

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N. 443/01**

**TRATTA A.V. /A.C. TERZO VALICO DEI GIOVI  
PROGETTO ESECUTIVO**

**SOTTOPASSO FERROVIARIO BRETTELLA A7/A26 KM 44+191.450**

**Relazione di calcolo opere c.a. sottopasso**

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE DEI LAVORI
Consorzio <b>Cociv</b> Ing. P.P. Marcheselli	

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
I G 5 1	0 2	E	C V	C L	G A 1 N 0 X	0 0 1	A

Progettazione:							
Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data
A00	Prima Emissione	D. Fanti	12/07/2013	S. Fuoco	16/07/2013	A. Palomba	18/07/2013



n.Elab.: File:IG51-02-E-CV-CL-GA1N-0-X-001-A00.DOCX

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



IG51-02-E-CV-CL-GA1N-0X-001\_A00  
Relazione di calcolo opera c.a sottopasso

Foglio  
2 di 366



## INDICE

<b>1. INTRODUZIONE</b> .....	7
<b>2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO</b> .....	7
<b>3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI</b> .....	8
<b>4. CARATTERIZZAZIONE SISMICA</b> .....	8
<b>5. TIPOLOGIA DELLE OPERE IN PROGETTO E FASI REALIZZATIVE PRINCIPALI</b> 9	
<b>6. MODELLAZIONI GEOTECNICO-STRUTTURALI</b> .....	14
6.1. Parametrizzazione geotecnica e stratigrafia di progetto .....	14
6.2. Dimensionamento paratie in pali. Struttura di contenimento delle terre trasversale all'autostrada	16
6.2.1. Descrizione delle fasi di simulazione. Modello 1.....	20
6.2.2. Risultati dell'analisi modello 1 .....	24
6.2.3. Descrizione delle fasi di simulazione. Modello 2.....	29
6.2.4. Risultati dell'analisi modello 2 .....	29
6.2.5. Verifiche strutturali.....	34
6.3. Dimensionamento paratie in pali. Struttura provvisoria di contenimento delle terre parallela all'autostrada .....	39
6.3.1. Descrizione delle analisi condotte.....	42
6.3.2. Descrizione delle fasi di modellazione .....	43
6.3.3. Risultati dell'analisi.....	44
6.4. Modello aggiuntivo per la palificata temporanea.....	48
6.4.1. Descrizione del modello .....	48
6.4.2. Risultati dell'analisi.....	49
6.4.3. Verifiche strutturali.....	51
<b>7. STRUTTURA DI COPERTURA</b> .....	53
7.1. Schema statico e carichi agenti.....	53
7.2. Calcolo delle sollecitazioni agenti sugli elementi strutturali.....	54
7.3. Verifiche degli elementi strutturali .....	55
7.3.1. Metodologia di verifica.....	55
7.3.2. Verifiche a pressoflessione .....	56
7.3.3. Verifiche a taglio.....	57
<b>8. SOLETTA DI FONDO</b> .....	57
<b>9. VERIFICA EFFETTI LONGITUDINALI DA RITIRO</b> .....	61
9.1. Coazioni interne dovute ai fenomeni di ritiro .....	62



<b>9.2.</b>	<b>Calcolo delle sollecitazioni longitudinali dovute ai fenomeni di ritiro .....</b>	<b>63</b>
<b>10.</b>	<b>MURI A U .....</b>	<b>64</b>
10.1.	Tipologia di analisi condotte e modelli di calcolo impiegati.....	64
10.2.	Definizione del supporto elastico .....	64
10.3.	Descrizione delle analisi con STRAUS7 .....	66
10.3.1.	Introduzione .....	66
10.3.2.	Descrizione del modello utilizzato.....	67
10.3.3.	Combinazioni di carico ed involuppi di riferimento.....	69
10.3.4.	Determinazione delle sollecitazioni di verifica .....	74
10.4.	Condizioni di carico analizzate.....	75
10.5.	Combinazioni di carico e criteri di verifica.....	91
10.6.	Modelli di calcolo – Risultati e verifiche.....	93
10.6.1.	SLU – Stato limite ultimo.....	108
10.6.2.	SLF – Stato limite fessurazione e tensione .....	112
10.7.	Verifica effetti longitudinali da ritiro .....	116
10.7.1.	Coazioni interne dovute ai fenomeni di ritiro.....	116
10.7.2.	Calcolo delle sollecitazioni longitudinali dovute ai fenomeni di ritiro .....	117
<b>11.</b>	<b>SINTESI DELLE CONCLUSIONI .....</b>	<b>118</b>
<b>12.</b>	<b>ALLEGATO 1 .....</b>	<b>119</b>
<b>13.</b>	<b>ALLEGATO 2 .....</b>	<b>223</b>
<b>14.</b>	<b>ALLEGATO 3 .....</b>	<b>327</b>
<b>15.</b>	<b>ALLEGATO 4 .....</b>	<b>347</b>



## INDICE FIGURE

Figura 1. Planimetria fasi realizzative dell'opera. Fase 1 .....	9
Figura 2. Planimetria fasi realizzative dell'opera. Fase 2 .....	10
Figura 3. Planimetria fasi realizzative dell'opera. Fase 3 .....	10
Figura 4. Planimetria fasi realizzative dell'opera. Fase 4 .....	11
Figura 5. Planimetria fasi realizzative dell'opera. Fase 5 .....	12
Figura 6. Planimetria fasi realizzative dell'opera. Fase 6 .....	13
Figura 7. Caratteristiche geometriche degli scavi e delle opere in progetto .....	19
Figura 8. Caratteristiche geometriche degli scavi e delle opere in progetto .....	42
Figura 9. Schema ripartizione carichi stradali .....	54
Figura 10. Schema statico di calcolo .....	55
Figura 11. Valori di rigidezze dei terreni. Valori rappresentativi (rif. Bowles) .....	59
Figura 12. Schema diffusione del carico ferroviario sul solettone inferiore .....	60
Figura 13. Schema carichi agenti sulla struttura .....	60
Figura 14. Momento flettente combinazione SLE-PP-T1 .....	61
Figura 15. Deformata combinazione SLE-PP-T1 .....	61
Figura 16. Valori di rigidezze dei terreni. Valori rappresentativi (rif. Bowles) .....	66
Figura 17 – Sezione caratteristica E-E di riferimento .....	68
Figura 18 – Modello di calcolo Straus sezione E-E .....	68
Figura 19 – Peso proprio .....	76
Figura 20 – Spinta terreno DX K0 falda alta (Condizione 61) .....	77
Figura 21 – Spinta terreno SX K0 falda alta (Condizione 60) .....	78
Figura 22 – Spinta sinistra accidentale K <sub>0</sub> (Condizione 65) .....	79
Figura 23 – Incremento spinta terreno sismica SX (Condizione 14) .....	81
Figura 24 – Incremento spinta terreno sismica DX (Condizione 15) .....	82
Figura 25 – Inerzia sismica orizzontale (Condizione 16) .....	84
Figura 26 – Inerzia sismica verticale (Condizione 17) .....	87
Figura 27 – Treno sotto (Condizione 36) .....	88
Figura 28 – Folla (Condizione 55) .....	89
Figura 29 – Marciapiedi (Condizione 50) .....	90



## INDICE TABELLE

Tabella 1. Caratteristiche di base dei materiali geotecnici .....	14
Tabella 2. Caratteristiche di progetto dei materiali geotecnici .....	15
Tabella 3. Caratteristiche di progetto dei materiali geotecnici utilizzati nel calcolo .....	15
Tabella 4. Definizione dello spessore equivalente delle paratie in pali .....	16
Tabella 5. Caratteristiche di progetto dei materiali geotecnici utilizzati nel calcolo .....	17
Tabella 6. Valori dei coefficienti di spinta di riferimento per l'analisi .....	17
Tabella 7. Definizione dello spessore equivalente delle paratie in pali .....	40
Tabella 8. Caratteristiche di progetto dei materiali geotecnici utilizzati nel calcolo .....	40
Tabella 9. Valori dei coefficienti di spinta di riferimento per l'analisi .....	41
Tabella 10. Combinazioni di carico per analisi strutturale .....	61
Tabella 11 – Caratteristiche sezioni di calcolo .....	67
Tabella 12 – Condizioni di carico elementari per inviluppo Variabili e coefficienti moltiplicativi .....	71
Tabella 13 – Condizioni di carico elementari per inviluppo Eccezionali e coefficienti moltiplicativi .....	72
Tabella 14 – Condizioni di carico elementari per inviluppo Fessurazione e coefficienti moltiplicativi .....	72
Tabella 15 – Condizioni di carico elementari per inviluppo Tensioni e coefficienti moltiplicativi .....	73
Tabella 16 – Set e gruppi di carico utilizzati per la definizione delle combinazioni di carico .....	74
Tabella 17 – Parametri del terreno .....	77
Tabella 18 – Spinta terreno DX K0 falda alta (Condizione 61) .....	77
Tabella 19 – Spinta terreno SX K0 falda alta (Condizione 60) .....	78
Tabella 20 – Incremento spinta terreno sismica SX associata alla Spinta terreno SX falda alta (Condizione 14) .....	81
Tabella 21 – Incremento spinta terreno sismica DX associata alla Spinta terreno DX falda alta (Condizione 15) .....	82



## 1. INTRODUZIONE

Il sottovia autostradale interessa il tratto compreso fra le progressive Km 44+135 e 44+209 ed è costituito da uno scatolare di dimensioni interne pari a 10.50 m x 8.15 m con uno sviluppo longitudinale di 76.5 m. I piedritti sono costituiti da berlinesi di pali  $\Phi$  1200 mentre il solettone inferiore è spesso 120 cm e quello superiore 140 cm. La quota di estradosso del solettone di copertura si trova ad una profondità variabile tra 2.65 e 3.00 m dal piano autostradale.

Il presente documento riporta le valutazioni ed i calcoli condotti per il dimensionamento delle opere strutturali e geotecniche nell'ambito della realizzazione dell'opera alla WBS GA1N realizzate attraverso elementi strutturali in calcestruzzo ed acciaio.

## 2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Il progetto è eseguito nel rispetto della seguente normativa:

**(01) Legge 5/11/1971, n. 1086** “Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica”

**(02) D.M. 11/03/1988** “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”

**(03) D.M. 09/01/1996** “Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche”

**(04) D.M. 16/01/ 1996** – “Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche”

**(05) Istruzioni F.S. I/SC/PS-OM/2298** “Sovraccarichi per il calcolo dei ponti ferroviari. Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo”. Testo aggiornato della istruzione n. I/SC/PS-OM/2298 del 2 giugno 1995 completo delle relative integrazioni emanate dall'ASA SERVIZI DI INGEGNERIA delle F.S. del 13.01.1997

**(06) Istruzione F.S. 44b** del 14.11.1996 – “Istruzioni tecniche per manufatti sotto binario da costituirsi in zona sismica”

**(07) ITALFERR SIS. T.A.V.** “Sistema Alta velocità- Manuale di progettazione”

**(08) S.T.I. direttiva 2008/163/CE** – Specifica tecnica di interoperabilità concernente la “sicurezza nelle gallerie ferroviarie” nel sistema ferroviario trans europeo convenzionale e ad alta velocità

**(09) D.M. 09/03/2007** – Prestazioni di resistenza al fuoco delle costruzioni nelle attività soggette al controllo del Corpo nazionale dei vigili del fuoco

**(10) D.M. 28/10/2005** – Sicurezza nelle Gallerie Ferroviarie



**(11) UNI EN 1992-1-2** – Eurocodice 2 Progettazione delle strutture di calcestruzzo Parte 1-2 Regole generali Progettazione strutturale contro l'incendio

**(12) O.P.C.M. 20/03/2003 n.3274** – Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.

### 3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

#### ***Paratie in diaframmi***

- Calcestruzzo: C25/30
- Classe consistenza: S3-S5
- Acciaio barre armatura: B450C
- Copriferro:  $\geq 60$  mm

#### ***Manufatto interno e solette***

- Calcestruzzo: C32/40
- Classe consistenza: S4-S5
- Acciaio barre armatura: B450C
- Copriferro:  $\geq 40$  mm

### 4. CARATTERIZZAZIONE SISMICA

L'opera in oggetto è realizzata in zona sismica 3 ai sensi del O.P.C.M. 20/03/2003 n3274. Stante al comma 5 dell'art.2 del citata ordinanza 3274 del 2003 nel caso di opere progettate con normativa previgente si continua ad eseguire le verifiche sismiche con la normativa precedentemente utilizzata considerando la corrispondenza tra zona 3 e III categoria secondo DM16/01/1996: pertanto nel caso in esame le verifiche sismiche saranno eseguite con l'utilizzo della normativa di cui al DM16/01/1996 in III categoria con  $S=6$ .



## 5. TIPOLOGIA DELLE OPERE IN PROGETTO E FASI REALIZZATIVE PRINCIPALI

Lo scatolare in progetto sarà realizzato con 2 berlinesi di pali trivellati a fango del diametro di 1200 mm e costituiranno i ritti della struttura in progetto.

Si prevede pertanto la seguente procedura operativa:

- Fase 1:
  - o realizzazione di un rilevato autostradale in affiancamento all'esistente lato corsia direzione Milano e deviazione del traffico sul nuovo rilevato lato Milano;
  - o demolizione della pavimentazione per realizzazione pali  $\phi 1200\text{mm}$  in direzione longitudinale all'autostrada;
  - o realizzazione berlinese pali  $\phi 1200\text{mm}$  con relativo cordolo di coronamento lato Genova

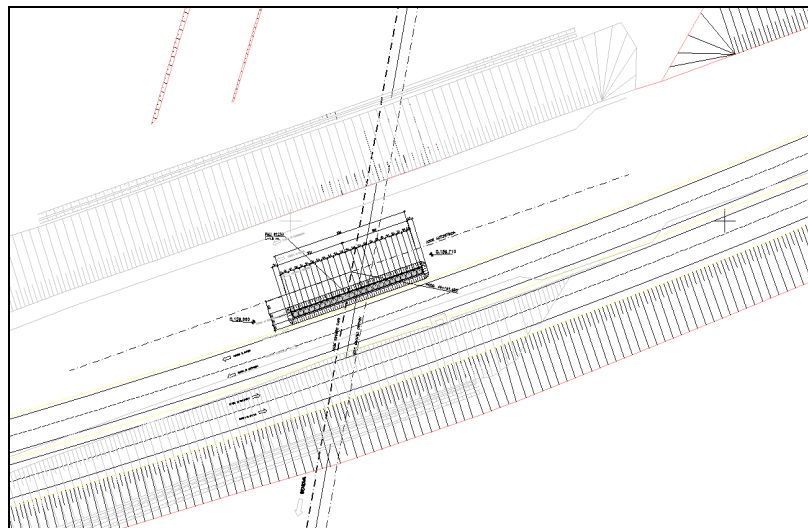
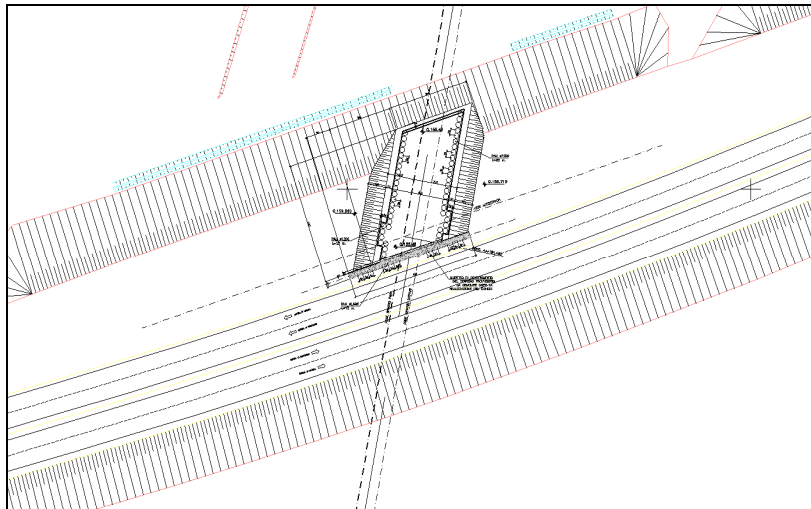


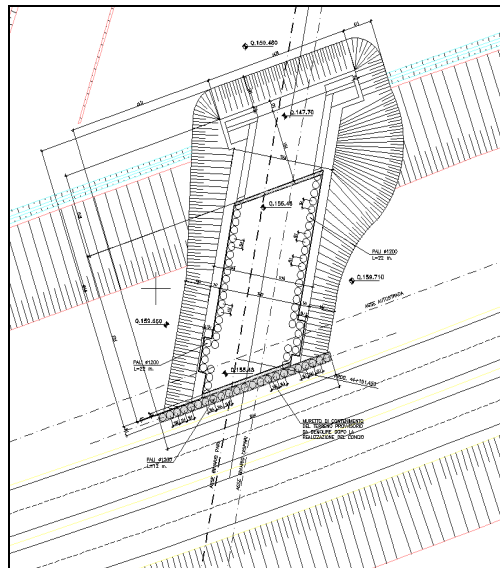
Figura 1. Planimetria fasi realizzative dell'opera. Fase 1

- Fase 2:
  - o demolizione della pavimentazione e substrati nell'impronta realizzativa dello scatolare in direzione trasversale all'autostrada;
  - o realizzazione scavo di primo sbancamento e realizzazione paratia di pali  $\phi 1200\text{mm}$  in direzione trasversale l'autostrada;
  - o realizzazione solettone di copertura poggiate sui pali.



**Figura 2. Planimetria fasi realizzative dell'opera. Fase 2**

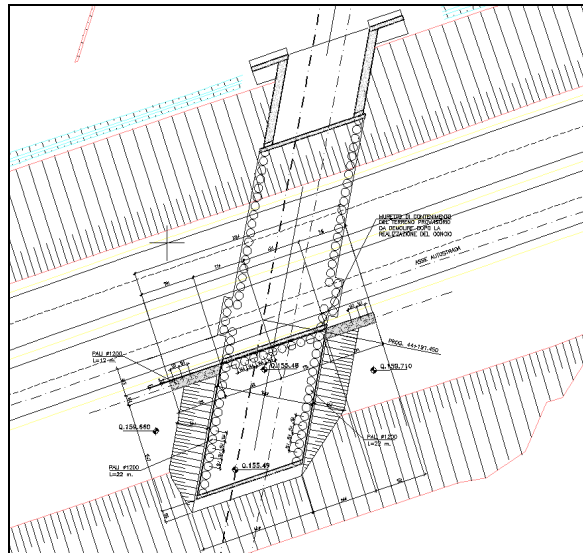
- Fase 3:
  - o esecuzione scavi a cielo aperto per realizzazione muri di imbocco lato Genova;
  - o scavo interno allo scatolare per una profondità di circa 3m;
  - o realizzazione muri imbocco lato Genova;
  - o realizzazione muretto di contenimento provvisorio adiacente a pali posti longitudinalmente all'autostrada.



**Figura 3. Planimetria fasi realizzative dell'opera. Fase 3**

- Fase 4:

- sistemazione rilevato autostradale lato Genova al di sopra del solettone di copertura già realizzato e deviazione traffico autostradale nell'area lato Genova ed inizio dell'esecuzione delle lavorazioni gemelle lato Milano;
- demolizione della pavimentazione e substrati nella zona di realizzazione della porzione di scatolare lato Milano;
- esecuzione del prescavo per l'esecuzione delle palificate;
- realizzazione dei pali  $\phi$  1200mm in direzione trasversale all'autostrada lato Milano;
- demolizione porzione superiore dei pali disposti longitudinalmente all'autostrada, con sede stradale sorretta dal muro in precedenza realizzato;
- realizzazione solettone di copertura poggiante su paratia e pali.



**Figura 4. Planimetria fasi realizzative dell'opera. Fase 4**

- Fase 5:

- esecuzione degli scavi a cielo aperto per gli scavo dell'imbocco dello scatolare lato direzione Milano;
- scavo del terreno al di sotto del solettone di copertura per una profondità di circa 3m;
- realizzazione dei muri lato Milano.

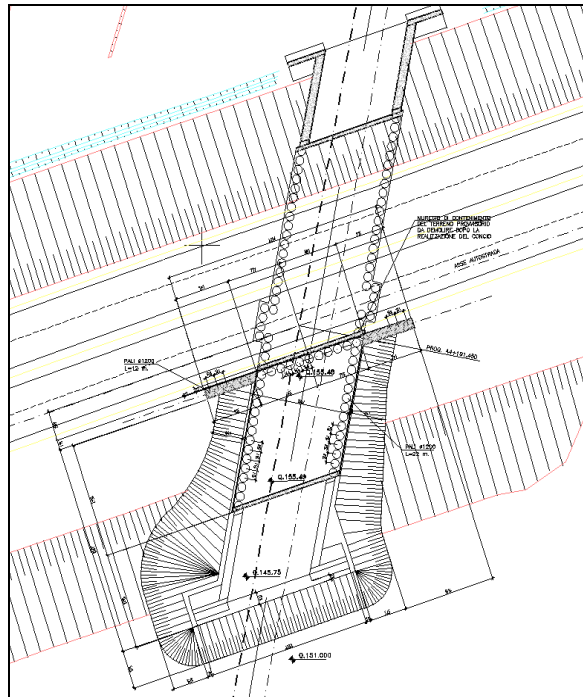


Figura 5. Planimetria fasi realizzative dell'opera. Fase 5

- Fase 6:

- rimozione rilevato provvisorio lato Milano, e sistemazione esecuzione degli scavi a cielo aperto per gli scavo dell'imbocco dello scatolare lato direzione Milano;
- demolizione del muro provvisorio longitudinale;
- sistemazione finale traffico autostradale;
- esecuzione dello scavo all'interno dello scatolare con abbattimento porzione dei pali longitudinali per la porzione all'interno della sezione di scavo dello scatolare;
- esecuzione dello scavo interno allo scatolare sino alla quota di getto solettone di fondo;
- esecuzione del solettone di fondo e delle pareti interne;
- attrezzaggio per il traffico ferroviario all'interno del solettone di fondo.

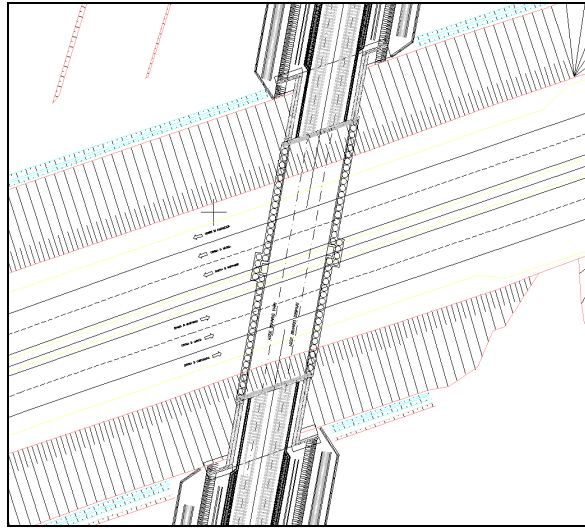


Figura 6. Planimetria fasi realizzative dell'opera. Fase 6

## 6. MODELLAZIONI GEOTECNICO-STRUTTURALI

Le modellazioni eseguite hanno avuto lo scopo di permettere il dimensionamento delle opere strutturali di contenimento delle terre ed eseguire le verifiche geotecniche connesse con tali opere.

### 6.1. Parametrizzazione geotecnica e stratigrafia di progetto

Di seguito si forniscono i parametri di base per i materiali geotecnici nell'area in esame.

Parametri	Formazioni e LS	Formazione GS	Formazione GLA 1	Formazione GA	Formazione GLA 2
Peso di volume $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	18	19 ÷ 20	19 ÷ 20	19 ÷ 20	19 ÷ 20
Densità relativa $D_r$ (%)	-	75 ÷ 95	45 ÷ 90	77 ÷ 87	80 ÷ 90
Angolo di resistenza al taglio operativo $\phi'$ (°)	28 ÷ 30	40 ÷ 45	37 ÷ 45	41 ÷ 42	42
Velocità delle onde di taglio $V_s$ (m/s)(2)	-	175 ÷ 225 (1)	190 ÷ 305 (1)	285 ÷ 295 (1)	315 + 2.1 z(1)
Modulo di taglio a piccole deformazioni $G_0$ per materiali granulari (MPa)	-	60 ÷ 105 (2)	75 ÷ 195 (2)	165 ÷ 180 (2)	200
Modulo di Young a piccole deformazioni $E_0$ per materiali granulari (MPa)	-	160 ÷ 265 (2)	190 ÷ 500 (2)	435 ÷ 465 (2)	520 + 5.20 z (2)

- (1) Valori delle velocità delle onde di taglio ricavate dai dati SPT secondo la correlazione di Ohta e Goto.
- (2) Valori crescenti con la profondità.

**Tabella 1. Caratteristiche di base dei materiali geotecnici**

Nel calcolo delle opere di sostegno tipo paratie, tirantate e non, si adotteranno valori del modulo di deformabilità pari a circa 1/3÷1/5 di quelli iniziali a piccole deformazioni.

Nel calcolo dei cedimenti della galleria artificiale si adotteranno valori del modulo di deformabilità pari a circa 1/10 di quelli iniziali a piccole deformazioni.

Per quanto sopra, la parametrizzazione dei terreni risulta come di seguito riportato.

Parametri	Formazione	Formazione	Formazione	Formazione	Formazione
	LS	GS	GLA 1	GA	GLA 2
Peso di volume $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	18	19	20	20	20
Densità relativa $D_r$ (%)	-	75 ÷ 95	45 ÷ 90	77 ÷ 87	80 ÷ 90
Angolo di resistenza al taglio operativo $\phi'$ (°)	28	40	40	41	42
Modulo di deformabilità operativo E per materiali granulari (MPa), calcolati con riferimento al valore medio di $E_o$ ed un fattore di riduzione pari a 5	20	42.5	69	90	104+1*z
Modulo di deformabilità operativo E per materiali granulari (MPa), calcolati con riferimento al valore medio di $E_o$ ed un fattore di riduzione pari a 10	10	21.25	34.5	45	57+0.5*z

**Tabella 2. Caratteristiche di progetto dei materiali geotecnici**

La stratigrafia di progetto che illustra i rapporti opere-terreni è stato dedotta dal profilo geotecnico-geologico lungo la tratta in esame.

Lo scavo, come evidenziato nell'introduzione, interessa altresì il rilevato autostradale, che viene quindi compreso nella descrizione dei materiali.

Terreno	Sigla	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi'$ (°)	$E_{op}$ (MPa)	$E_{UR}$ (MPa)
Rilevato autostradale	Ril	18	0.0	35	15	$E_{op} * 1.6$
Ghiaia sabbiosa	GS/GLA	19	0.0	40	40	$E_{op} * 1.6$
Stratosuperficiale	LS	18	0.0	28	20	$E_{op} * 1.6$

**Tabella 3. Caratteristiche di progetto dei materiali geotecnici utilizzati nel calcolo**

dove

- $\gamma$  = peso dell'unità di volume del terreno;  
 $c'$  = coesione in termini di pressioni effettive;  
 $\phi'$  = angolo di attrito in termini di pressioni effettive;



$E_{op}$  = modulo di deformabilità operativo in corrispondenza della curva di compressione vergine;

$E_{UR}$  = modulo di deformabilità operativo in corrispondenza di cicli di scarico/carico (unloading/reloading).

## 6.2. Dimensionamento paratie in pali. Struttura di contenimento delle terre trasversale all'autostrada

Il presente capitolo ha per oggetto i calcoli geotecnici ed il dimensionamento delle opere fondazionali necessarie alla realizzazione dello scatolare.

I pali  $\phi = 1.2$  m della berlinese hanno una lunghezza totale di 22 m e sono posti ad interasse di 1.3 m.

Lo schema statico adottato è quello corrispondente alla situazione reale nella condizione più sfavorevole, cioè considera la paratia secondo un metodo di calcolo iterativo che simula le varie fasi realizzative, partendo da quella geostatica iniziale, attraverso gli scavi successivi, nonché l'inserimento di sovraccarichi di monte che simulano carichi dovuti alla presenza di mezzi di cantiere.

Il calcolo, condotto con codice di calcolo PARATIE, tiene conto della deformabilità della paratia e delle caratteristiche elastoplastiche del terreno.

Essendo opere provvisorie non si è ritenuto necessario eseguire anche la verifica sismica.

