Verifiche di resistenza degli elementi strutturali (SLU STR)**

Si considerano gli stati limite ultimi per raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali. L'analisi può essere svolta utilizzando la Combinazione 1 (A1+M1+R1), nella quale i coefficienti sui parametri di resistenza del terreno (M1) e sulla resistenza globale del sistema (R1) sono unitari, mentre le azioni permanenti e variabili sono amplificate mediante i coefficienti parziali del gruppo A1. In questo caso, i coefficienti parziali amplificativi delle azioni possono applicarsi direttamente alle sollecitazioni, calcolate con i valori caratteristici delle azioni e delle resistenze. Quindi i risultati dell'analisi STRU (A1+M1), possono essere cautelativamente ottenuti moltiplicando quelli dell'analisi SLE x 1.4. Si è verificato che tale modo di procedere, oltre che essere ingegneristicamente più corretto, porta a risultati in linea al metodo che prevede l'amplificazione delle azioni (peso di volume del terreno x 1.3 e azioni accidentali x 1.5), ed in ogni caso cautelativi ai fini delle verifiche di resistenza.

### **Verifiche stabilità geotecnica (SLU GEO)**

Nelle verifiche agli stati limite ultimi per il dimensionamento geotecnico delle paratie (GEO), si considera lo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno e, specificamente, dal raggiungimento delle condizioni di equilibrio limite nel terreno interagente con la paratia. L'analisi può essere condotta con la Combinazione 2 (A2+M2+R2), nella quale i parametri di resistenza del terreno sono ridotti tramite i coefficienti parziali del gruppo

M2, i coefficienti  $\gamma_R$  sulla resistenza globale (R1) sono unitari e le sole azioni variabili sono amplificate con i coefficienti del gruppo A2. I parametri di resistenza di progetto sono perciò inferiori a quelli caratteristici e di conseguenza il valore di progetto della spinta attiva è maggiore, e quello della resistenza passiva è minore, dei corrispondenti valori caratteristici.

In definitiva le analisi contemplano le seguenti combinazioni di carico.

- **SLE** indicativa per le analisi di deformabilità.
- **SLU STRU Statico e Sismico** per le verifiche di resistenza degli elementi strutturali.
- **SLU GEO Statico e Sismico** per le verifiche di stabilità geotecnica del sistema opera-terreno.

## 7.2 DESCRIZIONE DEL MODELLO

La struttura costituita da pali disposti su 2 file, Ø800, interasse longitudinale 1.5 m, interasse trasversale 1.8 m, sono state modellate con elementi beam lineari, con caratteristiche equivalenti fattorizzando le rigidità ed i pesi in funzione dell'interasse medio fra gli elementi strutturali contigui. La trave di collegamento in c.a., a testa micropali, è stata modellata come elemento di volume assegnando al cluster corrispondente le proprietà elastiche del calcestruzzo.

Nel modello, le proprietà degli elementi interfaccia struttura-terreno sono state applicate definendo dei materiali con legame costitutivo analogo a quello dei terreni circostanti ma con parametri di resistenza ridotti. In particolare è stata adottata una resistenza attritiva con resistenza al taglio ridotta a 2/3 rispetto a quella del terreno circostante.

## 7.3 DESCRIZIONE DELLE FASI DI CALCOLO

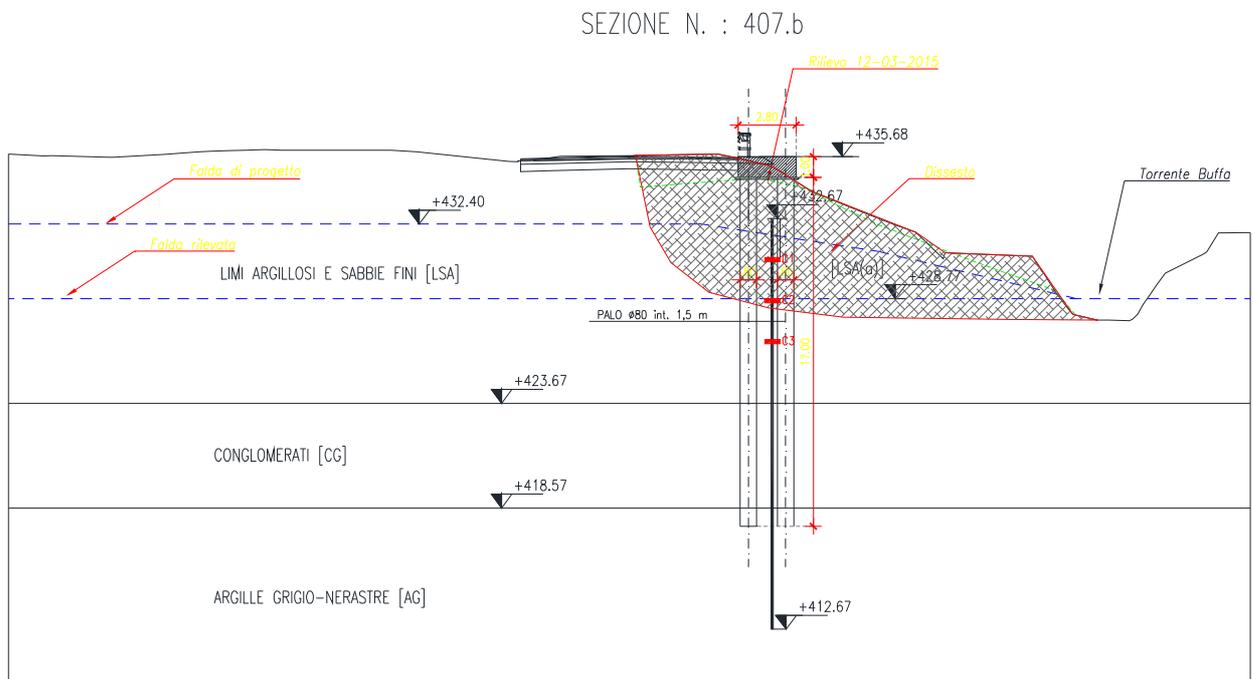
Le analisi eseguite sono di tipo sequenziale, riproducendo in successione tutte le principali fasi operative previste per la realizzazione dell'opera e degli scavi. Quindi, il termine di ciascuna analisi rappresenta la condizione iniziale per la fase successiva. Le fasi di scavo vengono simulate mediante la disattivazione dei cluster di terreno corrispondenti, mentre la messa in opera degli elementi strutturali (paratie) viene simulata attivando gli elementi strutturali corrispondenti.

Nelle fasi in cui lo scavo intercetta il livello di falda, il calcolo tenso-deformativo viene fatto procedere dall'analisi 2D di filtrazione per la corretta determinazione delle pressioni neutre in fase di scavo. Tale calcolo idraulico contempla le seguenti condizioni al contorno: sui bordi della mesh vengono fissati i valori iniziali delle pressioni neutre; pertanto tali bordi permettono la comunicazione con l'esterno e quindi l'alimentazione del processo di filtrazione; i contorni dei

diaframmi delle paratie di micropali si considerano permeabili (palificata discontinua drenante); il piano di scavo viene definito come una superficie drenante in equilibrio con la pressione atmosferica (pore pressure nulla); viene così simulata l'operazione di emungimento a fondo scavo. Nel seguito si illustrano le fasi di calcolo mostrando la configurazione geometrica del modello per le principali fasi dell'analisi. I risultati delle analisi saranno riportati nel capitolo successivo.

### 7.3.1 Sezione di calcolo

Di seguito si riportano le fasi di calcolo che sono state analizzate in successione. Lo schema di riferimento è quello di *Figura 7.d*.



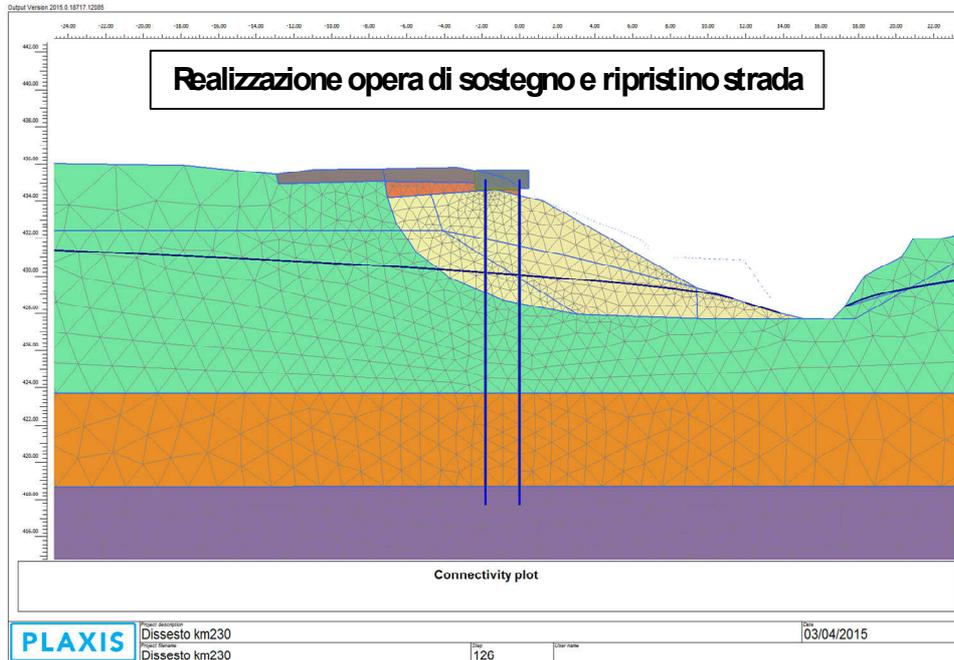
*Figura 7.d – Sezione lato Nord: sezione di progetto*

- Step 1. Inizializzazione geostatica
- Step 2. Realizzazione della doppia fila di pali a cavalletto da quota strada e ripristino strada esistente, con le seguenti caratteristiche:
  - $D_p = 800 \text{ mm}$  diametro di perforazione;
  - $i = 1.5 \text{ m}$  interasse longitudinale fra i pali della stessa fila;
  - $i = 1.8 \text{ m}$  interasse trasversale fra i pali della stessa fila;
  - $L = 17.0 \text{ m}$  lunghezza dei micropali;

