



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 Lambertini

- PERIZIA DI VARIANTE N.1 -

BOLOGNETTA S.c.p.a.

Titolo elaborato:

OPERE DI SOSTEGNO - VIABILITA' SECONDARIA VS29 - Lotto 2a OS106 - Paratia pali sx da pk. 0+925 a pk. 0+985 Relazione di calcolo

Codice Unico Progetto (CUP) : F41B03000230001

Codice elaborato:	OPERA	ARGOMENTO	DOC. E PROG.	FASE	REVISIONE
PA17/08	PV	OS106	RC01	5	0

CARTELLA:	FILE NAME:	NOTE:	PROT.	SCALA:
	PVOS106RC01_50_4137.dwg	1=1	4 1 3 7	Relazione
5				
4				
3				
2				
1				
0	PRIMA EMISSIONE		Novembre 2015	M.Mancone S. Fortino D. Tironi
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO APPROVATO

A.T.I. Progettisti : Capogruppo:

POLITECNICA

INGEGNERIA E ARCHITETTURA

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

Mandante:

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

INDICE

INDICE	1
1 Premessa.....	3
2 Descrizione dell'intervento.....	3
3 Normativa di riferimento	11
4 Elaborati di progetto di riferimento.....	11
5 Materiali	12
5.1 Acciaio	12
5.1.1 Acciaio per armatura strutture in c.a.	12
5.2 Calcestruzzo	12
5.2.1 Calcestruzzo per pali	12
5.2.2 Calcestruzzo per trave di coronamento	12
6 Caratterizzazione sismica dell'area	13
6.1 Periodo di riferimento per l'azione sismica	13
6.2 Azione sismica di riferimento	13
7 caratterizzazione geotecnica	15
7.1 indagini geognostiche e inquadramento geotecnico dell'area	15
7.2 sezione geotecnica e stratigrafica di riferimento per il calcolo dell'opera	19
8 Analisi e verifica delle opere.....	26
8.1 Metodologie di calcolo	26
8.1.1 Plaxis VIP 2015: metodologia di calcolo, legami costitutivi e parametri	27
8.1.1.1 Metodologia e legami costitutivi dei materiali	27
8.1.1.2 Stabilità globale	27
8.1.1.3 Falda, carichi, sovraccarichi e combinazioni	29
8.2 Descrizione delle fasi di calcolo	31
8.2.1 Sezione di calcolo	31
8.3 Risultati e verifiche	36
8.3.1 Spostamenti	36
8.3.2 Sollecitazioni sugli elementi strutturali	38
8.3.2.1 Sollecitazioni SLE Q.P.....	38
8.3.2.2 Sollecitazioni SLE RARE	40
8.3.2.3 Sollecitazioni SLU Statiche	42
8.3.2.4 Sollecitazioni SLV	42
8.3.3 Verifiche di resistenza	44

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

OS106 – Paratia di sostegno SP 55 bis - Relazione Tecnica e di Calcolo

8.3.3.1	Verifica di resistenza pali	45
8.3.3.2	Verifiche di resistenza cordolo di testa.....	49
8.3.4	Stabilità globale.....	50
9	SOVRASTRUTTURA STRADALE	52
10	ALLEGATO 1- FASCICOLO DI CALCOLO MODELLO FEM	54

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

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE

OS106 – Paratia di sostegno SP 55 bis - Relazione Tecnica e di Calcolo

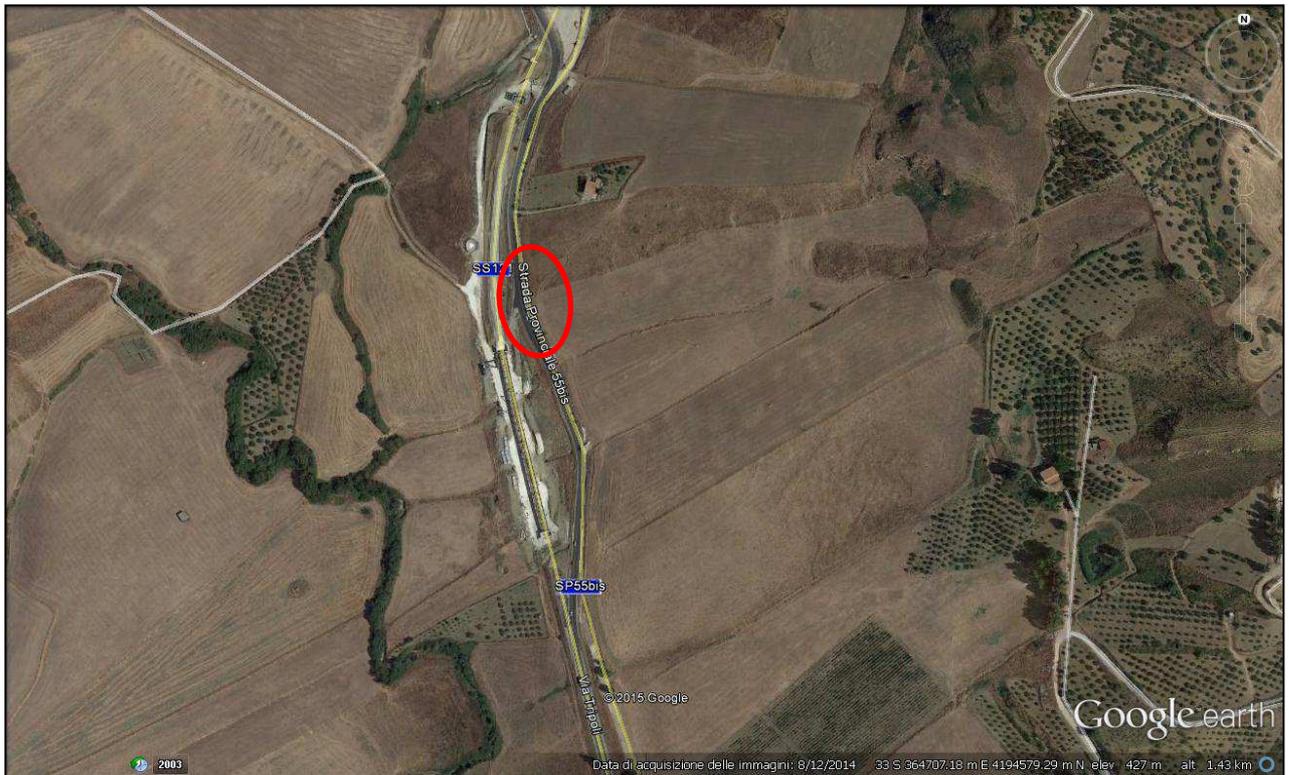


Figura 1 – Area in cui ricade l'intervento in esame. Immagine Google Earth 2014.

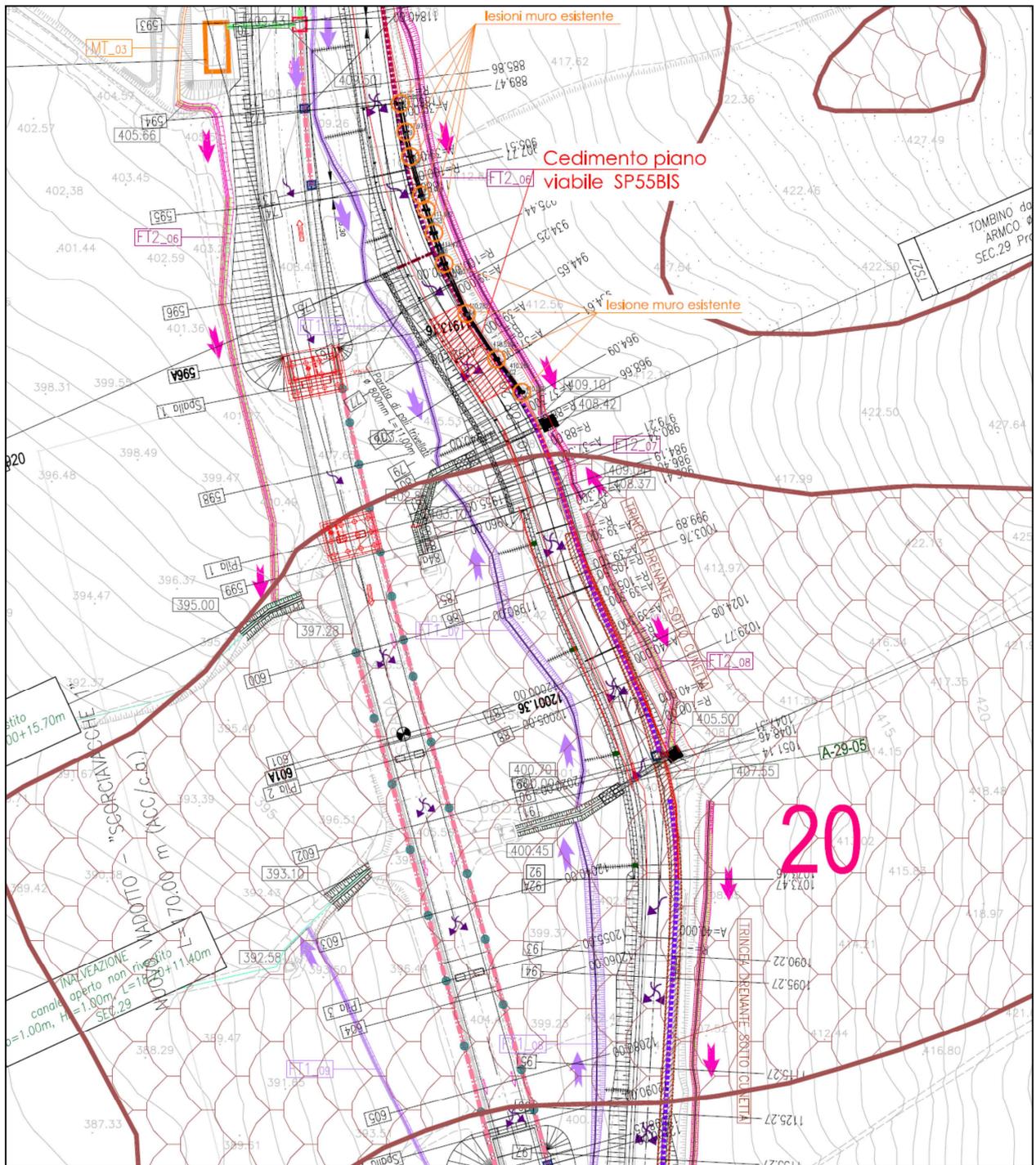


Figura 2 - Stralcio planimetrico con ubicazione del cedimento del piano viabile e delle lesioni sul muro esistente di monte della SP 55 bis

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

OS106 – Paratia di sostegno SP 55 bis - Relazione Tecnica e di Calcolo



Figura 3 - Vista del cedimento/abbassamento del piano viabile in corrispondenza della sezione n.76-79

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

OS106 – Paratia di sostegno SP 55 bis - Relazione Tecnica e di Calcolo



Figura 4 - Vista del cedimento/abbassamento del piano viabile in corrispondenza della sezione n.76-79



Figura 5 - Vista di alcune lesioni sul muro esistente lato monte in corrispondenza della sez.75 circa

In prima istanza, sulla base dei sopralluoghi effettuati, dal confronto tra le sequenze di immagini di Google Earth riferite a vari anni, nonché dall’analisi delle indagini geognostiche di PEA e PD, si possono avanzare le seguenti considerazioni, relativamente al cedimento del piano stradale sopra descritto:

- in generale la SP55bis attraversa un versante che presenta molte situazioni di dissesto attive e, dunque, si inserisce in un contesto geomorfologico fragile;
- il tratto in cui si è manifestato il cedimento del piano viabile (vedi fig. 2-3-4) e in cui il muro di contenimento lato monte si presenta lesionato (vedi fig. 2-4), si trova in prossimità dell’area mappata in frana per colamento attiva in PEA (vedi fig. 2 e cfr elab. “PV_GE_RT01_40_4137-Paratia di pali Os 106 -Relazione geologica”);
- la SP55 bis, da aprile 2015, a seguito della chiusura della autostrada PA-CT, risulta soggetta a volumi di traffico, soprattutto pesante, molto maggiori rispetto a quelli di progetto.

Pertanto, sulla base di tutto quanto sopra riportato, e tenendo presente, altresì, che in questo momento il tratto stradale in esame risulta assolutamente strategico per i trasporti dell’area siciliana nord-occidentale, essendo di fatto la principale e quasi unica alternativa al collegamento tra i capoluoghi di Palermo e Agrigento, si è ritenuto indispensabile ed improcrastinabile la progettazione e realizzazione di un opera di presidio del piano viabile, che costituisca efficace

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

OS106 – Paratia di sostegno SP 55 bis - Relazione Tecnica e di Calcolo

contenimento del rilevato e del piano viabile stesso, nei confronti del cinematismo locale che si è manifestato, in maniera tale da consentire il risanamento della pavimentazione ed il ripristino delle condizioni di sicurezza per il transito veicolare.

L'intervento progettuale, cui la presente relazione di calcolo si riferisce, è costituito da una paratia di pali del diametro $D=800$ mm, disposti ad interasse 1,0 m e di lunghezza pari a 11 m, collegati in testa da un cordolo in c.a. di larghezza ed altezza pari ad 1,0 m (per una altezza totale di 12 m) e il cui sviluppo longitudinale è pari a circa 60 m compreso tra le sezioni di progetto della Sp 55 bis n.76 e 84 , alla quale viene assegnato l'identificativo di wbs “OS106”.

L'intervento prevede, oltre alla realizzazione della paratia, il rivestimento in c.a. del fosso di guardia in terra già previsto nel progetto deviazione scorciavacche e l'estensione della sistemazione idraulica del tombino TS27, mediante rivestimento dell'alveo in materassi tipo reno.

Di seguito si riportano alcuni stralci significativi della paratia in progetto, rimandando per tutti i dettagli del caso agli elaborati grafici appositamente predisposti ed allegati alla presente relazione, di cui al successivo elenco,.

Paratia SP 55 bis - Planimetria, sviluppata e sezioni tipo	varie	PVOS106N001	_	40	_	4137
Paratia SP 55 bis - Sezioni trasversali di progetto	1:200	PVOS106N002	_	40	_	4137

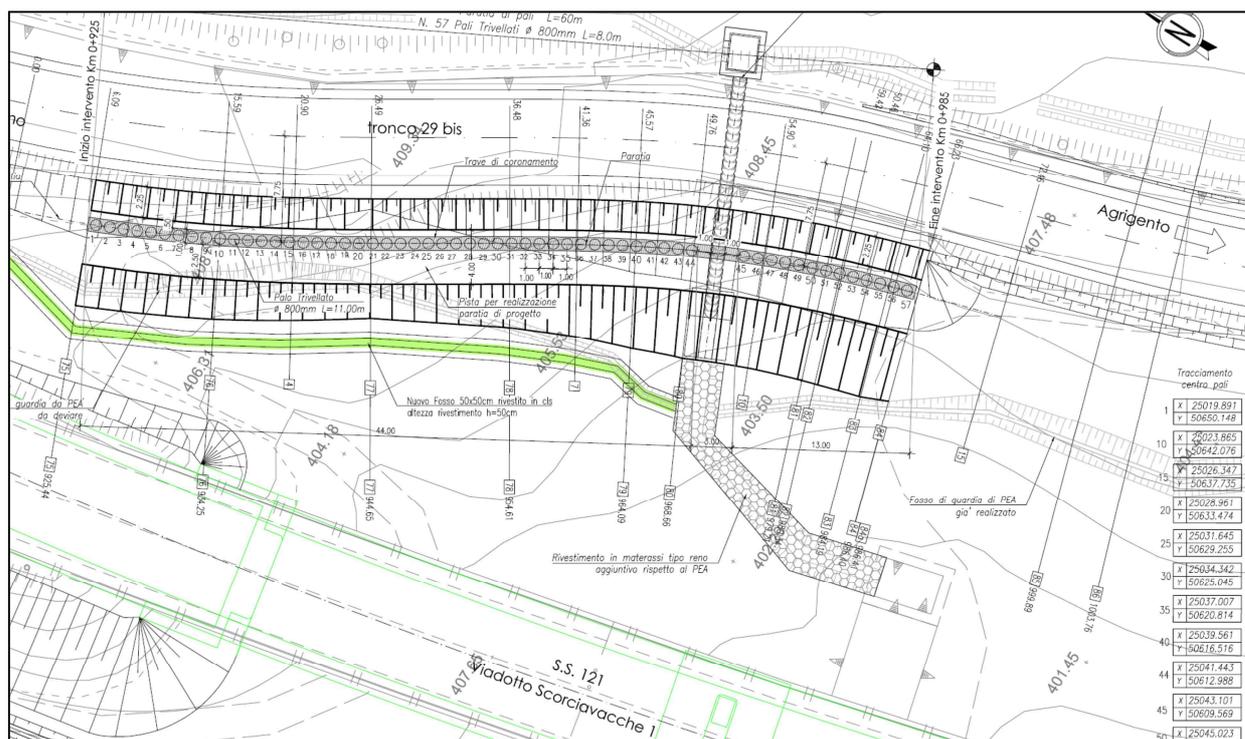


Figura 6 - Stralzo planimetrico con ubicazione della paratia di progetto.