La simulazione numerica è quella offerta dal metodo di analisi agli elementi finiti monodimensionali.

La parete flessibile è schematizzata da elementi tipo trave ("beam") verticali.

La struttura resistente è schematizzata attraverso un elemento a rigidità flessionale equivalente (di importanza prevalente rispetto alla rigidità assiale), secondo la modalità di calcolo sotto riportata

Raggio pali	R	0.6	m	
interasse	i	1.3	m	
Inerzia palo	J	0.1018	m <sup>4</sup>	$=\pi/4 \cdot R^4$
Inerzia a metro	Junitaria	0.0783	m <sup>4</sup> /m	$=J/i$
Spessore struttura equivalente	Heq	0.979	m	$= (12 \cdot Junitaria / B = 1)^{(1/3)}$

**Tabella 4. Definizione dello spessore equivalente delle paratie in pali**

Gli elementi di contrasto della spinta delle terre hanno proprietà meccaniche caratteristiche del calcestruzzo C25/30.

Gli orizzontamenti hanno caratteristiche geometriche differenti in funzione dello spessore strutturale (1.40m per il solettone di copertura e 1.20 per il solettone di fondo) e proprietà meccaniche caratteristiche del calcestruzzo C28/35

Il terreno è simulato attraverso un letto di molle elastoplastiche connesse agli stessi nodi della parete, le cui proprietà sono funzione delle caratteristiche dei materiali geotecnici, che sono di seguito riportati e risultano coerenti con quelli in precedenza definiti.



Terreno	Termine	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi'$ (°)	$E_{op}$ (MPa)	$E_{UR}$ (MPa)
Rilevato autostradale	Ril	18	0.0	35	15	$E_{op} * 1.6$
Ghiaia sabbiosa	GS/GLA	19	0.0	40	40	$E_{op} * 1.6$
Stratosuperficiale	LS	18	0.0	28	20	$E_{op} * 1.6$

**Tabella 5. Caratteristiche di progetto dei materiali geotecnici utilizzati nel calcolo**

dove

$\gamma$  = peso dell'unità di volume del terreno;

$c'$  = coesione in termini di pressioni effettive;

$\phi'$  = angolo di attrito in termini di pressioni effettive;

$E_{op}$  = modulo di deformabilità operativo in corrispondenza della curva di compressione vergine;

$E_{UR}$  = modulo di deformabilità operativo in corrispondenza di cicli di scarico/carico (unloading/reloading);

Inoltre per l'utilizzo del programma di calcolo è stato assunto  $\delta = 1/2\phi$  in condizioni statiche e  $\delta = 0$  in quelle dinamiche (sisma di 3° categoria).

I valori dei coefficienti di spinta utilizzati sono di seguito riportati, utilizzano le formulazioni di Muller Breslau per la spinta attiva in condizioni statiche e sismiche e per la spinta sismica in condizioni sismiche, mentre per la spinta passiva in condizioni statiche è stato utilizzato il metodo di Lancellotta (2007). Si evidenzia che i coefficienti utilizzati risultano coerenti od inferiori a quelli di PD.

La valutazione delle condizioni di spinta a riposo sono definite attraverso il metodo di Jaky (1943)

Terreno	Termine	$K_0$	$K_a$	$K_p$	$K_{as}$
		$(=1-\text{sen}\phi)$	$\delta/\phi=0.5$	$\delta/\phi=0.5$	$\delta/\phi=0$
Rilevato autostradale	Ril	0,426	0,235	5,937	0,29
Ghiaia sabbiosa	GS/GLA	0,357	0,187	8,378	0,236
Strato superficiale	LS	0.426	0.317	3.812	0.39

**Tabella 6. Valori dei coefficienti di spinta di riferimento per l'analisi**

L'analisi viene realizzata basandosi sulla quota di riferimento della testa della struttura, ovvero circa 3m al di sotto del piano autostradale.

I sovraccarichi agenti lateralmente nella fase di scavo risultano così definiti:

- peso proprio corrispondente allo spessore di 3m di terreno:  $+18*3m$ ;

- sovraccarico accidentale mezzi d'opera: viene conservativamente valutato pari a 20kPa.

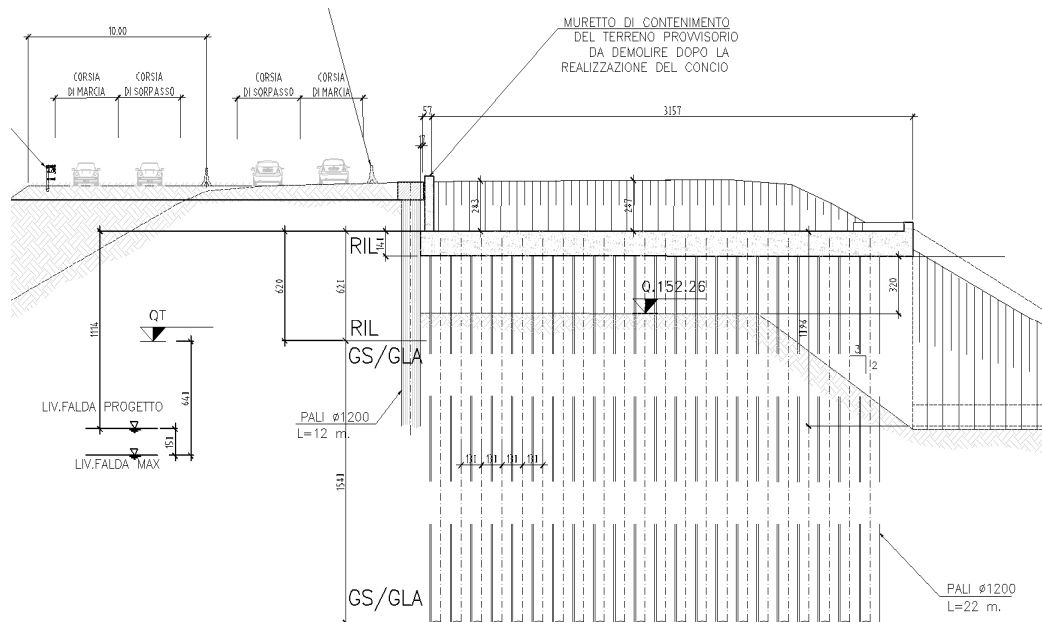
I sovraccarichi agenti lateralmente nella fase finale risultano così definiti:

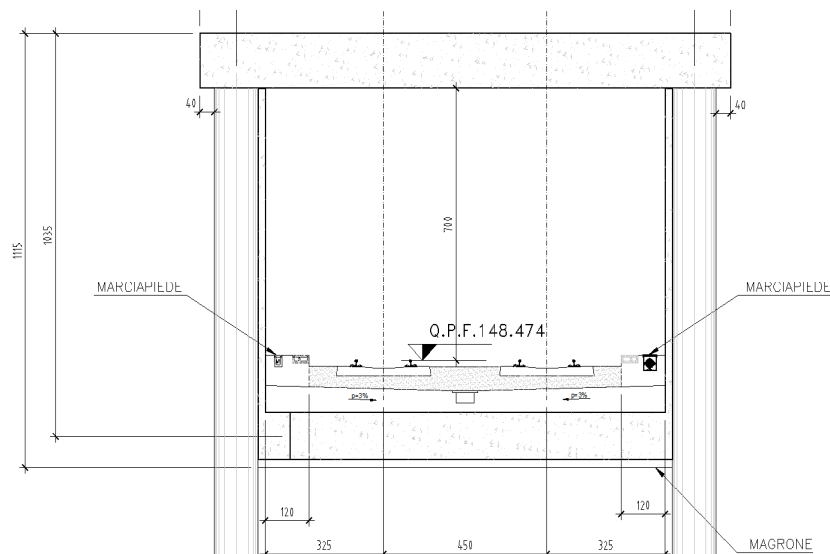
- peso proprio corrispondente allo spessore di 3m di terreno:  $+18 \cdot 3\text{m}$ ;
- sovraccarico accidentale stradale definito come massimo fra:
  - o carico  $q_{1a}$  pari a 600kN su di un'impronta  $2\text{m} \cdot (1.5+1.5)\text{m}$ , che diffuso a  $45^\circ$  per una profondità di 3m determina un sovraccarico accidentale pari a  $\phi \cdot 600 / (2+2 \cdot 3) / (3+2 \cdot 3) = 1.37 \cdot 600 / 8 / 9 = 11.4\text{kPa}$ ;
  - o carico  $q_{1b}$  pari a 30kN lineare, che si distribuisce alla profondità di 3m su di un'impronta di  $6\text{m} \cdot 1\text{m}$  su di un'impronta  $2\text{m} \cdot (1.5+1.5)\text{m}$  e determina un sovraccarico accidentale pari a  $\phi \cdot 30 / 6 / 1 = 1.37 \cdot 30 / 6 / 1 = 6.85\text{kPa}$ ;
  - o 20kPa.

Il valore di calcolo, quindi, risulta quindi pari al massimo medesimo adottato per la fase temporanea.

La stratigrafia corrisponde alla seguente condizione:

- rilevato: potenza 6.20m da tetto modello;
- materiale GS-GLA per lo strato sottostante.





**Figura 7. Caratteristiche geometriche degli scavi e delle opere in progetto**

Le condizioni della falda mostrano come il livello massimo risulti localizzato a -6.40-6.80m da p.c., ad un livello quindi inferiore a quello degli scavi. Sulla scorta di tale informazione viene adottato un livello di progetto localizzato ad una quota di 2m sopra il precedente livello, andando a lambire il fondo dello scavo.

L'elemento resistente è simulato attraverso una struttura ad inerzia flessionale equivalente come sopra indicato.

Le modellazioni hanno fatto riferimento alle seguenti condizioni:

- modello SLE: modello con carichi nominali, in cui le sollecitazioni risultanti dal punto di vista strutturali non risultano amplificate;
- modello SLU: modello con carichi permanenti nominali e carichi variabili amplificati per il coefficiente 1.5/1.4 uguale al rapporto fra i coefficienti di combinazione fra carichi variabili e carichi permanenti. Da un punto di vista strutturale i risultati ottenuti vengono amplificati per un fattore pari a 1.4, pari al coefficiente di combinazione dei carichi permanenti. In sintesi, è prassi comune per gli scavo fra paratie applicare i fattori di amplificazione dei carichi sulle risultanze di un'analisi nominale, opportunamente modificata nei valori dei carichi variabili al fine di tenere conto del differente valore dei coefficienti amplificativi.

Per la condizione in esame, risulta evidente che la variazione della solo valore di carico veicolare determinerebbe un incremento del sovraccarico da 74kPa a 75.5kPa, con una variazione assolutamente trascurabile anche alla luce delle assunzioni a favore di sicurezza condotte per la definizione dell'entità del carico variabile.

La verifica in condizioni sismiche viene condotta attraverso un approccio statico equivalente, come di seguito riportato:

- modificando i valori dei coefficienti di spinta delle terre solo per la condizione di spinta passiva, ed aggiungendo un'azione su di un lato della struttura secondo la teoria di Wood (essendo la struttura

vincolata dal punto di vista della libertà di spostamento), dove l'azione complessiva è funzione del quadrato dell'altezza della struttura e del valore del coefficiente sismico:

- o categoria sismica terza  $S=6$
- o coefficiente sismico  $C=(6-2)/100=0.04$ ;
- o Coefficiente di risposta  $R=1.0$  (sistema vincolato con limitata possibilità di dissipazione tramite spostamento);

Si evidenzia, inoltre, che l'area in esame risulta in categoria 4, ed è stata assunta la categoria 3 in ragione di prescrizioni differenti dalla normativa nazionale.

L'incremento di spinta dinamica è individuato come la differenza di forza agente per la condizione sismica e quella statica, con particolare riferimento alla condizione di spinta attiva:

$$\Delta F_{sism} = F_{(ka \text{ con } \delta/\phi=0)}^{sismica} - F_{(ka \text{ con } \delta/\phi=0.5)}^{statica}$$

Tale azione viene ripartita secondo un andamento triangolare rovesciato.

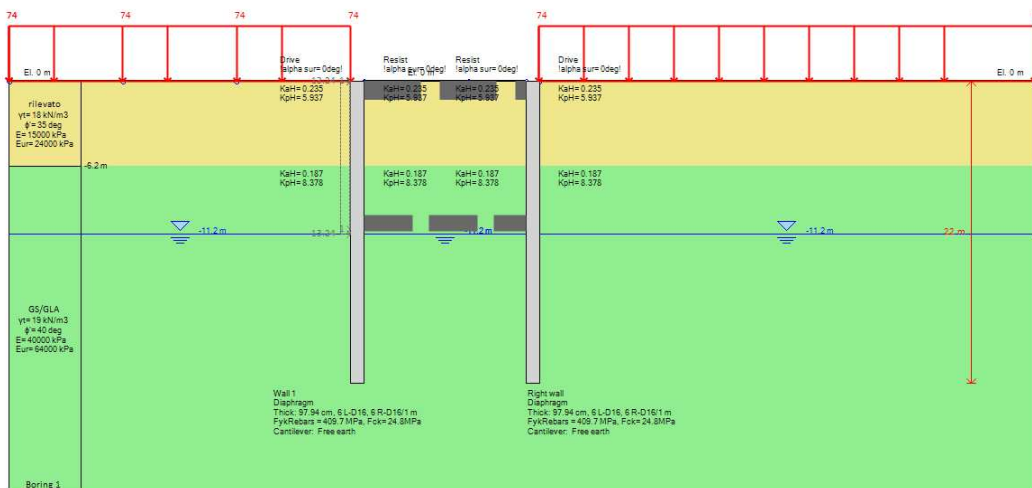
- applicando una forza che tiene conto dell'inerzia dell'elemento strutturale, applicata in posizione baricentrica dell'elemento.

Si evidenzia, inoltre, che l'area in esame risulta in categoria 4, ed è stata assunta la categoria 3 in ragione di prescrizioni differenti dalla normativa nazionale.

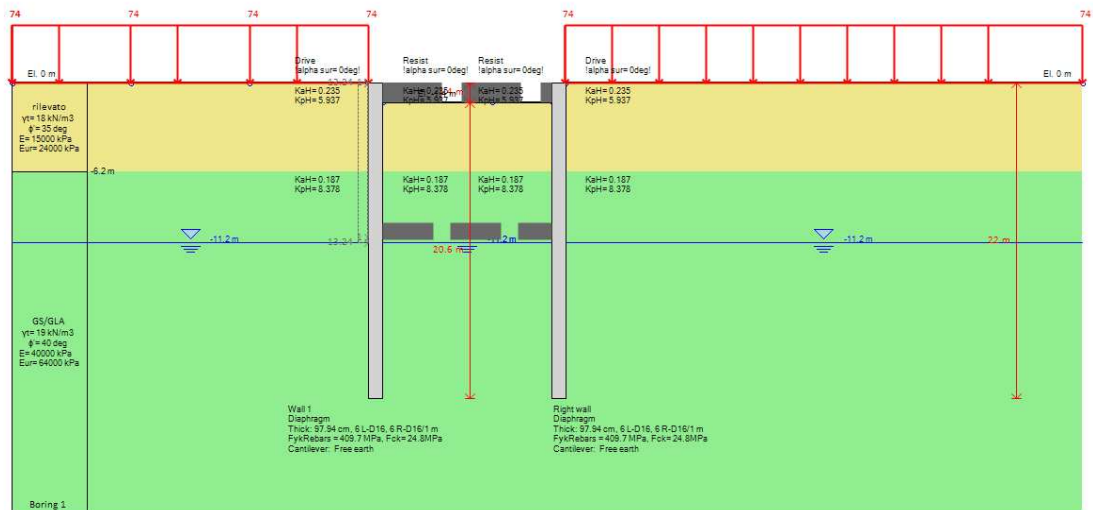
### 6.2.1. Descrizione delle fasi di simulazione. Modello 1

Viene di seguito riportata la descrizione delle fasi di calcolo per l'analisi numerica condotta, con riferimento alla stratigrafia di progetto in precedenza indicata.

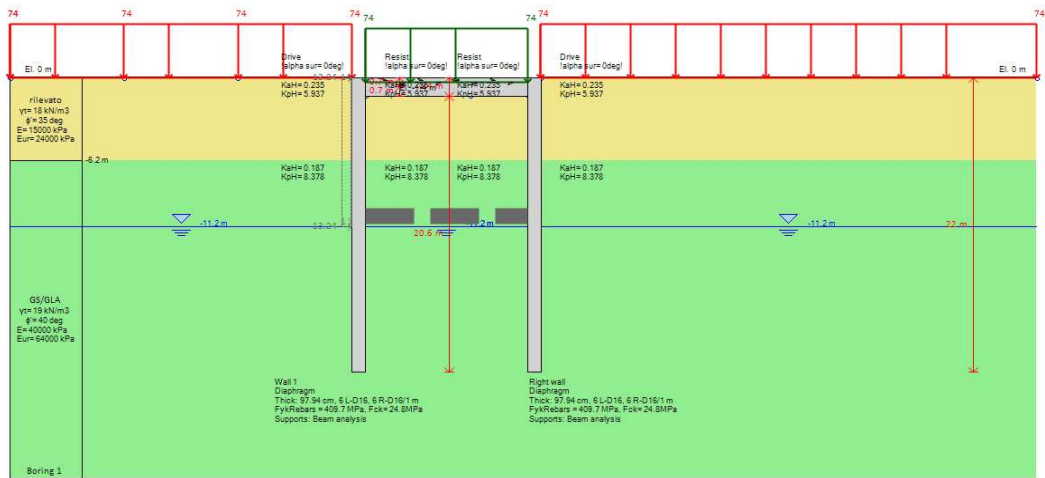
- stage 0: condizione geostatica, con applicazione carico terreno e sovraccarichi;



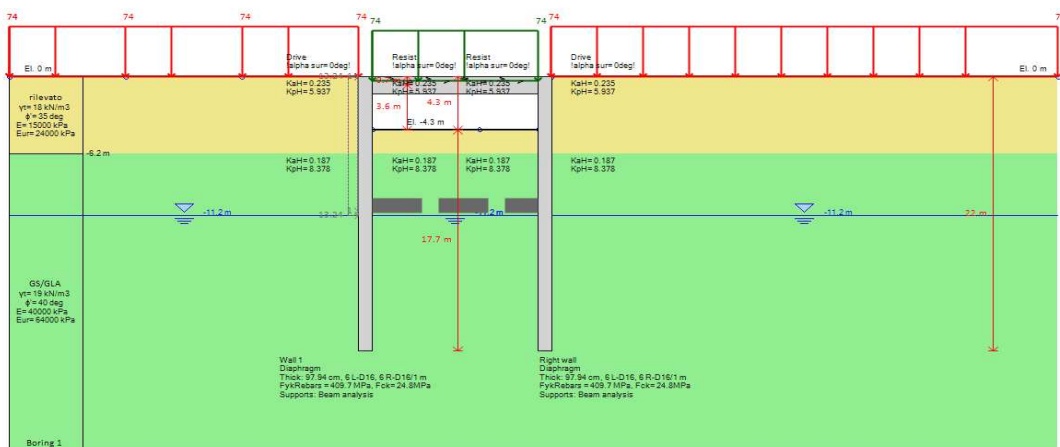
- stage 1: attivazione paratia e scavo per realizzazione solettone di copertura (z=-1.4m);



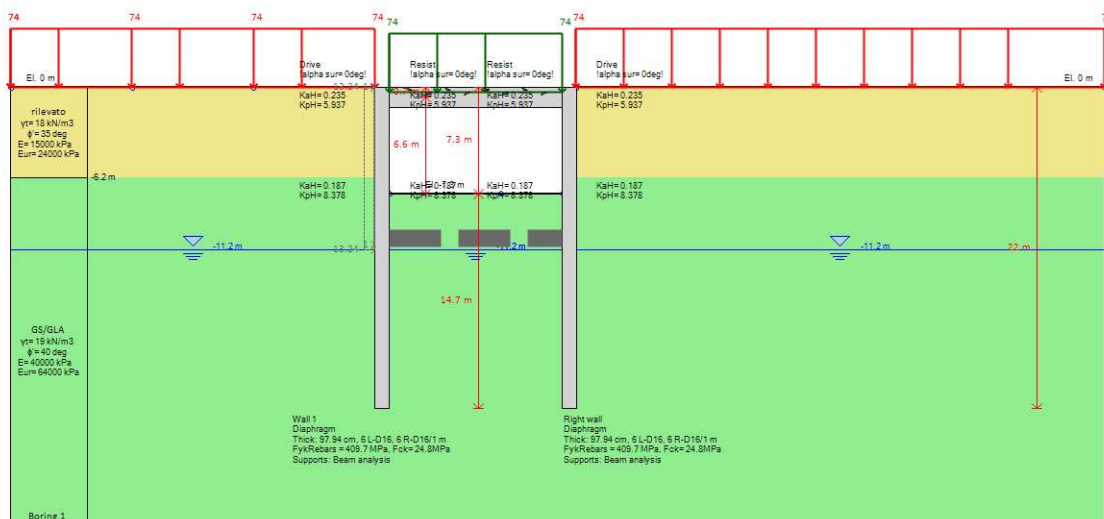
- stage 2: attivazione elemento soletta di copertura (sp. 1.4m, z=-0.70m);



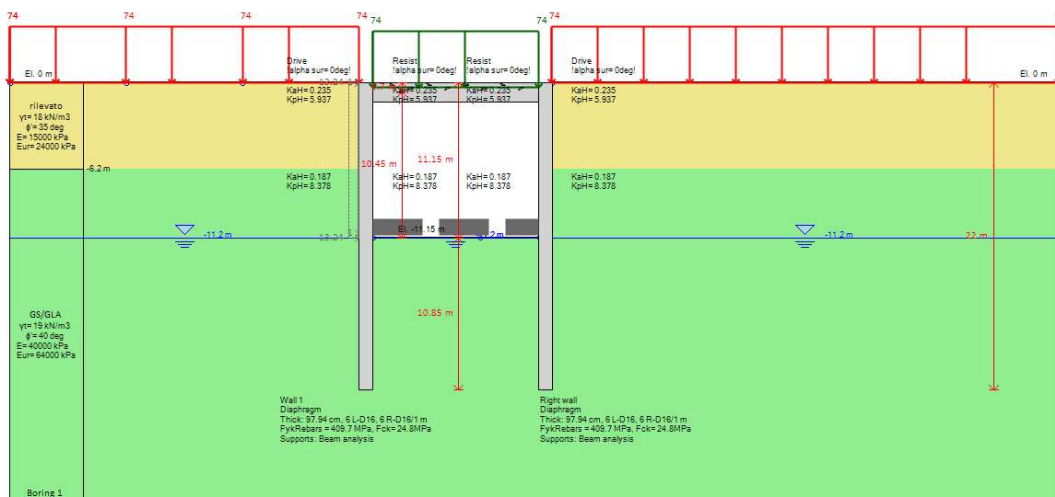
- stage 3: scavo intermedio a quota z=-4.3m;



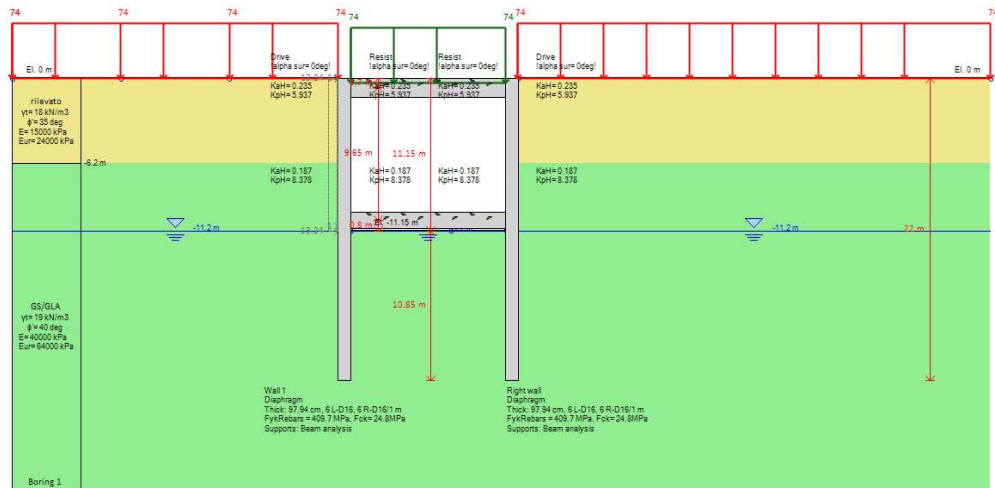
- stage 4: scavo intermedio a quota  $z=-7.3\text{m}$ ;



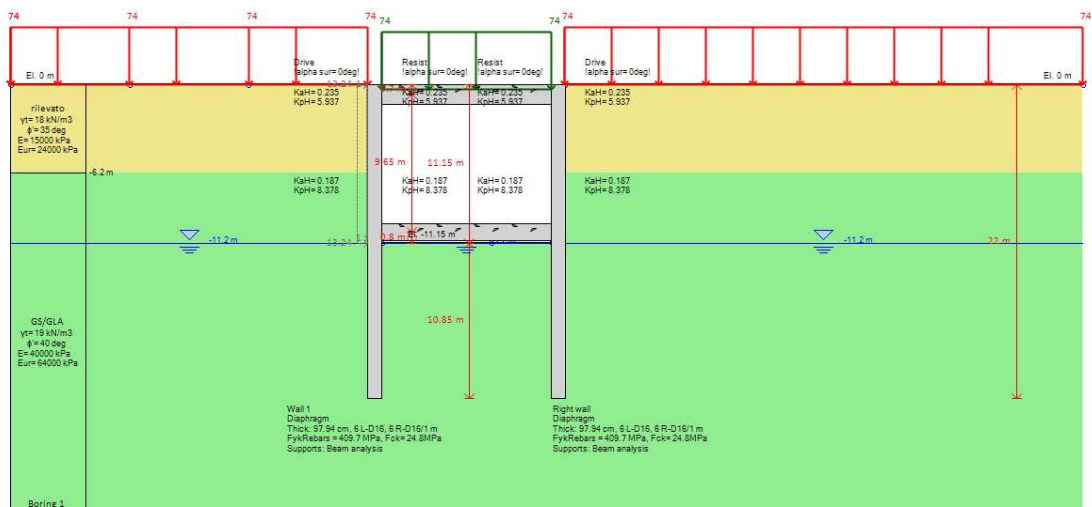
- stage 5: scavo alla quota finale  $z=-11.15\text{m}$ ;



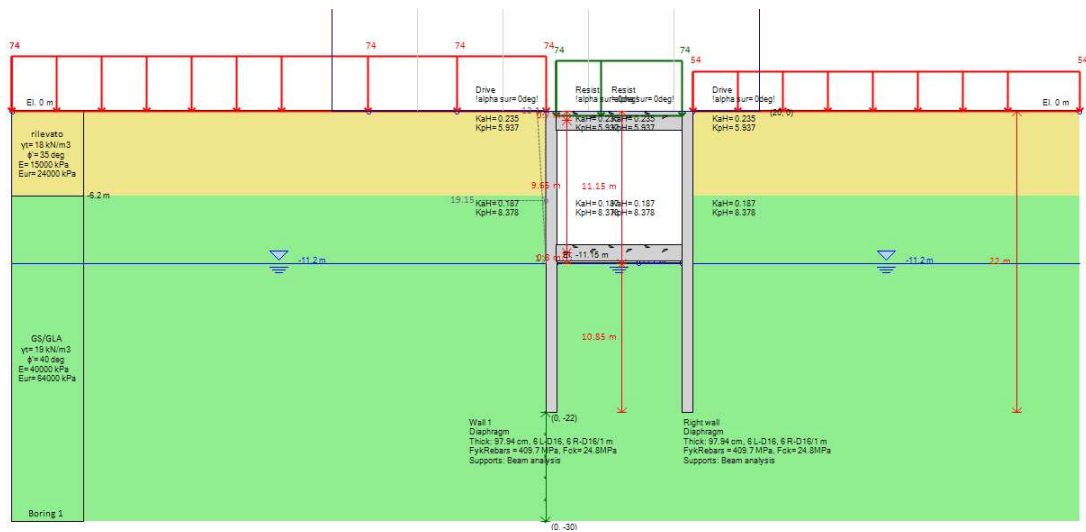
- stage 6: attivazione solettone di fondo alla quota z=-10.35m;



- stage 7: condizione di lungo termine, con carico agente ai due lato della struttura finita;



- stage 8: condizione di lungo termine, con carico agente in corrispondenza di un solo lato della struttura finita;



- stage 9: applicazione spinta sismica, con carico stradale agente in corrispondenza di un solo lato della struttura finita (massimo grado di dissimmetria).