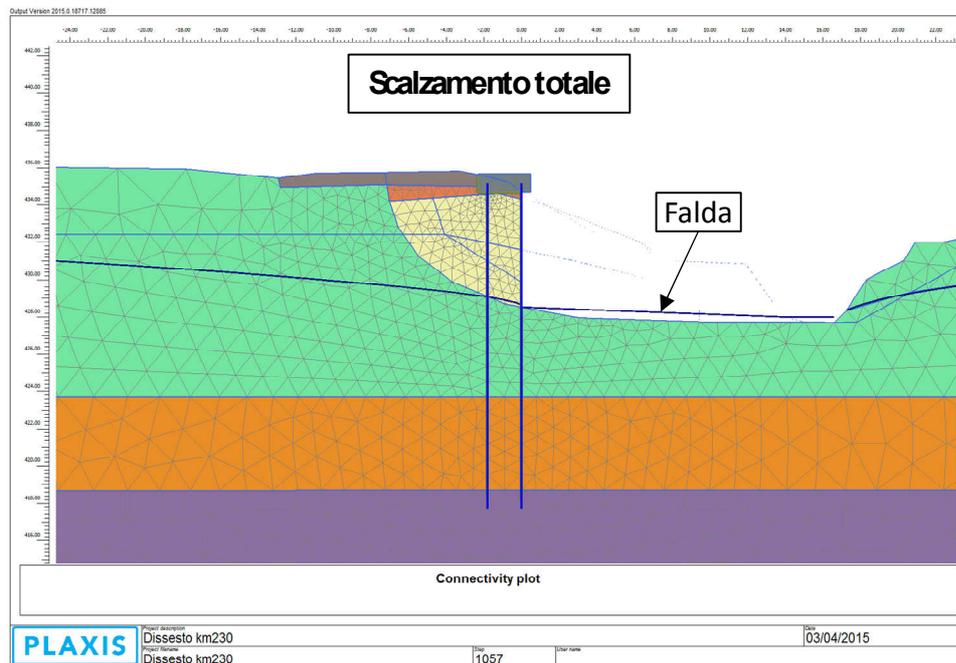
Affidamento a Contraente Generale dei “Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali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

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE

OS 100 – DISSESTO AL KM 8+100 - Relazione Tecnica e di Calcolo



Step 3. Scalzamento al piede della paratia per effetto del corso d'acqua. Tale configurazione corrisponde alla combinazione **SLE Q.P.**

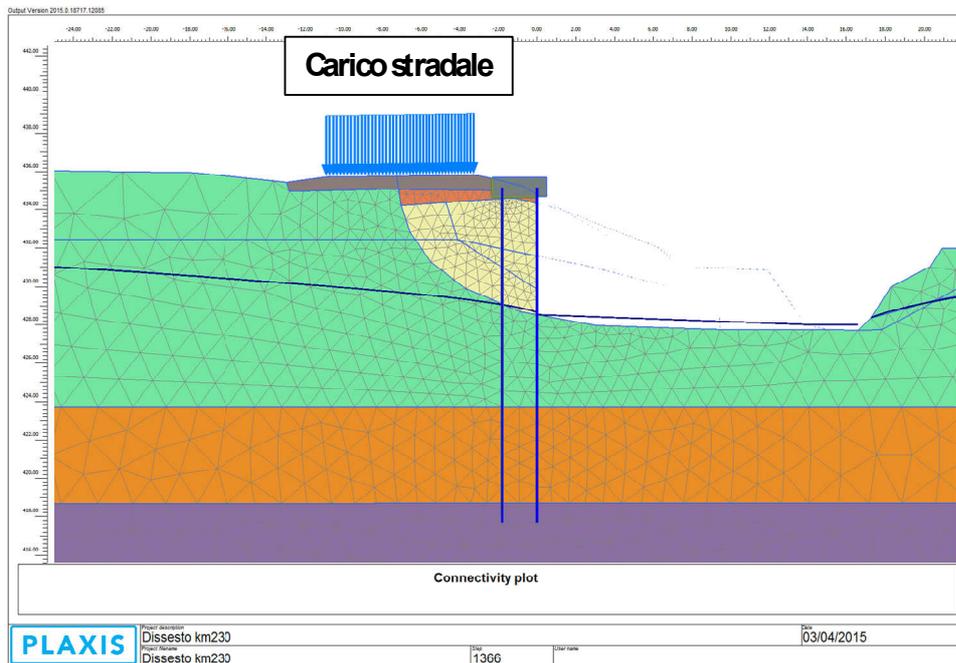


Step 4. A scalzamento avvenuto viene attivato il sovraccarico accidentale pari a  $20 \text{ kN/m}^2$  agente sul piano viabile, a simulare il traffico veicolare. Tale configurazione corrisponde alla combinazione **SLE Rara**. Da tale configurazione si ottengono anche le sollecitazioni di progetto per le verifiche **SLU STR** degli elementi strutturali, amplificando le sollecitazioni SLE x 1.4.

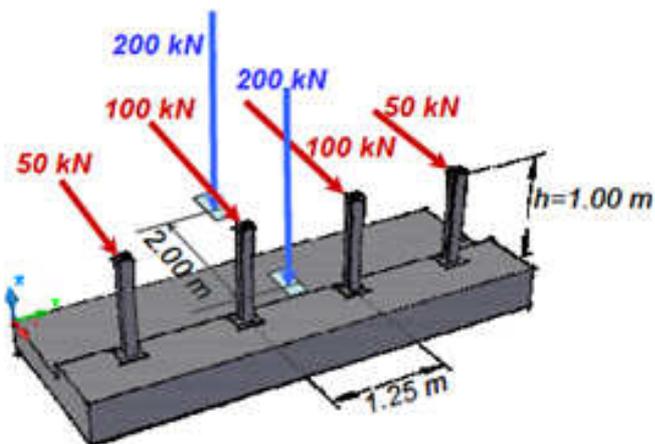
Affidamento a Contraente Generale dei “Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le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

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE

OS 100 – DISSESTO AL KM 8+100 - Relazione Tecnica e di Calcolo



Sempre a scalzamento avvenuto viene attivato il carico eccezionale dovuto all'uto sul guard rail secondo lo schema di seguito riportato. Da tale configurazione si ottengono anche le sollecitazioni di progetto per le verifiche **SLU STR** degli elementi strutturali



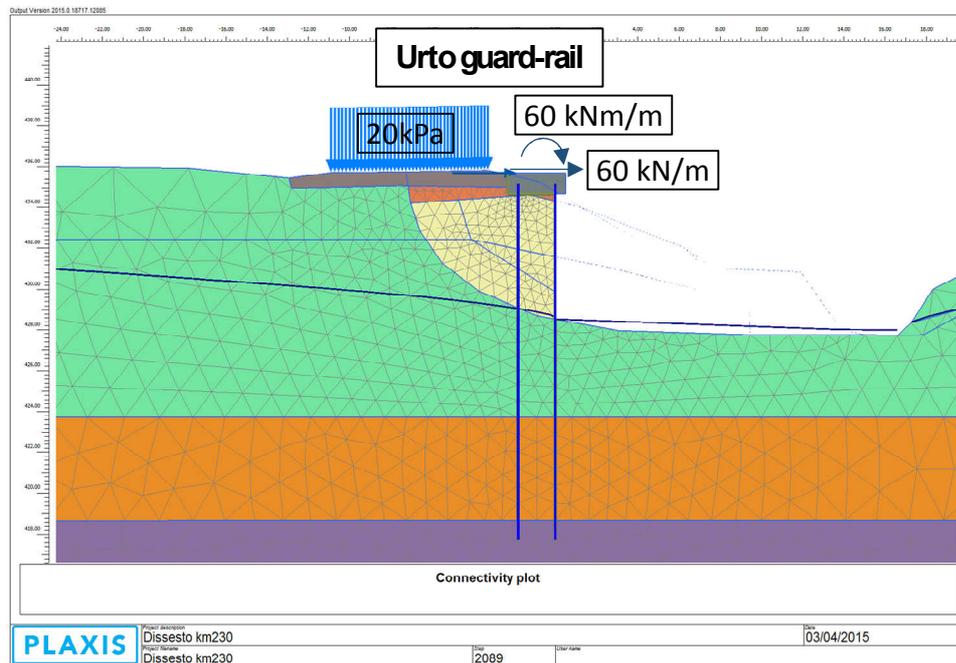
Sistema di forze equivalenti per condizioni di progetto ordinarie.

In particolare si considera una larghezza di applicazione pari a  $L = 1.25 \cdot 4(\text{montanti}) = 5.0 \text{ m}$ . Pertanto il Carico orizzontale risulta pari a  $H = (2 \cdot 100 + 2 \cdot 50) / L = 60 \text{ kN/m}$  ed il Momento  $M = 60 \cdot 1(h) = 60 \text{ kNm/m}$ . Il Carico verticale risulta pari a  $q = 2 \cdot 200 / 4.0 / L = 20 \text{ kPa}$

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 VARIANTE

OS 100 – DISSESTO AL KM 8+100 - Relazione Tecnica e di Calcolo



Sempre a scalzamento avvenuto viene attivato il sisma. Da tale configurazione si ottengono anche le sollecitazioni di progetto per le verifiche **SLV** degli elementi strutturali

- Step 5. A partire dalla precedente fase **SLE Rara**, viene eseguita la verifica di stabilità globale. Tale analisi viene eseguita riducendo progressivamente i parametri di resistenza al taglio dei terreni fino ad ottenere il collasso del sistema geotecnico struttura-terreno ( $\phi'$ - $c'$  reduction method). Si determina quindi il coefficiente di sicurezza disponibile, in osservanza alla normativa per la verifica **SLU GEO**.

## 7.4 RISULTATI E VERIFICHE

### 7.4.1 Spostamenti

Nelle seguenti Figure 7.e e 7.f si mostra la distribuzione degli spostamenti sulla mesh mediante rappresentazione a mappe di colore: è ben visibile il cuneo di spinta che determina il risentimento deformativo sul piano campagna. Tali spostamenti sono riferiti sia al solo scalzamento che anche con applicazione del sovraccarico stradale.