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

OS106 – Paratia di sostegno SP 55 bis - Relazione Tecnica e di Calcolo

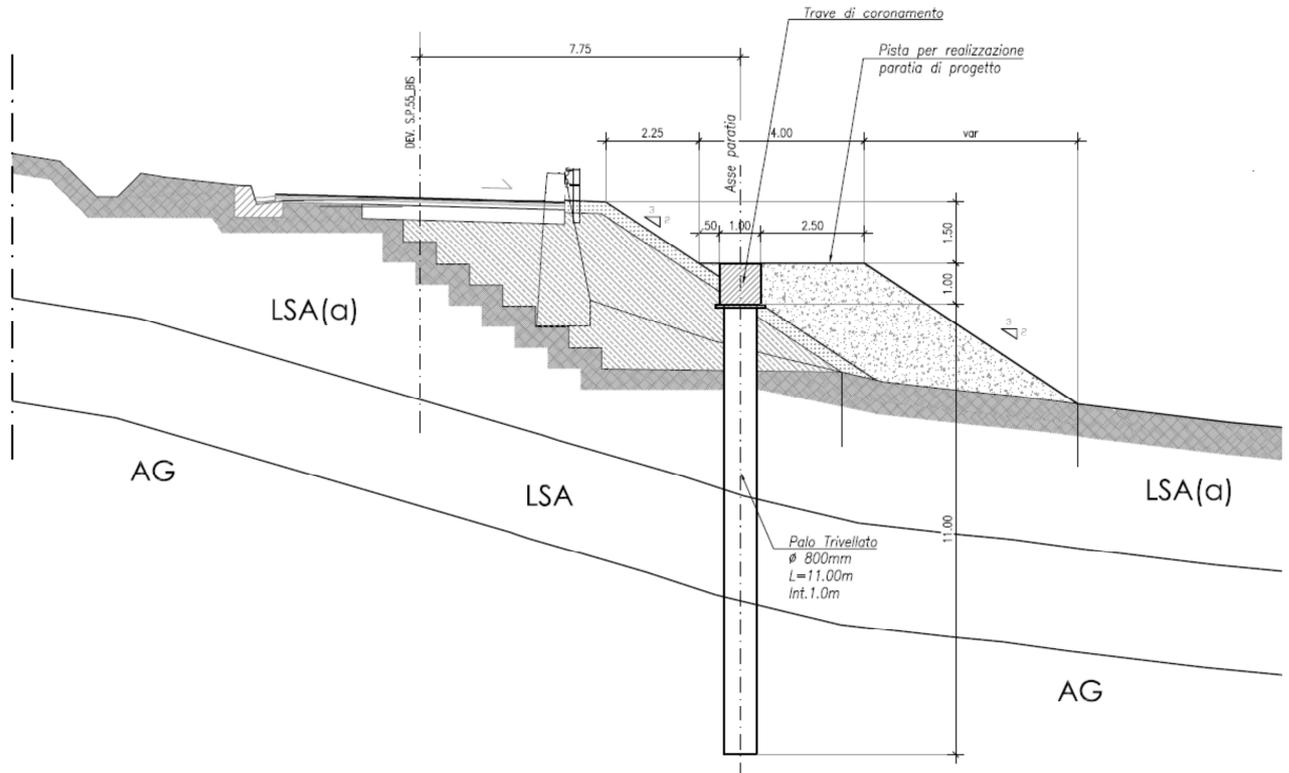


Figura 7 - Sezione tipo della paratia di progetto.

5 MATERIALI

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

5.1 Acciaio

5.1.1 ACCIAIO PER ARMATURA STRUTTURE IN C.A.

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

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

5.2 Calcestruzzo

5.2.1 CALCESTRUZZO PER PALI

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

5.2.2 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

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

Il calcolo delle azioni sismiche, di seguito descritte, viene condotto nel rispetto delle "Norme Tecniche per le costruzioni D.M. 14/01/2008" e s.m.i.

Per la caratterizzazione dell'azione sismica sulle opere distribuite lungo il tracciato si è fatto riferimento alle seguenti coordinate geografiche:

Longitudine	13°27'47.88"E	13°.46330
Latitudine	37°53'43.44"N	37°.89540

Tabella 6.1 Parametri sismici per la definizione dello spettro di progetto.

STATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_c^* [s]
SLO	60	0.058	2.375	0.263
SLD	101	0.073	2.379	0.277
SLV	949	0.173	2.498	0.323
SLC	1950	0.217	2.548	0.336

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

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0.173 g
F_o	2.498
T_c^*	0.323 s
S_s	1.753
C_c	2.199
S_T	1.000
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.753
η	1.000
T_B	0.237 s
T_C	0.711 s
T_D	2.291 s

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

OS106 – Paratia di sostegno SP 55 bis - Relazione Tecnica e di Calcolo

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

categoria di suolo C

Coefficiente topografico

$St=1.00$

fattore di sito

$S = 1.50;$

massima accelerazione orizzontale al suolo

$a_g/g = 0.173;$

Da cui in base alla deformabilità dell'opera considerando un fattore:

$$\alpha = 0.847$$

$$\beta = 0.476$$

Si ottiene un valore del coefficiente di intensità sismica orizzontale $k_h = 0.105$.

7

CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

7.1 indagini geognostiche e inquadramento geotecnico dell'area

L'area in cui ricade l'intervento in esame è stata oggetto di numerose indagini a supporto della Progettazione Definitiva ed Esecutiva, consistenti in sondaggi a carotaggio continuo, attrezzati con tubo inclinometrico e tubo downhole, sismica a rifrazione, tomografie sismiche, sismica a rifrazione di precisione e prove penetrometriche CPTE.

Nell'area oggetto d'intervento sono state eseguite n°2 campagne d'indagine:

- campagna geognostica 2009 – 2010 a supporto del Progetto Definitivo dell'intera tratta;
- campagna d'indagine integrativa 2011 a supporto del progetto esecutivo dei viadotti Scorciavacche;

Nella planimetria seguente si riporta l'ubicazione delle indagini suddette e l'area oggetto d'intervento.

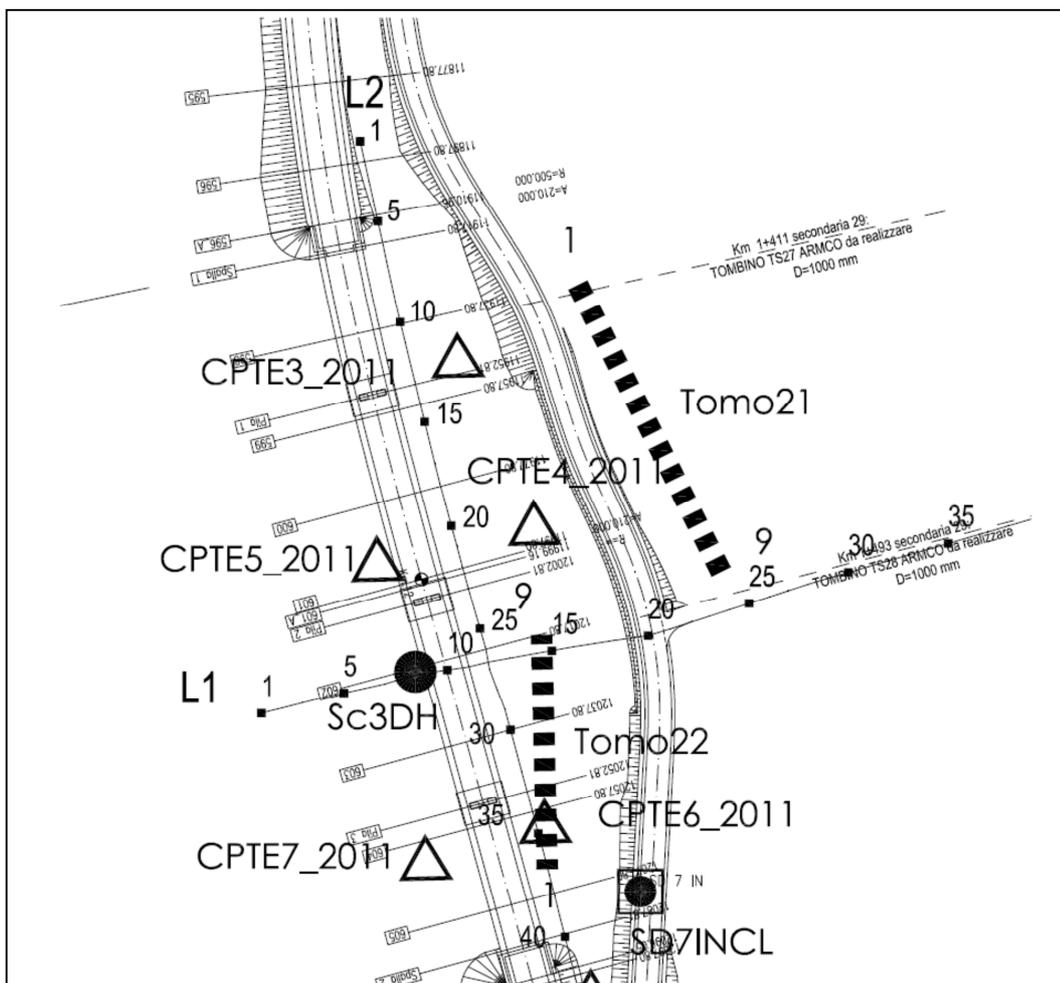


Figura 8 - Planimetria ubicazione indagini di PD e PE

Per quanto riguarda, l'inquadramento geologico e geomorfologico e idrogeologico, l'analisi delle suddette indagini geognostiche eseguite e la relativa definizione del modello stratigrafico di riferimento, si rimanda alla Relazione Geologica di Progetto esecutivo di variante, appositamente predisposta in questa fase quale documento di sintesi del livello di conoscenza acquisito (cfr elab. PV_GE_RT01_40_4137-Paratia di pali os 106-Relazione geologica)

In riferimento a tale documento la stratigrafia di riferimento per l'opera in esame risulta essere la seguente:

Profondità m da p.c.	Litologia	Formazione
0,00-3,00	sabbie fini limose e limo argilloso plastico	aF/coltre superficiale
3,00-6,00	argille limose e argille limoso-sabbiose da plastiche a poco plastiche a tratti mediamente consolidate	FCS alterata
6,00-15,00	argille limose consolidate con livelletti millimetrici sabbiosi	FCS

Tabella – Modello stratigrafico di riferimento

Per quanto riguarda l'inquadramento geotecnico delle formazioni, si fa riferimento a quanto riportato nella Relazione Geotecnica di PEA, elaborato PAGTRT01_30_4137 [2] di cui di seguito si riporta una breve sintesi, rimandando alla stesa per tutti dettagli del caso

“Per le unità geotecniche individuate lungo il tracciato della S.P. 55bis, si assumeranno i seguenti parametri geotecnici di progetto:

Unità R – Riperto e struttura stradale (ove incontrata)

$\gamma = 19 \div 20 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\phi' = 28 \div 33^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$\phi' = 38^\circ$	angolo di resistenza al taglio per rilevato stradale
$c' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata
$E' = 15 \div 30 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico

Unità LSA – Limi sabbiosi argillosi

$\gamma = 19.5 \div 20 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\phi' = 24 \div 27^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 5 \div 25 \text{ kPa}$	coesione drenata
$c_u = 50 \div 400 \text{ kPa}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$E' = 15 \div 50 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico

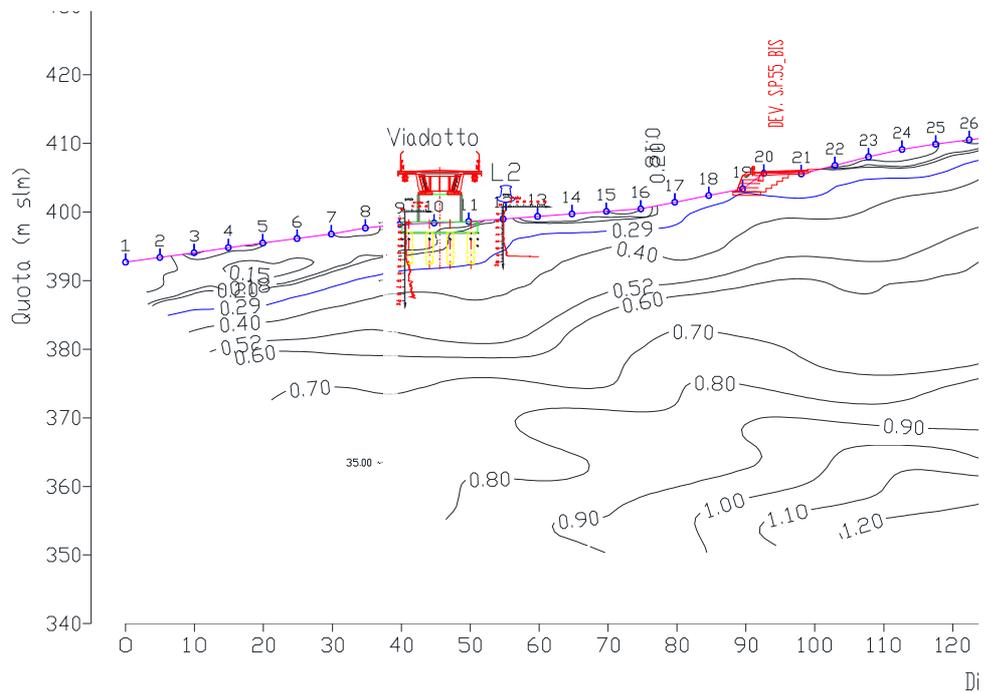
Unità AG – Argille limose grige

$\gamma = 20.5 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\phi' = 24 \div 28^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 15 \div 35 \text{ kPa}$	coesione drenata

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

OS106 – Paratia di sostegno SP 55 bis - Relazione Tecnica e di Calcolo



Pertanto correlando i valori ottenuti con le indagini dirette in sito quali prove penetrometriche statiche eseguite a valle, si sono potuti ricavare i parametri meccanici di tali terreni ed in particolare l'andamento della coesione non drenata c_u , essendo terreni prevalentemente coesivi.

Da ciò è emerso che per tener conto dello strato detensionato, si è assunto una fascia di terreno per l'Unità LSA di spessore 3.0 m da p.c. con caratteristiche meccaniche ridotte. Tali valori si riferiscono ai parametri minimi fra quelli riscontrati dalle prove di laboratorio e in sito sulla stessa Unità LSA e pari a:

$\gamma = 19.5 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\varphi' = 22 \div 24^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 0 \div 2 \text{ kPa}$	coesione drenata
$c_u = 50 \div 70 \text{ kPa}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$E' = 10 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico

7.2 sezione geotecnica e stratigrafica di riferimento per il calcolo dell'opera

Nelle figure seguenti, si riporta la rielaborazione delle prova CPT3, la più prossima alla zona di collocazione dell'opera in esame, alla quale è stato fatto riferimento per la definizione della modello stratigrafico e della sezione geologica di riferimento per il calcolo dell'opera (cfr elab. PV_GE_RT01_40_4137-Paratia di pali OS 106-Relazione geologica).

In particolare, con riferimento alla suddetta CPT3 nelle figure seguenti si riporta il grafico con l'andamento delle resistenza alla punta q_c . (fig. 9), dalla quale con le usuali correlazioni di letterature è possibile ricavare l'andamento della coesione non drenata c_u (fig. 10) e del Modulo elastico (fig. 11), che di fatto confermano i valori di range assegnati alle varie formazioni nella relazione geotecnica di PEA.

Nelle figure seguenti si riporta altresì in accordo a quanto definito nella relazione geologica i livelli di passaggio delle varie formazioni, e le sigle/denominazione geologica (tra parentesi) e geotecnica assegnata alle stesse.