L'azione sismica è calcolata nel seguente modo (per semplicità ed in ragione dell'orizzonte interessato dalla struttura scatolare si è fatto riferimento ai materiali GL1-4:

$$\Delta k_{as} = k_{as} - k_a = 0.29 - 0.235 = 0.055 \quad (\text{il calcolo di } k_{as} \text{ è funzione di } C)$$

Altezza riferimento: 11.5m

Peso materiale:  $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$

$$\Delta F_{\text{sismica}} = 1/2 * \gamma * \Delta k_{as} * H^2 = 65 \text{ kN/m}$$

da cui le pressioni per lo schema di spinta triangolare

$$q_{\text{inf}} = 0$$

$$q_{\text{sup}} = 2 * 65 / 11.15 = 11.7 \text{ kPa}$$

La forza inerziale è calcolata come:

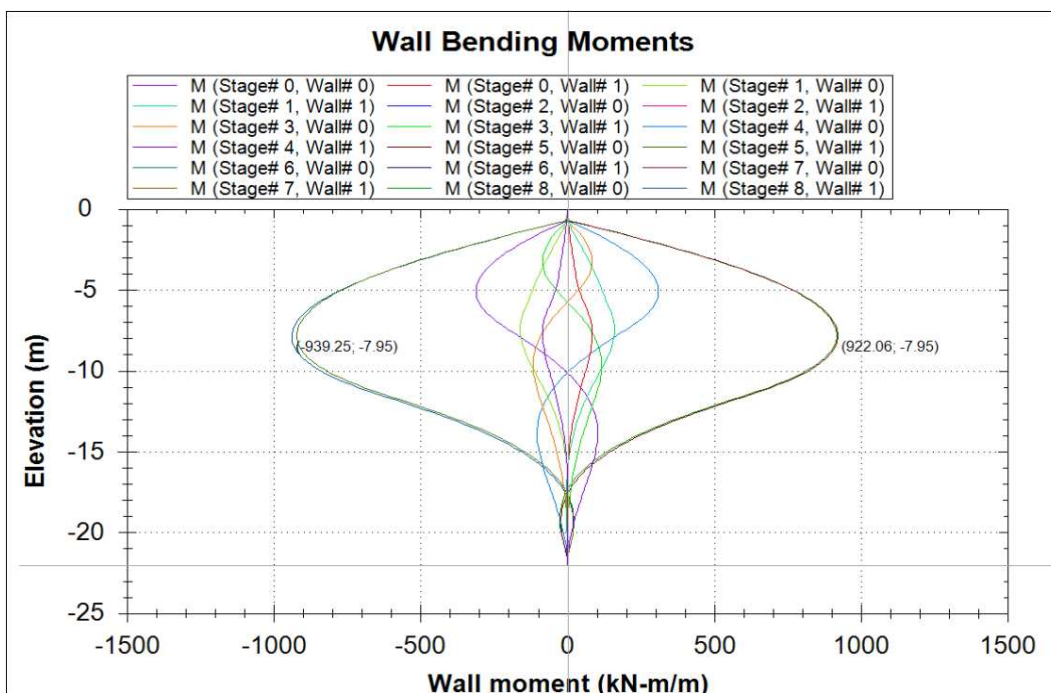
$$F_{\text{inerziale}} = 25 * 1.0 * 22 * 0.04 = 19.15 \text{ kN/m}$$

applicata a metà dell'altezza della struttura interna ( $Z = -6.52$ )

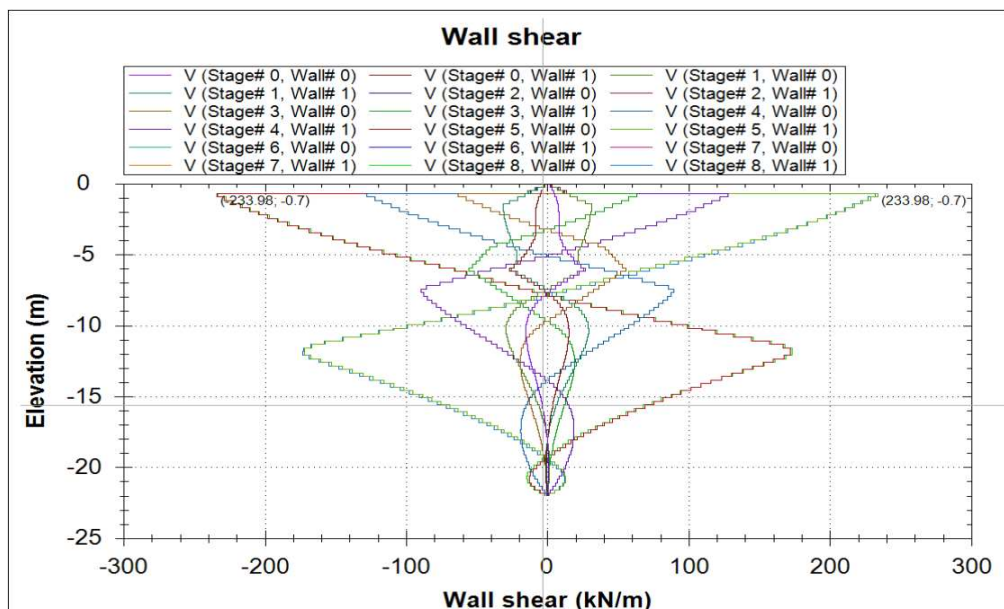
### 6.2.2. Risultati dell'analisi modello 1

Vengono di seguito riportati i risultati dell'analisi per le condizioni SLE.

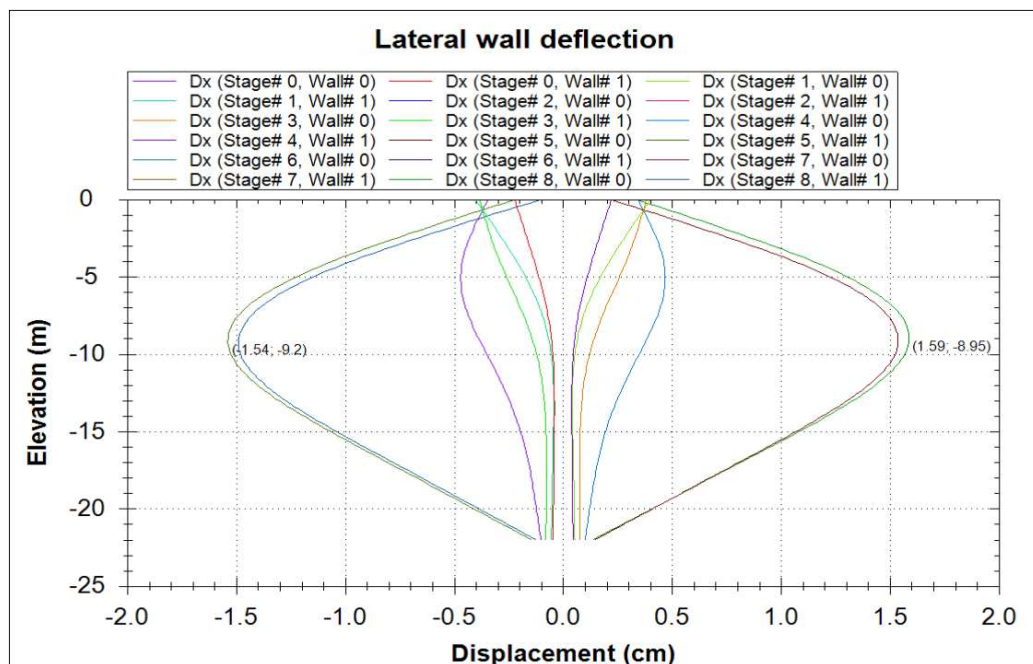




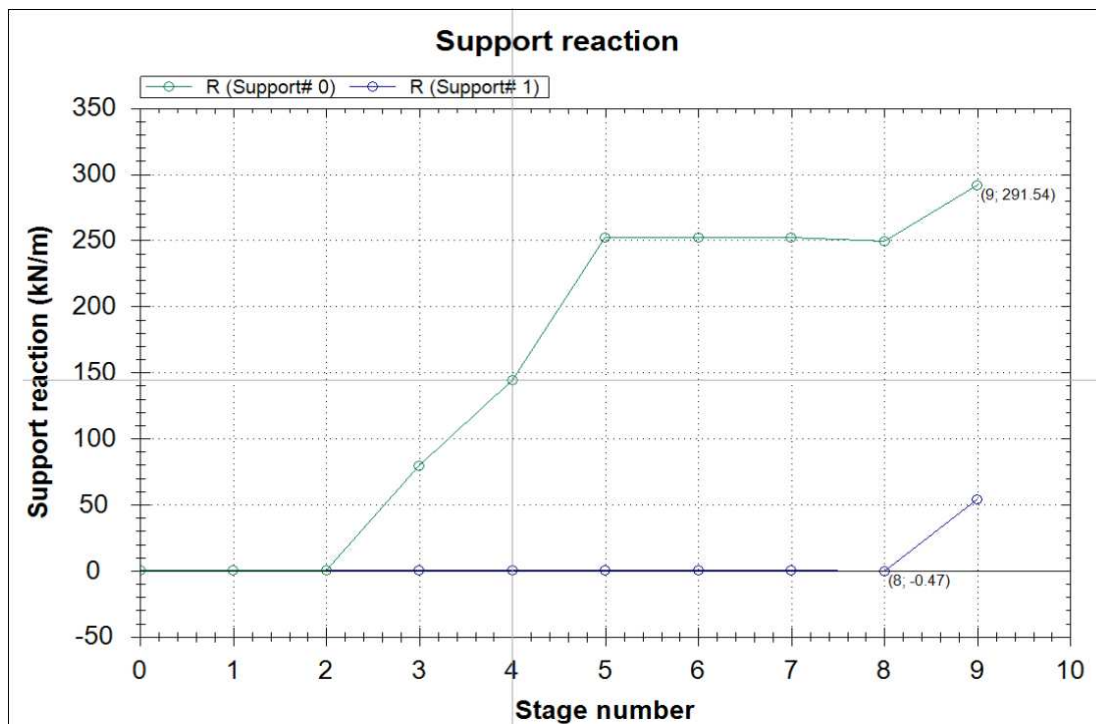
Il valore massimo del momento flettente risulta pari a 939 kNm/m alla profondità di 7.95m dalla cima della struttura,



Lo sforzo di taglio massimo alla base della soletta di copertura risulta pari a 222kN/m

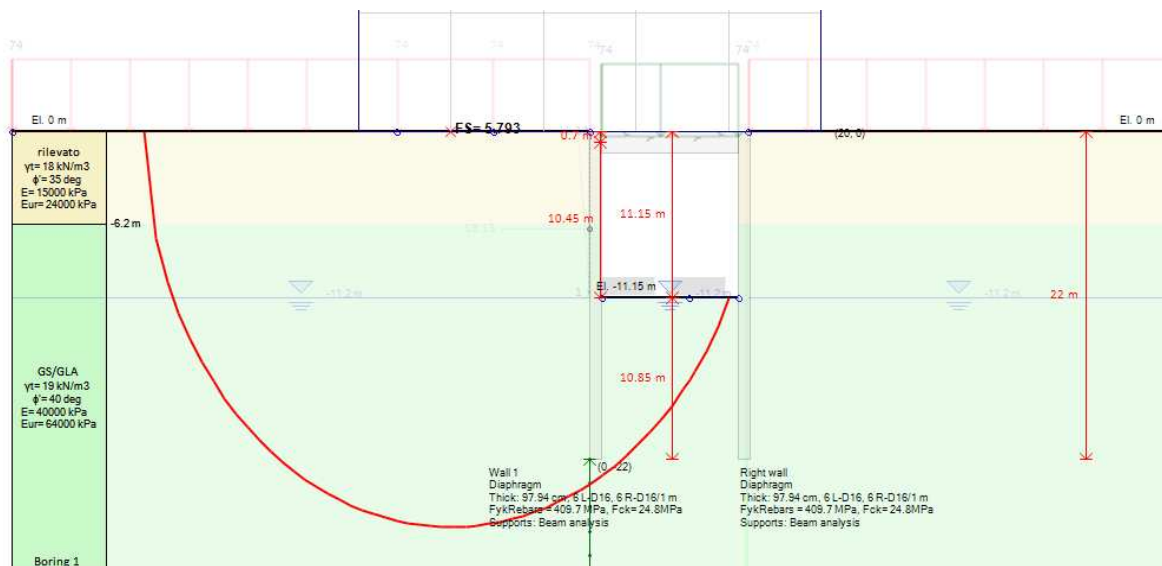


I valori di spostamento laterale risultano inferiori a 2cm.



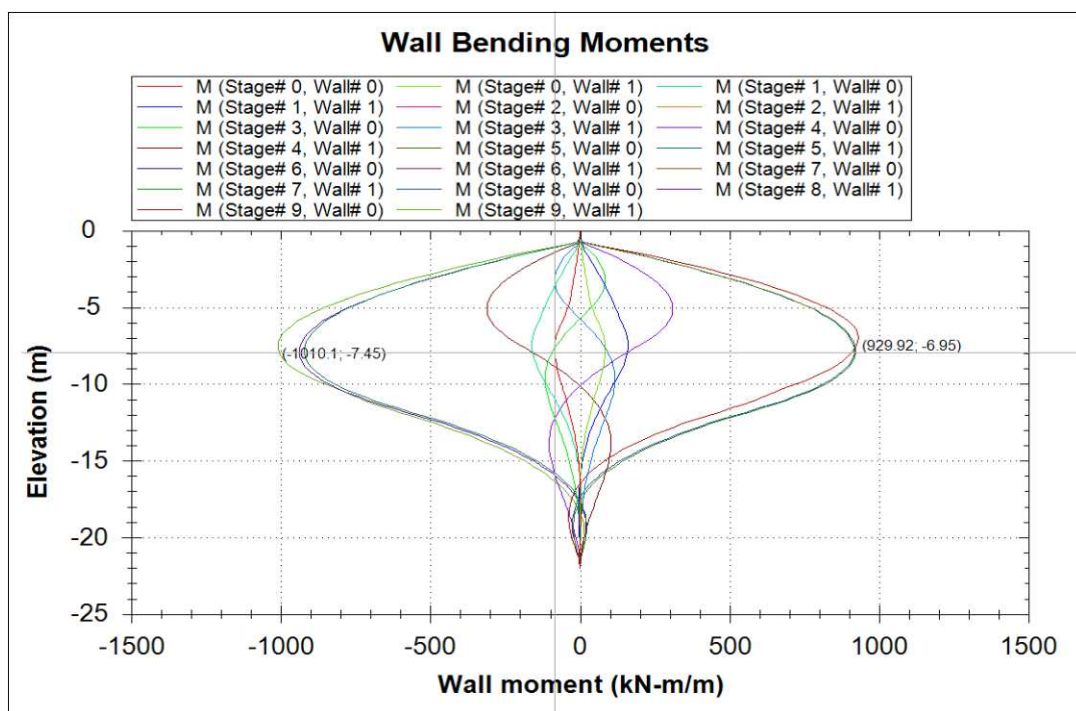


Il valore del fattore di sicurezza sulla spinta passiva è oltre 5, per cui la limitazione di tale componente risulta inferiore al 60% (25% circa per il caso in esame).

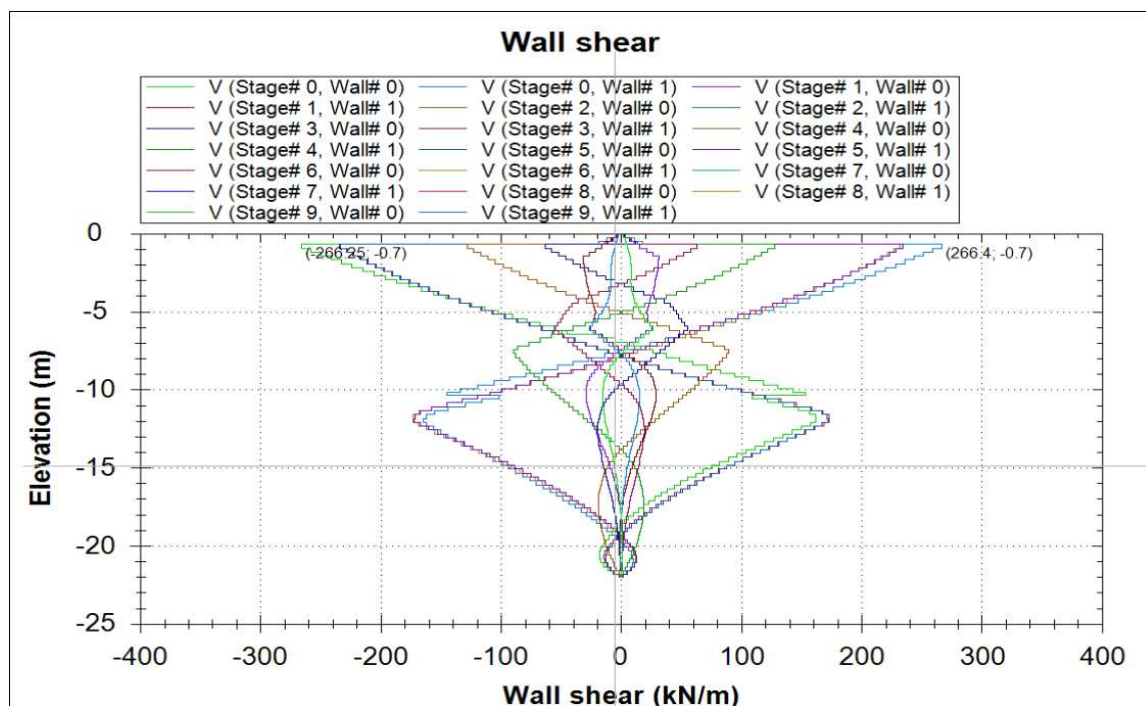


Il fattore di sicurezza alla stabilità globale per la condizione più gravosa è pari a 5.7, maggiore del fattore di sicurezza richiesto dalla normativa (1.30).

Vengono di seguito riportati i risultati dell'analisi per le condizioni statica e Sismica



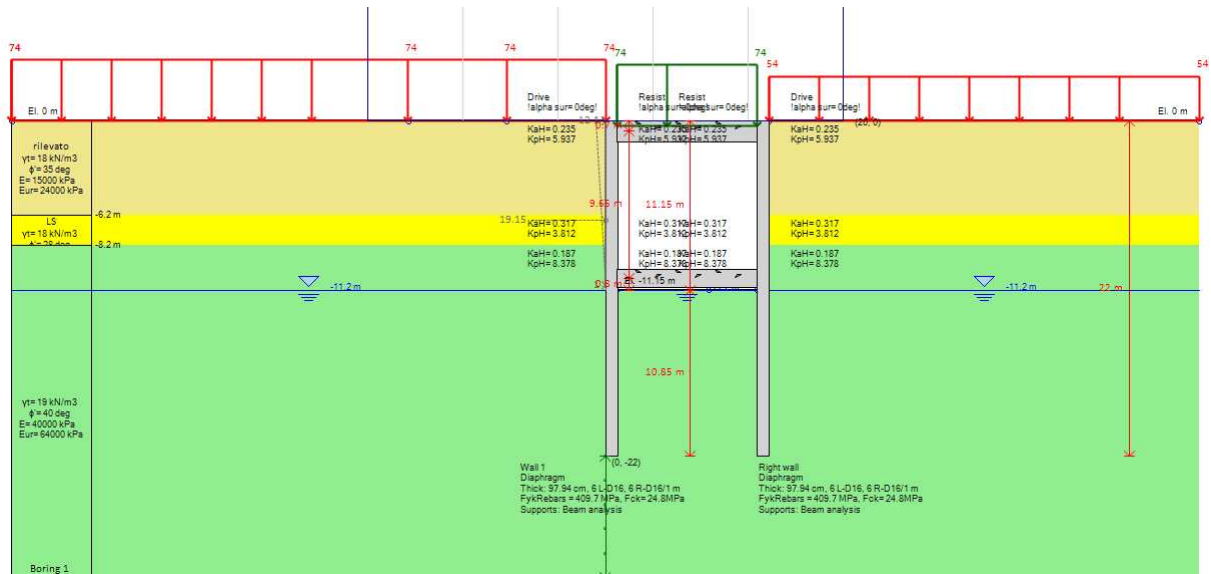
L'incremento di momento flettente dovuto al sisma risulta dell'ordine di 60 kNm/m (corrispondente a circa il 6%). La condizione dunque non risulta dimensionante.



L'incremento dello sforzo tagliante dovuto al sisma risulta concentrato nella zona superficiale, mantenedosi tuttavia su valori modesti (252 kN/m) alla base della soletta di copertura.

### 6.2.3. Descrizione delle fasi di simulazione. Modello 2

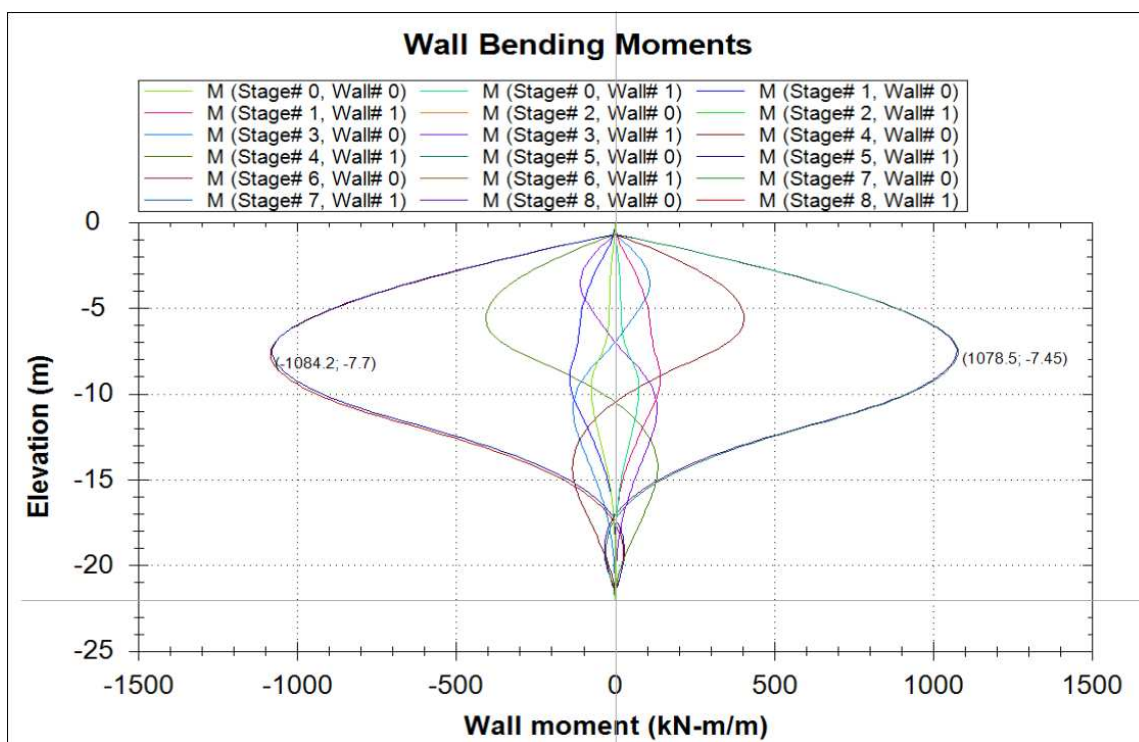
Il modello 2 fa riferimento alla condizione limite in cui non sia stata condotta la bonifica dello strato al di sotto della sede autostradale. In tale ambito viene previsto l'inserimento dello strato LS fra il rilevato e la formazione GS, come visibile nella figura seguente.



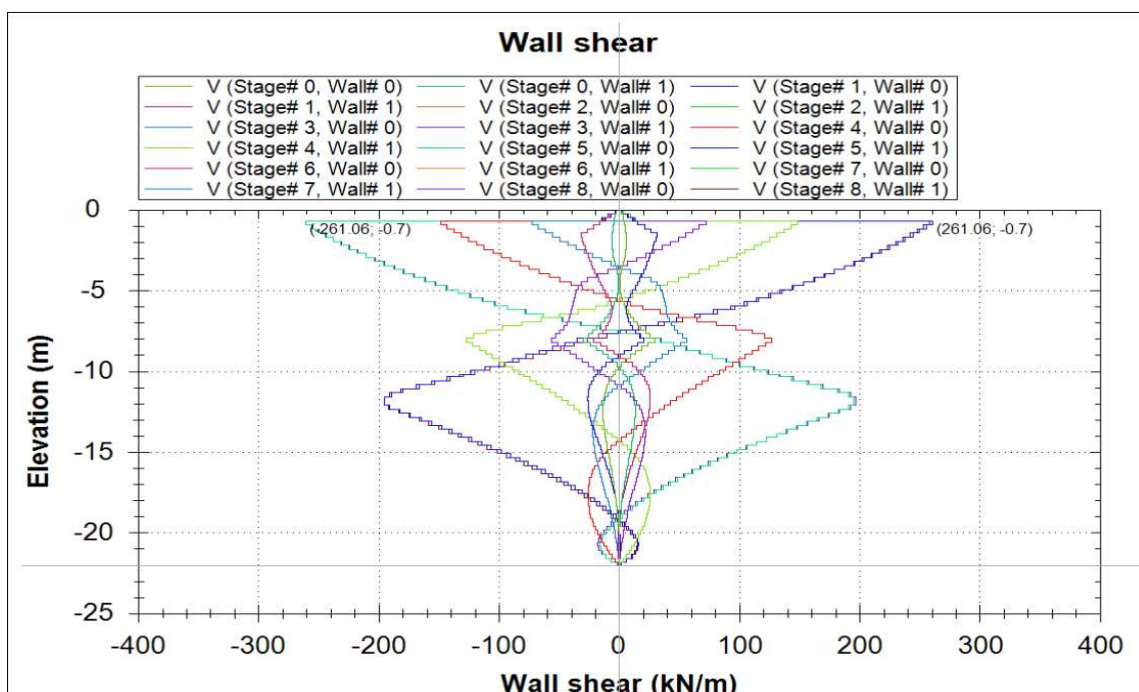
Le fasi di modellazione non subiscono modifiche rispetto al modello precedente, mentre l'azione sismica subisce una modesta variazione nel coefficiente  $k_{as}$  che viene ora mediato in maniera pesata fra gli strati negli 11.15m di spessore, fornendo un valore di  $\Delta k_{as}$  pari a 0.057 in luogo del valore 0.055 precedente. L'intero valore utilizzato per la pressione triangolare nell'analisi precedente risulta soddisfare il valore di calcolo anche per questa analisi.

### 6.2.4. Risultati dell'analisi modello 2

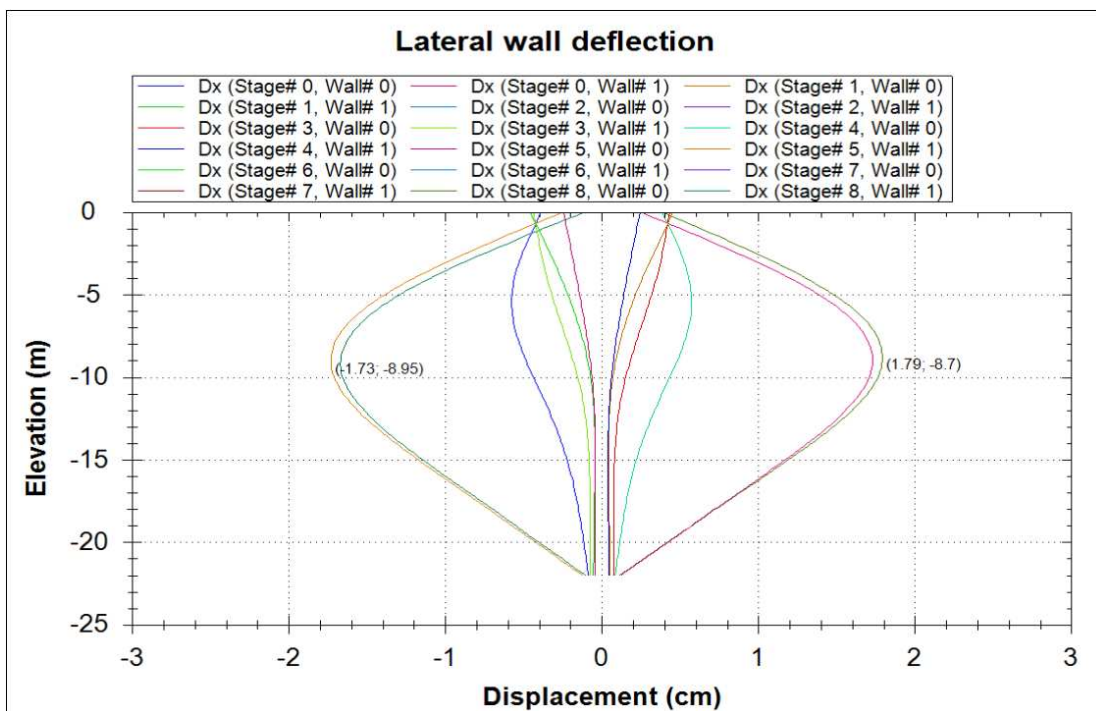
Vengono di seguito riportati i risultati dell'analisi per le condizioni SLE.