In Figura 7.g si riportano gli spostamenti ottenuti sulla paratia a scalzamento avvenuto e risulta uno spostamento massimo della paratia pari a 27 mm, misurata in sommità alla paratia stessa.

In Figura 7.h si riportano gli spostamenti ottenuti sulla paratia a scalzamento avvenuto e risulta uno spostamento massimo della paratia pari a 58 mm, misurata in sommità alla paratia stessa.

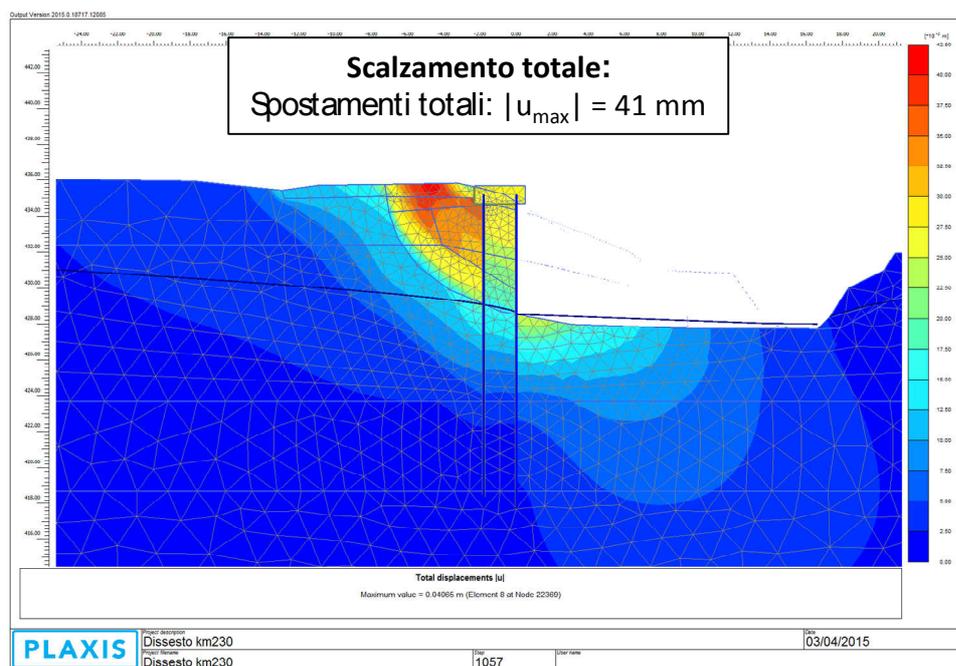


Figura 7.e –SLE: spostamenti a scalzamento totale

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 VARIANTE

OS 100 – DISSESTO AL KM 8+100 - Relazione Tecnica e di Calcolo

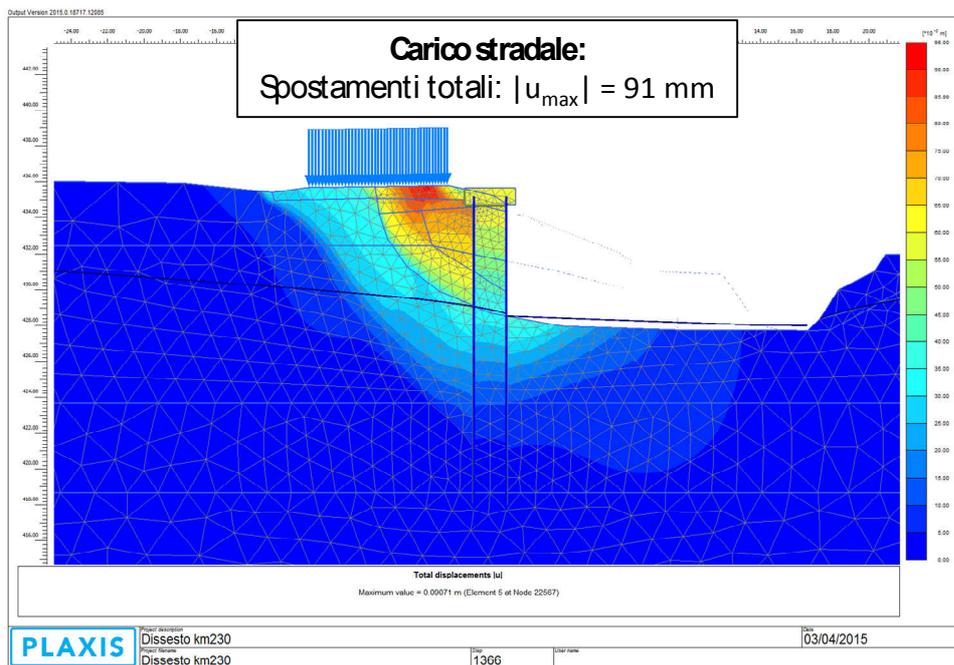


Figura 7.f –SLE: spostamenti a scalzamento totale e sovraccarico stradale

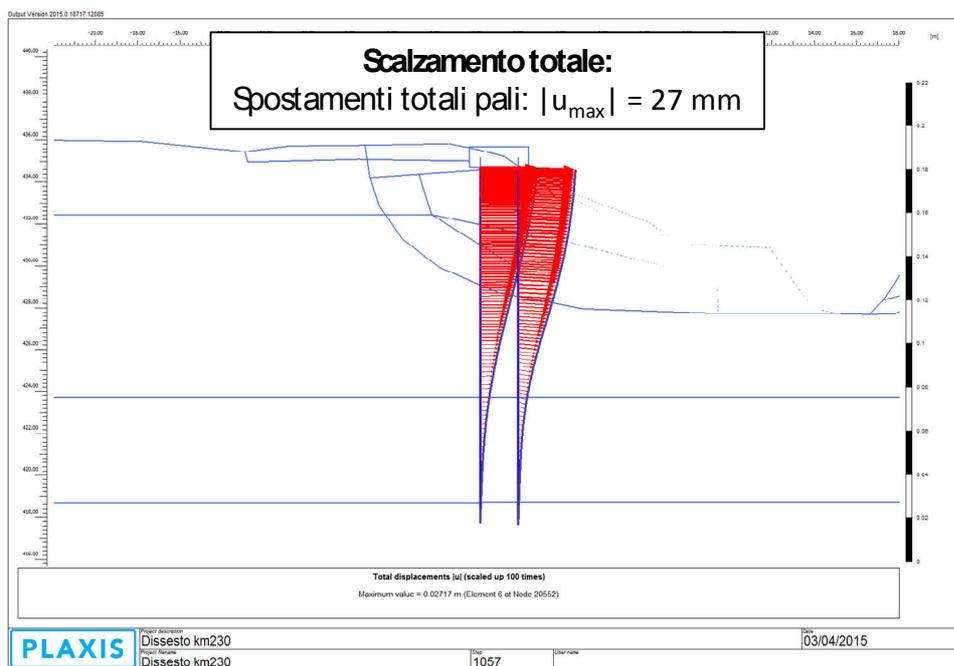


Figura 7.g –SLE: spostamenti sulla paratia a scalzamento totale

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 VARIANTE

OS 100 – DISSESTO AL KM 8+100 - Relazione Tecnica e di Calcolo

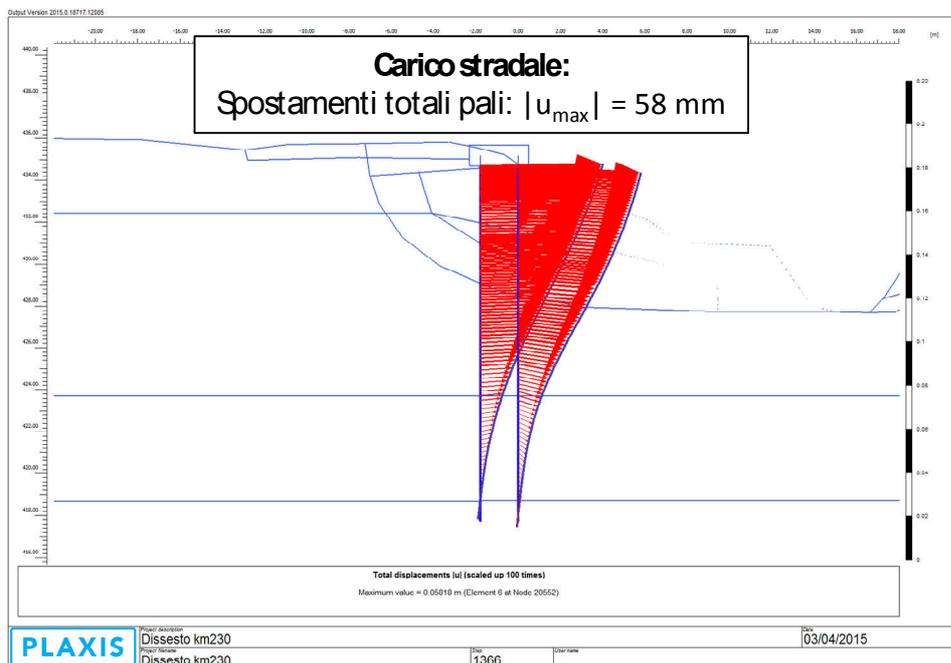


Figura 7.h –SLE: spostamenti sulla paratia a scalzamento totale e sovraccarico stradale

## 7.4.2 Sollecitazioni sugli elementi strutturali

### 7.4.2.1 Sollecitazioni SLE Q.P.

Nelle successive figure si riporta l’involuppo della distribuzione delle sollecitazioni SLE Q.P. (solo scalzamento) sugli elementi beam che rappresentano i pali: momento, taglio e forza assiale. Le massime sollecitazioni risultano:

N = 235 kN / m	forza assiale (compressione)
N = 81 kN / m	forza assiale (trazione)
T = 103.0 kN / m	taglio massimo
M = 259 kN m / m	momento massimo palo compresso
M = 209 kN m / m	momento massimo palo teso