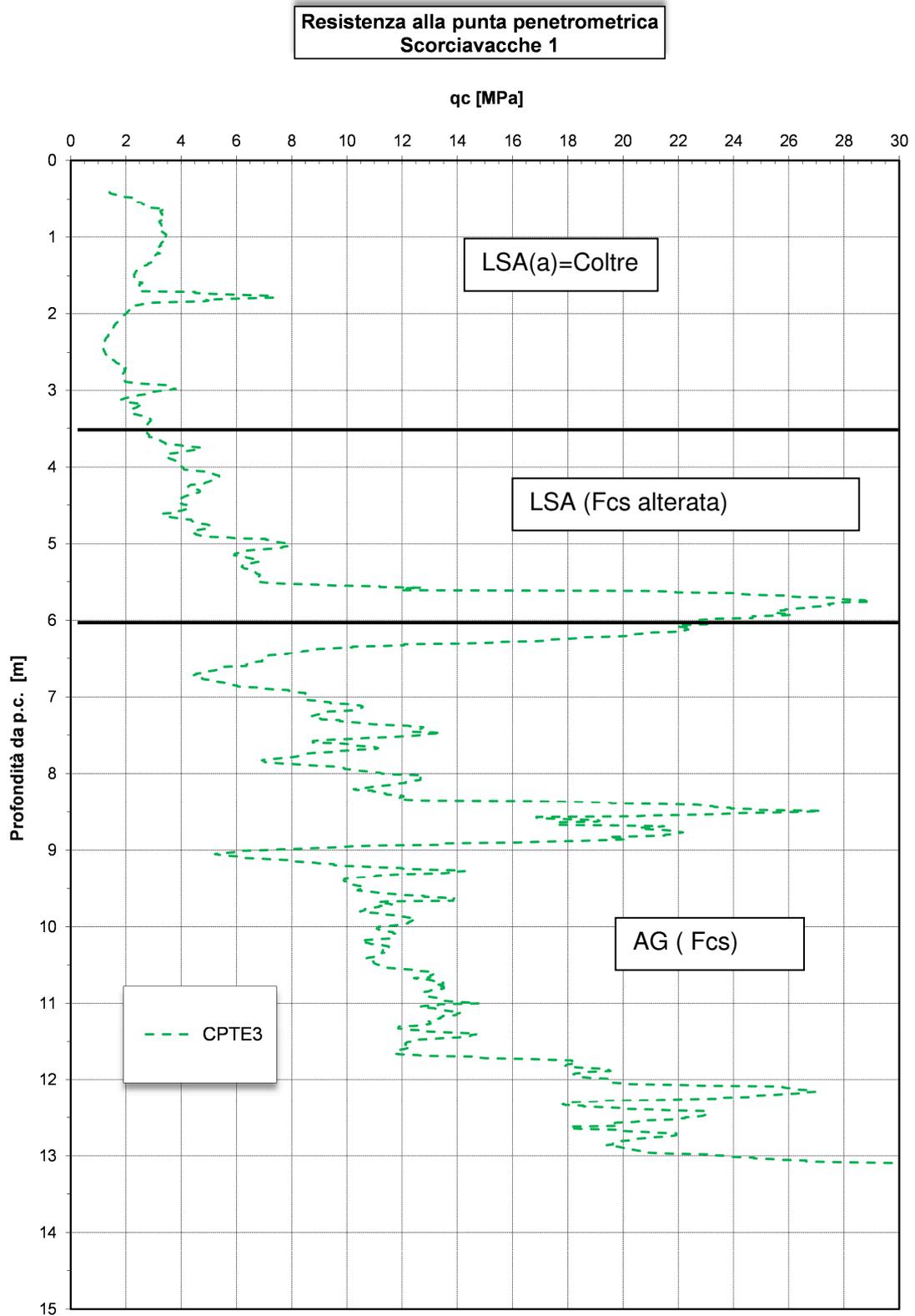


Figura 9 -- Andamento qc

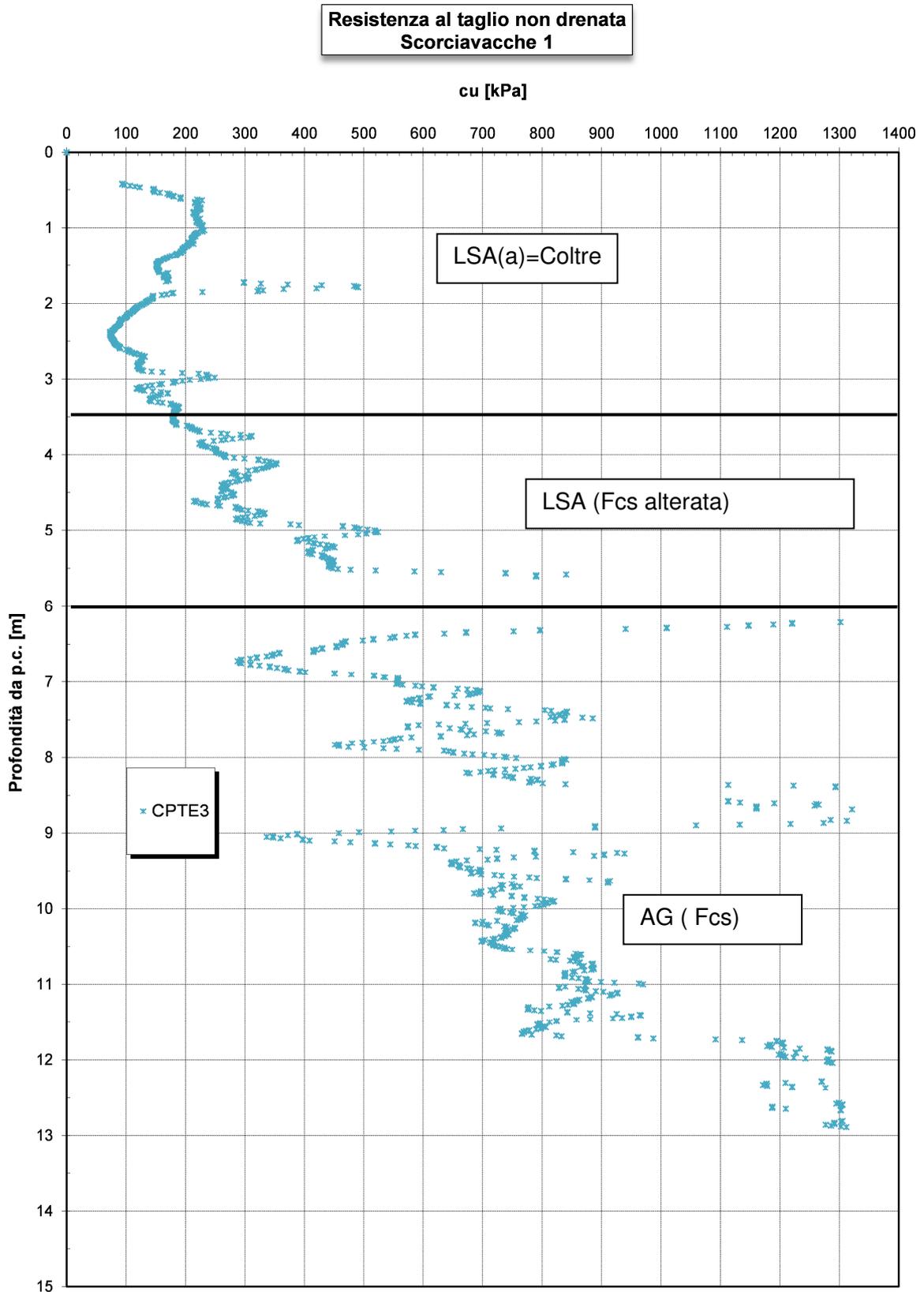


Figura 10 — Andamento c_u

Modulo di deformazione confinato per terreni coesivi

$$M \text{ [MPa]} = 7 * q_c$$
$$M \text{ [MPa]} = 120 * C_u$$

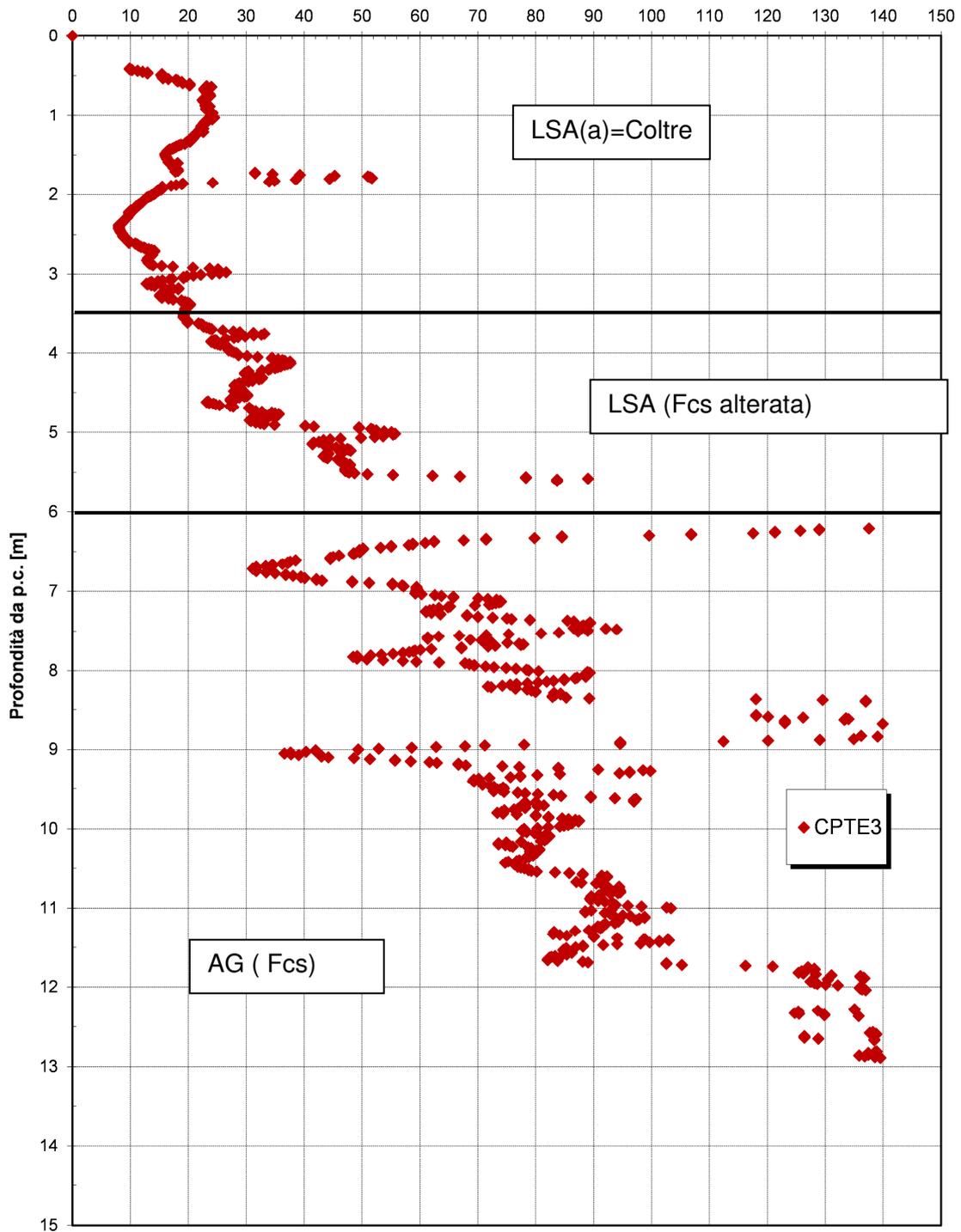


Figura 11 – Andamento Modulo elastico

Il modello stratigrafico adottato nel calcolo delle opera di presidio in esame, di cui ai paragrafi successivi , è riportato nella figura seguente,

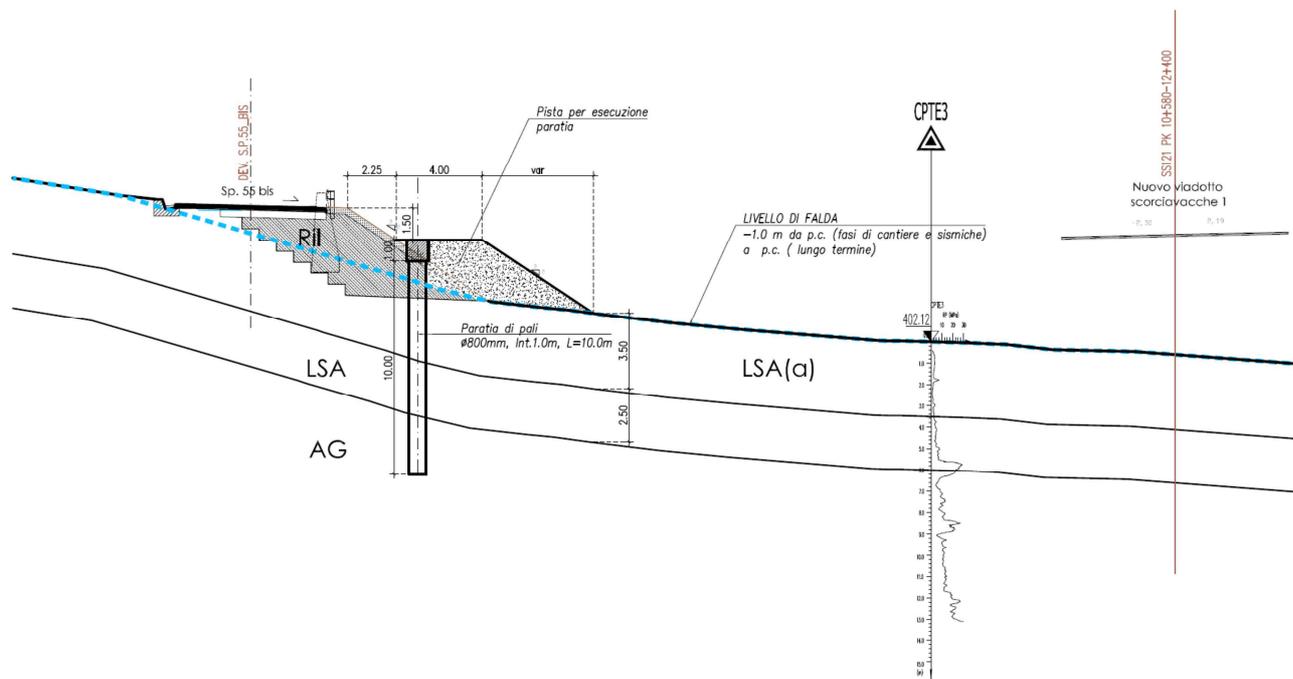


Figura 12 - Sezione stratigrafica e modello geotecnico di riferimento

Per quanto riguarda l’assegnazione dei parametri geotecnici si è fatto dunque riferimento alla relazione geotecnica di PEA. In particolare per la fascia superiore di coltre alterata di spessore pari a circa 3,50 m (Lsa(a)), per tenere conto dell’ulteriore detensionamento/rimaneggiamento subito dalla stessa per effetto delle lavorazioni recentemente eseguite contestualmente alla recente stagione pluviometrica eccezionale, sono stati assegnati a vantaggio di sicurezza, i seguenti parametri caratteristici, (valori oltremodo ridotti rispetto ai valori minimi di range ipotizzati in PEA).

Unità LSA(a) – Coltre

$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\varphi' = 20^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata
$E' = 20 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico

Per quanto riguarda le altre formazioni, sono stati utilizzati i seguenti parametri di caratteristici desunti nella relazione geotecnica di PEA

Unità Ril – Rilevato stradale di nuova realizzazione

$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\varphi' = 35^\circ$	angolo di resistenza al taglio per rilevato stradale
$c' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata
$E' = 50 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico

Unità LSA – Limi sabbiosi argillosi

$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\varphi' = 24^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 5 \text{ kPa}$	coesione drenata
$E' = 40 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico

Unità AG – Argille limose grige

$\gamma = 20.5 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\varphi' = 26^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 15 \text{ kPa}$	coesione drenata
$E' = 90 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico

Per quanto riguarda infine i livelli di falda, si riporta di seguito un'ulteriore stralcio della relazione Relazione geotecnica di PEA , elaborato PAGTRT01_30_4137 [2]

Nella seguente tabella vengono riportate le letture piezometriche eseguite sino ad oggi sul piezometro a tubo aperto installato SC2Pz in tale tratto di strada nella campagna geognostica del 2009 – 2010 espresse sia in quota assoluta ξ (m s.l.m.) e sia in quota relativa (profondità dal p.c.).

Letture piezometriche

Misura	1	2	3	4	5	6	7
Data	<i>mag-10</i>	<i>lug-10</i>	<i>set-10</i>	<i>nov-10</i>	<i>gen-11</i>	<i>feb-11</i>	<i>nov-11</i>
m p.c.	2,78	3,43	3,48	2,86	2,74	2,74	2,96
m s.l.m	411,39	410,74	410,69	411,31	411,43	411,43	411,43

Dalle letture piezometriche si è osservato che:

- *il livello della falda si colloca mediamente ad una profondità di circa 3.00 m da p.c.;*
- *nel periodo estivo, in cui le piogge sono assenti o di scarsa entità, la piezometrica tende a portarsi a una profondità di circa 3.50 m da p.c..*

Pertanto si considera cautelativamente la falda posta ad una profondità da p.c. pari a 2.50 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

OS106 – Paratia di sostegno SP 55 bis - Relazione Tecnica e di Calcolo

In prossimità del viadotto Scorciavacche 1 ove è presente un colamento superficiale che si innesca quando si verificano intensi periodi piovosi, per le verifiche si adotta una falda posta a circa 1.0 m da p.c..

Pur considerato tutto quanto sopra riportato, in seguito al confronto avuto con A.S. Anas sul tema, si conviene di adottare per il calcolo dell'opera in esame, ad esclusivo vantaggio di sicurezza, i seguenti livelli di falda:

- fasi di cantiere e condizione sismica: -1.0 m da p.c.
- fasi statiche di lungo termine: a p.c.

8

ANALISI E VERIFICA DELLE OPERE

L'analisi è stata condotta con modello FEM 2D, con la geometria della sezione 80 della SP55bis corrispondente alla Pila 1 del viadotto Scorciavacche 1.

Nelle varie fasi di calcolo, la cadente della falda è calcolata dal codice FEM 2D con apposite analisi di filtrazione.

8.1 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 dell'opera.

In relazione agli obiettivi sopra esposti si è scelto di operare con il programma di calcolo Plaxis 2D 2015 - analisi FEM bi-dimensionale.

La finalità delle analisi FEM 2D, eseguite mediante il programma Plaxis VIP 2015, 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, ha consentito di cogliere il comportamento del sistema geotecnico strutturale. Il codice Plaxis VIP 2015, 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.