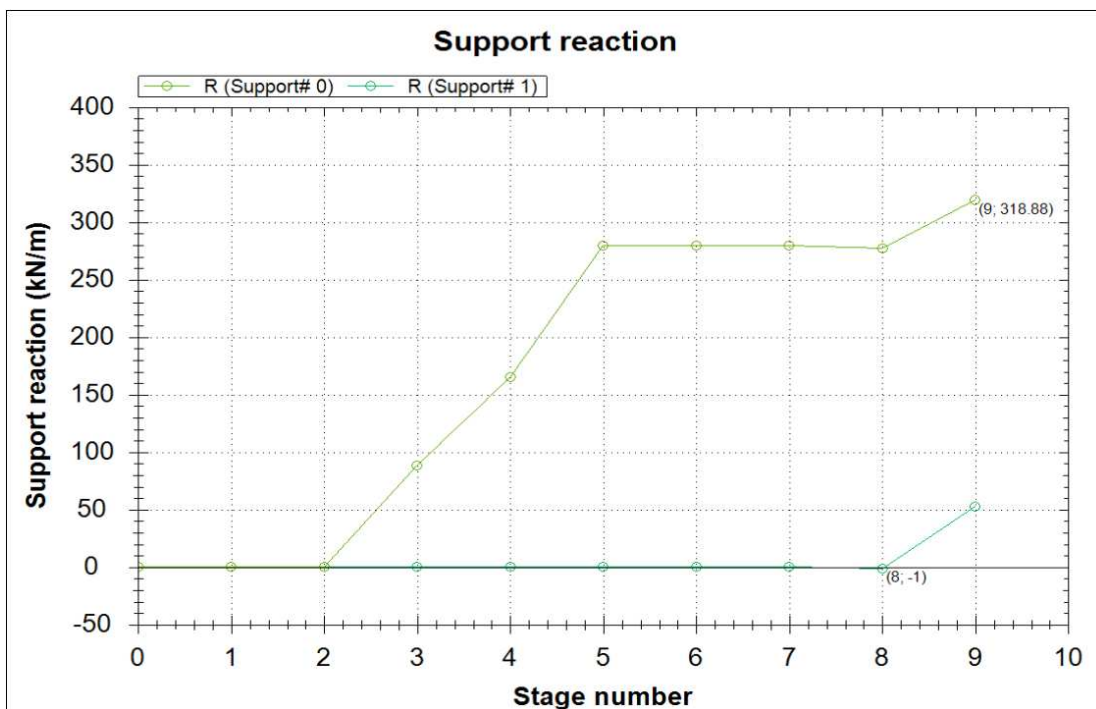
Il valore massimo del momento flettente risulta pari a 1084 kNm/m alla profondità di 7.7m dalla cima della struttura,



Lo sforzo di taglio massimo alla base della soletta di copertura risulta pari a 244kN/m

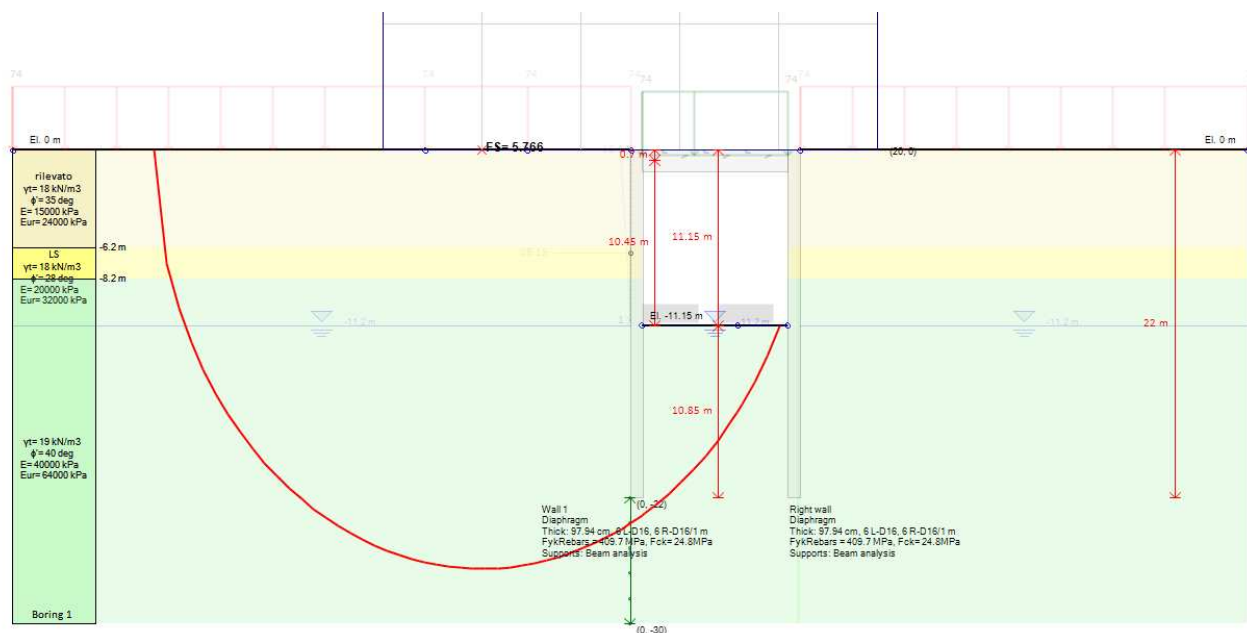


I valori di spostamento laterale risultano inferiori a 2cm.





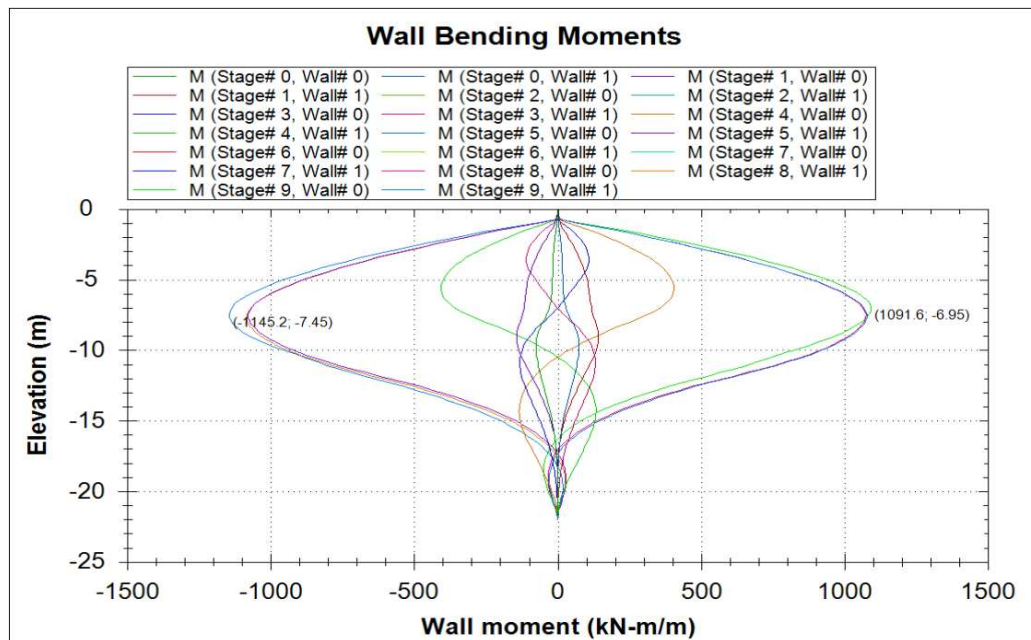
Il valore del fattore di sicurezza sulla spinta passiva è oltre 5, per cui la limitazione di tale componente risulta inferiore al 60% (25% circa per il caso in esame).



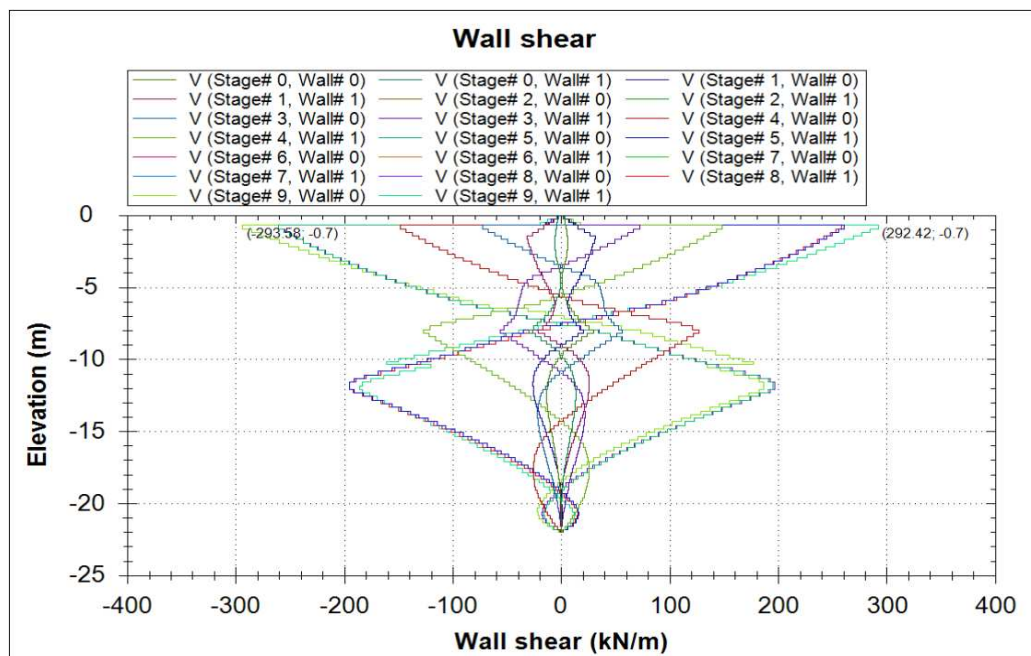
Il fattore di sicurezza alla stabilità globale per la condizione più gravosa è pari a 5.7, maggiore del fattore di sicurezza richiesto dalla normativa (1.30)



Vengono di seguito riportati i risultati dell'analisi per le condizioni statica e Sismica



L'incremento di momento flettente dovuto al sisma risulta dell'ordine di 60 kNm/m (corrispondente a circa il 5%). La condizione dunque non risulta dimensionante.



L'incremento dello sforzo tagliante dovuto al sisma risulta concentrato nella zona superficiale, mantenendosi tuttavia su valori modesti (266 kN/m) alla base della soletta di copertura.



### 6.2.5. Verifiche strutturali

Seguono le verifiche strutturali per l'elemento strutturale palo, sulla base delle caratteristiche seguenti:

- palo lunghezza 22m e diametro 1.20m;
- Profondità gabbia n. 1 fino a 10.5m da intradosso solettone di copertura;
- Gabbia n.2 a partire dal termine della prima gabbia, con lunghezza netta di 10m (considerando la sovrapposizione con la precedente).
- Gabbia n.3: gabbia terminale

Il rinforzo è descritto di seguito:

- Armatura di forza gabbia n.1:
  - o esterna 35  $\phi$  24
  - o interna: 35  $\phi$  24
- Armatura di forza gabbia n.2:
  - o esterna 35  $\phi$  24
  - o interna: 7  $\phi$  24
- Armatura di forza gabbia n.3:
  - o 13  $\phi$ 20

Le verifiche vengono condotte con riferimento al modello 2: essendo in questo caso la struttura definitiva ed in ragione alla comunque non eccezionale differenza di sollecitazioni fra i due modelli analizzati, si ritiene opportuno operare attraverso l'utilizzo della condizione più conservativa.

#### 1.1.1.1 Verifica a pressoflessione

Per la condizione SLE il valore del momento massimo per la gabbia 1 risulta pari a:

$$M=1084\text{kNm/m alla quota del modello } z=-7.7\text{m}$$

$$M_d=1084 \cdot i_{\text{pali}}=1084\text{kNm/m} \cdot 1.3\text{m}=1409 \text{ kNm/palo}$$

$$N_d=(7.7\text{m}-1.4\text{m}) \cdot 3.14/4 \cdot (1.2\text{m})^2 \cdot 25 \text{ kN/m}^3 + 1.3\text{m} \cdot (14.6\text{m}/2) \cdot 1.4\text{m} \cdot 25 \text{ kN/m}^3 +$$

$$1.3\text{m} \cdot (14.6\text{m}/2) \cdot 18\text{kN/m}^3 \cdot 3\text{m}=+178+332.1+512.5=1022.6 \text{ kN/palo}$$

La verifica è di seguito condotta (Presfle file: palo1\_01\_sle\_24flx), utilizzando le sollecitazioni precedenti moltiplicate per la larghezza del pannello:

$$\sigma_{\text{max}}=7.75 \text{ MPa} < \sigma_{\text{amm}} 0.45 \cdot 0.83 \cdot 30=11.2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\max} = 132.9 \text{ MPa} < \sigma_{\text{amm}} = 0.7 \cdot 450 = 315 \text{ MPa}$$

$$W_m = 0.0832 \text{ mm}$$

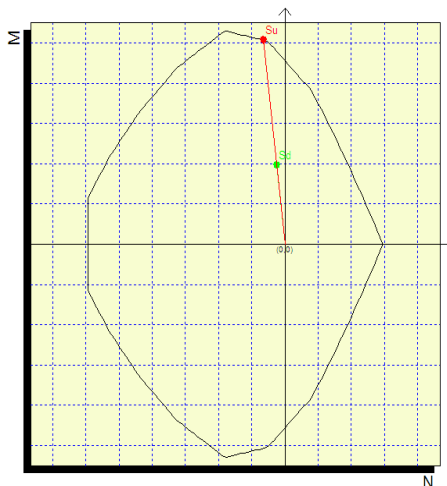
$$W_k = 0.142 \text{ mm} < 0.10 \cdot 1.5 = 0.15 \text{ mm}$$

Le verifiche risultano soddisfatte

Viene di seguito riportata la verifica SLU:

$$M_d = 1409 \cdot 1.4 = 1972 \text{ kNm/palo}$$

$$N_d = 1022.6 \text{ kN/palo}$$

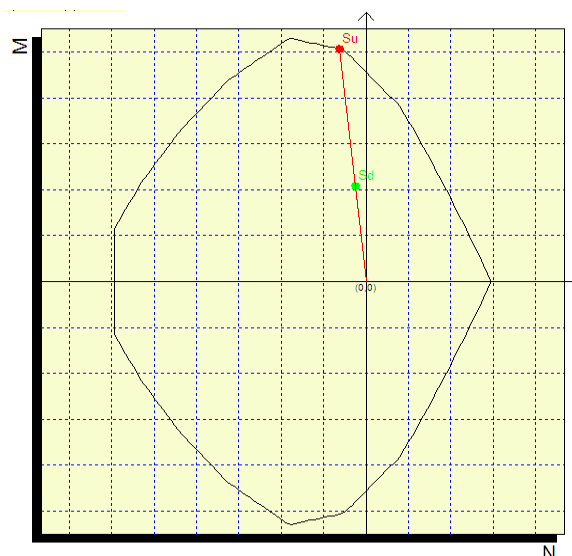


Il punto di verifica è localizzato all'interno del dominio di resistenza. La verifica risulta soddisfatta-

Per la condizione sismica

$$M_d = 1145.2 \cdot 1.3 \cdot 1.4 = 2084.26 \text{ kNm/palo}$$

$$N_d = 1022.6 \text{ kN/palo}$$



Il punto di verifica è localizzato all'interno del dominio di resistenza. La verifica risulta soddisfatta-

Le verifiche sopra riportate confermano come la condizioni STR e Sismica non risultino dimensionanti per l'opera in esame, governando il dimensionamento la limitazione delle tensioni.

Per la condizione SLE il valore del momento massimo per la gabbia 2 risulta pari a:

$$M=843\text{kNm/m alla quota del modello } z=-10.5\text{m}$$

$$M_d=843 \cdot i_{\text{pali}}=843\text{kNm/m} \cdot 1.3\text{m}=1096 \text{ kNm/palo}$$

$$N_d=(10.5\text{m}-1.4\text{m}) \cdot 3.14/4 \cdot (1.2\text{m})^2 \cdot 25 \text{ kN/m}^3 + 1.3\text{m} \cdot (14.6\text{m}/2) \cdot 1.4\text{m} \cdot 25 \text{ kN/m}^3 +$$

$$1.3\text{m} \cdot (14.6\text{m}/2) \cdot 18\text{kN/m}^3 \cdot 3\text{m} = +257 + 332.1 + 512.5 = 1102.76 \text{ kN/palo}$$

La verifica è di seguito condotta (Presfle file: palo1\_02\_sle\_24flx), utilizzando le sollecitazioni precedenti moltiplicate per la larghezza del pannello:

$$\sigma_c \text{ max} = 7.34 \text{ MPa} < \sigma_c \text{ amm } 0.45 \cdot 0.83 \cdot 30 = 11.2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s \text{ max} = 129.2 \text{ MPa} < \sigma_s \text{ amm} = 0.7 \cdot 450 = 315 \text{ MPa}$$

$$W_m = 0.0872 \text{ mm}$$

$$W_k = 0.148 \text{ mm} < 0.10 \cdot 1.5 = 0.15 \text{ mm}$$

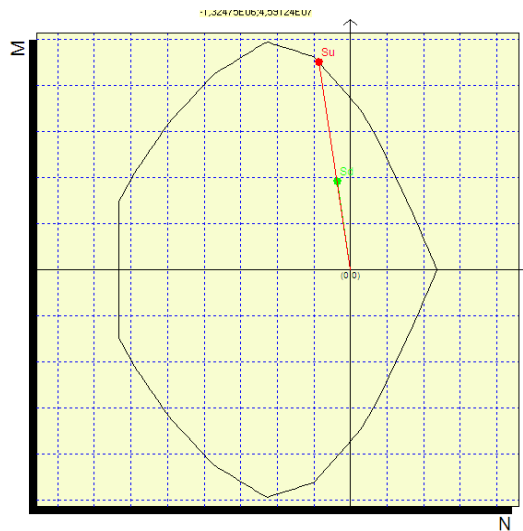
Le verifiche risultano soddisfatte

Viene di seguito riportata la verifica SLU:

$$M_d = 1096 \cdot 1.4 = 1534 \text{ kNm/palo}$$

$$N_d = 1102.76 \text{ kN/palo}$$

Il punto di verifica è localizzato all'interno del dominio di resistenza. La verifica risulta soddisfatta-



Per la gabbia n.3 l'entità dei momenti flettenti risultano limitati e la sezione non fessurata.

Viene rispettata l'armatura minima:

$$13\phi 20 = 40.82 \text{ cm}^2 > 0.003A_c = 33.9 \text{ cm}^2$$

### 1.1.1.2 Verifica a taglio

La verifica al taglio viene effettuata in corrispondenza del contatto fra soletta di copertura e palo, ad una profondità  $z = -1.4\text{m}$ .

Il valore di riferimento in tali condizioni risultano:

$$T = 244 \text{ kN/m} \quad a = z = -1.4\text{m}$$

$$T_d = T \cdot i = 244 \cdot 1.3 = 317 \text{ kN/palo}$$

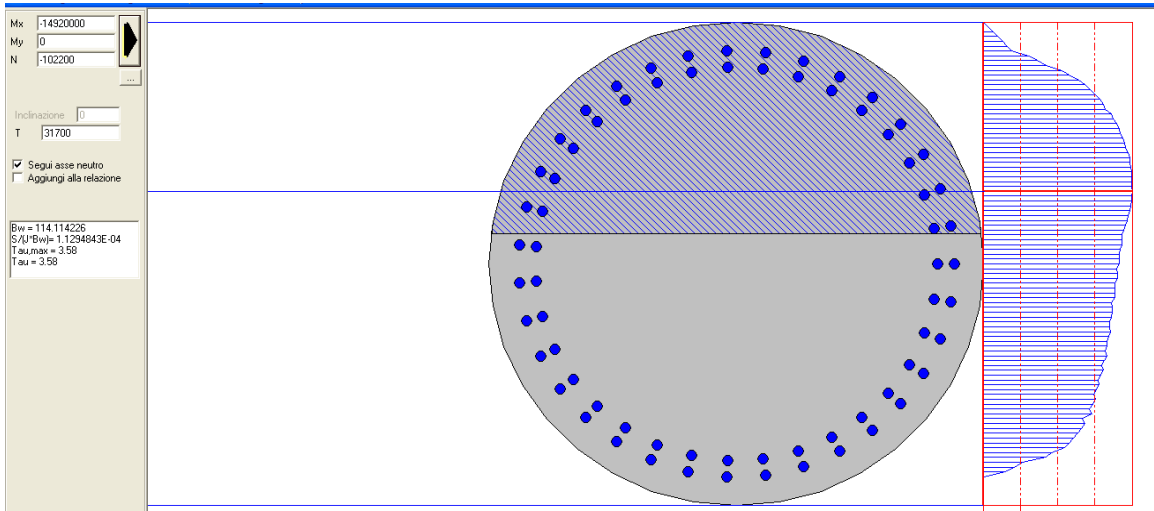
In accoppiamento ai seguenti valori

$$M_d = 1409 \text{ kNm/palo}$$

$$N_d = 1022.6 \text{ kN/palo}$$

Le tensioni massime risultano inferiori al valore di  $\tau_{co}$ , da cui la necessità della sola armatura minima a taglio.

$$\tau = 358 \text{ kPa} < \tau_{co} = 600 \text{ kPa}$$



### 6.3. Dimensionamento paratie in pali. Struttura provvisoria di contenimento delle terre parallela all'autostrada

Il presente capitolo ha per oggetto i calcoli geotecnici ed il dimensionamento delle opere fondazionali necessarie alla realizzazione dello scatolare nella sua sequenza realizzativa che prevede la realizzazione in due fasi, da cui la necessità di prevedere una struttura di confinamento della sede stradale soggetta a traffico nei confronti degli scavi dalla porzione opposta.

Occorre ulteriormente evidenziare che le caratteristiche della struttura devono essere tali da minimizzare gli effetti dello scavo nei confronti della bretella autostradale A26 in esercizio, anche nel confronto del comfort di marcia degli utenti.

Per tale ragione è stata effettuata una valutazione preliminare circa la tipologia delle opere da adottarsi in progetto, e in particolare:

- Soluzione con pali di grande diametro con le caratteristiche delle strutture di confinamento delle terre da realizzarsi perpendicolarmente alla sede autostradale ( $\phi 1200\text{mm}$ );
- Soluzione con micropali armati con elementi tubolari metallici (perforazione 250mm armata con tubi acciaio S355 193.7/10mm) ad interasse  $i=0.40\text{m}-0.50\text{m}$ .

Le risultanze hanno mostrato come l'aspetto legato alla resistenza e alle verifiche strutturali non risulti un aspetto discriminante, che è invece rappresentato dalla deformazione laterale che per i micropali risulta variabile da 11cm ( $i=0.40\text{m}$ ) a oltre 13cm ( $i=0.5\text{m}$ ), valori giudicati non ammissibili nei confronti della sede autostradale adiacente, specie se rapportati agli spostamenti della struttura realizzata attraverso i pali con spostamento dell'ordine centimetrico.

Risulta quindi adottata una struttura a pali di grande diametro  $\phi = 1.2\text{ m}$  con una lunghezza totale di 12 m e posti ad interasse di 1.3 m.

Lo schema statico adottato è quello corrispondente alla situazione reale nella condizione più sfavorevole, cioè considera la paratia secondo un metodo di calcolo iterativo che simula le varie fasi realizzative, partendo da quella geostatica iniziale, attraverso gli scavi successivi, nonché l'inserimento di sovraccarichi di monte che simulano carichi dovuti alla presenza di mezzi di cantiere.

Il calcolo, condotto con codice di calcolo PARATIE, tiene conto della deformabilità della paratia e delle caratteristiche elastoplastiche del terreno.

Essendo opere provvisorie non si è ritenuto necessario eseguire anche la verifica sismica.

La simulazione numerica è quella offerta dal metodo di analisi agli elementi finiti monodimensionali.

La parete flessibile è schematizzata da elementi tipo trave ("beam") verticali.

La struttura resistente è schematizzata attraverso un elemento a rigidità flessionale equivalente (di importanza prevalente rispetto alla rigidità assiale), secondo la modalità di calcolo sotto riportata.



Raggio pali	R	0.6	m	
interasse	i	1.3	m	
Inerzia palo	J	0.1018	m <sup>4</sup>	$=\pi/4 \cdot R^4$
Inerzia a metro	Junitaria	0.0783	m <sup>4</sup> /m	$=J/i$
Spessore struttura equivalente	Heq	0.979	m	$=(12 \cdot Junitaria/B=1)^{(1/3)}$

**Tabella 7. Definizione dello spessore equivalente delle paratie in pali**

Gli elementi di contrasto della spinta delle terre hanno proprietà meccaniche caratteristiche del calcestruzzo C25/30.

Il terreno è simulato attraverso un letto di molle elastoplastiche connesse agli stessi nodi della parete, le cui proprietà sono funzione delle caratteristiche dei materiali geotecnici.

La stratigrafia di progetto che illustra i rapporti opere-terreni è stato dedotto dal profilo geotecnico-geologico lungo la tratta in esame come riportato al punto precedente. Pertanto con riferimento alla caratterizzazione geotecnica, si assumono i seguenti valori per il complesso geotecnico d'interesse, come di seguito riportato.

Terreno	Termine	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi'$ (°)	$E_{op}$ (MPa)	$E_{UR}$ (MPa)
Rilevato autostradale	Ril	1.8	0.0	35	15	$E_{op} \cdot 1.6$
Ghiaia sabbiosa	GS/GLA	1.9	0.0	40	40	$E_{op} \cdot 1.6$

**Tabella 8. Caratteristiche di progetto dei materiali geotecnici utilizzati nel calcolo**

dove

$\gamma$  = peso dell'unità di volume del terreno;

$c'$  = coesione in termini di pressioni effettive;

$\phi'$  = angolo di attrito in termini di pressioni effettive;

$E_{op}$  = modulo di deformabilità operativo in corrispondenza della curva di compressione vergine;

$E_{UR}$  = modulo di deformabilità operativo in corrispondenza di cicli di scarico/carico (unloading/reloading);

Inoltre per l'utilizzo del programma di calcolo è stato assunto  $\delta = 1/2\phi$  in condizioni statiche.

La struttura risulta temporanea e non viene condotta l'analisi in condizioni sismiche.

I valori dei coefficienti di spinta utilizzati sono di seguito riportati, utilizzano le formulazioni di Muller Breslau per la spinta attiva in condizioni statiche, mentre per la spinta passiva in condizioni statiche è



stato utilizzato il metodo di Lancellotta (2007). Si evidenzia che i coefficienti utilizzati risultano coerenti od inferiori a quelli di PD.

La valutazione delle condizioni di spinta a riposo sono definite attraverso il metodo di Jaky (1943)

Terreno	Termine	Ko	Ka	Kp
		(=1-senφ)	δ/φ=0.5	δ/φ=0.5
Rilevato autostradale	Ril	0,426	0,235	5,937
Ghiaia sabbiosa	GS/GLA	0,357	0,187	8,378

**Tabella 9. Valori dei coefficienti di spinta di riferimento per l'analisi**

L'analisi viene realizzata basandosi sulla quota di riferimento della testa della struttura, posta circa al livello del piano autostradale.