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 VARIANTE

OS 100 – DISSESTO AL KM 8+100 - Relazione Tecnica e di Calcolo

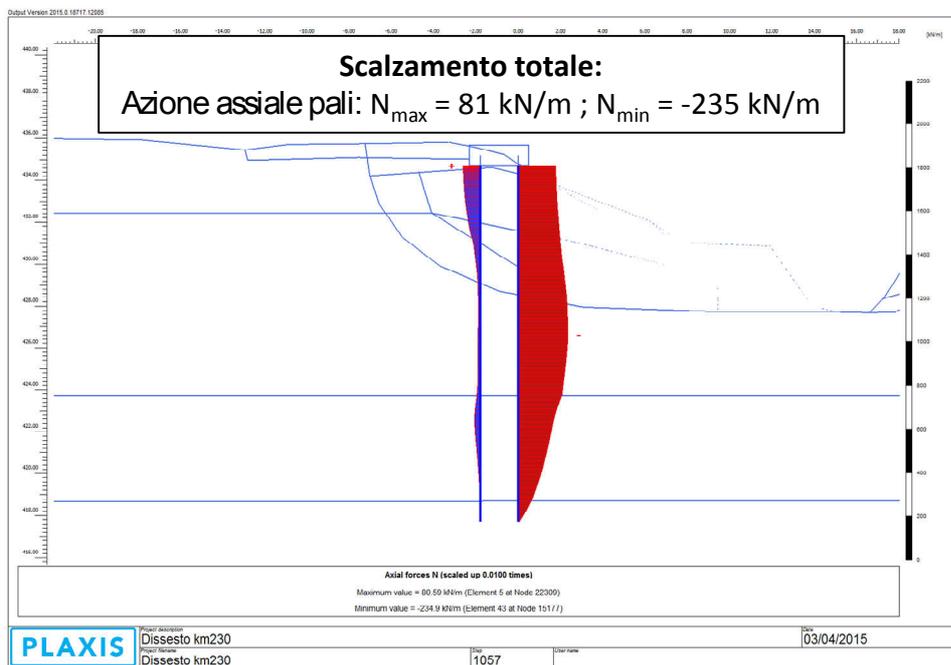


Figura 7.i – SLE Q.P.: sforzo normale (-) compressione, (+) trazione

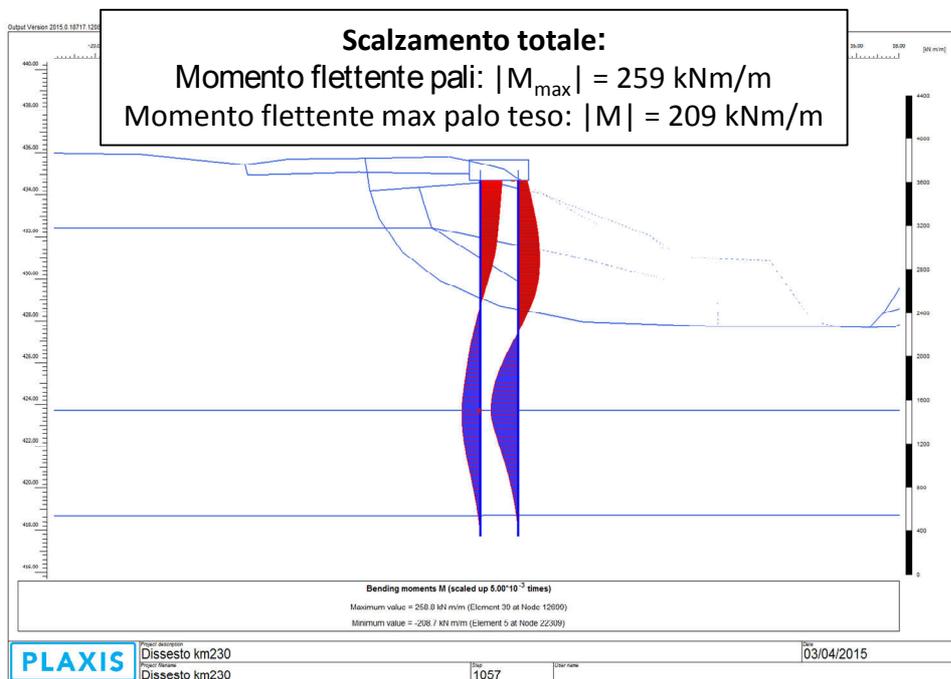


Figura 7.j – SLE Q.P.: inviluppo momento sui pali

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

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE

OS 100 – DISSESTO AL KM 8+100 - Relazione Tecnica e di Calcolo

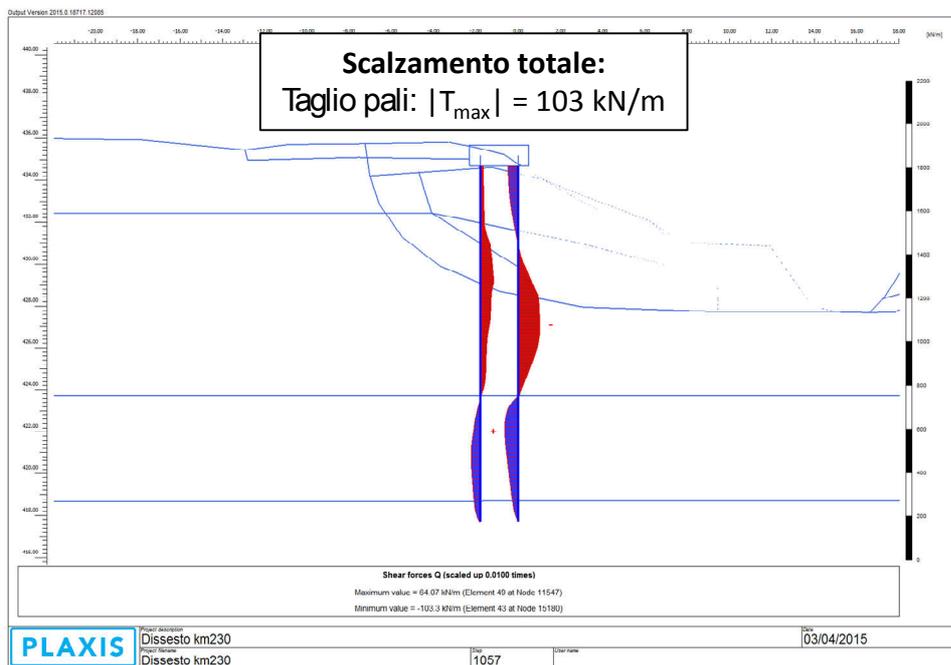


Figura 7.k – SLE Q.P.: involuppo taglio sui pali

#### 7.4.2.2 Sollecitazioni SLE RARE.

Nelle successive figure si riporta l'involuppo della distribuzione delle sollecitazioni SLE RARE (scalzamento + sovraccarico stradale) sugli elementi beam che rappresentano i pali: momento taglio e forza assiale. Le massime sollecitazioni risultano:

N = 333 kN / m	forza assiale (compressione)
N = 165 kN / m	forza assiale (trazione)
T = 130.0 kN / m	taglio massimo
M = 418 kN m / m	momento massimo palo compresso
M = 286 kN m / m	momento massimo palo teso

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 VARIANTE

OS 100 – DISSESTO AL KM 8+100 - Relazione Tecnica e di Calcolo

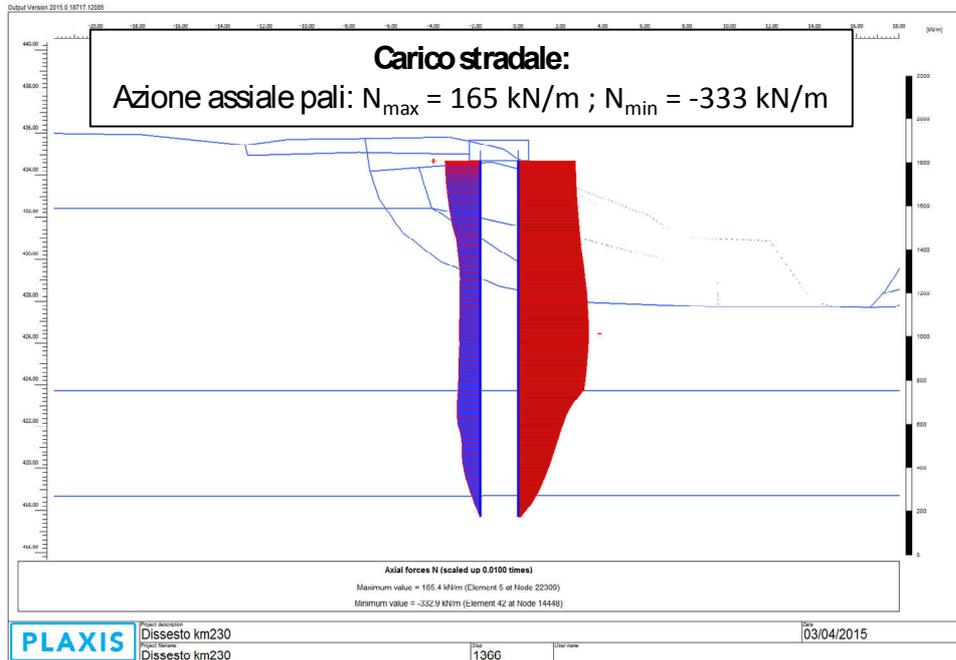


Figura 7.l – SLE RARE: sforzo normale (-) compressione, (+) trazione

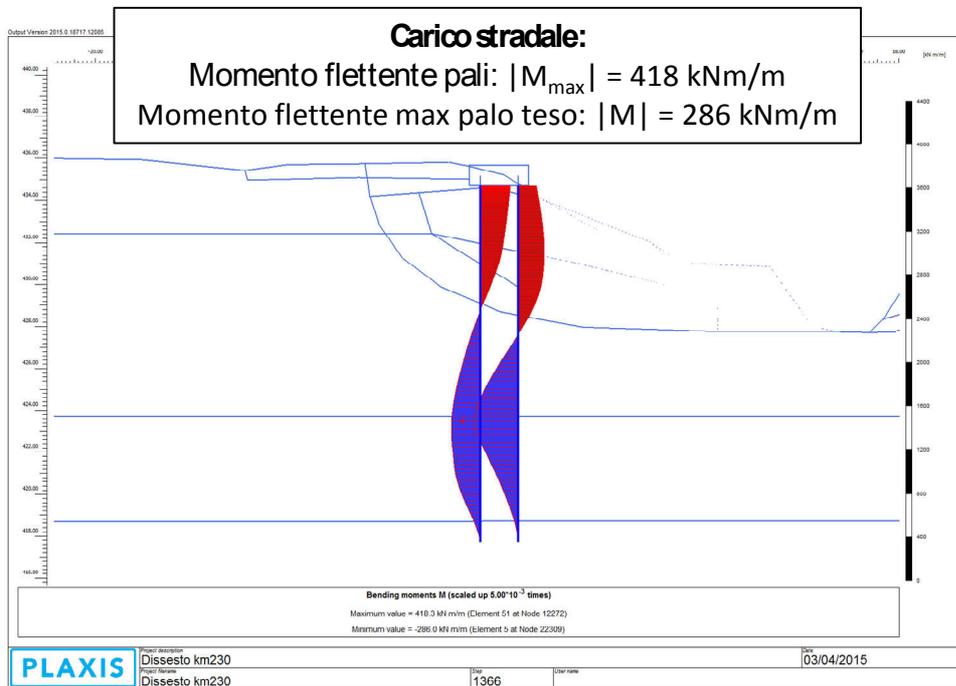


Figura 7.m – SLE RARE: involuppo momento sui pali

Affidamento a Contraente Generale dei “Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della 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 VARIANTE