8.1.1 PLAXIS VIP 2015: METODOLOGIA DI CALCOLO, LEGAMI COSTITUTIVI E PARAMETRI

8.1.1.1 *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.)

Visto il grado di conoscenze dei terreni, il modello costitutivo utilizzato, è quello classico alla Mohr-Coulomb.

8.1.1.2 *STABILITÀ GLOBALE*

La determinazione del coefficiente di sicurezza avviene mediante un algoritmo iterativo (ϕ' – c' reduction method, Dawson, Roth and Drescher, 1999) che, sulla base dei dati di partenza (c' e $\tan \phi'$), 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):

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

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

In Figura 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.

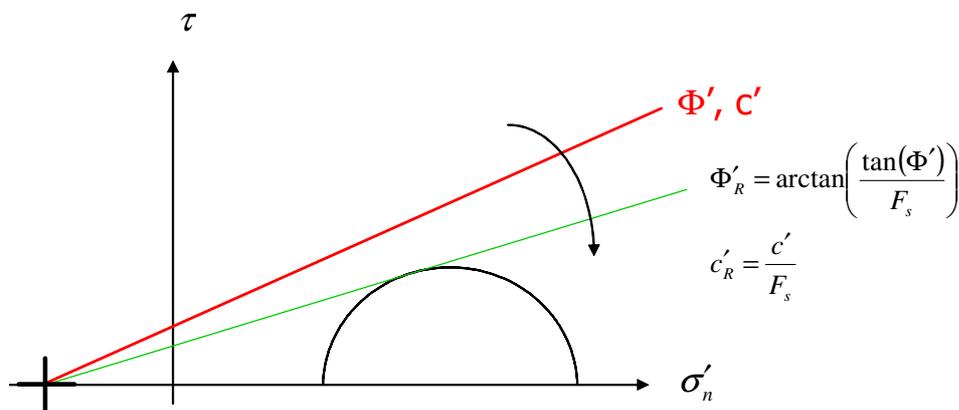


Figura 8.a – Phi-c reduction method

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 $FS > 1.25 \cdot 1.1 = 1.375$.

8.1.1.3 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 8.a e Tabella 8.b si riportano i coefficienti parziali indicati dalla normativa (moltiplicativi per le azioni e riduttivi per i parametri di resistenza del terreno).

Azioni (γ_F)				Proprietà del terreno (γ_M)		
Permanenti		Variabili		tan φ'	c'	cu
sfavorevoli	favorevoli	sfavorevoli	favorevoli			
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Tabella 8.a – Combinazioni per analisi statiche in esercizio (SLE)

	Azioni (γ_F)				Proprietà del terreno (γ_M)		
	Permanenti		Variabili		tan φ'	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 8.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 1.35. 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 γ_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.

8.2 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.

8.2.1 SEZIONE DI CALCOLO

Di seguito si riportano le fasi di calcolo che sono state analizzate in successione. Lo schema di riferimento è quello riportato nella figura seguente.

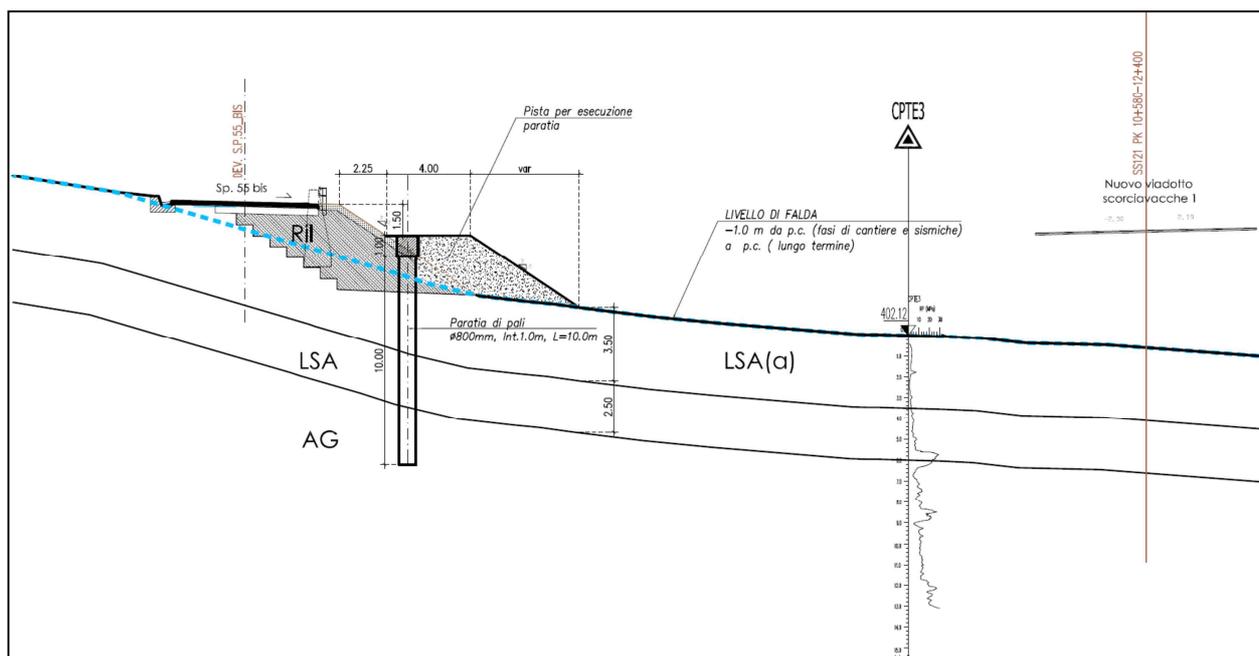


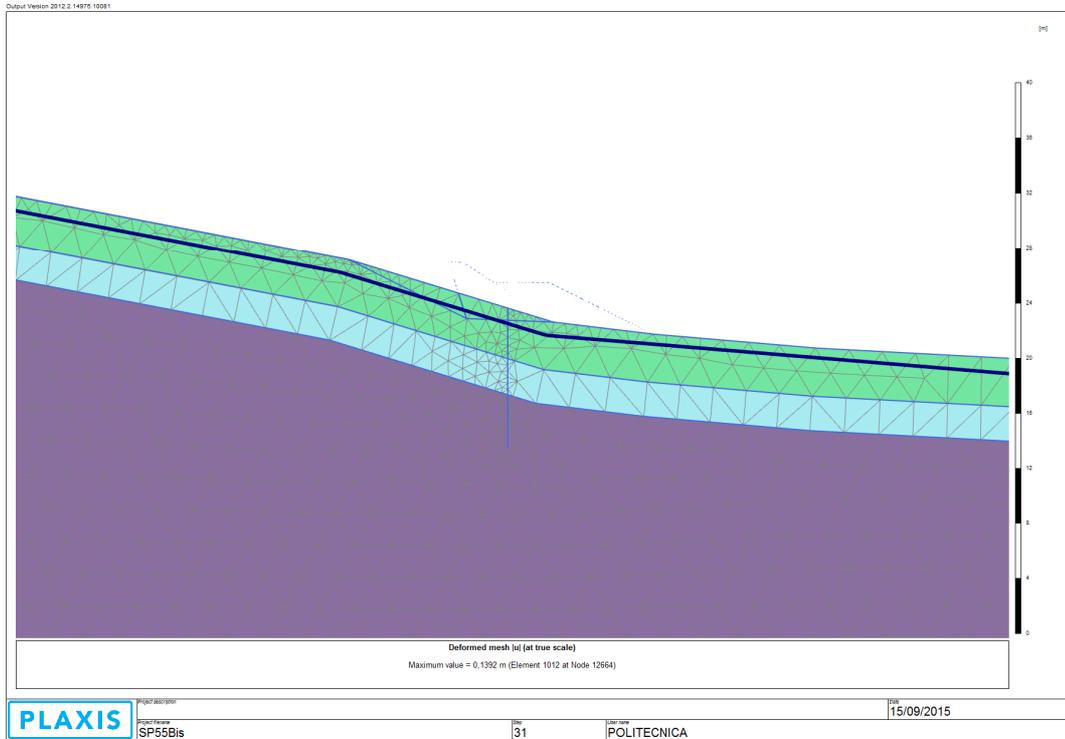
Figura 13 – Sezione di progetto

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 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”.

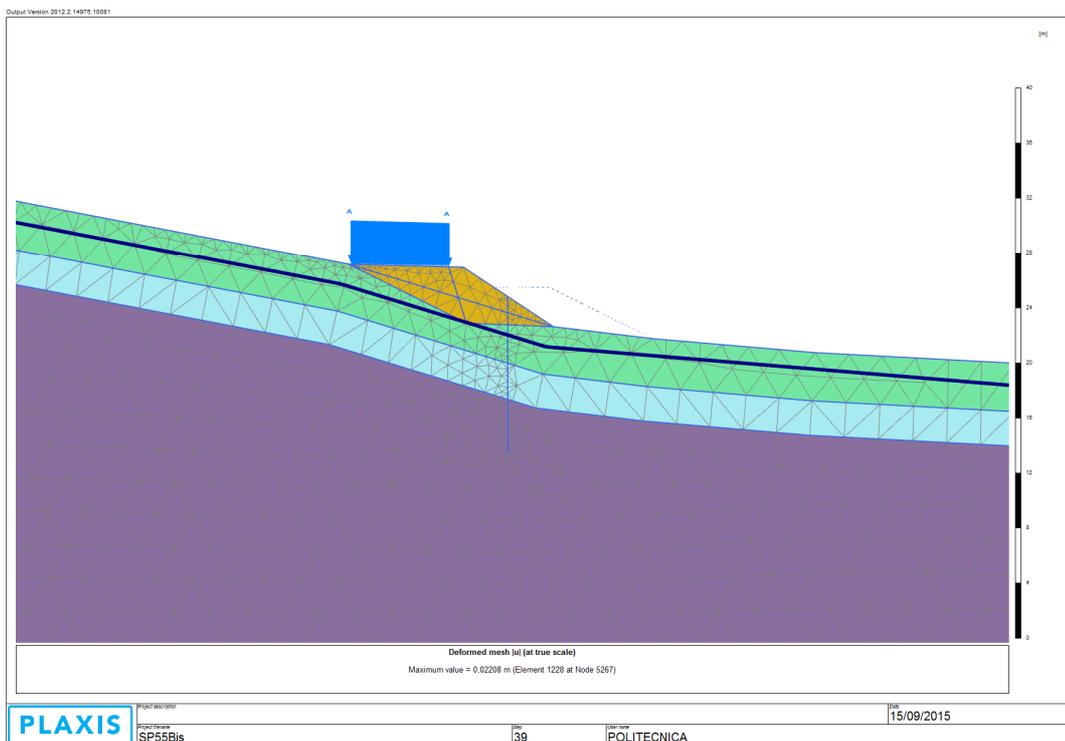
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE

OS106 – Paratia di sostegno SP 55 bis - Relazione Tecnica e di Calcolo

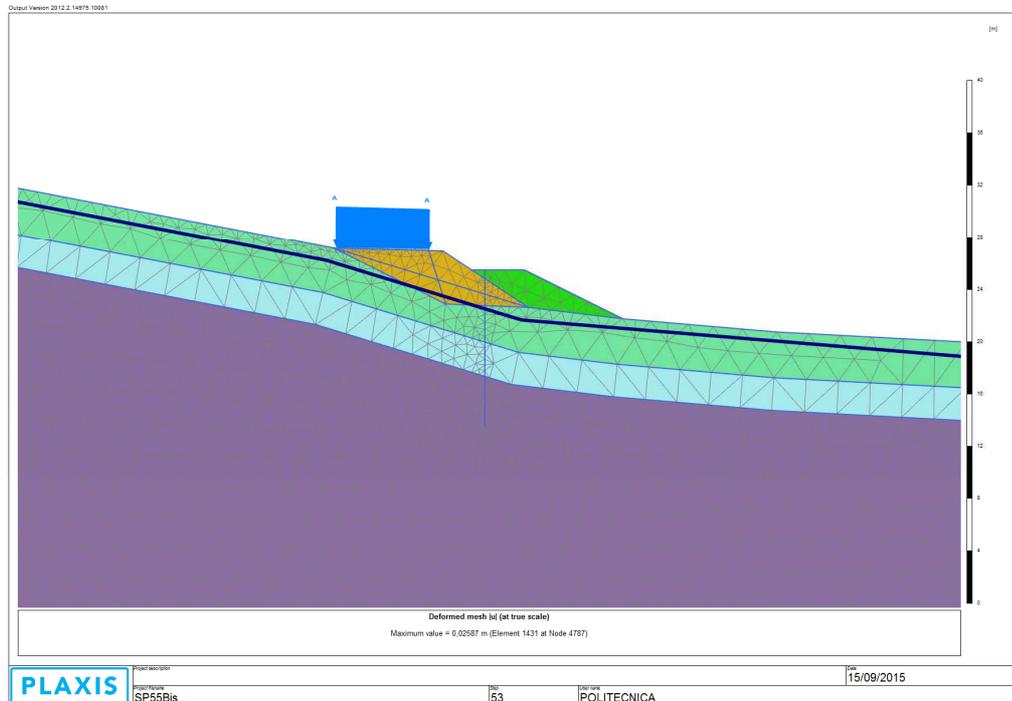
Step 1. Inizializzazione geostatica



Step 2. Realizzazione corpo rilevato SP55 e sovraccarico stradale da 20 kN/m²

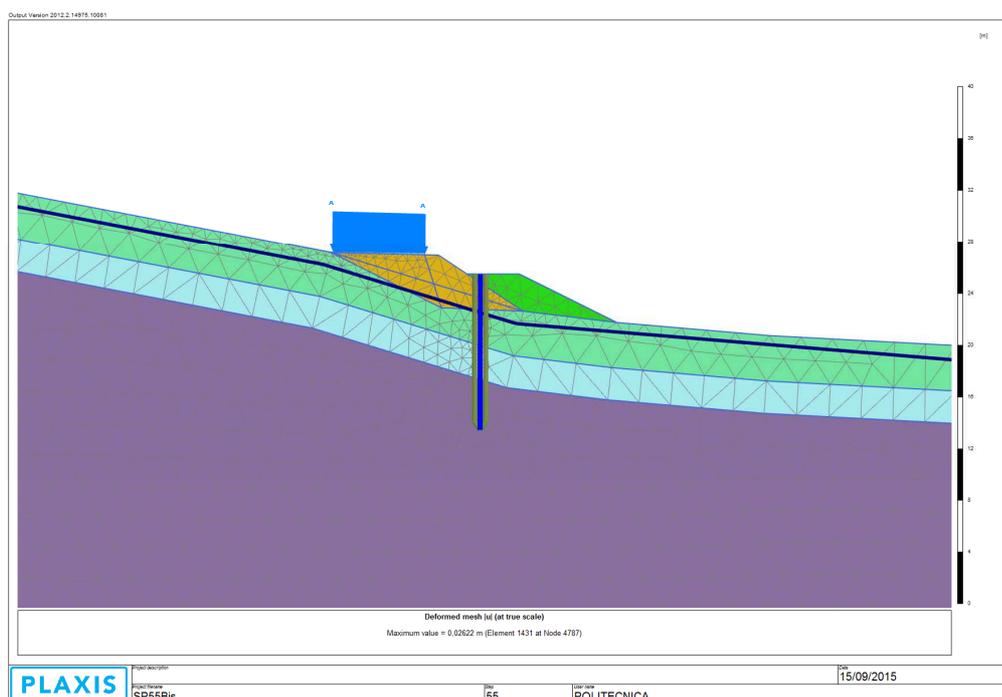


Step 3. Realizzazione berma come piano di lavoro per la realizzazione dei pali



Step 4. Realizzazione della singola fila di pali da quota piano berma, aventi le seguenti caratteristiche:

- $D_p = 800 \text{ mm}$ diametro di perforazione;
- $i = 1.0 \text{ m}$ interasse longitudinale fra i pali della stessa fila;
- $L = 12.0 \text{ m}$ lunghezza dei pali, compreso $H=1\text{m}$ della trave di coronamento.