I sovraccarichi agenti lateralmente nella fase di scavo risultano così definiti:

- sovraccarico accidentale mezzi d'opera: viene conservativamente valutato pari a 20kPa.

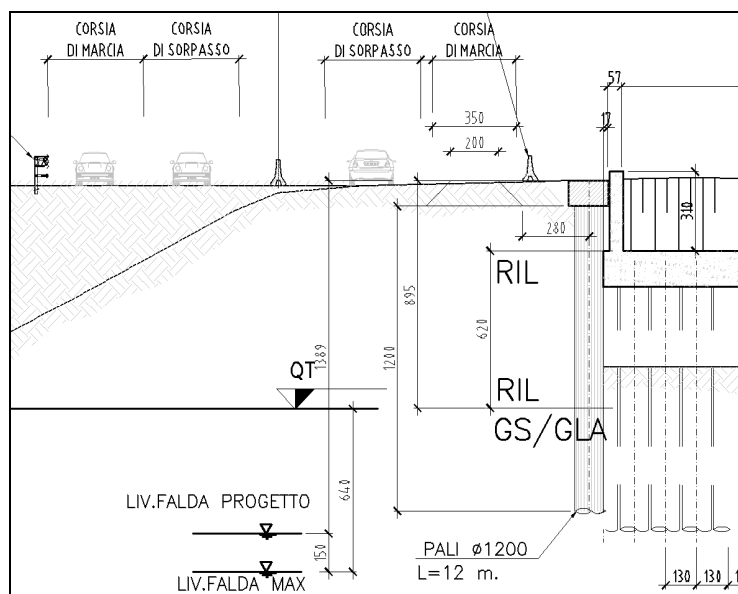
I sovraccarichi agenti lateralmente nella fase finale risultano così definiti:

- peso proprio corrispondente allo spessore di terreno: 0 (modellato direttamente);
- sovraccarico accidentale stradale definito come:
  - o carico mezzi cantiere nella porzione adiacente alla paratia, con valore di sovraccarico pari a 10kPa (spostamento new jersey, ecc.)
  - o carico  $q_{1a}$  pari a 600kN su di un'impronta  $2m \times (1.5+1.5)m$ , che diffuso a  $45^\circ$  per una profondità di 0m determina un sovraccarico accidentale pari a  $\phi \cdot 600 / (2 \cdot 3) = 1.37 \cdot 100 = 137kPa$ . Il carico agisce su di una larghezza di 2m a partire dalla posizione laterale della corsia di 3.5m maggiormente ravvicinata alla paratia;
  - o 20kPa per la restante parte di sede autostradale.

Il valore di calcolo, quindi, risulta quindi pari al massimo medesimo adottato per la fase temporanea.

La stratigrafia corrisponde alla seguente condizione:

- rilevato: potenza 8.95m da tetto modello;
- materiale GS-GLA per lo strato sottostante.



**Figura 8. Caratteristiche geometriche degli scavi e delle opere in progetto**

Le condizioni della falda mostrano come il livello massimo risulti localizzato a -6.40-6.80m da p.c., ad un livello quindi inferiore a quello degli scavi e dei pali.

L'elemento resistente è simulato attraverso una struttura ad inerzia flessionale equivalente come sopra indicato.

### 6.3.1. Descrizione delle analisi condotte

Le analisi hanno fatto riferimento alla stratigrafia e alle caratteristiche dei materiali e sovraccarichi sopra riportate.

Le modellazioni hanno fatto riferimento alle seguenti condizioni:

- modello SLE: modello con carichi nominali, in cui le sollecitazioni risultanti dal punto di vista strutturali non risultano amplificate;
- modello SLU: modello con carichi permanenti nominali e carichi variabili amplificati per il coefficiente 1.5/1.4 uguale al rapporto fra i coefficienti di combinazione fra carichi variabili e carichi permanenti. Da un punto di vista strutturale i risultati ottenuti vengono amplificati per un fattore pari a 1.4, pari al coefficiente di combinazione dei carichi permanenti. In sintesi, è prassi comune per gli scavo fra paratie applicare i fattori di amplificazione dei carichi sulle risultanze di un'analisi nominale, opportunamente modificata nei valori dei carichi variabili al fine di tenere conto del differente valore dei coefficienti amplificativi.

Per la condizione in esame, risulta la variazione dei valori come di seguito riportato:

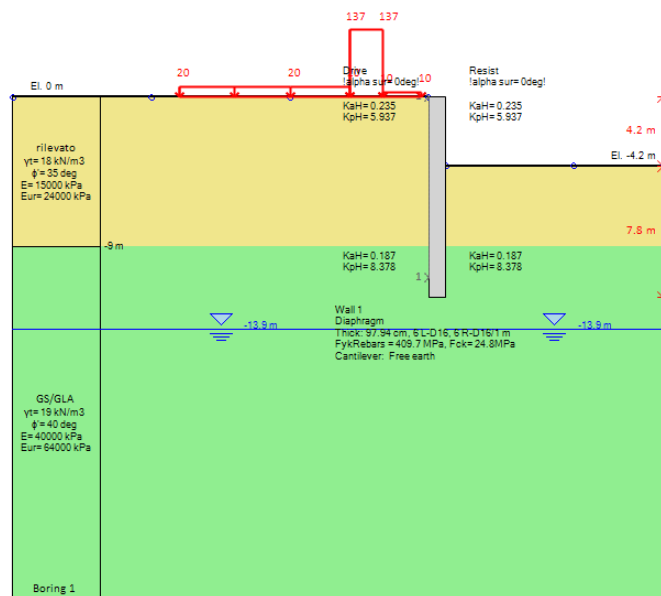
- o 10 kPa-> 10.7 kPa;

- 137 kPa-> 147 kPa;
- 20 kPa-> 21.4 kPa;

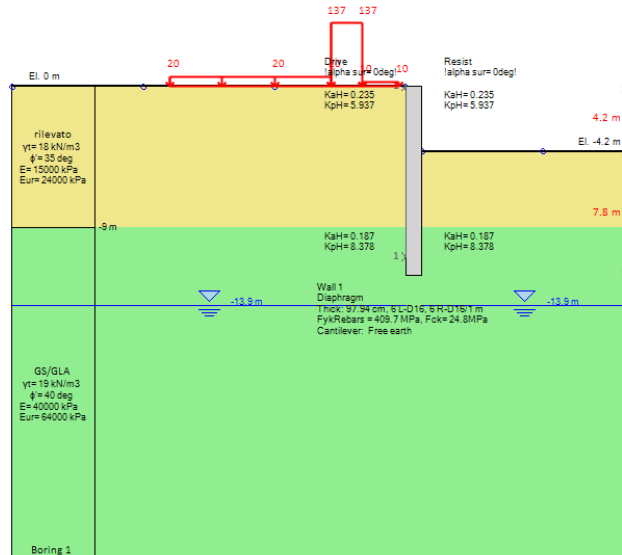
### 6.3.2. Descrizione delle fasi di modellazione

Sono di seguito riportate le fasi di modellazione seguita nell'analisi

- stage 0: condizione geostatica, con applicazione carico terreno e sovraccarichi;

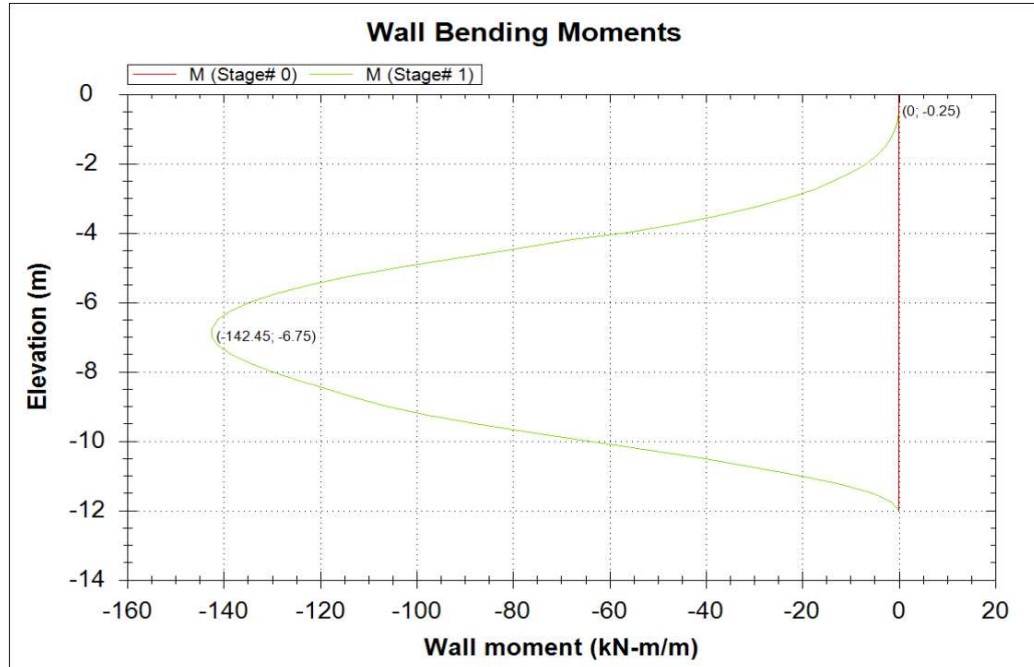


- stage 1: scavo ad una profondità di 4.20m da p.c.

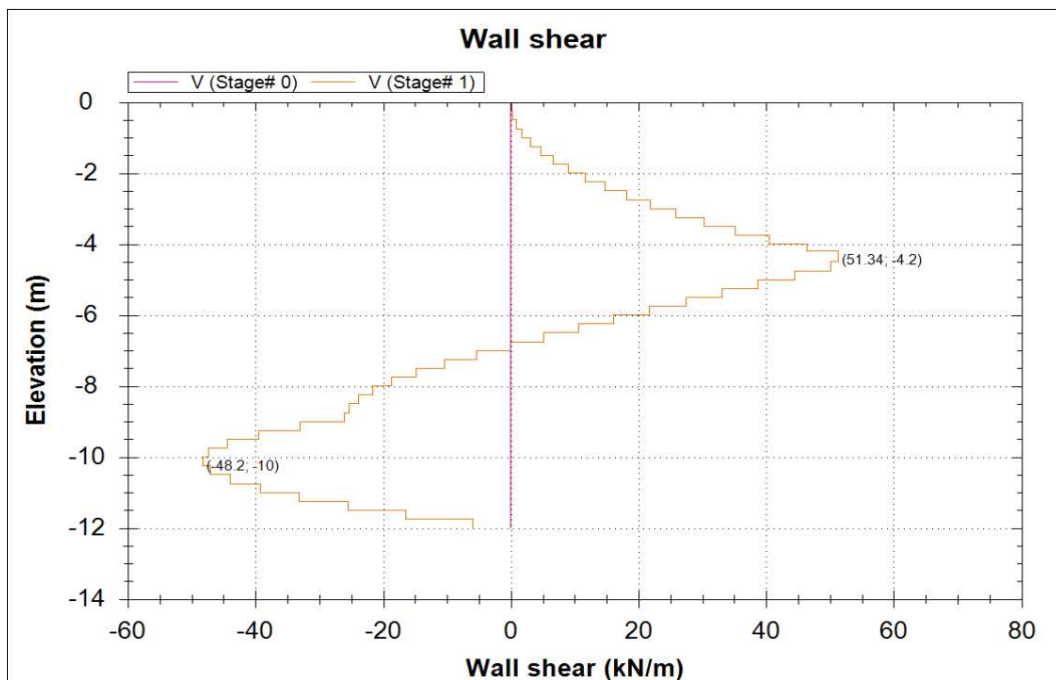


### 6.3.3. Risultati dell'analisi

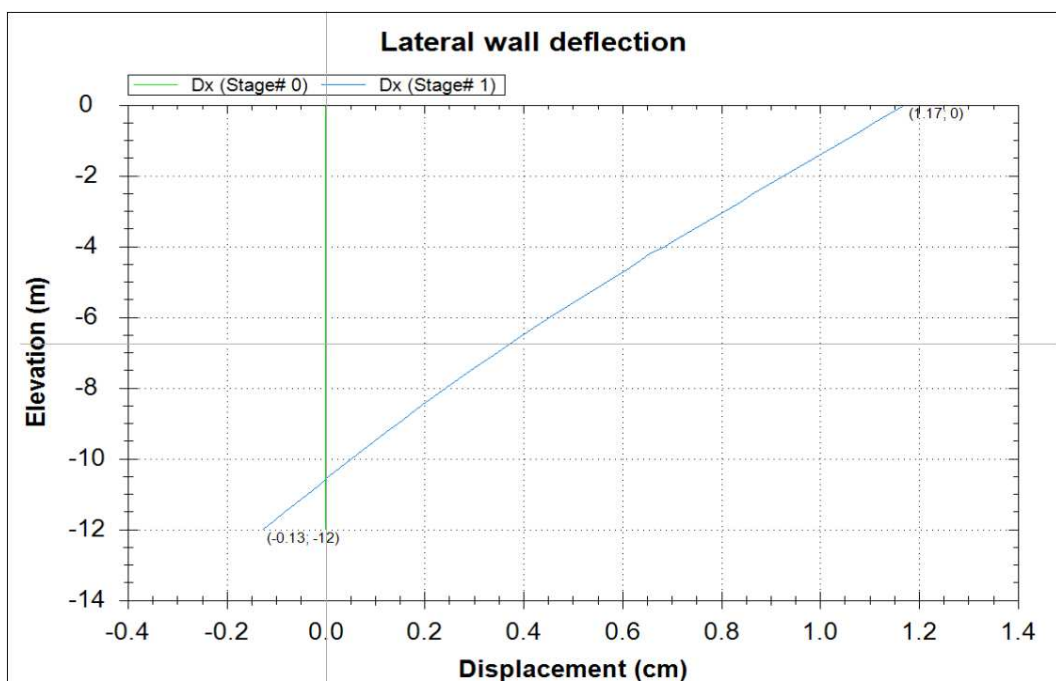
Vengono di seguito riportati i risultati dell'analisi per le condizioni SLE.



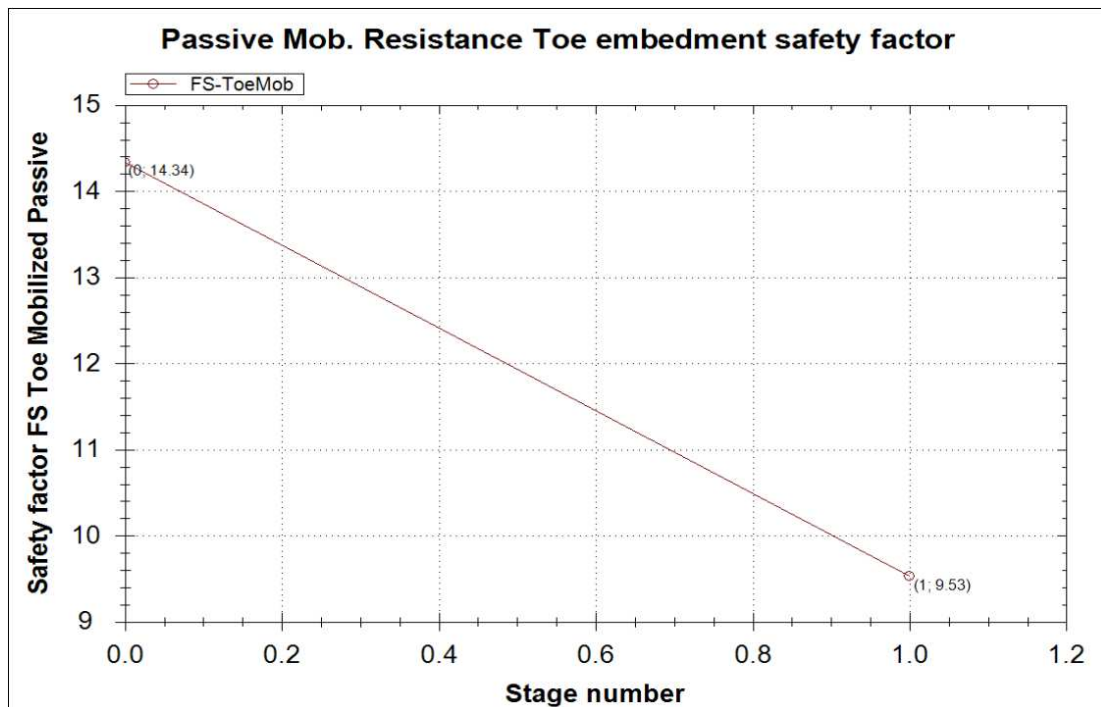
Il valore del momento flettente massimo è pari a circa 142kNm/m, alla profondità di 6.75m da p.c



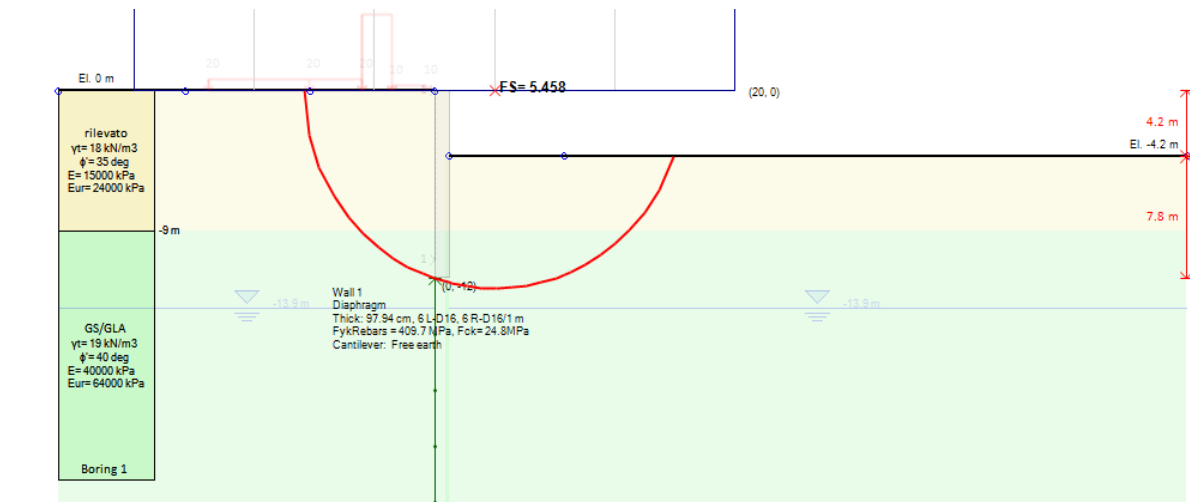
Il taglio assume valori trascurabili nell'ambito dell'analisi effettuata.



LO spostamento laterale risulta dell'ordine centimetrico. Non si valutano quindi problematiche in termini di effetti sulla sede stradale a tergo.

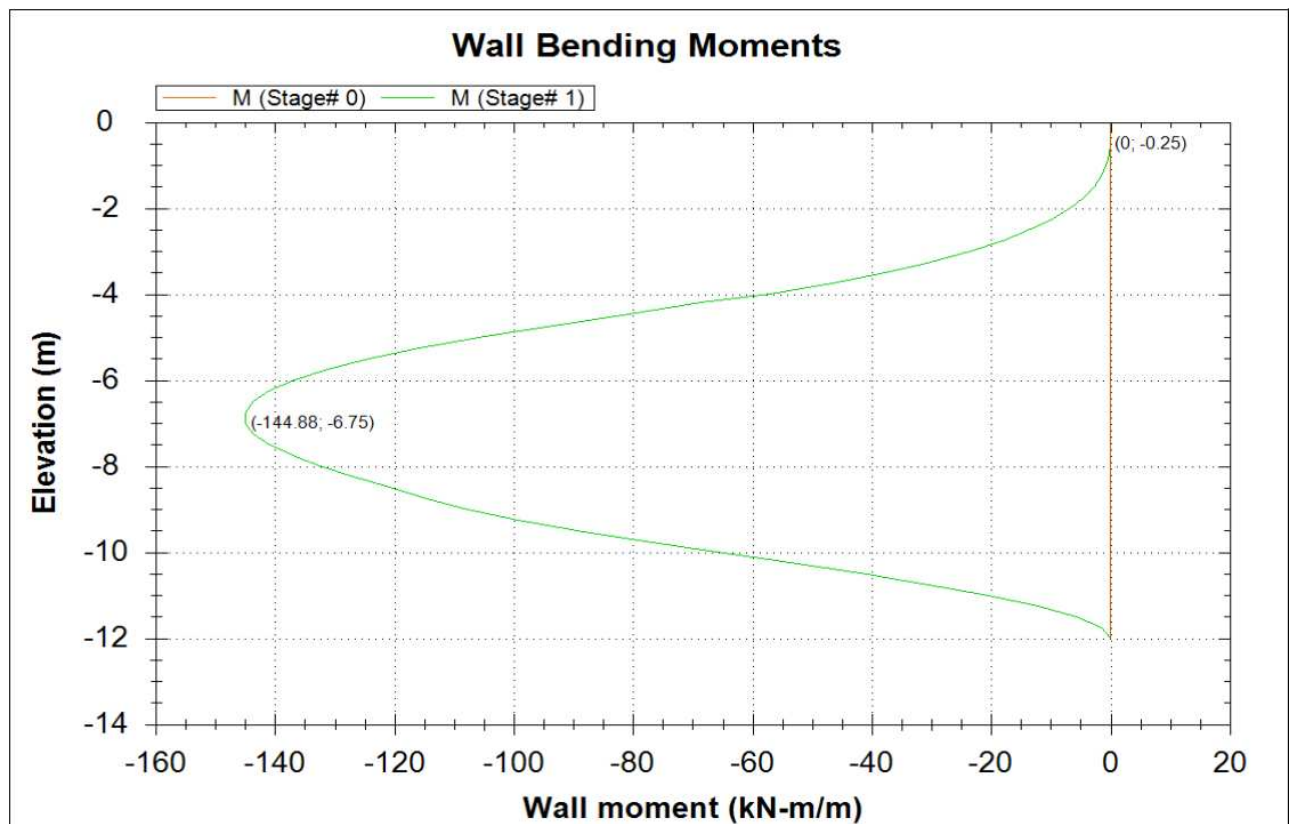


Il fattore di mobilitazione della spinta passiva risulta pari a circa 0.11 (inferiore al limite del 60% su tale parametro).

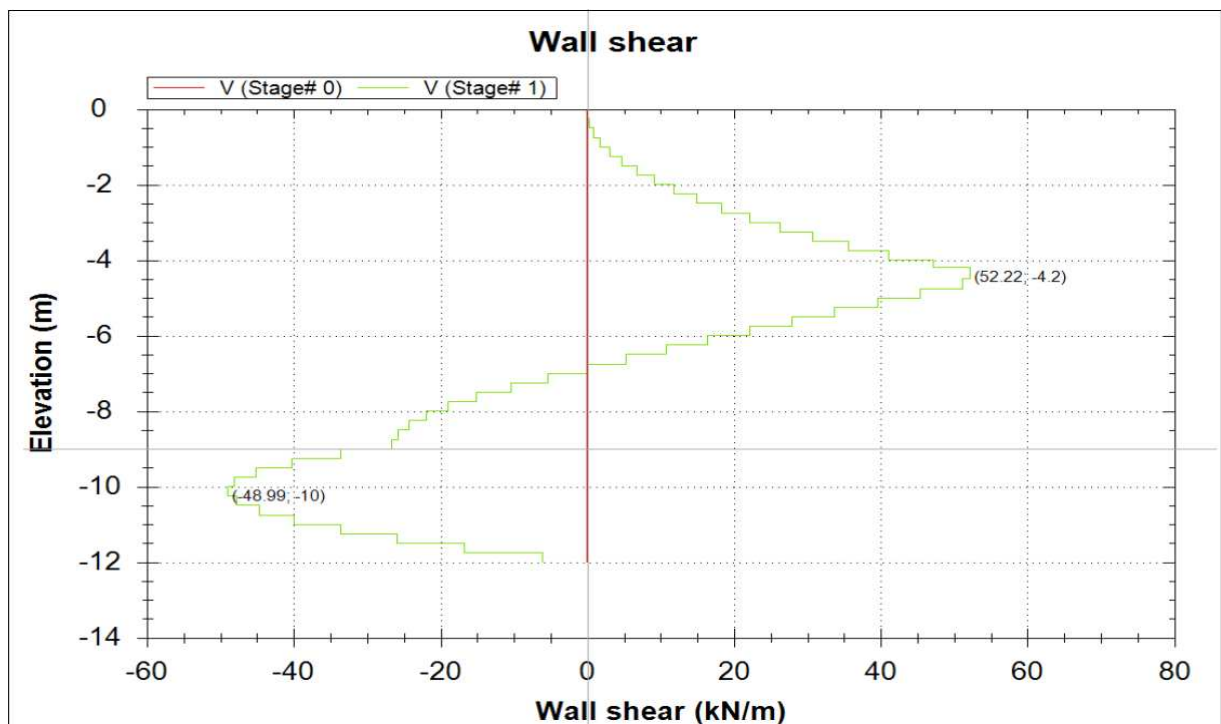


La verifica di stabilità globale risulta soddisfatta, essendo il fattore di sicurezza superiore 5 (e quindi maggiore di 1.30).

Vengono di seguito riportati i risultati dell'analisi per le condizioni SLU (da moltiplicare per il fattore 1.40).



Come visibile, l'effetto dell'amplificazione del sovraccarico per il rapporto fra il coefficiente relativo ai carichi variabili rispetto a quello dei carichi permanenti risulta praticamente trascurabile.

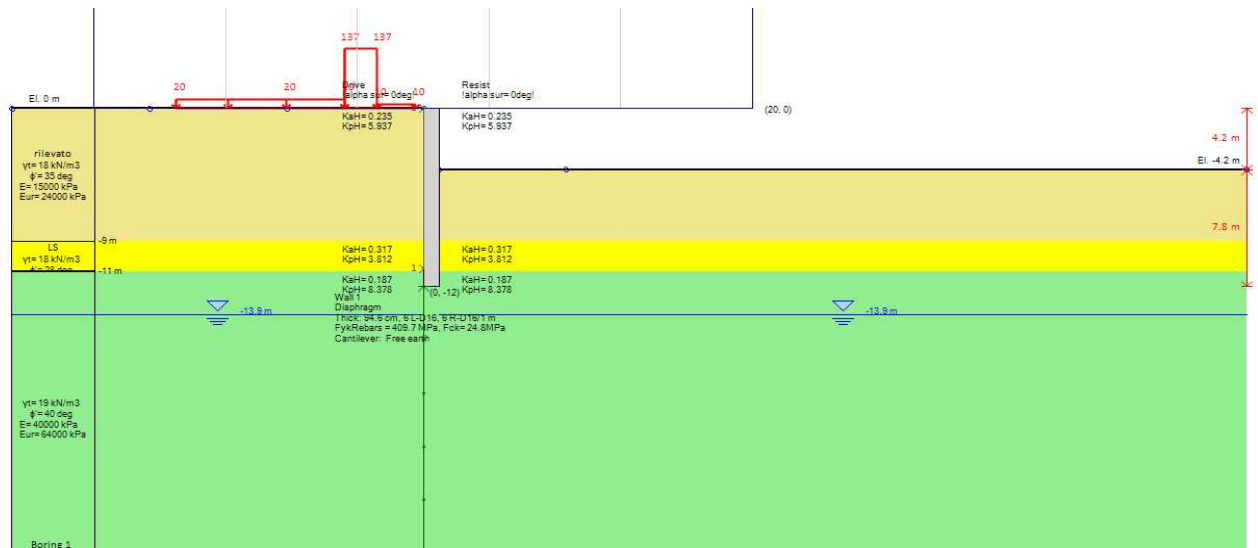


## 6.4. Modello aggiuntivo per la palificata temporanea

### 6.4.1. Descrizione del modello

E' stata analizzata una condizione che prevede la presenza dello strato LS al di sotto del rilevato per una potenza di 2m. Nell'ambito di un'opera provvisoria e sulla base dei dati a disposizione tale condizione potrebbe essere trascurata, ma la necessità di mantenimento del traffico veicolare di un'opera importante come quella sottoattraversata determina la necessità di verificare quantomeno l'aspetto geotecnico più che quello strutturale.