OS 100 – DISSESTO AL KM 8+100 - Relazione Tecnica e di Calcolo

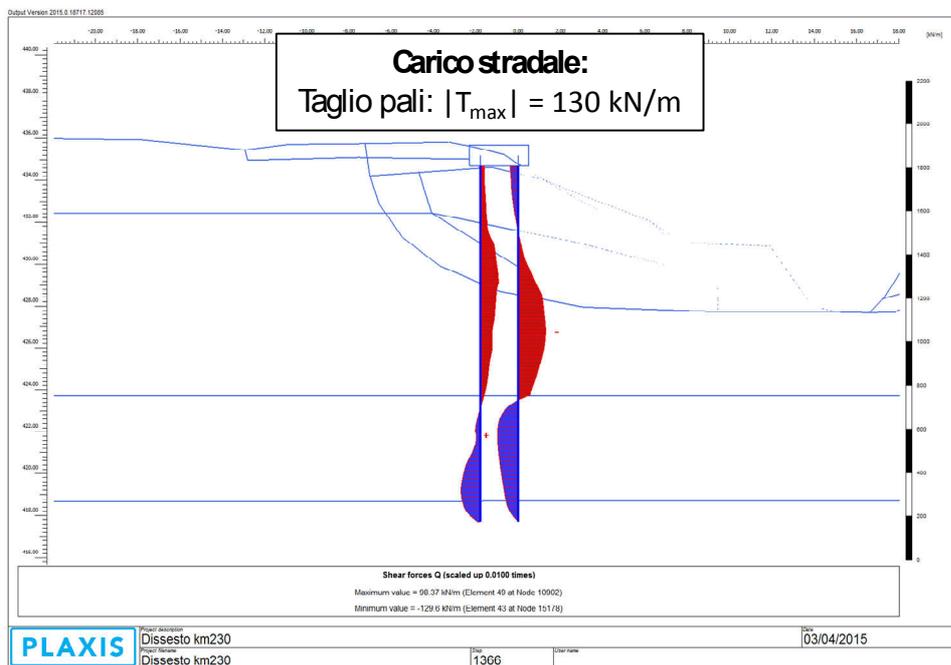


Figura 7.n – SLE RARE: involuppo taglio sui pali

#### 7.4.2.3 Sollecitazioni SLU Statiche e Simiche.

Nelle successive figure si riporta l’involuppo della distribuzione delle sollecitazioni SLU statiche e sismiche (scalzamento + urto guard rail e scalzamento + sisma) sugli elementi beam che rappresentano i pali: momento, taglio e forza assiale. Le massime sollecitazioni risultano:

N = 508 kN / m	forza assiale (compressione)
N = 342 kN / m	forza assiale (trazione)
T = 176.0 kN / m	taglio massimo
M = 640 kN m / m	momento massimo palo compresso
M = 416 kN m / m	momento massimo palo teso

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 VARIANTE

OS 100 – DISSESTO AL KM 8+100 - Relazione Tecnica e di Calcolo

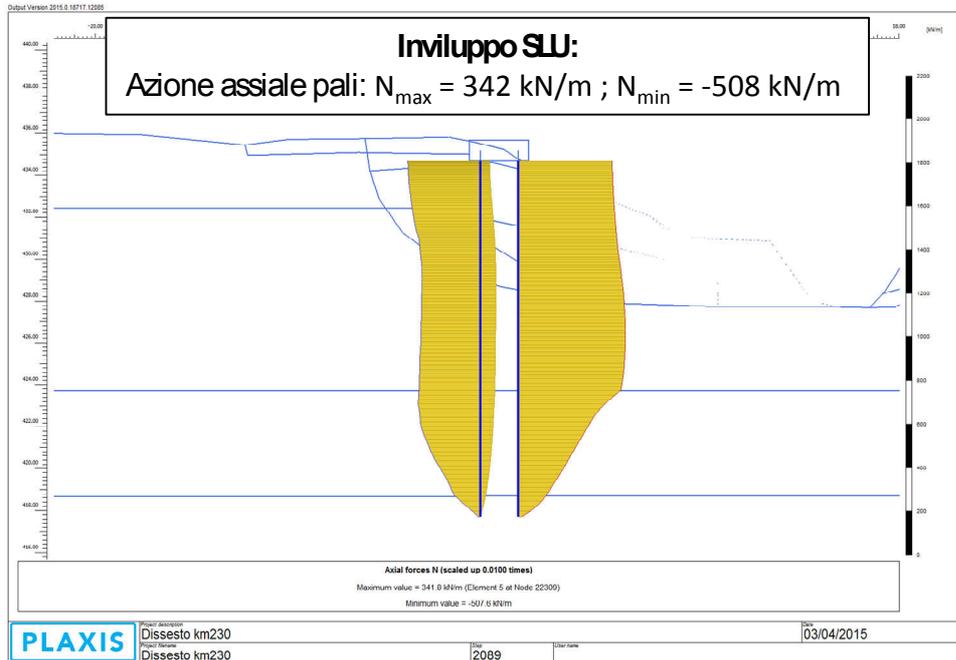


Figura 7.o – SLU: sforzo normale (-) compressione, (+) trazione

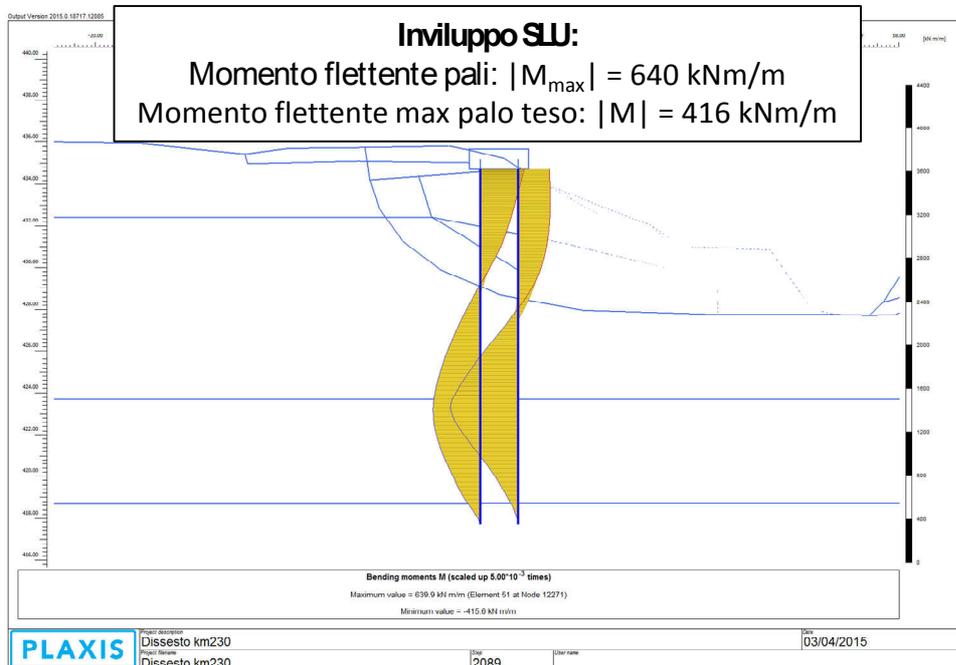


Figura 7.p – SLU: involupto momento sui pali

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

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE

OS 100 – DISSESTO AL KM 8+100 - Relazione Tecnica e di Calcolo

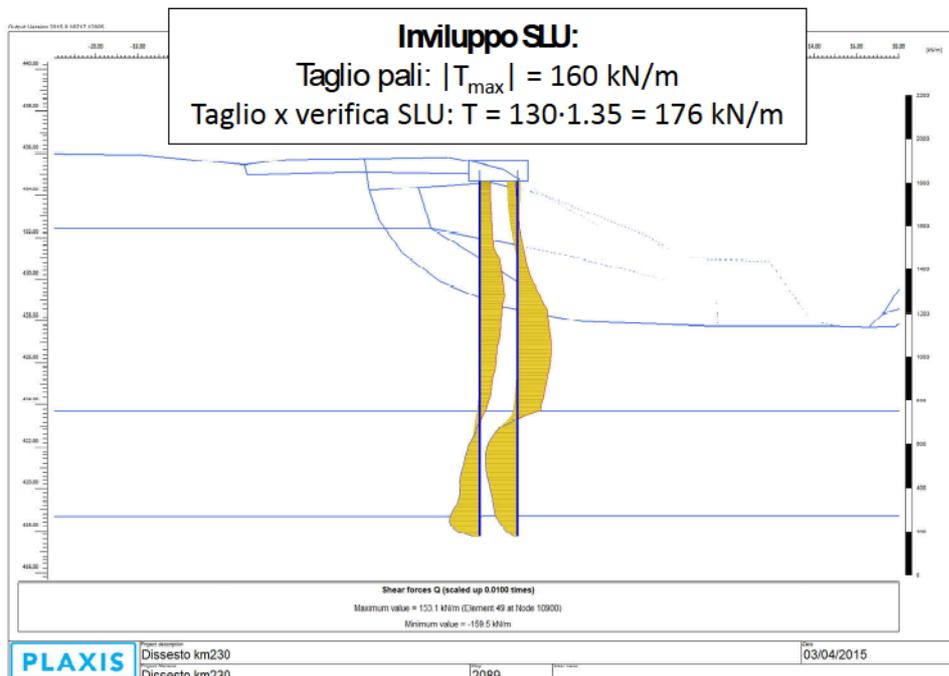
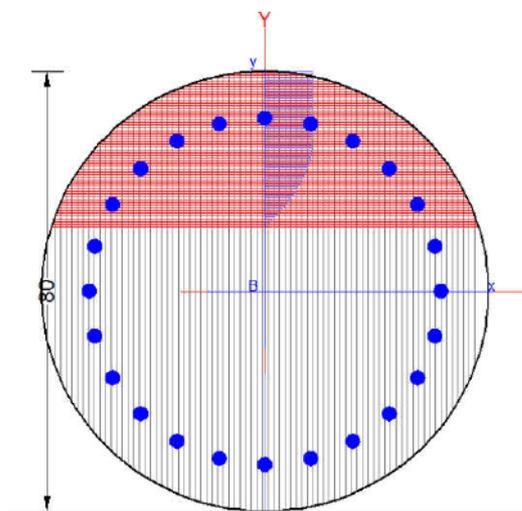