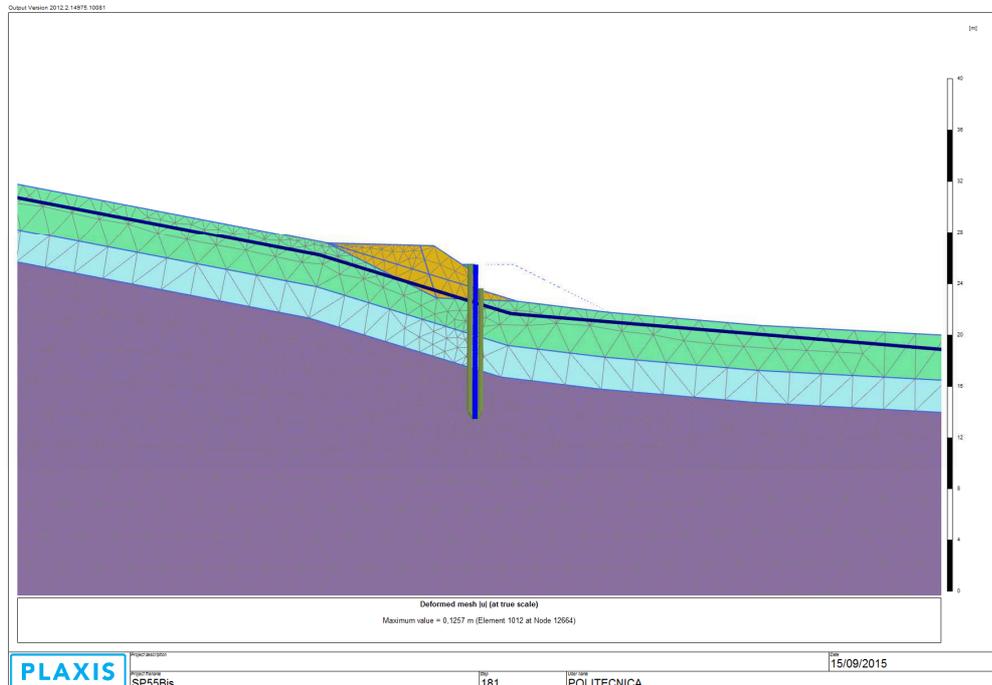


Affidamento a Contraente Generale dei “Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali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

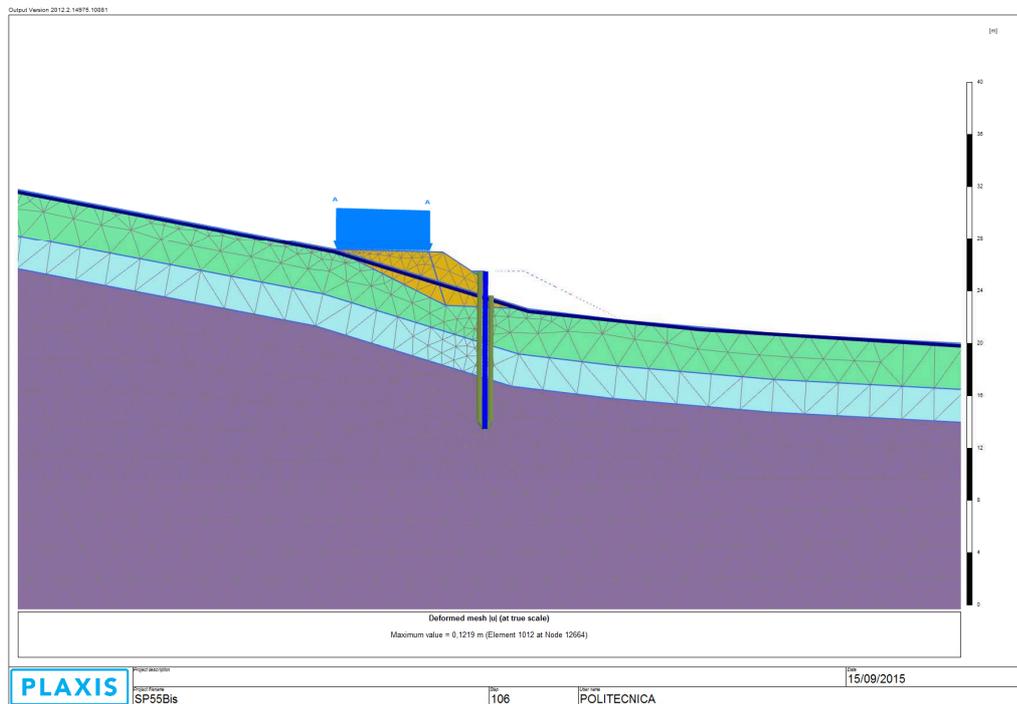
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE

OS106 – Paratia di sostegno SP 55 bis - Relazione Tecnica e di Calcolo

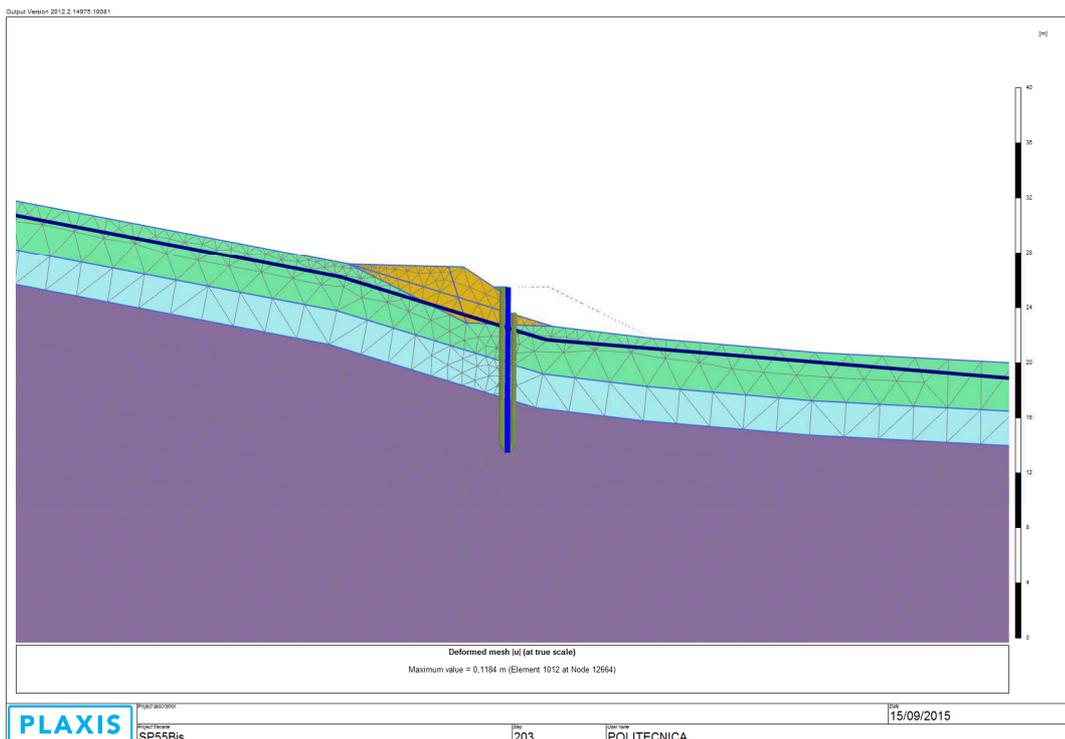
Step 5. Rimozione berma a valle. Tale configurazione corrisponde alla combinazione **SLE Q.P.**



Step 6. Rimozione berma ed attivazione sovraccarico accidentale pari a 20 kN/m^2 agente sul piano viabile, a simulare il traffico veicolare ed innalzamento della quota di falda sino piano campagna. 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 1.35.



Step 5a. Sisma $a_h=0.105 \cdot g$. L'analisi sismica è stata effettuata senza sovraccarico stradale e considerando la quota della falda a -1.0 m rispetto al piano campagna. Da tale configurazione si ottengono le sollecitazioni di progetto per le verifiche **SLV** degli elementi strutturali



- Step 7. A partire dalla 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 (φ' - c' reduction method). Si determina quindi il coefficiente di sicurezza disponibile, in osservanza alla normativa per la verifica **SLU GEO**.
- Step 8. A partire dalla fase **SLV**, 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 (φ' - c' reduction method). Si determina quindi il coefficiente di sicurezza disponibile, in osservanza alla normativa per la verifica **SLU GEO Sismica**.

8.3 Risultati e verifiche

8.3.1 SPOSTAMENTI

Nella Figura 15 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. Nella Figura 16 si mostra la distribuzione degli spostamenti sulla mesh in condizioni sismiche. In Figura 17 si riportano gli spostamenti massimi ottenuti sulla paratia a berma rimossa che risultano compatibili con la funzionalità dell'opera.

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

OS106 – Paratia di sostegno SP 55 bis - Relazione Tecnica e di Calcolo

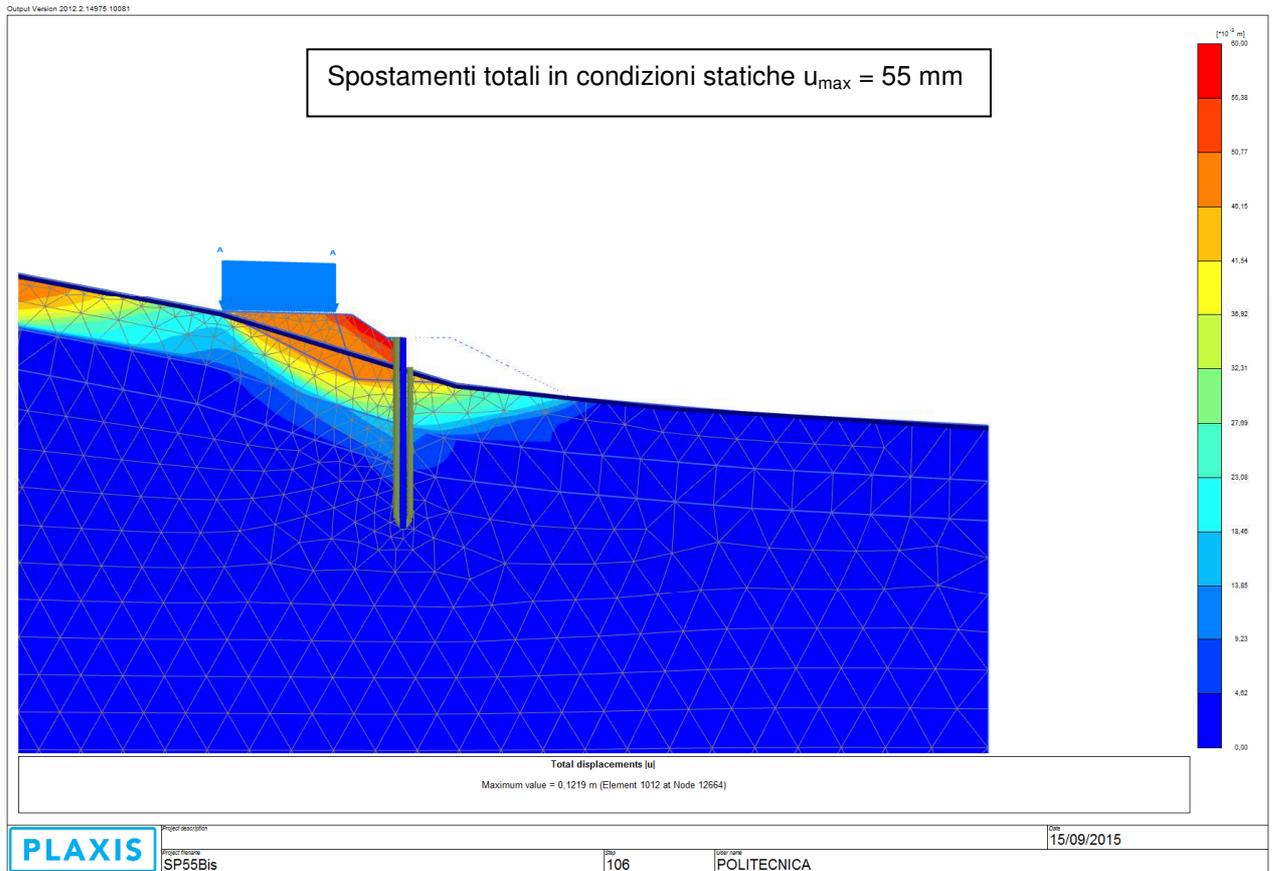


Figura 14 – SLE: spostamenti a berma rimossa, condizioni statiche

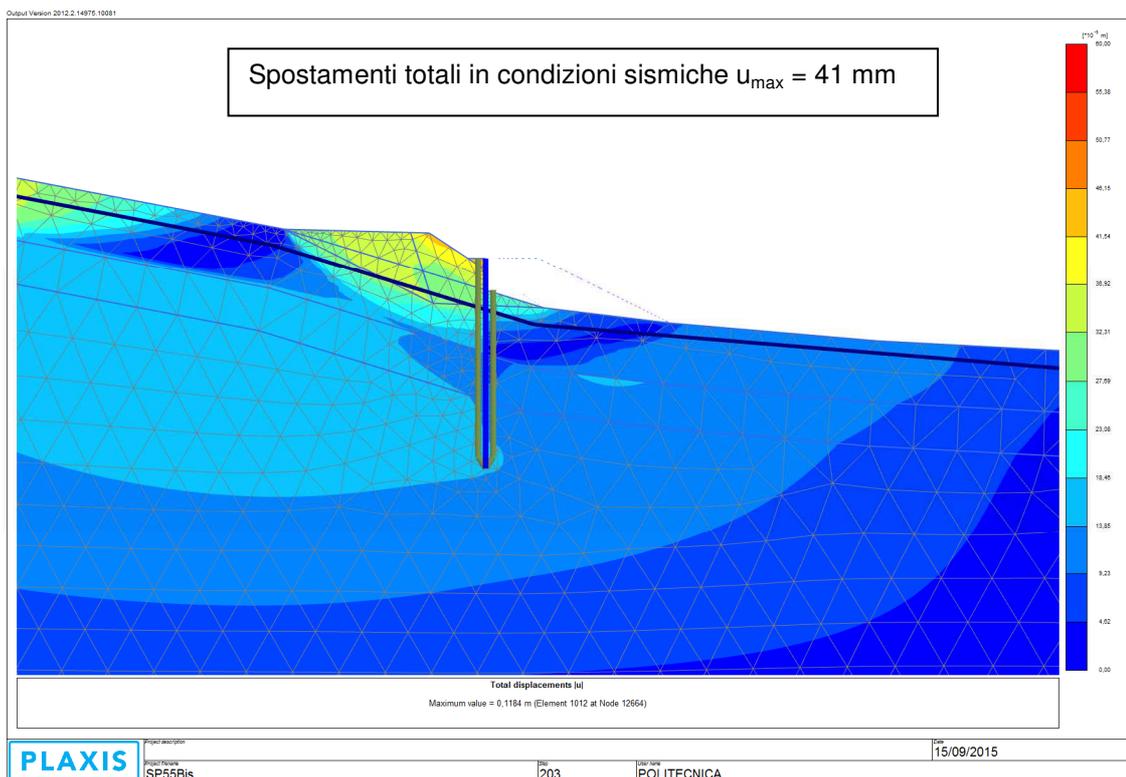


Figura 15 – SLV: spostamenti a berma rimossa, condizioni sismiche

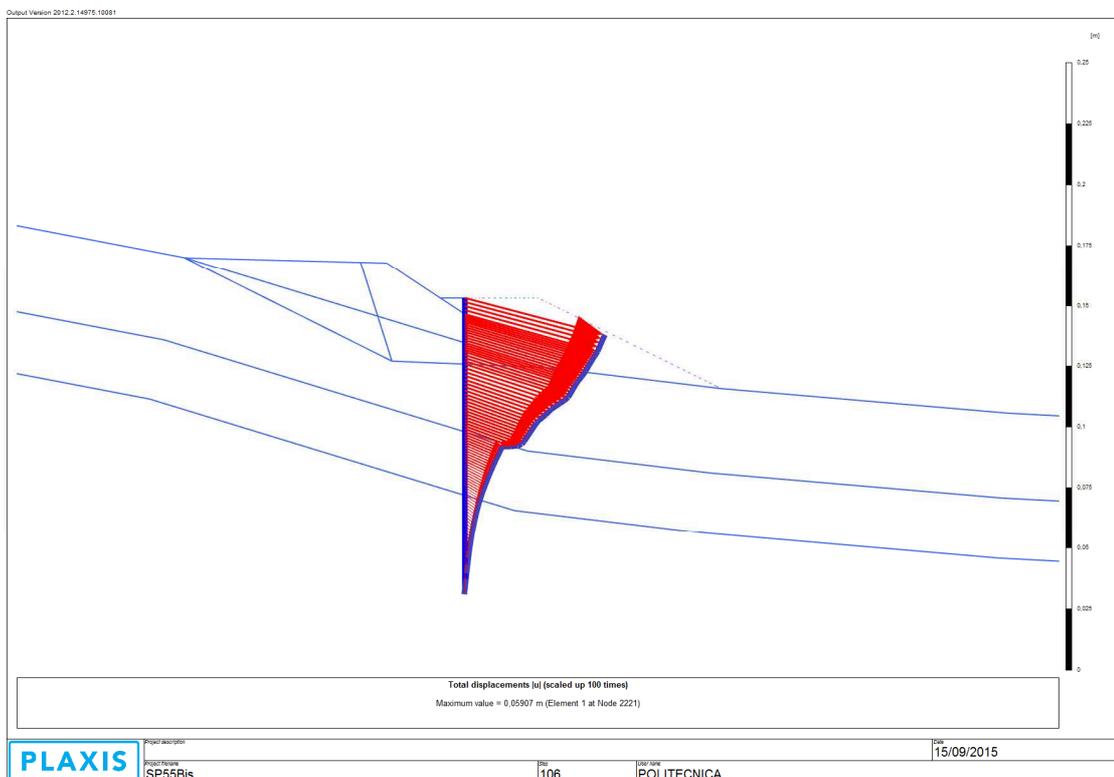


Figura 16 – SLE: spostamenti sulla paratia a berma rimossa

8.3.2 SOLLECITAZIONI SUGLI ELEMENTI STRUTTURALI

8.3.2.1 SOLLECITAZIONI SLE Q.P.

Nelle successive figure si riporta l’inviluppo della distribuzione delle sollecitazioni SLE Q.P. (rimozione berma, falda a -1.0 m da p.c.) sugli elementi beam che rappresentano i pali: forza assiale (Figura 18), momento (Figura 19) e taglio (Figura 20). Le massime sollecitazioni risultano:

