



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. 65

OPERE DI SOSTEGNO - ASSE PRINCIPALE - Lotto 2a OS05 - Paratie di pali sx dal km 2+069.136 al km 2+308.443 Relazione descrittiva e di calcolo

Codice Unico Progetto (CUP): F41B03000230001

Codice elaborato:	OPERA	ARGOMENTO	DOC. E PROG.	FASE	REVISIONE
PA17/08	P E	OS05	R C 0 1	5	0

CARTELLA:	FILE NAME:	NOTE:	PROT.	SCALA:
0 7	PEOS05RC01_50_4137.dwg	1=1	4 1 3 7	Relazione
5				
4				
3				
2				
1				
0	PRIMA EMISSIONE		Novembre 2015	A.Cecchelli 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

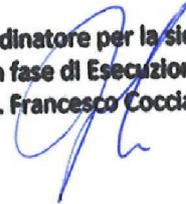


Il Geologo
dott. Pietro Accolti Gil



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

INDICE

1	Introduzione	5
2	Normativa di riferimento	7
3	Elaborati di progetto di riferimento	8
4	Caratteristiche dei materiali.....	10
4.1	Acciaio	10
4.1.1	Acciaio per armatura strutture in c.a.	10
4.1.2	Acciaio per piastrame e travi di collegamento tiranti	10
4.1.3	Acciaio armonico per tiranti	10
4.2	Calcestruzzo	11
4.2.1	Calcestruzzo per pali.....	11
4.2.2	Calcestruzzo per trave di coronamento	11
5	Stratigrafia e caratterizzazione geotecnica di riferimento	12
5.1	Inquadramento geologico	12
5.2	Inquadramento idrogeologico.....	13
5.3	Profilo stratigrafico	13
5.4	Categoria di sottosuolo ai fini della caratterizzazione sismica	14
6	Caratterizzazione sismica dell'area	15
6.1	Periodo di riferimento per l'azione sismica	15
6.2	Azione sismica di riferimento	15
7	Descrizione dell' opera di sostegno.....	18
8	Criteri di verifica e combinazioni di carico	19
8.1	Verifiche geotecniche	19
8.1.1	Collasso per rotazione intorno ad un punto dell'opera	19
8.1.2	Verifica allo sfilamento dei tiranti	19
8.1.3	Instabilità globale dell'insieme terreno-opera di sostegno.....	21
8.1.4	Interazione terreno-struttura	22
8.2	Verifiche di tipo idraulico (UPL ed HYD)	23
8.3	Verifiche strutturali (STR).....	23
8.3.1	Verifiche SLU	23
8.3.2	Verifiche SLE	23
8.4	Combinazioni di carico agli Stati limite ultimi - SLU	24
8.5	Combinazioni di carico agli Stati limite di esercizio - SLE.....	27

9	Analisi dei carichi	29
9.1	Azioni permanenti	29
9.1.1	Peso proprio	29
9.1.2	Spinta delle terre	29
9.1.3	Spinta dell'acqua	31
9.2	Azioni variabili	31
9.2.1	Sovraccarico uniforme indefinito	31
9.2.2	Azioni climatiche	31
9.3	Azione sismica	31
10	Risultati delle analisi	34
10.1	Sezioni di verifica	34
10.2	Parametri geotecnici di calcolo	37
10.3	Sezione di verifica 114 –Progr. 2+259.985	38
10.3.1	Sintesi dei risultati	38
10.3.2	Verifiche geotecniche	42
10.3.2.1	Verifiche di stabilità globale del complesso opera di sostegno - terreno.....	42
10.3.3	Verifiche strutturali	44
10.3.3.1	Verifiche SLU - Pali.....	44
10.3.3.2	Verifiche SLE – Pali	45
10.4	Sezione di verifica Progr. km 2+241.948.....	47
10.4.1	Sintesi dei risultati	47
10.4.2	Verifiche geotecniche	51
10.4.2.1	Verifiche di stabilità globale del complesso opera di sostegno - terreno.....	51
10.4.3	Verifiche strutturali	53
10.4.3.1	Verifiche SLU - Pali.....	53
10.4.3.2	Verifiche SLE – Pali	54
10.5	Sezione di verifica Progr. km 2+232	56
10.5.1	Sintesi dei risultati	56
10.5.2	Verifiche geotecniche	60
10.5.2.1	Verifiche di stabilità globale del complesso opera di sostegno - terreno.....	60
10.5.3	Verifiche strutturali	62
10.5.3.1	Verifiche SLU - Pali.....	62
10.5.3.2	Verifiche SLE – Pali	63
10.6	Sezione di verifica Progr. 2+216	65

10.6.1	Sintesi dei risultati	65
10.6.2	Verifiche geotecniche	70
10.6.2.1	Verifiche di stabilità globale del complesso opera di sostegno - terreno.....	70
10.6.3	Verifiche strutturali	72
10.6.3.1	Verifiche SLU - Pali.....	72
10.6.3.2	Verifiche SLU – Tiranti.....	73
10.6.3.3	Verifiche SLU Trave di coronamento	74
10.6.3.4	Verifiche SLE – Pali	75
10.7	Sezione di verifica Sez.111 - Progr. 2+199.883	77
10.7.1	Sintesi dei risultati	77
10.7.2	Verifiche geotecniche	82
10.7.2.1	Verifiche di stabilità globale del complesso opera di sostegno - terreno.....	82
10.7.3	Verifiche strutturali	84
10.7.3.1	Verifiche SLU - Pali.....	84
10.7.3.2	Verifiche SLU – Tiranti.....	85
10.7.3.3	Verifiche SLU Trave di coronamento	86
10.7.3.4	Verifiche SLE – Pali	87
10.8	Sezione di verifica 109 –Progr. 2+159.866	89
10.8.1	Sintesi dei risultati	89
10.8.2	Verifiche geotecniche	95
10.8.2.1	Verifiche di stabilità globale del complesso opera di sostegno - terreno.....	95
10.8.3	Verifiche strutturali	97
10.8.3.1	Verifiche SLU - Pali.....	97
10.8.3.2	Verifiche SLU – Tiranti.....	100
10.8.3.3	Verifiche SLU Trave di ripartizione.....	101
10.8.3.4	Verifiche SLU Trave di coronamento	101
10.8.3.5	Verifiche SLE – Pali	102
10.9	Sezione di verifica 107 – Progr. 2+119.866	106
10.9.1	Sintesi dei risultati	106
10.9.2	Verifiche geotecniche	112
10.9.2.1	Verifiche di stabilità globale del complesso opera di sostegno - terreno.....	112
10.9.3	Verifiche strutturali	114
10.9.3.1	Verifiche SLU - Pali.....	114
10.9.3.2	Verifiche SLU – Tiranti.....	116

PARATIE DI PALI SX DAL KM 2+069.14 AL KM 2+308.44 – RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO

10.9.3.3	Verifiche SLU Trave di ripartizione.....	117
10.9.3.4	Verifiche SLU Trave di coronamento	117
10.9.3.5	Verifiche SLE – Pali	118

1 INTRODUZIONE

La presente relazione di calcolo dell'opera di sostegno OS05, viene emessa nella presente fase di Progetto Esecutivo di Dettaglio (PED) a seguito di alcune modifiche puntuali apportate rispetto alla precedente versione di Progetto Esecutivo Approvato (PEA), volte a velocizzare le lavorazioni ed a ottimizzare l'impiego dei materiali.

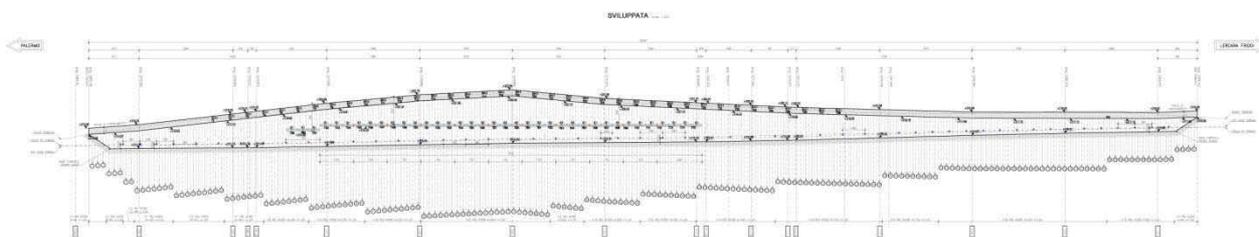


Figura 1 Sviluppata della paratia di pali Φ 1000 mm, interasse 1.2 m- Progr.2+6069.136-Progr. 2+159.86

In particolare le principali variazioni effettuate rispetto alla soluzione di PEA dell'opera in esame sono sinteticamente le seguenti:

- Vista l'estensione dell'opera, sono state aggiunte le seguenti 6 sezioni di calcolo integrative:
 - Sezione di verifica 114– Progr. 2+259.98
 - Sezione di verifica – Progr. 2+241.95
 - Sezione di verifica – Progr. 2+232
 - Sezione di verifica – Progr. 2+216
 - Sezione di verifica 111 – Progr. 2+199.88
 - Sezione di verifica – Progr. 2+199.88

adottando le stesse ipotesi progettuali e gli stessi criteri di dimensionamento utilizzate nella redazione della precedente emissione di PEA che prevedeva: sole 3 sezioni di calcolo:

- Sezione di verifica 107– Progr. 2+119.87
- Sezione di verifica 109– Progr. 2+159.87
- Sezione di verifica 113– Progr. 2+239.95

Grazie all'approfondimento di calcolo eseguito, non risulta necessario prevedere tratti a 3 ordini di tiranti ed in particolare è stato possibile eliminare complessivamente n. 80 tiranti, nel dettaglio:

- n. 3 tiranti di testa tipo A1
- n. 13 tiranti di testa tipo A2
- n. 12 tiranti di testa tipo A3
- n. 8 tiranti di testa tipo B1
- n. 18 tiranti di testa tipo B2
- n. 26 tiranti di testa tipo C1

La posizione, la lunghezza e la modularità delle travi di ripartizione dei tiranti intermedi sono state riviste sulla base delle nuove risultanze di calcolo e sono state altresì sviluppate in modo da ottimizzare l'impiego dei materiali e da ridurre gli sfridi.

Il maggiore dettaglio raggiunto nel calcolo ha poi permesso di prevedere un accorciamento circoscritto ai seguenti 5 pali:

- n. 3 pali (cod.13-14-15) da 14m a 12m
- n. 2 pali (cod.109-110) da 18m a 16m

L'eliminazione dei tiranti suddetti ha comportato una revisione complessiva dell'armatura dei pali, con incremento delle incidenze d'armatura longitudinale per i pali più lunghi. Per il dettaglio compiuto delle gabbie di armatura si rimanda alle tavole N004-N005 facenti parte integrante della presente emissione.

Per completezza di trattazione sono state poi effettuate modifiche non sostanziali sulle lunghezze di alcuni ferri longitudinali costituenti le gabbie di armatura dei pali e sono stati inoltre rimodulati i ferri costituenti gli anelli di irrigidimento delle gabbie. Tali modifiche consentono di ridurre gli sfridi ed ottimizzare quindi l'impiego delle barre di armatura;

Per maggiori dettagli si riporta di seguito l'elenco degli elaborati riemessi come elaborati di PED, a seguito delle modifiche sopra illustrate:

Relazione descrittiva e di calcolo	Relazione		PEOS05RC01	_	40	_	4137
Planimetria, sviluppata e sezioni tipo	varie		PEOS05N001	_	40	_	4137
Sezioni trasversali	1:200		PEOS05N002	_	40	_	4137
Carpenteria e armatura pali tav 1/2	varie		PEOS05N004	_	40	_	4137
Carpenteria e armatura pali tav 2/2	varie		PEOS05N005	_	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.

3 ELABORATI DI PROGETTO DI RIFERIMENTO

[5]	Relazione geologica geomorfologica idrogeologica	PE_GE_RT01
[6]	Relazione geotecnica e sismica	PE_GT_RT01
[7]	Relazione geotecnica corpo stradale	PE_GT_RT02
[8]	Profilo geotecnico – Tav. 1	PE_GT_L001
[9]	Profilo geotecnico – Tav. 2	PE_GT_L002
[10]	Profilo geotecnico – Tav. 3	PE_GT_L003
[11]	Profilo geotecnico – Tav. 4	PE_GT_L004
[12]	Profilo geotecnico – Tav. 5	PE_GT_L005
[13]	Profilo geotecnico – Tav. 6	PE_GT_L006
[14]	Profilo geotecnico – Tav. 7	PE_GT_L007
[15]	Profilo geotecnico – Tav. 8	PE_GT_L008
[16]	Profilo geotecnico – Tav. 9	PE_GT_L009
[17]	Profilo geotecnico – Tav. 10	PE_GT_L010
[18]	Profilo geotecnico – Tav. 11	PE_GT_L011
[19]	Profilo geotecnico – Tav. 12	PE_GT_L012
[20]	Profilo geotecnico – Tav. 13	PE_GT_L013
[21]	Profilo geotecnico – Tav. 14	PE_GT_L014
[22]	Profilo geotecnico – Tav. 15	PE_GT_L015
[23]	Profilo geotecnico – Tav. 16	PE_GT_L016
[24]	Profilo geotecnico – Tav. 17	PE_GT_L017
[25]	Profilo geotecnico – Tav. 18	PE_GT_L018
[26]	Profilo geotecnico – Tav. 19	PE_GT_L019
[27]	Profilo geotecnico – Tav. 20	PE_GT_L020
[28]	Profilo geotecnico – Tav. 21	PE_GT_L021
[29]	Profilo geotecnico – Tav. 22	PE_GT_L022
[30]	Profilo geotecnico – Tav. 23	PE_GT_L023
[31]	Profilo geotecnico – Tav. 24	PE_GT_L024
[32]	Profilo geotecnico – Tav. 25	PE_GT_L025
[33]	Profilo geotecnico – Tav. 26	PE_GT_L026
[34]	Profilo geotecnico – Tav. 27	PE_GT_L027
[35]	Profilo geotecnico – Tav. 28	PE_GT_L028

[36]	Profilo geotecnico – Tav. 29	PE_GT_L029
[37]	Profilo geotecnico – Tav. 30	PE_GT_L030
[38]	Profilo geotecnico – Tav. 31	PE_GT_L031
[39]	Profilo geotecnico – Tav. 32	PE_GT_L032
[40]	Profilo geotecnico – Tav. 33	PE_GT_L033
[41]	Profilo geotecnico – Tav. 34	PE_GT_L034
[42]	Profilo geotecnico – Tav. 35	PE_GT_L035
[43]	Profilo geotecnico – Tav. 36	PE_GT_L036
[44]	Profilo geotecnico – Tav. 37	PE_GT_L037
[45]	Profilo geotecnico – Tav. 38	PE_GT_L038

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

4.1.2 Acciaio per piastrame e travi di collegamento tiranti

E' previsto l'impiego di acciaio S275, con o senza saldatura, caratterizzato dai seguenti valori caratteristici di resistenza:

tensione caratteristica di rottura	$f_{tk} = 430 \text{ N/mm}^2$
tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} = 275 \text{ N/mm}^2$

4.1.3 Acciaio armonico per tiranti

E' previsto l'impiego di trefoli $\phi 0.6$ " caratterizzati dai seguenti valori caratteristici:

tensione caratteristica di rottura	$f_{ptk} \geq 1860 \text{ MPa}$
tensione corrispondente all'1 % di deformazione totale	$f_{p(1)k} \geq 1670 \text{ MPa}$
allungamento sotto carico massimo	$A_{gt} \geq 3.5$

4.2 Calcestruzzo

4.2.1 Calcestruzzo per pali

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

4.2.2 Calcestruzzo per trave di coronamento

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

5 STRATIGRAFIA E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DI RIFERIMENTO

Si riporta nel seguito un richiamo all'inquadramento geologico e idrogeologico dell'intero tracciato di cui è parte anche l'opera in oggetto della presente relazione.

5.1 Inquadramento geologico

L'analisi fotogeologica, insieme allo studio dei dati stratigrafici e analitici derivati dalle campagne geognostiche condotte ed all'incrocio con le informazioni cartografiche e descrittive disponibili ha consentito di delineare con sufficiente approssimazione il quadro geologico-stratigrafico nella fascia di territorio in cui ricade il tracciato stradale. Nell'area in esame sono presenti formazioni geologiche di età compresa tra il Trias e l'attuale, rappresentate dalle seguenti unità:

- **Depositi continentali quaternari**

- Depositi di versante
- Accumuli di frana
- Deposito alluvionale di alveo
- Deposito alluvionale terrazzato
- Prodotti eluviali e depositi colluviali

- **Depositi sinorogenici**

- Formazione Terravecchia (Tortoniano(parte alta) – Messiniano inferiore)
- Formazione di Castellana Sicula (Serravalliano (parte alta) – Tortoniano (parte bassa))

- **Unità derivanti dalla deformazione del Dominio Sicilide**

- Formazione Polizzi (*Oligocene - Eocene superiore*)

- **Unità derivanti dalla deformazione del Bacino Numidico (s.l.)**

- Formazione Tavernola (Burdigaliano superiore - Langhiano)
- Formazione Portella Colla (Oligocene superiore – Miocene inferiore (Aquitano))

- **Unità derivanti dalla deformazione del Dominio Imerese**

- Formazione Mufara (Carnico medio - superiore)

- **Unità derivanti dalla deformazione del Dominio Sicano**

- Complesso di Lercara (Permiano inferiore – Trias medio (Ladinico))

- **Unità derivanti dalla deformazione della piattaforma carbonatica e carbonatica pelagica Trapanese**

- Formazione Buccheri p.p. (Toarciano – Tortonico inferiore)

Si rimanda al documento di riferimento [5], per l'analisi approfondita delle singole formazioni geologiche.

5.2 Inquadramento idrogeologico

Complessivamente, i terreni presenti nella zona di studio, attribuibili alle unità derivanti dalla deformazione del Dominio Sicilide, del Bacino Numidico e alla facies arenacea-sabbiosa dei depositi terrigeni sinorogenici, svolgono la funzione di impermeabile relativo rispetto tutti gli altri complessi idrogeologici. Infatti il ruolo idrogeologico di questi termini è da ritenere inesistente non essendoci nelle aree del loro affioramento delle vere falde idriche a cui essi potrebbero fare da limite di permeabilità definito o da strato confinante.

In particolare le unità derivanti dalla deformazione del Bacino Numidico (Formazione di Tavernola e Formazione Portella Colla) per la facies pelitica e i livelli arenacei inglobati nelle peliti e talora intensamente tettonizzati, presentano caratteristiche di permeabilità relativa molto variabili da livello a livello e da zona a zona che può variare da bassa a bassissima. Modeste falde idriche sono localizzate nelle ridotte coltri d'alterazione di tali successioni terrigene a profondità generalmente comprese tra 3 e 6 m dal p.c..

In tale contesto idrogeologico si evidenzia che gli acquiferi più importanti sono presenti in corrispondenza del complesso alluvionale e sono caratterizzati dalla giustapposizione disordinata di termini litologici di varia granulometria. La circolazione idrica avviene pertanto per falde sovrapposte con deflusso preferenziale dell'acqua nei litotipi a più alto grado di permeabilità relativa. Il regime torrentizio dei corsi d'acqua fa supporre che vi sia una notevole escursione stagionale del livello della falda nelle pianure alluvionali, alimentata dalle acque di corrivazione provenienti dai versanti e legata alle portate dei corsi d'acqua stessi.

Falde di modeste dimensioni ed a carattere stagionale si impostano nelle coltri superficiali di alterazione del substrato, nelle coperture detritiche e negli accumuli di frana.

5.3 Profilo stratigrafico

Lungo lo sviluppo dell'opera in esame OS05, l'insieme delle indagini in sito ed in laboratorio eseguite nelle campagne geognostiche ha consentito l'individuazione delle seguenti unità geotecniche:

UNITA' DT - Detrito limoso argilloso

Si tratta di limi argillosi sabbiosi con inclusi elementi lapidei derivanti dall'alterazione e disgregazione della porzione più superficiale dei terreni di base.

UNITA' LSA - Limi sabbiosi argillosi

Si tratta di limi sabbiosi argillosi color avana da poco a moderatamente consistenti.

UNITA' AG – Argille limose grigie

Si tratta di argille limose grigie a struttura scagliettata con inclusi elementi lapidei, da consistenti a molto consistenti, talvolta con intercalati livelli sabbiosi e/o livelli, strati di argilliti a consistenza pseudo-litoide. Questa unità costituisce il substrato di base lungo tutto il tratto interessato dall'opera in esame.

Per una ricostruzione dettagliata della litologia lungo il tracciato stradale si rimanda al Profilo geotecnico (documenti di riferimento da [8] a [45]). Per una descrizione dettagliata delle indagini geotecniche eseguite e delle interpretazioni condotte si rimanda alla Relazione geotecnica generale (documento di riferimento [6], [7]).

Nel capitolo 10 si riporta la stratigrafia di calcolo con i relativi parametri geotecnici di progetto adottati e la quota della falda assunta nelle analisi.

5.4 Categoria di sottosuolo ai fini della caratterizzazione sismica

Sulla base di quanto evidenziato dalle prove sismiche effettuate nel tratto di interesse, il terreno di fondazione può essere classificato nelle seguenti categorie di sottosuolo:

- Categoria B: "Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina)".

Si rimanda al Profilo geotecnico (documenti di riferimento da [8] a [45]) per l'ubicazione delle prove sismiche effettuate e per i relativi valori delle velocità di propagazione delle onde di taglio misurati.

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.

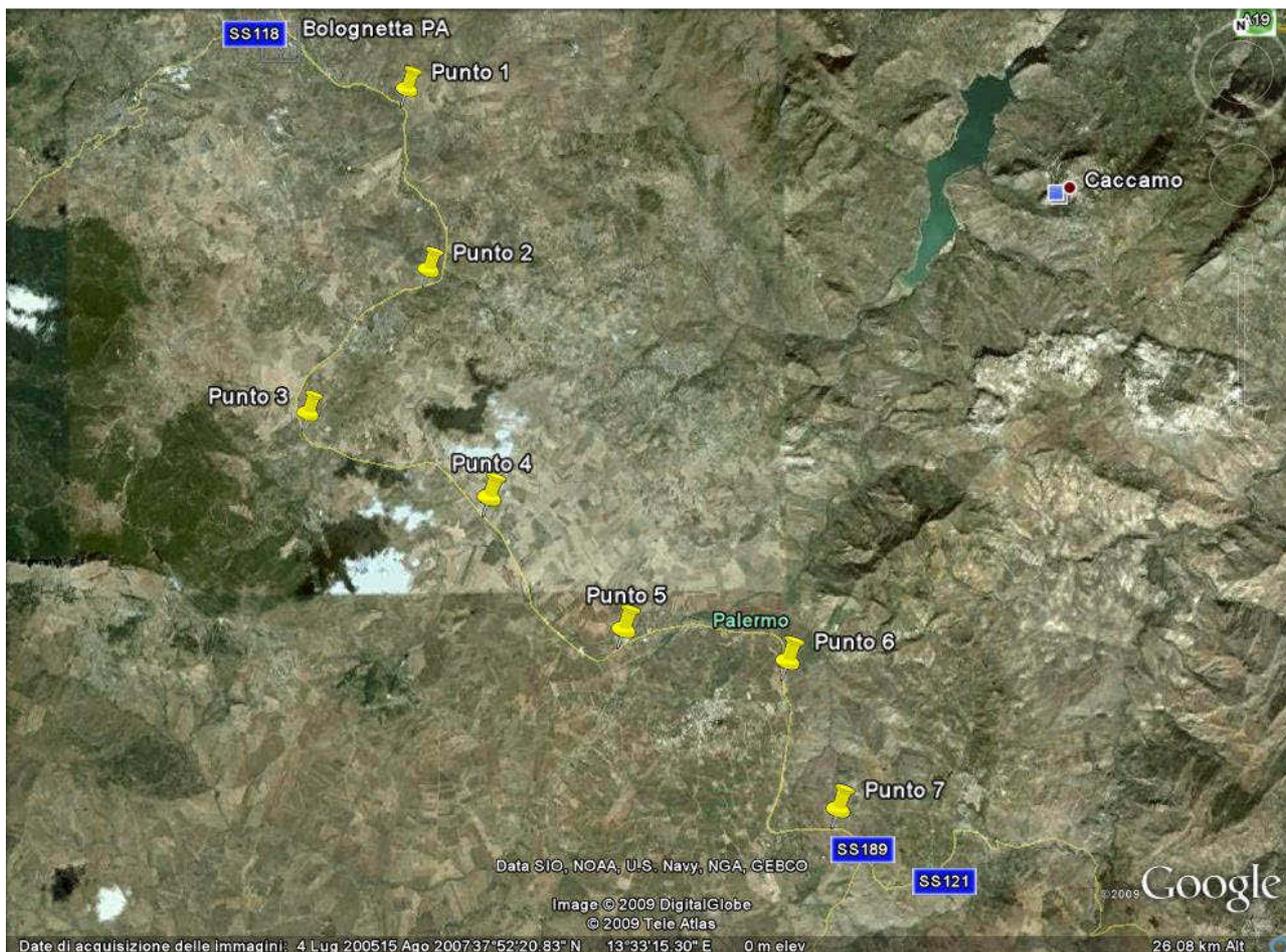


Figura 2 Localizzazione tracciato

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

Progressive km 0+000 - km 5+000

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

PARATIE DI PALI SX DAL KM 2+069.14 AL KM 2+308.44 – RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO

The screenshot shows a software interface for seismic analysis, divided into two main phases: FASE 1 (Individuazione della pericolosità del sito) and FASE 2 (Scelta della strategia di progettazione).

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

- Ricerca per coordinate:** LONGITUDINE: 13.48874, LATITUDINE: 37.95318
- Ricerca per comune:** REGIONE: Sicilia, PROVINCIA: Palermo, COMUNE: Alia
- Elaborazioni grafiche:** Grafici spettri di risposta, Variabilità dei parametri
- Elaborazioni numeriche:** Tabella parametri
- Nodi del reticolo intorno al sito:** km 7.5, coordinate: 45942, 45943, 46064, 46065
- Reticolo di riferimento:** Controllo sul reticolo (Sito esterno al reticolo, Interpolazione su 3 nodi, Interpolazione corretta), Interpolazione superficie rigata
- Mappe:** Mappa d'Italia con punto rosso in Sicilia, e mappa locale del sito con coordinate ISTAT.

FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

- Valori di progetto:**
 - Vita nominale della costruzione (in anni) - V_N : 50 info
 - Coefficiente d'uso della costruzione - C_U : 2 info
 - Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) - V_R : 100 info
 - Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) - T_R : info
 - Stati limite di esercizio - SLE:
 - SLO - $P_{VR} = 81\%$: 60
 - SLD - $P_{VR} = 63\%$: 101
 - Stati limite ultimi - SLU:
 - SLV - $P_{VR} = 10\%$: 949
 - SLC - $P_{VR} = 5\%$: 1950
- Strategia di progettazione:** Grafici parametri azione, Grafici spettri di risposta, Tabella parametri azione
- Strategia di progettazione (Grafico):** T_R [anni] vs T_c [s]. Legendario: - - □ - Strategia per costruzioni ordinarie, - - ■ - Strategia scelta.

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]
0+000 - 3+300	0.204	2.454	0.312
3+300 - 5+000			

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

Progressiva	Categoria
0+000 - 3+720	B

7 DESCRIZIONE DELL' OPERA DI SOSTEGNO

Nel tratto oggetto di studio verrà realizzata un'opera di sostegno costituita da pali trivellati in c.a. che avrà carattere definitivo.

La paratia è costituita da pali $\phi = 1000$ mm posti ad interasse $i = 1.20$ m e collegati in testa da una trave di coronamento in c.a. avente altezza di 1.30 m e larghezza $B = 1.30$ m.

L'opera di sostegno è contrastata da una successione di 3 ordini di tiranti a 4 trefoli in acciaio armonico, di tipo definitivo a doppia protezione, di cui il primo livello è immorsato nella trave di coronamento. L'azione di contrasto dei successivi livelli di tiranti è distribuita sui pali dalle travi di collegamento e ripartizione previste lungo il secondo ordine e costituite da un doppio profilato in acciaio della serie UPN 240.

Lo scavo procederà per intervalli successivi dalla sommità fino a non oltre 0.50 m al di sotto della quota prevista per l'installazione del livello di tiranti nei tratti di paratia ove previsto; completati e giunti a maturazione i tiranti e la relativa trave di contrasto lo scavo procederà fino al raggiungimento della massima profondità di scavo prevista.

Per dissipare le pressioni idrauliche agenti sulla paratia si prevede la messa in opera di un sistema di drenaggio costituito da tubi verticali microfessurati in PVC di diametro esterno $\phi = 90$ mm e spessore 5.0 mm.

Dato il carattere definitivo della paratia prevista, l'opera sarà rivestita con lastre prefabbricate aventi la facciata esterna rivestita e caratterizzata da una finitura superficiale tipo pietra ottenuta con casseri a matrice in modo da migliorare l'aspetto estetico e facilitare l'inserimento delle opere nel contesto paesaggistico-ambientale della zona. A tergo della lastra si procederà al riempimento con calcestruzzo magro.

A tergo della paratia è prevista la posa di una canaletta mezzo tubo in cls e la sistemazione definitiva del versante fino al raccordo con lo scavo di attacco per realizzare la trave di coronamento secondo una pendenza massima di 3/2.

8 CRITERI DI VERIFICA E COMBINAZIONI DI CARICO

Il progetto e la verifica della paratia richiede la verifica dei seguenti stati limite:

1. SLU di tipo geotecnico (GEO) e di tipo idraulico (UPL e HYD):
 - a. collasso per rotazione intorno ad un punto dell'opera (moto rigido);
 - b. sfilamento di uno o più ancoraggi;
 - c. instabilità del fondo scavo per sollevamento;
 - d. instabilità globale dell'insieme terreno-opera di sostegno;
2. SLU di tipo strutturale (STR):
 - e. raggiungimento della resistenza di uno o più ancoraggi;
 - f. raggiungimento della resistenza di uno o più puntoni o del sistema di contrasto;
 - g. raggiungimento della resistenza strutturale della paratia.

8.1 Verifiche geotecniche

8.1.1 Collasso per rotazione intorno ad un punto dell'opera

La verifica all'equilibrio globale alla rotazione viene implicitamente soddisfatta mediante l'analisi di interazione terreno struttura, condotta mediante il programma di calcolo Paratie Plus 2011 ver. 9.057 della CEAS Srl di cui si dirà più avanti, che nell'analizzare il sistema di sollecitazioni e deformazioni verifica tutte le condizioni di equilibrio del sistema.

8.1.2 Verifica allo sfilamento dei tiranti

Per la verifica allo sfilamento si è fatto riferimento ai risultati di metodi di calcolo analitici corretti in funzione del numero delle verticali di indagine esaminate.

Come metodo di calcolo si è fatto riferimento alle indicazioni di Bustamante e Doix (1985)¹ da cui deriva:

$$(R_{ac})_{\min} = \pi \alpha D L_{\text{fondazione}} \times q_s$$

in cui:

α = coefficiente di incremento del diametro di perforazione D dei tiranti che tiene conto della metodologia di iniezione e della natura dei terreni interessati

D = diametro di perforazione dei tiranti

¹ Bustamante M., Doix B.: "Une méthode pour le calcul des tirants et des micropieux injectés" : Bull. Liaison labo P. et Ch. n. 140, nov. dic. 1985 - Réf. 3047

$L_{fondazione}$ = lunghezza del tratto di fondazione del tirante

q_s = aderenza limite terreno-fondazione funzione del tipo di terreno e delle sue caratteristiche meccaniche e delle modalità di iniezione

La resistenza caratteristica è data dal valore minimo fra:

$$R_{ak} = (R_{ac})_{medio} / \xi_{a3}$$

$$R_{ak} = (R_{ac})_{min} / \xi_{a4}$$

essendo ξ_{a3} ed ξ_{a4} coefficienti funzione del numero di verticali indagate.

La resistenza allo sfilamento di progetto è data per tiranti di tipo permanenti dalla seguente espressione:

$$R_{a,d} = R_{ak} / \gamma_{Ra,p}$$

con $\gamma_{Ra,p} = 1.2$.

La lunghezza libera dei tiranti tiene conto della maggiore estensione del cuneo di spinta in condizioni sismiche secondo la relazione:

$$L_e = L_s (1 + 1.5 a_{max} / g)$$

in cui L_e è la lunghezza libera necessaria in condizioni sismiche ed L_s è la corrispondente misura necessaria in condizioni statiche.

Quest'ultima, ovvero L_s , è stata valutata secondo il criterio illustrato dalla figura seguente mirante ad assicurare che il tratto di ancoraggio si mantenga al di fuori del cuneo di terreno che esercita la spinta sulla paratia stessa.

La lunghezza libera dei vari ordini di tiranti è stata maggiorata di 1 metro rispetto al valore derivante dai calcoli per tenere conto del fatto che nella schematizzazione di calcolo si considera che l'inizio del tirante sia in asse alla paratia e che la distanza da testa tirante ad asse palo è pari a circa 1 m.

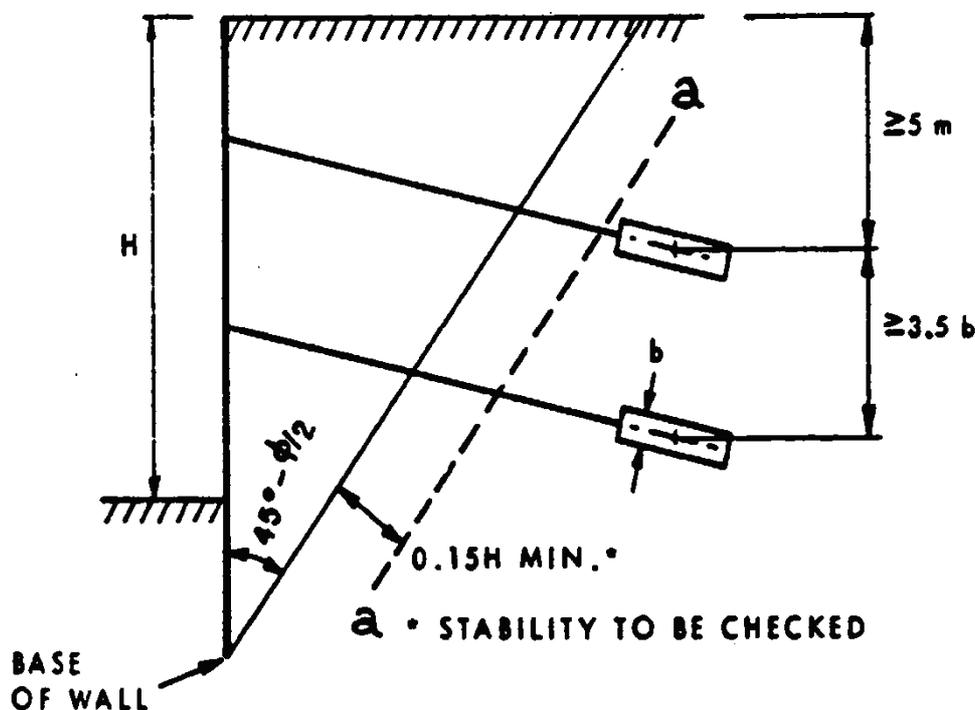


Figura 3 Criterio per la definizione della lunghezza libera dei tiranti (Canadian Foundation Engineering Manual 1985)

8.1.3 Instabilità globale dell'insieme terreno-opera di sostegno

Si fa ricorso ad un modello semplificato basato sulla nota teoria dell'equilibrio limite nell'ambito della quale i terreni sono stati caratterizzati mediante un legame costitutivo rigido-plastico con criterio di rottura di Mohr-Coulomb (analisi in termini di sforzi efficaci).

Come prescritto dalla normativa la verifica viene effettuata secondo la "Combinazione 2" (A2+M2+R2).

L'analisi delle condizioni di equilibrio viene svolta con ricorso al codice di calcolo SLIDE vers. 5.042 (Rocsience s.r.l.).

Le forze di inerzia, orizzontali e verticali, applicati alle masse in condizioni sismiche sono valutate mediante i coefficienti k_h e k_v che valgono rispettivamente:

$$k_h = \beta_s a_{max}/g$$

$$k_v = \pm 0.5 k_h$$

dove:

a_{max} = accelerazione massima attesa al sito in considerazione

g = accelerazione di gravità

β_s = coefficiente riduttivo che tiene conto dei possibili spostamenti dell'opera

L'accelerazione massima è stata valutata come:

$$a_{max} = a_g \times S_S \times S_T$$

in cui:

a_g = accelerazione massima attesa al sito di riferimento sul substrato rigido

S_S = coefficiente di amplificazione stratigrafica

S_T = coefficiente di amplificazione topografica

Il coefficiente riduttivo β_s viene desunto, in funzione della categoria di sottosuolo e della accelerazione di riferimento a_g dalla tabella 7.11.I della normativa vigente qui di seguito riprodotta:

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	β_s	β_s
$0.2 < a_g \leq 0.4$	0.30	0.28
$0.1 < a_g \leq 0.2$	0.27	0.24
$a_g \leq 0.1$	0.20	0.20

Con riferimento alla componente verticale, è stata applicata in entrambe le direzioni valutando la più sfavorevole.

8.1.4 Interazione terreno-struttura

Come già anticipato l'analisi della struttura nelle successive fasi di realizzazione è stata sviluppata mediante il programma Paratie Plus 2011 ver. 9.057 della CEAS Srl, che utilizza per il terreno un modello elasto-plastico e consente di seguire l'evoluzione di sforzi e deformazioni durante le successive fasi di scavo, posa e messa in tiro degli ancoraggi, applicazione delle azioni sismiche.

In questa analisi, ovviamente riferita a condizioni piane, il terreno è schematizzato come una successione di "molle" indipendenti, caratterizzate da una rigidezza, differenziabile per condizioni di "carico" e di "scarico", e da una resistenza limite di plasticizzazione definita tramite i coefficienti di spinta attiva e passiva in funzione del movimento relativo terreno-paratia.

La rigidezza delle molle caratterizzanti il terreno è definita dal programma di calcolo stesso come rapporto fra il modulo elastico del terreno e l'altezza massima di scavo.

Per le condizioni di "scarico" si è assunto un valore 2.5 volte quello del modulo di "carico".

Il programma ipotizza una situazione iniziale, coincidente con il termine della costruzione della paratia prima dell'inizio degli scavi, definita mediante il coefficiente di spinta a riposo del terreno K_0 ($= 1 - \sin \phi$).

La paratia è schematizzata mediante la propria rigidità flessionale, valutata con riferimento allo spessore equivalente di una sezione rettangolare a partire dal diametro ed interasse dei pali, mentre gli ancoraggi sono schematizzati mediante vincoli elastici caratterizzati dalla quota di applicazione, inclinazione rispetto all'orizzontale, rigidità assiale ed eventuale pretiro iniziale.

L'analisi in questione, fornendo per ogni fase di carico non solo le sollecitazioni ma anche le deformazioni dell'opera, consente di verificare che le deformazioni massime siano contenute nei limiti di utilizzo della struttura.

8.2 Verifiche di tipo idraulico (UPL ed HYD)

Le verifiche di "tipo idraulico", instabilità del fondo scavo per sollevamento e sifonamento del fondo scavo vengono implicitamente soddisfatte mediante l'analisi di interazione mediante il programma PARATIE che tiene conto dei moti di filtrazione ed della conseguente diminuzione della pressione efficace.

8.3 Verifiche strutturali (STR)

Per le verifiche strutturali alle azioni ed ai parametri geotecnici del terreno si applicano i coefficienti parziali propri delle verifiche STR (A1+M1+R1) per le analisi allo SLU e coefficienti parziali unitari per le analisi allo SLE.

8.3.1 Verifiche SLU

E' stata condotta la verifica in assenza ed in presenza di sisma per le sezioni maggiormente sollecitate della paratia.

8.3.2 Verifiche SLE

In corrispondenza delle medesime sezioni sono state effettuate le verifiche sulla massima ampiezza delle fessure (*verifica allo stato limite di fessurazione*) e sulle massime tensioni nel calcestruzzo e nelle armature (*verifica delle tensioni in esercizio*).

Per i pali e per la trave di coronamento il valore limite di ampiezza delle fessure è pari a $w_{lim} = 0.20$ mm.

La massima tensione nel calcestruzzo dovrà rispettare la seguente condizione per la trave di coronamento:

$$\text{Classe di resistenza C25/30} \quad \sigma_c < 0.45 f_{ck} = 11.25 \text{ MPa}$$

La massima tensione nel calcestruzzo dovrà rispettare la seguente condizione per i pali:

$$\text{Classe di resistenza C30/37} \quad \sigma_c < 0.45 f_{ck} = 13.50 \text{ MPa}$$

La massima tensione nell'acciaio dovrà rispettare la seguente condizione:

$$\text{Acciaio B450C} \quad \sigma_f < 0.8 f_{yk} = 360.00 \text{ MPa}$$

8.4 Combinazioni di carico agli Stati limite ultimi - SLU

Per ogni stato limite ultimo deve essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq R_d$$

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

$$E_d = \gamma_E \times E \left[F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

e dove R_d è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnica:

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} \times R \left[\gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

Effetto delle azioni e della resistenza sono espresse in funzione delle azioni di progetto $E_d = E_k \cdot \gamma_E$, dei parametri di progetto X_k/γ_M e della geometria di progetto. Nella formulazione della resistenza compare esplicitamente il coefficiente γ_R che opera direttamente sulla resistenza.

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

I diversi gruppi di coefficienti di sicurezza parziali sono scelti nell'ambito di due approcci progettuali distinti ed alternativi.

Nel caso delle paratie si adotta l'Approccio 1 per cui sono previste due diverse combinazioni di cui la prima, definita STR, generalmente più gravosa per le verifiche strutturali, mentre la seconda, definita GEO, generalmente più gravosa per le verifiche di tipo geotecnico.

Tutte le verifiche precedentemente elencate dovranno essere condotto unicamente facendo riferimento all'Approccio 1 secondo quanto specificato nel seguito.

SLU di tipo strutturale (STR):

- **Raggiungimento della resistenza in uno o più ancoraggi;**
- **Raggiungimento della resistenza strutturale della paratia.**

Nelle verifiche agli stati limite ultimi per il dimensionamento strutturale (STR) l'analisi sarà condotta con riferimento alla Combinazione 1 (A1+M1+R1), nella quale i coefficienti parziali sui parametri di resistenza del terreno (M1) e sulla resistenza globale (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 saranno applicati direttamente sulle sollecitazioni, calcolate con i valori caratteristici delle azioni e delle resistenze.

La verifica a sfilamento della fondazione dei tiranti si esegue confrontando la massima resistenza di progetto R_{ad} , determinata applicando alla resistenza caratteristica R_{ak} i fattori parziali γ_R precedentemente riportati secondo la combinazione A1+M1+R3. Il valore caratteristico della resistenza allo sfilamento dell'ancoraggio sarà determinato con metodi di calcolo analitici partendo dai valori caratteristici dei parametri geotecnici dedotti dai risultati delle prove in sito. Il valore della resistenza caratteristica R_{ak} è il minore dei valori derivanti dall'applicazione dei fattori di correlazione ξ_{a3} e ξ_{a4} rispettivamente al valore medio e al valore minimo delle resistenze $R_{a,c}$ ottenute dal calcolo. Nella valutazione analitica della resistenza allo sfilamento degli ancoraggi non si applicano coefficienti parziali di sicurezza sui valori caratteristici della resistenza del terreno, si fa quindi riferimento ai coefficienti parziali M1.

SLU di tipo geotecnico (GEO):

- **Collasso per rotazione intorno ad un punto dell'opera (atto di moto rigido);**
- **Instabilità del fondo scavo per sollevamento.**

Nelle verifiche agli stati limite ultimi per il dimensionamento geotecnico (GEO) si considera lo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno e, specificatamente, dal raggiungimento delle condizioni di equilibrio limite nel terreno interagente con la paratia. L'analisi sarà condotta con riferimento alla Combinazione 2 (A2+M2+R1), 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 delle spinte attiva e passiva risultano rispettivamente maggiore e minore, se riferiti a quelli calcolati con i parametri caratteristici. In linea

generale, per la Combinazione 2, essendo i coefficienti parziali amplificativi delle azioni permanenti pari ad 1.0 e dei variabili pari ad 1.3 (gruppo A2), si opererà applicando in fase di calcolo un coefficiente moltiplicativo ai carichi variabili pari a $\gamma_Q=1.3$.

SLU di tipo geotecnico (GEO):

- **Instabilità globale dell'insieme terreno-opera di sostegno.**

Nelle verifiche agli stati limite ultimi per la verifica dell'instabilità globale dell'insieme terreno-opera l'analisi sarà condotta con riferimento alla Combinazione 2 (A2+M2+R2), nella quale i parametri di resistenza del terreno sono ridotti tramite i coefficienti parziali del gruppo M2, i coefficienti sulla resistenza globale (R2) sono riportati nella tabella successiva 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. In linea generale, per la Combinazione in oggetto, essendo i coefficienti parziali amplificativi delle azioni permanenti pari ad 1.0 e dei variabili pari ad 1.3 (gruppo A2), si opererà applicando in fase di calcolo un coefficiente moltiplicativo ai carichi variabili pari a $\gamma_Q=1.3$.

Nella seguente tabella si riportano i coefficienti parziali indicati dalla normativa (moltiplicativi per le azioni e riduttivi per i parametri di resistenza del terreno).

Combinazioni per analisi statiche SLU							
	Azioni (γ_F)				Proprietà del terreno (γ_M)		
	<i>Permanenti</i>		<i>Variabili</i>				
	Sfavorevoli	Favorevoli	Sfavorevoli	Favorevoli	$\tan \varphi'$	c'	c_u
STR (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

I coefficienti parziali γ_R da applicare alle resistenze caratteristiche relativamente ad ogni singolo SLU precedentemente analizzato sono di seguito indicati:

Coefficienti parziali per le verifiche di paratie			
Verifica	Coefficiente parziale (R1)	Coefficiente parziale (R2)	Coefficiente parziale (R3)

Raggiungimento della resistenza in uno o più ancoraggi		$\gamma_R=1.0$	-	-
Raggiungimento della resistenza strutturale della paratia		$\gamma_R=1.0$	-	-
Collasso per rotazione intorno ad un punto dell'opera		$\gamma_R=1.0$	-	-
Instabilità del fondo scavo per sollevamento		$\gamma_R=1.0$	-	-
Instabilità globale dell'insieme terreno-opera		-	$\gamma_R=1.1$	-
Sfilamento di uno o più ancoraggi	Temporanei	-	-	$\gamma_R=1.1$
	Permanenti	-	-	$\gamma_R=1.2$

Essendo le paratie in oggetto opere definitive, esse vengono verificate anche nei confronti degli effetti provocati dal sisma. L'analisi sismica viene effettuata secondo le seguenti combinazioni:

- **Combinazione 1 con coefficienti parziali M1 sui parametri e coefficienti unitari sulle azioni;**
- **Combinazione 2 con coefficienti parziali M2 sui parametri e coefficienti unitari sulle azioni.**

In condizioni sismiche valgono gli stessi coefficienti parziali γ_R del caso statico riportati nella precedente tabella.