Figura 7.q – SLU: involuppo taglio sui pali

### 7.4.3 Verifiche di resistenza

Di seguito si riportano le verifiche delle varie sezioni di calcolo sia agli SLE che SLU alla luce delle sollecitazioni suddette. L'armatura longitudinale è costituita da n°24  $\phi 26$  e staffe  $\phi 12/20$ .

#### 7.4.3.1 Verifica di resistenza pali compressi



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 VARIANTE

OS 100 – DISSESTO AL KM 8+100 - Relazione Tecnica e di Calcolo

## DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: Dissesto\_Palo compresso

(Percorso File: G:\4539\_ASSISTENZA CANTIERE PALERMO - LERCARA\002\_Dissesti\CEDIMENTO SS121 - KM 203+000\Paratie\Verifica sezione\Dissesto\_Palo compresso.sez)

Descrizione Sezione:  
 Metodo di calcolo resistenza: Stati Limite Ultimi  
 Normativa di riferimento: N.T.C.  
 Tipologia sezione: Sezione predefinita  
 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 calcolo fcd:	170.00	daN/cm <sup>2</sup>
	Resistenza compress. ridotta fcd':	85.00	daN/cm <sup>2</sup>
	Deform. unitaria max resistenza ec2:	0.0020	
	Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035	
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	328360	daN/cm <sup>2</sup>
	Resis. media a trazione fctm:	29.00	daN/cm <sup>2</sup>
	Coeff.Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	180.00	daN/cm <sup>2</sup>
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	135.00	daN/cm <sup>2</sup>
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.200	mm
ACCIAIO -	Tipo:	B450C	
	Resist. caratt. a snervamento fyk:	4500.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. caratt. a rottura ftk:	4500.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. a snerv. di calcolo fyd:	3913.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. ultima di calcolo ftd:	3913.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Deform. ultima di calcolo Epu:	0.068	
	Modulo Elastico Ef:	2000000	daN/cm <sup>2</sup>
	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:	3600.0	daN/cm <sup>2</sup>	

## CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Diametro sezione: 80.0 cm  
 Barre circonferenza: 24Ø26 (127.4 cm<sup>2</sup>)  
 Coprif.(dal baric. barre): 8.5 cm

## ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)			
Mx	Momento flettente [daNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione			
Vy	Taglio [daN] in direzione parallela all'asse y baric. della sezione			
MT	Momento torcente [daN m]			
N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	76200	96000	26400	0

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

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

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della 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 VARIANTE**

**OS 100 – DISSESTO AL KM 8+100 - Relazione Tecnica e di Calcolo**

N°Comb.	N	Mx
1	49950	62700

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

N Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)  
Mx Coppia [daNm] 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	35250	38850 (23749)

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 7.2 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 5.6 cm  
Copriferro netto minimo staffe: 6.0 cm

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE**

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
N Sforzo normale [daN] applicato nel Baricentro (positivo se di compressione)  
Mx Momento flettente assegnato [daNm] riferito all'asse x baricentrico  
N ult Sforzo normale ultimo [daN] nella sezione (positivo se di compress.)  
Mx ult Momento flettente ultimo [daNm] riferito all'asse x baricentrico  
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult) e (N,Mx)  
Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000  
Yneuro Ordinata [cm] dell'asse neutro a rottura nel sistema di rif. X,Y,O sez.  
Mx sn. Momento flettente allo snervamento [daNm]  
x/d Rapp. di duttilità a rottura per sole travi (N = 0)  
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC]  
As Tesa Area armature long. [cm<sup>2</sup>] in zona tesa per sole travi (l'area minima ex (4.1.43)NTC è indicata tra parentesi)

N°Comb	Ver	N	Mx	N ult	Mx ult	Mis.Sic.	Yn	M sn	x/d	C.Rid.	As Tesa
1	S	76200	96000	76180	140095	1.459	11.7	107246	---	---	---

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO**

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione  
ec 3/7 Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace  
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	ec 3/7	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00350	-0.00074	40.0	0.00245	31.5	-0.00535	-31.5

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

Diametro staffe: 12 mm  
Passo staffe: 20.0 cm [Passo massimo di normativa = 25.0 cm]  
N.Bracci staffe: 2  
Area staffe/m : 11.3 cm<sup>2</sup>/m [Area Staffe Minima NTC = 2.3 cm<sup>2</sup>/m]

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 VARIANTE

OS 100 – DISSESTO AL KM 8+100 - Relazione Tecnica e di Calcolo

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - VERIFICHE A TAGLIO**

Ver	S = comb.verificata a taglio-tors./ N = comb. non verificata
Vsdu	Taglio agente [daN] uguale al taglio Vy di comb.
Vrd	Taglio resistente [daN] in assenza di staffe [formula (4.1.14)NTC]
Vcd	Taglio compressione resistente [daN] lato conglomerato [formula (4.1.19)NTC]
Vwd	Taglio trazione resistente [daN] assorbito dalle staffe [formula (4.1.18)NTC]
bw	Larghezza minima [cm] sezione misurata parallelam. all'asse neutro
Teta	Angolo [gradi sessadec.] 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 <sup>2</sup> /m]

N°Comb	Ver	Vsdu	Vrd	Vcd	Vwd	bw	Teta	Acw	ASt
1	S	26400	36254	124846	59811	72.3	21.80	1.089	5.0

**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 [(daN/cm <sup>2</sup> )
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 [(daN/cm <sup>2</sup> )
Yc min	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [daN/cm <sup>2</sup> ]
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 <sup>2</sup> ] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
As eff.	Area Barre tese di acciaio [cm <sup>2</sup> ] 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	124.6	-40.0	0.0	40.0	-2195	31.5	26.7	1537	37.2	---

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE**

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sclmax	Massima tensione nel conglomerato nello STATO I non fessurato [daN/cm <sup>2</sup> ]
Sclmin	Minima tensione nel conglomerato nello STATO I non fessurato [daN/cm <sup>2</sup> ]
K3	=0,125 per flessione; = 0,25 (Sclmin + Sclmax)/(2 Sclmin) per trazione eccentrica
Beta12	Prodotto dei Coeff. di aderenza Beta1*Beta2
Psi	= 1-Beta12*(Ssr/Ss) <sup>2</sup> = 1-Beta12*(fctm/Sclmin) <sup>2</sup> = 1-Beta12*(Mfess/M) <sup>2</sup> [B.6.6 DM96]
e sm	Deformazione unitaria media tra le fessure . Tra parentesi il valore minimo = 0.4 Ss/Es
srm	Distanza media in mm tra le fessure
wk	Apertura delle fessure in mm = 1,7*Eps*Srm. Tra parentesi è indicato il valore limite.
M fess.	Momento di prima fessurazione [daNm]

N°Comb	Ver	Sclmax	Sclmin	Sc Eff	K3	Beta12	Psi	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	92.0	-77.6	---	0.125	1.00	0.860	0.000944 (0.000439)	214	0.344	23443

**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	77.4	-40.0	0.0	40.0	-1325	31.5	26.7	1537	37.2	---

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE**

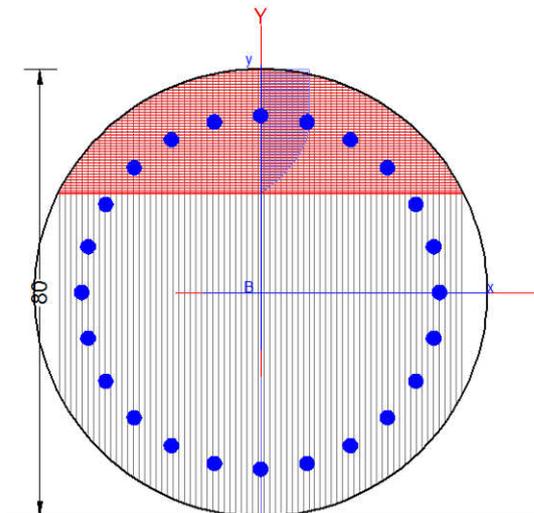
N°Comb	Ver	Sclmax	Sclmin	Sc Eff	K3	Beta12	Psi	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	57.6	-47.4	---	0.125	0.50	0.813	0.000539 (0.000265)	214	0.196 (0.20)	23749

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 VARIANTE

OS 100 – DISSESTO AL KM 8+100 - Relazione Tecnica e di Calcolo

### 7.4.3.2 Verifica di resistenza pali tesi



#### DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: Dissesto\_Palo teso

(Percorso File: G:\4539\_ASSISTENZA CANTIERE PALERMO - LERCARA\002\_Dissesti\CEDIMENTO SS121 - KM 203+000\Paratie\Verifica sezione\Dissesto\_Palo teso.sez)