$N = 37.22 \text{ kN / m}$	forza assiale (in corrispondenza del M_{\max})
$T = 142.9 \text{ kN / m}$	taglio massimo
$M = 375.1 \text{ kN m / m}$	momento massimo palo

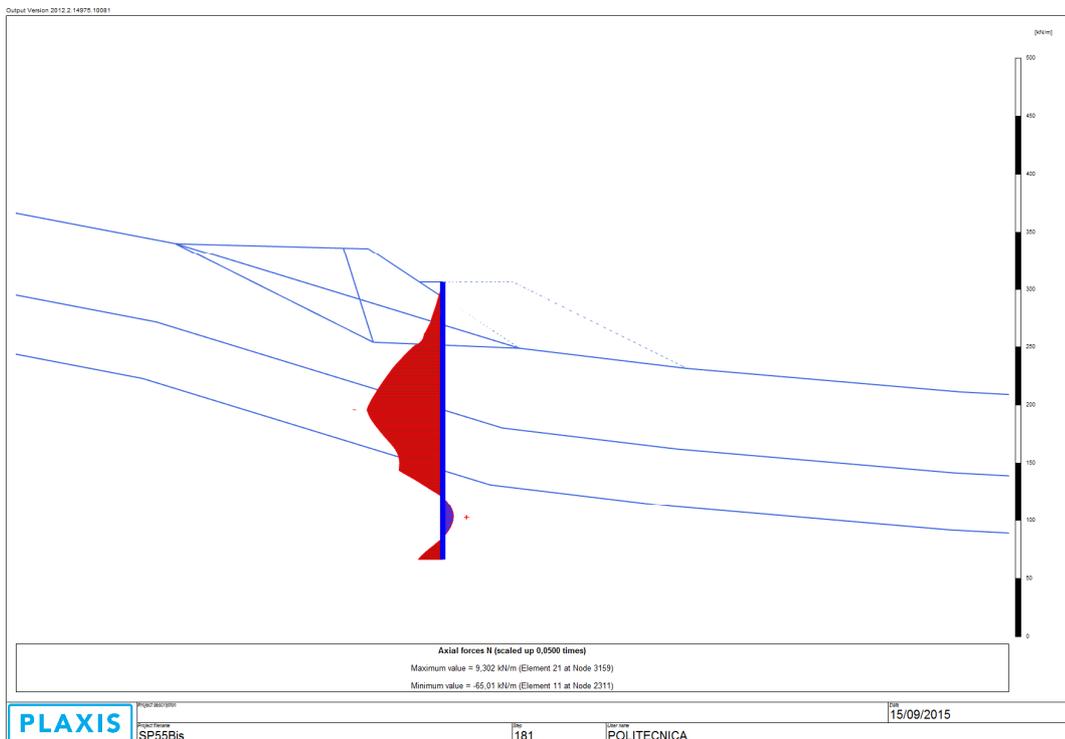


Figura 17 – SLE Q.P.: sforzo normale (-) compressione

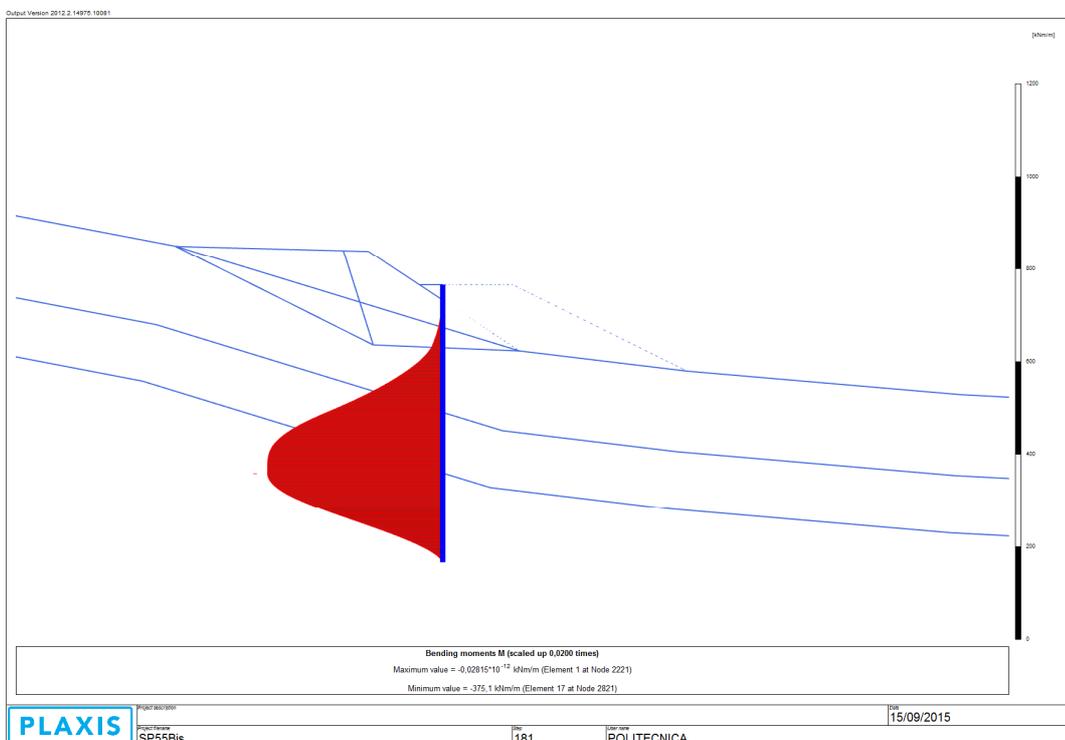


Figura 18 – SLE Q.P.: involucro momento sui pali

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

OS106 – Paratia di sostegno SP 55 bis - Relazione Tecnica e di Calcolo

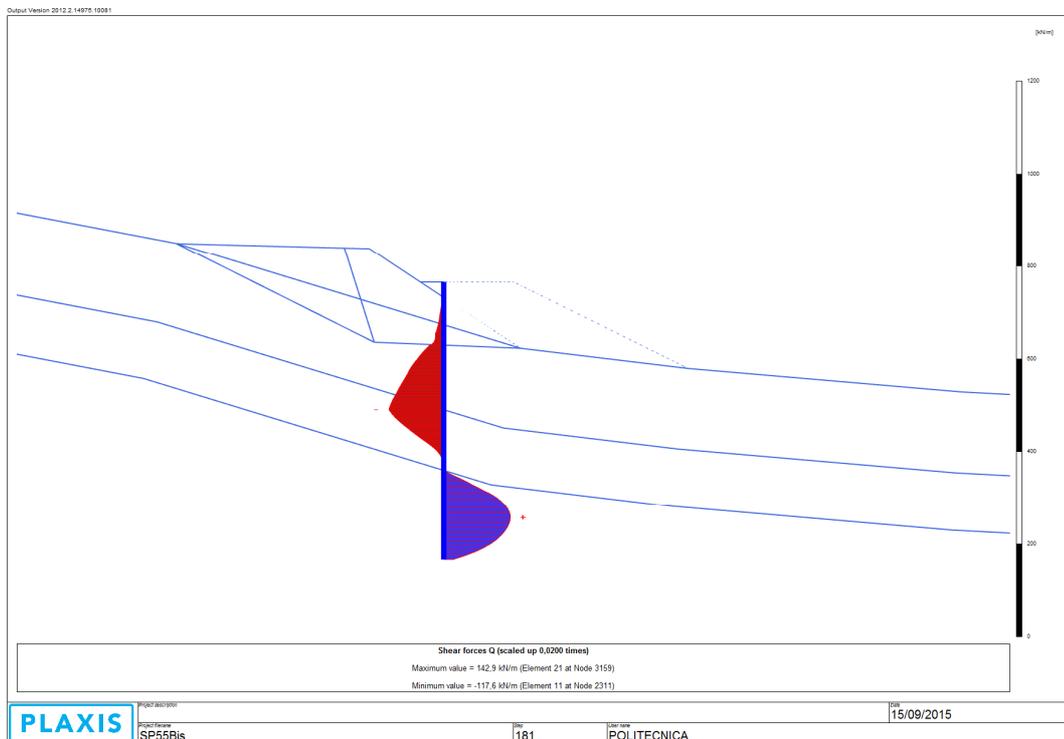


Figura 19 – SLE Q.P.: involucro taglio sui pali

8.3.2.2 SOLLECITAZIONI SLE RARE

Nelle successive figure si riporta l'involuppo della distribuzione delle sollecitazioni SLE RARE (rimozione berma, falda a piano campagna e sovraccarico stradale) sugli elementi beam che rappresentano i pali: forza assiale (Figura 21), momento (Figura 22) e taglio (Figura 23). Le massime sollecitazioni risultano:

$N = 24.45 \text{ kN / m}$	forza assiale (in corrispondenza del M_{\max})
$T = 146.0 \text{ kN / m}$	taglio massimo
$M = 384.0 \text{ kN m / m}$	momento massimo palo

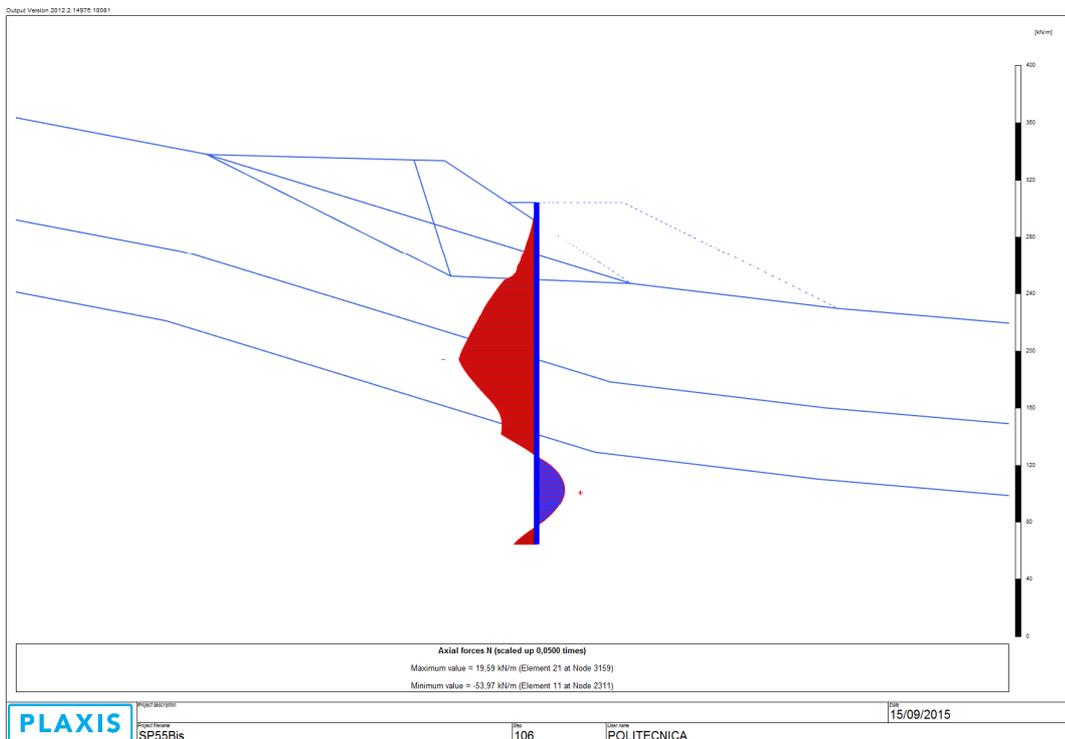


Figura 20 – SLE RARE: sforzo normale (-) compressione

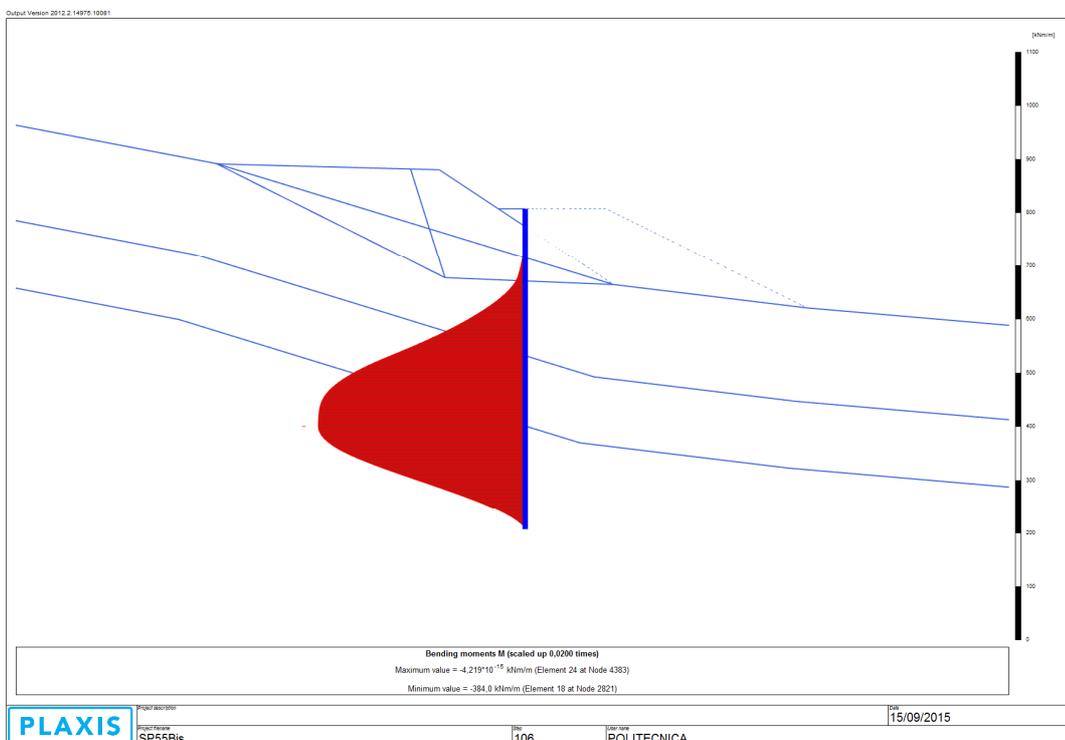


Figura 21 – SLE RARE: involucro momento sui pali

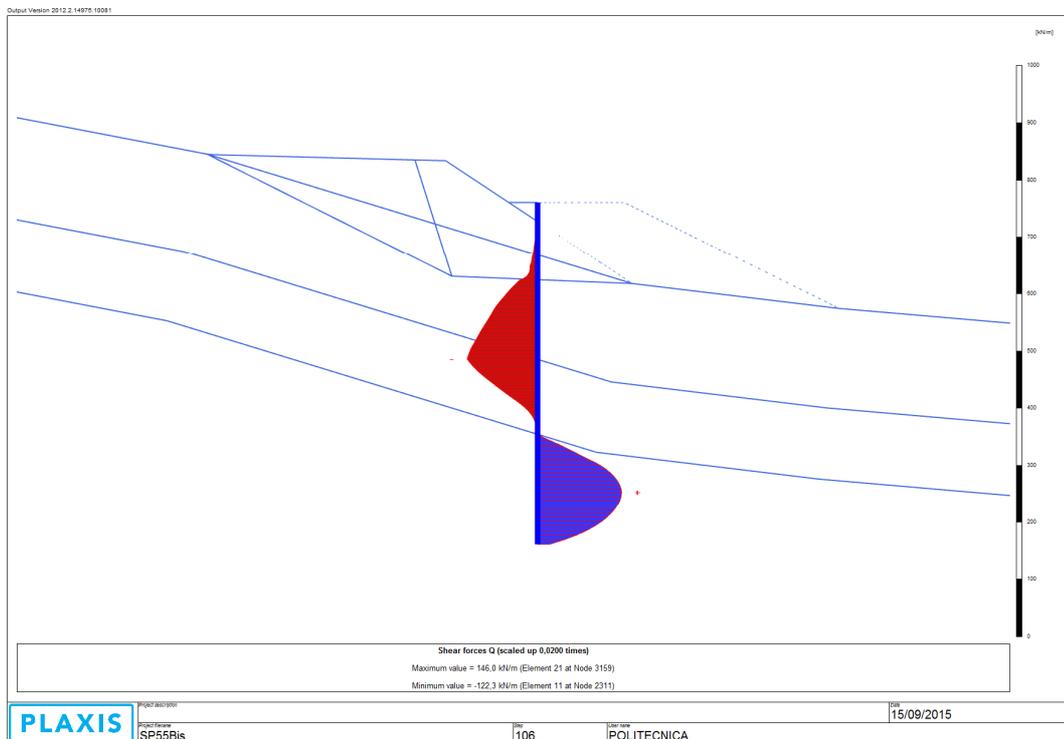


Figura 22 – SLE RARE: involucro taglio sui pali

8.3.2.3 SOLLECITAZIONI SLU STATICHE

Le massime sollecitazioni nella combinazione SLU statica risulta pari a SLE Rare x 1.35. Pertanto le sollecitazioni risultano:

$N = 31.80 \text{ kN / m}$	forza assiale
$T = 197.1 \text{ kN / m}$	taglio massimo
$M = 518.4 \text{ kN m / m}$	momento massimo palo