8.5 Combinazioni di carico agli Stati limite di esercizio - SLE

Le opere ed i sistemi geotecnici devono essere verificati nei confronti degli stati limite di esercizio. Per ciascuno stato limite di esercizio deve essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq C_d$$

dove E_d è il valore di progetto dell'effetto delle azioni e C_d è il prescritto valore limite dell'effetto delle azioni.

Nello specifico le analisi dovranno valutare gli spostamenti dell'opera per consentire di verificarne la compatibilità con la funzionalità attesa per l'opera stessa, oltre alle verifiche strutturali relative agli SLE riportate al paragrafo 8.3.2.

Nelle seguenti tabelle si riportano i coefficienti parziali indicati dalla normativa.

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

PARATIE DI PALI SX DAL KM 2+069.14 AL KM 2+308.44 – RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO

Combinazioni per analisi statiche SLE						
Azioni (γ_F)				Proprietà del terreno (γ_M)		
<u>Permanenti</u>		<u>Variabili</u>				
Sfavorevoli	Favorevoli	Sfavorevoli	Favorevoli	$\tan \varphi'$	c'	c_u
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

9 ANALISI DEI CARICHI

Nel seguito si riassumono le condizioni di carico considerate nell'analisi di verifica delle strutture.

9.1 Azioni permanenti

9.1.1 Peso proprio

Il peso proprio per questo tipo di struttura può essere trascurato sia agli effetti delle azioni statiche che, come precisato dalla normativa vigente, ai fini della valutazione delle forze di inerzia sismiche.

9.1.2 Spinta delle terre

La spinta delle terre viene determinata con la seguente espressione:

$$p'_a(z) = [\sigma'_v(z) + q] \times K_a - 2c' \sqrt{K_a}$$

$\sigma'_v(z)$ = tensione verticale efficace alla generica quota z;

K_a = coefficiente di spinta attiva;

q = eventuale sovraccarico uniformemente distribuito.

Per il calcolo di K_a si utilizza la formula di Mueller-Breslau (1924), valida per superfici di rottura piane, e generalizzata per tener conto delle condizioni sismiche in base alla teoria di Mononobe ed Okabe riportata di seguito (si veda Eurocodice 8 – rif. [4]):

per $\beta \leq \Phi - \theta$:

$$k_a = \frac{\text{sen}^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos \theta \text{sen}^2 \psi \text{sen}(\phi + \theta - \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(\phi + \delta) \text{sen}(\phi - \beta - \theta)}{\text{sen}(\phi + \theta - \delta) \text{sen}(\psi + \beta)}} \right]^2}$$

per $\beta \geq \Phi - \theta$:

$$k_a = \frac{\text{sen}^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos \theta \text{sen}^2 \psi \text{sen}(\phi + \theta - \delta)}$$

in cui:

ϕ = angolo di resistenza al taglio del terreno

β = inclinazione del terreno a monte della paratia rispetto all'orizzontale (positivo per terreno che sale allontanandosi dal muro)

ψ = inclinazione della paratia rispetto all'orizzontale ($>90^\circ$ per parete inclinata verso valle)

δ = angolo di attrito muro terreno

θ = angolo dipendente dalla accelerazione sismica e definito dalle seguenti espressioni:

$$\theta = \text{tg}^{-1} (k_h / (1 \pm k_v))$$

essendo k_h e k_v rispettivamente i coefficienti di accelerazione sismica orizzontale e verticale (si veda il successivo par. 9.3).

La spinta attiva risultante P_a risulta inclinata dell'angolo δ sull'orizzontale. Pertanto il valore della spinta orizzontale P_{AH} è pari a:

$$P_{AH} = P_A \cdot \cos \delta$$

mentre la componente verticale P_{AV} risulta:

$$P_{AV} = P_A \cdot \sin \delta$$

Le componenti della spinta sono costituite in generale da due aliquote, l'una dovuta al peso proprio del terreno l'altra dovuta al sovraccarico, che avranno distribuzione diversa lungo l'altezza dell'opera: la prima di tipo triangolare l'altra di tipo rettangolare, se carico distribuito uniforme (permanente o accidentale che sia), o differente per aree di carico diverso (nastriiforme,).

Le diverse aliquote saranno considerate distintamente in fase di combinazione dei carichi a seconda che si tratti di azioni permanenti, strutturali o non strutturali, o variabili.

La spinta passiva viene valutata, ipotizzando la eventuale presenza della coesione, come:

$$P_p = \sigma'_v K_p + 2\sqrt{K_p c'}$$

Il coefficiente di spinta passiva K_p è stato valutato utilizzando le tabelle di Caquot e Kerisel, che fanno riferimento a superfici di rottura non piane.

Anche in questo caso la spinta agisce secondo una direzione inclinata di δ rispetto alla perpendicolare al paramento.

La spinta delle terre, sia quella dovuta al peso proprio che ai sovraccarichi accidentali, viene valutata con riferimento alla stratigrafia ed ai valori di progetto dei parametri geotecnici, peso di volume, angolo di attrito, coesione, attrito paratia-terreno, e dei sovraccarichi accidentali ottenuti abbattendo/amplificando i valori caratteristici mediante i coefficienti riduttivi o amplificativi specifici del tipo di verifica condotta, secondo i criteri riportati nel capitolo 8.

Per tener conto nella valutazione della spinta la presenza del pendio a monte dell'opera, nel software "Paratie" è stato inserito l'andamento del pendio stesso ed il software ha provveduto al calcolo della spinta ricercando iterativamente il cuneo di spinta attiva che massimizza la spinta tramite il Metodo dei cunei.

9.1.3 Spinta dell'acqua

La presenza della falda è stata così considerata nel codice di calcolo:

- in fase provvisoria di scavo, essendo la paratia opera di sostegno permeabile e tenendo anche in considerazione la presenza del sistema di drenaggio, si abbatta la quota della falda al fondo scavo sia a monte che valle dell'opera;
- viene poi prevista una fase di calcolo finale con falda posta ad una quota intermedia fra fondo scavo ed il livello indisturbato a monte. In questo modo si simula la possibilità che nel lungo termine i dreni si possano intasare data la prevalente natura fine dei terreni interagenti con l'opera di sostegno.

9.2 **Azioni variabili**

9.2.1 Sovraccarico uniforme indefinito

Per le opere interferenti con la viabilità si terrà conto di un sovraccarico accidentale uniforme dovuto al traffico stradale pari a 20 kPa, che dà luogo ad un incremento di spinta attiva dovuta al solo peso proprio del terreno secondo quanto indicato nel paragrafo 9.1.2.

9.2.2 Azioni climatiche

Nel caso specifico non si hanno azioni climatiche.

9.3 **Azione sismica**

L'azione sismica è stata calcolata come differenza fra la spinta calcolata sulla parte fuori terra della paratia con riferimento ai coefficienti di spinta attiva in presenza di sisma ed i corrispondenti coefficienti di spinta attiva in condizioni statiche.

L'incremento di spinta dovuto al sisma (inteso come differenza fra la spinta totale in condizioni sismiche e la spinta pre-agente in condizioni statiche) viene applicato a metà dell'altezza fuori terra della paratia, come previsto dall'Eurocodice 8.

Il calcolo del coefficiente di spinta in condizioni sismiche viene effettuato come già indicato nel precedente paragrafo 9.1.2.

Il coefficiente di accelerazione sismica k_h viene valutato come:

$$k_h = \alpha \beta a_{\max}/g$$

dove:

a_{\max} = accelerazione massima attesa al sito in considerazione

g = accelerazione di gravità

α = coefficiente di deformabilità funzione dell'altezza complessiva H della paratia e della categoria di sottosuolo, si desume dal grafico della Figura 4 (figura 7.11.2 della normativa vigente qui di seguito riprodotto)

β = coefficiente funzione dello spostamento massimo u_s tollerabile dall'opera e viene desunto dal grafico della Figura 5 (figura 7.11.3 della normativa vigente riprodotto qui di seguito)

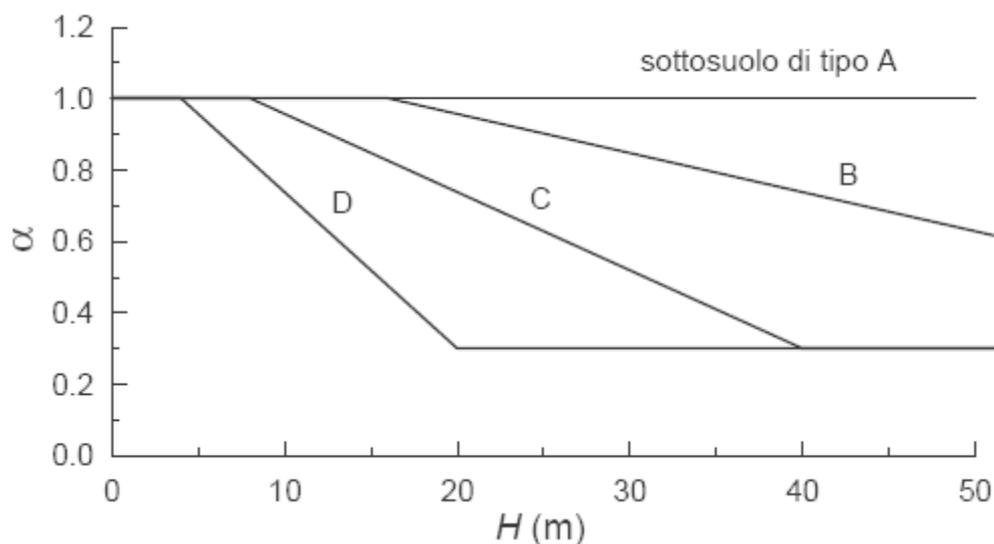


Figura 4 Diagramma per la valutazione del coefficiente di deformabilità α

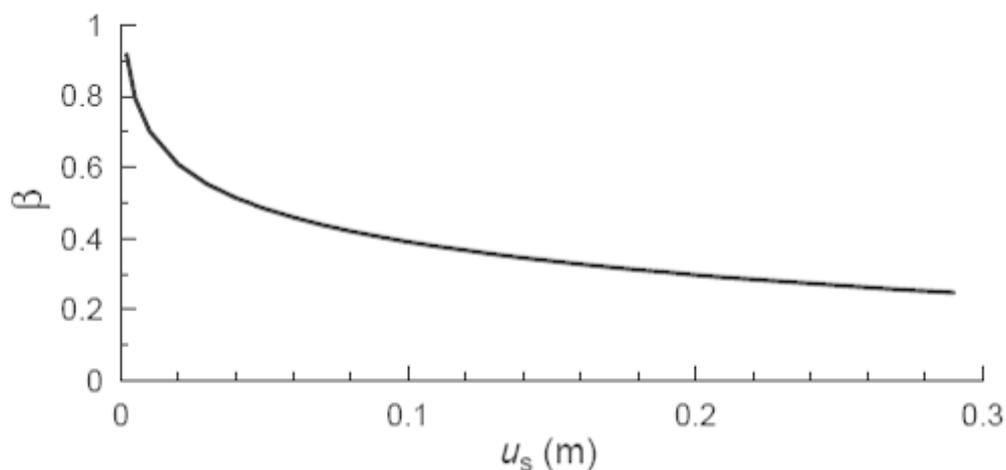


Figura 5 Diagramma per la valutazione del coefficiente di spostamento β

Ai fini della valutazione di β lo spostamento deve comunque assumersi $u_s \leq 0.005 H$. Inoltre deve sempre risultare il prodotto $\alpha \beta \geq 0.2$.

L'accelerazione massima è stata valutata come:

$$a_{\max} = a_g S_S S_T$$

in cui:

a_g = accelerazione massima attesa al sito di riferimento sul substrato rigido

S_S = coefficiente di amplificazione stratigrafica

S_T = coefficiente di amplificazione topografica

Come previsto dalla normativa si è posto:

$$k_v = 0$$

e si sono trascurate le forze inerziali agenti sulla struttura della paratia.

10 RISULTATI DELLE ANALISI

10.1 Sezioni di verifica

Nelle tabelle seguenti, per le sezioni esaminate, sono fornite le principali caratteristiche geometriche e stratigrafiche utilizzate nelle verifiche. Sono state esaminate le sezioni ritenute più significative.

1. OS05 – Paratia di pali sx

Sezione di calcolo	n° 114 - Progr. km 2+259.985
Opera di sostegno	Paratia di pali Ø=1000 mm – interasse 1.20 m
Altezza totale paratia	H = 11.30 m (trave di coronamento 1.30 m+pali L=10.00 m)
Stratigrafia di calcolo	DT da 0.00 m t.c. fino a -5.5 m t.c.
	LSA da -5.5 m t.c. a -15.8 m t.c.
	AG da -15.8 m t.c. a fino al limite del modello
Fondo scavo	-5.0 m da t.c.
Falda	- 5.5 m da t.c.
t.c. = quota di testa trave di coronamento	

2. OS05– Paratia di pali sx

Sezione di calcolo	Progr. km 2+241.948
Opera di sostegno	Paratia di pali Ø=1000 mm – interasse 1.20 m
Altezza totale paratia	H = 13.30 m (trave di coronamento 1.30 m+pali L=12.00 m)
Stratigrafia di calcolo	DT da 0.00 m t.c. fino a -5.5 m t.c.
	LSA da -5.5 m t.c. a -15.8 m t.c.
	AG da -15.8 m t.c. a fino al limite del modello
Fondo scavo	-6.0 m da t.c.
Falda	- 5.5 m da t.c.
t.c. = quota di testa trave di coronamento	

3. OS05– Paratia di pali sx

Sezione di calcolo	Progr. km 2+232.00
Opera di sostegno	Paratia di pali Ø=1000 mm – interasse 1.20 m
Altezza totale paratia	H = 15.30 m (trave di coronamento 1.30 m+pali L=14.00 m)
Stratigrafia di calcolo	DT da 0.00 m t.c. fino a -5.5 m t.c.
	LSA da -5.5 m t.c. a -15.8 m t.c.
	AG da -15.8 m t.c. a fino al limite del modello
Fondo scavo	-6.5 m da t.c.
Falda	- 5.5 m da t.c.
t.c. = quota di testa trave di coronamento	

4. OS05 – Paratia di pali sx

Sezione di calcolo	Progr. km 2+216.00
Opera di sostegno	Paratia di pali Ø=1000 mm – interasse 1.20 m
Altezza totale paratia	H = 17.30 m (trave di coronamento 1.30 m+pali L=16.00 m)
Stratigrafia di calcolo	DT da 0.00 m t.c. fino a -5.5 m t.c.
	LSA da -5.5 m t.c. a -15.8 m t.c.
	AG da -15.8 m t.c. a fino al limite del modello
Fondo scavo	-8.0 m da t.c.
N°Ordini di tiranti	1
Passo orizzontale tiranti	3.6 m (l ordine)
Falda	- 5.5 m da t.c.
t.c. = quota di testa trave di coronamento	

5. OS05 – Paratia di pali sx

Sezione di calcolo	Progr. km 2+199.00
Opera di sostegno	Paratia di pali Ø=1000 mm – interasse 1.20 m
Altezza totale paratia	H = 17.30 m (trave di coronamento 1.30 m+pali L=16.00 m)
Stratigrafia di calcolo	DT da 0.00 m t.c. fino a -5.5 m t.c.
	LSA da -5.5 m t.c. a -15.8 m t.c.
	AG da -15.8 m t.c. a fino al limite del modello
Fondo scavo	-8.5 m da t.c.
N°Ordini di tiranti	1
Passo orizzontale tiranti	3.6 m (l ordine)
Falda	- 5.5 m da t.c.
t.c. = quota di testa trave di coronamento	

6. OS05 – Paratia di pali sx

Sezione di calcolo	n°109 - Progr. km 2+159.866
Opera di sostegno	Paratia di pali Ø=1000 mm – interasse 1.20 m
Altezza totale paratia	H = 25.30 m (trave di coronamento 1.30 m+pali L=24.00 m)
Stratigrafia di calcolo	DT da 0.00 m t.c. fino a -5.5 m t.c.
	LSA da -5.5 m t.c. a -15.8 m t.c.
	AG da -15.8 m t.c. fino al limite del modello
Fondo scavo	-12 m da t.c.
N°Ordini di tiranti	2
Passo orizzontale tiranti	3.6 m (I ordine) 2.4 m (II ordine)
Falda	- 8.5 m da t.c.
t.c. = quota di testa trave di coronamento	

7. OS05 – Paratia di pali sx

Sezione di calcolo	n°107 - Progr. km 2+119.866
Opera di sostegno	Paratia di pali Ø=1000 mm – interasse 1.20 m
Altezza totale paratia	H = 21.30 m (trave di coronamento 1.30 m+pali L=20.00 m)
Stratigrafia di calcolo	DT da 0.00 m t.c. fino a -5.5 m t.c.
	LSA da -5.5 m t.c. a -15.8 m t.c.
	AG da -15.8 m t.c. fino al limite del modello
Fondo scavo	-9.9 m da t.c.
N°Ordini di tiranti	2
Passo orizzontale tiranti	3.6 m (I ordine) 2.4 m (II ordine)
Falda	- 7.5 m da t.c.
t.c. = quota di testa trave di coronamento	

10.2 Parametri geotecnici di calcolo

OS05 - Paratia di pali sx km 2+069.136– km 2+308.443					
Terreno	γ [kN/m ³]	c' [kPa]	ϕ' [°]	E'_{vc} [MPa]	E'_{ur} [MPa]
DT	20	5	28	20	50
LSA	20	15	25	25	62.5
AG	20.5	20	25	70	175
γ = peso di volume naturale del terreno c' = coesione ϕ' = angolo di resistenza al taglio E'_{vc} = modulo elastico in compressione vergine E'_{ur} = modulo elastico in condizioni di scarico-ricarico					

10.3 Sezione di verifica 114 –Progr. 2+259.985

10.3.1 Sintesi dei risultati

Nelle tabelle seguenti vengono riportati i risultati delle analisi eseguite con riferimento alle combinazioni di carico precedentemente definite.

Si noti che il metodo di calcolo per l'analisi delle paratie, come già detto, segue il processo dalla costruzione, dalla realizzazione della paratia stessa agli scavi parziali, la messa in tensione dei tiranti fino allo scavo finale. Nelle verifiche in condizioni sismiche l'azione sismica viene applicata solo nella fase finale, cioè in condizioni di esercizio, anche se l'analisi, per le modalità con cui viene svolta, percorre anche in questo tipo di verifica tutte le fasi provvisionali precedenti.

I principali risultati ottenuti per le combinazioni di carichi sopra indicate.

	SLU GEO		SLU STR		SLE
	Statico	Sismico	Statico	Sismico	
Spostamento massimo (cm)	-	-	-	-	1.11
Momento massimo (kNm/m)	-	-	161.11	160.49	123.93
Taglio massimo (kN/m)	-	-	69.21	58.67	53.24
Spinta passiva mobilitata a valle (%)	67.00	67.00	-	-	48.00

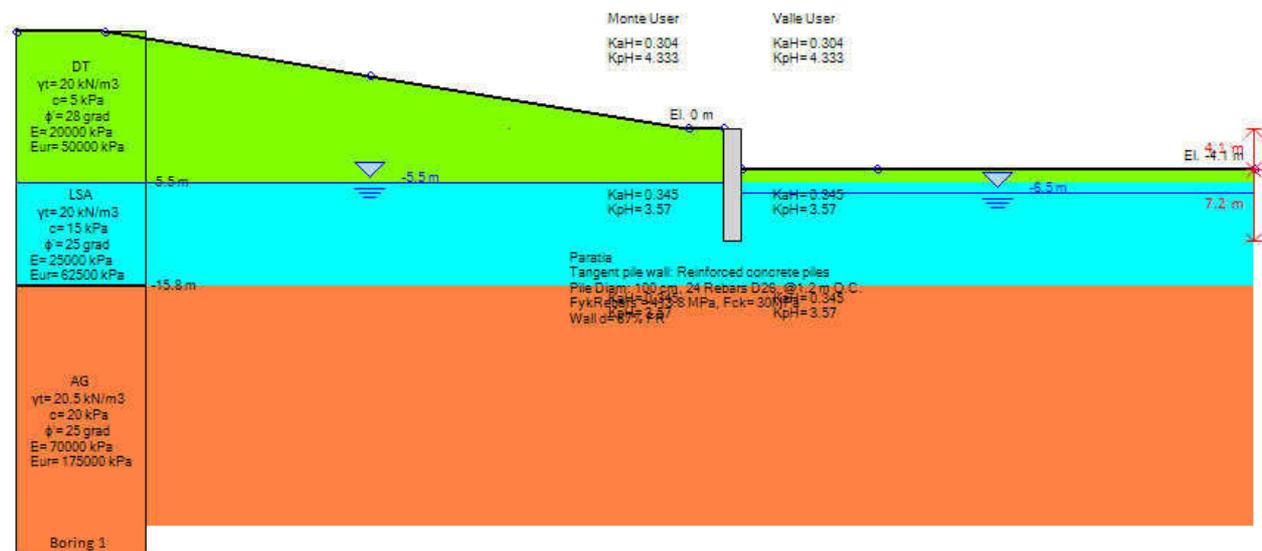


Figura 6 Modello di calcolo – step finale di calcolo

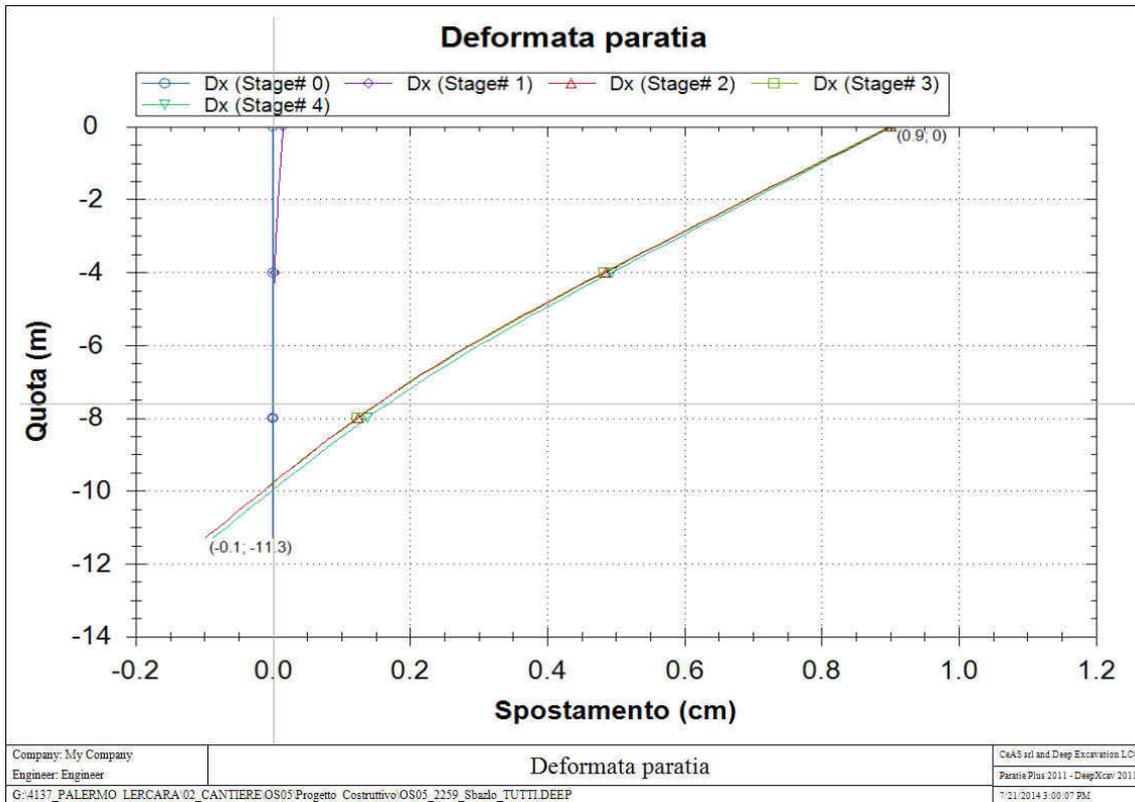


Figura 7 Spostamenti-profondità SLE

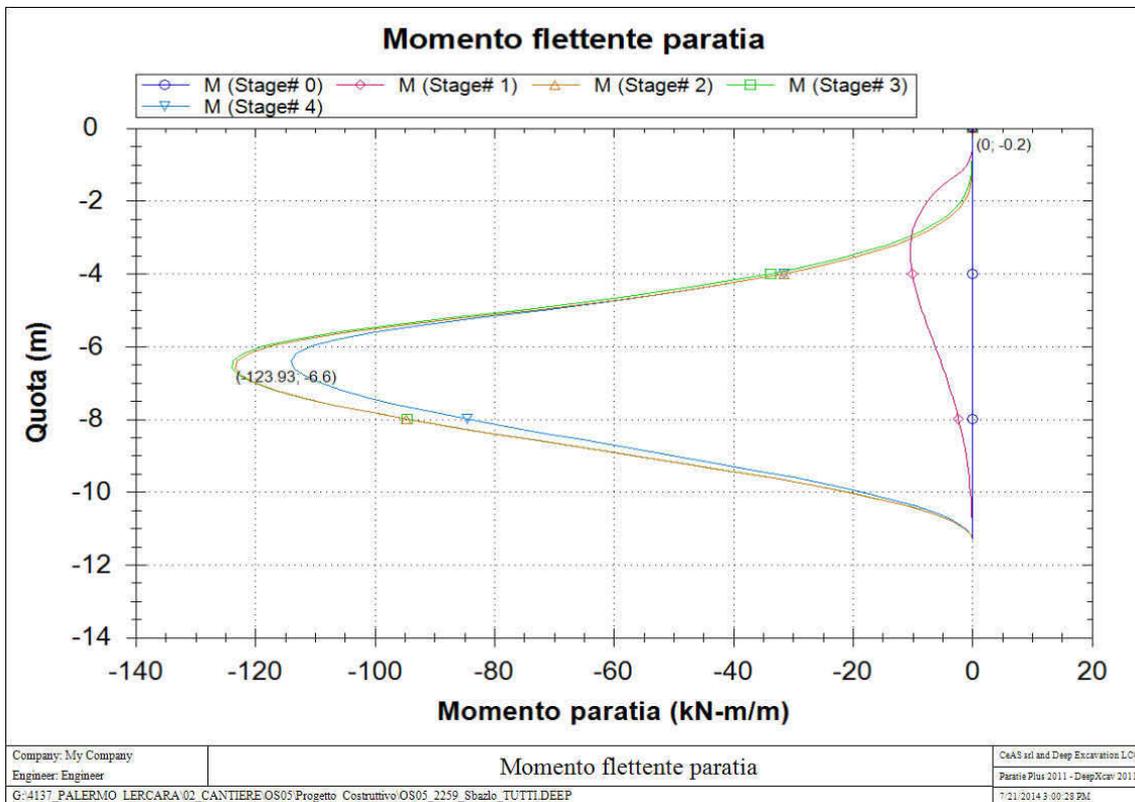


Figura 8 Momento-profondità SLE

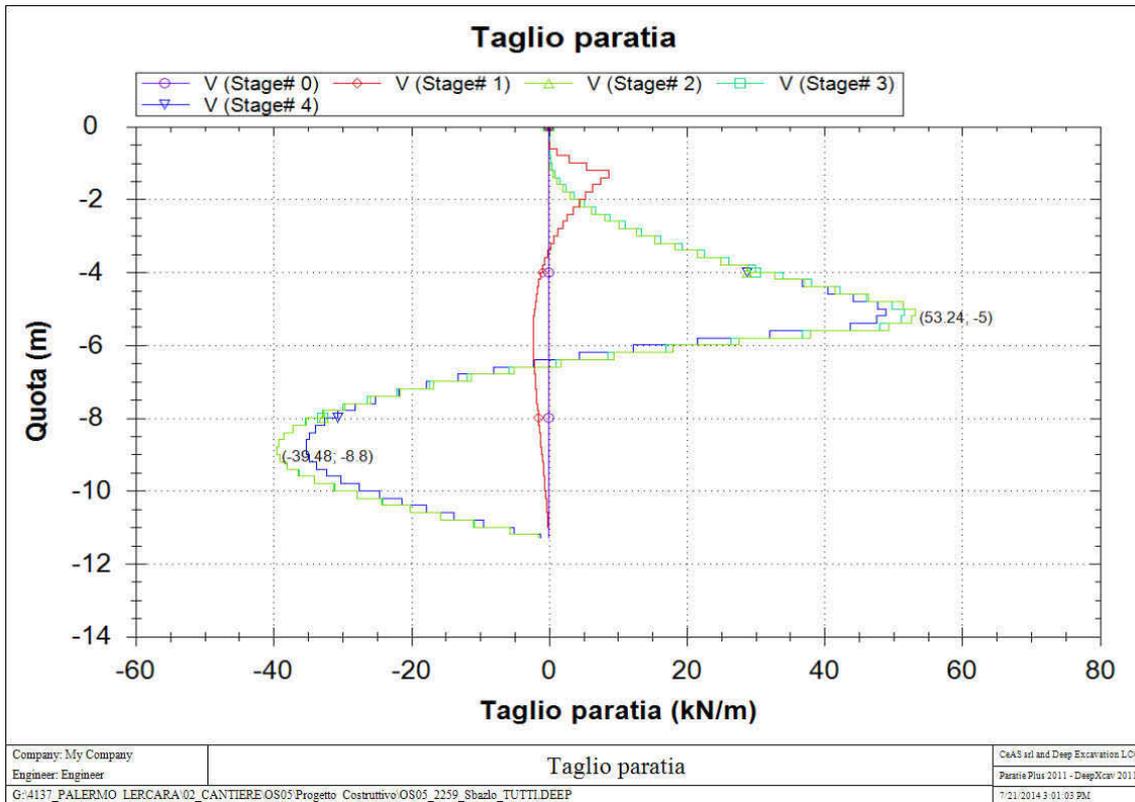


Figura 9 Taglio-profondità SLE

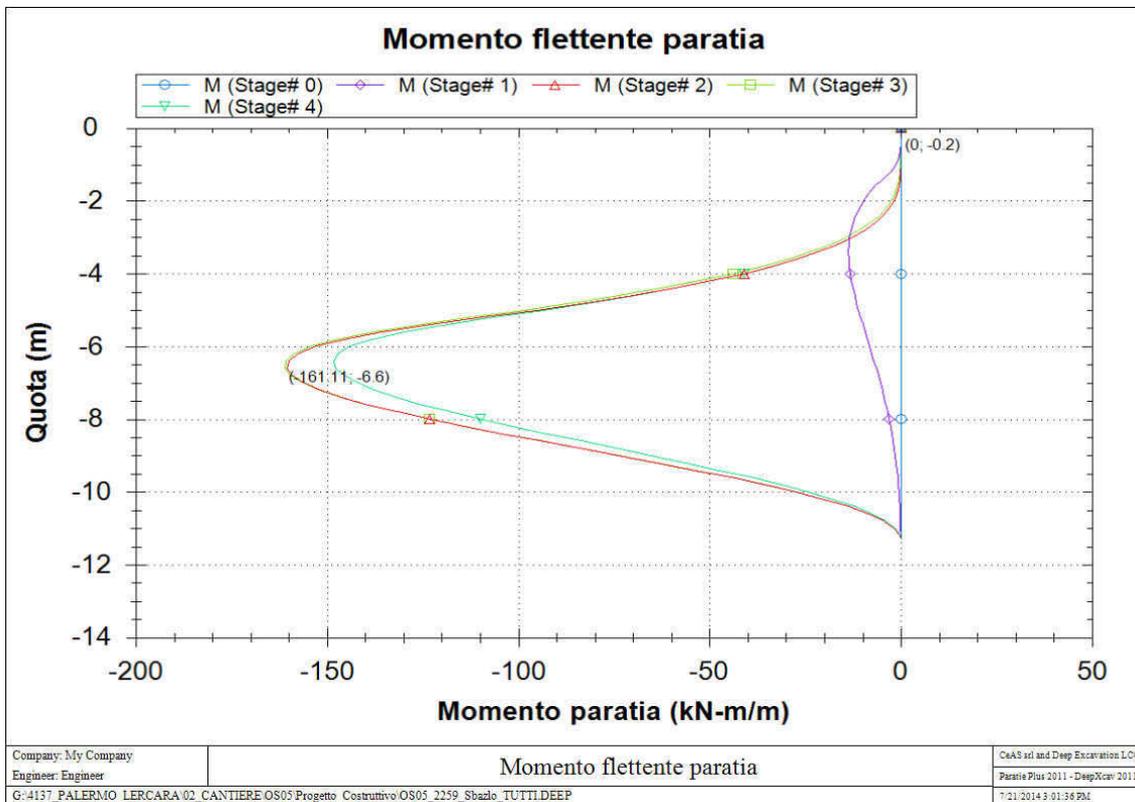


Figura 10 Momento-profondità SLU STR

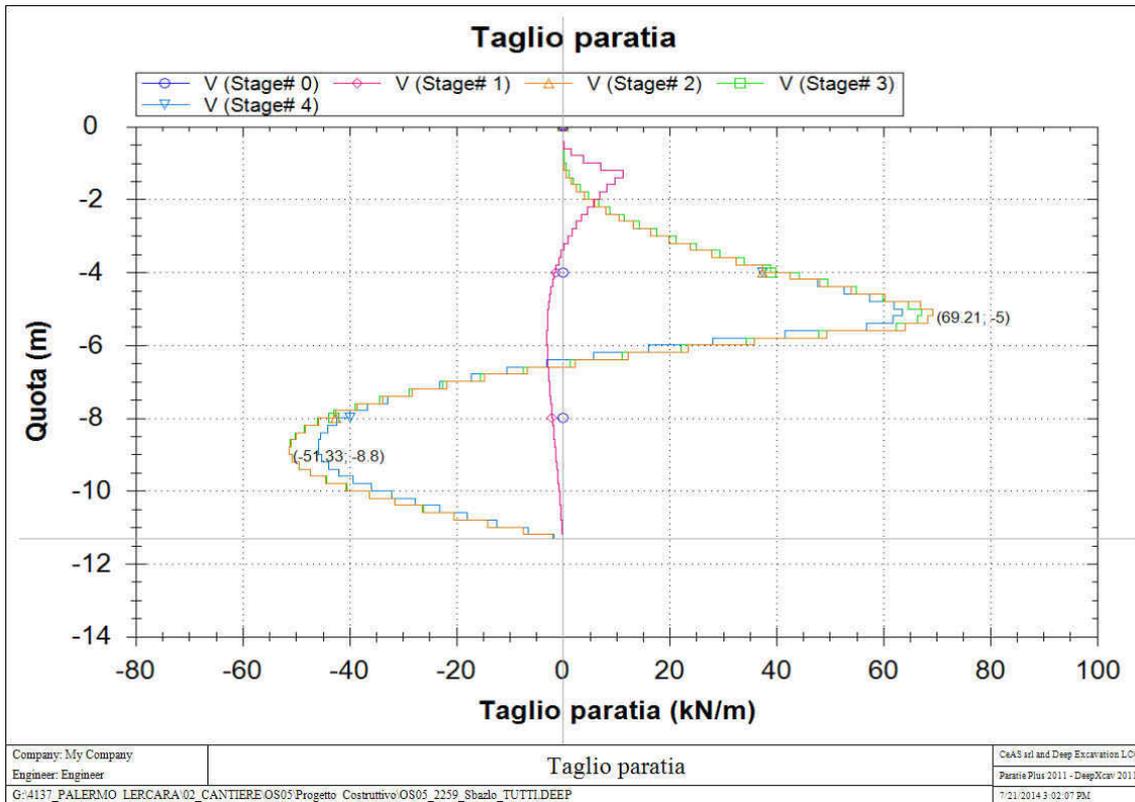


Figura 11 Taglio-profondità SLU STR

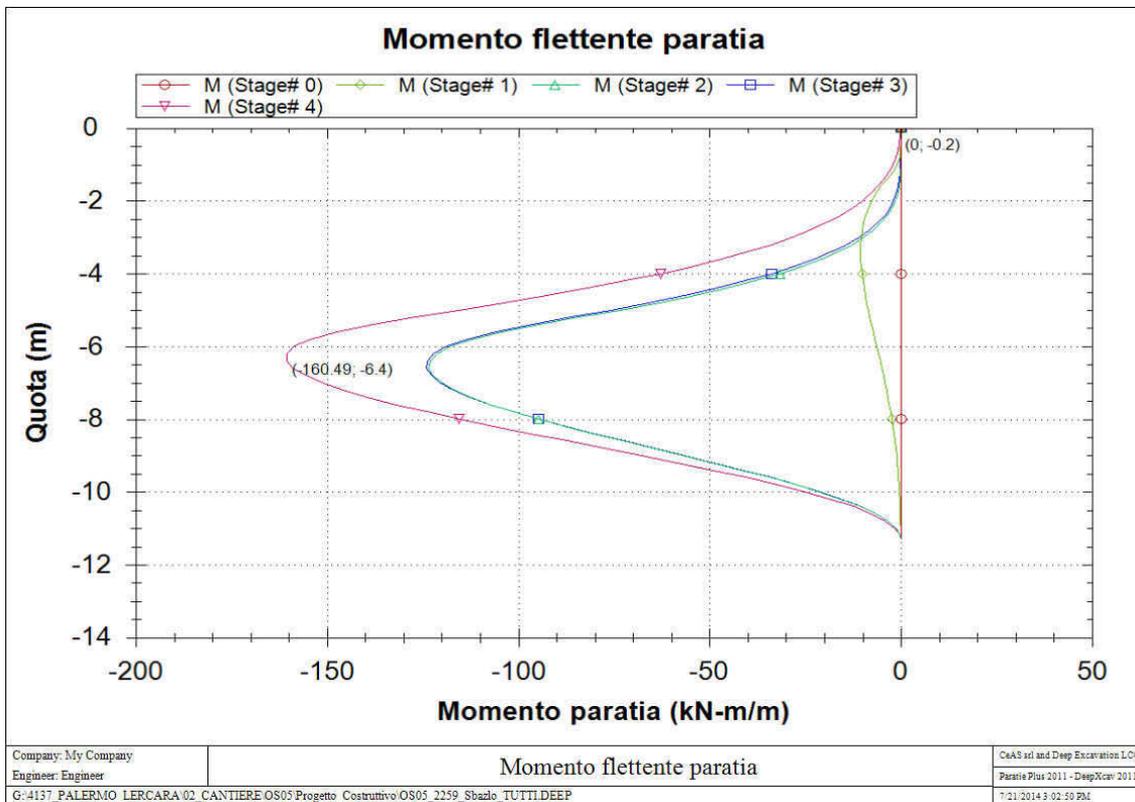


Figura 12 Momento-profondità SISMA STR

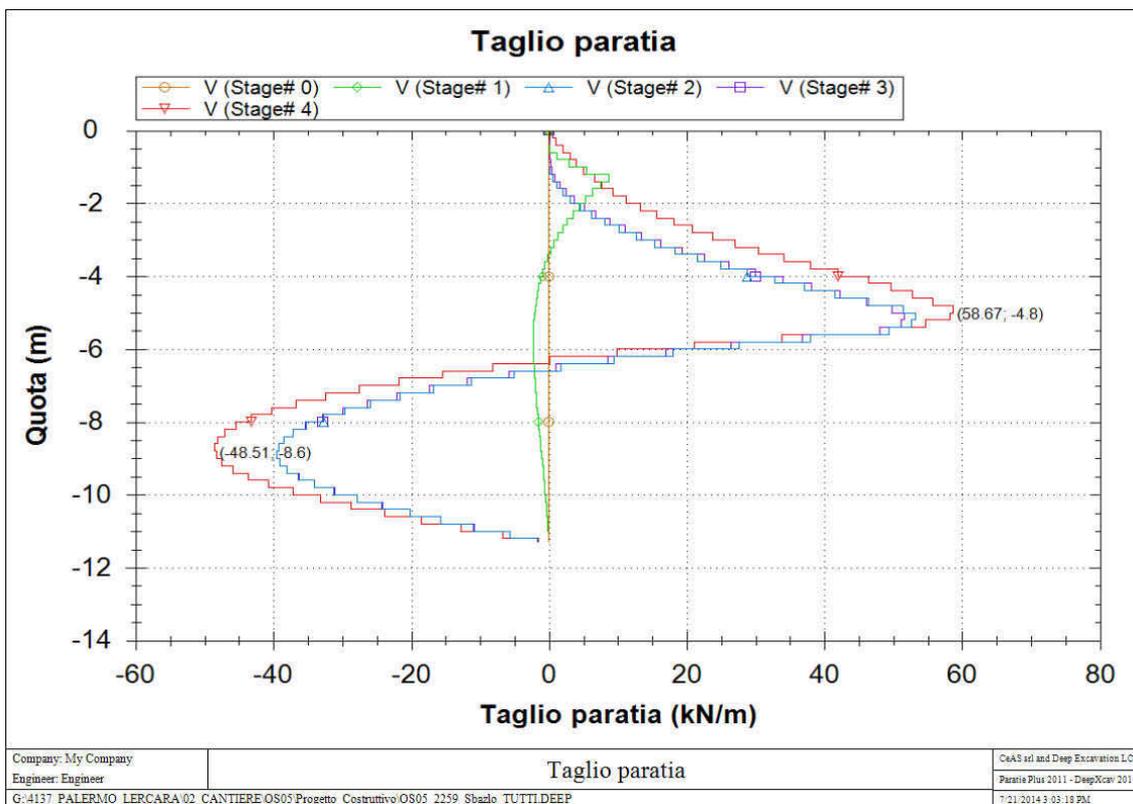


Figura 13 Taglio-profondità SLU STR

10.3.2 Verifiche geotecniche

10.3.2.1 Verifiche di stabilità globale del complesso opera di sostegno - terreno

Per le verifiche di stabilità globale sono stati utilizzati i medesimi parametri indicati nel paragrafo precedente.

Per le verifiche si è utilizzato il modulo VSP Plus della Ceas. I coefficienti di sicurezza ottenuti sono riportati nella tabella seguente.

Tipo di verifica	Fs
Statica	1.74 > 1.10
Sismica	1.22 > 1.10

PARATIE DI PALI SX DAL KM 2+069.14 AL KM 2+308.44 – RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO

Nelle figure seguenti è rappresentata la sezione presa in considerazione per le analisi con le superfici investigate ed evidenziata la superficie più critica. Il dettaglio dei dati di ingresso è riportato nel tabulato di calcolo in Appendice.

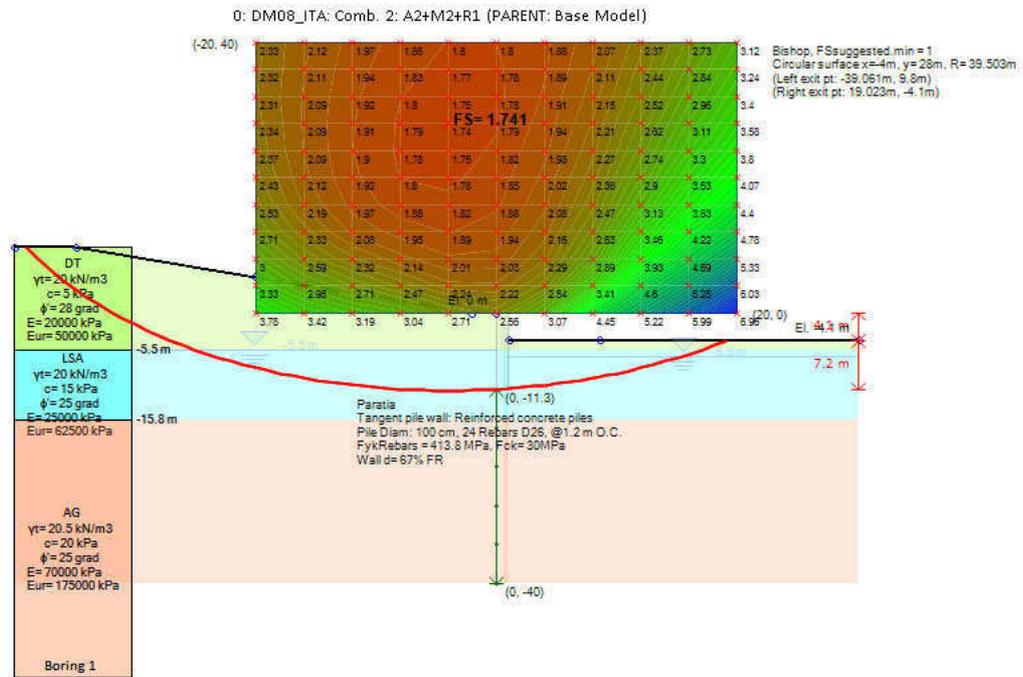


Figura 14 Verifica in condizione statica – superfici analizzate e superficie critica

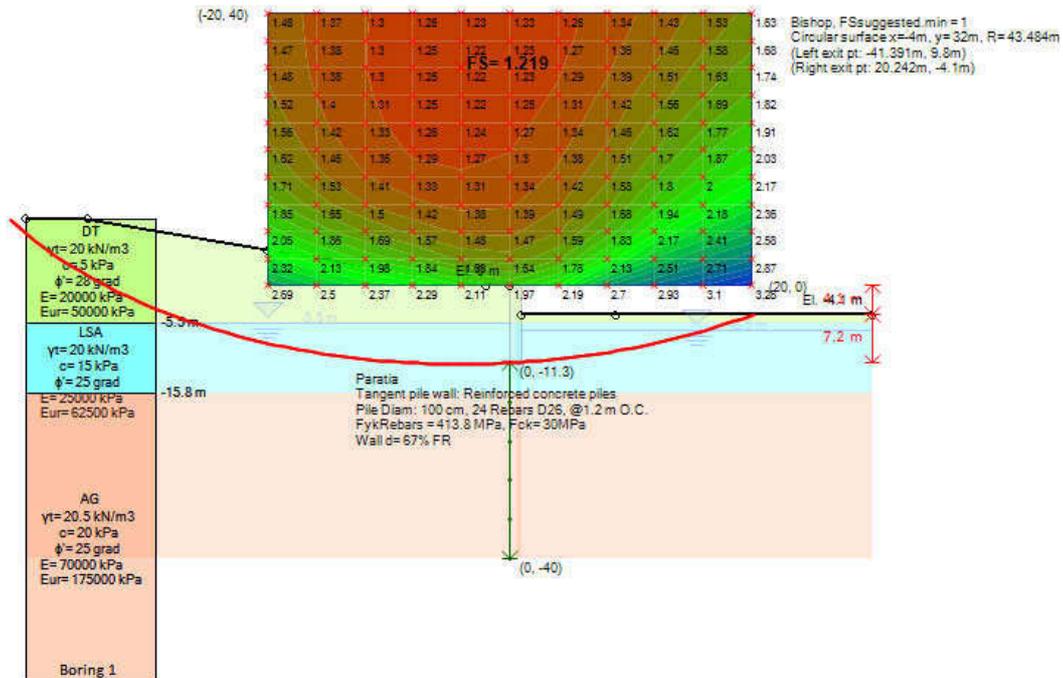


Figura 15 Verifica in condizione sismica – superfici analizzate e superficie critica

10.3.3 Verifiche strutturali

10.3.3.1 Verifiche SLU - Pali

Nelle verifiche si considerano le sollecitazioni massime sulla struttura secondo le varie analisi. Le sollecitazioni sono state valutate per la sezione di riferimento della struttura sia in condizioni sismiche che in condizioni statiche. Nelle verifiche, a presso-flessione e taglio, si riporta di seguito il caso peggiore fra lo statico ed il sismico. Nella verifica a presso-flessione si è considerato il peso proprio del palo valutato alla corrispondente quota di verifica.