La geometria del modello con la stratigrafia modificata è riportata nella figura sottostante.



L'analisi presenta una variazione nell'ambito della rigidità della paratia, in quanto il modello precedente ha fatto riferimento all'interasse minimo dei pali (1.30m) al fine di realizzare mediante un elemento più rigido una condizione finalizzata alla massimizzazione delle sollecitazioni sugli elementi strutturali. Nel caso in esame viene utilizzata come riferimento l'inerzia calcolata su di un interasse pari a 1.44m:

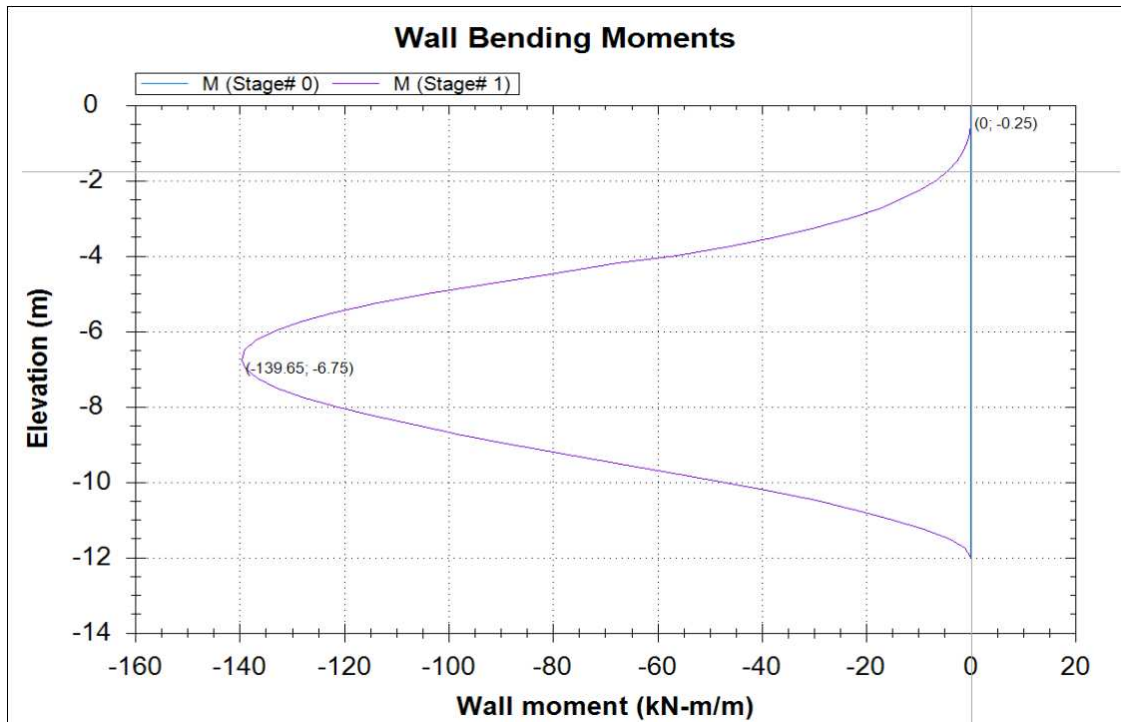
Raggio pali	R	0.6	m		
interasse	i	1.44	m		
Inerzia palo	J	0.101788	m <sup>4</sup>	$=\pi/4 * R^4$	
Inerzia a metro	Junitaria	0.070686	m <sup>4</sup> /m	$=J/i$	
Spessore struttura equivalente	Heq	0.94661	m	$=(12 * Junitaria / B = 1)^{(1/3)}$	

Le fasi di calcolo, i sovraccarichi, ecc. rimangono immutate rispetto al precedente modello illustrato.

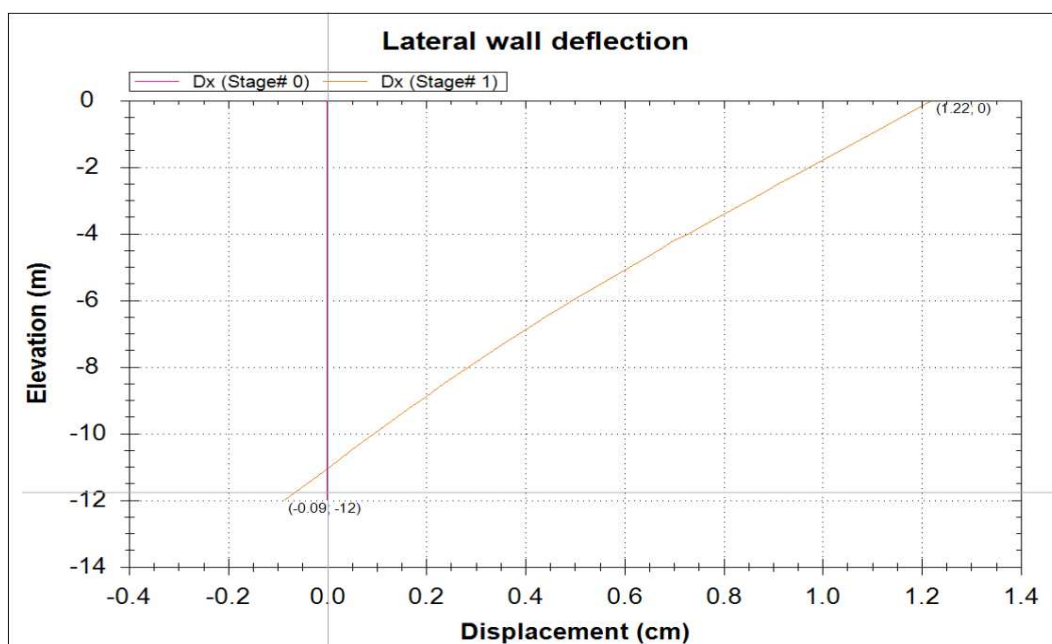
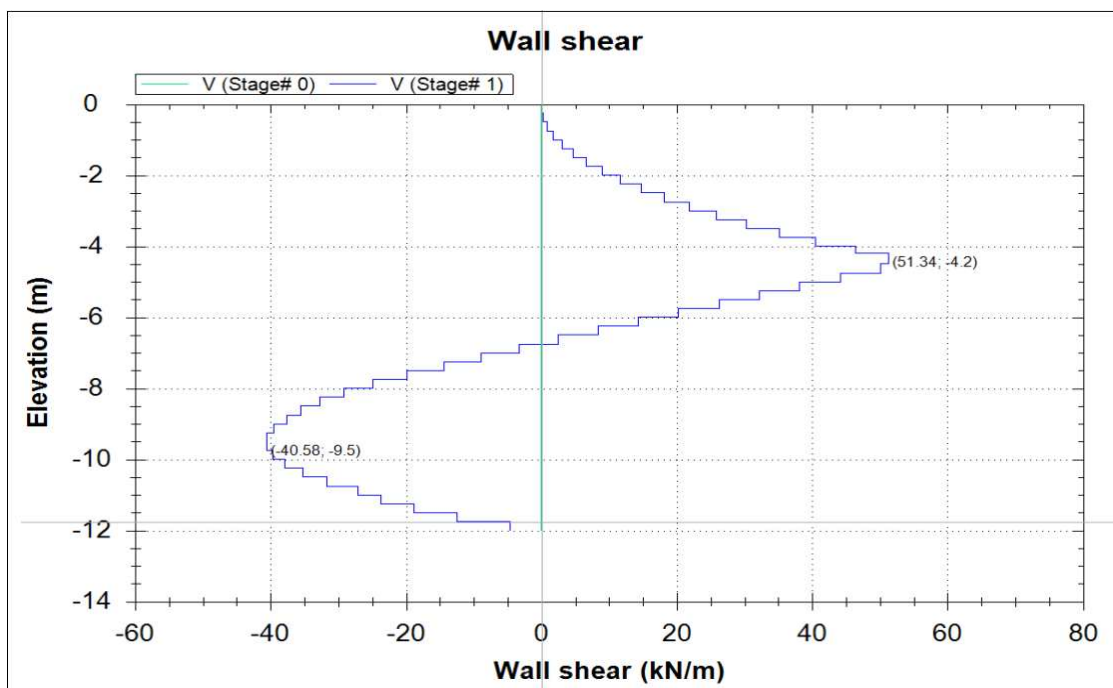


### 6.4.2. Risultati dell'analisi

Vengono riassunti i principali risultati ottenuti dall'analisi effettuata.



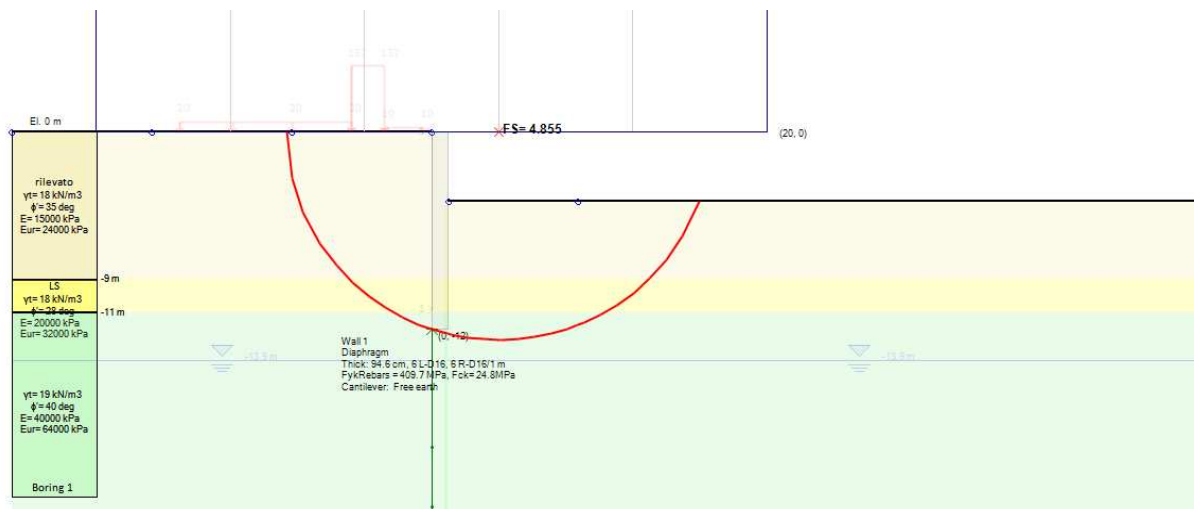
IL valore di momento flettente non risulta significativamente variato rispetto al caso precedente, anzi risulta lievemente ridotto (terreno meno rigido e inerzia lievemente ridotta).



Dal punto di vista degli spostamenti, il valore risulta dello stesso ordine di grandezza rispetto al caso precedente.



La verifica di stabilità geotecnica risulta verificata.



La verifica di stabilità globale risulta, come visibile, soddisfatta.

Le risultanze precedenti mostrano come l'inserimento dello strato a caratteristiche ridotte non va a modificare il comportamento geotecnico atteso e gli effetti sulla zona veicolare a tergo.

#### 6.4.3. Verifiche strutturali

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-CL-GA1N-0X-001-A00 Relazione di calcolo opera c.a sottopasso
	Foglio 52 di 366

In ragione delle limitate sollecitazioni, l'armatura del palo sarà basata sul valore minimo  $0.0003 \cdot A_c = 34 \text{ cm}^2$ . Viene quindi previsto l'impiego di barre  $\phi 20/25 \text{ cm}$ , ovvero  $13 \phi 20/\text{palo}$  corrispondenti a  $40.8 \text{ cm}^2 > 34 \text{ cm}^2$

### 1.1.1.3 Verifica a pressoflessione

Per la condizione SLE il valore del momento massimo risulta pari a:

- fasi temporanee: viene analizzata la condizione di scavo per le fasi temporanee in assenza di ricoprimento sopra il solettone di copertura:

$M = -142.45 \text{ kNm/m}$  alla quota del modello 1  $z = -6.75 \text{ m}$

$M_d = -142.45 \cdot i_{\text{palo}} = -142.45 \text{ kNm/m} \cdot 1.3 \text{ m} = 185.2 \text{ kNm/palo}$

$M = -142.45 \text{ kNm/m}$  alla quota del modello 2  $z = -6.75 \text{ m}$

$M_d = -139.65 \cdot i_{\text{palo}} = -139.65 \text{ kNm/m} \cdot 1.44 \text{ m} = 201.1 \text{ kNm/palo}$

Lo sforzo normale agente risulta funzione del solo peso proprio del palo (per semplicità si assimila lo spessore del cordolo al palo stesso):

$N_d = (6.75) \cdot 3.14/4 \cdot (1.2 \text{ m})^2 \cdot 25 \text{ kN/m}^3 = 190.75 \text{ kN/m}$

La verifica è di seguito condotta (Presfle file: palo2\_01temporaneo), utilizzando le sollecitazioni precedenti moltiplicate per la larghezza del pannello:

$\sigma_c \text{ max} = 2.6 \text{ MPa} < \sigma_c \text{ amm} = 0.45 \cdot 0.83 \cdot 30 = 11.2 \text{ MPa}$

$\sigma_s \text{ max} = 86.6 \text{ MPa} < \sigma_s \text{ amm} = 0.7 \cdot 450 = 315 \text{ MPa}$

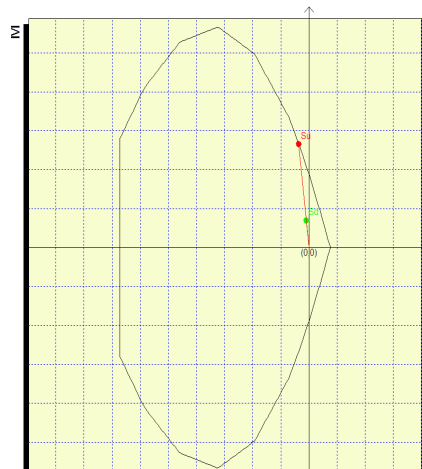
La sezione non risulta fessurata.

Le verifiche risultano soddisfatte

La verifica allo SLU viene di seguito riportata

$M_d = -201.1 \cdot 1.40 = 281 \text{ kNm/palo}$

$N_d = 190.75 \text{ kN/palo}$



#### 1.1.1.4 Verifica a taglio

Il valore di taglio massimo risulta pari a 52kN/m, che per l'elemento strutturale risulta uguale a:

$$T_d = 52 \cdot 1.44 = 74.48 \text{ kN/palo}$$

Tale valore è trascurabile e determina una tensione inferiore a  $\tau_{co}$ .

La sezione è verificata e risulta necessario provvedere alla sola messa in opera dell'armatura minima.

## 7. STRUTTURA DI COPERTURA

### 7.1. Schema statico e carichi agenti

La soletta viene calcolata come trave appoggiata sui pali; di seguito è riportato lo schema di carico adottato. Si considera una striscia di larghezza pari a un metro.

I carichi agenti sono di seguito definiti:

carichi permanenti  $q_p$ :

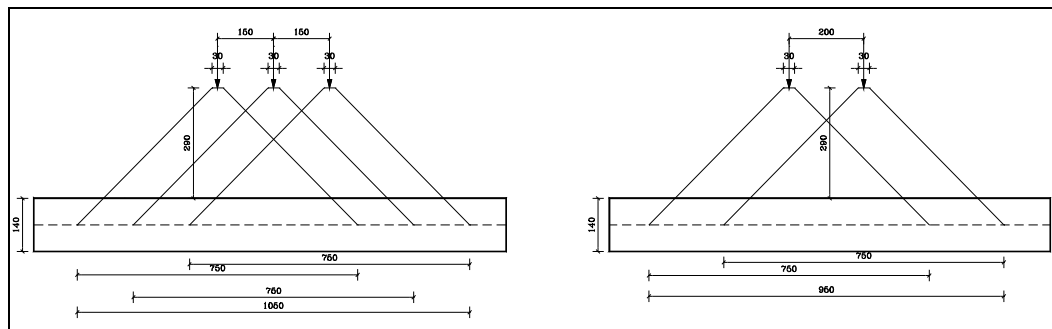
$$q_{p1} = 3.0\text{m} \cdot 18 \text{ kN/m}^3 = 54 \text{ kN/m/m}$$

$$q_{p2} = 1.4\text{m} \cdot 25 \text{ kN/m}^3 = 35 \text{ kN/m/m}$$

$$q_p = 54 + 35 = 89 \text{ kN/m/m}$$

carichi accidentali  $q_a$ :

La ripartizione dei carichi si effettua considerando il carico isolato da 10 t con impronta quadrata da di lato 0.3 m.


**Figura 9. Schema ripartizione carichi stradali**

Il modello di carico considerato per la struttura è il carico isolato con impronta quadrata di lato 0.3 m. Il carico è schematizzato da tre assi da 10 ton. disposti ad interasse di 1.50m.

Si procede al calcolo dei carichi per metro lineare riferiti al baricentro della soletta.

Si considera una larghezza di ripartizione trasversale massima pari alla larghezza della corsia di carico di 3.50 m pertanto:

$$q_{1a} = 600 \text{ kN} / (10.5 \text{ m} \cdot 3.50 \text{ m}) = 16.3 \text{ kN/m/m}$$

L'entità dei carichi mobili è maggiorata per tener conto degli effetti dinamici, di un coefficiente dato dall'espressione:

$$\begin{aligned} q_{1\text{astat+din}} &= \varnothing q_{1a} = [1.4 - (L-10)/150] q_{1a} = \\ &= [1.4 \cdot (12.6-10)/150] \cdot 16.3 = 1.383 \cdot 16.3 \\ q_{1\text{astat+din}} &= 22.6 \text{ kN/m/m} \end{aligned}$$

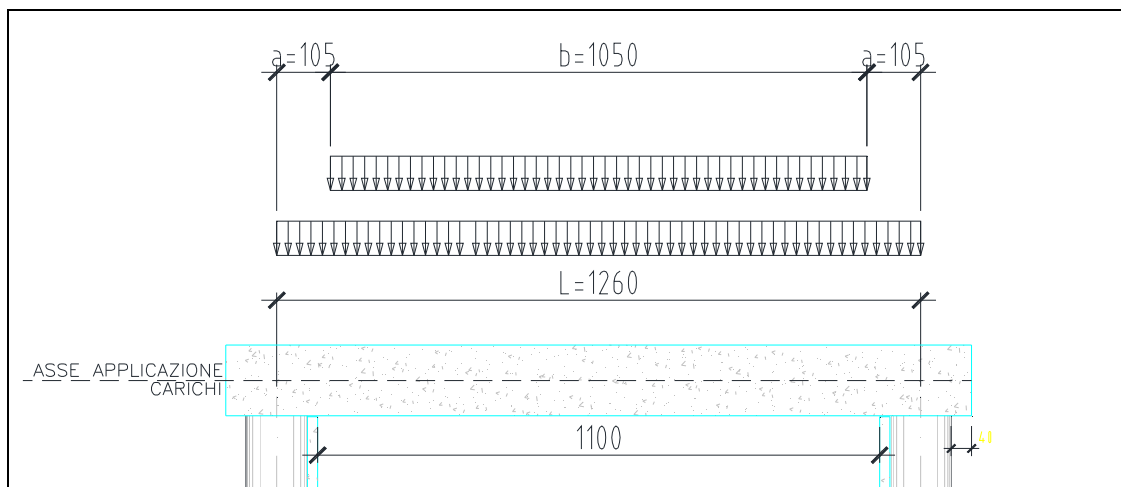
Si ipotizza che le forze dovute alla frenatura si dissipino all'interno del rinterro in funzione dell'elevato spessore di quest'ultimo.

Si ricava quindi

$$q_a = 22.6 \text{ kN/m/m}$$

## 7.2. Calcolo delle sollecitazioni agenti sugli elementi strutturali

Viene condotto di seguito il calcolo delle sollecitazioni sugli elementi strutturali.


**Figura 10. Schema statico di calcolo**

Lo schema ad appoggio determina come dimensionante il momento in campata:

$$M(+)_q_{p1} = +1/8 * q_{p1} * L^2 = +1/8 * 54 * 12.6^2 = 1071.63 \text{ kNm/m} \quad \text{sul metro di profondità della trave}$$

$$M(+)_q_{p2} = +1/8 * q_{p2} * L^2 = +1/8 * 35 * 12.6^2 = 695.57 \text{ kNm/m}$$

$$M(+)_q_p = 1766.2 \text{ kNm/m}$$

$$M(+)_q_a = +1/8 * q_a * b * (2 * L - b) = +1/8 * 22.6 * 10.5 * (2 * 12.6 - 10.5)$$

$$M(+)_q_a = 436.04 \text{ kNm/m}$$

$$M(+)_\text{max} = 2202.24 \text{ kNm/m} \quad \text{sul metro di profondità della trave}$$

La sollecitazione tagliante risulta massima in corrispondenza dell'appoggio:

$$T_{q_p} = 1/2 * q_p * L = 1/2 * 89 * 12.6 = 560.7 \text{ kN/m} \quad \text{sul metro di profondità della trave}$$

$$T_{q_a} = 1/2 * q_a * b = 1/2 * 22.6 * 10.5 = 118.65 \text{ kN/m}$$

$$T_{\text{max}} = 679.35 \text{ kN/m} \quad \text{sul metro di profondità della trave}$$

### 7.3. Verifiche degli elementi strutturali

#### 7.3.1. Metodologia di verifica

Le verifiche su tutti gli elementi resistenti in c.a. sono state eseguite con il metodo delle tensioni ammissibili come previsto dall'art. 2 del D.M. 09/01/96 riferendosi alle norme tecniche di cui al decreto 14 febbraio 1992.

In particolare, per le strutture in esame il valore del parametro relativo alla limitazione della fessurazione è assunto pari a 0.15mm, in funzione del valore  $w_k$  di base pari a 0.1mm amplificato in funzione del maggiore copriferro adottato attraverso il fattore 1.5.

Da evidenziare come l'orditura dell'armatura non segua l'interasse netto fra le paratie, ma si presenti la necessità di ordire in direzione trasversale. Questo non porta alla modifica dell'entità dei carichi agenti, ma

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-CL-GA1N-0X-001-A00 Relazione di calcolo opera c.a sottopasso
	Foglio 56 di 366

una modifica delle sollecitazioni calcolata con un rapporto di amplificazione pari al quadrato delle luci per il momento e il rapporto fra le luci per il taglio.

La luce di calcolo in funzione dell'orditura risulta pari a 14.39mm da cui:

- Fattore amplificativo momento: 1.304;
- Fattore amplificativo taglio: 1.142

### 7.3.2. Verifiche a pressoflessione

La verifica viene condotta sulla base della presenza o meno di uno sforzo normale derivante dall'analisi con Paratie

Verifica allo stato limite di esercizio

Il solettone mostra un carico massimo assiale pari a 252.29 kN/m, derivante dall'azione di contrasto che effettua fra le paratie di pali.

Le verifiche verranno quindi allo stato limite di esercizio condotte per la condizione di momento massimo:

$$M(+)\max=2202.24\text{kNm/m}\cdot 1.304=2872.4\text{kNm/m}$$

in accoppiamento a:

$$N=0\text{ kN/m}$$

$$N=252.29\text{ kN/m}$$

Come di seguito riportato (file Presfle soletta3-26\_b.flx), le verifiche risultano soddisfatte utilizzando un'armatura costituita da:

lato estradosso: 10 ferri  $\phi 20/\text{m}$

lato intradosso: tripla file di 10 ferri  $\phi 26/\text{m}$

$$\sigma_c \max=8.1\text{ MPa} < \sigma_c \text{ amm } 0.45\cdot 0.83\cdot 40=14.9\text{ MPa}$$

$$\sigma_s \max=176\text{ MPa} < \sigma_s \text{ amm } 0.7\cdot 450=315\text{ MPa}$$

$$W_k=0.0861$$

$$W_{\text{lim}}=0.146\text{mm}$$

### Verifica allo stato limite ultimo

La verifica allo stato limite ultimo viene effettuata sulla base delle seguenti sollecitazioni:

$$M(+)\max=2202.24\cdot 1.304\cdot 1.42=4080\text{kNm/m}$$

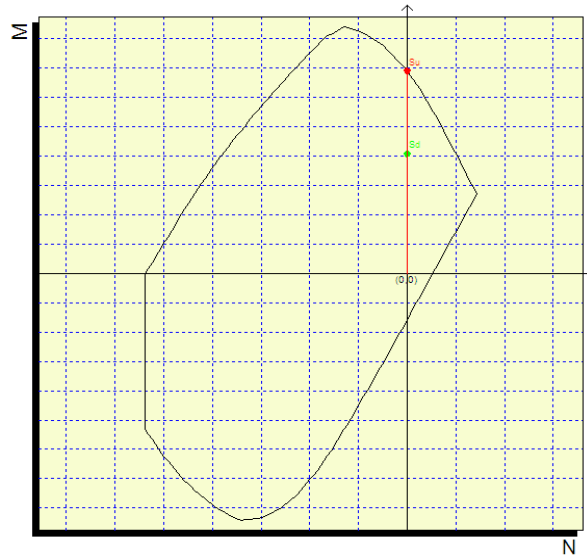
in accoppiamento a:

$$N=0\text{ kN/m}$$

nota:



il valore di amplificazione di 1.42 risulta la media pesata fra i carichi permanenti (fattore 1.4) e accidentali (fattore 1.5)



I punti di verifica risultano posizionarsi all'interno del dominio di resistenza, per cui la sezione risulta verificata.

La verifica in condizioni simiche risulta implicitamente verificata.

Si evidenzia come la verifica allo stato limite ultimo non risulti dimensionante nei confronti della verifica a fessurazione.

### 7.3.3. Verifiche a taglio

La tensione tangenziale massima risulta pari a:

$$\sigma_{\max} = T_{\max} / (0.9 h) = 679.35 / [0.9 * (1.4 - 0.053)] * 1.14 = 560.4 \text{ kPa} * 1.14 = 640 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{c0} = 0.73 \text{ N/mm}^2 = 730 \text{ kPa} \quad \text{per calcestruzzo C32/40}$$

$\sigma_{\max} < \sigma_{c0}$  = non risulta necessaria specifica armatura a taglio

La verifica risulta quindi soddisfatta prevedendo la sola armatura minima di normativa

## 8. SOLETTA DI FONDO

La soletta di fondo è costituita da una piastra in c.a. con spessore 1.20m, e di seguito schematizzata come elemento tipo trave fra le due paratie di pali.

Il comportamento statico è quello di una trave su suolo elastico.

Il carico agente è dovuto ai:

- Carichi permanenti: pesi propri strutturali;



- Carichi variabili: peso del treno;
- Carichi idraulici: la falda di progetto lambisce il solettone di fondo, per cui non risulta necessaria una verifica a sollevamento.

Le caratteristiche del sottofondo risultano correlate con le caratteristiche dei materiali geotecnici in precedenza descritti.

Il solettone poggia ad una certa profondità rispetto la quota del terreno naturale, che in particolare è stato caricato dall'azione del rilevato autostradale.

Tale condizione costituisce, in pratica, una metodologia per il miglioramento delle caratteristiche meccaniche dei materiali per incremento della costipazione.

Tralasciando conservativamente tale aspetto, è fondamentale osservare come i nuovi carichi non raggiungano come entità i valori del carico in precedenza agente del carico autostradale, per cui il fenomeno fisico di carico risulta agente nell'ambito di una ricompressione (e non una compressione vergine), essendo il ricoprimento alla quota del fondo scavo dell'ordine dei 14m, con valore di riferimento della pressione agente pari 252kPa, mentre il carico massimo agente risulta ad un calcolo largamente sommario pari a 105kPa, come di seguito riportato:

- Carico permanente 2.6m (spessore soletta, strato regolarizzazione, opere di linea ipotizzati con il peso del calcestruzzo) \*25=65kPa;
- carico ferroviario: 40kPa,

E' possibile, quindi fare riferimento ad un modulo di deformabilità dei materiali pari a 1.6-3.0 volte il modulo originario.