8.3.2.4 SOLLECITAZIONI SLV

Nelle successive figure si riporta l'involuppo della distribuzione delle sollecitazioni SLV (sismica, falda a -3.0 m da p.c.) sugli elementi beam che rappresentano i pali: forza assiale (Figura 24), momento (Figura 25) e taglio (Figura 26). Le massime sollecitazioni risultano:

$N = 24.8 \text{ kN / m}$	forza assiale (in corrispondenza del M_{\max})
$T = 134.9 \text{ kN / m}$	taglio massimo
$M = 353.4 \text{ kN m / m}$	momento massimo palo

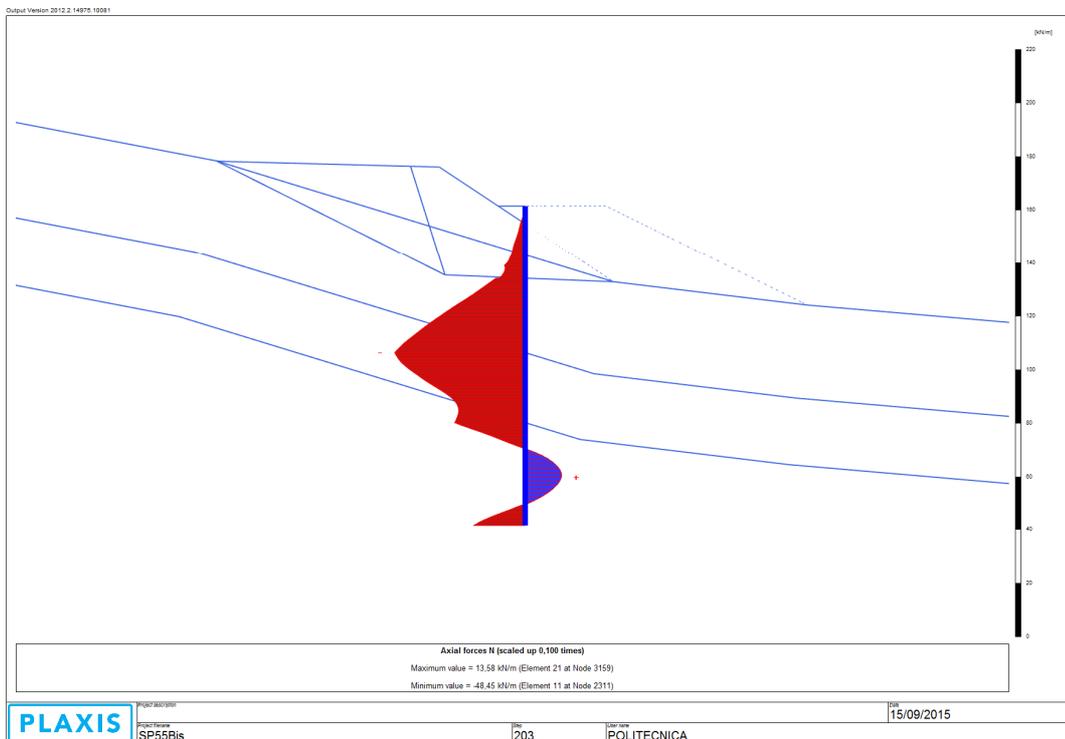


Figura 23 – SLV: sforzo normale (-) compressione

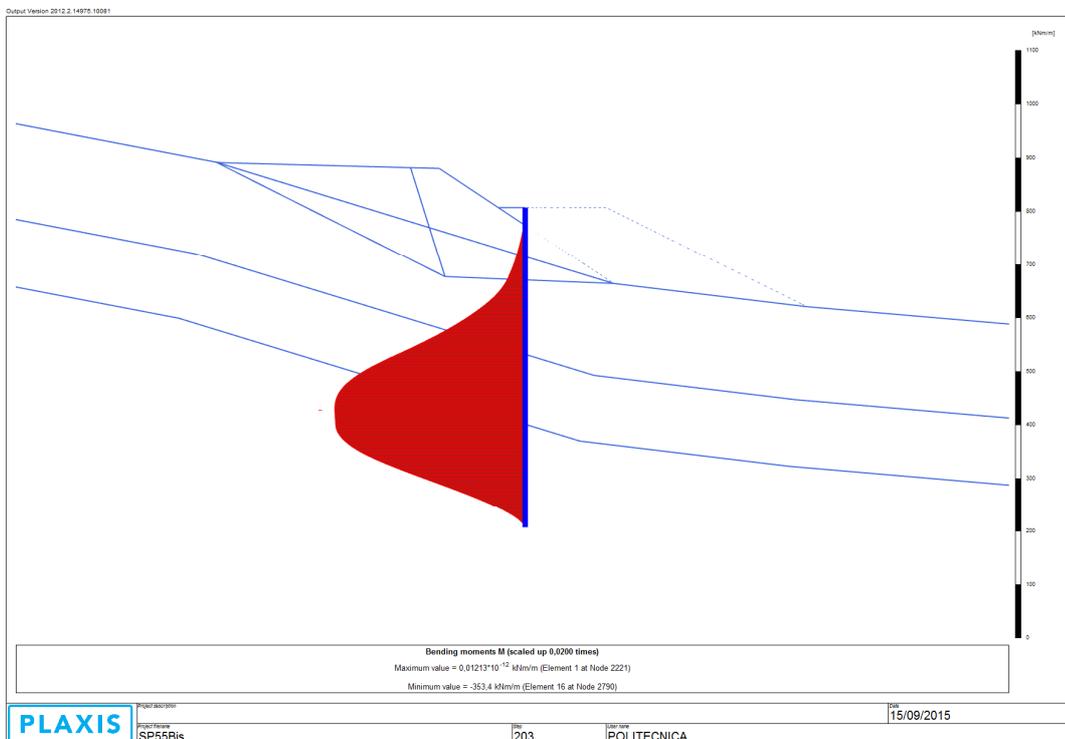


Figura 24 – SLV: involucro momento sui pali

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

OS106 – Paratia di sostegno SP 55 bis - Relazione Tecnica e di Calcolo

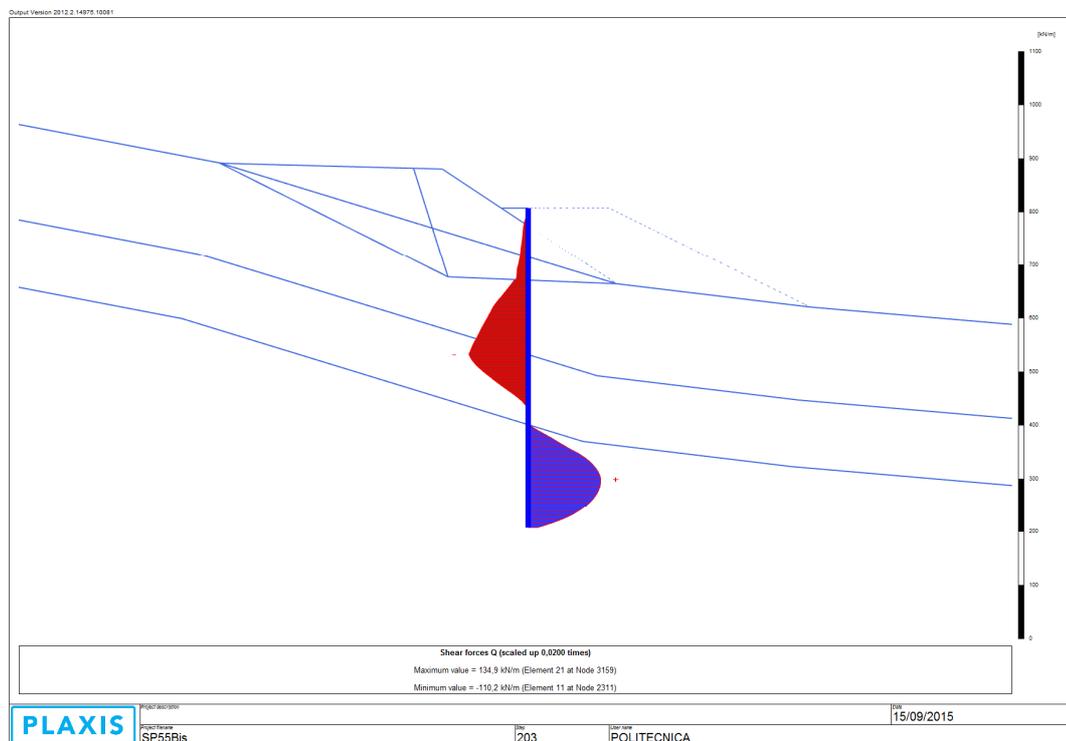


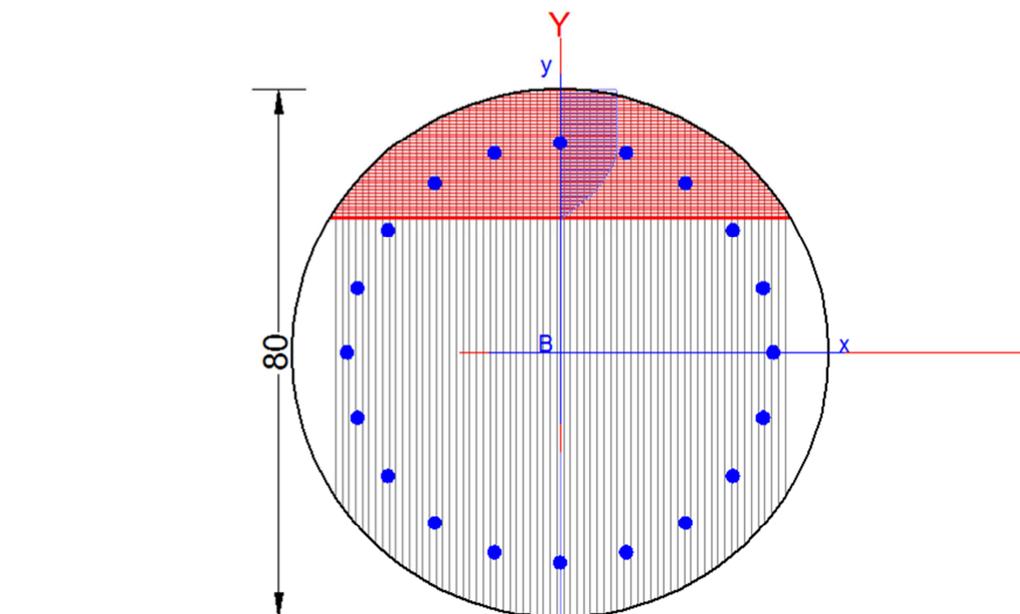
Figura 25 – SLV: involucro taglio sui pali

8.3.3 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° 26 ϕ 28 e staffe ϕ 12/20.

8.3.3.1 VERIFICA DI RESISTENZA PALI

Coprif. netto minimo barre long.: 7.2 cm Coprif. netto staffe: 6.0 cm



DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: OS106

Descrizione Sezione:	OS106
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 ²
	Resistenza compress. ridotta fcd':	85,00 daN/cm ²
	Deform. unitaria max resistenza ec2:	0,0020
	Deformazione unitaria ultima ecu:	0,0035
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	328365 daN/cm ²
	Coeff. di Poisson:	0,20
	Resis. media a trazione fctm:	33,31 daN/cm ²
	Coeff.Omogen. S.L.E.:	15,0
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	180,00 daN/cm ²
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Rare:	Non prevista
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	135,00 daN/cm ²
Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0,200 mm	
ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. a snervamento fyk:	4500,0 daN/cm ²
	Resist. caratt. a rottura ftk:	4500,0 daN/cm ²

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

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE

OS106 – Paratia di sostegno SP 55 bis - Relazione Tecnica e di Calcolo

Resist. a snerv. di calcolo fyd:	3913,0	daN/cm ²
Resist. ultima di calcolo ftd:	3913,0	daN/cm ²
Deform. ultima di calcolo Epu:	0,068	daN/cm ²
Modulo Elastico Ef:	2000000	daN/cm ²
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 ²

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Diametro sezione:	80,0	cm
Barre circonferenza:	28Ø26	(148,7 cm ²)
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	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	51840	19710	0

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

N	Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)	
Mx	Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x baricentrico della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione	
N°Comb.	N	Mx
1	0	38400

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

N	Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)	
Mx	Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x baricentrico della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione	
N°Comb.	N	Mx
1	0	37510

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	7,2	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	4,5	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 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]

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

OS106 – Paratia di sostegno SP 55 bis - Relazione Tecnica e di Calcolo

x/d C.Rid.	Rapp. di duttilità a rottura solo se N = 0 (travi) 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	51840	-17	147290	2,841	14,0	106847	0,36	0,89

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione						
ec max	Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace						
ec 3/7	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)						
Yc max	Ordinata in cm della barra corrisp. a ef min (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	-0,00111	40,0	0,00236	31,5	-0,00612	-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 = 21,2 cm]
N.Bracci staffe:	2		
Area staffe/m :	11,3	cm ² /m	[Area Staffe Minima NTC = 10,7 cm ² /m]

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - VERIFICHE A TAGLIO

	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 ² /m]									
N°Comb	Ver	Vsdu	Vrd	Vcd	Vwd	bw	Teta	Acw	Afst	
1	S	19710	27965	113446	60272	71,0	21,80	1,000	3,7	

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata										
Sc max	Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([daN/cm ²])										
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 ²])										
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 ²]										
Yf min	Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)										
Dw Eff.	Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre										
Ac eff.	Area di congl. [cm ²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)										
Af eff.	Area Barre tese di acciaio [cm ²] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)										
N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Yf min	Dw Eff.	Ac Eff.	Af Eff.	D barre
1	S	68,0	-40,0	0,0	-40,0	-1395	31,5	26,7	1695	47,8	---

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE

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

OS106 – Paratia di sostegno SP 55 bis - Relazione Tecnica e di Calcolo

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sclmax	Massima tensione nel conglomerato nello STATO I non fessurato [daN/cm ²]
Sclmin	Minima tensione nel conglomerato nello STATO I non fessurato [daN/cm ²]
K3	=0,125 per flessione; = 0,25 (Sclmin + Sclmax)/(2 Sclmin) per trazione eccentrica
Beta12	Prodotto dei Coeff. di aderenza Beta1*Beta2
Eps	Deformazione unitaria media tra le fessure
Srm	Distanza media in mm tra le fessure
Ap.fess.	Apertura delle fessure in mm = 1,7*Eps*Srm

N°Comb	Ver	Sclmax	Sclmin	Sc Eff	K3	Beta12	Eps	Srm	Ap.Fess.
1	S	49,3	-49,3	---	0,125	1,00	0,000379	204	0,131

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Yf min	Dw Eff.	Ac Eff.	Af Eff.	D barre
1	S	66,4	-40,0	0,0	-40,0	-1362	31,5	26,7	1695	47,8	---

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE

N°Comb	Ver	Sclmax	Sclmin	Sc Eff	K3	Beta12	Eps	Srm	Ap.Fess.
1	S	48,1	-48,1	---	0,125	0,50	0,000518	204	0,180

8.3.3.2 VERIFICHE DI RESISTENZA CORDOLO DI TESTA

Il cordolo di testa in c.a. della paratia in esame di dimensioni 1m x1m, assurge alla sola funzione di collegamento dei pali, pertanto le sollecitazioni di momento flettente e taglio su di esso agenti sono del tutto trascurabili.