Verifica a Presso-flessione:

Combinazione STR Statico.

Gabbia di armatura	Quota da t.c. (m)	M (kNm/m)	M _{SLU} (kNm)	N _{SLU} (kN)	Armatura	c.s.
1	6.6	161.1	193.3	168.47	24φ20	6.08

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	7.4 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	8.9 cm
Copriferro netto minimo staffe:	6.2 cm

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [daN] nel baricentro sezione cls. (positivo se di compressione)
Mx	Momento flettente assegnato [daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My	Momento flettente assegnato [daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N ult	Sforzo normale ultimo [daN] baricentrico (positivo se di compress.)
Mx ult	Momento flettente ultimo [daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My ult	Momento flettente ultimo [daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
My ult	Momento flettente ultimo [daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mx ult	Momento flettente ultimo [daNm] intorno all'asse X di riferimento della sezione
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult, Mx ult, My ult) e (N, Mx, My) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
As Tesa	Area armature [cm ²] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	16847	19330	0	16862	117421	0	6.075	-----

Verifica al taglio:

Poiché la sezione di verifica è circolare i valori di b_w (larghezza dell'anima) e di d (altezza utile) saranno riferiti alle dimensioni di una sezione quadrata di lato di 707 mm inscritta in quella del palo. L'armatura al taglio sarà costituita da una spirale $\varnothing 12$ passo 20.

Gabbia di armatura 1, Combinazione STR Statico:

$V_{sd,max}$ 83.05 kN

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - VERIFICHE A TAGLIO

Passo staffe: 20.0 cm [Passo massimo di normativa = 24.0 cm]

Ver S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
 Vsdu Taglio di progetto [daN] = proiezz. di V_x e V_y sulla normale all'asse neutro
 Vcd Taglio resistente ultimo [daN] lato conglomerato compresso
 Vwd Taglio resistente [daN] assorbito dalle staffe
 Dmed Altezza utile media pesata [cm] valutata lungo strisce ortog. all'asse neutro. Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso. I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.
 bw Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.
 Teta Angolo [gradi sessadec.] di inclinazione dei puntoni di conglomerato
 Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
 Ast Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm²/m]
 A.Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm²/m] Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature. L'area della legatura è ridotta col fattore L/d_{max} con $L=lungh.legat.proietta-$ sulla direz. del taglio e d_{max} = massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°Comb	Ver	Vsdu	Vcd	Vwd	Dmed	bw	Teta	Acw	Ast	A.Eff
1	S	8305	173479	81937	80.7	80.4	21.80°	1.013	1.2	11.5(0.0)

10.3.3.2 Verifiche SLE – Pali

Nella verifica a presso-flessione si è considerato il peso proprio del palo valutato alla corrispondente quota di verifica.

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
 Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [daN/cm²]
 Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
 Sf min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [daN/cm²]
 Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
 Ac eff. Area di calcestruzzo [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre
 As eff. Area barre [cm²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure
 D barre Distanza tra le barre tese [cm] ai fini del calcolo dell'apertura fessure
 Beta12 Prodotto dei coeff. di aderenza delle barre $Beta1 \cdot Beta2$

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	23.2	0.0	-50.0	-556	0.0	-41.6	1282	22.0	10.9	1.00

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	23.2	0.0	-50.0	-556	0.0	-41.6	1282	22.0	10.9	0.50

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§B.6.6 DM96]

Ver. La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a f_{ctm}
 S1 Esito della verifica
 S2 Massima tensione [daN/cm²] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione non fessurata
 S2 Minima tensione [daN/cm²] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione fessurata

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

PARATIE DI PALI SX DAL KM 2+069.14 AL KM 2+308.44 – RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO

k2	= 0.4 per barre ad aderenza migliorata
k3	= 0.125 per flessione e presso-flessione; $=(e1 + e2)/(2*e1)$ per trazione eccentrica
Ø	Diametro [mm] medio delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff
Cf	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
Psi	$= 1 - \text{Beta}12 * (\text{Ssr}/\text{Ss})^2 = 1 - \text{Beta}12 * (\text{fctm}/\text{S2})^2 = 1 - \text{Beta}12 * (\text{Mfess}/\text{M})^2$ [B.6.6 DM96]
e sm	Deformazione unitaria media tra le fessure [4.3.1.7.1.3 DM96]. Il valore limite = $0.4 * \text{Ss}/\text{Es}$ è tra parentesi
srm	Distanza media tra le fessure [mm]
wk	Valore caratteristico [mm] dell'apertura fessure = $1.7 * e \text{ sm} * \text{srm}$. Valore limite tra parentesi
MX fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [daNm]
MY fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [daNm]

Comb.	Ver	S1	S2	k3	Ø	Cf	Psi	e sm	srm	wk	Mx fess	My fess
1	S	-11.2	0	0.125	20	72.0	-2.350	0.00011 (0.00011)	224	0.042 (0.30)	38495	0

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	23.2	0.0	-50.0	-556	0.0	-41.6	1282	22.0	10.9	0.50

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§B.6.6 DM96]

Comb.	Ver	S1	S2	k3	Ø	Cf	Psi	e sm	srm	wk	Mx fess	My fess
1	S	-11.2	0	0.125	20	72.0	-2.350	0.00011 (0.00011)	224	0.042 (0.20)	38495	0

10.4 Sezione di verifica Progr. km 2+241.948

10.4.1 Sintesi dei risultati

Nelle tabelle seguenti vengono riportati i risultati delle analisi eseguite con riferimento alle combinazioni di carico precedentemente definite.

Si noti che il metodo di calcolo per l'analisi delle paratie, come già detto, segue il processo dalla costruzione, dalla realizzazione della paratia stessa agli scavi parziali, la messa in tensione dei tiranti fino allo scavo finale. Nelle verifiche in condizioni sismiche l'azione sismica viene applicata solo nella fase finale, cioè in condizioni di esercizio, anche se l'analisi, per le modalità con cui viene svolta, percorre anche in questo tipo di verifica tutte le fasi provvisionali precedenti.

I principali risultati ottenuti per le combinazioni di carichi sopra indicate.

	SLU GEO		SLU STR		SLE
	Statico	Sismico	Statico	Sismico	
Spostamento massimo (cm)	-	-	-	-	1.58
Momento massimo (kNm/m)	-	-	285.26	289.62	219.43
Taglio massimo (kN/m)	-	-	108.57	90	83.52
Spinta passiva mobilitata a valle (%)	72.00	72.00	-	-	55.00

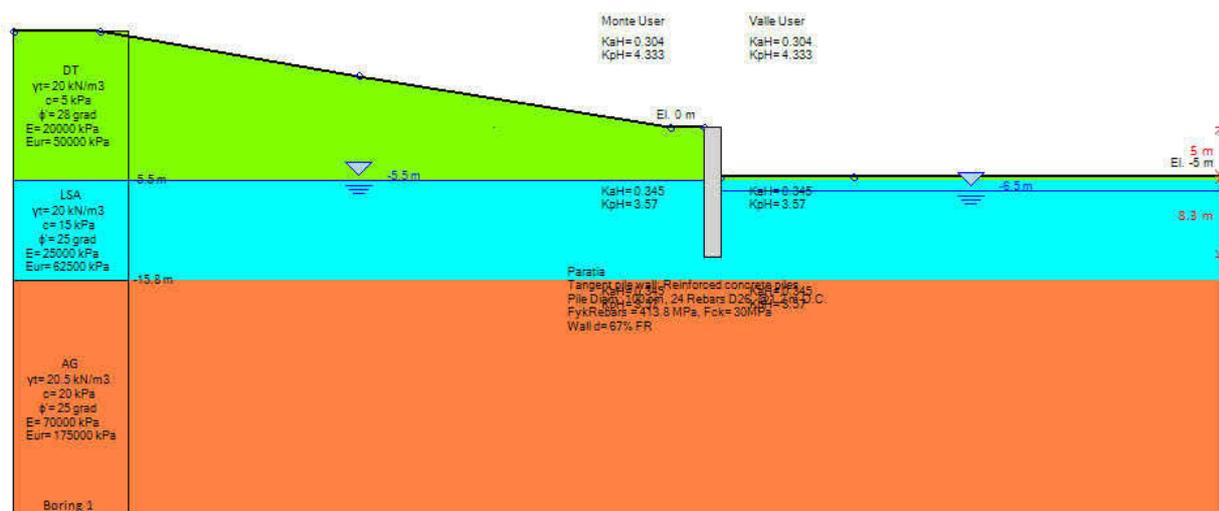


Figura 16 Modello di calcolo – step finale di calcolo

PARATIE DI PALI SX DAL KM 2+069.14 AL KM 2+308.44 – RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO

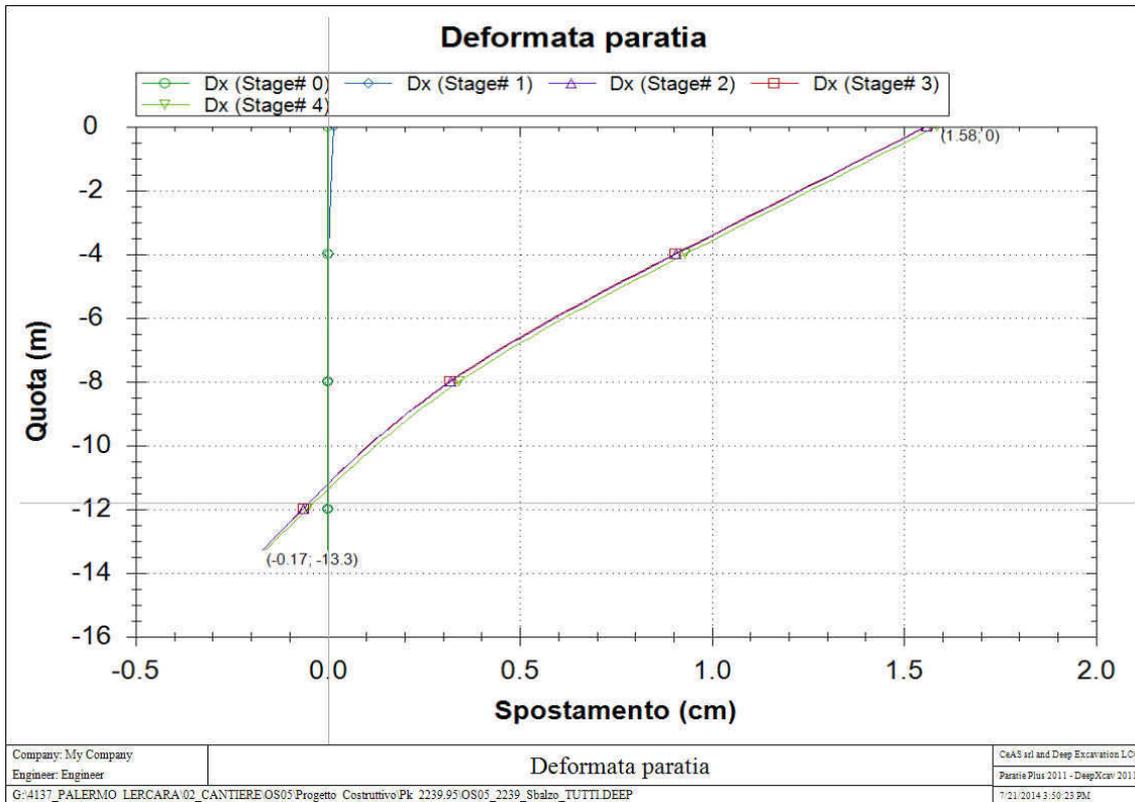


Figura 17 Spostamenti-profondità SLE

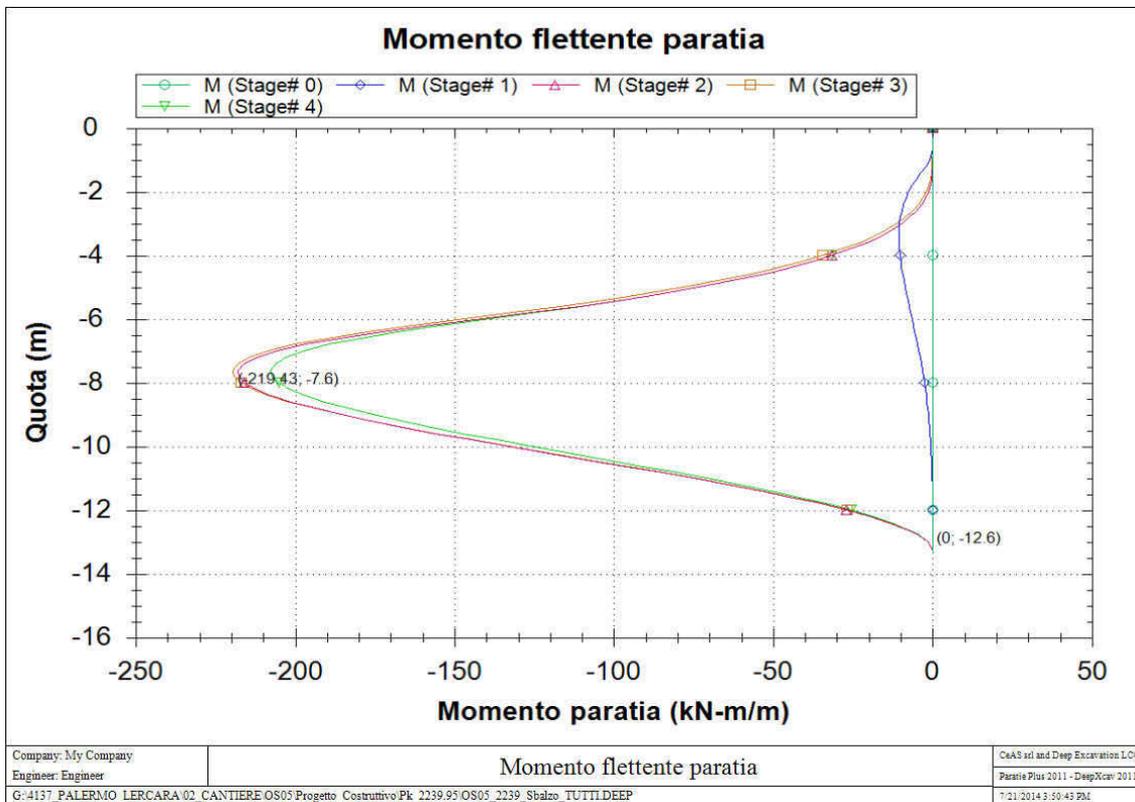


Figura 18 Momento-profondità SLE

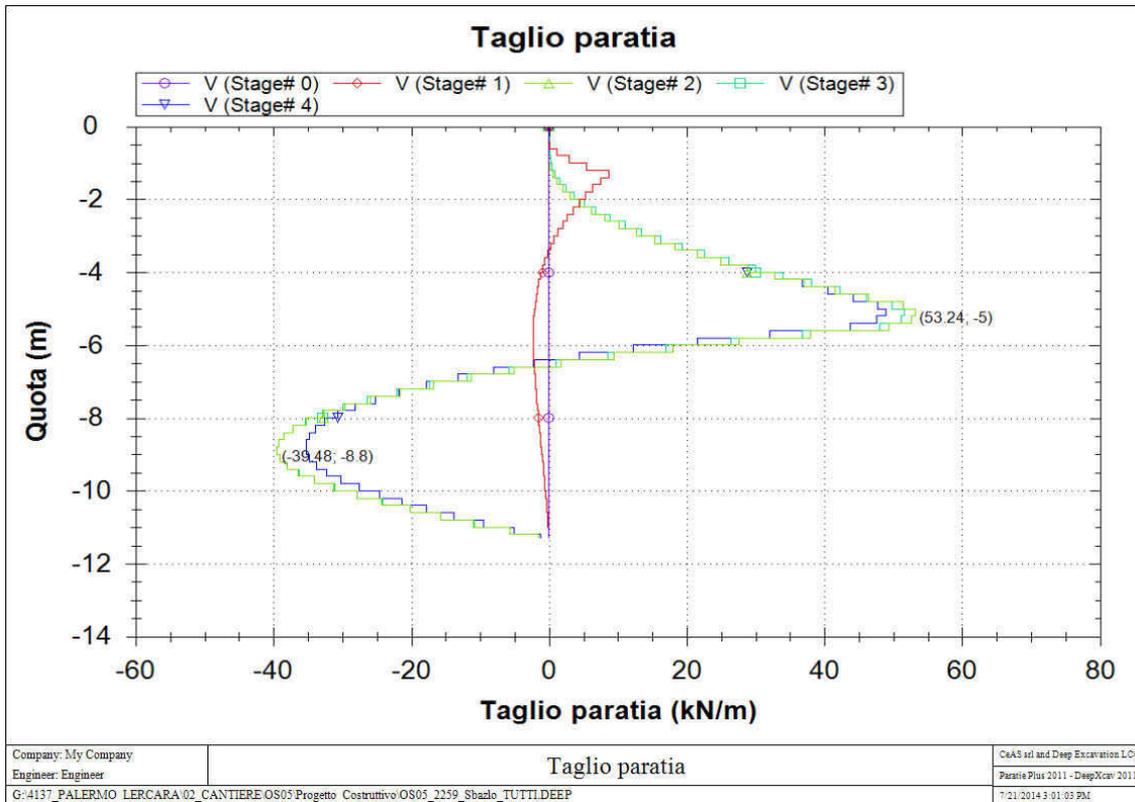


Figura 19 Taglio-profondità SLE

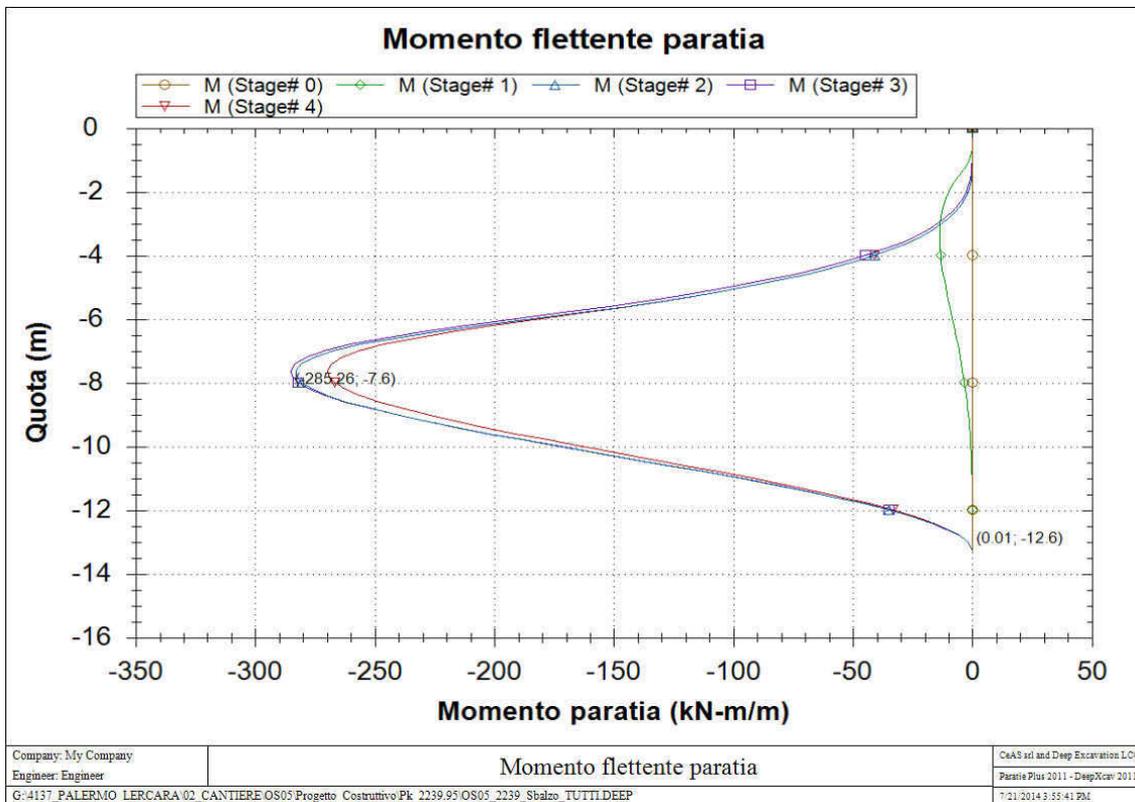


Figura 20 Momento-profondità SLU STR

PARATIE DI PALI SX DAL KM 2+069.14 AL KM 2+308.44 – RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO

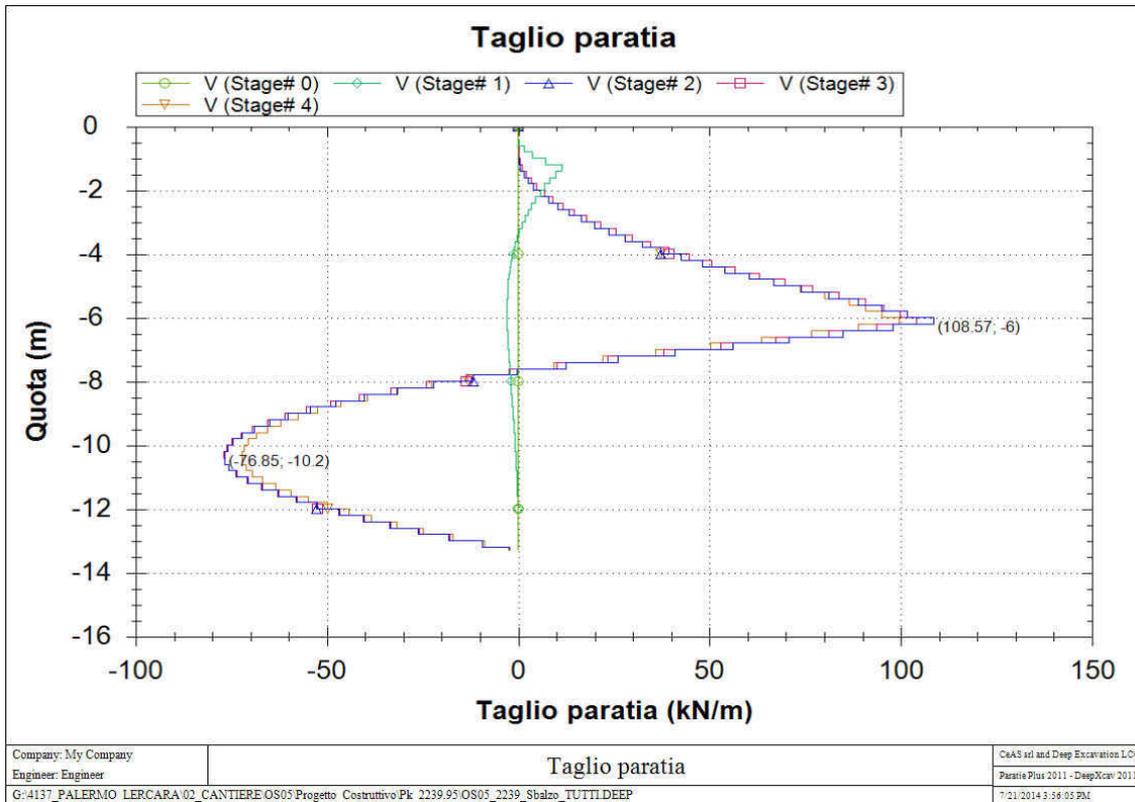


Figura 21 Taglio-profondità SLU STR

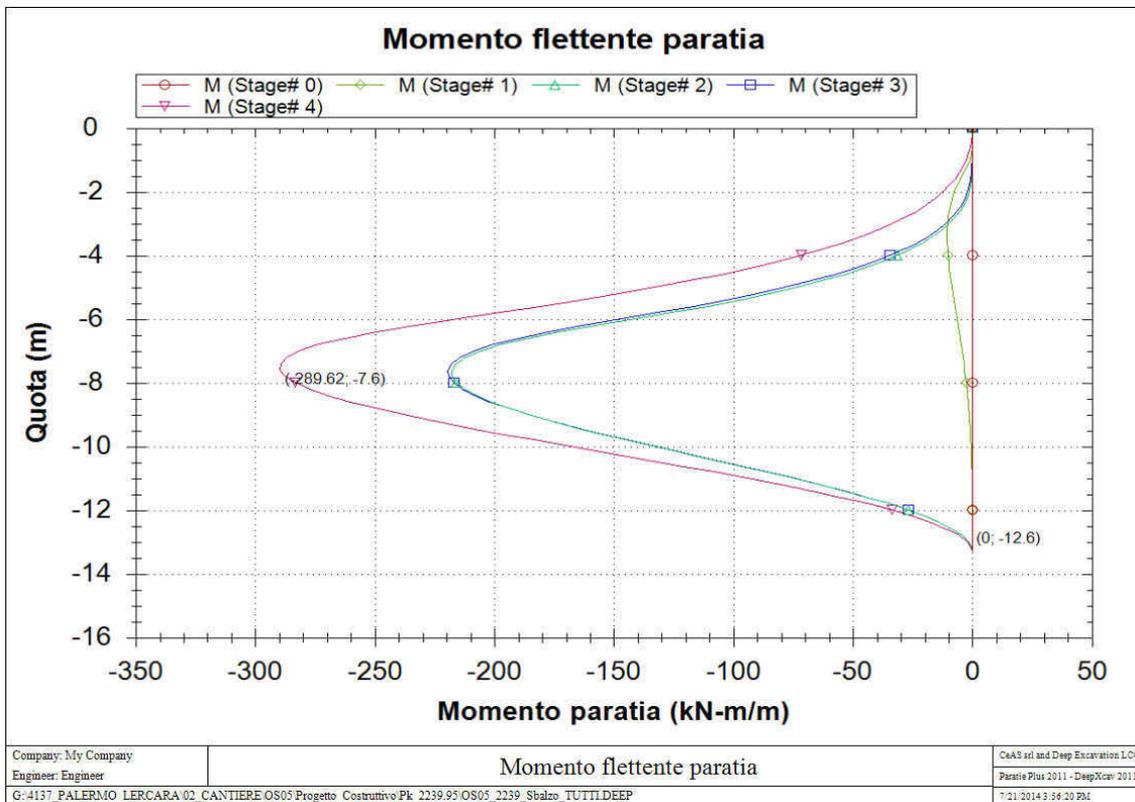


Figura 22 Momento-profondità SISMA STR

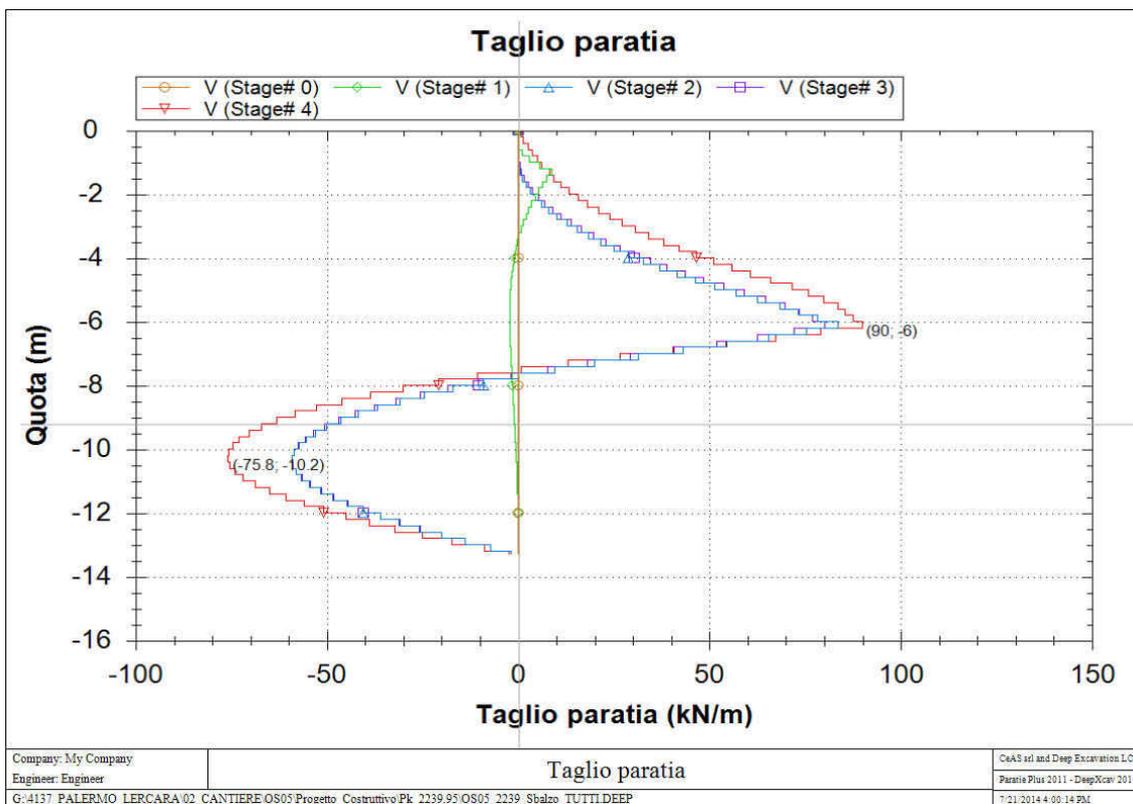


Figura 23 Taglio-profondità SLU STR

10.4.2 Verifiche geotecniche

10.4.2.1 Verifiche di stabilità globale del complesso opera di sostegno - terreno

Per le verifiche di stabilità globale sono stati utilizzati i medesimi parametri indicati nel paragrafo precedente.

Per le verifiche si è utilizzato il modulo VSP Plus della Ceas. I coefficienti di sicurezza ottenuti sono riportati nella tabella seguente.

Tipo di verifica	Fs
Statica	1.64 > 1.10
Sismica	1.15 > 1.10

Nelle figure seguenti è rappresentata la sezione presa in considerazione per le analisi con le superfici investigate ed evidenziata la superficie più critica. Il dettaglio dei dati di ingresso è riportato nel tabulato di calcolo in Appendice.

PARATIE DI PALI SX DAL KM 2+069.14 AL KM 2+308.44 – RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO

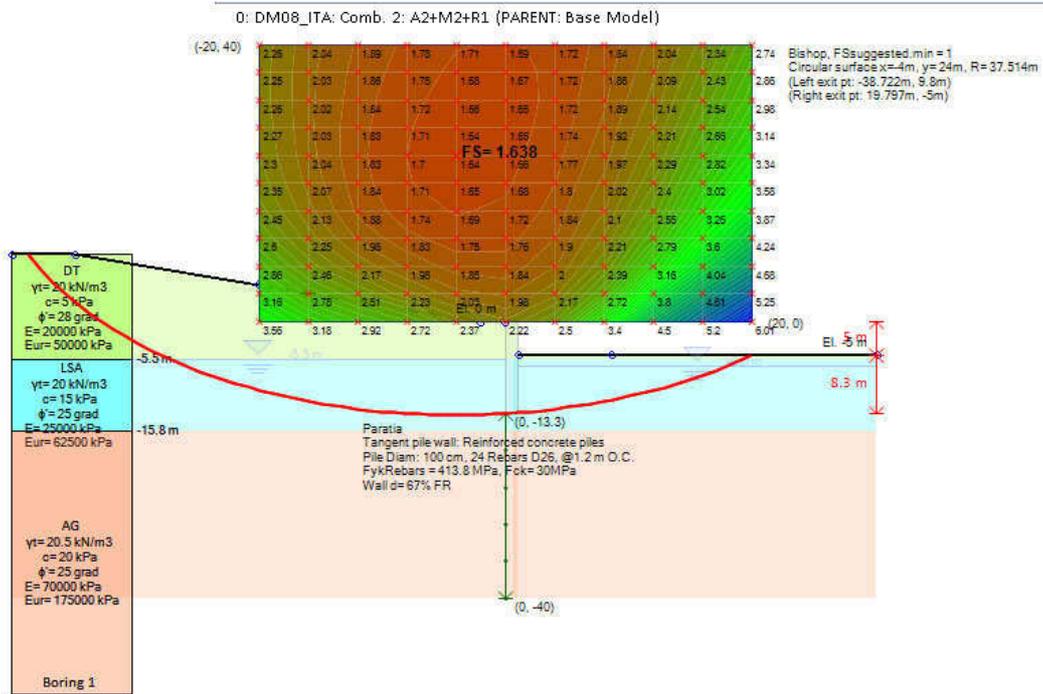


Figura 24 Verifica in condizione statica – superfici analizzate e superficie critica

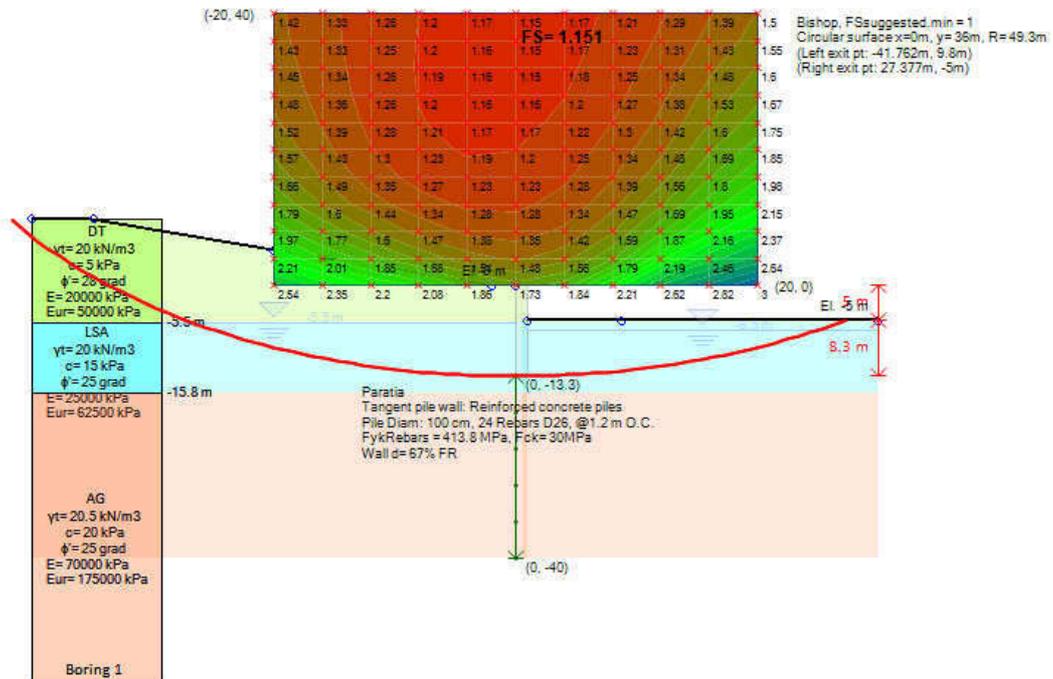


Figura 25 Verifica in condizione sismica – superfici analizzate e superficie critica

10.4.3 Verifiche strutturali

10.4.3.1 Verifiche SLU - Pali

Nelle verifiche si considerano le sollecitazioni massime sulla struttura secondo le varie analisi.

Le sollecitazioni sono state valutate per la sezione di riferimento della struttura sia in condizioni sismiche che in condizioni statiche. Nelle verifiche, a presso-flessione e taglio, si riporta di seguito il caso peggiore fra lo statico ed il sismico. Nella verifica a presso-flessione si è considerato il peso proprio del palo valutato alla corrispondente quota di verifica.

Verifica a Presso-flessione:

Combinazione STR Statico.

Gabbia di armatura	Quota da t.c. (m)	M (kNm/m)	M _{SLU} (kNm)	N _{SLU} (kN)	Armatura	c.s.
1	7.6	342.3	410.8	149.23	24Φ20	2.84

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	7.4	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	8.9	cm
Copriferro netto minimo staffe:	6.2	cm

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [daN] nel baricentro sezione cls. (positivo se di compressione)
Mx	Momento flettente assegnato [daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My	Momento flettente assegnato [daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N ult	Sforzo normale ultimo [daN] baricentrico (positivo se di compress.)
Mx ult	Momento flettente ultimo [daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My ult	Momento flettente ultimo [daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mx ult	Momento flettente ultimo [daNm] intorno all'asse X di riferimento della sezione
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult, Mx ult, My ult) e (N, Mx, My) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
As Tesa	Area armature [cm ²] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	14923	41080	0	14951	116839	0	2.844	-----

Verifica al taglio:

Poiché la sezione di verifica è circolare i valori di b_w (larghezza dell'anima) e di d (altezza utile) saranno riferiti alle dimensioni di una sezione quadrata di lato di 707 mm inscritta in quella del palo. L'armatura al taglio sarà costituita da una spirale $\varnothing 12$ passo 20.

Gabbia di armatura, Combinazione STR:

$V_{sd,max}$ 130.28 kN

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - VERIFICHE A TAGLIO

Passo staffe: 20.0 cm [Passo massimo di normativa = 24.0 cm]

Ver S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
 Vsdu Taglio di progetto [daN] = proiez. di V_x e V_y sulla normale all'asse neutro
 Vcd Taglio resistente ultimo [daN] lato conglomerato compresso
 Vwd Taglio resistente [daN] assorbito dalle staffe
 Dmed Altezza utile media pesata [cm] valutata lungo strisce ortog. all'asse neutro. Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso. I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.
 bw Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.
 Teta Angolo [gradi sessadec.] di inclinazione dei puntoni di conglomerato
 Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
 Ast Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm²/m]
 A.Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm²/m]
 Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.
 L'area della legatura è ridotta col fattore L/d_{max} con L =lungh.legat.proietta-
 ta sulla direz. del taglio e d_{max} = massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°Comb	Ver	Vsdu	Vcd	Vwd	Dmed	bw	Teta	Acw	Ast	A.Eff
1	S	13028	173232	81937	80.7	80.4	21.80°	1.011	1.8	11.5(0.0)

10.4.3.2 Verifiche SLE – Pali

Nella verifica a presso-flessione si è considerato il peso proprio del palo valutato alla corrispondente quota di verifica.

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
 Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [daN/cm²]
 Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
 Sf min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [daN/cm²]
 Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
 Ac eff. Area di calcestruzzo [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre
 As eff. Area barre [cm²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure
 D barre Distanza tre le barre tese [cm] ai fini del calcolo dell'apertura fessure
 Beta12 Prodotto dei coeff. di aderenza delle barre Beta1*Beta2

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	41.4	0.0	-50.0	-1100	0.0	-41.6	1282	22.0	10.9	1.00

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	41.4	0.0	-50.0	-1100	0.0	-41.6	1282	22.0	10.9	0.50

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§B.6.6 DM96]

Ver. La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a f_{ctm}
 Esito della verifica
 S1 Massima tensione [daN/cm²] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione non fessurata
 S2 Minima tensione [daN/cm²] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione fessurata
 k2 = 0.4 per barre ad aderenza migliorata

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

PARATIE DI PALI SX DAL KM 2+069.14 AL KM 2+308.44 – RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO

k3 = 0.125 per flessione e presso-flessione; $=(e1 + e2)/(2*e1)$ per trazione eccentrica
 \emptyset Diametro [mm] medio delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff
Cf Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
Psi = $1 - \text{Beta}12 * (Ssr/Ss)^2 = 1 - \text{Beta}12 * (fctm/S2)^2 = 1 - \text{Beta}12 * (Mfess/M)^2$ [B.6.6 DM96]
e sm Deformazione unitaria media tra le fessure [4.3.1.7.1.3 DM96]. Il valore limite = $0.4 * Ss/Es$ è tra parentesi
srm Distanza media tra le fessure [mm]
wk Valore caratteristico [mm] dell'apertura fessure = $1.7 * e * srm$. Valore limite tra parentesi
MX fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [daNm]
MY fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [daNm]

Comb.	Ver	S1	S2	k3	\emptyset	Cf	Psi	e sm	srm	wk	Mx fess	My fess
1	S	-20.7	0	0.125	20	72.0	0.022	0.00022 (0.00022)	224	0.084 (0.30)	36835	0

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	41.4	0.0	-50.0	-1100	0.0	-41.6	1282	22.0	10.9	0.50

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§B.6.6 DM96]

Comb.	Ver	S1	S2	k3	\emptyset	Cf	Psi	e sm	srm	wk	Mx fess	My fess
1	S	-20.7	0	0.125	20	72.0	0.022	0.00022 (0.00022)	224	0.084 (0.20)	36835	0

10.5 Sezione di verifica Progr. km 2+232

10.5.1 Sintesi dei risultati

Nelle tabelle seguenti vengono riportati i risultati delle analisi eseguite con riferimento alle combinazioni di carico precedentemente definite.

Si noti che il metodo di calcolo per l'analisi delle paratie, come già detto, segue il processo dalla costruzione, dalla realizzazione della paratia stessa agli scavi parziali, la messa in tensione dei tiranti fino allo scavo finale. Nelle verifiche in condizioni sismiche l'azione sismica viene applicata solo nella fase finale, cioè in condizioni di esercizio, anche se l'analisi, per le modalità con cui viene svolta, percorre anche in questo tipo di verifica tutte le fasi provvisionali precedenti.

I principali risultati ottenuti per le combinazioni di carichi sopra indicate.