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Tipologia sezione:	Sezione predefinita
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 calcolo fcd:	170.00 daN/cm <sup>2</sup>
	Resistenza compress. ridotta fcd':	85.00 daN/cm <sup>2</sup>
	Deform. unitaria max resistenza ec2:	0.0020
	Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	328360 daN/cm <sup>2</sup>
	Resis. media a trazione fctm:	29.00 daN/cm <sup>2</sup>
	Coeff.Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	180.00 daN/cm <sup>2</sup>
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	135.00 daN/cm <sup>2</sup>
Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.200 mm	
ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. a snervamento fyk:	4500.0 daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. caratt. a rottura ftk:	4500.0 daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. a snerv. di calcolo fyd:	3913.0 daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. ultima di calcolo ftd:	3913.0 daN/cm <sup>2</sup>
	Deform. ultima di calcolo Epu:	0.068
	Modulo Elastico Ef:	2000000 daN/cm <sup>2</sup>
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Bilineare finito
	Coeff. Aderenza istant. β1*β2:	1.00
	Coeff. Aderenza differito β1*β2:	0.50
	Comb.Rare - Sf Limite:	3600.0 daN/cm <sup>2</sup>

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 VARIANTE

OS 100 – DISSESTO AL KM 8+100 - Relazione Tecnica e di Calcolo

## CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Diametro sezione:	80.0	cm
Barre circonferenza:	24Ø26	(127.4 cm <sup>2</sup> )
Coprif.(dal baric. barre):	8.4	cm

## ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)			
Mx	Momento flettente [daNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione			
Vy	Taglio [daN] in direzione parallela all'asse y baric. della sezione			
MT	Momento torcente [daN m]			
N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	-51300	62400	26400	0

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

N	Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)	
Mx	Coppia [daNm] 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	-24750	42900

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

N	Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)	
Mx	Coppia [daNm] 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	-12150	31350 (20641)

## RISULTATI DEL CALCOLO

### Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	7.1	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	5.6	cm
Copriferro netto minimo staffe:	5.9	cm

## METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata										
N	Sforzo normale [daN] applicato nel Baricentro (positivo se di compressione)										
Mx	Momento flettente assegnato [daNm] riferito all'asse x baricentrico										
N ult	Sforzo normale ultimo [daN] nella sezione (positivo se di compress.)										
Mx ult	Momento flettente ultimo [daNm] riferito all'asse x baricentrico										
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult) e (N,Mx) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000										
Yneuro	Ordinata [cm] dell'asse neutro a rottura nel sistema di rif. X,Y,O sez.										
Mx sn.	Momento flettente allo snervamento [daNm]										
x/d	Rapp. di duttilità a rottura per sole travi (N = 0)										
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC]										
As Tesa	Area armature long. [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa per sole travi (l'area minima ex (4.1.43)NTC è indicata tra parentesi)										
N°Comb	Ver	N	Mx	N ult	Mx ult	Mis.Sic.	Yn	M sn	x/d	C.Rid.	As Tesa
1	S	-51300	62400	-51278	120158	1.926	17.6	83057	---	---	---

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 VARIANTE**

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO**

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
ec 3/7	Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace
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	ec 3/7	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00350	-0.00187	40.0	0.00218	31.6	-0.00771	-31.6

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

Diametro staffe:	12	mm	
Passo staffe:	20.0	cm	[Passo massimo di normativa = 25.0 cm]
N.Bracci staffe:	2		
Area staffe/m :	11.3	cm <sup>2</sup> /m	[Area Staffe Minima NTC = 2.3 cm <sup>2</sup> /m]

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - VERIFICHE A TAGLIO**

Ver	S = comb.verificata a taglio-tors./ N = comb. non verificata
Vsdu	Taglio agente [daN] uguale al taglio Vy di comb.
Vrd	Taglio resistente [daN] in assenza di staffe [formula (4.1.14)NTC]
Vcd	Taglio compressione resistente [daN] lato conglomerato [formula (4.1.19)NTC]
Vwd	Taglio trazione resistente [daN] assorbito dalle staffe [formula (4.1.18)NTC]
bw	Larghezza minima [cm] sezione misurata parallelam. all'asse neutro
Teta	Angolo [gradi sessadec.] 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 <sup>2</sup> /m]

N°Comb	Ver	Vsdu	Vrd	Vcd	Vwd	bw	Teta	Acw	ASt
1	S	26400	0	112226	60860	69.6	21.80	1.000	4.9

**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 [(daN/cm <sup>2</sup> )
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 [(daN/cm <sup>2</sup> )
Yc min	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [daN/cm <sup>2</sup> ]
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 <sup>2</sup> ] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
As eff.	Area Barre tese di acciaio [cm <sup>2</sup> ] 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	80.8	-40.0	0.0	40.0	-2005	31.6	26.6	1975	47.8	---

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE**

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sclmax	Massima tensione nel conglomerato nello STATO I non fessurato [daN/cm <sup>2</sup> ]
Sclmin	Minima tensione nel conglomerato nello STATO I non fessurato [daN/cm <sup>2</sup> ]
K3	=0,125 per flessione; = 0,25 (Sclmin + Sclmax)/(2 Sclmin) per trazione eccentrica
Beta12	Prodotto dei Coeff. di aderenza Beta1*Beta2
Psi	= 1-Beta12*(Ssr/Ss)^2 = 1-Beta12*(fctm/Sclmin)^2 = 1-Beta12*(Mfess/M)^2 [B.6.6 DM96]
e sm	Deformazione unitaria media tra le fessure . Tra parentesi il valore minimo = 0.4 Ss/Es
srm	Distanza media in mm tra le fessure
wk	Apertura delle fessure in mm = 1,7*Eps*Srm. Tra parentesi è indicato il valore limite.

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 VARIANTE

OS 100 – DISSESTO AL KM 8+100 - Relazione Tecnica e di Calcolo

M fess.		Momento di prima fessurazione [daNm]									
N°Comb	Ver	Sclmax	Sclmin	Sc Eff	K3	Beta12	Psi	e sm	sm	wk	M Fess.
1	S	54.3	-61.4	---	0.125	1.00	0.777	0.000779 (0.000401)	212	0.281	20248

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI**

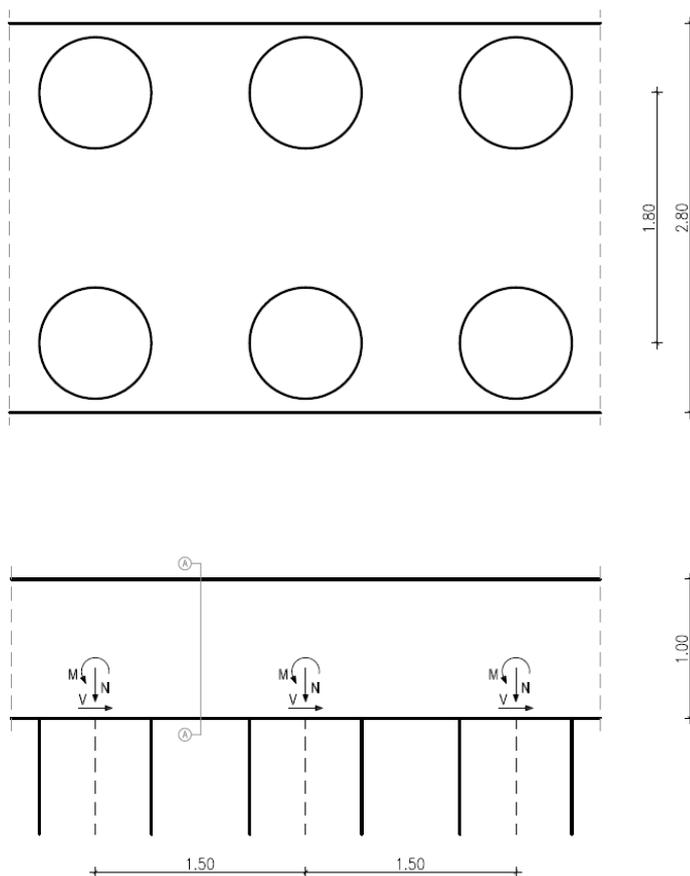
N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	59.5	-40.0	0.0	40.0	-1413	31.6	26.6	1975	47.8	---

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE**

N°Comb	Ver	Sclmax	Sclmin	Sc Eff	K3	Beta12	Psi	e sm	sm	wk	M Fess.
1	S	40.5	-44.0	---	0.125	0.50	0.783	0.000553 (0.000283)	212	0.200 (0.20)	20641

**7.4.3.3 Verifica di resistenza trave di coronamento**

Ai fini del progetto delle armature è stata considerata una porzione di soletta. E' stato calcolato il momento flettente agente sulla sezione di mezzeria tra due pali (sez. A-A della figura sottostante), a partire dalle sollecitazioni più gravose ai fini di tale calcolo, ossia dalle massime azioni in testa ai pali compressi.



Allo SLU, tali azioni valgono:

$$M=416 \text{ kNm/m}$$

$$V=176 \text{ kN/m}$$

$$N=508 \text{ kN/m}$$

Il momento sollecitante agente sulla sezione A-A vale:

$$M_{Ed} = 2 \cdot \left( M + V \cdot \frac{H}{2} + N \cdot \frac{i}{2} \right) = 2 \cdot (416 + 176 \cdot 0.5 + 508 \cdot 0.75) = 1770 \text{ kNm}$$

L'armatura longitudinale corrente della soletta è costituita da  $\phi 22/20$ " superiormente ed inferiormente.

In direzione trasversale, si dispone armatura di ripartizione costituita da  $\phi 12/20$ ".