Pertanto per il suddetto cordolo è stata prevista un'armatura minima, secondo i disposti della normativa vigente (NTC 2008), pari alla condizione peggiorativa tra quanto previsto al paragrafo 4.1.6.1.1 (armatura minima delle travi in zona non sismica):

$$A_s > 0.0013 \cdot b_t \cdot d$$

dove A_s è l'area minima di ferro in zona tesa

b_t è la larghezza della zona tesa , pari alla larghezza della trave

d è l'altezza utile della sezione , pari alla all'altezza della trave

pertanto l'area minima di ferro necessaria risulta: $100 \times 100 \times 0.0013 = 13 \text{ cm}^2$

e quanto previsto al paragrafo 7.4.6.2.1 (armatura minima travi in zona sismica) :

$$A_s > (1.4 / f_{yk}) \cdot b_t \cdot h$$

dove A_s è l'area minima di ferro in zona tesa

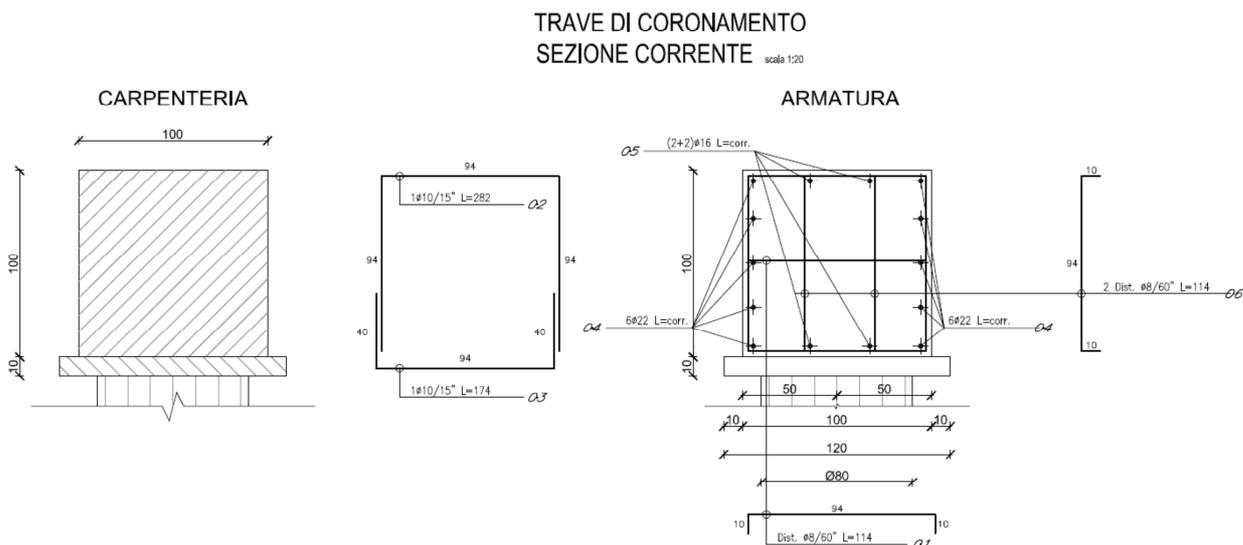
b_t è la larghezza della zona tesa , pari alla larghezza della trave

d è l'altezza della sezione , pari alla all'altezza della trave

$$f_{yk} = 450 \text{ N/mm}^2$$

pertanto l'area minima di ferro necessaria risulta: $= 30 \text{ cm}^2$

La trave in esame è armata con 6+6 ϕ 22 e 2+2 ϕ 16, da cui risulta un'armatura di $45.62 + 8.04 = 53.66 \text{ cm}^2 > 30 \text{ cm}^2$



8.3.4 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 (ϕ' – c' reduction method, Dawson, Roth and Drescher, 1999) che, sulla base dei dati di partenza (c' e $\tan \phi'$), determina successive condizioni di equilibrio del sistema eseguendo, ad ogni ciclo, una progressiva riduzione delle resistenze fino al collasso.

Le seguenti Figura 24 e Figura 25 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 cinematisma 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 ($\gamma_M \cdot \gamma_R = 1.25 \cdot 1.1$). La verifica è soddisfatta. Il sistema geotecnico struttura-terreno e fondo scavo risultano stabili.

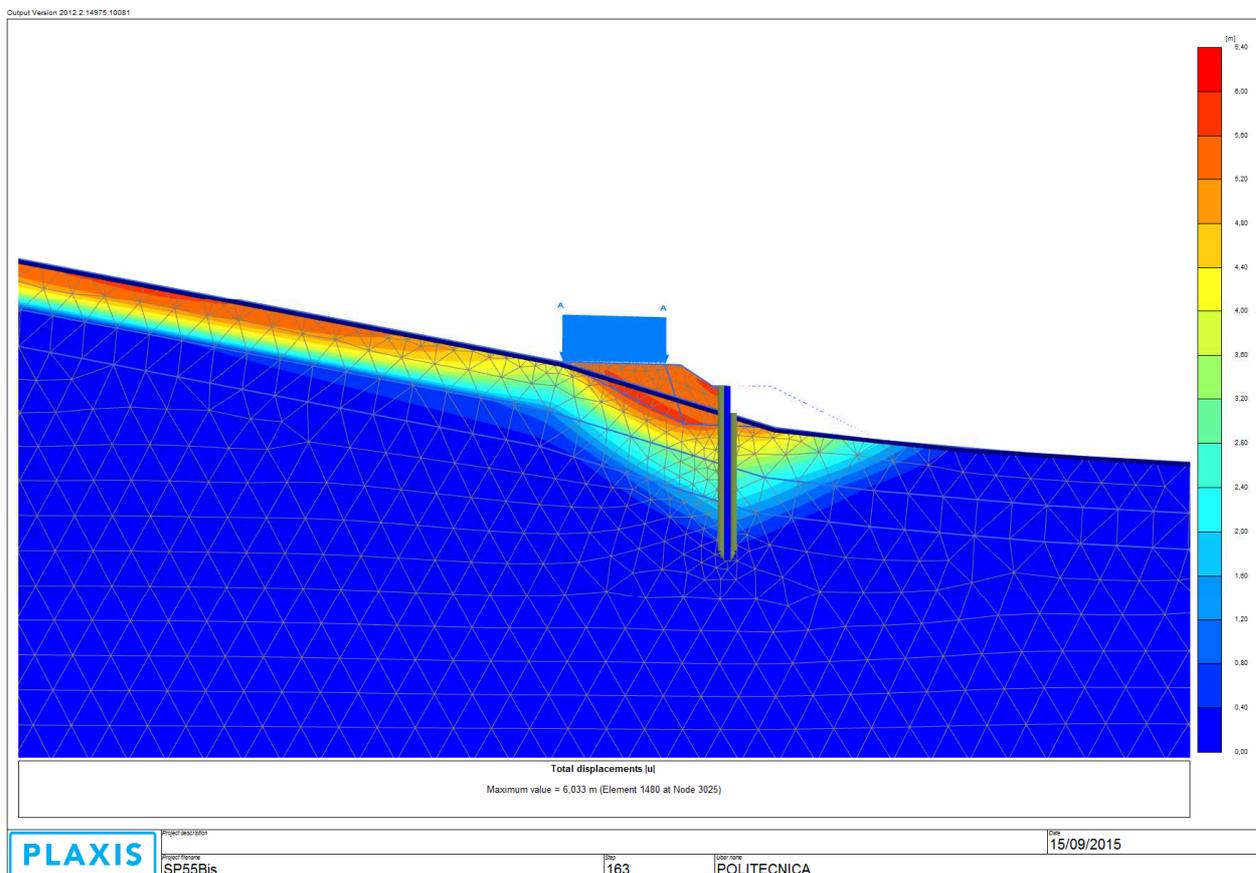


Figura 26 – Analisi stabilità statica (c-phi reduction method, FS > 1.4)

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

OS106 – Paratia di sostegno SP 55 bis - Relazione Tecnica e di Calcolo

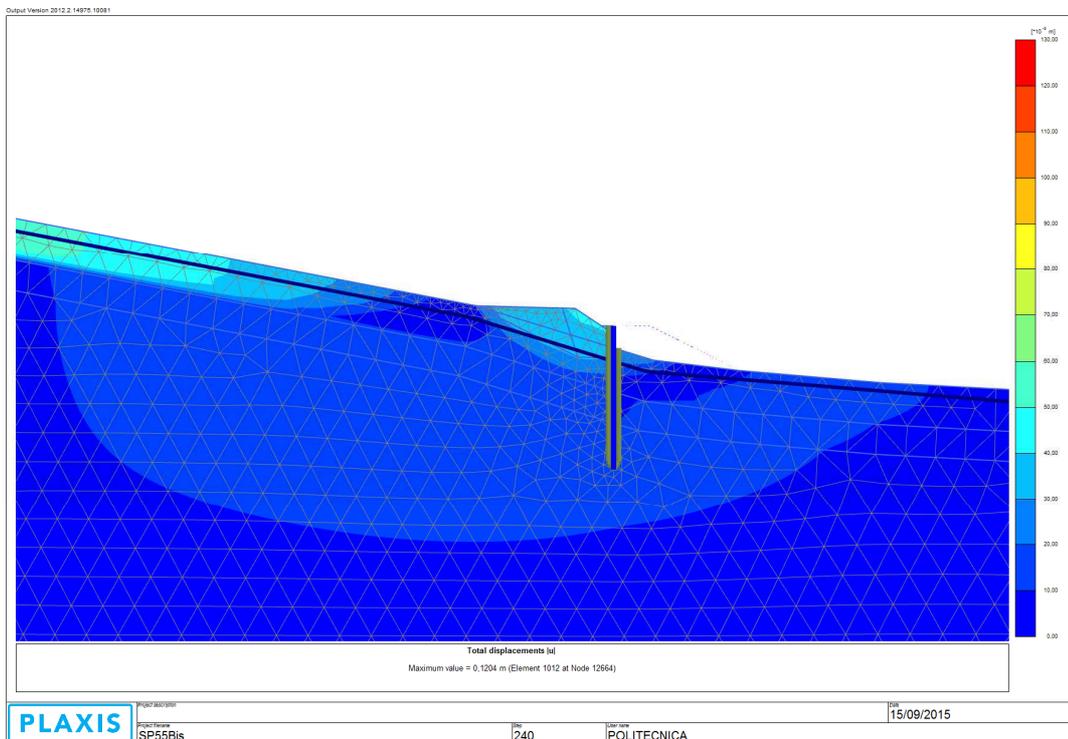
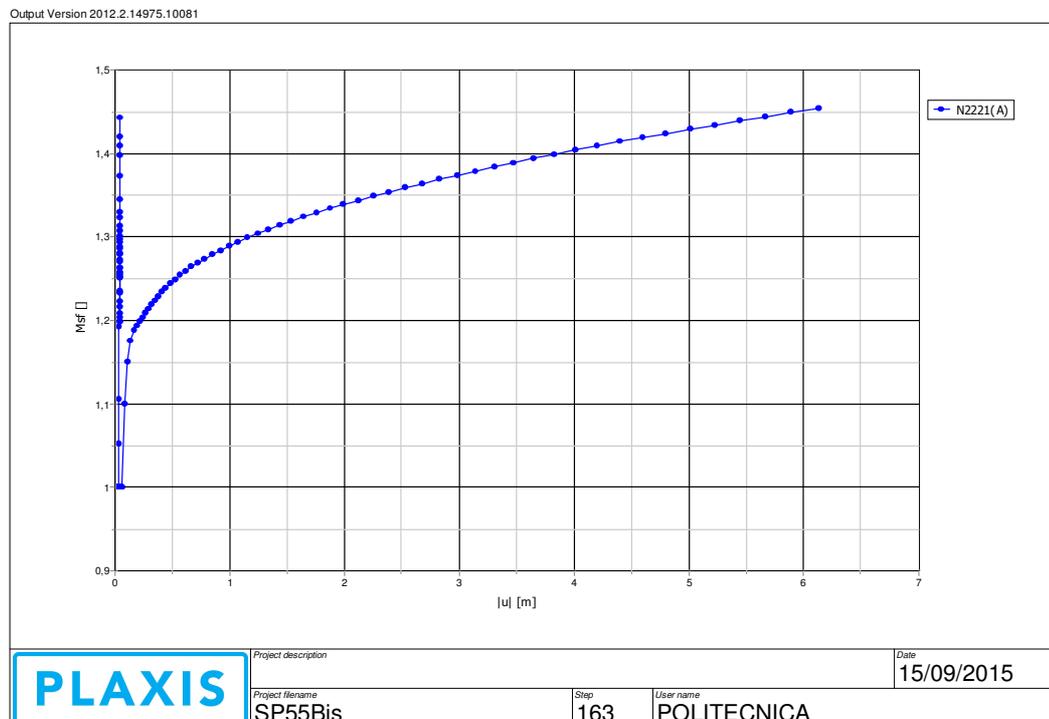


Figura 27 – Analisi stabilità sismica (c-phi reduction method, FS > 1.4)



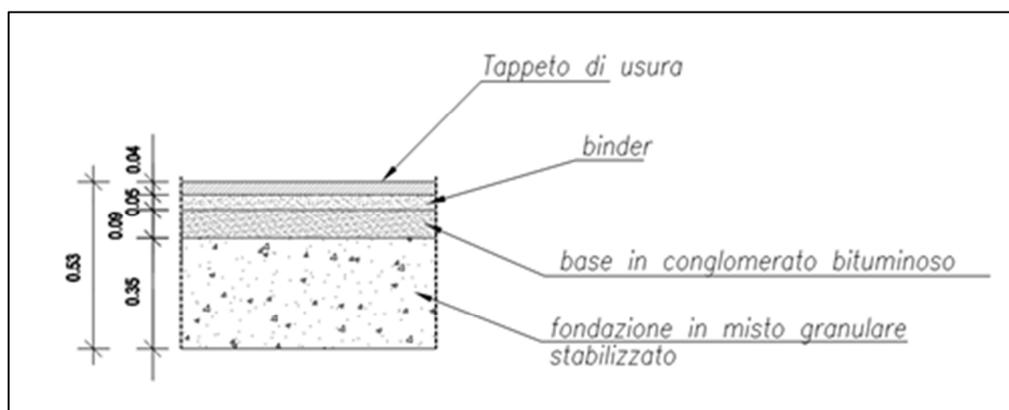
9

SOVRASTRUTTURA STRADALE

Nel Progetto Esecutivo della Deviazione Scorciavacche (Viabilità Secondaria 29 - S.P. 55 Bis) è stata previsto un pacchetto di sovrastruttura stradale composto dai seguenti strati:

- strato di usura in conglomerato bituminoso tradizionale di spessore 4 cm;
- strato di binder in conglomerato bituminoso tradizionale di spessore 5 cm;
- strato di base in conglomerato bituminoso tradizionale di spessore 9 cm;
- strato di fondazione in misto granulare di spessore 35 cm.

Di seguito si riporta l'immagine della sezione tipo della pavimentazione stradale di progetto.



Schema pavimentazione di progetto

Le dimensioni dei singoli strati e del pacchetto nel suo complesso, sono determinati attraverso una verifica della pavimentazione condotta con il metodo AASHO Guide, utilizzando come volume di traffico i valori desunti dall'elaborato POO_EG00_GEN_RE03 (Relazione Trasportistica) del Progetto Preliminare posto a base di gara, in cui viene indicato un valore di 210 veicoli pesanti giorno, per il flusso bidirezionale (corrispondente a 568 passaggi giornalieri di assi equivalenti da 8,20 ton), a cui corrisponde un numero di passaggi, di assi equivalenti da 8,20 ton, pari ad 550.000, per i 5 anni di vita utile prevista per la viabilità in esame, come si evince nella relazione tecnica sul progetto stradale di P.E.A. della SP 55bis (elab. PA_VS_RT01_30_4137)

Nella suddetta relazione di P.E.A. (elab. PA_VS_RT01_30_4137), si evince, altresì, che la suddetta pavimentazione è stata verificata secondo il metodo AASHO Guide e che la stessa è in grado di sopportare, durante la sua vita utile, circa 970.000 passaggi di assi equivalenti da 8,2 ton.

Come riportato nel capitolo 2 della presente relazione, il C.G. a ritenuto opportuno effettuare dei rilevamenti sul traffico veicolare, di cui si riportano a seguire i dati riscontrati:

TRANSITI REGISTRATI SULLA VIABILITA' SP55 BIS				
DATA	MEZZI PESANTI	AUTOMOBILI	DIREZIONE	ORARIO RILEVAZIONE
15/07/2015	1 137	4 032	PA/AG + AG/PA	dalle ore 7:00 alle ore 19:00
16/07/2015	1 194	4 568	PA/AG + AG/PA	dalle ore 7:00 alle ore 19:01
20/07/2015	665	2 353	PA/AG	dalle ore 7:00 alle ore 19:02

Dall'analisi dei dati soprariportati, che si riferiscono alla sola fascia oraria 7.00 a.m. ÷ 19.00 p.m., si desume chiaramente che per, il flusso bidirezionale, il volume relativo al traffico giornaliero veicolare complessivo, di tipo pesante, è superiore ai 1200 veicoli/giorno.

Pertanto, utilizzando per la verifica della pavimentazione di progetto un traffico giornaliero medio di 1200 veicoli pesanti giorno (corrispondente a circa 3200 passaggi giornalieri di assi equivalenti da 8,20 tonn), si ottiene che la vita utile della pavimentazione, a cui corrisponde un numero di passaggi massimo pari a circa 970.000 assi equivalenti da 8.2 ton, viene raggiunta in un arco temporale di soli 19 mesi.

Tale arco temporale coincide con il periodo di messa in esercizio della viabilità secondaria 29 (S.P.55 Bis), la cui apertura al traffico è avvenuta in data 13 novembre 2013, giusta Ordinanza Anas n° 254/2013 del 13-11-2013.

Per quanto in narrativa, dunque, per il tratto di SP55Bis affetto da deformazioni e cedimenti, è stato previsto un intervento di manutenzione straordinaria che, nell'immediato, prevede la realizzazione della paratia, codificata con la WBS OS106 e, successivamente, con il rifacimento della pavimentazione stradale. Quest'ultimo intervento di riqualificazione della pavimentazione, infatti, non può essere realizzato nell'immediato, stante i volumi di traffico giornalieri, poiché è necessario procedere almeno con la parzializzazione della carreggiata, il che determinerebbe ovvi disagi alla circolazione. Si prevede, pertanto, di effettuare tale l'intervento solo dopo aver riportato il traffico sulla SS121, assicurando, tuttavia, i necessari interventi di manutenzione della pavimentazione esistente che si dovessero rendere necessari, al fine di garantire il transito in condizioni di totale sicurezza.

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

OS106 – Paratia di sostegno SP 55 bis - Relazione Tecnica e di Calcolo

10

ALLEGATO 1- FASCICOLO DI CALCOLO MODELLO FEM

Di seguito si riporta il fascicolo di calcolo con input ed output del modello di calcolo agli elementi finiti Plaxis VIP 2015 utilizzato per la modellazione e il calcolo della paratia.