	SLU GEO		SLU STR		SLE
	Statico	Sismico	Statico	Sismico	
Spostamento massimo (cm)	-	-	-	-	2.00
Momento massimo (kNm/m)	-	-	384.32	391.28	295.63
Taglio massimo (kN/m)	-	-	123.63	107.44	95.1
Spinta passiva mobilitata a valle (%)	72.00	72.00	-	-	55.00

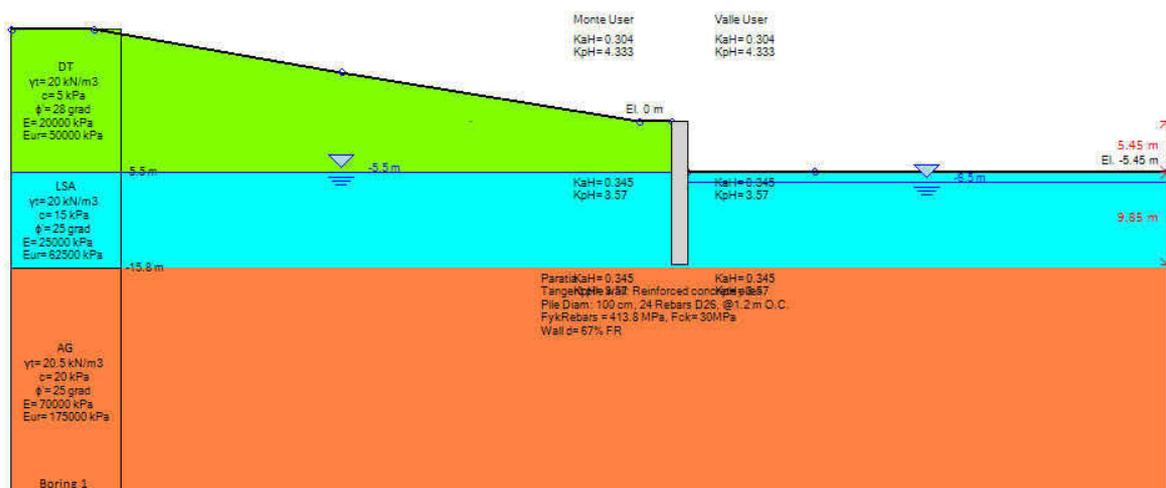


Figura 26 Modello di calcolo – step finale di calcolo

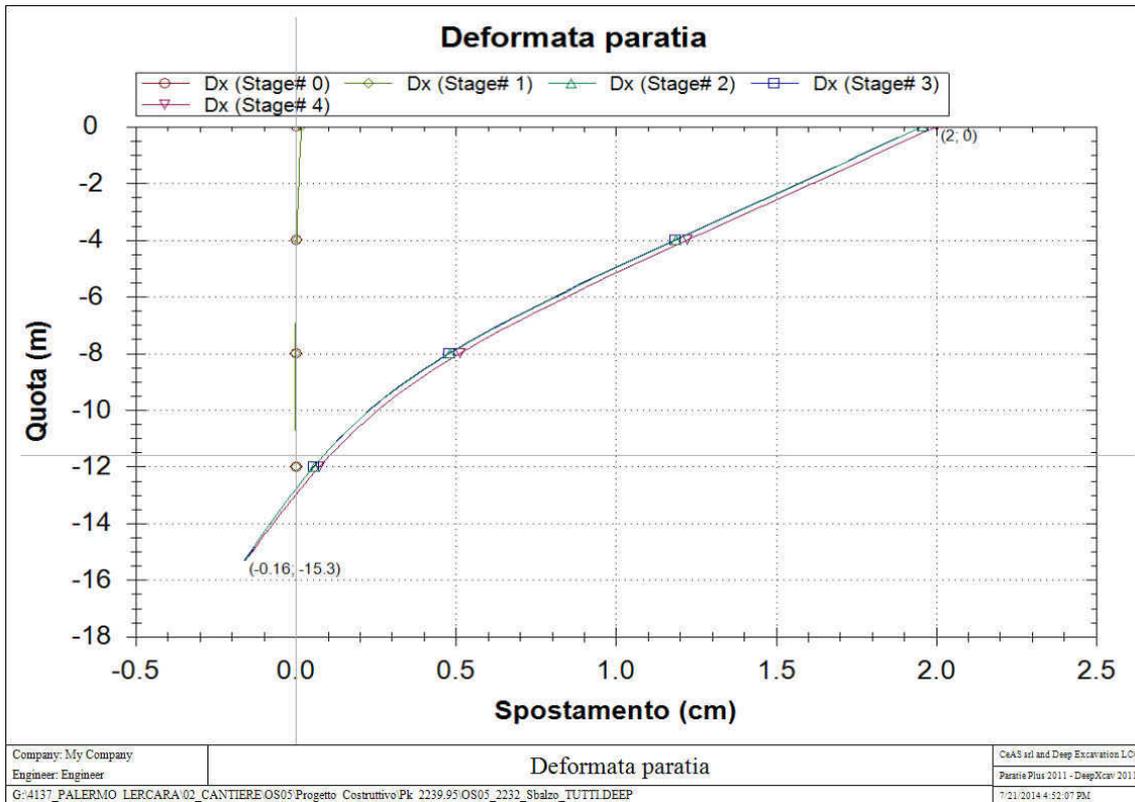


Figura 27 Spostamenti-profondità SLE

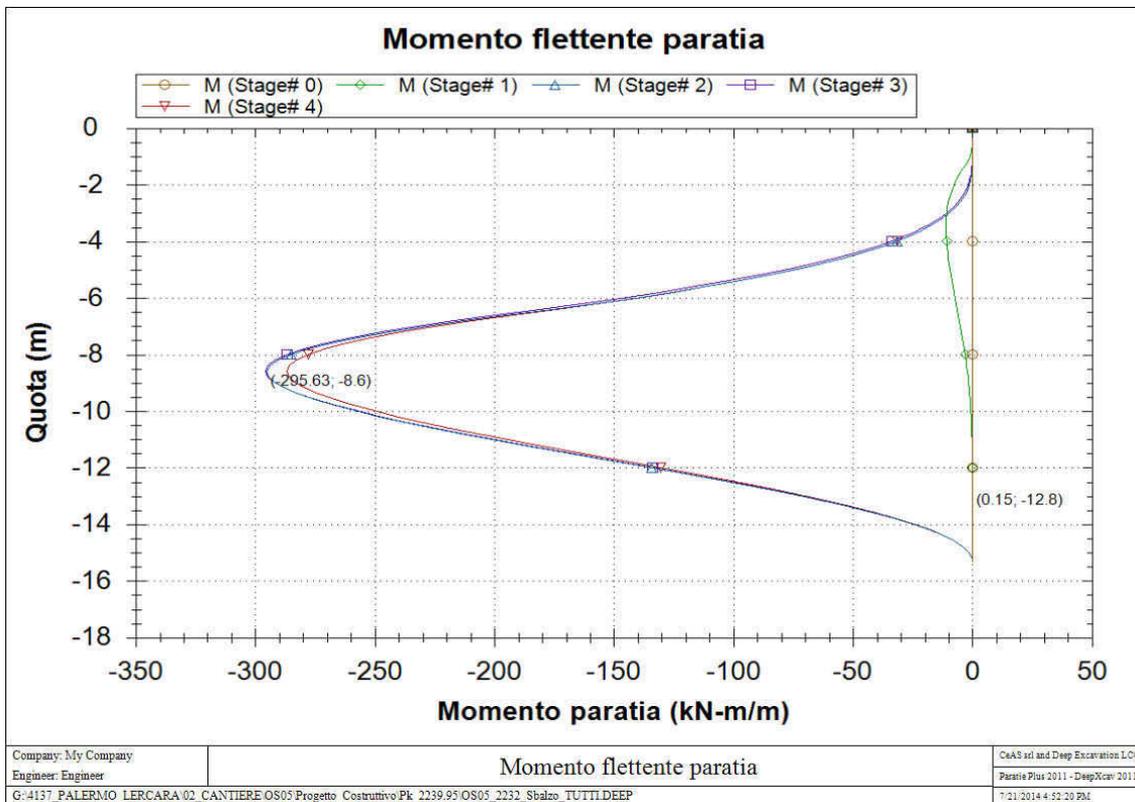


Figura 28 Momento-profondità SLE

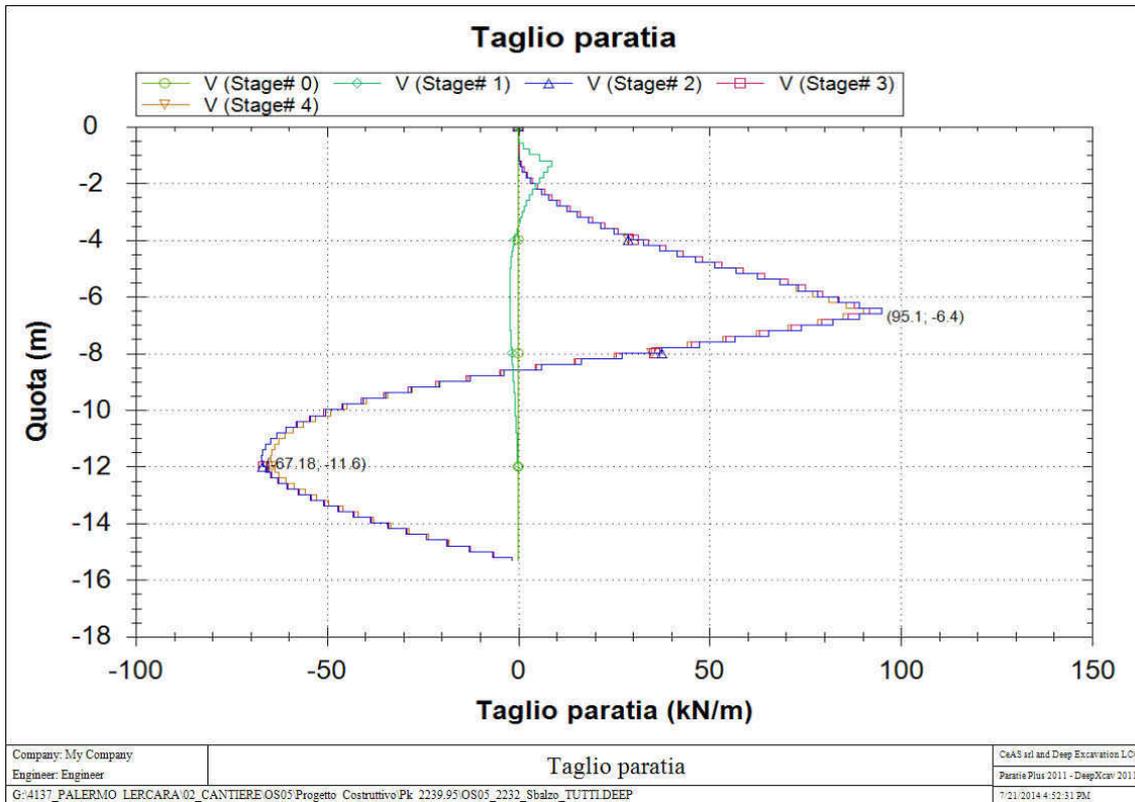


Figura 29 Taglio-profondità SLE

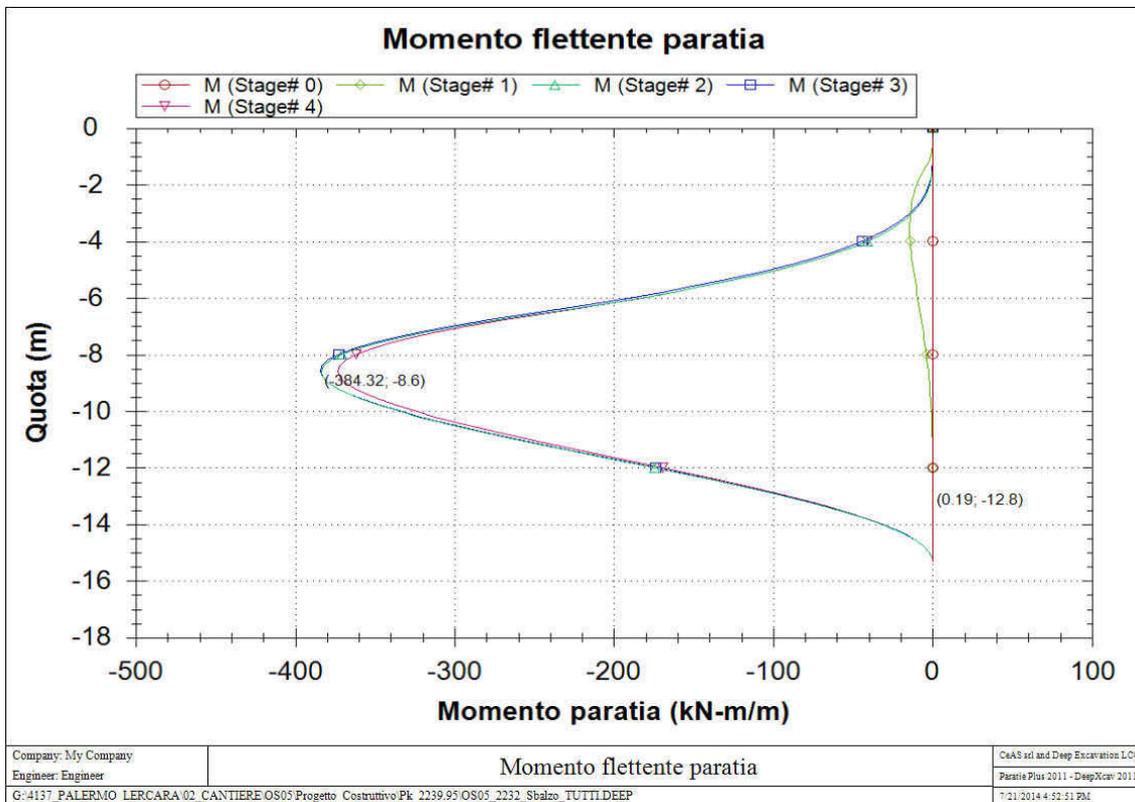


Figura 30 Momento-profondità SLU STR

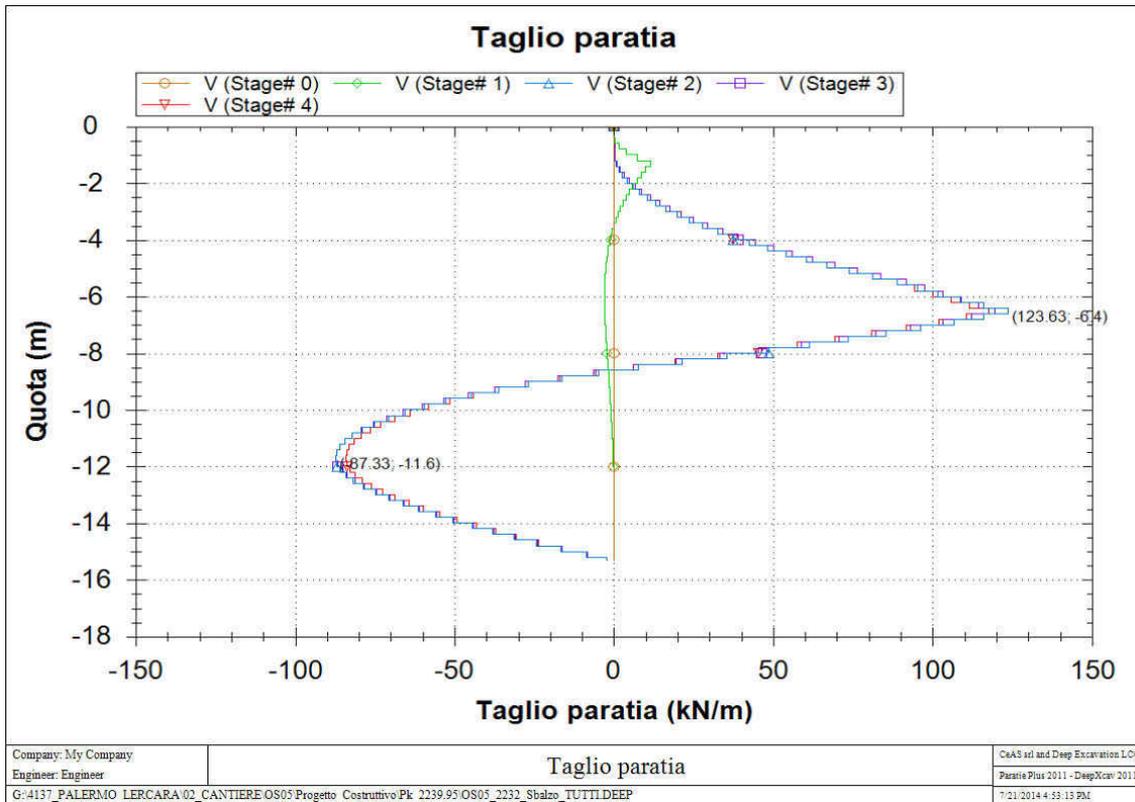


Figura 31 Taglio-profondità SLU STR

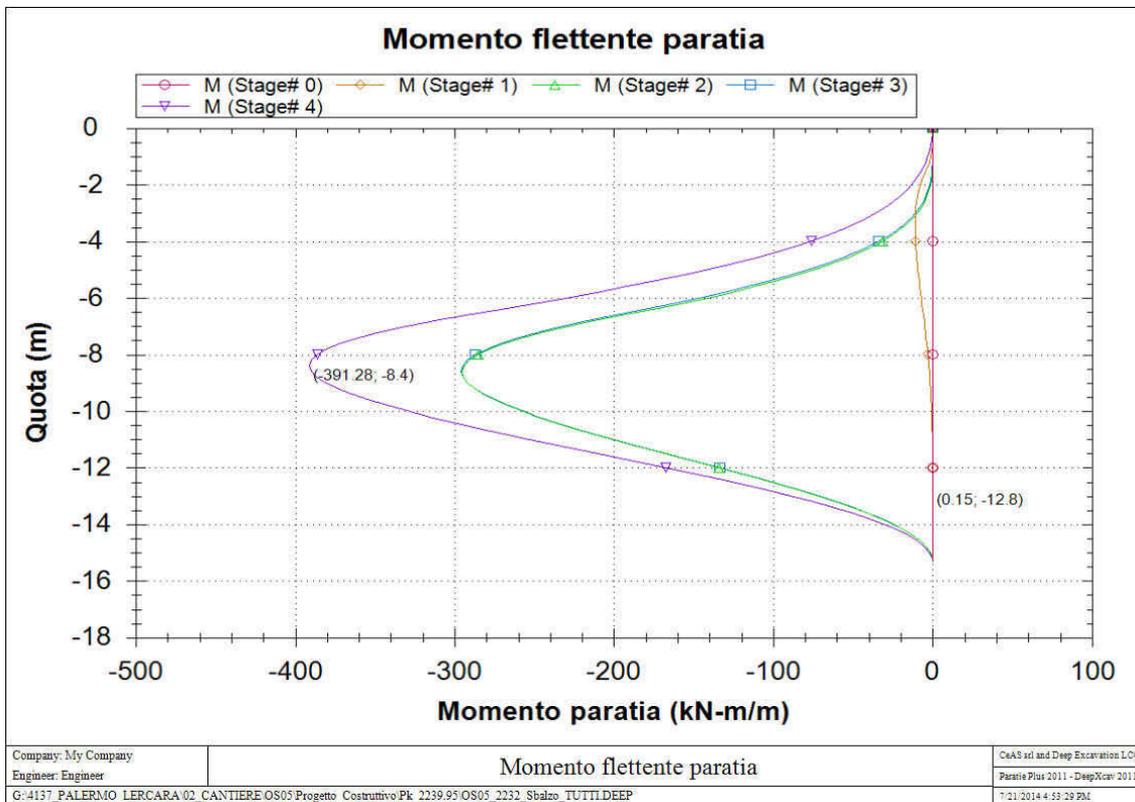


Figura 32 Momento-profondità SISMA STR

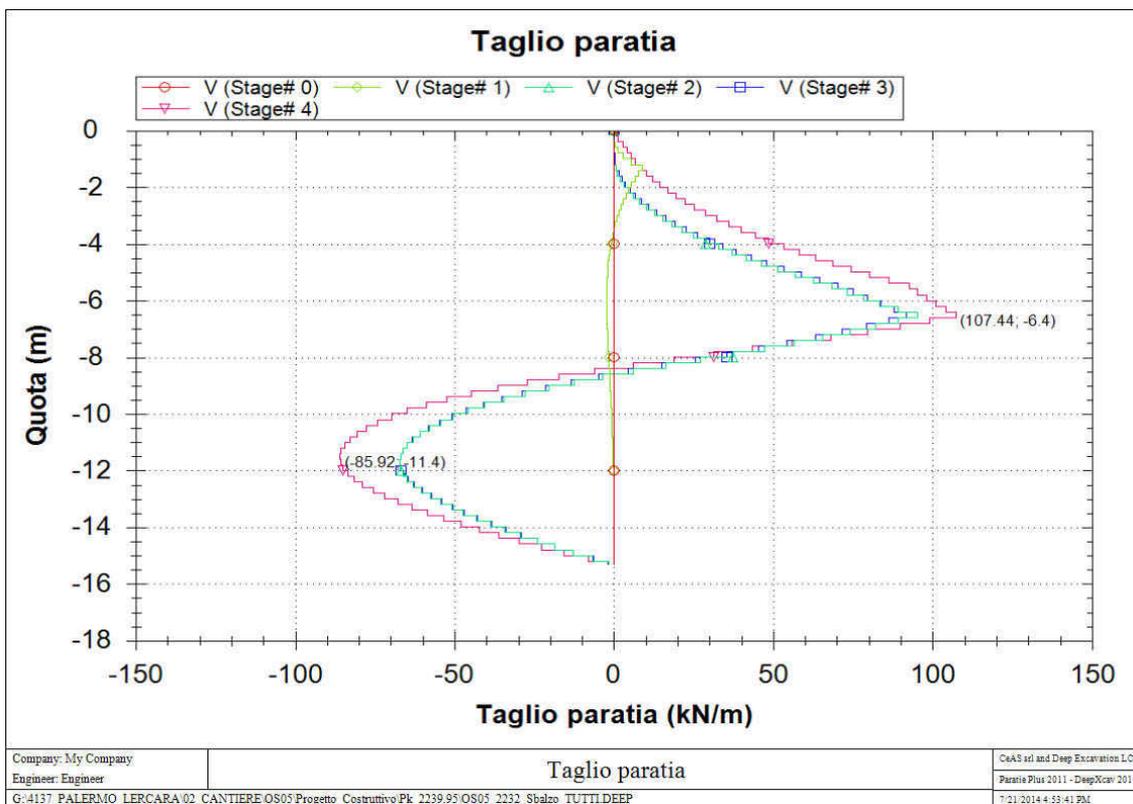


Figura 33 Taglio-profondità SLU STR

10.5.2 Verifiche geotecniche

10.5.2.1 Verifiche di stabilità globale del complesso opera di sostegno - terreno

Per le verifiche di stabilità globale sono stati utilizzati i medesimi parametri indicati nel paragrafo precedente.

Per le verifiche si è utilizzato il modulo VSP Plus della Ceas. I coefficienti di sicurezza ottenuti sono riportati nella tabella seguente.

Tipo di verifica	Fs
Statica	1.62 > 1.10
Sismica	1.13 > 1.10

Nelle figure seguenti è rappresentata la sezione presa in considerazione per le analisi con le superfici investigate ed evidenziata la superficie più critica. Il dettaglio dei dati di ingresso è riportato nel tabulato di calcolo in Appendice.

PARATIE DI PALI SX DAL KM 2+069.14 AL KM 2+308.44 – RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO

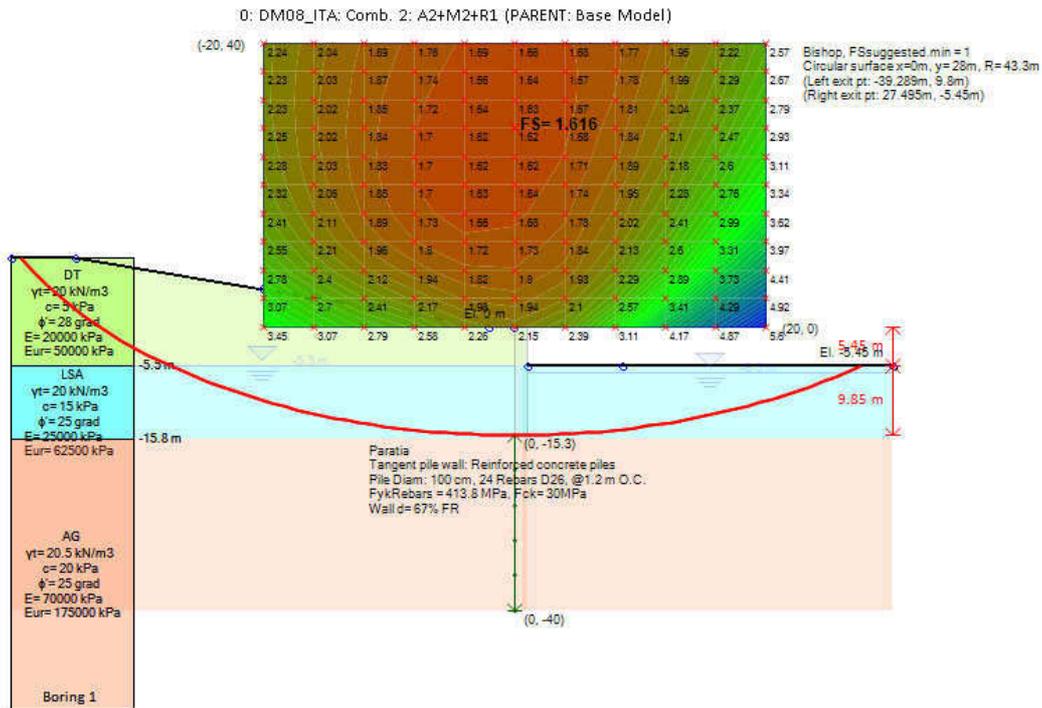


Figura 34 Verifica in condizione statica – superfici analizzate e superficie critica

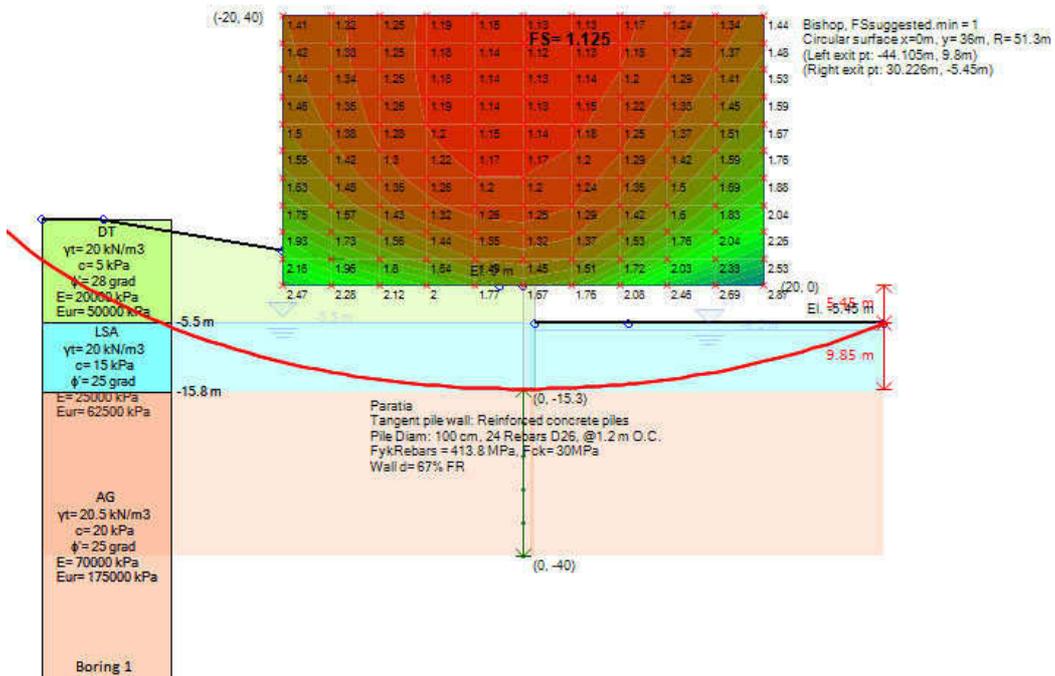


Figura 35 Verifica in condizione sismica – superfici analizzate e superficie critica

10.5.3 Verifiche strutturali

10.5.3.1 Verifiche SLU - Pali

Nelle verifiche si considerano le sollecitazioni massime sulla struttura secondo le varie analisi.

Le sollecitazioni sono state valutate per la sezione di riferimento della struttura sia in condizioni sismiche che in condizioni statiche. Nelle verifiche, a presso-flessione e taglio, si riporta di seguito il caso peggiore fra lo statico ed il sismico. Nella verifica a presso-flessione si è considerato il peso proprio del palo valutato alla corrispondente quota di verifica.

Verifica a Presso-flessione:

Combinazione STR Sismico.

Gabbia di armatura	Quota da t.c. (m)	M (kNm/m)	M _{SLU} (kNm)	N _{SLU} (kN)	Armatura	c.s.
1	8.4	391.3	469.5	164.93	24φ20	2.50

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	7.4	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	8.9	cm
Copriferro netto minimo staffe:	6.2	cm

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [daN] nel baricentro sezione cls. (positivo se di compressione)
Mx	Momento flettente assegnato [daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My	Momento flettente assegnato [daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N ult	Sforzo normale ultimo [daN] baricentrico (positivo se di compress.)
Mx ult	Momento flettente ultimo [daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My ult	Momento flettente ultimo [daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
My ult	Momento flettente ultimo [daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mx ult	Momento flettente ultimo [daNm] intorno all'asse X di riferimento della sezione
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult, Mx ult, My ult) e (N, Mx, My) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
As Tesa	Area armature [cm ²] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	16493	46950	0	16481	117305	0	2.499	-----

Verifica al taglio:

Poiché la sezione di verifica è circolare i valori di b_w (larghezza dell'anima) e di d (altezza utile) saranno riferiti alle dimensioni di una sezione quadrata di lato di 707 mm inscritta in quella del palo. L'armatura al taglio sarà costituita da una spirale $\varnothing 12$ passo 20.

Gabbia di armatura, Combinazione STR:

$V_{sd,max}$ 148.36 kN

Passo staffe: 20.0 cm [Passo massimo di normativa = 24.0 cm]

Ver S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
 Vsdu Taglio di progetto [daN] = proiezz. di V_x e V_y sulla normale all'asse neutro
 Vcd Taglio resistente ultimo [daN] lato conglomerato compresso
 Vwd Taglio resistente [daN] assorbito dalle staffe
 Dmed Altezza utile media pesata [cm] valutata lungo strisce ortog. all'asse neutro. Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso. I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.
 bw Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.
 Teta Angolo [gradi sessadec.] di inclinazione dei puntoni di conglomerato
 Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
 Ast Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm²/m]
 A.Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm²/m]
 Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.
 L'area della legatura è ridotta col fattore L/d_{max} con L =lungh.legat.proietta-
 ta sulla direz. del taglio e d_{max} = massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°Comb	Ver	Vsdu	Vcd	Vwd	Dmed	bw	Teta	Acw	Ast	A.Eff
1	S	14836	173433	81937	80.7	80.4	21.80°	1.012	2.1	11.5(0.0)

10.5.3.2 Verifiche SLE – Pali

Nella verifica a presso-flessione si è considerato il peso proprio del palo valutato alla corrispondente quota di verifica.

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
 Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [daN/cm²]
 Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
 Sf min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [daN/cm²]
 Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
 Ac eff. Area di calcestruzzo [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre
 As eff. Area barre [cm²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure
 D barre Distanza tre le barre tese [cm] ai fini del calcolo dell'apertura fessure
 Beta12 Prodotto dei coeff. di aderenza delle barre Beta1*Beta2

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	55.9	0.0	-50.0	-1529	0.0	-41.6	1282	22.0	10.9	1.00

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	55.9	0.0	-50.0	-1529	0.0	-41.6	1282	22.0	10.9	0.50

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§B.6.6 DM96]

Ver. La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a f_{ctm}
 S1 Esito della verifica
 S2 Massima tensione [daN/cm²] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione non fessurata
 k2 Minima tensione [daN/cm²] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione fessurata
 = 0.4 per barre ad aderenza migliorata

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

PARATIE DI PALI SX DAL KM 2+069.14 AL KM 2+308.44 – RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO

k3	= 0.125 per flessione e presso-flessione; $=(e1 + e2)/(2*e1)$ per trazione eccentrica
Ø	Diametro [mm] medio delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff
Cf	Copri ferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
Psi	$= 1 - \text{Beta}12 * (Ssr/Ss)^2 = 1 - \text{Beta}12 * (fctm/S2)^2 = 1 - \text{Beta}12 * (Mfess/M)^2$ [B.6.6 DM96]
e sm	Deformazione unitaria media tra le fessure [4.3.1.7.1.3 DM96]. Il valore limite = $0.4 * Ss/Es$ è tra parentesi
srm	Distanza media tra le fessure [mm]
wk	Valore caratteristico [mm] dell'apertura fessure = $1.7 * e * sm * srm$. Valore limite tra parentesi
MX fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [daNm]
MY fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [daNm]

Comb.	Ver	S1	S2	k3	Ø	Cf	Psi	e sm	srm	wk	Mx fess	My fess
1	S	-28.2	0	0.125	20	72.0	0.475	0.00036 (0.00031)	224	0.138 (0.30)	36368	0

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	55.9	0.0	-50.0	-1529	0.0	-41.6	1282	22.0	10.9	0.50

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§B.6.6 DM96]

Comb.	Ver	S1	S2	k3	Ø	Cf	Psi	e sm	srm	wk	Mx fess	My fess
1	S	-28.2	0	0.125	20	72.0	0.475	0.00036 (0.00031)	224	0.138 (0.20)	36368	0

10.6 Sezione di verifica Progr. 2+216

10.6.1 Sintesi dei risultati

Nelle tabelle seguenti vengono riportati i risultati delle analisi eseguite con riferimento alle combinazioni di carico precedentemente definite.

Si noti che il metodo di calcolo per l'analisi delle paratie, come già detto, segue il processo dalla costruzione, dalla realizzazione della paratia stessa agli scavi parziali, la messa in tensione dei tiranti fino allo scavo finale. Nelle verifiche in condizioni sismiche l'azione sismica viene applicata solo nella fase finale, cioè in condizioni di esercizio, anche se l'analisi, per le modalità con cui viene svolta, percorre anche in questo tipo di verifica tutte le fasi provvisionali precedenti.

I principali risultati ottenuti per le combinazioni di carichi sopra indicate.

	SLU GEO		SLU STR		SLE
	Statico	Sismico	Statico	Sismico	
Spostamento massimo (cm)	-	-	-	-	0.64
Momento massimo (kNm/m)	-	-	486.47	370.42	374.21
Taglio massimo (kN/m)	-	-	142.27	108.48	109.44
Spinta passiva mobilitata a valle (%)	81.00	81.00	-	-	61.00
Reazione Tiranti 1° ordine (kN/m)	-	-	134.82	112.4	103.71