Utilizzando un fattore di riferimento pari a 1.6 si ottiene quindi:

$$E=21250\text{kPa}\cdot 1.6=34000\text{ kPa}$$

Ai fini del cedimento, in accordo con quanto in precedenza definito, il modulo di deformazione viene definito sulla base di un valore operativo di base pari a 1/10 del modulo a piccole deformazioni, per cui viene effettuata un'analisi gemella alla precedente in cui la rigidità del terreno risulta in analogia a quanto sopra) pari a  $E=42.5\text{MPa}$

La rigidità all'interno del modello viene calcolata attraverso la seguente relazione:

$$K_s = \frac{1}{B \cdot E_s' \cdot I_s \cdot I_f} \quad (\text{Vesic})$$

dove:

$B$  = larghezza fondazione = 11.0 m;

$E_s$  = modulo di Young del terreno = 34000 KN/m<sup>2</sup>;

$\nu$  = coefficiente di Poisson del terreno = 0.3;

$E_s' = (1 - \nu^2) / E_s = 0.568 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{KN}$ ;

$I_s =$  coefficiente di Steinbrenner:  $I_1 + (1 - 2\nu)/(1 - \nu) * I_2 = 0.186$ ;

$I_f =$  coefficiente di influenza = 0.87 (  $L/B = 2.5$  e  $D/B = 0.2$ ).

Sostituendo i valori si ottiene un K di circa 29000 kN/m<sup>3</sup>

Tale valore, nell'ambito delle esperienze dirette riportate da Bowles, si colloca in ambito non afferente alla tipologia del materiale in esame. La valutazione proposta, quindi, deve essere considerata di tipo conservativo.

TERRENO	$k_s$ espresso in $[kN/m^3]$ tra i 3 e i 6 [m]
Ghiaia sabbiosa densa	220000 ÷ 400000
Sabbia grossa mediamente densa	157000 ÷ 300000
Sabbia media	110000 ÷ 280000
Sabbia fine, e sabbia limosa fine	80000 ÷ 200000
Argilla dura umida	60000 ÷ 220000
Argilla dura satura	30000 ÷ 110000
Argilla media umida	39000 ÷ 140000
Argilla media satura	10000 ÷ 80000
Argilla soffice	2000 ÷ 40000

**Figura 11. Valori di rigidezze dei terreni. Valori rappresentativi (rif. Bowles)**

I carichi agenti sulla struttura risultano:

- peso proprio del solettone (carico permanente):

$$qps = 25 \text{ kN/m}^3 * 1.2 \text{ m} * 1.0 \text{ m} = 30 \text{ kN/m}$$

- peso proprio dei riempimenti (carico permanente):

$$qpr = 24 \text{ kN/m}^3 * (0.67 + 0.52) \text{ m} * 1.0 \text{ m} = 28.56 \text{ kN/m}$$

- peso treno:

- o carico per asse LM71: 250kN;
- o interasse longitudinale: 1.60m;
- o diffusione trasversale: 4.94m

$$qvt = 250 / (1.60 * 4.94) = 33.7 \text{ kN/m}$$
 su di una striscia di 4.94m (limitazione per mezzera elemento)

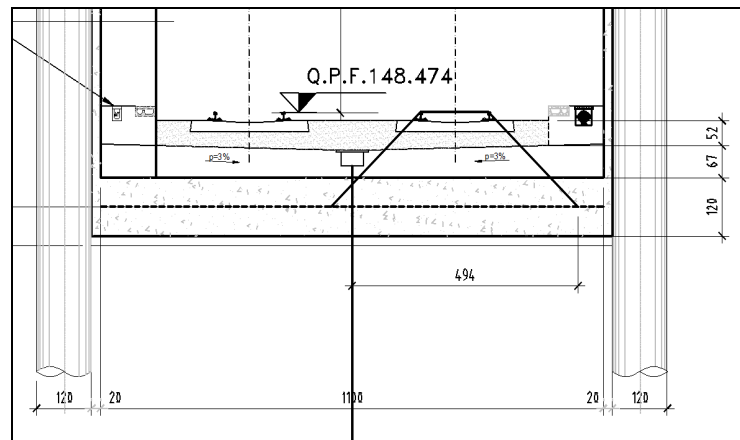


Figura 12. Schema diffusione del carico ferroviario sul solettone inferiore

Il modello di calcolo prevede la schematizzazione della soletta di fondo come trave su suolo elastico incernierata agli estremi (a causa dell'azione di spinta delle pareti su questa).

La lunghezza dell'elemento strutturale risulta pari a 11.0m, ed è suddiviso in elementi di lunghezza pari a 0.50m. La rigidità delle molle localizzate sui punti nodali (esclusi quelli estremi) risulta pari a  $29000 \cdot 0.5 = 14500 \text{ kN/m}$  molla

Le azioni agenti di base risultano:

- DL: pesi propri pari a  $30 + 28.7 = 58.7 \text{ kN/m}$ ;
- TRAIN1: carico variabile del trano in binario sx(
- TRAIN2: carico variabile del trano in binario dx

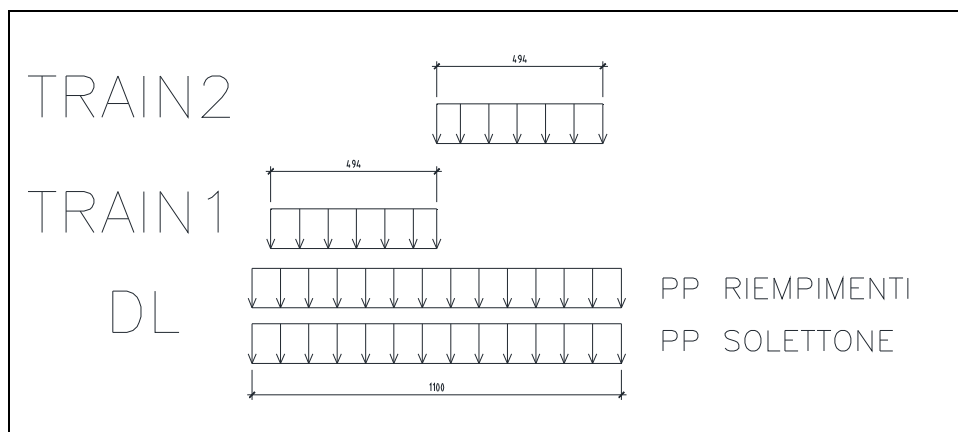


Figura 13. Schema carichi agenti sulla struttura

Le combinazioni carico risultano le seguenti:

Combinazione	DL	TRAIN1	TRAIN2
SLE-PP	1.0		
SLE-PP-T1	1.0	1.0	

SLE-PP-T1-T2	1.0	1.0	1.0
SLU-PP	1.4		
SLU-PP-T1	1.4	1.5	
SLU-PP-T1-T2	1.4	1.5	1.5

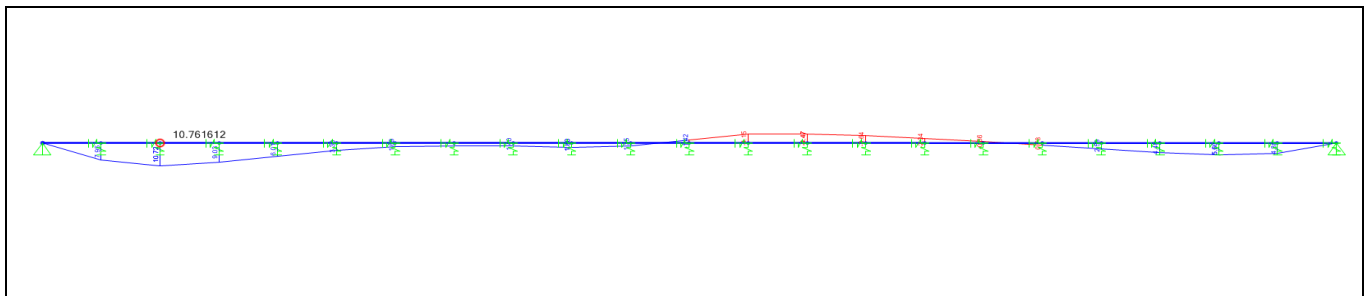
**Tabella 10. Combinazioni di carico per analisi strutturale**

In ragione della rigidezza del terreno, i valori ottenuti risultano estremamente esigui.

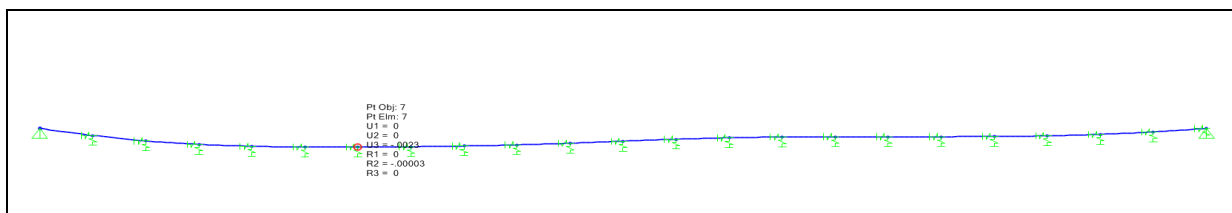
La combinazione SLE maggiormente gravosa risulta SLE-PP- T1, in cui il momento massimo si rivela inferiore a 11 kNm/m e taglio massimo pari a 21 kN/m.

Sulla scorta di tali risultanze, le verifiche sono automaticamente soddisfatte, e risulta necessaria la posa in opera della sola armatura armatura minima (18cmq per l'armatura di forza).

La soletta prevede il posizionamento in intradosso ed estradosso di ferro  $\phi 24/20$ cm in intradosso ed estradosso (22.62 cmq/m > area ferro minima)


**Figura 14. Momento flettente combinazione SLE-PP-T1**

In termini di spostamenti, il valore indotto risulta nella condizione più gravosa pari a 2.3mm

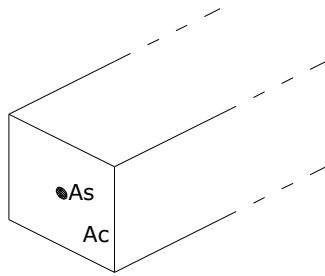

**Figura 15. Deformata combinazione SLE-PP-T1**

## 9. VERIFICA EFFETTI LONGITUDINALI DA RITIRO

Vengono discussi brevemente gli effetti dovuti al ritiro nel calcestruzzo che provocano stati interni di coazione con l'armatura. Scopo della trattazione è quello di verificare l'armatura minima longitudinale dello scatolare.

### 9.1. Coazioni interne dovute ai fenomeni di ritiro

Per il calcolo delle coazioni interne dovute ai fenomeni di ritiro si consideri una sezione di area unitaria  $A_c$  con un'unica barra di armatura di area  $A_s$  come rappresentato nell'immagine sottostante:



Si assumono le seguenti ipotesi:

perfetta aderenza tra calcestruzzo ed acciaio;

deformata piana della sezione in calcestruzzo;

comportamento del calcestruzzo e dell'acciaio elastico e lineare,

Le equazioni di equilibrio, congruenza e legame dell'insieme calcestruzzo + acciaio che governano il fenomeno sono:

$$N_c + N_s = 0 \quad (\text{equazione di equilibrio})$$

$$\varepsilon_r = \varepsilon_s - \varepsilon_c \quad (\text{equazione di congruenza})$$

$$N_c = A_c \sigma_c = A_c E_c \varepsilon_c \quad (\text{equazione legame costitutivo del calcestruzzo})$$

$$N_s = A_s \sigma_s = A_s E_s \varepsilon_s \quad (\text{equazione legame costitutivo dell'acciaio})$$

Sostituendo le equazioni di legame in quella di equilibrio ed esprimendo la deformazione del calcestruzzo in funzione di quella dell'acciaio si ha:

$$N_s = -N_c = A_s E_s A_c E_c \varepsilon_r / (A_s E_s + A_c E_c)$$

Il comportamento viscoso del calcestruzzo viene considerato attraverso l'abbattimento del modulo elastico, pertanto è necessario sostituire il valore di  $E_c$  con  $E^*_c$ . La tensione sull'acciaio e sul calcestruzzo risultano quindi pari a:

$$\sigma_s = A_c E^*_c E_s \varepsilon_r / (A_s E_s + A_c E^*_c)$$

$$\sigma_c = -A_s E^*_c E_s \varepsilon_r / (A_s E_s + A_c E^*_c)$$



## 9.2. Calcolo delle sollecitazioni longitudinali dovute ai fenomeni di ritiro

L'analisi delle sollecitazioni viene svolta per una striscia di larghezza unitaria, assumendo la dimensione convenzionale  $h_0$  pari a  $2 \times A/u = 2 \times H = 280$  cm, ed un calcestruzzo C32/40.

Caratteristiche della sezione:

$$B = 100 \text{ cm}$$

$$H = 140 \text{ cm}$$

$$A_{s, \text{long}} = 1 + 1 \varnothing 16/20 = 2010 \text{ mm}^2$$

$$E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$$

$$E_c = 33346 \text{ N/mm}^2$$

Deformazione da ritiro:

$$U.R. = 75\%$$

$$\varepsilon_r = \varepsilon_{ca} + \varepsilon_{cd} = 0.35 \text{ ‰}$$

A favore di sicurezza, si assume una deformazione  $\varepsilon_r = 0.35 \text{ ‰}$ .

Effetto viscosità:

Il modulo viscoso a tempo infinito, in considerazione del valore di  $h_0$ , della resistenza del calcestruzzo e della U.R., può cautelativamente essere assunto pari a  $\phi (t = \infty) = 1.6$ . Il modulo elastico ridotto del calcestruzzo risulta quindi pari a:

$$E_c^* = E_c / (1 + \phi) = 12825 \text{ N/mm}^2$$

Tensioni nei materiali:

$$\sigma_s = -(1000 \times 1400) \times 12825 \times 200000 \times 0.00035 / (2010 \times 200000 + 1000 \times 1400 \times 12825) = -68.46 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_c = 2010 \times 12825 \times 200000 \times 0.00035 / (2010 \times 200000 + 1000 \times 1400 \times 12825) = 0.098 \text{ N/mm}^2$$

La sollecitazione sul calcestruzzo risulta molto inferiore rispetto alla resistenza a trazione e quindi non porta a fessurazione il calcestruzzo; la sollecitazione sull'acciaio risulta modesta ed accettabile per le normali condizioni di esercizio della struttura.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-CL-GA1N-0X-001-A00 Relazione di calcolo opera c.a sottopasso
	Foglio 64 di 366

## 10. MURI A U

I muri a U di approccio al sottovia sono costituiti da una piastra in c.a. con spessore 120cm e di elevazioni anch'esse dello spessore di 120cm. Le elevazioni sono alte al più 10.25m e la larghezza interna netta tra muri misurata ortogonalmente all'asse binario è di 11.00.

Il modello di calcolo descritto di seguito prevede la determinazione di carichi e sollecitazioni lungo l'asse inclinato di circa 61° rispetto l'asse binario misurando così una distanza netta interna tra i muri di calcolo di 1256.0cm.

### 10.1. Tipologia di analisi condotte e modelli di calcolo impiegati

In virtù della notevole complessità strutturale dell'opera e della forte interazione terreno-strutture, si è adottato un approccio in grado di cogliere le problematiche connesse al comportamento delle strutture nei confronti delle sollecitazioni, rispettivamente in condizioni di esercizio e sisma, che caratterizzeranno la vita delle opere strutturali stesse.

Per il raggiungimento dei suddetti obiettivi sono state predisposte analisi piane ad elementi finiti con riferimento alle sezioni di calcolo precedentemente definite, utilizzando in maniera integrata un software tipicamente strutturale quale STRAUS7 v.2.3.4 della G+D Computing.

L'utilizzo di tale strumento di calcolo consente di simulare in maniera adeguata sia l'interazione terreno-struttura, nonché di tenere in considerazione quegli aspetti tipici di una struttura fuori terra quali ritiro, dilatazione termica ed interferenza con i carichi accidentali ferroviari opportunamente simulabili con uno strumento specificamente dedicato (Analisi con STRAUS7) molto flessibile nelle fasi di combinazione ed inviluppo dei carichi.

L'interazione tra terreno e struttura è stata simulata definendo un supporto elastico la cui rigidezza è funzione della rigidezza del terreno e della struttura che insiste sullo stesso.

### 10.2. Definizione del supporto elastico

Le sezioni sono state analizzate mediante un'analisi statica effettuata su un modello di calcolo a telaio piano prendendo in conto una striscia di lunghezza unitaria.

Nel dettaglio il sistema di vincoli del modello prevede la definizione di un supporto elastico di adeguate caratteristiche in senso verticale, posizionate sotto la soletta di base e sotto i piedritti nonché una reazione orizzontale applicata ai nodi della soletta di base che simula l'attrito tra terreno e struttura assunta come nel seguito descritto.

Le caratteristiche del sottofondo risultano correlate con le caratteristiche dei materiali geotecnici in precedenza descritti.

Il solettone poggia ad una certa profondità rispetto la quota del terreno naturale, che in particolare è stato caricato dall'azione del rilevato autostradale.



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-CL-GA1N-0X-001-A00 Relazione di calcolo opera c.a sottopasso
	Foglio 65 di 366

Tale condizione costituisce, in pratica, una metodologia per il miglioramento delle caratteristiche meccaniche dei materiali per incremento della costipazione.

Tralasciando conservativamente tale aspetto, è fondamentale osservare come i nuovi carichi non raggiungano come entità i valori del carico in precedenza agente del carico autostradale, per cui il fenomeno fisico di carico risulta agente nell'ambito di una ricomprensione (e non una compressione vergine), essendo il ricoprimento alla quota del fondo scavo dell'ordine dei 14m, con valore di riferimento della pressione agente pari 252kPa, mentre il carico massimo agente risulta ad un calcolo largamente sommario pari a 105kPa, come di seguito riportato:

- Carico permanente 2.6m (spessore soletta, strato regolarizzazione, opere di linea ipotizzati con il peso del calcestruzzo) \*25=65kPa;
- carico ferroviario: 40kPa,

E' possibile, quindi fare riferimento ad un modulo di deformabilità dei materiali pari a 1.6-3.0 volte il modulo originario.

Utilizzando un fattore di riferimento pari a 1.6 si ottiene quindi:

$$E=21250\text{kPa} \cdot 1.6=34000 \text{ kPa}$$

Ai fini del cedimento, in accordo con quanto in precedenza definito, il modulo di deformazione viene definito sulla base di un valore operativo di base pari a 1/10 del modulo a piccole deformazioni, per cui viene effettuata un'analisi gemella alla precedente in cui la rigidezza del terreno risulta in analogia a quanto sopra) pari a E=42.5MPa

La rigidezza all'interno del modello viene calcolata attraverso la seguente relazione:

$$K_s = \frac{1}{B \cdot E'_s \cdot I_s \cdot I_f} \quad (\text{Vesic})$$

dove:

B= larghezza fondazione = 11.0 m;

E<sub>s</sub>= modulo di Young del terreno = 34000 KN/m<sup>2</sup>;

v = coefficiente di Poisson del terreno = 0.3;

E<sub>s</sub>' = (1 - v<sup>2</sup>) / E<sub>s</sub> = 0.568\*10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>/KN;

I<sub>s</sub>= coefficiente di Steinbrenner: I<sub>1</sub> + (1 - 2v)/(1 - v) \* I<sub>2</sub> = 0.186;

I<sub>f</sub>= coefficiente di influenza = 0.87 ( L/B = 2.5 e D/B = 0.2).

Sostituendo i valori si ottiene un K di circa 29000 kN/m<sup>3</sup>

Tale valore, nell'ambito delle esperienze dirette riportate da Bowles, si colloca in ambito non afferente alla tipologia del materiale in esame. La valutazione proposta, quindi, deve essere considerata di tipo conservativo.

TERRENO	$k_s$ espresso in $[kN/m^3]$ tra i 3 e i 6 [m]
Ghiaia sabbiosa densa	220000 ÷ 400000
Sabbia grossa mediamente densa	157000 ÷ 300000
Sabbia media	110000 ÷ 280000
Sabbia fine, e sabbia limosa fine	80000 ÷ 200000
Argilla dura umida	60000 ÷ 220000
Argilla dura satura	30000 ÷ 110000
Argilla media umida	39000 ÷ 140000
Argilla media satura	10000 ÷ 80000
Argilla soffice	2000 ÷ 40000

**Figura 16. Valori di rigidezze dei terreni. Valori rappresentativi (rif.Bowles)**

### 10.3. Descrizione delle analisi con STRAUS7

#### 10.3.1. Introduzione

L'analisi delle sollecitazioni agenti sulle varie sezioni tipologiche ritenute caratteristiche è stata effettuata mediante l'utilizzo del programma STRAUS7.

Questa scelta è stata effettuata per sfruttare al massimo le potenzialità di questo software.

L'analisi del comportamento della struttura e dello stato di sforzo sono stati elaborati mediante il programma ad elementi finiti STRAUS7 data la sua efficacia nel gestire diverse condizioni di carico permanenti ed accidentali comprese variazioni termiche e ritiro e la possibilità di sovrapporre e combinare opportunamente le singole condizioni di carico secondo le vigenti normative in materia anche nel caso in cui i carichi agiscono su strutture che nelle varie fasi costruttive si trovano ad avere diverse condizioni di vincolo.

Lo studio è stato sviluppato analizzando modelli distinti per ciascuna sezione che fotografa le situazione reale nelle fase di esercizio.

Nel dettaglio si è realizzato un modello considerando agenti i carichi permanenti dovuti ai pesi propri ed alle spinte del terreno tenendo conto delle possibili escursioni della falda, dei variabili legati al traffico ferroviario ed alla possibile presenza della folla o di altri mezzi, degli eccezionali legati al traffico ferroviario come da normativa ferroviaria.

I modelli riprendono le sezioni studiate considerando uno schema a linea d'asse.

L'analisi effettuata è quindi un'analisi di tipo piano.

L'analisi è stata effettuata mediante l'utilizzo di elementi beam considerando una profondità di 100 cm.

I carichi applicati e le sollecitazioni generate sono state quindi valutati su questa profondità.

Sono stati analizzati i comportamenti delle solette e dei piedritti secondo uno schema che prevede la continuità (incastro) all'interfaccia tra questi elementi.



I vincoli applicati sono costituiti da un sistema di molle (support) verticali di opportuna rigidezza assiale che schematizzano l'interfaccia tra il terreno e la soletta di fondazione.

Non sono previsti vincoli rispetto alla traslazione orizzontale ma un sistema di molle (translational stiffness di entità pari a  $\tan(2/3\phi)$  di quelle verticali)

Per ciascun elemento costituente il modello vengono opportunamente definite le caratteristiche geometriche (B, H), il materiale, il modulo elastico e l'inerzia flessionale.

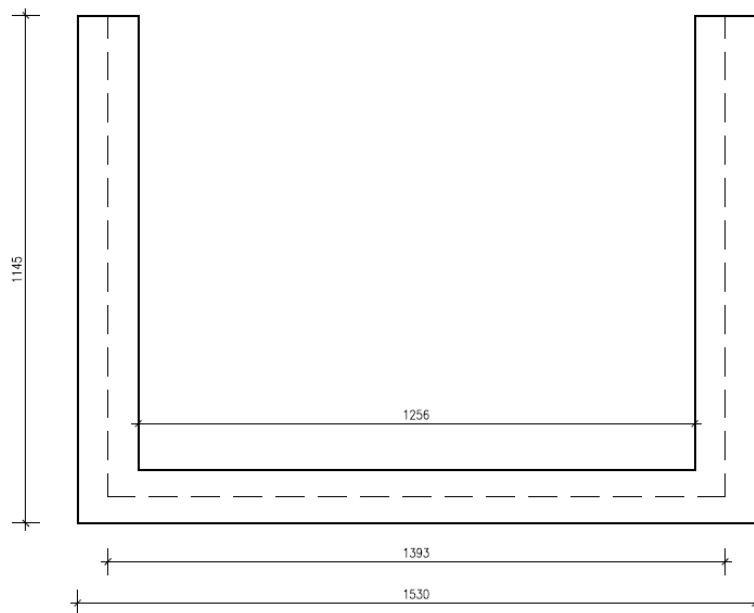
### 10.3.2. Descrizione del modello utilizzato

Si riportano nel seguito le caratteristiche geometriche del modello utilizzato in STRAUS7 ed una serie di considerazioni qualitative utili per comprendere la filosofia che ha ispirato le scelte effettuate.

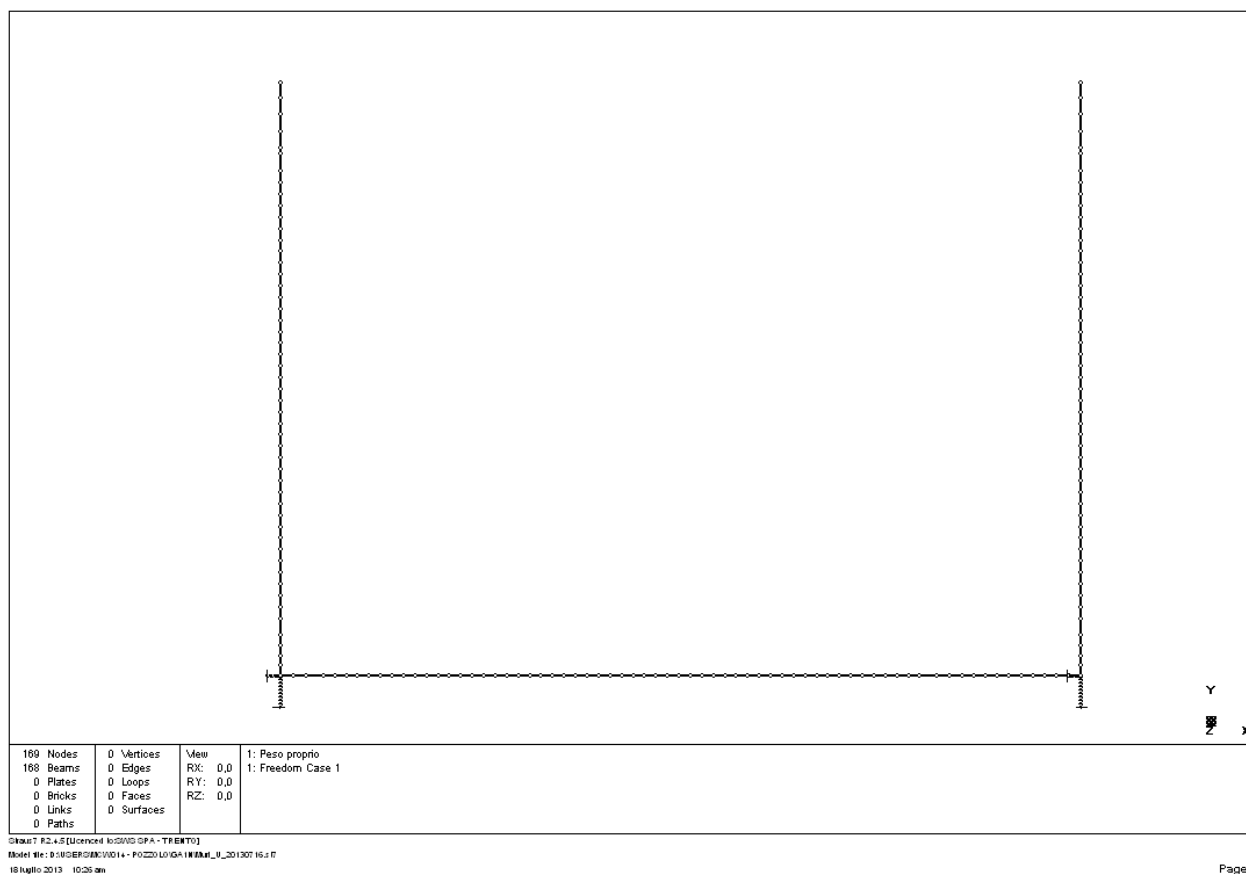
Con riferimento ai dati riportati in tabella si specifica che il modello è stato predisposto con riferimento alla linea d'asse degli elementi schematizzati. Le dimensioni indicate si riferiscono pertanto a suddette grandezze.

Sezione di calcolo	Sezione E-E
Numero e caratteristiche dei piedritti	N° 2 piedritti Piedritto 1 $L_1 = 10.35 \text{ m} (*) \text{ sp.}120$ Piedritto 2 $L_2 = 10.35 \text{ m} (*) \text{ sp.}120$
Numero e luci delle solette	N° 1 soletta $L = 13.95 \text{ m} (*) \text{ sp.}120$
Sovraccarichi	(sovraccarichi da treno)
p.c. = quota di piano campagna originario (quota 55.10 m s.m.m.) (*) riferite all'asse degli elementi strutturali	

Tabella 11 – Caratteristiche sezioni di calcolo



**Figura 17 – Sezione caratteristica E-E di riferimento**



**Figura 18 – Modello di calcolo Straus sezione E-E**

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-CL-GA1N-0X-001-A00 Relazione di calcolo opera c.a sottopasso
	Foglio 69 di 366

### 10.3.3. Combinazioni di carico ed involuppi di riferimento

Come specificato in precedenza si sono considerati agenti tutti i carichi su un unico modello.