Il taglio sollecitante agente sulla sezione A-A vale:

$$V_{Ed} = 2 \cdot N = 2 \cdot (508) = 1016 \text{ kN}$$

Si riportano a seguire i tabulati di calcolo relativi alle verifiche strutturali della trave di coronamento:

#### DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: Verifica trave di coronamento OS100

Descrizione Sezione:	Soletta OS100
Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Tipologia sezione:	Sezione predefinita
Forma della sezione:	Rettangolare
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:	C25/30	
	Resistenza compress. di calcolo fcd:	141,60	daN/cm <sup>2</sup>
	Resistenza compress. ridotta fcd':	70,80	daN/cm <sup>2</sup>
	Deform. unitaria max resistenza ec2:	0,0020	
	Deformazione unitaria ultima ecu:	0,0035	
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	314750	daN/cm <sup>2</sup>
	Coeff. di Poisson:	0,20	
	Resis. media a trazione fctm:	25,60	daN/cm <sup>2</sup>
	ACCIAIO -	Tipo:	B450C
Resist. caratt. a snervamento fyk:		4500,0	daN/cm <sup>2</sup>
Resist. caratt. a rottura ftk:		4500,0	daN/cm <sup>2</sup>
Resist. a snerv. di calcolo fyd:		3913,0	daN/cm <sup>2</sup>
Resist. ultima di calcolo ftd:		3913,0	daN/cm <sup>2</sup>
Deform. ultima di calcolo Epu:		0,068	daN/cm <sup>2</sup>
Modulo Elastico Ef:		2000000	daN/cm <sup>2</sup>
Diagramma tensioni-deformaz.:		Bilineare finito	

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 VARIANTE

OS 100 – DISSESTO AL KM 8+100 - Relazione Tecnica e di Calcolo

### CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Base:	280,0	cm
Altezza:	100,0	cm
Barre inferiori:	14Ø22	(53,2 cm <sup>2</sup> )
Barre superiori:	14Ø22	(53,2 cm <sup>2</sup> )
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	6,3	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	6,3	cm

### ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)
Mx	Coppia concentrata [daN m] applicata all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione
Vy	Taglio [daN] in direzione parallela all'asse y baric. della sezione
MT	Momento torcente [daN m]

N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	0	177000	101600	0

### RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	5,2	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	18,4	cm
Copriferro netto minimo staffe:	4,0	cm

### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [daN] (positivo se di compressione)
Mx	Momento flettente assegnato [daNm] riferito all'asse x baricentrico
N ult	Sforzo normale ultimo [daN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx ult	Momento flettente ultimo [daNm] riferito all'asse x baricentrico
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult, Mx ult) e (N, Mx) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
Yneutro	Ordinata [cm] dell'asse neutro a rottura nel sistema di rif. X,Y,O sez.
Mx sn.	Momento flettente allo snervamento [daNm]
x/d	Rapp. di duttilità a rottura solo se N = 0 (travi)
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC]

N°Comb	Ver	N	Mx	N ult	M ult	Mis.Sic.	Yn	M sn	x/d	C.Rid.
1	S	0	177000	-15	189456	1,070	93,6	181660	0,07	0,70

### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
ec 3/7	Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
ef min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Yf min	Ordinata in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,O sez.)
ef max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)
Yf max	Ordinata in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	ec 3/7	Yc max	ef min	Yf min	ef max	Yf max
1	0,00350	-0,02006	100,0	0,00004	93,7	-0,04802	6,3

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

Diametro staffe:	12	mm
Passo staffe:	20,0	cm
N.Bracci staffe:	4	
Area staffe/m :	22,6	cm <sup>2</sup> /m

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 VARIANTE

OS 100 – DISSESTO AL KM 8+100 - Relazione Tecnica e di Calcolo

#### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - VERIFICHE A TAGLIO

Ver	S = comb.verificata a taglio-tors./ N = comb. non verificata
Vsdu	Taglio agente [daN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)
Vrd	Taglio resistente [daN] in assenza di staffe [formula (4.1.14)NTC]
Vcd	Taglio compressione resistente [daN] lato conglomerato
Vwd	Taglio trazione resistente [daN] assorbito dalle staffe
bw	Larghezza minima [cm] sezione misurata parallelam. all'asse neutro
Teta	Angolo [gradi sessadec.] di inclinazione dei puntoni di conglomerato
Acw	Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
Afst	Area staffe/metro strettamente necessaria per taglio e torsione [cm <sup>2</sup> /m]

N°Comb	Ver	Vsdu	Vrd	Vcd	Vwd	bw	Teta	Acw	Afst
1	S	101600	81163	576469	186601	280,0	21,80	1,000	12,3

Il rapporto tra momento sollecitante e momento resistente vale  $\rho=1770/1895=0.93$ .

Essendo  $\rho < 1$  la verifica a flessione della sezione più sollecitata è soddisfatta, come anche la verifica a taglio con rapporto tra taglio sollecitante e taglio resistente pari a  $\rho=0.54 < 1$ .

#### 7.4.4 Stabilità globale

La fase maggiormente critica per la stabilità del sistema geotecnico struttura-terreno risulta essere quella in cui si ha lo scalzamento.

La determinazione del coefficiente di sicurezza avviene mediante un algoritmo iterativo ( $\varphi'$  – c' reduction method, Dawson, Roth and Drescher, 1999) che, sulla base dei dati di partenza ( $c'$  e  $\tan \varphi'$ ), determina successive condizioni di equilibrio del sistema eseguendo, ad ogni ciclo, una progressiva riduzione delle resistenze fino al collasso.

Le seguenti *Figura 7.r* e *Figura 7.r* riportano il meccanismo di collasso evidenziato dalla riduzione dei parametri di resistenza al taglio del terreno, relativamente alla fase nella quale si ha lo scalzamento. E' ben distinguibile il classico cinematismo di collasso di Terzaghi con il tipico meccanismo del cuneo di spinta a monte e di resistenza passiva a valle.

Il fattore di sicurezza complessivo, valutato attraverso la progressiva riduzione dei parametri di resistenza al taglio, è pari a 1.4, maggiore del valore minimo richiesto dalla normativa ( $\gamma_M \times \gamma_R = 1.25 \times 1.1$ ).

La verifica è soddisfatta. Il sistema geotecnico struttura-terreno e fondo scavo risultano stabili.

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 VARIANTE

OS 100 – DISSESTO AL KM 8+100 - Relazione Tecnica e di Calcolo

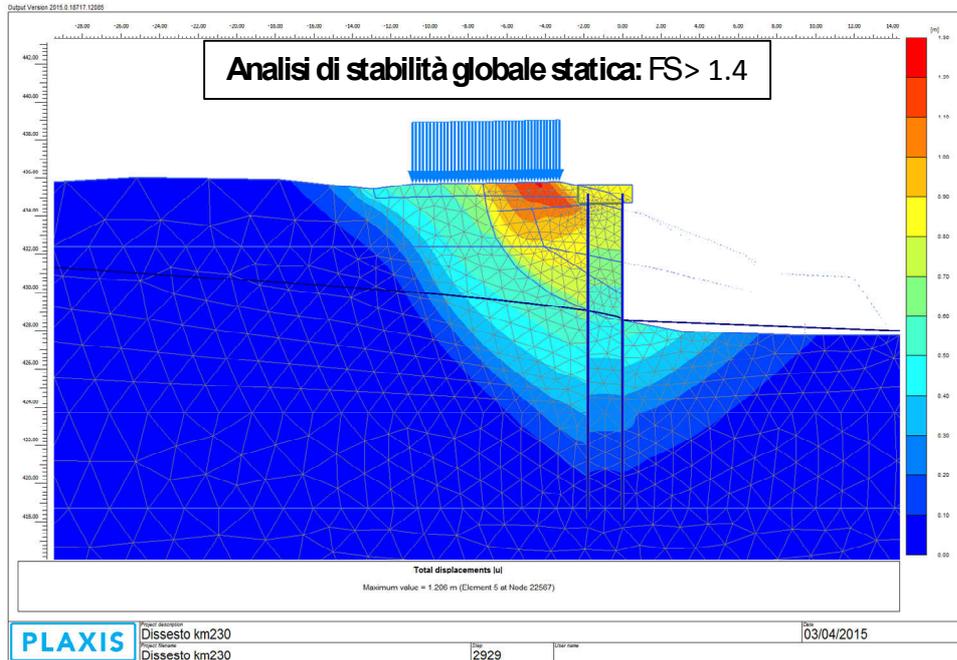


Figura 7.r – Analisi stabilità statica (c-phi reduction method,  $FS > 1.4$ )

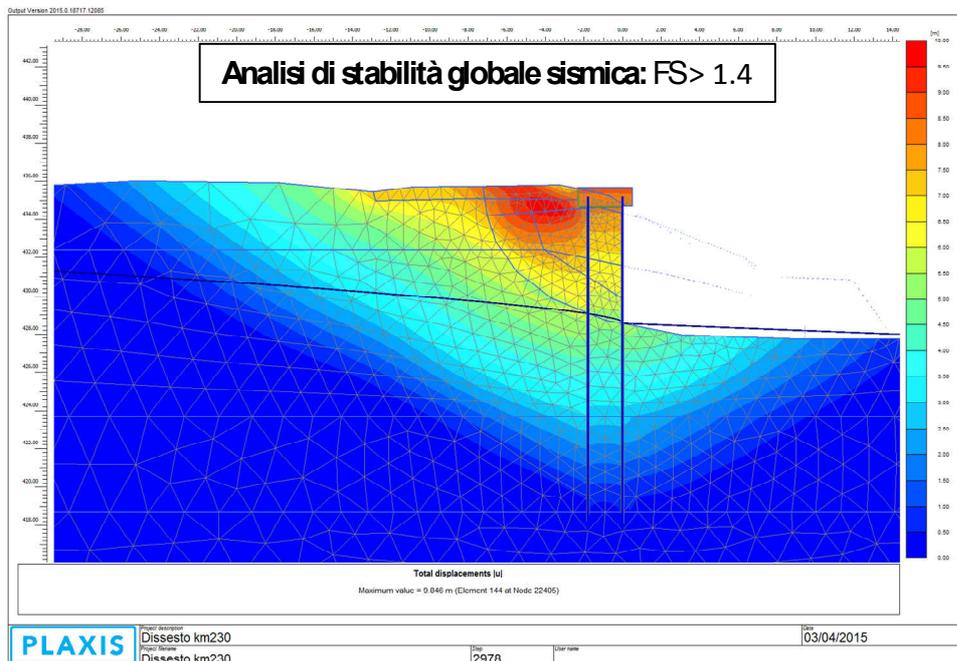


Figura 7.s – Analisi stabilità sismica (c-phi reduction method,  $FS > 1.4$ )

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

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE

OS 100 – DISSESTO AL KM 8+100 - Relazione Tecnica e di Calcolo