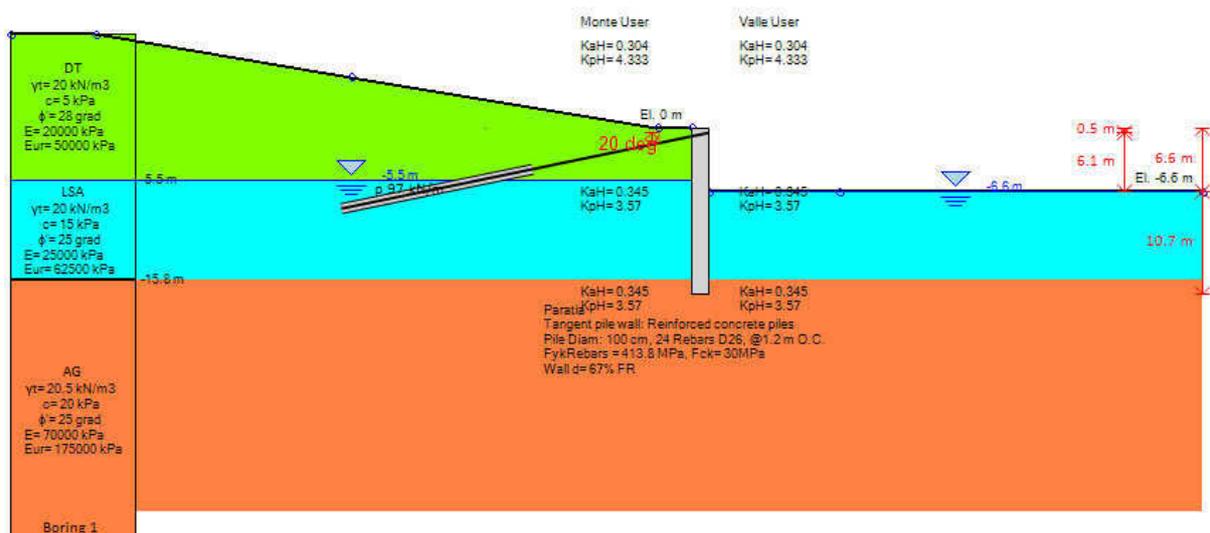


Figura 36 Modello di calcolo – step finale di calcolo

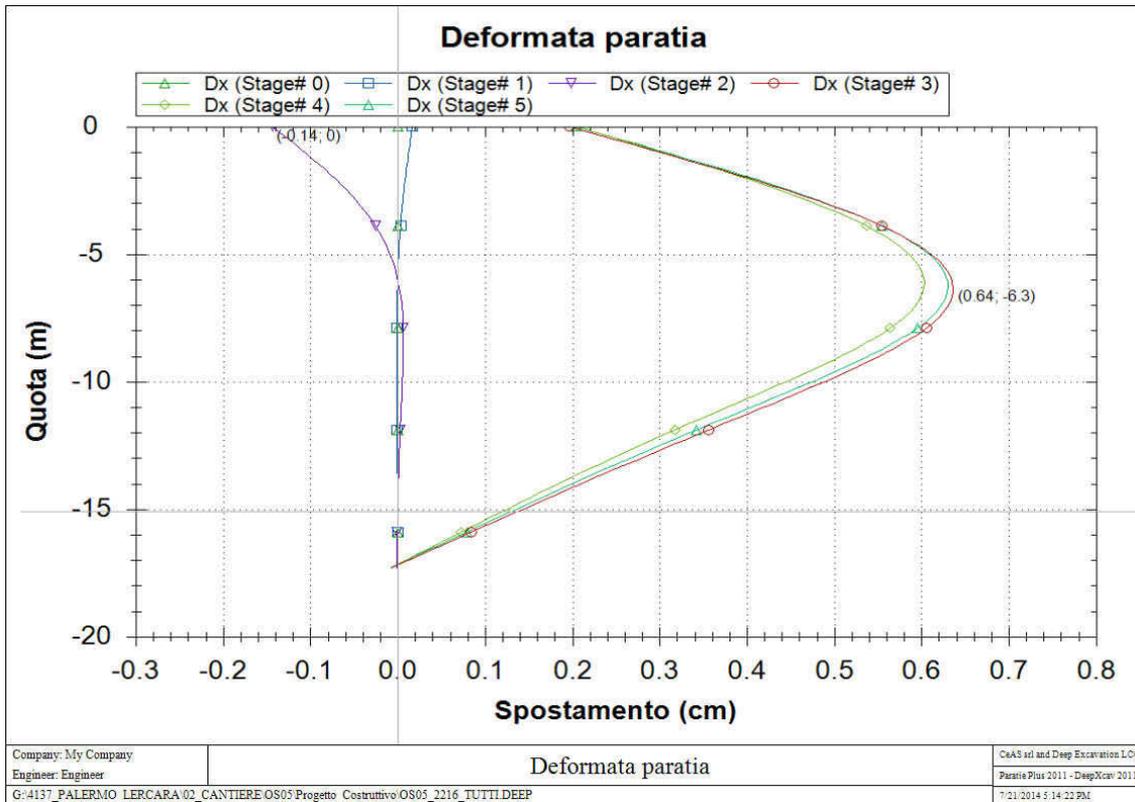


Figura 37 Spostamenti-profondità SLE

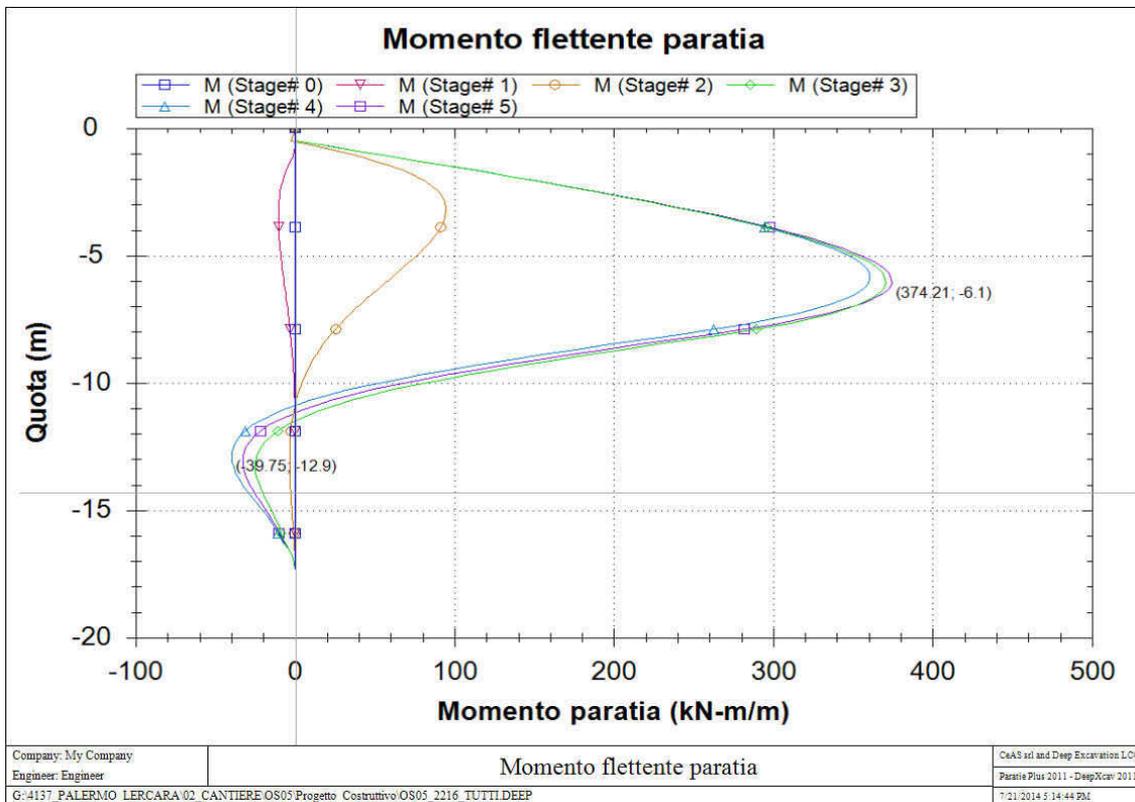


Figura 38 Momento-profondità SLE

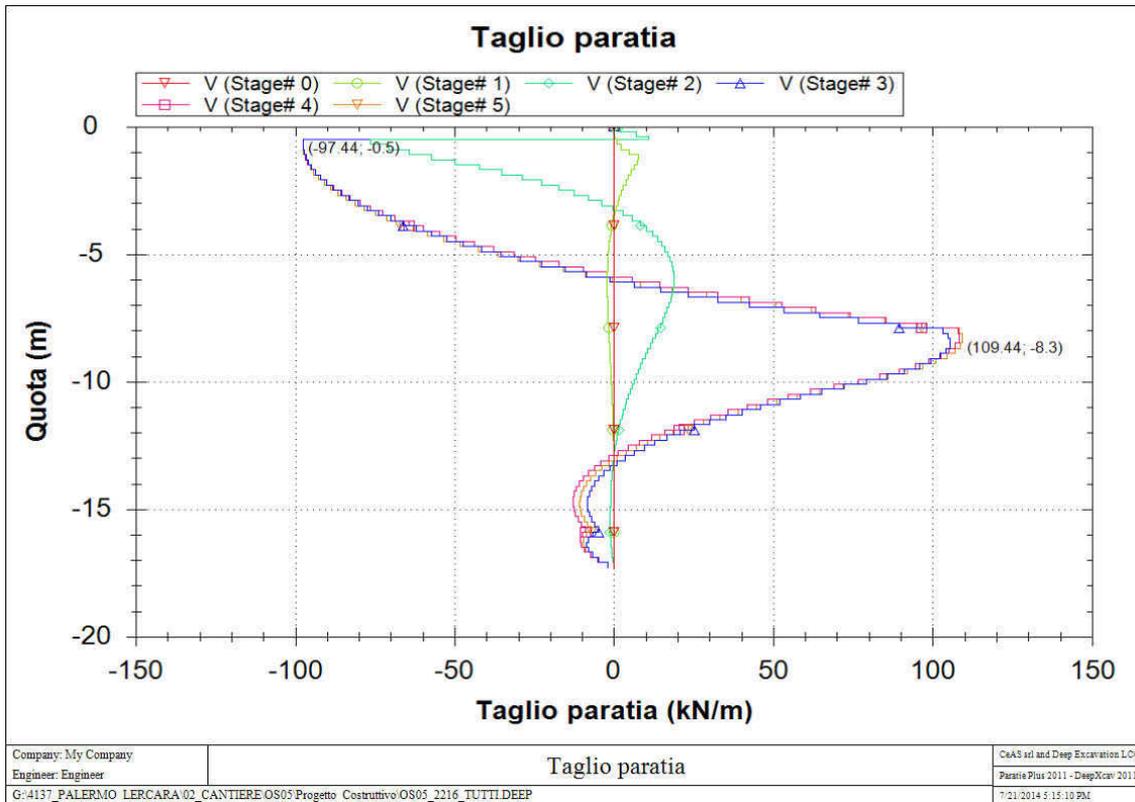


Figura 39 Taglio-profondità SLE

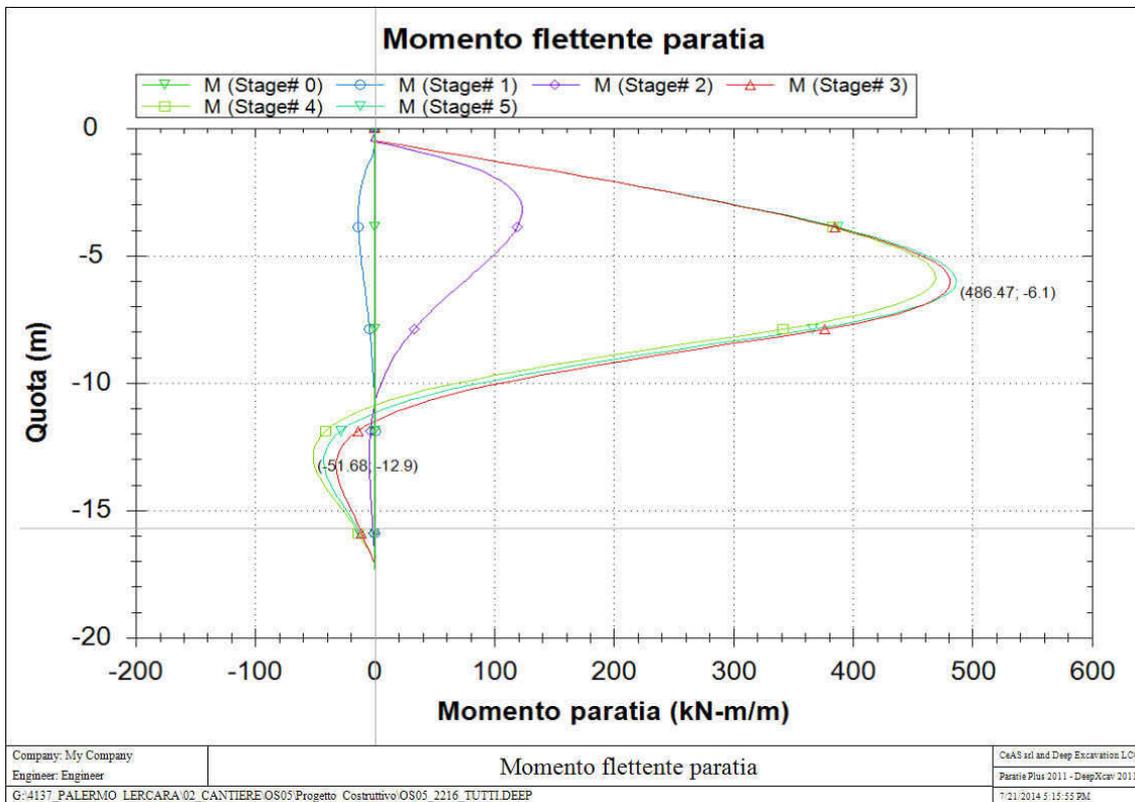


Figura 40 Momento-profondità SLU STR

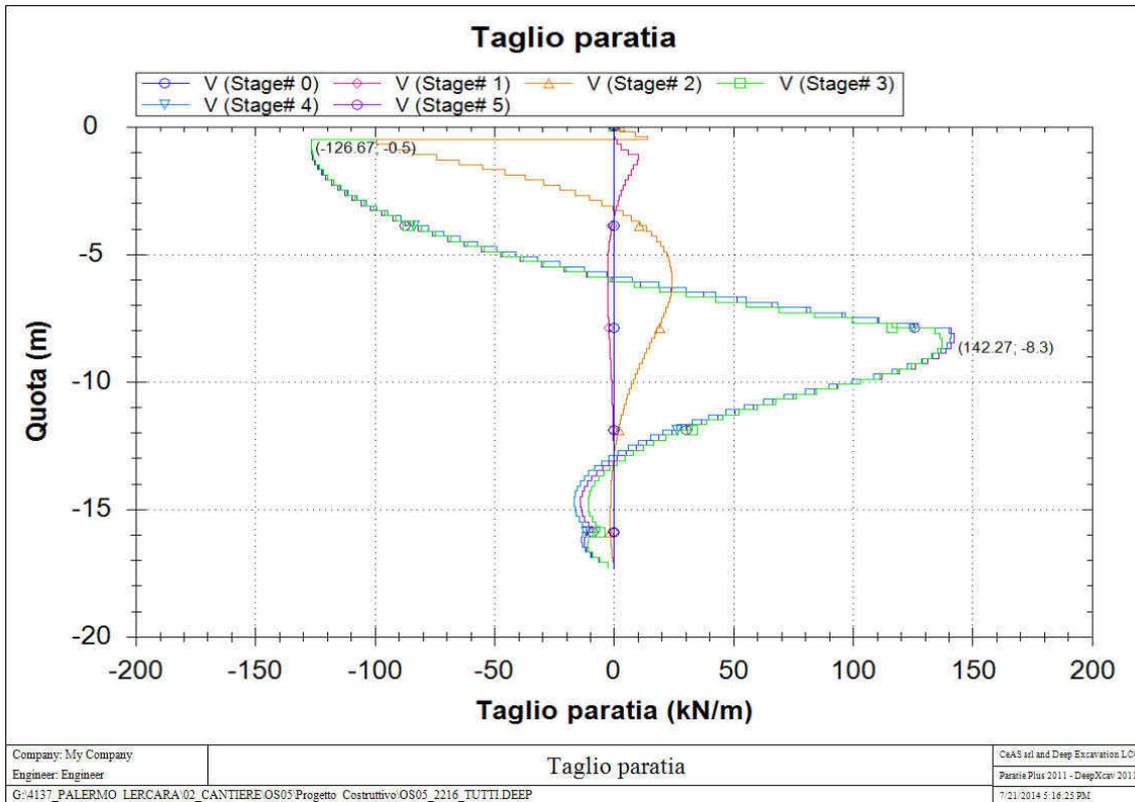


Figura 41 Taglio-profondità SLU STR

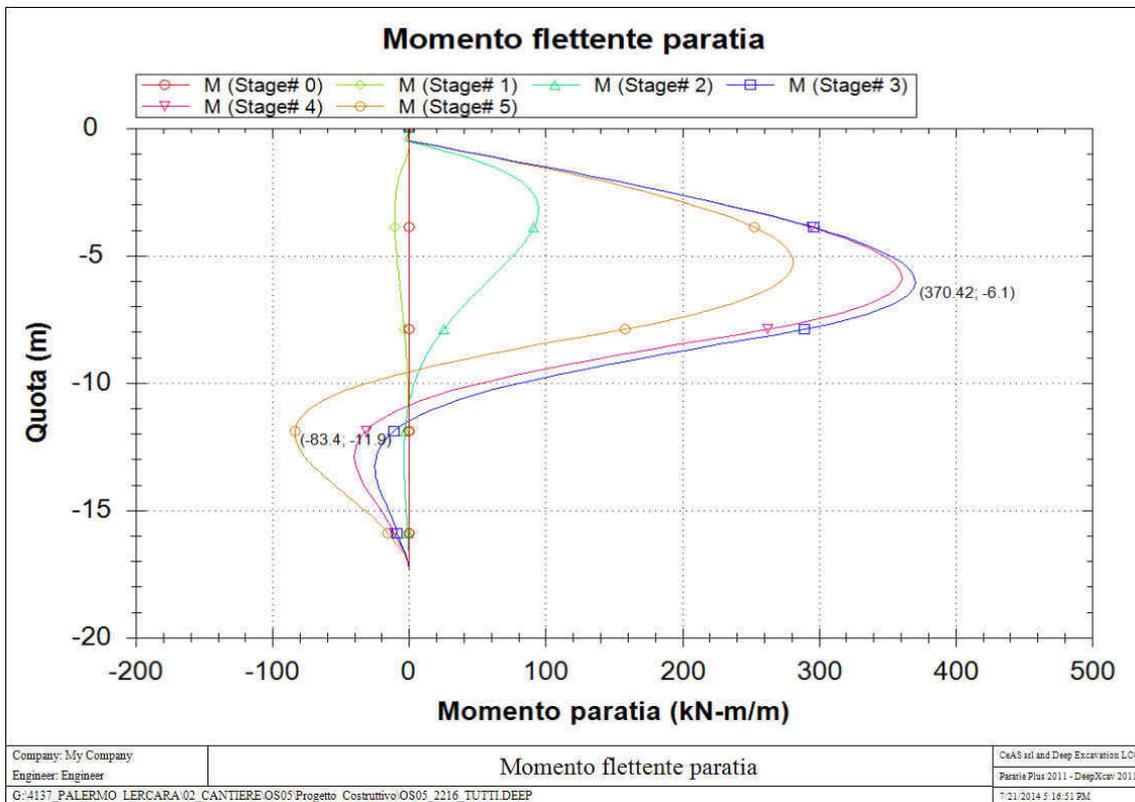


Figura 42 Momento-profondità SISMA STR

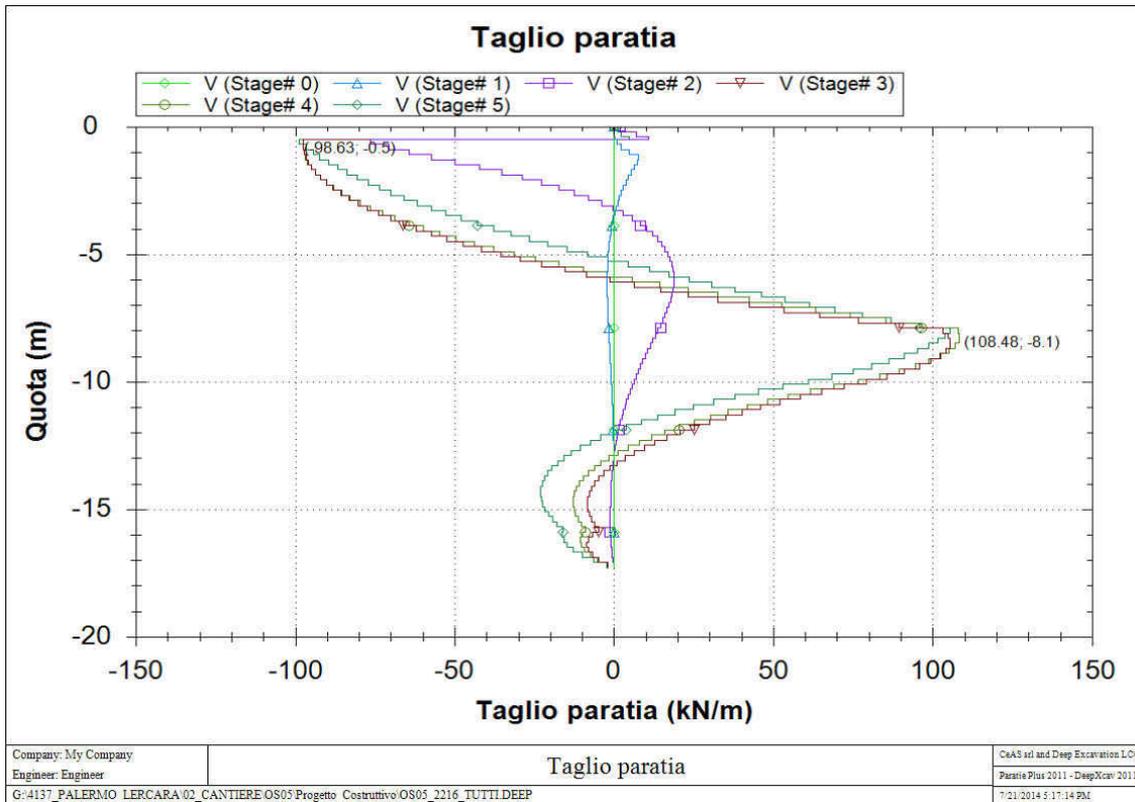


Figura 43 Taglio-profondità SISMA STR

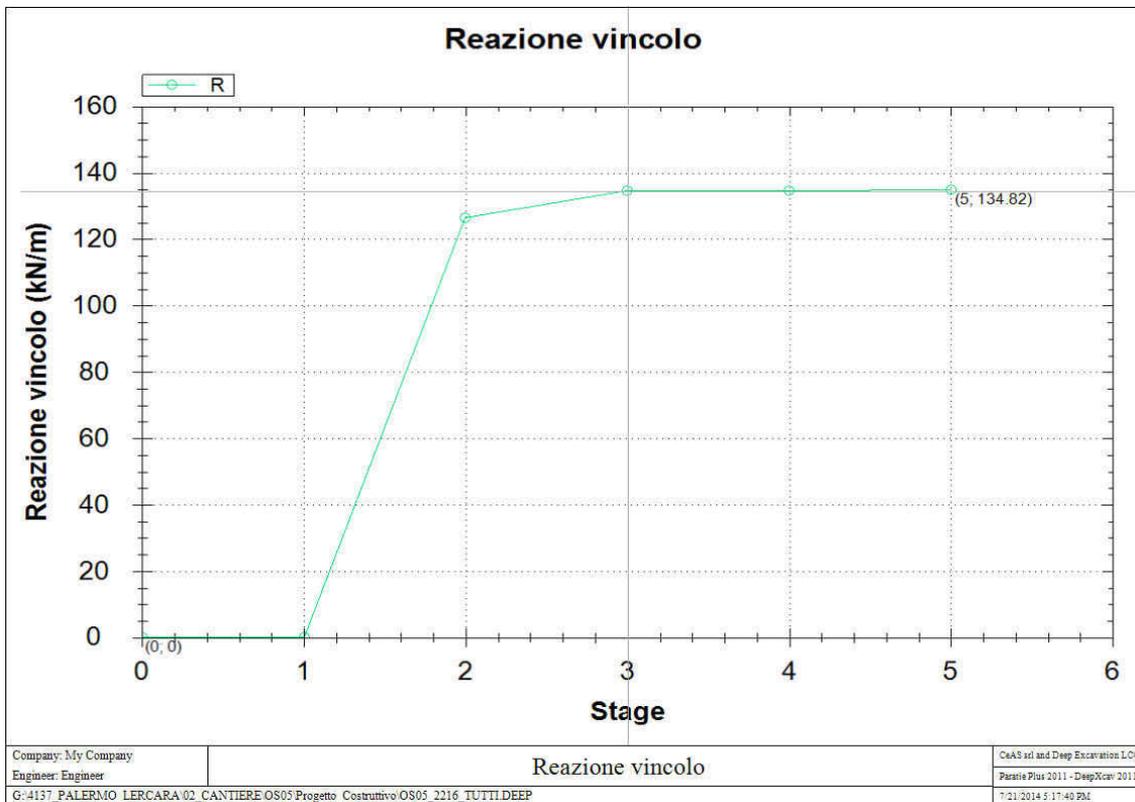


Figura 44 Tiri I ordine tiranti – SLU STR

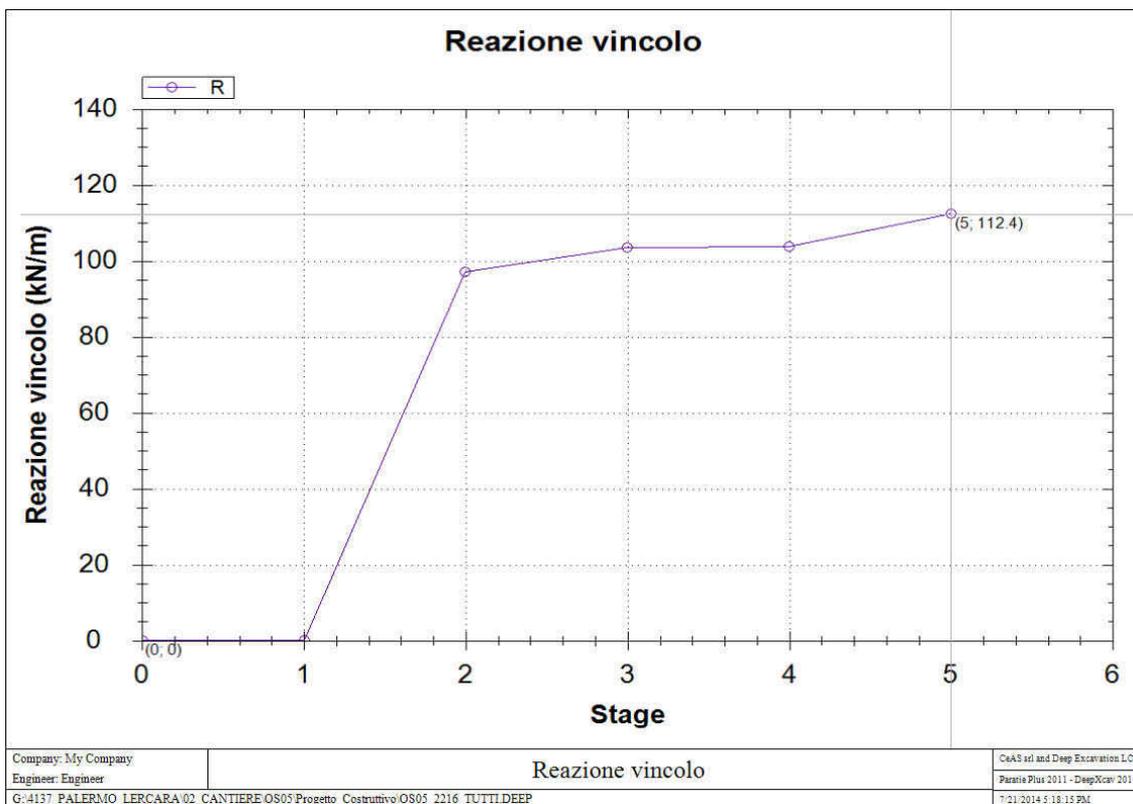


Figura 45 Tiri I ordine tiranti – SISMA STR

10.6.2 Verifiche geotecniche

10.6.2.1 Verifiche di stabilità globale del complesso opera di sostegno - terreno

Per le verifiche di stabilità globale sono stati utilizzati i medesimi parametri indicati nel paragrafo precedente.

Per le verifiche si è utilizzato il modulo VSP Plus della Ceas. I coefficienti di sicurezza ottenuti sono riportati nella tabella seguente.

Tipo di verifica	Fs
Statica	1.58 > 1.10
Sismica	1.11 > 1.10

Nelle figure seguenti è rappresentata la sezione presa in considerazione per le analisi con le superfici investigate ed evidenziata la superficie più critica. Il dettaglio dei dati di ingresso è riportato nel tabulato di calcolo in Appendice.

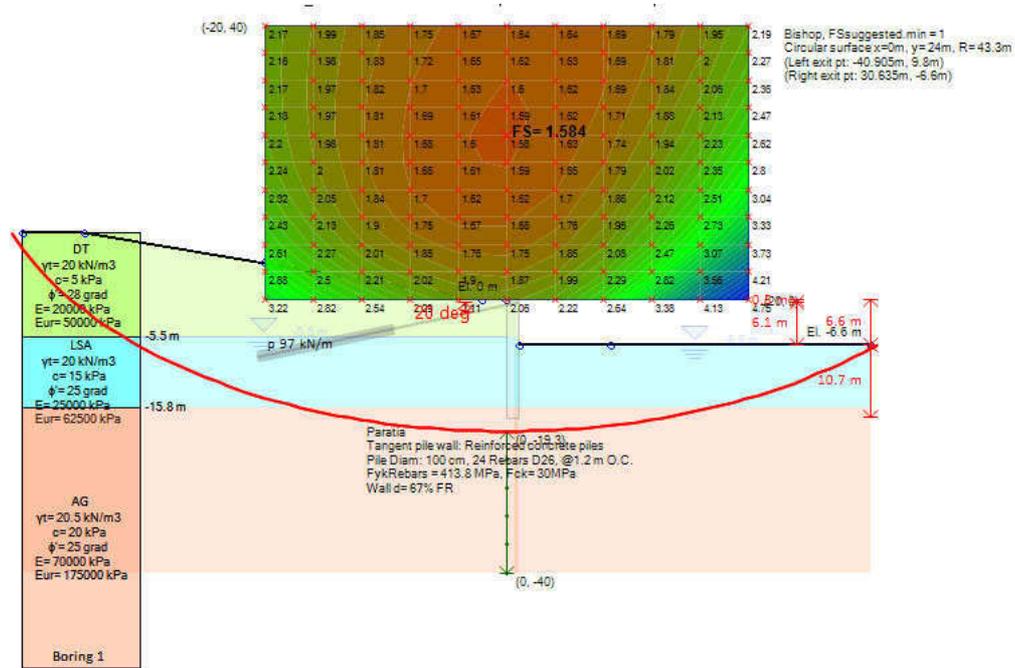


Figura 46 Verifica in condizione statica – superfici analizzate e superficie critica

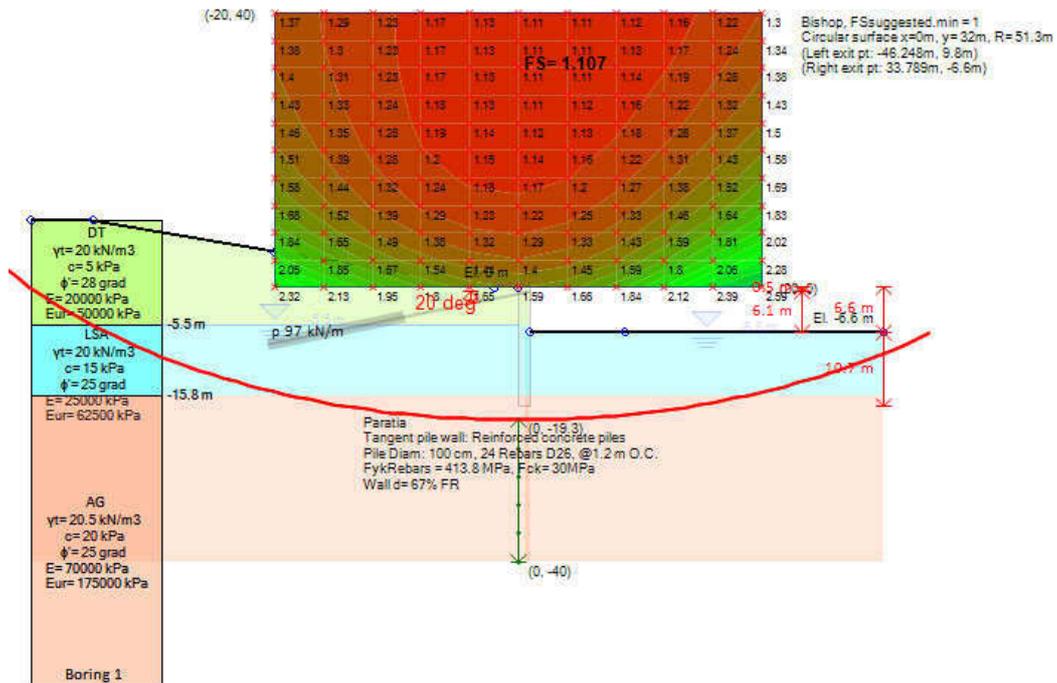


Figura 47 Verifica in condizione sismica – superfici analizzate e superficie critica

10.6.3 Verifiche strutturali

10.6.3.1 Verifiche SLU - Pali

Nelle verifiche si considerano le sollecitazioni massime sulla struttura secondo le varie analisi.

Le sollecitazioni sono state valutate per la sezione di riferimento della struttura sia in condizioni sismiche che in condizioni statiche. Nelle verifiche, a presso-flessione e taglio, si riporta di seguito il caso peggiore fra lo statico ed il sismico. Nella verifica a presso-flessione si è considerato il peso proprio del palo valutato alla corrispondente quota di verifica.

Verifica a Presso-flessione:

Combinazione STR Statico.

Gabbia di armatura	Quota da t.c. (m)	M (kNm/m)	M _{SLU} (kNm)	N _{SLU} (kN)	Armatura	c.s.
1	6.1	486.5	583.8	155.71	24φ26	3.12

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	7.1 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	8.3 cm
Copriferro netto minimo staffe:	6.3 cm

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [daN] nel baricentro sezione cls. (positivo se di compressione)
Mx	Momento flettente assegnato [daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My	Momento flettente assegnato [daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N ult	Sforzo normale ultimo [daN] baricentrico (positivo se di compress.)
Mx ult	Momento flettente ultimo [daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My ult	Momento flettente ultimo [daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
My ult	Momento flettente ultimo [daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mx ult	Momento flettente ultimo [daNm] intorno all'asse X di riferimento della sezione
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult, Mx ult, My ult) e (N, Mx, My) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
As Tesa	Area armature [cm ²] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	15571	58380	0	15581	181880	0	3.115	-----

Verifica al taglio:

Poiché la sezione di verifica è circolare i valori di b_w (larghezza dell'anima) e di d (altezza utile) saranno riferiti alle dimensioni di una sezione quadrata di lato di 707 mm inscritta in quella del palo. L'armatura al taglio sarà costituita da una spirale $\varnothing 12$ passo 20.

Gabbia di armatura, Combinazione STR:

$V_{sd,max}$ 170.72 kN

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - VERIFICHE A TAGLIO

Passo staffe: 24.9 cm [Passo massimo di normativa = 25.0 cm]

Ver S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
 Vsdu Taglio di progetto [daN] = proiez. di V_x e V_y sulla normale all'asse neutro
 Vcd Taglio resistente ultimo [daN] lato conglomerato compresso
 Vwd Taglio resistente [daN] assorbito dalle staffe
 Dmed Altezza utile media pesata [cm] valutata lungo strisce ortog. all'asse neutro. Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso. I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.
 bw Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.
 Teta Angolo [gradi sessadec.] di inclinazione dei puntoni di conglomerato
 Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
 Ast Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm²/m]
 A.Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm²/m]
 Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.
 L'area della legatura è ridotta col fattore L/d_{max} con L =lungh.legat.proietta-
 ta sulla direz. del taglio e d_{max} = massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°Comb	Ver	Vsdu	Vcd	Vwd	Dmed	bw	Teta	Acw	Ast	A.Eff
1	S	17072	180637	28730	79.2	85.5	21.80°	1.012	2.4	4.1(0.0)

10.6.3.2 Verifiche SLU – Tiranti

Nel seguito si riportano le verifiche di resistenza e del bulbo di ancoraggio.

Le verifiche sono soddisfatte essendo $P_d < R_{pd}$.

Combinazione	Ordine tiranti	Passo [m]	e_k [kN/m]	P_d [kN]	R_{pd} [kN]	Pretiro [kN]
STR Statico	I	3.6	134.82	485.35	807	350
STR Sismico	I	3.6	112.40	404.64	807	350

Combinazione	Ordine tiranti	Passo [m]	e_k [kN/m]	P_d [kN]	τ_{lim} [kPa]	α [-]	l_b [m]	$\xi_{\alpha 3}$ [-]	γ_R [-]	R_{ad} [kN]
STR Statico	I	3.6	134.82	485.35	160	1.0	14	1.8	1.2	523
STR Sismico	I	3.6	112.40	404.64	160	1.0	14	1.8	1.2	523

In questo caso τ_{lim} e α sono stati valutati per la formazione LSA

Dove:

e_k = Tiro per metro di profondità derivante da Paratie

P_d = e_k moltiplicato per l'interasse orizzontale tra i tiranti

τ_{lim} = tensione di aderenza laterale limite fondazione-terreno, valutata tenendo conto dei vari tratti di bulbo di ancoraggio di lunghezza l_i in relazione alle formazioni attraversate caratterizzate dalla corrispondente tensione di aderenza limite τ_{limi} .

10.6.3.3 Verifiche SLU Trave di coronamento

La verifica della trave di coronamento è effettuata schematizzando la geometria del problema come una trave su più appoggi corrispondenti ai tiranti; le sollecitazioni flettenti e taglianti che agiscono sulla sezione rettangolare generate dai tiranti sono calcolate con le seguenti :

$$M = \frac{pl^2}{10} \quad (\text{kNm})$$

$$T = \frac{pl}{2} \quad (\text{kN})$$

Verifica a flessione:

Combinazione STR Statico:

$$M_{SLUd} = 164.2 \text{ kNm}$$

$$M_{SLU, R} = 795.15 \text{ kNm}$$

$$C.S. = 4.84$$

Verifica a taglio:

Combinazione STR Statico:

$$R_{SLUd} = 228.0 \text{ kN}$$

$$V R_d = (0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho \cdot 1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d > (v_{\min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

coefficiente	k	1.462	
rapporto geometrico d'armatura	ρ_1	0.002	< 0.02
azione assiale (> 0 se di compressione)	Np	0	[kN]
area calcestruzzo	Ac	12207	[cm ²]
tensione agente nel cls dovuta a precompressione	σ_{cp}	0.000	[N/mm ²]
	v min	0.309	[N/mm ²]
$(0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho \cdot 1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$	V Rd	357.8	[kN]
$(v_{\min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$	V' Rd	377.4	[kN]

10.6.3.4 Verifiche SLE – Pali

Nella verifica a presso-flessione si è considerato il peso proprio del palo valutato alla corrispondente quota di verifica.

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

Ver	S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
Sc max	Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [daN/cm ²]
Xc max, Yc max	Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [daN/cm ²]
Xs min, Ys min	Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Ac eff.	Area di calcestruzzo [cm ²] in zona tesa considerata aderente alle barre
As eff.	Area barre [cm ²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure
D barre	Distanza tra le barre tese [cm] ai fini del calcolo dell'apertura fessure
Beta12	Prodotto dei coeff. di aderenza delle barre Beta1*Beta2

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	54.0	0.0	0.0	-1297	0.0	-41.6	1667	37.2	10.9	1.00

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	54.0	0.0	0.0	-1297	0.0	-41.6	1667	37.2	10.9	0.50

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§B.6.6 DM96]

Ver.	La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a fctm
S1	Esito della verifica
S2	Massima tensione [daN/cm ²] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione non fessurata
k2	Minima tensione [daN/cm ²] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione fessurata
k3	= 0.4 per barre ad aderenza migliorata
Ø	= 0.125 per flessione e presso-flessione; = (e1 + e2)/(2*e1) per trazione eccentrica
Cf	Diametro [mm] medio delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff
Psi	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
e sm	= 1 - Beta12*(Ssr/Ss) ² = 1 - Beta12*(fctm/S2) ² = 1 - Beta12*(Mfess/M) ² [B.6.6 DM96]
srm	Deformazione unitaria media tra le fessure [4.3.1.7.1.3 DM96]. Il valore limite = 0.4*Ss/Es è tra parentesi
wk	Distanza media tra le fessure [mm]
MX fess.	Valore caratteristico [mm] dell'apertura fessure = 1.7 * e sm * srm . Valore limite tra parentesi
MY fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [daNm]
	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [daNm]

Comb.	Ver	S1	S2	k3	Ø	Cf	Psi	e sm	srm	wk	Mx fess	My fess
-------	-----	----	----	----	---	----	-----	------	-----	----	---------	---------

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

PARATIE DI PALI SX DAL KM 2+069.14 AL KM 2+308.44 – RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO

1	S	-33.0	0	0.125	26	69.0	0.615	0.00040 (0.00026)	218	0.148 (0.30)	39424	0
---	---	-------	---	-------	----	------	-------	-------------------	-----	--------------	-------	---

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	54.0	0.0	0.0	-1297	0.0	-41.6	1667	37.2	10.9	0.50

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§B.6.6 DM96]

Comb.	Ver	S1	S2	k3	Ø	Cf	Psi	e sm	srm	wk	Mx fess	My fess
1	S	-33.0	0	0.125	26	69.0	0.615	0.00040 (0.00026)	218	0.148 (0.20)	39424	0

10.7 Sezione di verifica Sez.111 - Progr. 2+199.883

10.7.1 Sintesi dei risultati

Nelle tabelle seguenti vengono riportati i risultati delle analisi eseguite con riferimento alle combinazioni di carico precedentemente definite.

Si noti che il metodo di calcolo per l'analisi delle paratie, come già detto, segue il processo dalla costruzione, dalla realizzazione della paratia stessa agli scavi parziali, la messa in tensione dei tiranti fino allo scavo finale. Nelle verifiche in condizioni sismiche l'azione sismica viene applicata solo nella fase finale, cioè in condizioni di esercizio, anche se l'analisi, per le modalità con cui viene svolta, percorre anche in questo tipo di verifica tutte le fasi provvisionali precedenti.

I principali risultati ottenuti per le combinazioni di carichi sopra indicate.

	SLU GEO		SLU STR		SLE
	Statico	Sismico	Statico	Sismico	
Spostamento massimo (cm)	-	-	-	-	0.80
Momento massimo (kNm/m)	-	-	529.44	403.39	407.26
Taglio massimo (kN/m)	-	-	149.68	134.01	115.14
Spinta passiva mobilitata a valle (%)	85.00	85.00	-	-	65.00
Reazione Tiranti 1° ordine (kNm)	-	-	137.01	124.19	105.39

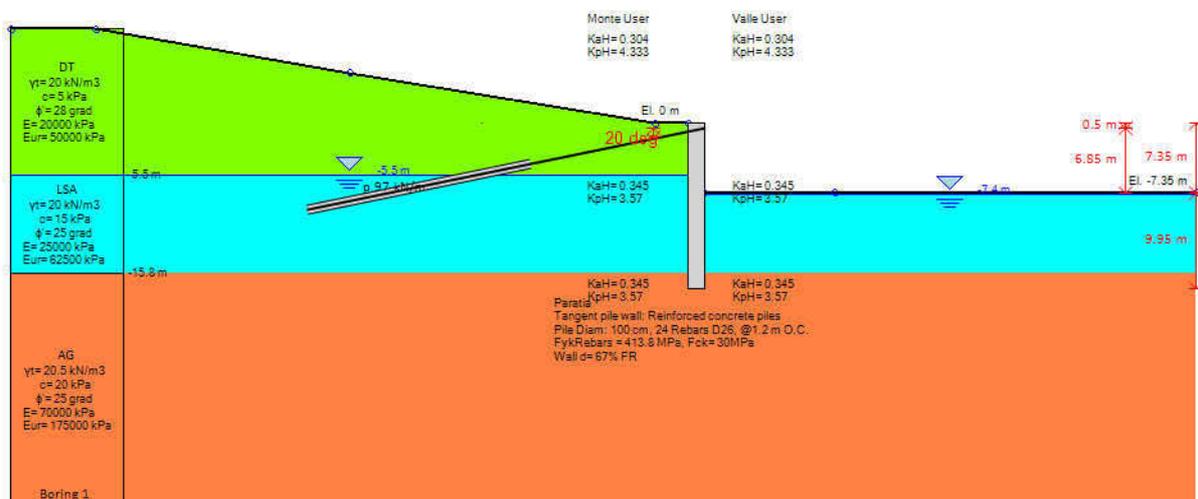


Figura 48 Modello di calcolo – step finale di calcolo

PARATIE DI PALI SX DAL KM 2+069.14 AL KM 2+308.44 – RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO

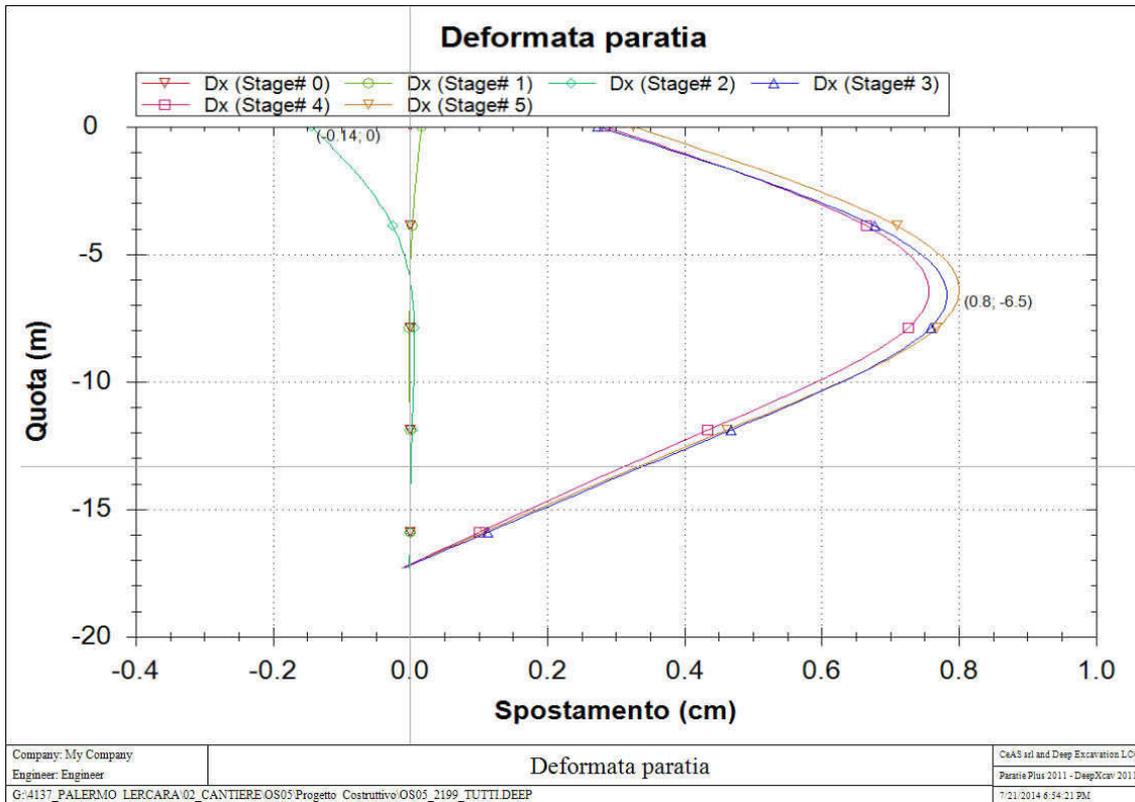


Figura 49 Spostamenti-profondità SLE

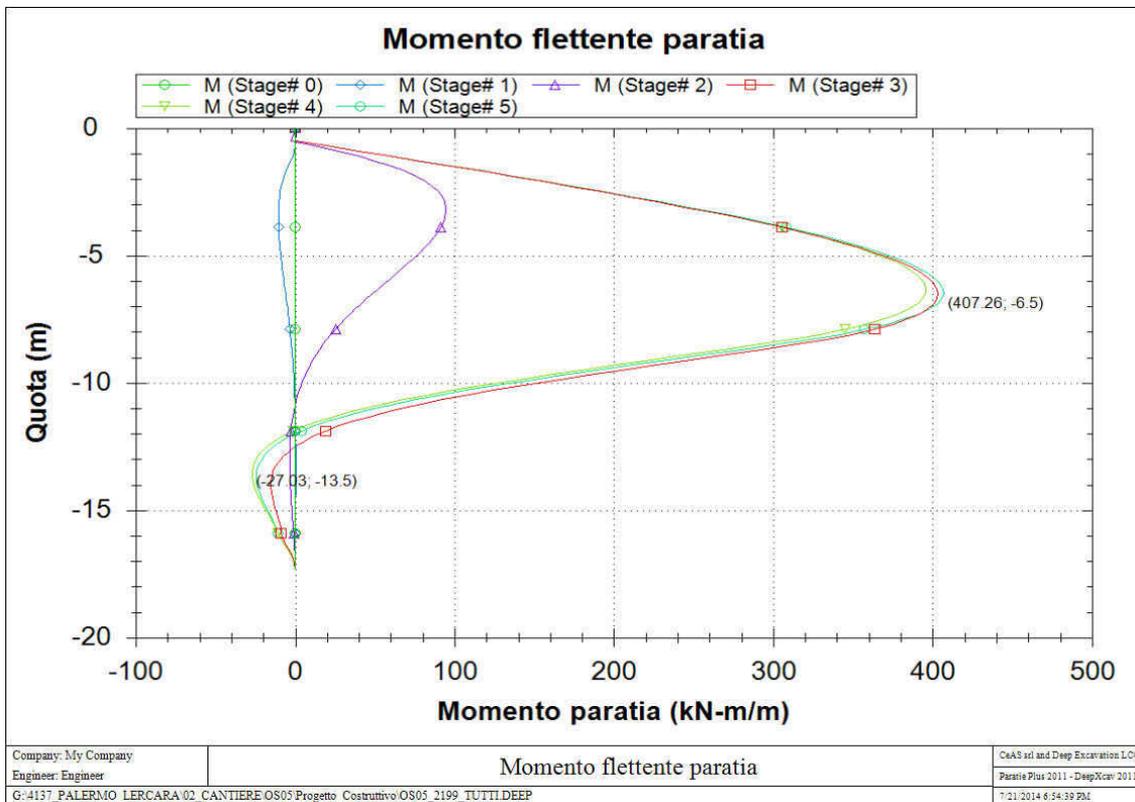


Figura 50 Momento-profondità SLE

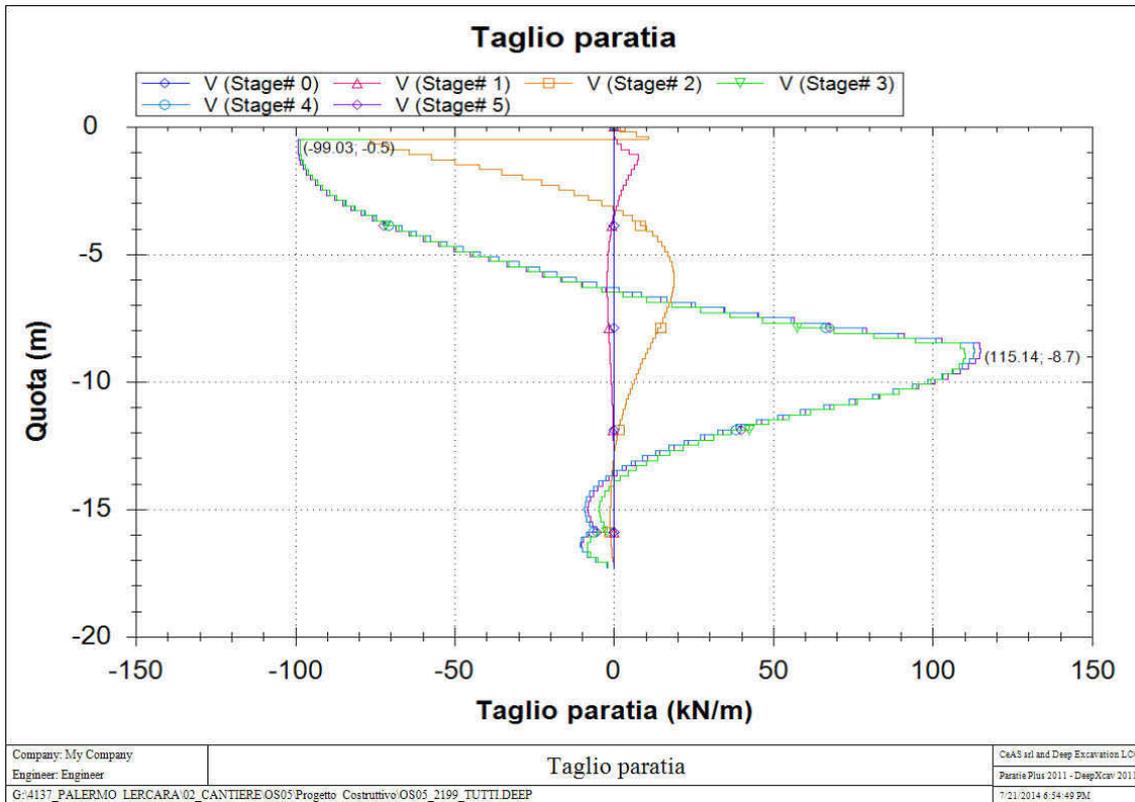


Figura 51 Taglio-profondità SLE

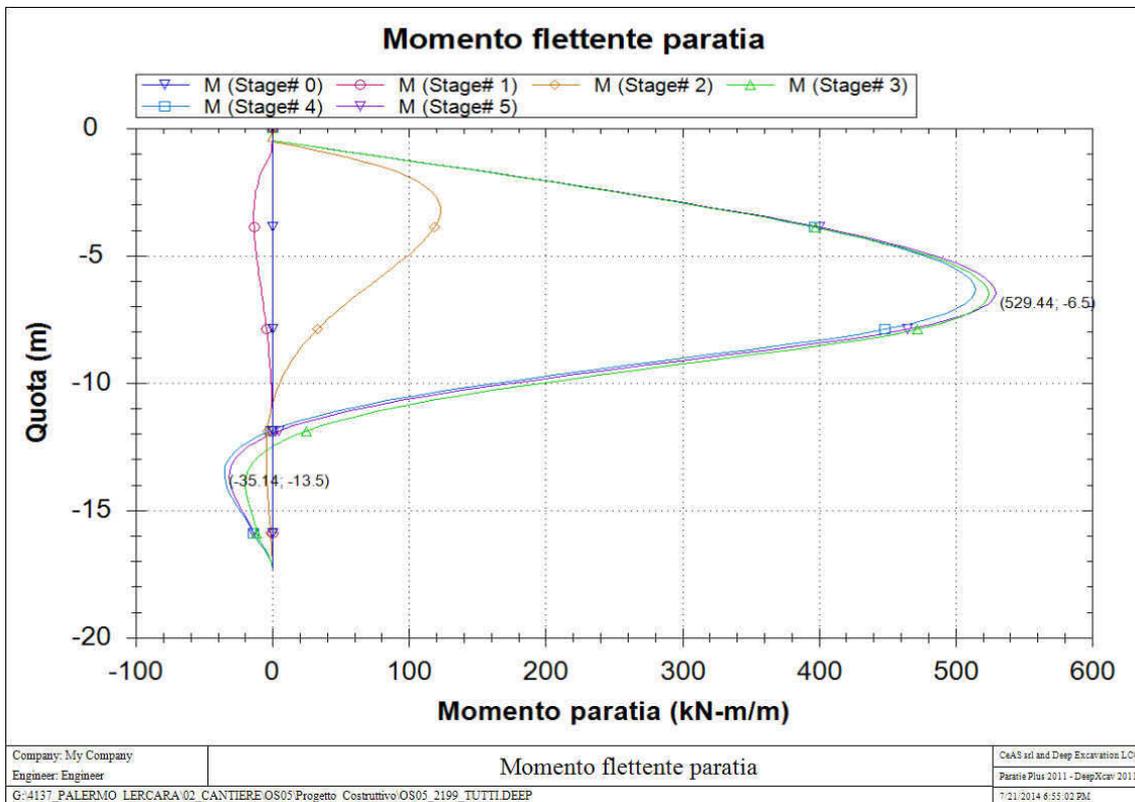


Figura 52 Momento-profondità SLU STR

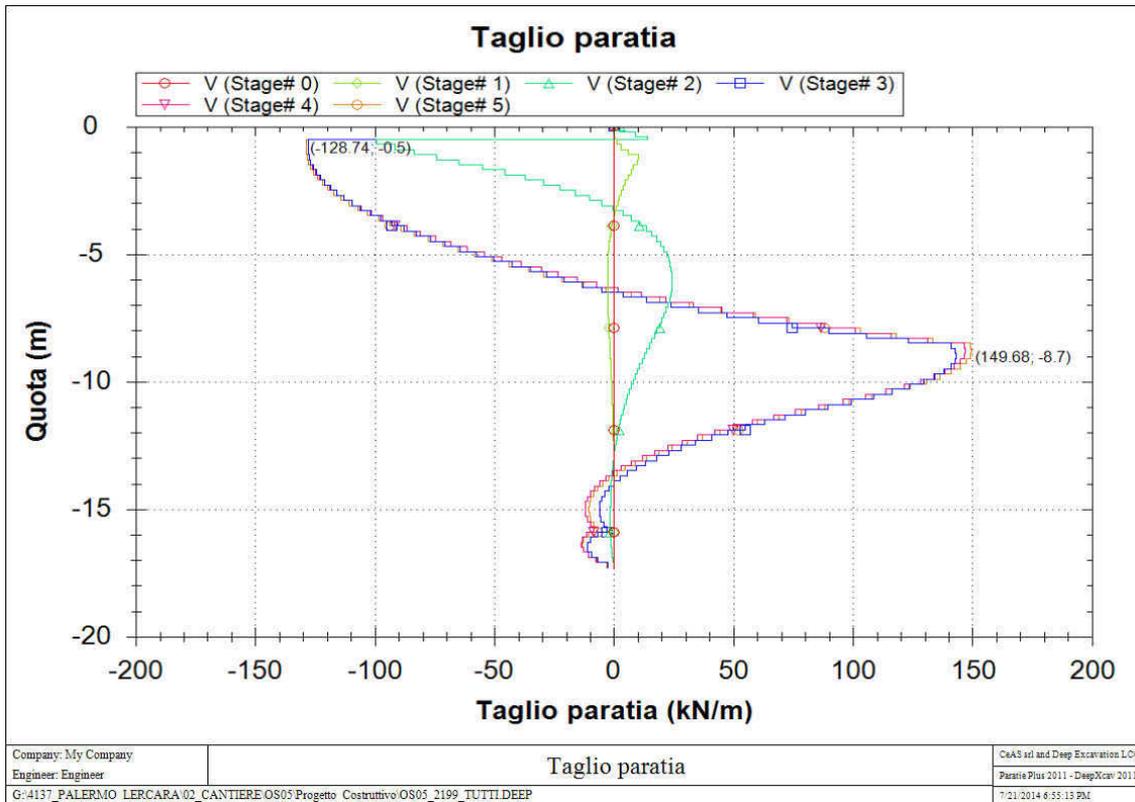


Figura 53 Taglio-profondità SLU STR

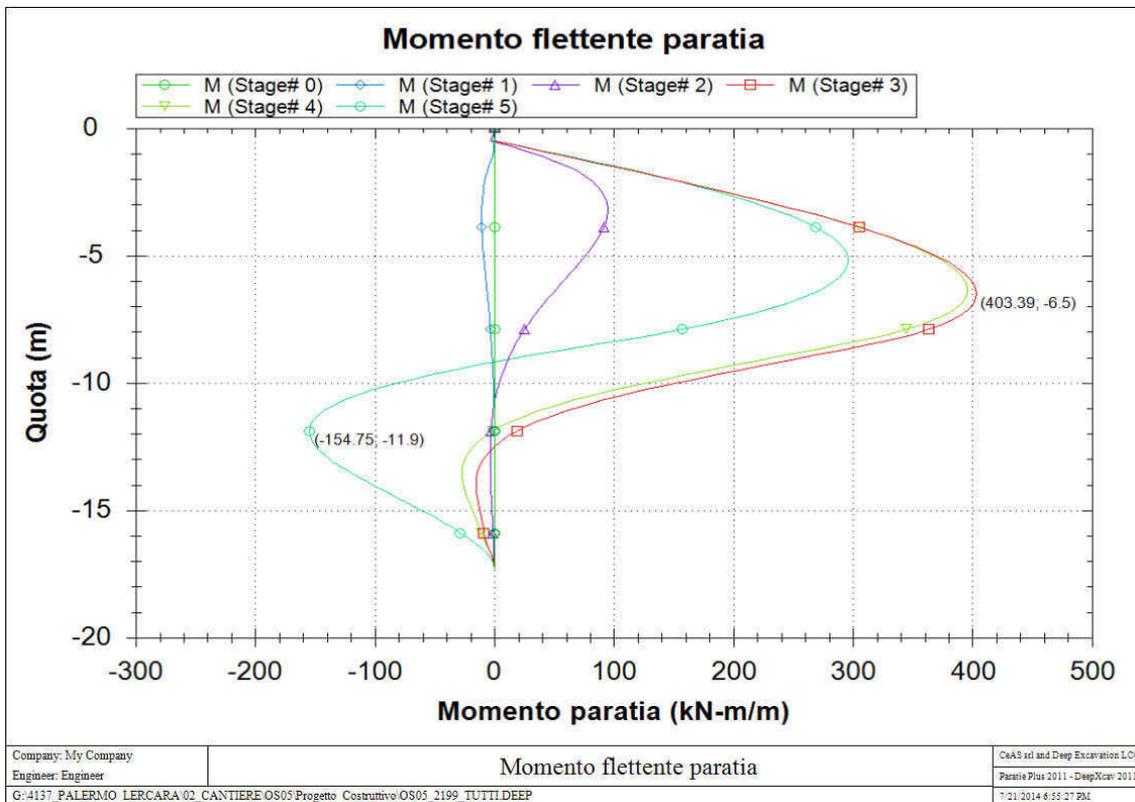


Figura 54 Momento-profondità SISMA STR

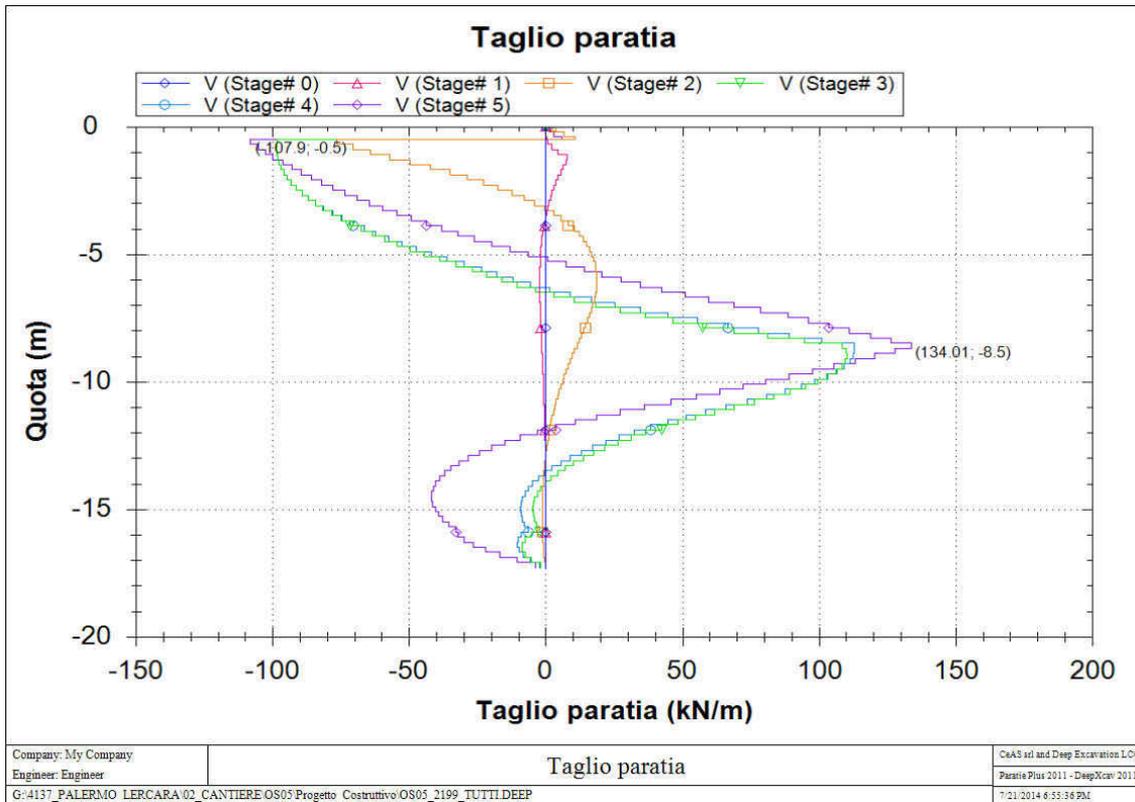


Figura 55 Taglio-profondità SISMA STR

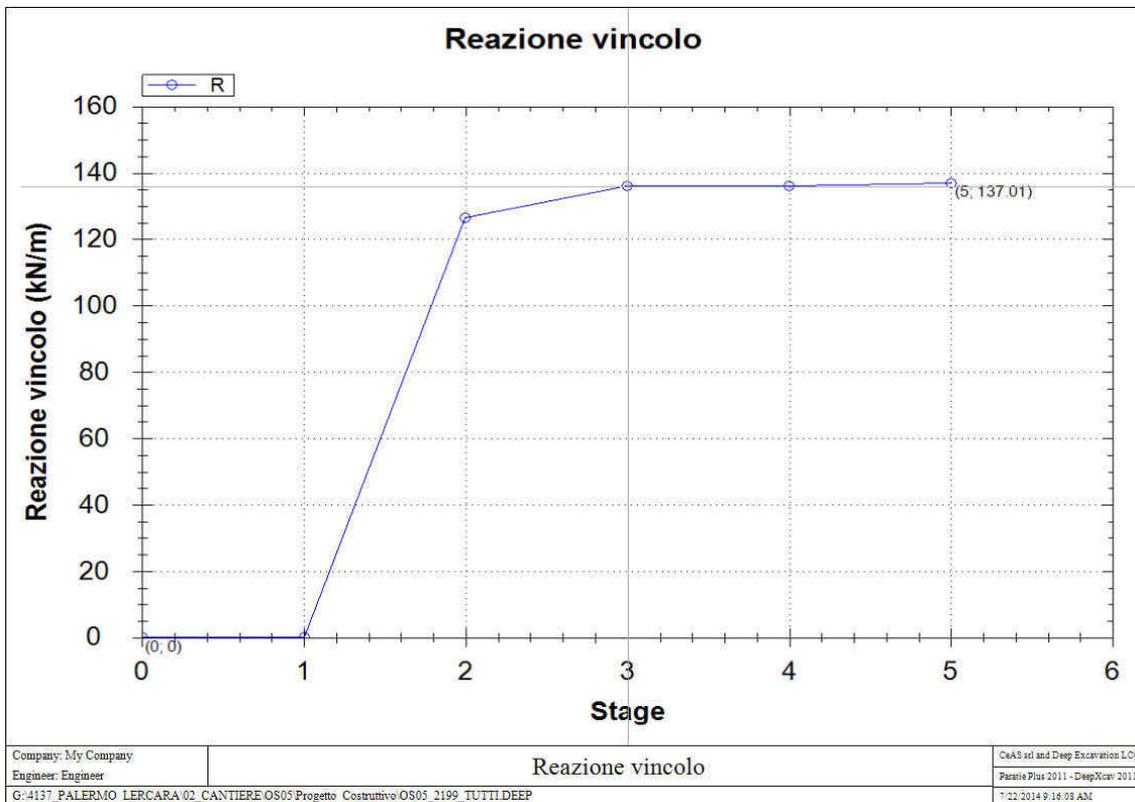


Figura 56 Tiri I ordine tiranti – SLU STR

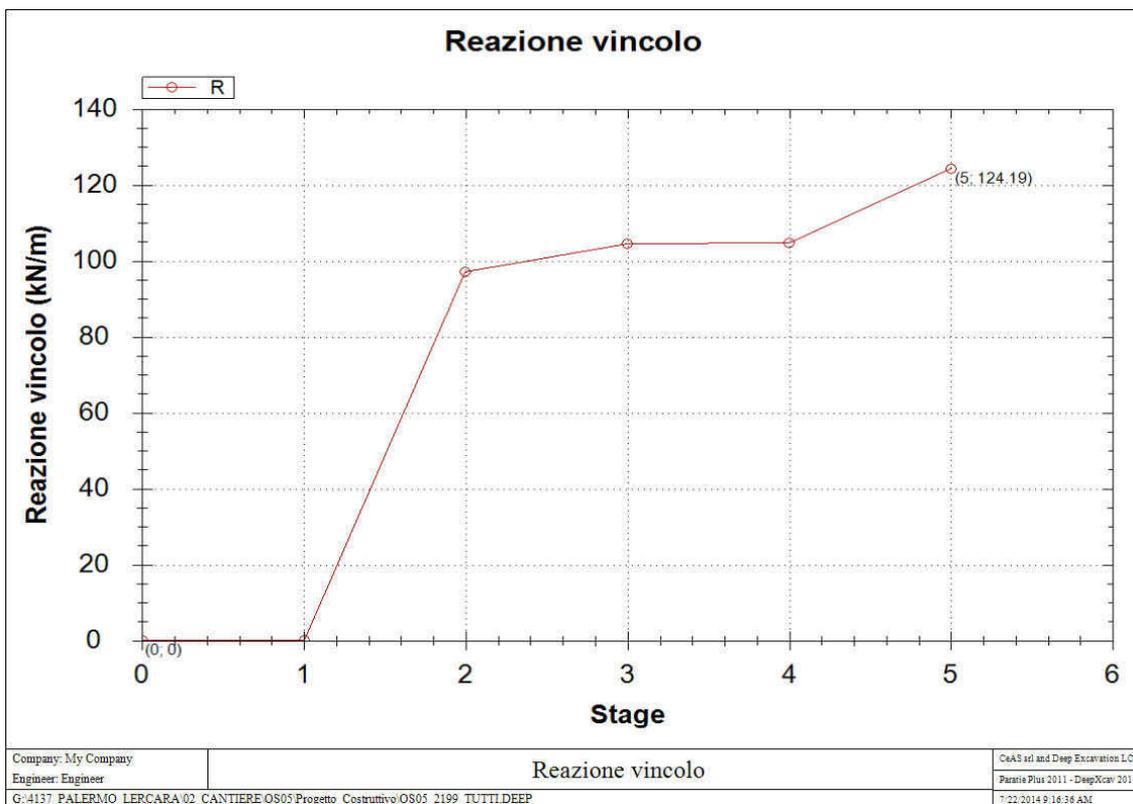


Figura 57 Tiri I ordine tiranti – SISMA STR

10.7.2 Verifiche geotecniche

10.7.2.1 Verifiche di stabilità globale del complesso opera di sostegno - terreno

Per le verifiche di stabilità globale sono stati utilizzati i medesimi parametri indicati nel paragrafo precedente.

Per le verifiche si è utilizzato il modulo VSP Plus della Ceas. I coefficienti di sicurezza ottenuti sono riportati nella tabella seguente.

Tipo di verifica	Fs
Statica	1.49 > 1.10
Sismica	1.11 > 1.10

PARATIE DI PALI SX DAL KM 2+069.14 AL KM 2+308.44 – RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO

Nelle figure seguenti è rappresentata la sezione presa in considerazione per le analisi con le superfici investigate ed evidenziata la superficie più critica. Il dettaglio dei dati di ingresso è riportato nel tabulato di calcolo in Appendice.

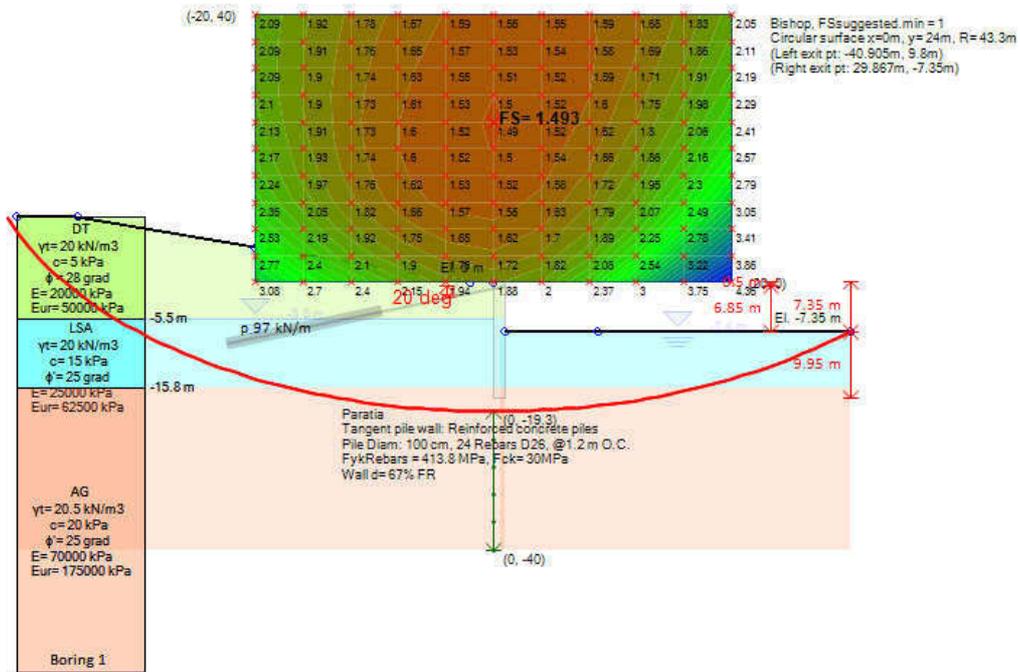


Figura 58 Verifica in condizione statica – superfici analizzate e superficie critica

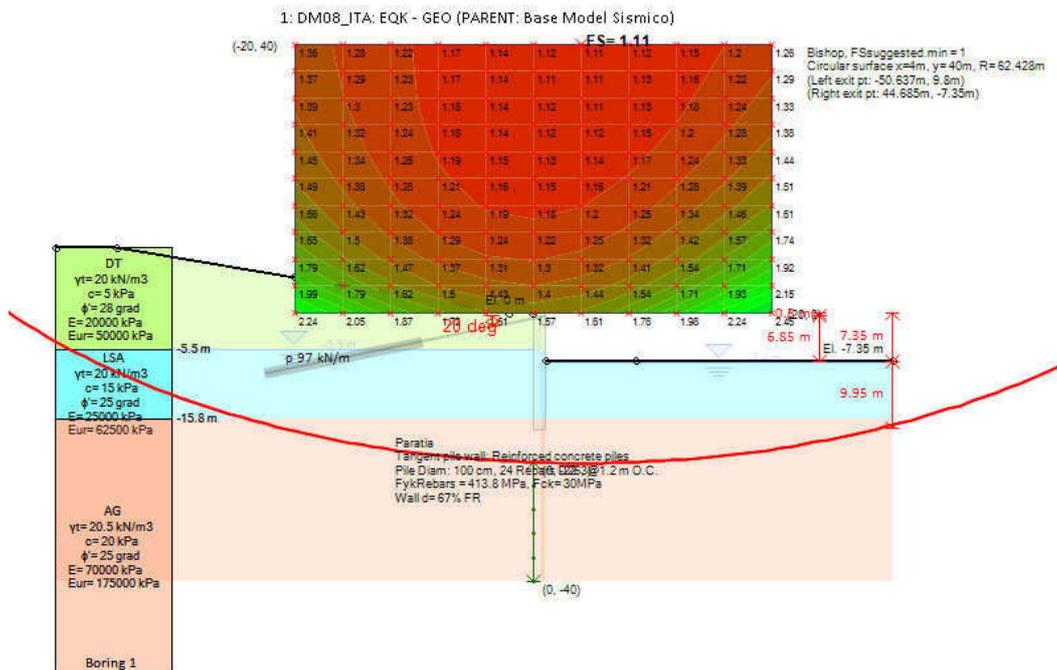


Figura 59 Verifica in condizione sismica – superfici analizzate e superficie critica

10.7.3 Verifiche strutturali

10.7.3.1 Verifiche SLU - Pali

Nelle verifiche si considerano le sollecitazioni massime sulla struttura secondo le varie analisi.

Le sollecitazioni sono state valutate per la sezione di riferimento della struttura sia in condizioni sismiche che in condizioni statiche. Nelle verifiche, a presso-flessione e taglio, si riporta di seguito il caso peggiore fra lo statico ed il sismico. Nella verifica a presso-flessione si è considerato il peso proprio del palo valutato alla corrispondente quota di verifica.

Verifica a Presso-flessione:

Combinazione STR Statico.

Gabbia di armatura	Quota da t.c. (m)	M (kNm/m)	M _{SLU} (kNm)	N _{SLU} (kN)	Armatura	c.s.
1 e 2	6.5	529.4	635.3	165.92	24φ26	2.87

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	7.1 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	8.3 cm
Copriferro netto minimo staffe:	6.3 cm

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [daN] nel baricentro sezione cls. (positivo se di compressione)
Mx	Momento flettente assegnato [daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My	Momento flettente assegnato [daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N ult	Sforzo normale ultimo [daN] baricentrico (positivo se di compress.)
Mx ult	Momento flettente ultimo [daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My ult	Momento flettente ultimo [daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
My ult	Momento flettente ultimo [daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mx ult	Momento flettente ultimo [daNm] intorno all'asse X di riferimento della sezione
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult, Mx ult, My ult) e (N, Mx, My) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
As Tesa	Area armature [cm ²] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	16592	63530	0	16582	182123	0	2.867	-----

Verifica al taglio:

Poiché la sezione di verifica è circolare i valori di b_w (larghezza dell'anima) e di d (altezza utile) saranno riferiti alle dimensioni di una sezione quadrata di lato di 707 mm inscritta in quella del palo. L'armatura al taglio sarà costituita da una spirale $\varnothing 12$ passo 20.

Gabbia di armatura, Combinazione STR:

$V_{sd,max}$ 179.62 kN

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - VERIFICHE A TAGLIO

Passo staffe: 24.9 cm [Passo massimo di normativa = 25.0 cm]

Ver S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
V_{sd} Taglio di progetto [daN] = proiez. di V_x e V_y sulla normale all'asse neutro
V_{cd} Taglio resistente ultimo [daN] lato conglomerato compresso
V_{wd} Taglio resistente [daN] assorbito dalle staffe
D_{med} Altezza utile media pesata [cm] valutata lungo strisce ortog. all'asse neutro. Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso. I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.
bw Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e D_{med}.
Teta Angolo [gradi sessadec.] di inclinazione dei puntoni di conglomerato
Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
Ast Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm²/m]
A.Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm²/m]
Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.
L'area della legatura è ridotta col fattore L/d_max con L=lungh.legat.proietta-
ta sulla direz. del taglio e d_max= massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°Comb	Ver	V _{sd}	V _{cd}	V _{wd}	D _{med}	bw	Teta	Acw	Ast	A.Eff
1	S	17962	180774	28730	79.2	85.5	21.80°	1.012	2.6	4.1(0.0)

10.7.3.2 Verifiche SLU – Tiranti

Nel seguito si riportano le verifiche di resistenza e del bulbo di ancoraggio.

Le verifiche sono soddisfatte essendo $P_d < R_{pd}$.

Combinazione	Ordine tiranti	Passo [m]	e_k [kN/m]	P_d [kN]	R_{pd} [kN]	Pre tiro [kN]
STR Statico	I	3.6	137.01	493.24	807	350
STR Sismico	I	3.6	124.19	447.08	807	350

Combinazione	Ordine tiranti	Passo [m]	e_k [kN/m]	P_d [kN]	τ_{lim} [kPa]	α [-]	l_b [m]	$\xi_{\alpha 3}$ [-]	γ_R [-]	R_{ad} [kN]
STR Statico	I	3.6	137.01	493.24	160	1.0	14	1.8	1.2	523
STR Sismico	I	3.6	124.19	447.08	160	1.0	14	1.8	1.2	523

In questo caso τ_{lim} e α sono stati valutati per la formazione LSA

Dove:

e_k = Tiro per metro di profondità derivante da Paratie

P_d = e_k moltiplicato per l'interasse orizzontale tra i tiranti

τ_{lim} = tensione di aderenza laterale limite fondazione-terreno, valutata tenendo conto dei vari tratti di bulbo di ancoraggio di lunghezza l_i in relazione alle formazioni attraversate caratterizzate dalla corrispondente tensione di aderenza limite τ_{limi} .

10.7.3.3 Verifiche SLU Trave di coronamento

La verifica della trave di coronamento è effettuata schematizzando la geometria del problema come una trave su più appoggi corrispondenti ai tiranti; le sollecitazioni flettenti e taglianti che agiscono sulla sezione rettangolare generate dai tiranti sono calcolate con le seguenti :

$$M = \frac{pl^2}{10} \quad (\text{kNm})$$

$$T = \frac{pl}{2} \quad (\text{kN})$$

Verifica a flessione:

Combinazione STR Statico:

$$M_{SLUd} = 166.8 \text{ kNm}$$

$$M_{SLU, R} = 795.15 \text{ kNm}$$

$$C.S. = 4.77$$

Verifica a taglio:

Combinazione STR Statico:

$$R_{SLUd} = 232.0 \text{ kN}$$

$$V R_d = (0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho \cdot 1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d > (v_{\min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

coefficiente	k	1.462	
rapporto geometrico d'armatura	ρ_1	0.002	< 0.02
azione assiale (> 0 se di compressione)	Np	0	[kN]
area calcestruzzo	Ac	12207	[cm ²]
tensione agente nel cls dovuta a precompressione	σ_{cp}	0.000	[N/mm ²]
	v min	0.309	[N/mm ²]
$(0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho \cdot 1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$	V Rd	357.8	[kN]
$(v_{\min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$	V' Rd	377.4	[kN]

10.7.3.4 Verifiche SLE – Pali

Nella verifica a presso-flessione si è considerato il peso proprio del palo valutato alla corrispondente quota di verifica.

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

Ver	S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
Sc max	Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [daN/cm ²]
Xc max, Yc max	Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [daN/cm ²]
Xs min, Ys min	Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Ac eff.	Area di calcestruzzo [cm ²] in zona tesa considerata aderente alle barre
As eff.	Area barre [cm ²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure
D barre	Distanza tra le barre tese [cm] ai fini del calcolo dell'apertura fessure
Beta12	Prodotto dei coeff. di aderenza delle barre Beta1*Beta2

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	58.7	0.0	0.0	-1414	0.0	-41.6	1667	37.2	10.9	1.00

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	58.7	0.0	0.0	-1414	0.0	-41.6	1667	37.2	10.9	0.50

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§B.6.6 DM96]

Ver.	La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a fctm
S1	Esito della verifica
S2	Massima tensione [daN/cm ²] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione non fessurata
k2	Minima tensione [daN/cm ²] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione fessurata
k3	= 0.4 per barre ad aderenza migliorata
Ø	= 0.125 per flessione e presso-flessione; = (e1 + e2)/(2*e1) per trazione eccentrica
Cf	Diametro [mm] medio delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff
Psi	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
e sm	= 1 - Beta12*(Ssr/Ss) ² = 1 - Beta12*(fctm/S2) ² = 1 - Beta12*(Mfess/M) ² [B.6.6 DM96]
srm	Deformazione unitaria media tra le fessure [4.3.1.7.1.3 DM96]. Il valore limite = 0.4*Ss/Es è tra parentesi
wk	Distanza media tra le fessure [mm]
MX fess.	Valore caratteristico [mm] dell'apertura fessure = 1.7 * e sm * srm . Valore limite tra parentesi
MY fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [daNm]
	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [daNm]

Comb.	Ver	S1	S2	k3	Ø	Cf	Psi	e sm	srm	wk	Mx fess	My fess
-------	-----	----	----	----	---	----	-----	------	-----	----	---------	---------

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

PARATIE DI PALI SX DAL KM 2+069.14 AL KM 2+308.44 – RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO

1	S	-35.9	0	0.125	26	69.0	0.675	0.00048 (0.00028)	218	0.177 (0.30)	39393	0
---	---	-------	---	-------	----	------	-------	-------------------	-----	--------------	-------	---

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	58.7	0.0	0.0	-1414	0.0	-41.6	1667	37.2	10.9	0.50

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§B.6.6 DM96]

Comb.	Ver	S1	S2	k3	Ø	Cf	Psi	e sm	srm	wk	Mx fess	My fess
1	S	-35.9	0	0.125	26	69.0	0.675	0.00048 (0.00028)	218	0.177 (0.20)	39393	0

10.8 Sezione di verifica 109 – Progr. 2+159.866

10.8.1 Sintesi dei risultati

Nelle tabelle seguenti vengono riportati i risultati delle analisi eseguite con riferimento alle combinazioni di carico precedentemente definite.

Si noti che il metodo di calcolo per l'analisi delle paratie, come già detto, segue il processo dalla costruzione, dalla realizzazione della paratia stessa agli scavi parziali, la messa in tensione dei tiranti fino allo scavo finale. Nelle verifiche in condizioni sismiche l'azione sismica viene applicata solo nella fase finale, cioè in condizioni di esercizio, anche se l'analisi, per le modalità con cui viene svolta, percorre anche in questo tipo di verifica tutte le fasi provvisionali precedenti.

I principali risultati ottenuti per le combinazioni di carichi sopra indicate.

	SLU GEO		SLU STR		SLE
	Statico	Sismico	Statico	Sismico	
Spostamento massimo (cm)	-	-	-	-	1.69
Momento massimo (kNm/m)	-	-	797.15	588.33	613.19
Taglio massimo (kN/m)	-	-	259.43	187.55	199.56
Spinta passiva mobilitata a valle (%)	77.00	77.00	-	-	58.00
Reazione Tiranti 1° ordine (kN/m)	-	-	138.84	144.04	106.08
Reazione Tiranti 2° ordine (kN/m)	-	-	265.68	231.11	204.37

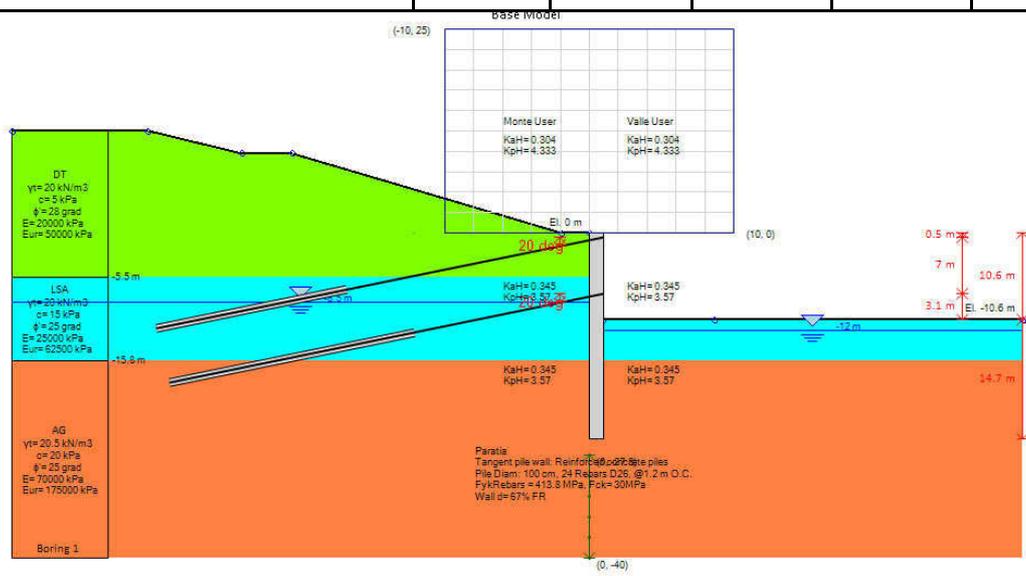


Figura 60 Modello di calcolo – step finale di calcolo

PARATIE DI PALI SX DAL KM 2+069.14 AL KM 2+308.44 – RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO

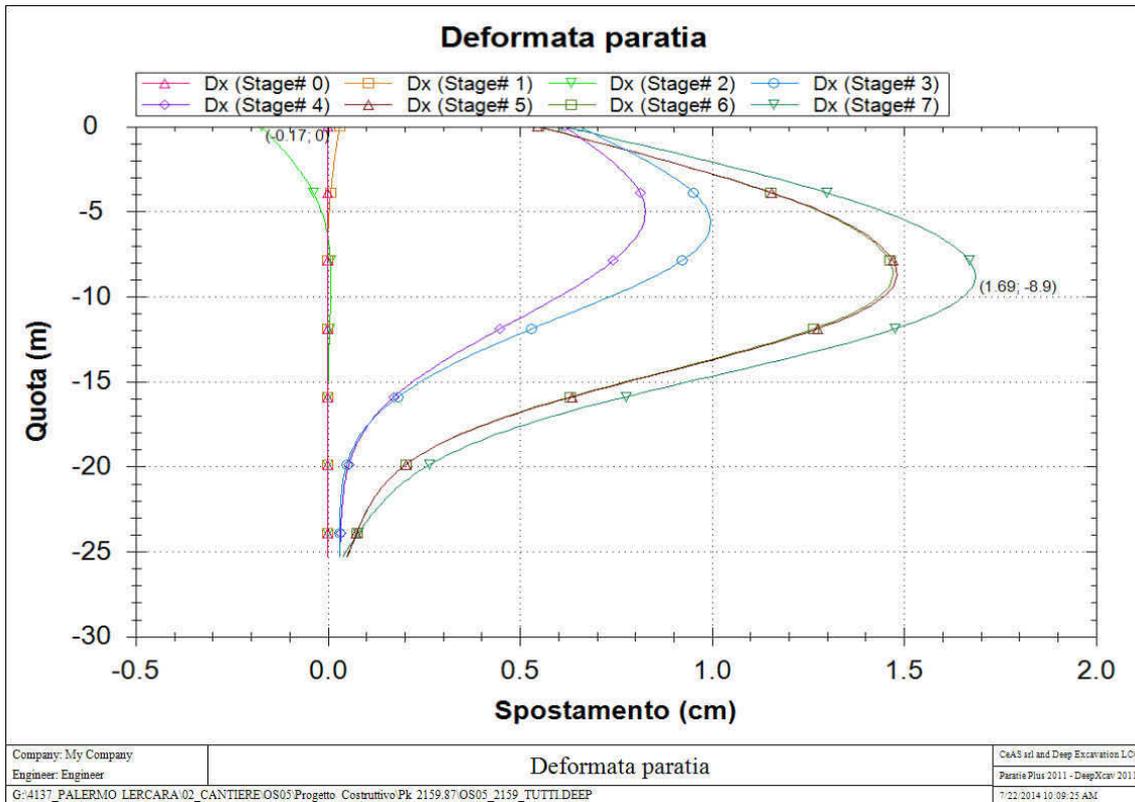


Figura 61 Spostamenti-profondità SLE

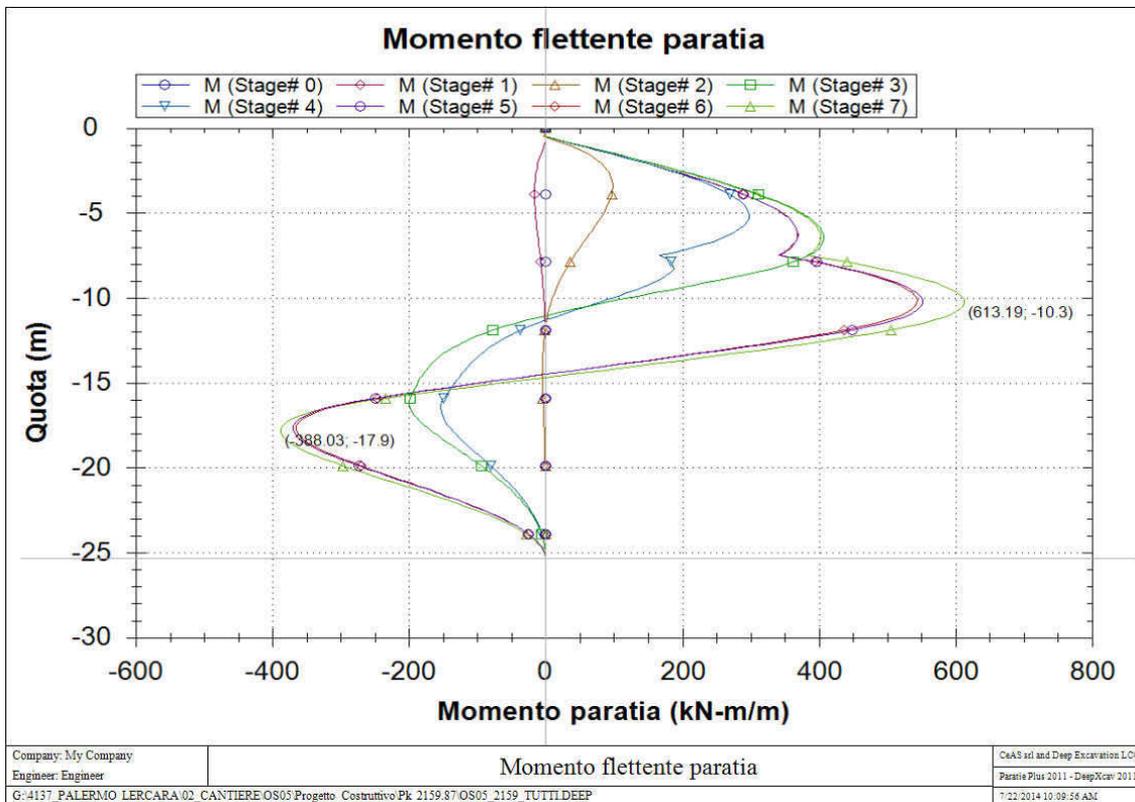


Figura 62 Momento-profondità SLE

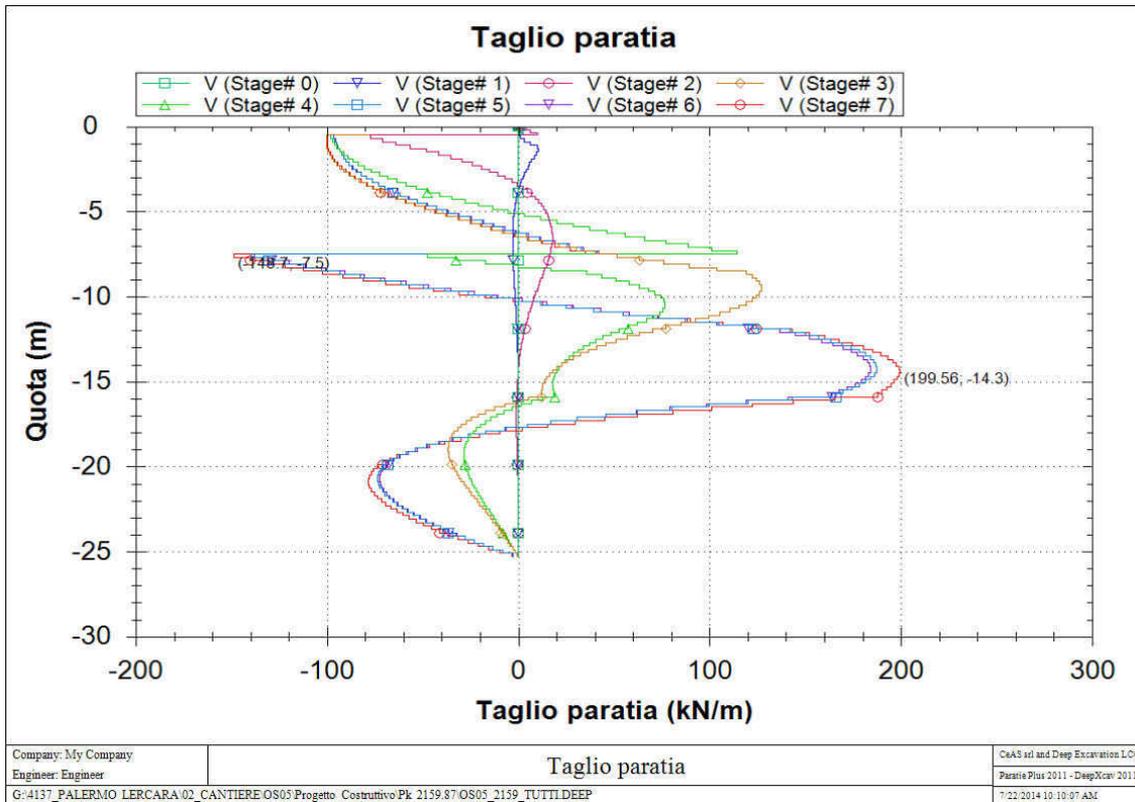


Figura 63 Taglio - profondità SLE

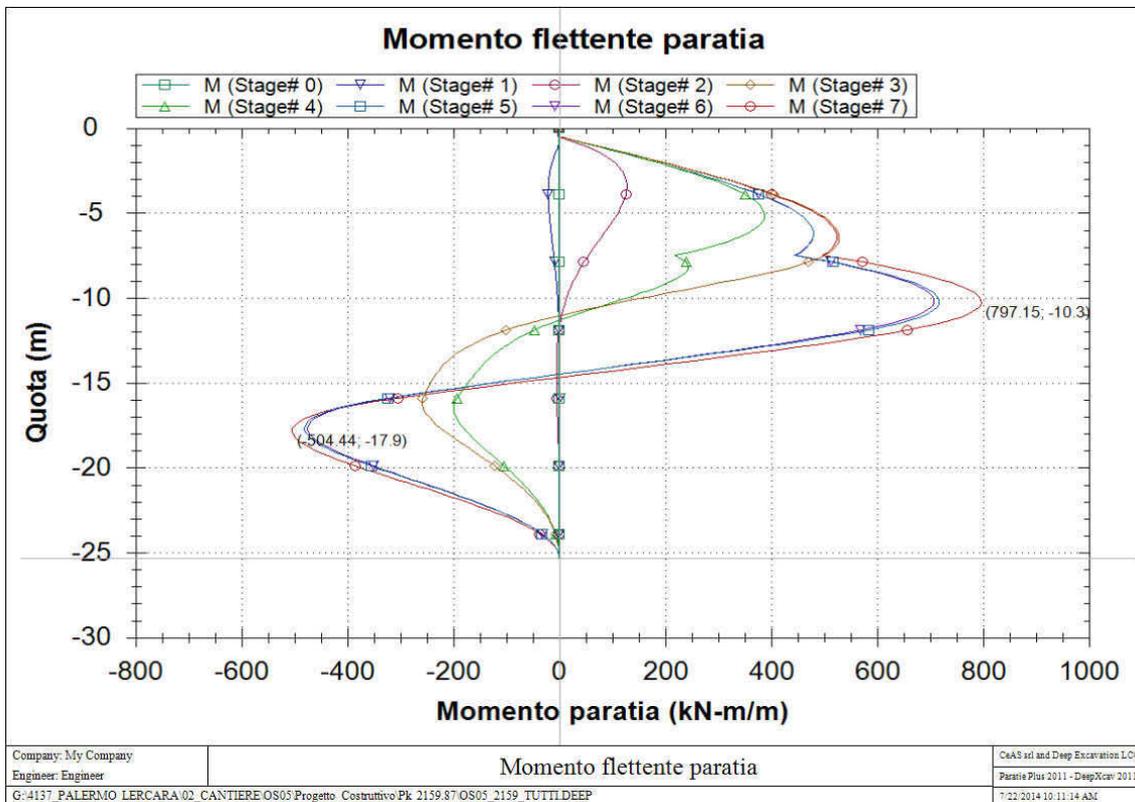


Figura 64 Momento - profondità SLU STR

PARATIE DI PALI SX DAL KM 2+069.14 AL KM 2+308.44 – RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO

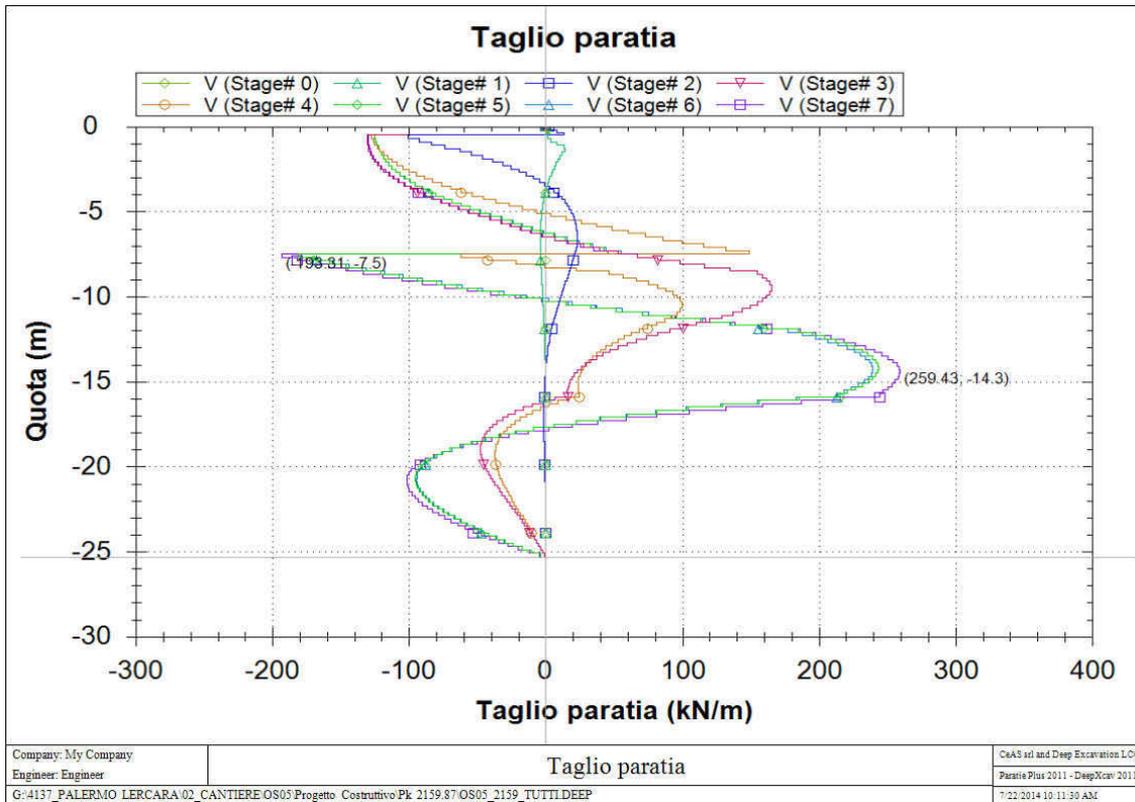


Figura 65 Taglio - profondità SLU STR

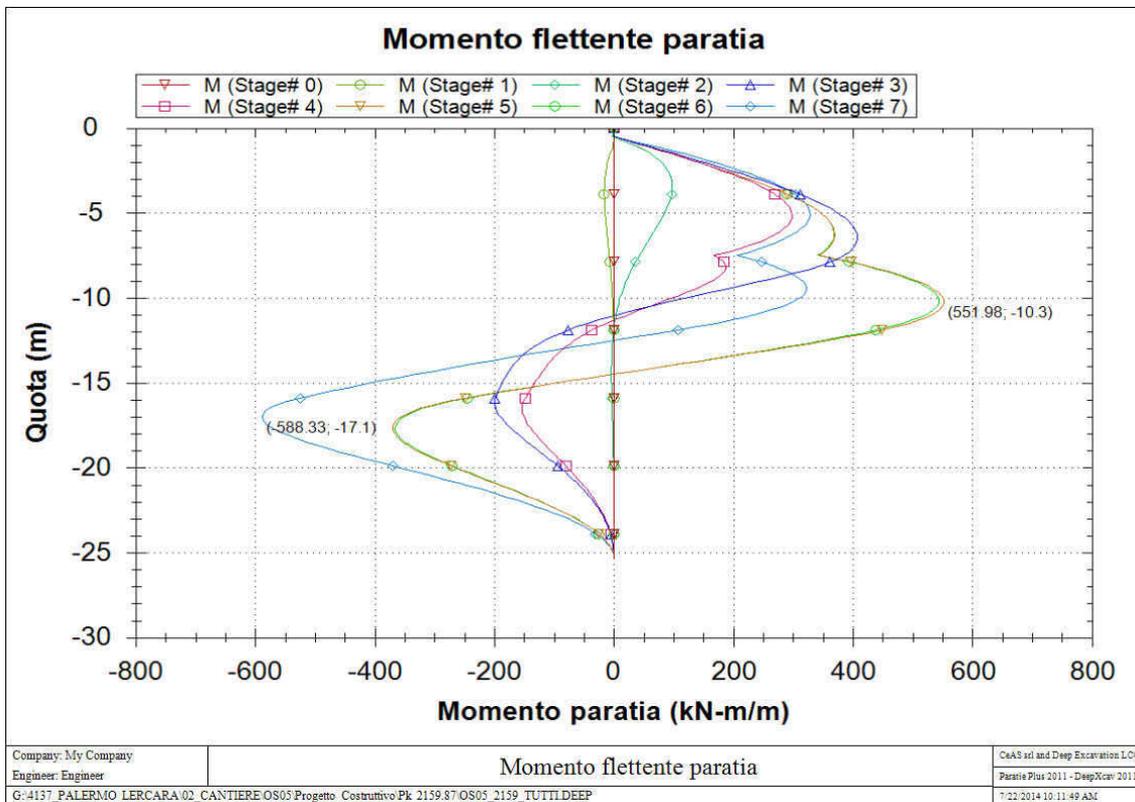


Figura 66 Momento-profondità SISMA STR

PARATIE DI PALI SX DAL KM 2+069.14 AL KM 2+308.44 – RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO

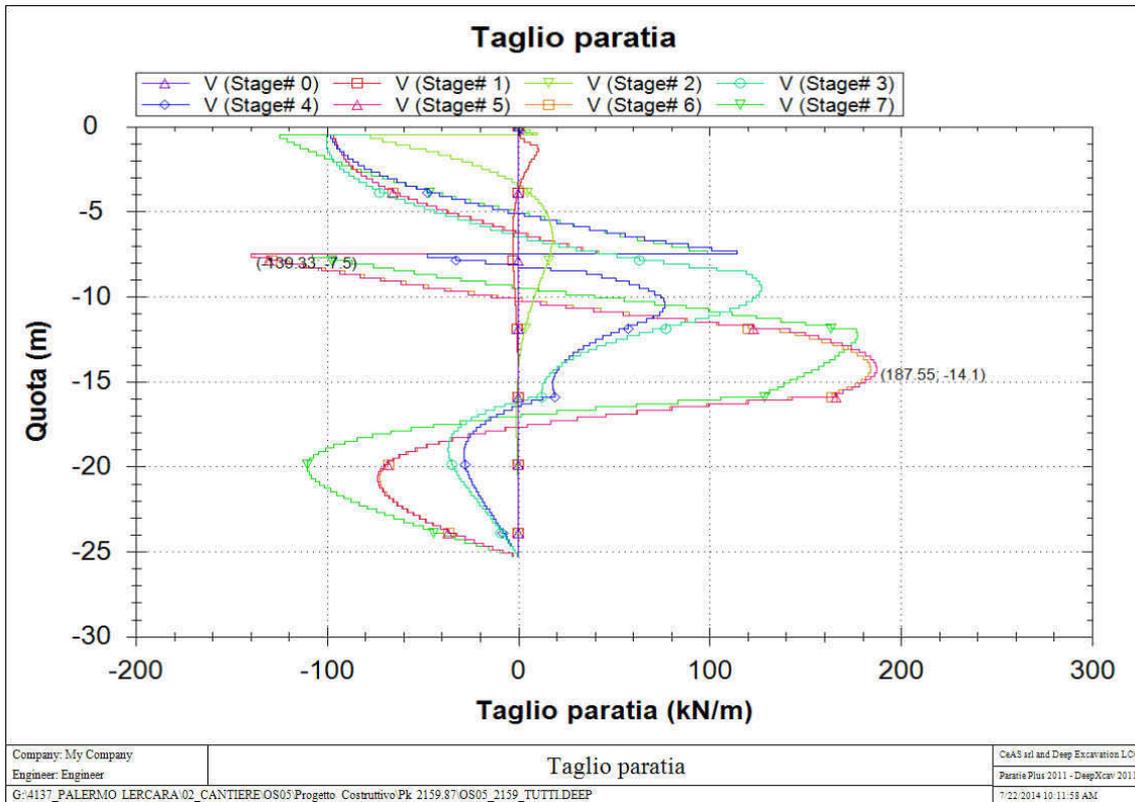


Figura 67 Taglio - profondità SISMA STR

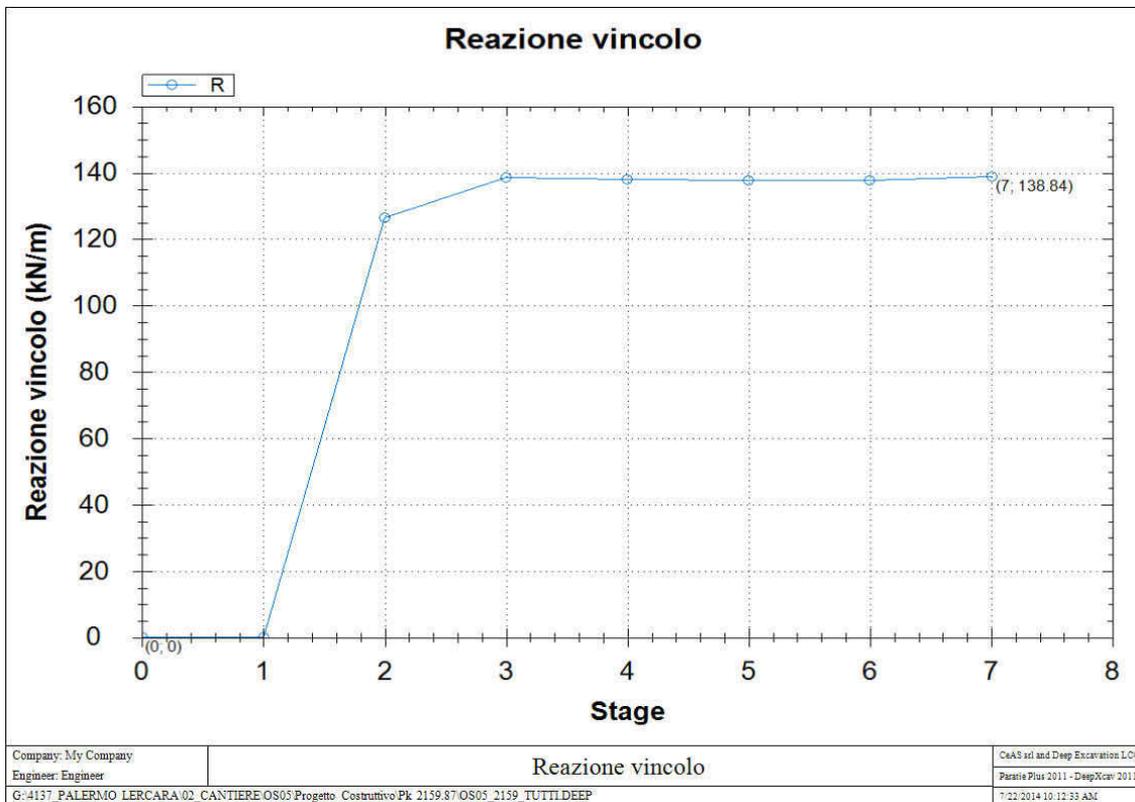


Figura 68 Reazione 1° ordine tiranti – SLU STR

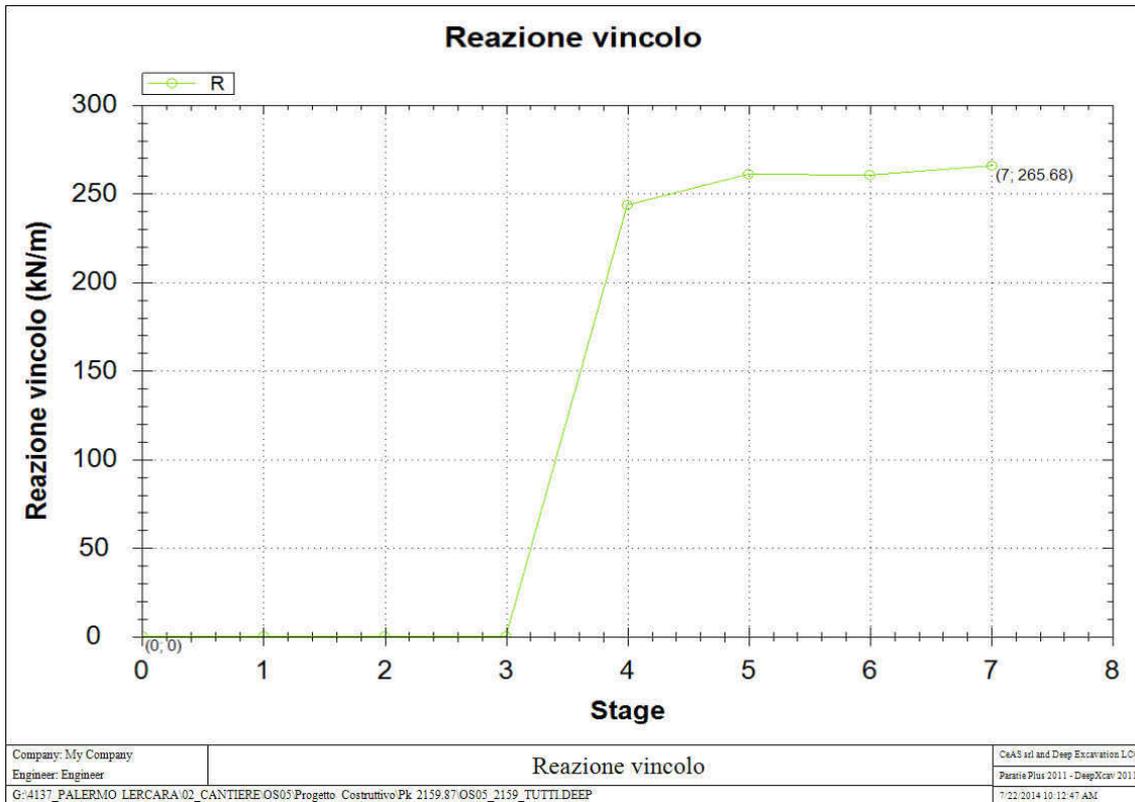


Figura 69 Reazione 1° ordine tiranti –SISMA STR

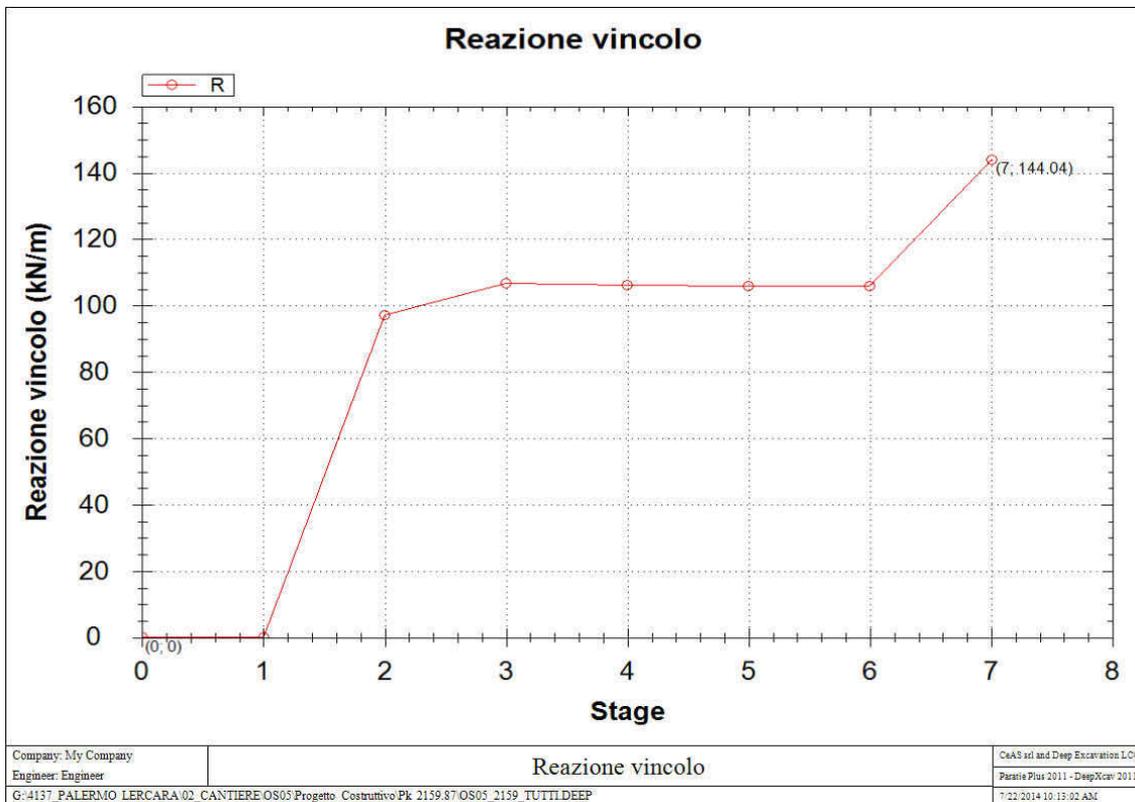


Figura 70 Reazione 2° ordine tiranti – SLU STR

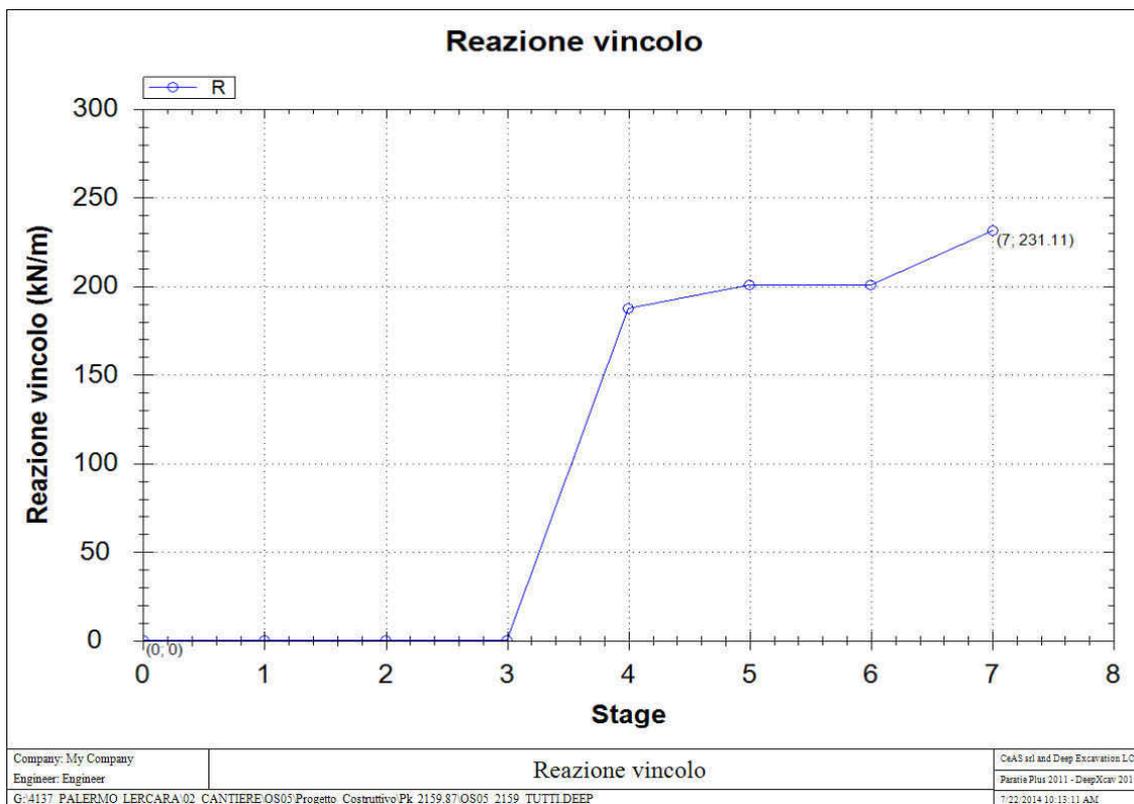


Figura 71 Reazione 2°ordine tiranti –SISMA STR

10.8.2 Verifiche geotecniche

10.8.2.1 Verifiche di stabilità globale del complesso opera di sostegno - terreno

Per le verifiche di stabilità globale sono stati utilizzati i medesimi parametri indicati nel paragrafo precedente.

Per le verifiche si è utilizzato il modulo VSP Plus della Ceas. I coefficienti di sicurezza ottenuti sono riportati nella tabella seguente.

Tipo di verifica	Fs
Statica	1.48 > 1.10
Sismica	1.10 > 1.10

Nelle figure seguenti è rappresentata la sezione presa in considerazione per le analisi con le superfici investigate ed evidenziata la superficie più critica. Il dettaglio dei dati di ingresso è riportato nel tabulato di calcolo in Appendice.

PARATIE DI PALI SX DAL KM 2+069.14 AL KM 2+308.44 – RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO

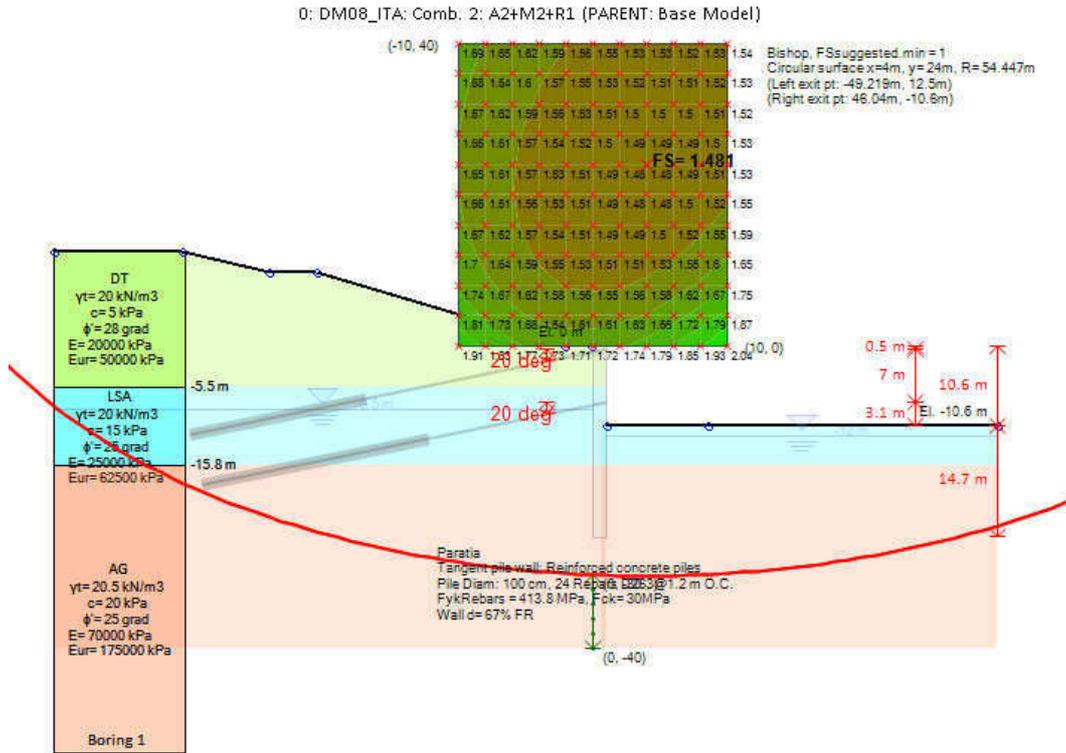


Figura 72 Verifica in condizione statica – superfici analizzate e superficie critica

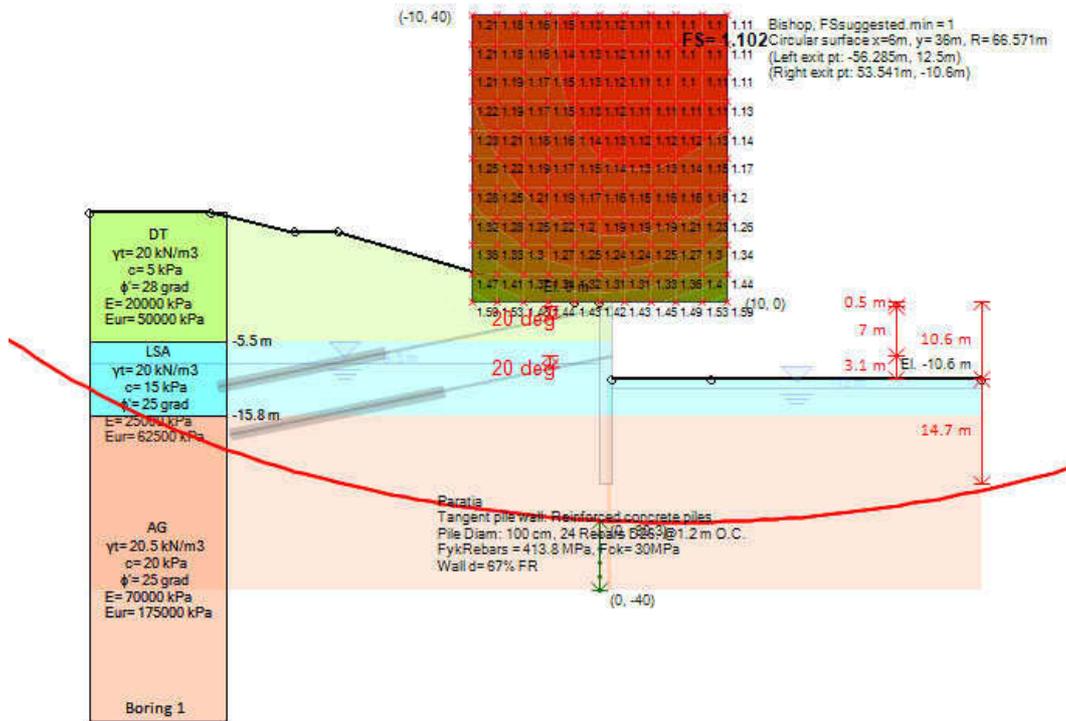


Figura 73 Verifica in condizione sismica – superfici analizzate e superficie critica

10.8.3 Verifiche strutturali

10.8.3.1 Verifiche SLU - Pali

Nelle verifiche si considerano le sollecitazioni massime sulla struttura secondo le varie analisi.

Le sollecitazioni sono state valutate per la sezione di riferimento della struttura sia in condizioni sismiche che in condizioni statiche. Nelle verifiche, a presso-flessione e taglio, si riporta di seguito il caso peggiore fra lo statico ed il sismico. Nella verifica a presso-flessione si è considerato il peso proprio del palo valutato alla corrispondente quota di verifica.

Verifica a Presso-flessione:

Combinazione STR Statico.

Gabbia di armatura	Quota da t.c. (m)	M (kNm/m)	M _{SLU} (kNm)	N _{SLU} (kN)	Armatura	c.s.
1	4.0	400.0	480.0	102.1	24φ20	2.40
2	10.3	797.2	956.6	263.0	32φ28	2.77
3	17.3	588.3	706.0	436.5	24φ20	1.78

1° Gabbia

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	7.4	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	8.9	cm
Copriferro netto minimo staffe:	6.6	cm

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [daN] nel baricentro sezione cls. (positivo se di compressione)
Mx	Momento flettente assegnato [daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My	Momento flettente assegnato [daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N ult	Sforzo normale ultimo [daN] baricentrico (positivo se di compress.)
Mx ult	Momento flettente ultimo [daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My ult	Momento flettente ultimo [daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
My ult	Momento flettente ultimo [daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mx ult	Momento flettente ultimo [daNm] intorno all'asse X di riferimento della sezione
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult, Mx ult, My ult) e (N, Mx, My) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
As Tesa	Area armature [cm ²] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	10210	48000	0	10222	115391	0	2.404	-----

2° Gabbia

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	7.0	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	5.4	cm
Copriferro netto minimo staffe:	5.8	cm

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [daN] nel baricentro sezione cls. (positivo se di compressione)
Mx	Momento flettente assegnato [daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My	Momento flettente assegnato [daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N ult	Sforzo normale ultimo [daN] baricentrico (positivo se di compress.)
Mx ult	Momento flettente ultimo [daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My ult	Momento flettente ultimo [daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
My ult	Momento flettente ultimo [daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mx ult	Momento flettente ultimo [daNm] intorno all'asse X di riferimento della sezione
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult,My ult) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
As Tesa	Area armature [cm ²] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	26300	95658	0	26303	265244	0	2.773	-----

3° Gabbia

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	7.4	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	8.9	cm
Copriferro netto minimo staffe:	6.2	cm

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [daN] nel baricentro sezione cls. (positivo se di compressione)
Mx	Momento flettente assegnato [daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My	Momento flettente assegnato [daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N ult	Sforzo normale ultimo [daN] baricentrico (positivo se di compress.)
Mx ult	Momento flettente ultimo [daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My ult	Momento flettente ultimo [daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
My ult	Momento flettente ultimo [daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mx ult	Momento flettente ultimo [daNm] intorno all'asse X di riferimento della sezione
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult,My ult) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
As Tesa	Area armature [cm ²] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	43648	70600	0	43625	125375	0	1.776	-----

Verifica al taglio:

Poiché la sezione di verifica è circolare i valori di b_w (larghezza dell'anima) e di d (altezza utile) saranno riferiti alle dimensioni di una sezione quadrata di lato di 707 mm inscritta in quella del palo. L'armatura al taglio sarà costituita da una spirale $\varnothing 12$ passo 15 da testa palo fino a 15 m da testa palo; sarà costituita da una spirale $\varnothing 12$ passo 20 da quota $z = -15$ m da testa palo per la lunghezza di palo restante.

1° Gabbia

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - VERIFICHE A TAGLIO

Passo staffe: 20.0 cm [Passo massimo di normativa = 24.0 cm]

Ver	S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
Vsdu	Taglio di progetto [daN] = proiez. di V_x e V_y sulla normale all'asse neutro
Vcd	Taglio resistente ultimo [daN] lato conglomerato compresso
Vwd	Taglio resistente [daN] assorbito dalle staffe
Dmed	Altezza utile media pesata [cm] valutata lungo strisce ortog. all'asse neutro. Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso. I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.
b_w	Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.
Teta	Angolo [gradi sessadec.] di inclinazione dei puntoni di conglomerato
Acw	Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
Ast	Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm ² /m]
A.Eff	Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm ² /m] Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature. L'area della legatura è ridotta col fattore L/d_{max} con $L = \text{lungh.legat.proietta}$ sulla direz. del taglio e $d_{max} = \text{massima altezza utile nella direz.del taglio}$.

N°Comb	Ver	Vsdu	Vcd	Vwd	Dmed	b_w	Teta	Acw	Ast	A.Eff
1	S	87	172627	81937	80.7	80.4	21.80°	1.008	0.0	11.5(0.0)

2° Gabbia

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - VERIFICHE A TAGLIO

Passo staffe: 20.0 cm [Passo massimo di normativa = 25.0 cm]

Ver	S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
Vsdu	Taglio di progetto [daN] = proiez. di V_x e V_y sulla normale all'asse neutro
Vcd	Taglio resistente ultimo [daN] lato conglomerato compresso
Vwd	Taglio resistente [daN] assorbito dalle staffe
Dmed	Altezza utile media pesata [cm] valutata lungo strisce ortog. all'asse neutro. Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso. I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.
b_w	Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.
Teta	Angolo [gradi sessadec.] di inclinazione dei puntoni di conglomerato
Acw	Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
Ast	Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm ² /m]
A.Eff	Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm ² /m] Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature. L'area della legatura è ridotta col fattore L/d_{max} con $L = \text{lungh.legat.proietta}$ sulla direz. del taglio e $d_{max} = \text{massima altezza utile nella direz.del taglio}$.

N°Comb	Ver	Vsdu	Vcd	Vwd	Dmed	b_w	Teta	Acw	Ast	A.Eff
1	S	31200	186093	79746	78.2	88.5	21.80°	1.020	4.5	11.6(0.0)

3° Gabbia

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - VERIFICHE A TAGLIO

Passo staffe: 20.0 cm [Passo massimo di normativa = 24.0 cm]

Ver S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
 Vsdu Taglio di progetto [daN] = proiez. di Vx e Vy sulla normale all'asse neutro
 Vcd Taglio resistente ultimo [daN] lato conglomerato compresso
 Vwd Taglio resistente [daN] assorbito dalle staffe
 Dmed Altezza utile media pesata [cm] valutata lungo strisce ortog. all'asse neutro. Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso. I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.
 bw Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.
 Teta Angolo [gradi sessadec.] di inclinazione dei puntoni di conglomerato
 Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
 Ast Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm²/m]
 A.Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm²/m]
 Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.
 L'area della legatura è ridotta col fattore L/d_max con L=lungh.legat.proietta-
 ta sulla direz. del taglio e d_max= massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°Comb	Ver	Vsdu	Vcd	Vwd	Dmed	bw	Teta	Acw	Ast	A.Eff
1	S	13210	179571	81420	80.2	82.2	21.80°	1.033	1.9	11.5(0.0)

10.8.3.2 Verifiche SLU – Tiranti

Nel seguito si riportano le verifiche di resistenza e del bulbo di ancoraggio.

Le verifiche sono soddisfatte essendo $P_d < R_{pd}$.

Combinazione	Ordine tiranti	Passo [m]	e_k [kN/m]	P_d [kN]	R_{pd} [kN]	Pretiro [kN]
STR Statico	I	3.6	138.8	500.0	807	350
STR Statico	II	2.4	265.7	637.7	807	450
STR Sismico	I	3.6	144.0	518.4	807	350
STR Sismico	II	2.4	231.1	554.6	807	450

Combinazione	Ordine tiranti	Passo [m]	e_k [kN/m]	P_d [kN]	τ_{lim} [kPa]	α [-]	l_b [m]	$\xi_{\alpha 3}$ [-]	γ_R [-]	R_{ad} [kN]
STR Statico	I	3.6	138.8	500.0	160	1.0	14	1.8	1.2	523
	II	2.4	265.7	637.7	160	1.0	18	1.8	1.2	672
STR Sismico	I	3.6	144.0	518.4	160	1.0	14	1.8	1.2	523
	II	2.4	231.1	554.6	160	1.0	18	1.8	1.2	672

In questo caso τ_{lim} e α sono stati valutati per la formazione LSA

Dove:

e_k = Tiro per metro di profondità derivante da Paratie

P_d = e_k moltiplicato per l'interasse orizzontale tra i tiranti

τ_{lim} = tensione di aderenza laterale limite fondazione-terreno, valutata tenendo conto dei vari tratti di bulbo di ancoraggio di lunghezza l_i in relazione alle formazioni attraversate caratterizzate dalla corrispondente tensione di aderenza limite τ_{limi} .

10.8.3.3 Verifiche SLU Trave di ripartizione

Combinazione	A [cm ²]	W _{pl} [cm ³]	P _d [kN]	i [m]	p [kN/m]	M _{Ed} [kNm]	M _{c,Rd} [kNm]
STR Statico	84.6	716	638	2.4	265.8	143.9	187.5
STR Sismico	84.6	716	555	2.4	231.3	125.2	187.5

A = area della sezione (2xUPN240) = 84.6 cm²
W_{pl} = modulo di plasticità della sezione (2xUPN240) = 716 cm³
P_d = tiro massimo di calcolo
i = interasse dei tiranti
p = (P_d · cosα) / i (α = 20°)
M_{Ed} = (p · i²) / 10 = momento flettente di calcolo
M_{c,Rd} = momento resistente = W_{pl} · f_{yd} con f_{yd} = f_{yk} / 1.05

La verifica è soddisfatta essendo M_{Ed} < M_{c,Rd}.

10.8.3.4 Verifiche SLU Trave di coronamento

La verifica della trave di coronamento è effettuata schematizzando la geometria del problema come una trave su più appoggi corrispondenti ai tiranti; le sollecitazioni flettenti e taglianti che agiscono sulla sezione rettangolare generate dai tiranti sono calcolate con le seguenti :

$$M = \frac{pl^2}{10} \quad (\text{kNm})$$

$$T = \frac{pl}{2} \quad (\text{kN})$$

Verifica a flessione:

Combinazione STR Statico:

$$M_{SLUd} = 175.4 \text{ kNm}$$

$$M_{SLU, R} = 795.15 \text{ kNm}$$

$$C.S. = 4.53$$

Verifica a taglio:

Combinazione STR Statico:

$$R_{SLUd} = 244.0 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = (0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho \cdot 1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d > (v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

coefficiente	k	1.462	
rapporto geometrico d'armatura	ρ_1	0.002	< 0.02
azione assiale (> 0 se di compressione)	Np	0	[kN]
area calcestruzzo	Ac	12207	[cm ²]
tensione agente nel cls dovuta a precompressione	σ_{cp}	0.000	[N/mm ²]
	v min	0.309	[N/mm ²]
$(0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho \cdot 1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$	V Rd	357.8	[kN]
$(v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$	V' Rd	377.4	[kN]

10.8.3.5 Verifiche SLE – Pali

Nella verifica a presso-flessione si è considerato il peso proprio del palo valutato alla corrispondente quota di verifica.

1° Gabbia

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

Ver	S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
Sc max	Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [daN/cm ²]
Xc max, Yc max	Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [daN/cm ²]
Xs min, Ys min	Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Ac eff.	Area di calcestruzzo [cm ²] in zona tesa considerata aderente alle barre
As eff.	Area barre [cm ²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure
D barre	Distanza tra le barre tese [cm] ai fini del calcolo dell'apertura fessure
Beta12	Prodotto dei coeff. di aderenza delle barre Beta1*Beta2

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	59.1	0.0	0.0	-1759	0.0	-41.6	1282	22.0	10.9	1.00

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	59.1	0.0	0.0	-1759	0.0	-41.6	1282	22.0	10.9	0.50

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§B.6.6 DM96]

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 Bologneta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121" - - PROGETTO ESECUTIVO DI DETTAGLIO

PARATIE DI PALI SX DAL KM 2+069.14 AL KM 2+308.44 – RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO

Ver.	La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a f_{ctm}
S1	Esito della verifica
S2	Massima tensione [daN/cm ²] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione non fessurata
k2	Minima tensione [daN/cm ²] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione fessurata
k3	= 0.4 per barre ad aderenza migliorata
Ø	= 0.125 per flessione e presso-flessione; $= (e1 + e2) / (2 * e1)$ per trazione eccentrica
Cf	Diametro [mm] medio delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff
Psi	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
e sm	= $1 - \text{Beta}12 * (Ssr/Ss)^2 = 1 - \text{Beta}12 * (f_{ctm}/S2)^2 = 1 - \text{Beta}12 * (M_{fess}/M)^2$ [B.6.6 DM96]
srm	Deformazione unitaria media tra le fessure [4.3.1.7.1.3 DM96]. Il valore limite = $0.4 * Ss/Es$ è tra parentesi
wk	Distanza media tra le fessure [mm]
MX fess.	Valore caratteristico [mm] dell'apertura fessure = $1.7 * e * srm$. Valore limite tra parentesi
MY fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [daNm]
	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [daNm]

Comb.	Ver	S1	S2	k3	Ø	Cf	Psi	e sm	srm	wk	Mx fess	My fess
1	S	-30.9	0	0.125	20	72.0	0.560	0.00049 (0.00035)	224	0.188 (0.30)	35065	0

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	59.1	0.0	0.0	-1759	0.0	-41.6	1282	22.0	10.9	0.50

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§B.6.6 DM96]

Comb.	Ver	S1	S2	k3	Ø	Cf	Psi	e sm	srm	wk	Mx fess	My fess
1	S	-30.9	0	0.125	20	72.0	0.560	0.00049 (0.00035)	224	0.188 (0.20)	35065	0

2° Gabbia

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

Ver	S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
Sc max	Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [daN/cm ²]
Xc max, Yc max	Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [daN/cm ²]
Xs min, Ys min	Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Ac eff.	Area di calcestruzzo [cm ²] in zona tesa considerata aderente alle barre
As eff.	Area barre [cm ²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure
D barre	Distanza tra le barre tese [cm] ai fini del calcolo dell'apertura fessure
Beta12	Prodotto dei coeff. di aderenza delle barre $\text{Beta}1 * \text{Beta}2$

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	69.5	0.0	0.0	-1433	0.0	-41.6	1801	67.7	8.2	1.00

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	69.5	0.0	0.0	-1433	0.0	-41.6	1801	67.7	8.2	0.50

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§B.6.6 DM96]

Ver.	La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a f_{ctm}
S1	Esito della verifica
S2	Massima tensione [daN/cm ²] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione non fessurata
k2	Minima tensione [daN/cm ²] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione fessurata
k3	= 0.4 per barre ad aderenza migliorata
Ø	= 0.125 per flessione e presso-flessione; $= (e1 + e2) / (2 * e1)$ per trazione eccentrica
	Diametro [mm] medio delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff

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

PARATIE DI PALI SX DAL KM 2+069.14 AL KM 2+308.44 – RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO

Cf	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
Psi	$= 1 - \text{Beta}12^2 \cdot (\text{Ssr}/\text{Ss})^2 = 1 - \text{Beta}12^2 \cdot (\text{fctm}/\text{S2})^2 = 1 - \text{Beta}12^2 \cdot (\text{Mfess}/\text{M})^2$ [B.6.6 DM96]
e sm	Deformazione unitaria media tra le fessure [4.3.1.7.1.3 DM96]. Il valore limite = $0.4 \cdot \text{Ss}/\text{Es}$ è tra parentesi
srm	Distanza media tra le fessure [mm]
wk	Valore caratteristico [mm] dell'apertura fessure = $1.7 \cdot e \cdot \text{sm} \cdot \text{srm}$. Valore limite tra parentesi
MX fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [daNm]
MY fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [daNm]

Comb.	Ver	S1	S2	k3	Ø	Cf	Psi	e sm	srm	wk	Mx fess	My fess
1	S	-47.4	0	0.125	28	68.0	0.813	0.00058 (0.00029)	190	0.188 (0.30)	44951	0

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	69.5	0.0	0.0	-1433	0.0	-41.6	1801	67.7	8.2	0.50

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§B.6.6 DM96]

Comb.	Ver	S1	S2	k3	Ø	Cf	Psi	e sm	srm	wk	Mx fess	My fess
1	S	-47.4	0	0.125	28	68.0	0.813	0.00058 (0.00029)	190	0.188 (0.20)	44951	0

3° Gabbia

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

Ver	S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
Sc max	Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [daN/cm ²]
Xc max, Yc max	Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [daN/cm ²]
Xs min, Ys min	Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Ac eff.	Area di calcestruzzo [cm ²] in zona tesa considerata aderente alle barre
As eff.	Area barre [cm ²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure
D barre	Distanza tra le barre tese [cm] ai fini del calcolo dell'apertura fessure
Beta12	Prodotto dei coeff. di aderenza delle barre Beta1*Beta2

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	53.7	0.0	0.0	-1221	0.0	-41.6	1282	22.0	10.9	1.00

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	53.7	0.0	0.0	-1221	0.0	-41.6	1282	22.0	10.9	0.50

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§B.6.6 DM96]

Ver.	La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a fctm
S1	Esito della verifica
S2	Massima tensione [daN/cm ²] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione non fessurata
k2	Minima tensione [daN/cm ²] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione fessurata
k3	= 0.4 per barre ad aderenza migliorata
Ø	= 0.125 per flessione e presso-flessione; $= (e1 + e2)/(2 \cdot e1)$ per trazione eccentrica
Cf	Diametro [mm] medio delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff
Psi	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
e sm	$= 1 - \text{Beta}12^2 \cdot (\text{Ssr}/\text{Ss})^2 = 1 - \text{Beta}12^2 \cdot (\text{fctm}/\text{S2})^2 = 1 - \text{Beta}12^2 \cdot (\text{Mfess}/\text{M})^2$ [B.6.6 DM96]
srm	Deformazione unitaria media tra le fessure [4.3.1.7.1.3 DM96]. Il valore limite = $0.4 \cdot \text{Ss}/\text{Es}$ è tra parentesi
wk	Distanza media tra le fessure [mm]
MX fess.	Valore caratteristico [mm] dell'apertura fessure = $1.7 \cdot e \cdot \text{sm} \cdot \text{srm}$. Valore limite tra parentesi
MY fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [daNm]
	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [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 rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121" - - PROGETTO ESECUTIVO DI DETTAGLIO

PARATIE DI PALI SX DAL KM 2+069.14 AL KM 2+308.44 – RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO

Comb.	Ver	S1	S2	k3	Ø	Cf	Psi	e sm	srm	wk	Mx fess	My fess
1	S	-25.4	0	0.125	20	72.0	0.352	0.00024 (0.00024)	224	0.093 (0.30)	39343	0

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	53.7	0.0	0.0	-1221	0.0	-41.6	1282	22.0	10.9	0.50

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§B.6.6 DM96]

Comb.	Ver	S1	S2	k3	Ø	Cf	Psi	e sm	srm	wk	Mx fess	My fess
1	S	-25.4	0	0.125	20	72.0	0.352	0.00024 (0.00024)	224	0.093 (0.20)	39343	0

10.9 Sezione di verifica 107 – Progr. 2+119.866

10.9.1 Sintesi dei risultati

Nelle tabelle seguenti vengono riportati i risultati delle analisi eseguite con riferimento alle combinazioni di carico precedentemente definite.

Si noti che il metodo di calcolo per l'analisi delle paratie, come già detto, segue il processo dalla costruzione, dalla realizzazione della paratia stessa agli scavi parziali, la messa in tensione dei tiranti fino allo scavo finale. Nelle verifiche in condizioni sismiche l'azione sismica viene applicata solo nella fase finale, cioè in condizioni di esercizio, anche se l'analisi, per le modalità con cui viene svolta, percorre anche in questo tipo di verifica tutte le fasi provvisionali precedenti.

I principali risultati ottenuti per le combinazioni di carichi sopra indicate.

	SLU GEO		SLU STR		SLE
	Statico	Sismico	Statico	Sismico	
Spostamento massimo (cm)	-	-	-	-	1.00
Momento massimo (kNm/m)	-	-	663.35	491.44	510.27
Taglio massimo (kN/m)	-	-	204.45	154.55	157.27
Spinta passiva mobilitata a valle (%)	80.00	80.00	-	-	60.00
Reazione Tiranti 1° ordine (kN/m)	-	-	133.47	103.29	102.67
Reazione Tiranti 2° ordine (kN/m)	-	-	258.47	200.55	198.82

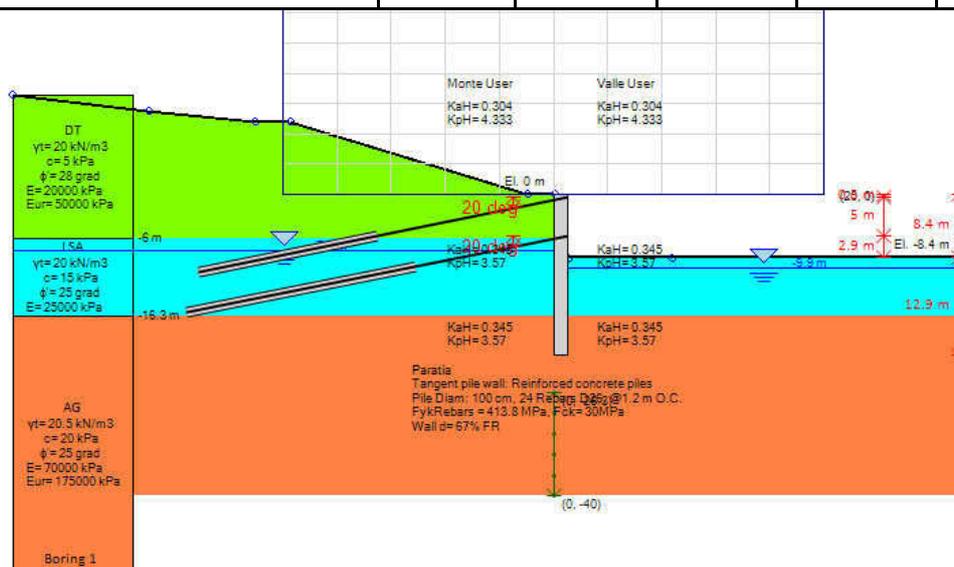


Figura 74 Modello di calcolo – step finale di calcolo

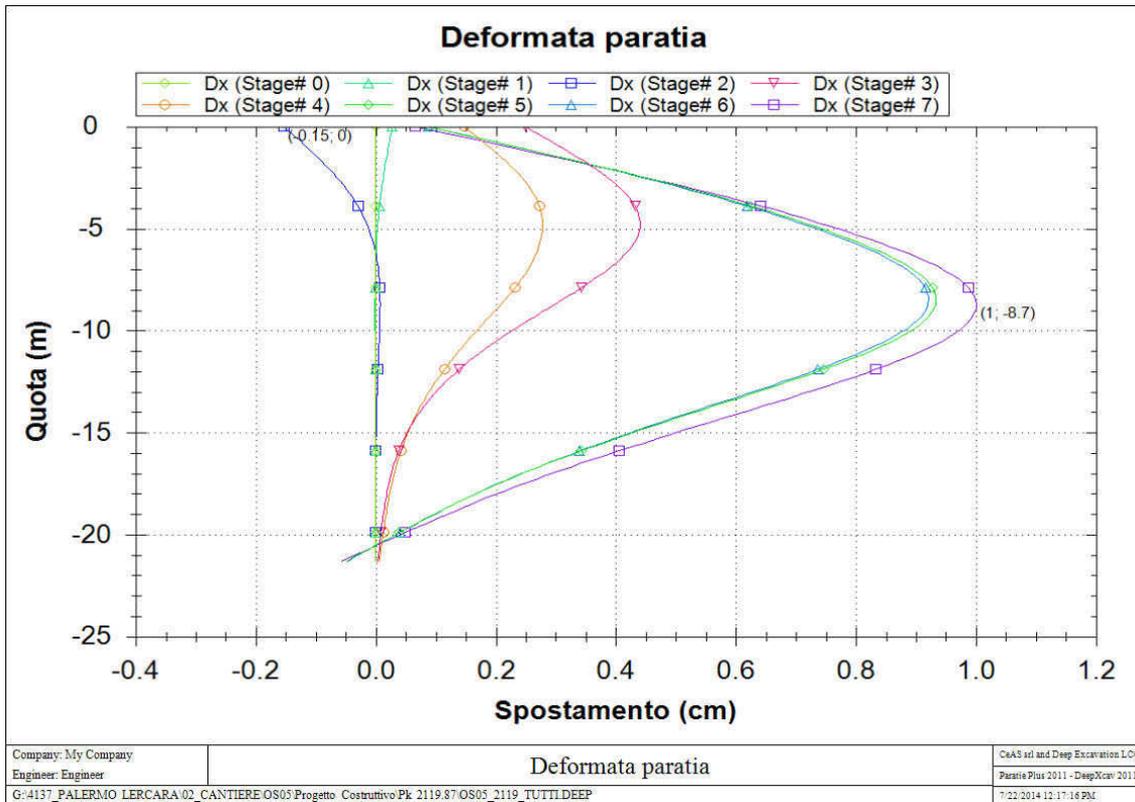


Figura 75 Spostamenti-profondità SLE

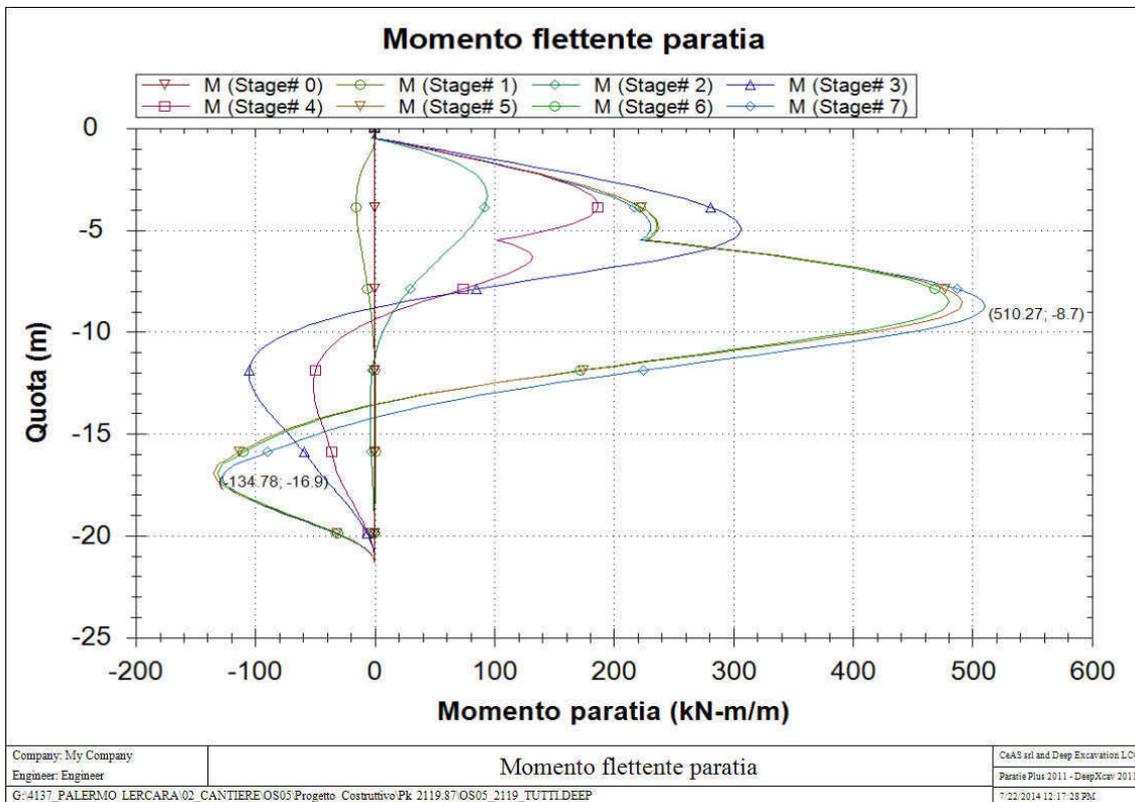


Figura 76 Momento-profondità SLE

PARATIE DI PALI SX DAL KM 2+069.14 AL KM 2+308.44 – RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO

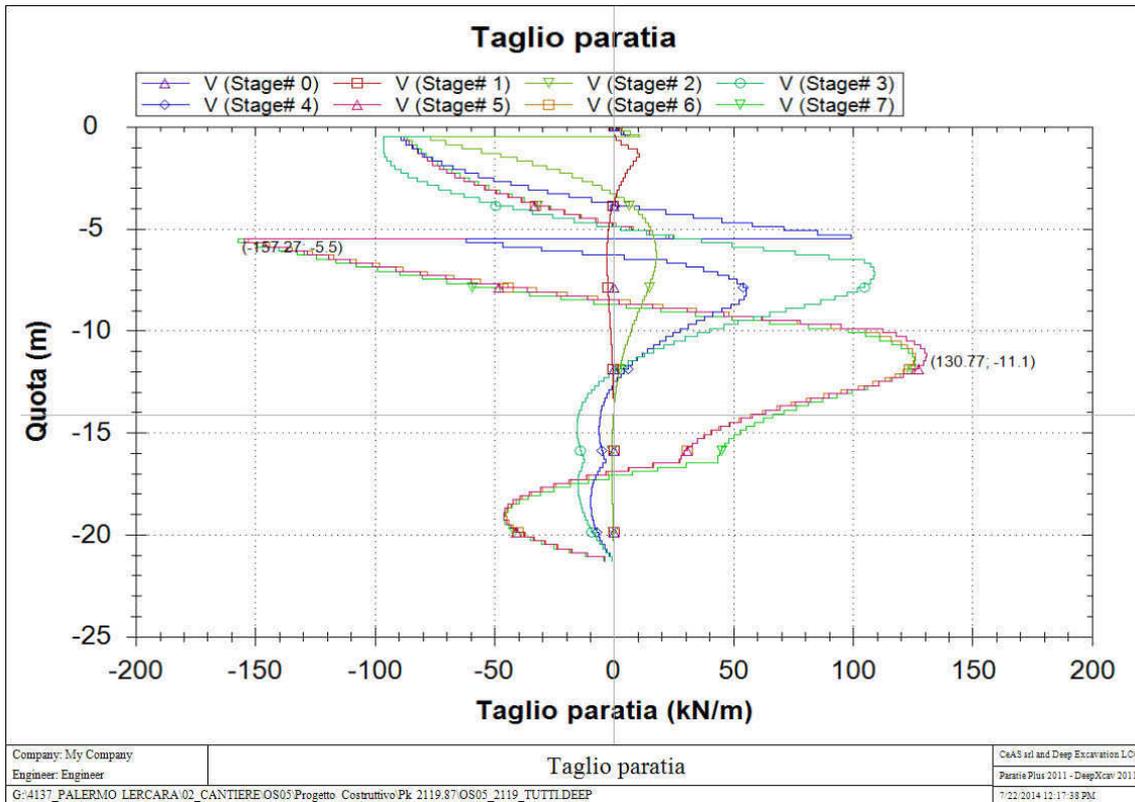


Figura 77 Taglio - profondità SLE

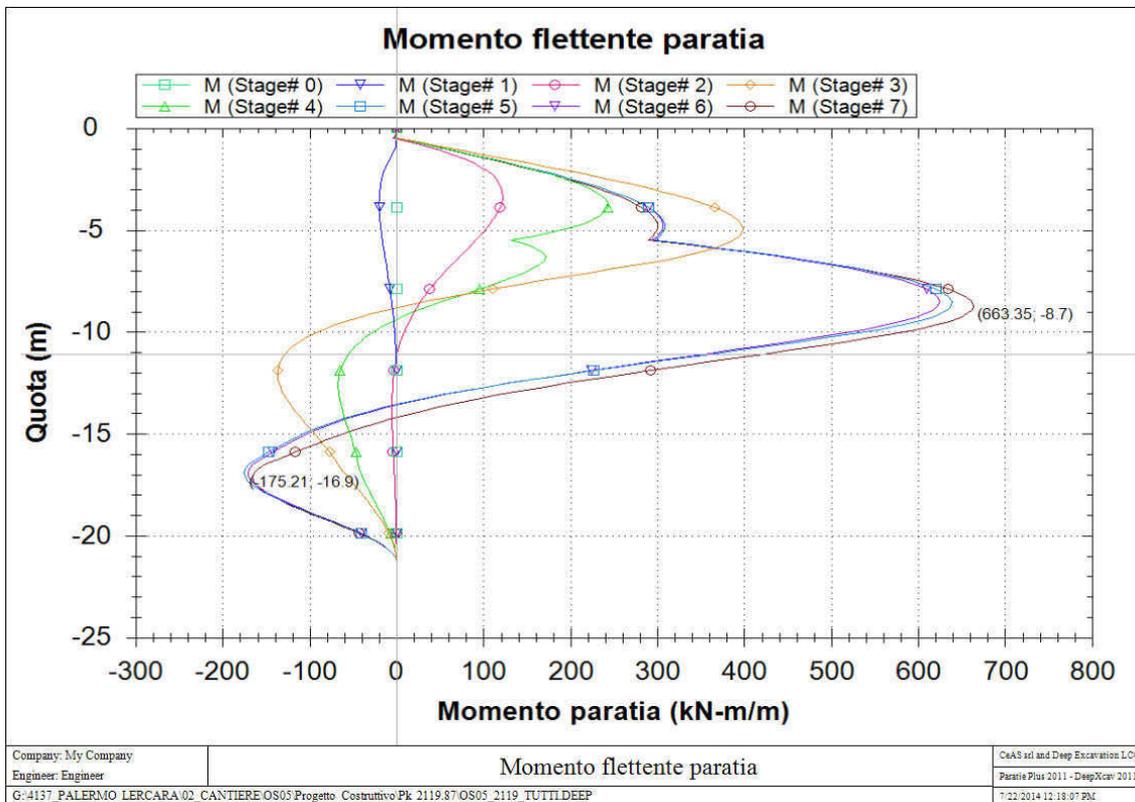


Figura 78 Momento - profondità SLU STR

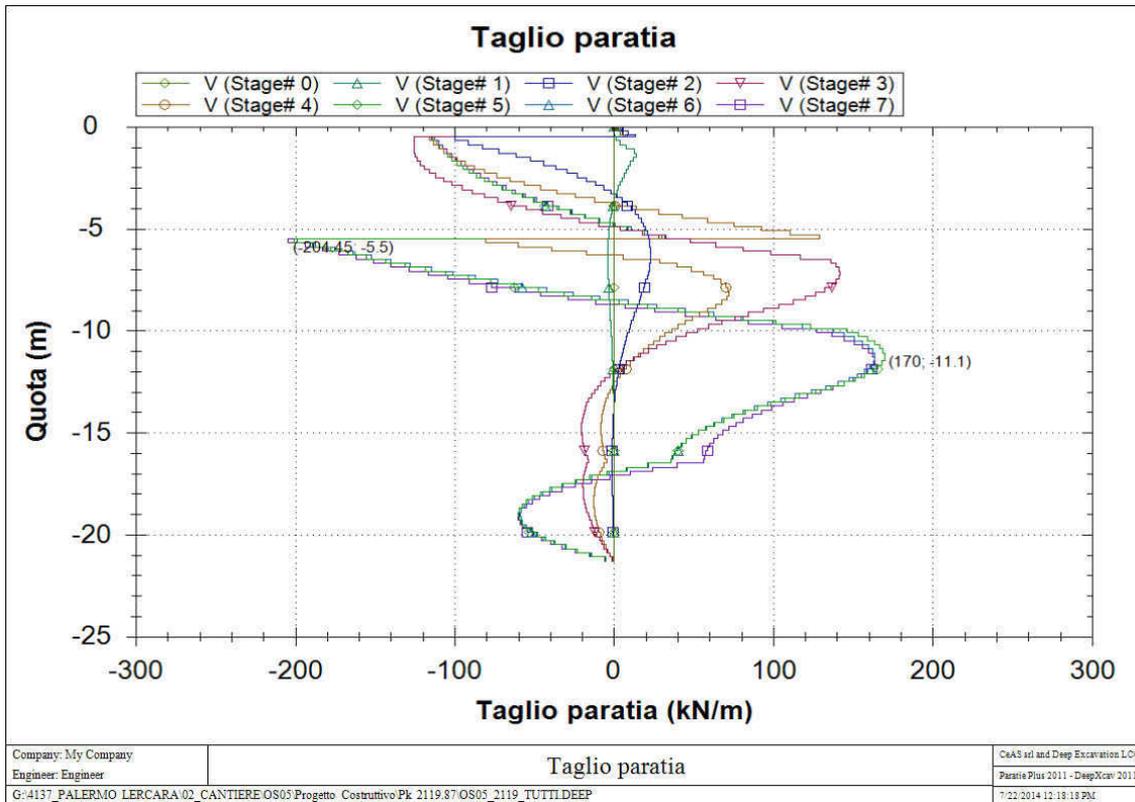


Figura 79 Taglio - profondità SLU STR

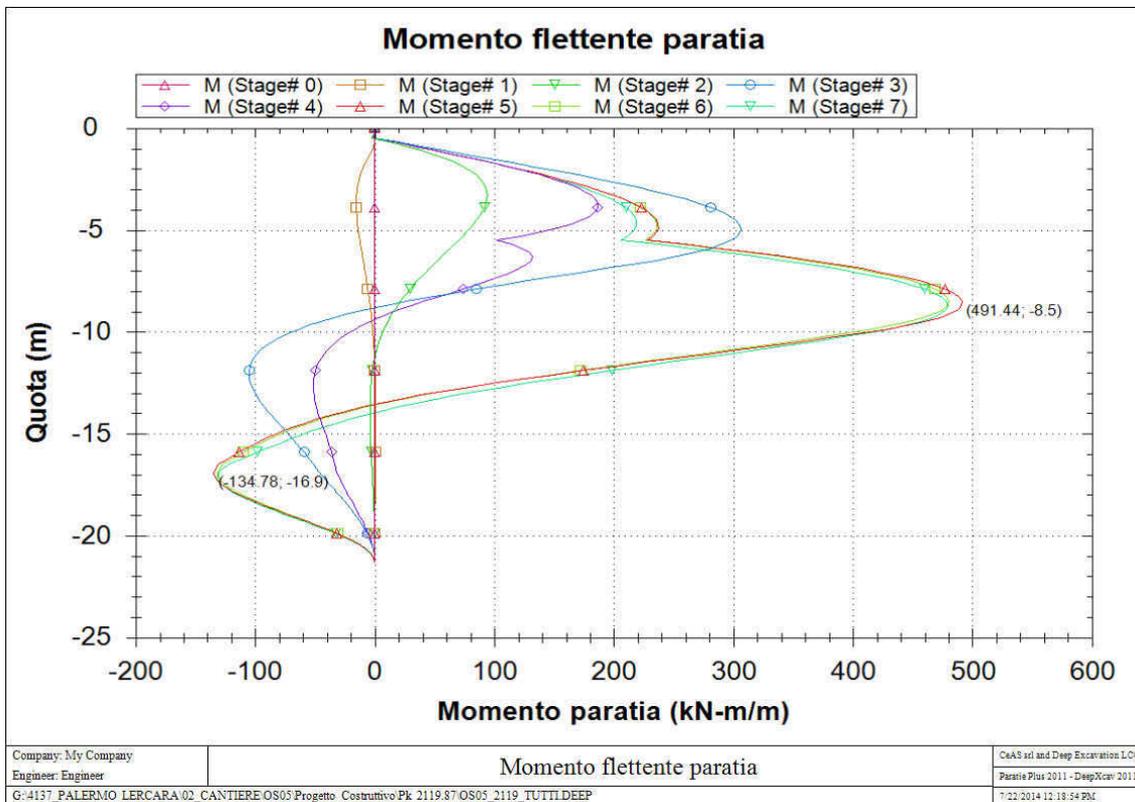


Figura 80 Momento-profondità SISMA STR

PARATIE DI PALI SX DAL KM 2+069.14 AL KM 2+308.44 – RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO

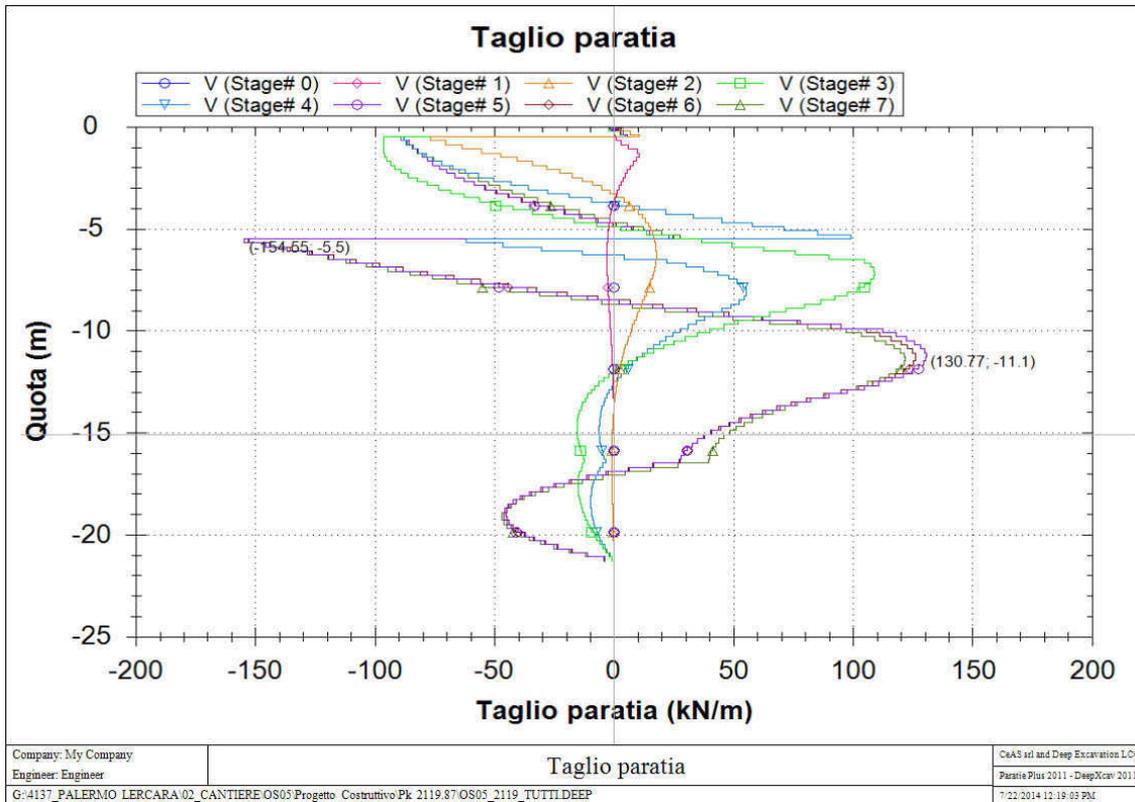


Figura 81 Taglio - profondità SISMA STR

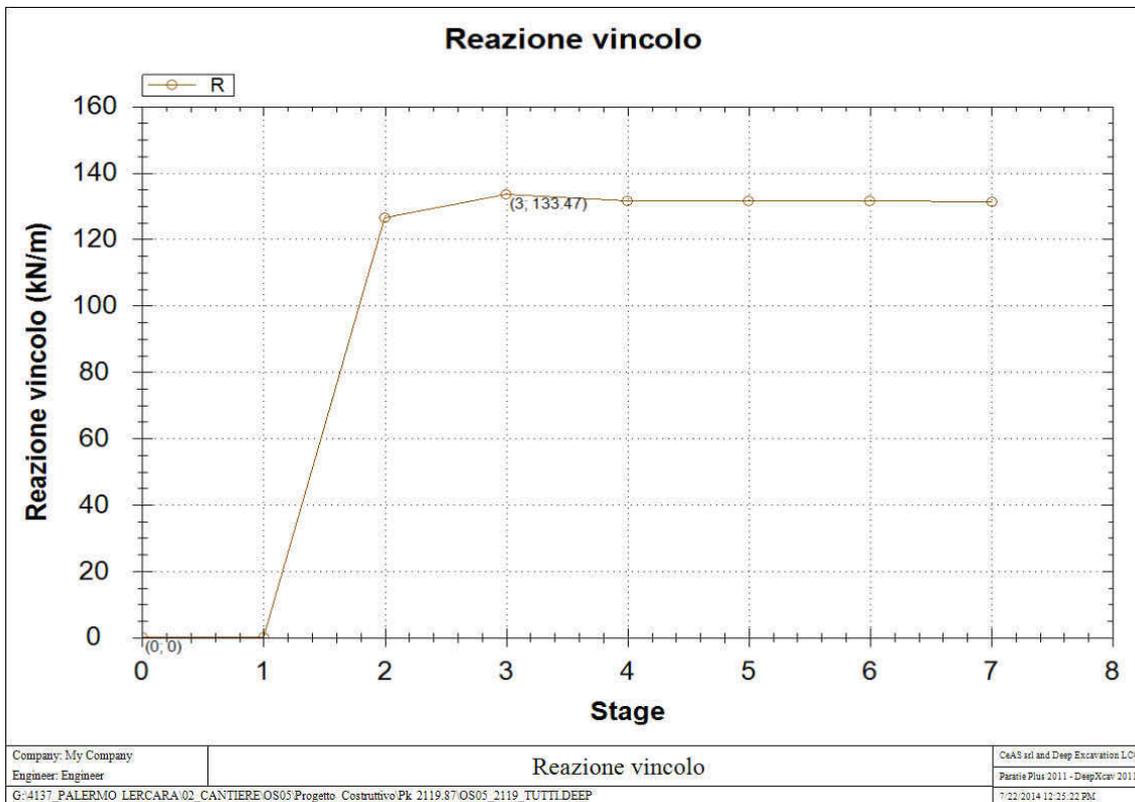


Figura 82 Reazione 1° ordine tiranti – SLU STR

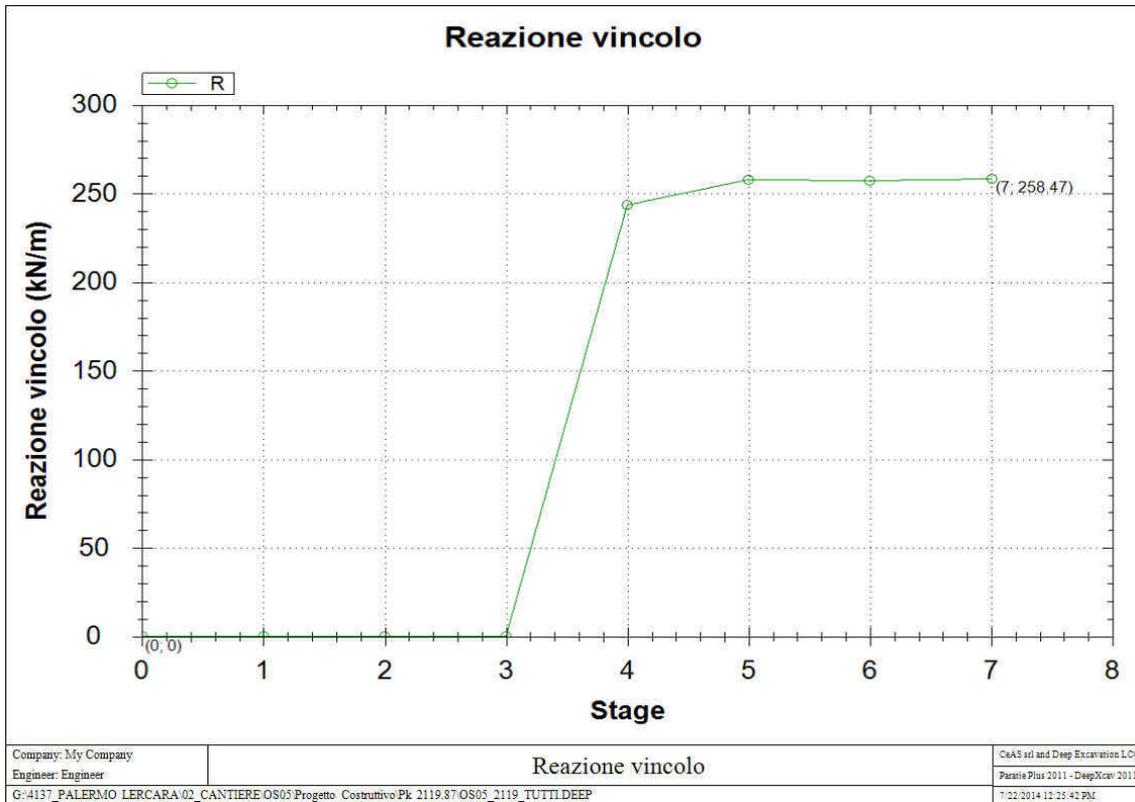


Figura 83 Reazione 1° ordine tiranti –SISMA STR

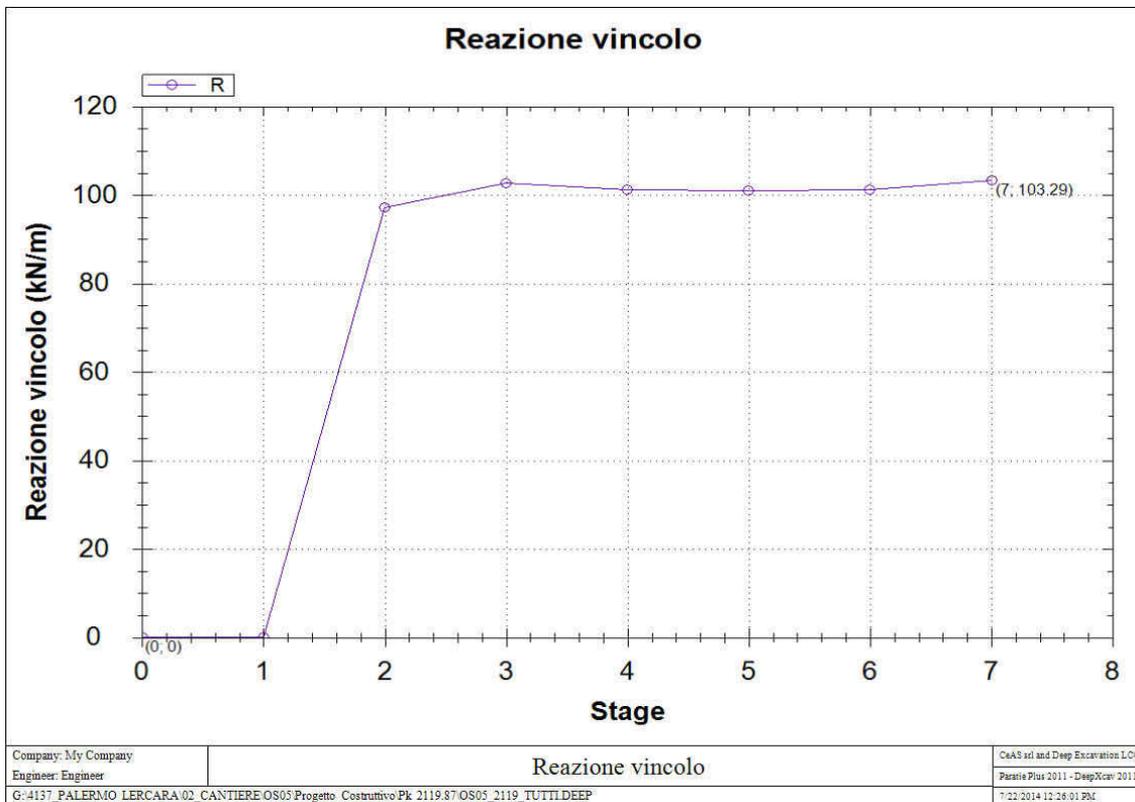


Figura 84 Reazione 2° ordine tiranti – SLU STR

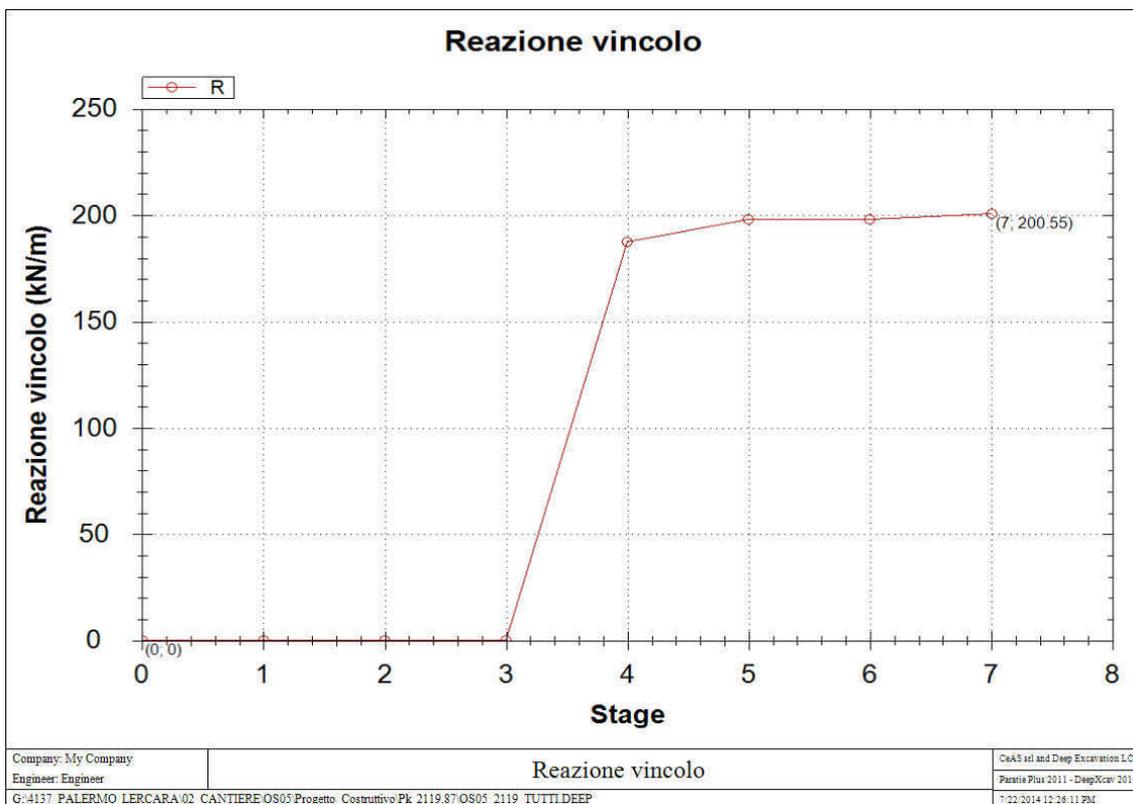


Figura 85 Reazione 2°ordine tiranti –SISMA STR

10.9.2 Verifiche geotecniche

10.9.2.1 Verifiche di stabilità globale del complesso opera di sostegno - terreno

Per le verifiche di stabilità globale sono stati utilizzati i medesimi parametri indicati nel paragrafo precedente.

Per le verifiche si è utilizzato il modulo VSP Plus della Ceas. I coefficienti di sicurezza ottenuti sono riportati nella tabella seguente.

Tipo di verifica	Fs
Statica	1.54 > 1.10
Sismica	1.12 > 1.10

PARATIE DI PALI SX DAL KM 2+069.14 AL KM 2+308.44 – RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO

Nelle figure seguenti è rappresentata la sezione presa in considerazione per le analisi con le superfici investigate ed evidenziata la superficie più critica. Il dettaglio dei dati di ingresso è riportato nel tabulato di calcolo in Appendice.

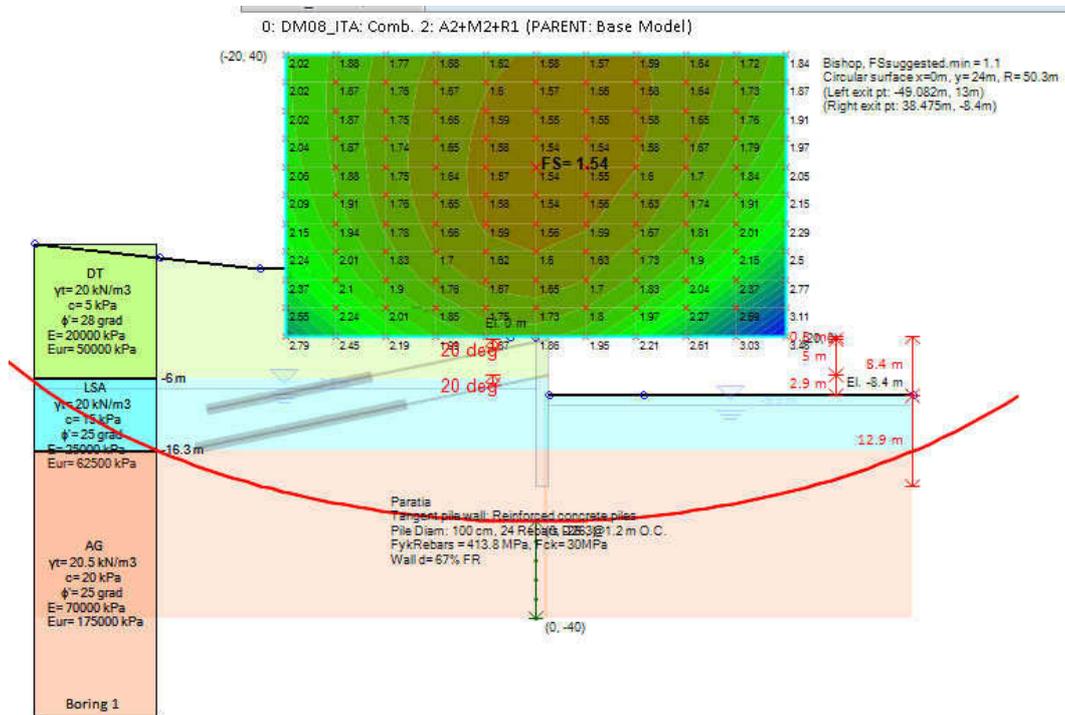


Figura 86 Verifica in condizione statica – superfici analizzate e superficie critica

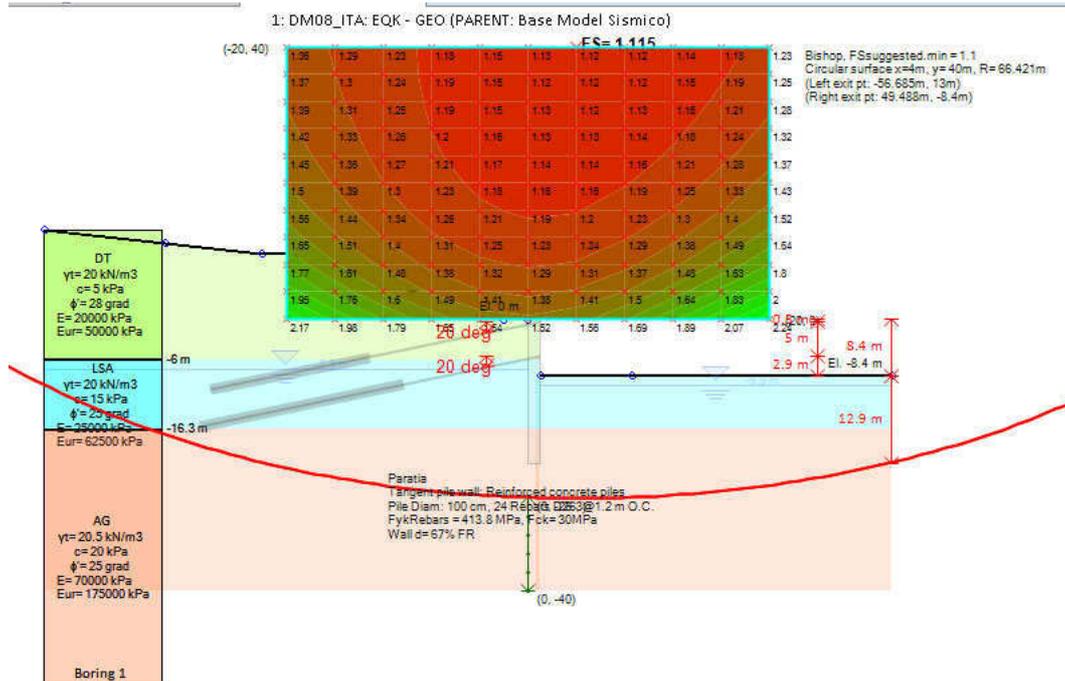


Figura 87 Verifica in condizione sismica – superfici analizzate e superficie critica

10.9.3 Verifiche strutturali

10.9.3.1 Verifiche SLU - Pali

Nelle verifiche si considerano le sollecitazioni massime sulla struttura secondo le varie analisi. Le sollecitazioni sono state valutate per la sezione di riferimento della struttura sia in condizioni sismiche che in condizioni statiche. Nelle verifiche, a presso-flessione e taglio, si riporta di seguito il caso peggiore fra lo statico ed il sismico. Nella verifica a presso-flessione si è considerato il peso proprio del palo valutato alla corrispondente quota di verifica.

Verifica a Presso-flessione:

Combinazione STR Statico.

Gabbia di armatura	Quota da t.c. (m)	M (kNm/m)	M _{SLU} (kNm)	N _{SLU} (kN)	Armatura	c.s.
1	8.7	663.4	796.0	222.1	32Φ26	2.93
2	12.0	290.0	348.0	306.3	16Φ26	3.84

1° Gabbia

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 assegnato [daN] nel baricentro sezione cls. (positivo se di compressione)
Mx	Momento flettente assegnato [daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My	Momento flettente assegnato [daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N ult	Sforzo normale ultimo [daN] baricentrico (positivo se di compress.)
Mx ult	Momento flettente ultimo [daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My ult	Momento flettente ultimo [daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
My ult	Momento flettente ultimo [daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mx ult	Momento flettente ultimo [daNm] intorno all'asse X di riferimento della sezione
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult, Mx ult, My ult) e (N, Mx, My) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
As Tesa	Area armature [cm ²] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	22207	79600	0	22208	233280	0	2.931	-----

2° Gabbia

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	7.1 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	13.6 cm

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

PARATIE DI PALI SX DAL KM 2+069.14 AL KM 2+308.44 – RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO

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 assegnato [daN] nel baricentro sezione cls. (positivo se di compressione)
 Mx Momento flettente assegnato [daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
 My Momento flettente assegnato [daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
 N ult Sforzo normale ultimo [daN] baricentrico (positivo se di compress.)
 Mx ult Momento flettente ultimo [daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
 My ult Momento flettente ultimo [daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
 My ult Momento flettente ultimo [daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
 Mx ult Momento flettente ultimo [daNm] intorno all'asse X di riferimento della sezione
 Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult,My ult) e (N,Mx,My)
 Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
 As Tesa Area armature [cm²] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	30631	34800	0	30603	133669	0	3.841	-----

Verifica al taglio:

Poiché la sezione di verifica è circolare i valori di b_w (larghezza dell'anima) e di d (altezza utile) saranno riferiti alle dimensioni di una sezione quadrata di lato di 707 mm inscritta in quella del palo. L'armatura al taglio sarà costituita una spirale $\varnothing 12$ passo 20.

1° Gabbia

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - VERIFICHE A TAGLIO

Passo staffe: 20.0 cm [Passo massimo di normativa = 25.0 cm]

Ver S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
 Vsdu Taglio di progetto [daN] = proiez. di V_x e V_y sulla normale all'asse neutro
 Vcd Taglio resistente ultimo [daN] lato conglomerato compresso
 Vwd Taglio resistente [daN] assorbito dalle staffe
 Dmed Altezza utile media pesata [cm] valutata lungo strisce ortog. all'asse neutro.
 Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso.
 I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.
 bw Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro
 E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.
 Teta Angolo [gradi sessadec.] di inclinazione dei puntoni di conglomerato
 Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
 Ast Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm²/m]
 A.Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm²/m]
 Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.
 L'area della legatura è ridotta col fattore L/d_{max} con L =lungh.legat.proietta-
 ta sulla direz. del taglio e d_{max} = massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°Comb	Ver	Vsdu	Vcd	Vwd	Dmed	bw	Teta	Acw	Ast	A.Eff
1	S	24534	185534	79653	78.2	88.5	21.80°	1.017	3.6	11.6(0.0)

2° Gabbia

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - VERIFICHE A TAGLIO

Passo staffe: 20.0 cm [Passo massimo di normativa = 25.0 cm]

Ver S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
 Vsdu Taglio di progetto [daN] = proiez. di V_x e V_y sulla normale all'asse neutro

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

PARATIE DI PALI SX DAL KM 2+069.14 AL KM 2+308.44 – RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO

Vcd Taglio resistente ultimo [daN] lato conglomerato compresso
Vwd Taglio resistente [daN] assorbito dalle staffe
Dmed Altezza utile media pesata [cm] valutata lungo strisce ortog. all'asse neutro. Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso. I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.
bw Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.
Teta Angolo [gradi sessadec.] di inclinazione dei puntoni di conglomerato
Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
Ast Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm²/m]
A.Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm²/m] Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature. L'area della legatura è ridotta col fattore L/d_max con L=lungh.legat.proietta- ta sulla direz. del taglio e d_max= massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°Comb	Ver	Vsdu	Vcd	Vwd	Dmed	bw	Teta	Acw	Ast	A.Eff
1	S	7200	180348	81188	79.7	83.8	21.80°	1.023	1.0	11.6(0.0)

Reazione Tiranti 1° ordine (kN/m)	-	-	133.47	103.29	102.67
Reazione Tiranti 2° ordine (kN/m)	-	-	258.47	200.55	198.82

10.9.3.2 Verifiche SLU – Tiranti

Nel seguito si riportano le verifiche di resistenza e del bulbo di ancoraggio.

Le verifiche sono soddisfatte essendo $P_d < R_{pd}$.

Combinazione	Ordine tiranti	Passo [m]	e_k [kN/m]	P_d [kN]	R_{pd} [kN]	Pretiro [kN]
STR Statico	I	3.6	133.5	480.6	807	350
STR Statico	II	2.4	258.5	620.4	807	450
STR Sismico	I	3.6	103.3	371.9	807	350
STR Sismico	II	2.4	200.6	481.4	807	450

Combinazione	Ordine tiranti	Passo [m]	e_k [kN/m]	P_d [kN]	τ_{lim} [kPa]	α [-]	l_b [m]	$\xi_{\alpha 3}$ [-]	γ_R [-]	R_{ad} [kN]
STR Statico	I	3.6	133.5	480.6	160	1.0	14	1.8	1.2	523
	II	2.4	258.5	620.4	160	1.0	18	1.8	1.2	672
STR Sismico	I	3.6	103.3	371.9	160	1.0	14	1.8	1.2	523
	II	2.4	200.6	481.4	160	1.0	18	1.8	1.2	672

In questo caso τ_{lim} e α sono stati valutati per la formazione LSA

dove:

e_k = Tiro per metro di profondità derivante da Paratie

P_d = e_k moltiplicato per l'interasse orizzontale tra i tiranti

τ_{lim} = tensione di aderenza laterale limite fondazione-terreno, valutata tenendo conto dei vari tratti di bulbo di ancoraggio di lunghezza l_i in relazione alle formazioni attraversate caratterizzate dalla corrispondente tensione di aderenza limite τ_{limi} .

10.9.3.3 Verifiche SLU Trave di ripartizione

Combinazione	A [cm ²]	W _{pl} [cm ³]	P _d [kN]	i [m]	p [kN/m]	M _{Ed} [kNm]	M _{c,Rd} [kNm]
STR Statico	84.6	716	620	2.4	265.8	139.8	187.5
STR Sismico	84.6	716	481	2.4	231.3	108.5	187.5

A = area della sezione (2xUPN240) = 84.6 cm²
W_{pl} = modulo di plasticità della sezione (2xUPN240) = 716 cm³
P_d = tiro massimo di calcolo
i = interasse dei tiranti
p = (P_d · cosα) / i (α = 20°)
M_{Ed} = (p · i²) / 10 = momento flettente di calcolo
M_{c,Rd} = momento resistente = W_{pl} · f_{yd} con f_{yd} = f_{yk} / 1.05

La verifica è soddisfatta essendo M_{Ed} < M_{c,Rd}.

10.9.3.4 Verifiche SLU Trave di coronamento

La verifica della trave di coronamento è effettuata schematizzando la geometria del problema come una trave su più appoggi corrispondenti ai tiranti; le sollecitazioni flettenti e taglianti che agiscono sulla sezione rettangolare generate dai tiranti sono calcolate con le seguenti :

$$M = \frac{pl^2}{10} \quad (\text{kNm})$$

$$T = \frac{pl}{2} \quad (\text{kN})$$

Verifica a flessione:

Combinazione STR Statico:

$$M_{SLUd} = 162.6 \text{ kNm}$$

$$M_{SLU, R} = 795.15 \text{ kNm}$$

$$C.S. = 4.89$$

Verifica a taglio:

Combinazione STR Statico:

$$R_{SLUd} = 226.0 \text{ kN}$$

$$V R_d = (0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho \cdot 1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d > (v_{\min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

coefficiente	k	1.462	
rapporto geometrico d'armatura	ρ_1	0.002	< 0.02
azione assiale (> 0 se di compressione)	Np	0	[kN]
area calcestruzzo	Ac	12207	[cm ²]
tensione agente nel cls dovuta a precompressione	σ_{cp}	0.000	[N/mm ²]
	v min	0.309	[N/mm ²]
$(0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho \cdot 1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$	V Rd	357.8	[kN]
$(v_{\min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$	V' Rd	377.4	[kN]

10.9.3.5 Verifiche SLE – Pali

Nella verifica a presso-flessione si è considerato il peso proprio del palo valutato alla corrispondente quota di verifica.

1° Gabbia

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

Ver	S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
Sc max	Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [daN/cm ²]
Xc max, Yc max	Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [daN/cm ²]
Xs min, Ys min	Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Ac eff.	Area di calcestruzzo [cm ²] in zona tesa considerata aderente alle barre
As eff.	Area barre [cm ²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure
D barre	Distanza tre le barre tese [cm] ai fini del calcolo dell'apertura fessure
Beta12	Prodotto dei coeff. di aderenza delle barre Beta1*Beta2

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	62.9	0.0	0.0	-1361	0.0	-41.6	1667	47.8	8.2	1.00

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	62.9	0.0	0.0	-1361	0.0	-41.6	1667	47.8	8.2	0.50

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§B.6.6 DM96]

Ver.	La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a f_{ctm}
S1	Esito della verifica
S2	Massima tensione [daN/cm ²] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione non fessurata
k2	Minima tensione [daN/cm ²] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione fessurata
k3	= 0.4 per barre ad aderenza migliorata
Ø	= 0.125 per flessione e presso-flessione; = $(e1 + e2)/(2 \cdot e1)$ per trazione eccentrica
	Diametro [mm] medio delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff

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

PARATIE DI PALI SX DAL KM 2+069.14 AL KM 2+308.44 – RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO

Cf	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
Psi	$= 1 - \text{Beta}^{12} \cdot (\text{Ssr}/\text{Ss})^2 = 1 - \text{Beta}^{12} \cdot (\text{fctm}/\text{S2})^2 = 1 - \text{Beta}^{12} \cdot (\text{Mfess}/\text{M})^2$ [B.6.6 DM96]
e sm	Deformazione unitaria media tra le fessure [4.3.1.7.1.3 DM96]. Il valore limite = $0.4 \cdot \text{Ss}/\text{Es}$ è tra parentesi
srm	Distanza media tra le fessure [mm]
wk	Valore caratteristico [mm] dell'apertura fessure = $1.7 \cdot e \cdot \text{sm} \cdot \text{srm}$. Valore limite tra parentesi
MX fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [daNm]
MY fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [daNm]

Comb.	Ver	S1	S2	k3	Ø	Cf	Psi	e sm	srm	wk	Mx fess	My fess
1	S	-41.4	0	0.125	26	69.0	0.755	0.00051 (0.00027)	200	0.174 (0.30)	42838	0

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	62.9	0.0	0.0	-1361	0.0	-41.6	1667	47.8	8.2	0.50

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§B.6.6 DM96]

Comb.	Ver	S1	S2	k3	Ø	Cf	Psi	e sm	srm	wk	Mx fess	My fess
1	S	-41.4	0	0.125	26	69.0	0.755	0.00051 (0.00027)	200	0.174 (0.20)	42838	0

2° Gabbia

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

Ver	S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
Sc max	Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [daN/cm ²]
Xc max, Yc max	Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [daN/cm ²]
Xs min, Ys min	Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Ac eff.	Area di calcestruzzo [cm ²] in zona tesa considerata aderente alle barre
As eff.	Area barre [cm ²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure
D barre	Distanza tra le barre tese [cm] ai fini del calcolo dell'apertura fessure
Beta12	Prodotto dei coeff. di aderenza delle barre $\text{Beta}1 \cdot \text{Beta}2$

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	18.9	0.0	0.0	-302	0.0	-41.6	1666	26.5	16.2	1.00

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	18.9	0.0	0.0	-302	0.0	-41.6	1666	26.5	16.2	0.50

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§B.6.6 DM96]

Ver.	La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a fctm
S1	Esito della verifica
S2	Massima tensione [daN/cm ²] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione non fessurata
k2	Minima tensione [daN/cm ²] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione fessurata
k3	= 0.4 per barre ad aderenza migliorata
Ø	= 0.125 per flessione e presso-flessione; $= (e1 + e2)/(2 \cdot e1)$ per trazione eccentrica
Cf	Diametro [mm] medio delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff
Psi	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
e sm	$= 1 - \text{Beta}^{12} \cdot (\text{Ssr}/\text{Ss})^2 = 1 - \text{Beta}^{12} \cdot (\text{fctm}/\text{S2})^2 = 1 - \text{Beta}^{12} \cdot (\text{Mfess}/\text{M})^2$ [B.6.6 DM96]
srm	Deformazione unitaria media tra le fessure [4.3.1.7.1.3 DM96]. Il valore limite = $0.4 \cdot \text{Ss}/\text{Es}$ è tra parentesi
wk	Distanza media tra le fessure [mm]
MX fess.	Valore caratteristico [mm] dell'apertura fessure = $1.7 \cdot e \cdot \text{sm} \cdot \text{srm}$. Valore limite tra parentesi
MY fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [daNm]
	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [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 rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121" - - PROGETTO ESECUTIVO DI DETTAGLIO

PARATIE DI PALI SX DAL KM 2+069.14 AL KM 2+308.44 – RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO

Comb.	Ver	S1	S2	k3	Ø	Cf	Psi	e sm	srm	wk	Mx fess	My fess
1	S	-8.3	0	0.125	26	69.0	-5.017	0.00006 (0.00006)	252	0.026 (0.30)	45583	0

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	18.9	0.0	0.0	-302	0.0	-41.6	1666	26.5	16.2	0.50

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§B.6.6 DM96]

Comb.	Ver	S1	S2	k3	Ø	Cf	Psi	e sm	srm	wk	Mx fess	My fess
1	S	-8.3	0	0.125	26	69.0	-5.017	0.00006 (0.00006)	252	0.026 (0.20)	45583	0