I carichi agenti considerati includono il peso proprio della struttura (ricoprimenti inferiori, ballast inferiore, le spinte del terreno in tensioni efficaci e la spinta dell'acqua in regime idrostatico per i possibili livelli di falda precedentemente descritti.

Inoltre si sono considerati agenti i carichi relativi ai convogli ferroviari sia in condizioni di esercizio (LM71, serpeggio, frenatura vento ecc.) che in casi eccezionali (deragliamenti, sisma) e le azioni legato a ritiro, alle variazioni termiche costanti o ad un gradiente di temperatura.

Come precedentemente descritto la falda è assente.

I carichi applicati hanno il loro valore nominale di seguito riportato.

In sede di combinazione dei carichi e di involuppi si sono opportunamente coefficientati i vari carichi agenti.

- involuppo in presenza di carichi variabili
- involuppo in presenza di carichi eccezionali
- involuppo in presenza di carichi per la fessurazione
- involuppo in presenza di carichi per il calcolo delle tensioni.

L'involuppo in presenza di ciascuna di queste configurazioni prevede la presenza di differenti coefficienti di combinazione sia nei confronti dei carichi variabili sia per quanto riguarda i carichi permanenti (peso proprio, spinte del terreno e di carichi permanenti ed accidentali a tergo rilevato).

L'involuppo dei carichi variabili prevede la presenza nel modello finale dei carichi collegati all'esercizio ferroviario (LM71, centrifuga, serpeggio....) opportunamente coefficientati e raggruppati (vedi tabella 1.7.2.3 della norma "sovraccarichi per il calcolo dei ponti ferroviari") in maniera tale da considerare presenti contemporaneamente diversi carichi accidentali rendendo tuttavia carico principale di volta in volta una diversa azione rispetto alle altre (queste ultime valutate quindi presenti con carichi amplificati opportunamente ridotti).

L'involuppo definito dei carichi eccezionali prevede la presenza nel modello finale dei carichi collegati al sisma o al deragliamenti (in maniera esclusiva uno rispetto all'altro) visti come carichi principali ed alla contemporanea presenza dei carichi accidentali legati all'esercizio ferroviario visti come carichi secondari o terziari e coefficientati in maniera opportuna.

Anche i carichi permanenti del modello nelle due configurazioni fin qui descritte sono caratterizzati da differenti coefficienti a seconda di qual è il tipo di involuppo considerato.

Discorso analogo si può effettuare per gli involucri definiti fessurazione e tensioni dove ancora una volta i coefficienti dei carichi permanenti agenti sono caratterizzati da coefficienti diversi rispetto ai precedenti tipi di involucro.

Ovviamente per quanto riguarda le sollecitazioni agenti sulla soletta superiore si sono sovrapposti questi risultati con quelli derivanti dall'analisi della trave in Fase I con schema appoggio – appoggio.

In particolare si sono sovrapposti gli effetti generati in fase I con quelli in esercizio dato che la struttura resistente è differente nelle due configurazioni considerate.

Di seguito si riporta una tabella che riporta per ciascun involucro relativo ad uno dei modelli i coefficienti moltiplicativi utilizzati per le singole condizioni di carico elementari sia nel caso in cui esse agiscano a favore di sicurezza sia nel caso in cui agiscano a sfavore di sicurezza. Ci si riferisce ad un caso generale. Qualora alcune delle condizioni elementari riportate negli involucri non fosse presente nel modello analizzato essa viene posta pari a 0 nel modello stesso e non sortisce quindi alcun effetto a livello di involucro.

VARIABILI			
1: Peso proprio	1.4	1.0	<None>
28: Ritiro	1.4	1.0	<None>
45: Spinta terreno SX K0 falda alta	1.4	1.0	AND {FALDA ALTA} : GRP {TERRENO}
49: Spinta sinistra permanente K0	1.4	1.0	AND {FALDA ALTA} : GRP {TERRENO}
50: Spinta sinistra accidentale K0	1.5	0.0	AND {FALDA ALTA} : GRP {TERRENO}
46: Spinta terreno DX K0 falda alta	1.4	1.0	AND {FALDA ALTA} : GRP {TERRENO}
4: Falda alta	1.4	1.0	AND {FALDA ALTA} : GRP {TERRENO}
31: Sottospinta falda alta	1.4	1.0	AND {FALDA ALTA} : GRP {TERRENO}
47: Spinta terreno SX K0 falda bassa	1.4	1.0	AND {FALDA BASSA} : GRP {TERRENO}
49: Spinta sinistra permanente K0	1.4	1.0	AND {FALDA BASSA} : GRP {TERRENO}
50: Spinta sinistra accidentale K0	1.5	0.0	AND {FALDA BASSA} : GRP {TERRENO}
48: Spinta terreno DX K0 falda bassa	1.4	1.0	AND {FALDA BASSA} : GRP {TERRENO}
7: Falda bassa	1.4	1.0	AND {FALDA BASSA} : GRP {TERRENO}
32: Sottospinta falda bassa	1.4	1.0	AND {FALDA BASSA} : GRP {TERRENO}
10: Ricoprimento SX	1.4	1.0	AND {PERMANENTI SX} : GRP {PERMANENTI}
11: Ballast SX	1.8	1.0	AND {PERMANENTI SX} : GRP {PERMANENTI}
18: Accidentale SX	1.5	0.0	AND {PERMANENTI SX} : GRP {PERMANENTI}
21: Vento SX	1.5	-1.5	AND {PERMANENTI SX} : GRP {PERMANENTI}
19: Serpeggio SUPERIORE SX	0.75	-0.75	AND {DUE SX} : GRP {A}
20: Centrifuga SX	1.5	0.0	AND {DUE SX} : GRP {A}
29: Treno scarico SX	1.5	0.0	AND {DUE SX} : GRP {A}
16: LM71 - 1 SUPERIORE SX	1.2	0.0	AND {QUARTO PRIMO SX} : GRP {A}
19: Serpeggio SUPERIORE SX	1.5	-1.5	AND {QUARTO PRIMO SX} : GRP {A}
20: Centrifuga SX	1.5	0.0	AND {QUARTO PRIMO SX} : GRP {A}
17: LM71 - 2 SUPERIORE SX	1.2	0.0	AND {QUARTO SECONDO SX} : GRP {A}
19: Serpeggio SUPERIORE SX	1.5	-1.5	AND {QUARTO SECONDO SX} : GRP {A}
20: Centrifuga SX	1.5	0.0	AND {QUARTO SECONDO SX} : GRP {A}
16: LM71 - 1 SUPERIORE SX	0.75	0.0	AND {QUINTO PRIMO SX} : GRP {A}
19: Serpeggio SUPERIORE SX	1.5	-1.5	AND {QUINTO PRIMO SX} : GRP {A}
20: Centrifuga SX	0.75	0.0	AND {QUINTO PRIMO SX} : GRP {A}
17: LM71 - 2 SUPERIORE SX	0.75	0.0	AND {QUINTO SECONDO SX} : GRP {A}
19: Serpeggio SUPERIORE SX	1.5	-1.5	AND {QUINTO SECONDO SX} : GRP {A}
20: Centrifuga SX	0.75	0.0	AND {QUINTO SECONDO SX} : GRP {A}
16: LM71 - 1 SUPERIORE SX	1.5	0.0	AND {TRE PRIMO 1 SX} : GRP {A}
19: Serpeggio SUPERIORE SX	0.75	-0.75	AND {TRE PRIMO 1 SX} : GRP {A}
20: Centrifuga SX	0.75	0.0	AND {TRE PRIMO 1 SX} : GRP {A}
16: LM71 - 1 SUPERIORE SX	1.05	0.0	AND {TRE PRIMO 07 SX} : GRP {A}
19: Serpeggio SUPERIORE SX	0.75	-0.75	AND {TRE PRIMO 07 SX} : GRP {A}
20: Centrifuga SX	0.75	0.0	AND {TRE PRIMO 07 SX} : GRP {A}
17: LM71 - 2 SUPERIORE SX	1.05	0.0	AND {TRE SECONDO 07 SX} : GRP {A}
19: Serpeggio SUPERIORE SX	0.75	-0.75	AND {TRE SECONDO 07 SX} : GRP {A}
20: Centrifuga SX	0.75	0.0	AND {TRE SECONDO 07 SX} : GRP {A}
17: LM71 - 2 SUPERIORE SX	1.5	0.0	AND {TRE SECONDO 1 SX} : GRP {A}
19: Serpeggio SUPERIORE SX	0.75	-0.75	AND {TRE SECONDO 1 SX} : GRP {A}
20: Centrifuga SX	0.75	0.0	AND {TRE SECONDO 1 SX} : GRP {A}
16: LM71 - 1 SUPERIORE SX	1.5	0.0	AND {UNO PRIMO SX} : GRP {A}

19: Serpeggio SUPERIORE SX	1.5	-1.5	AND (UNO PRIMO SX) : GRP {A}
20: Centrifuga SX	1.5	0.0	AND (UNO PRIMO SX) : GRP {A}
17: LM71 - 2 SUPERIORE SX	1.5	0.0	AND (UNO SECONDO SX) : GRP {A}
19: Serpeggio SUPERIORE SX	1.5	-1.5	AND (UNO SECONDO SX) : GRP {A}
20: Centrifuga SX	1.5	0.0	AND (UNO SECONDO SX) : GRP {A}
26: Delta termico gradiente	1.5	-1.5	OR (TEMPERATURA) : GRP {B}
27: Delta termico costante	1.5	-1.5	OR (TEMPERATURA) : GRP {B}
33: Ballast sotto	1.8	1.0	<None>
34: Ricoprimento sotto	1.4	1.0	<None>
35: Marciapiedi sotto	1.4	1.0	<None>
36: LM71 - 2 sotto	1.5	0.0	OR {FOLLA SOTTO E LM71} : GRP {E}
37: Serpeggio sotto	1.5	-1.5	<None>
38: Centrifuga sotto	1.5	0.0	<None>
39: Vento sotto	1.5	-1.5	<None>
40: Folla sotto	1.5	0.0	OR {FOLLA SOTTO E LM71} : GRP {E}

**Tabella 12 – Condizioni di carico elementari per involucro Variabili e coefficienti moltiplicativi**

ECCEZIONALI			
1: Peso proprio	1.0	1.0	<None>
28: Ritiro	1.0	1.0	<None>
2: Spinta terreno SX falda alta	1.0	1.0	AND {FALDA ALTA} : GRP {TERRENO}
8: Spinta sinistra permanente	1.0	1.0	AND {FALDA ALTA} : GRP {TERRENO}
9: Spinta sinistra accidentale	1.0	0.0	AND {FALDA ALTA} : GRP {TERRENO}
3: Spinta terreno DX falda alta	1.0	1.0	AND {FALDA ALTA} : GRP {TERRENO}
4: Falda alta	1.0	1.0	AND {FALDA ALTA} : GRP {TERRENO}
31: Sottospinta falda alta	1.0	1.0	AND {FALDA ALTA} : GRP {TERRENO}
5: Spinta terreno SX falda bassa	1.0	1.0	AND {FALDA BASSA} : GRP {TERRENO}
8: Spinta sinistra permanente	1.0	1.0	AND {FALDA BASSA} : GRP {TERRENO}
9: Spinta sinistra accidentale	1.0	0.0	AND {FALDA BASSA} : GRP {TERRENO}
6: Spinta terreno DX falda bassa	1.0	1.0	AND {FALDA BASSA} : GRP {TERRENO}
7: Falda bassa	1.0	1.0	AND {FALDA BASSA} : GRP {TERRENO}
32: Sottospinta falda bassa	1.0	1.0	AND {FALDA BASSA} : GRP {TERRENO}
10: Ricoprimento SX	1.0	1.0	AND {PERMANENTI SX} : GRP {PERMANENTI}
11: Ballast SX	1.0	1.0	AND {PERMANENTI SX} : GRP {PERMANENTI}
18: Accidentale SX	1.0	0.0	AND {PERMANENTI SX} : GRP {PERMANENTI}
21: Vento SX	1.0	-1.0	AND {PERMANENTI SX} : GRP {PERMANENTI}
19: Serpeggio SUPERIORE SX	0.5	-0.5	AND {DUE SX} : GRP {A}
20: Centrifuga SX	1.0	0.0	AND {DUE SX} : GRP {A}
29: Treno scarico SX	1.0	0.0	AND {DUE SX} : GRP {A}
16: LM71 - 1 SUPERIORE SX	0.8	0.0	AND {QUARTO PRIMO SX} : GRP {A}
19: Serpeggio SUPERIORE SX	1.0	-1.0	AND {QUARTO PRIMO SX} : GRP {A}
20: Centrifuga SX	1.0	0.0	AND {QUARTO PRIMO SX} : GRP {A}
17: LM71 - 2 SUPERIORE SX	0.8	0.0	AND {QUARTO SECONDO SX} : GRP {A}
19: Serpeggio SUPERIORE SX	1.0	-1.0	AND {QUARTO SECONDO SX} : GRP {A}
20: Centrifuga SX	1.0	0.0	AND {QUARTO SECONDO SX} : GRP {A}
16: LM71 - 1 SUPERIORE SX	0.5	0.0	AND {QUINTO PRIMO SX} : GRP {A}
19: Serpeggio SUPERIORE SX	1.0	-1.0	AND {QUINTO PRIMO SX} : GRP {A}
20: Centrifuga SX	0.5	0.0	AND {QUINTO PRIMO SX} : GRP {A}
17: LM71 - 2 SUPERIORE SX	0.5	0.0	AND {QUINTO SECONDO SX} : GRP {A}
19: Serpeggio SUPERIORE SX	1.0	-1.0	AND {QUINTO SECONDO SX} : GRP {A}
20: Centrifuga SX	0.5	0.0	AND {QUINTO SECONDO SX} : GRP {A}
12: Incremento spinta terreno SISMICA SN	1.0	0.0	AND {SISMA UNO SX} : GRP {C}
14: Inerzia sismica orizzontale	1.0	0.0	AND {SISMA UNO SX} : GRP {C}
15: Inerzia sismica verticale SX	1.0	-1.0	AND {SISMA UNO SX} : GRP {C}
30: Treno sismico SX	1.0	0.0	AND {SISMA UNO SX} : GRP {C}
13: Incremento spinta terreno SISMICA DX	1.0	0.0	AND {SISMA DUE SX} : GRP {C}
14: Inerzia sismica orizzontale	-1.0	0.0	AND {SISMA DUE SX} : GRP {C}
15: Inerzia sismica verticale SX	1.0	-1.0	AND {SISMA DUE SX} : GRP {C}
30: Treno sismico SX	1.0	0.0	AND {SISMA DUE SX} : GRP {C}
16: LM71 - 1 SUPERIORE SX	1.0	0.0	AND {TRE PRIMO 1 SX} : GRP {A}
19: Serpeggio SUPERIORE SX	0.5	-0.5	AND {TRE PRIMO 1 SX} : GRP {A}
20: Centrifuga SX	0.5	0.0	AND {TRE PRIMO 1 SX} : GRP {A}
16: LM71 - 1 SUPERIORE SX	0.7	0.0	AND {TRE PRIMO 07 SX} : GRP {A}
19: Serpeggio SUPERIORE SX	0.5	-0.5	AND {TRE PRIMO 07 SX} : GRP {A}
20: Centrifuga SX	0.5	0.0	AND {TRE PRIMO 07 SX} : GRP {A}
17: LM71 - 2 SUPERIORE SX	0.7	0.0	AND {TRE SECONDO 07 SX} : GRP {A}
19: Serpeggio SUPERIORE SX	0.5	-0.5	AND {TRE SECONDO 07 SX} : GRP {A}
20: Centrifuga SX	0.5	0.0	AND {TRE SECONDO 07 SX} : GRP {A}
17: LM71 - 2 SUPERIORE SX	1.0	0.0	AND {TRE SECONDO 1 SX} : GRP {A}
19: Serpeggio SUPERIORE SX	0.5	-0.5	AND {TRE SECONDO 1 SX} : GRP {A}
20: Centrifuga SX	0.5	0.0	AND {TRE SECONDO 1 SX} : GRP {A}

16: LM71 - 1 SUPERIORE SX	1.0	0.0	AND {UNO PRIMO SX} : GRP {A}
19: Serpeggio SUPERIORE SX	1.0	-1.0	AND {UNO PRIMO SX} : GRP {A}
20: Centrifuga SX	1.0	0.0	AND {UNO PRIMO SX} : GRP {A}
17: LM71 - 2 SUPERIORE SX	1.0	0.0	AND {UNO SECONDO SX} : GRP {A}
19: Serpeggio SUPERIORE SX	1.0	-1.0	AND {UNO SECONDO SX} : GRP {A}
20: Centrifuga SX	1.0	0.0	AND {UNO SECONDO SX} : GRP {A}
22: Deragliamenti 1 - 1 SX	1.0	0.0	OR {DERAGLIAMENTO SX} : GRP {C}
23: Deragliamenti 1 - 2 SX	1.0	0.0	OR {DERAGLIAMENTO SX} : GRP {C}
24: Deragliamenti 2 - 1 SX	1.0	0.0	OR {DERAGLIAMENTO SX} : GRP {C}
25: Deragliamenti 2 - 2 SX	1.0	0.0	OR {DERAGLIAMENTO SX} : GRP {C}
26: Delta termico gradiente	1.0	-1.0	OR {TEMPERATURA} : GRP {B}
27: Delta termico costante	1.0	-1.0	OR {TEMPERATURA} : GRP {B}
33: Ballast sotto	1.0	1.0	<None>
34: Ricoprimento sotto	1.0	1.0	<None>
35: Marciapiedi sotto	1.0	1.0	<None>
36: LM71 - 2 sotto	1.0	0.0	OR {FOLLA SOTTO E LM71} : GRP {E}
37: Serpeggio sotto	1.0	-1.0	<None>
38: Centrifuga sotto	1.0	0.0	<None>
39: Vento sotto	1.0	-1.0	<None>
40: Folla sotto	1.0	0.0	OR {FOLLA SOTTO E LM71} : GRP {E}
41: Deragliamenti 1 - 1 sotto	1.0	0.0	OR {DERAGLIAMENTO SOTTO} : GRP {C}
42: Deragliamenti 1 - 2 sotto	1.0	0.0	OR {DERAGLIAMENTO SOTTO} : GRP {C}
43: Deragliamenti 2 - 1 sotto	1.0	0.0	OR {DERAGLIAMENTO SOTTO} : GRP {C}
44: Deragliamenti 2 - 2 sotto	1.0	0.0	OR {DERAGLIAMENTO SOTTO} : GRP {C}

**Tabella 13 – Condizioni di carico elementari per involucro Eccezionali e coefficienti moltiplicativi**

FESSURAZIONE			
28: Ritiro	1.0	1.0	<None>
45: Spinta terreno SX K0 falda alta	1.0	1.0	AND {FALDA ALTA} : GRP {TERRENO}
49: Spinta sinistra permanente K0	1.0	1.0	AND {FALDA ALTA} : GRP {TERRENO}
50: Spinta sinistra accidentale K0	1.0	0.0	AND {FALDA ALTA} : GRP {TERRENO}
46: Spinta terreno DX K0 falda alta	1.0	1.0	AND {FALDA ALTA} : GRP {TERRENO}
4: Falda alta	1.0	1.0	AND {FALDA ALTA} : GRP {TERRENO}
31: Sottospinta falda alta	1.0	1.0	AND {FALDA ALTA} : GRP {TERRENO}
47: Spinta terreno SX K0 falda bassa	1.0	1.0	AND {FALDA BASSA} : GRP {TERRENO}
49: Spinta sinistra permanente K0	1.0	1.0	AND {FALDA BASSA} : GRP {TERRENO}
50: Spinta sinistra accidentale K0	1.0	0.0	AND {FALDA BASSA} : GRP {TERRENO}
48: Spinta terreno DX K0 falda bassa	1.0	1.0	AND {FALDA BASSA} : GRP {TERRENO}
7: Falda bassa	1.0	1.0	AND {FALDA BASSA} : GRP {TERRENO}
32: Sottospinta falda bassa	1.0	1.0	AND {FALDA BASSA} : GRP {TERRENO}
10: Ricoprimento SX	1.0	1.0	AND {PERMANENTI SX} : GRP {PERMANENTI}
11: Ballast SX	1.0	1.0	AND {PERMANENTI SX} : GRP {PERMANENTI}
18: Accidentale SX	1.0	0.0	AND {PERMANENTI SX} : GRP {PERMANENTI}
21: Vento SX	1.0	-1.0	AND {PERMANENTI SX} : GRP {PERMANENTI}
16: LM71 - 1 SUPERIORE SX	0.8	0.0	AND {FESSURAZIONE PRIMO SX} : GRP {D}
19: Serpeggio SUPERIORE SX	0.8	-0.8	AND {FESSURAZIONE PRIMO SX} : GRP {D}
20: Centrifuga SX	0.8	0.0	AND {FESSURAZIONE PRIMO SX} : GRP {D}
17: LM71 - 2 SUPERIORE SX	0.8	0.0	AND {FESSURAZIONE SECONDO SX} : GRP {D}
19: Serpeggio SUPERIORE SX	0.8	-0.8	AND {FESSURAZIONE SECONDO SX} : GRP {D}
20: Centrifuga SX	0.8	0.0	AND {FESSURAZIONE SECONDO SX} : GRP {D}
26: Delta termico gradiente	1.0	-1.0	OR {TEMPERATURA} : GRP {B}
27: Delta termico costante	1.0	-1.0	OR {TEMPERATURA} : GRP {B}
33: Ballast sotto	1.0	1.0	<None>
34: Ricoprimento sotto	1.0	1.0	<None>
35: Marciapiedi sotto	1.0	1.0	<None>
36: LM71 - 2 sotto	0.8	0.0	OR {FOLLA SOTTO E LM71} : GRP {E}
37: Serpeggio sotto	0.8	-0.8	<None>
38: Centrifuga sotto	0.8	0.0	<None>
39: Vento sotto	1.0	-1.0	<None>
40: Folla sotto	1.0	0.0	OR {FOLLA SOTTO E LM71} : GRP {E}
28: Ritiro	1.0	1.0	<None>

**Tabella 14 – Condizioni di carico elementari per involucro Fessurazione e coefficienti moltiplicativi**



TENSIONI			
28: Ritiro	1.0	1.0	<None>
45: Spinta terreno SX K0 falda alta	1.0	1.0	AND {FALDA ALTA} : GRP {TERRENO}
49: Spinta sinistra permanente K0	1.0	1.0	AND {FALDA ALTA} : GRP {TERRENO}
50: Spinta sinistra accidentale K0	1.0	0.0	AND {FALDA ALTA} : GRP {TERRENO}
46: Spinta terreno DX K0 falda alta	1.0	1.0	AND {FALDA ALTA} : GRP {TERRENO}
4: Falda alta	1.0	1.0	AND {FALDA ALTA} : GRP {TERRENO}
31: Sottospinta falda alta	1.0	1.0	AND {FALDA ALTA} : GRP {TERRENO}
47: Spinta terreno SX K0 falda bassa	1.0	1.0	AND {FALDA BASSA} : GRP {TERRENO}
49: Spinta sinistra permanente K0	1.0	1.0	AND {FALDA BASSA} : GRP {TERRENO}
50: Spinta sinistra accidentale K0	1.0	0.0	AND {FALDA BASSA} : GRP {TERRENO}
48: Spinta terreno DX K0 falda bassa	1.0	1.0	AND {FALDA BASSA} : GRP {TERRENO}
7: Falda bassa	1.0	1.0	AND {FALDA BASSA} : GRP {TERRENO}
32: Sottospinta falda bassa	1.0	1.0	AND {FALDA BASSA} : GRP {TERRENO}
10: Ricoprimento SX	1.0	1.0	AND {PERMANENTI SX} : GRP {PERMANENTI}
11: Ballast SX	1.0	1.0	AND {PERMANENTI SX} : GRP {PERMANENTI}
18: Accidentale SX	1.0	0.0	AND {PERMANENTI SX} : GRP {PERMANENTI}
21: Vento SX	1.0	-1.0	AND {PERMANENTI SX} : GRP {PERMANENTI}
16: LM71 - 1 SUPERIORE SX	1.0	0.0	AND {FESSURAZIONE PRIMO SX} : GRP {D}
19: Serpeggio SUPERIORE SX	1.0	-1.0	AND {FESSURAZIONE PRIMO SX} : GRP {D}
20: Centrifuga SX	1.0	0.0	AND {FESSURAZIONE PRIMO SX} : GRP {D}
17: LM71 - 2 SUPERIORE SX	1.0	0.0	AND {FESSURAZIONE SECONDO SX} : GRP {D}
19: Serpeggio SUPERIORE SX	1.0	-1.0	AND {FESSURAZIONE SECONDO SX} : GRP {D}
20: Centrifuga SX	1.0	0.0	AND {FESSURAZIONE SECONDO SX} : GRP {D}
26: Delta termico gradiente	1.0	-1.0	OR {TEMPERATURA} : GRP {B}
27: Delta termico costante	1.0	-1.0	OR {TEMPERATURA} : GRP {B}
33: Ballast sotto	1.0	1.0	<None>
34: Ricoprimento sotto	1.0	1.0	<None>
35: Marciapiedi sotto	1.0	1.0	<None>
36: LM71 - 2 sotto	1.0	0.0	OR {FOLLA SOTTO E LM71} : GRP {E}
37: Serpeggio sotto	1.0	-1.0	<None>
38: Centrifuga sotto	1.0	0.0	<None>
39: Vento sotto	1.0	-1.0	<None>
40: Folla sotto	1.0	0.0	OR {FOLLA SOTTO E LM71} : GRP {E}
28: Ritiro	1.0	1.0	<None>
2: Spinta terreno SX falda alta	1.0	1.0	AND {FALDA ALTA} : GRP {TERRENO}
8: Spinta sinistra permanente	1.0	1.0	AND {FALDA ALTA} : GRP {TERRENO}
9: Spinta sinistra accidentale	1.0	0.0	AND {FALDA ALTA} : GRP {TERRENO}
3: Spinta terreno DX falda alta	1.0	1.0	AND {FALDA ALTA} : GRP {TERRENO}
4: Falda alta	1.0	1.0	AND {FALDA ALTA} : GRP {TERRENO}
31: Sottospinta falda alta	1.0	1.0	AND {FALDA ALTA} : GRP {TERRENO}
5: Spinta terreno SX falda bassa	1.0	1.0	AND {FALDA BASSA} : GRP {TERRENO}
8: Spinta sinistra permanente	1.0	1.0	AND {FALDA BASSA} : GRP {TERRENO}
9: Spinta sinistra accidentale	1.0	0.0	AND {FALDA BASSA} : GRP {TERRENO}
6: Spinta terreno DX falda bassa	1.0	1.0	AND {FALDA BASSA} : GRP {TERRENO}

**Tabella 15 – Condizioni di carico elementari per involuppo Tensioni e coefficienti moltiplicativi**

Nella tabella si può notare come siano riportate anche delle sigle che identificano il set ed il gruppo a cui appartengono determinati carichi mentre altri sono caratterizzati dalla sigla “none”.

I set (ad esempio “spinta terreno falda alta” o “spinta terreno falda bassa”) raggruppano alcune condizioni di carico; alle condizioni che vi fanno parte può essere abbinato il comando and oppure quello or; la sigla and sta a significare che le sollecitazioni dovute alle singole condizioni appartenenti a quel set si sommano sempre tra loro (opportunamente coefficientate), la scritta or indica che solo la peggiore tra le condizioni raggruppate per quel determinato involuppo viene presa in considerazione.

il gruppo (ad esempio “grp C” ) raccoglie almeno 2 set ed indica che i set ad esso appartenenti sono considerati come un’entità a se stante e dunque le sollecitazioni (massime o minime a seconda del tipo di inviluppo considerato) generate vanno a sovrapporsi a quelle caratterizzate dalla sigla “none” che non appartengono ad alcun set o gruppo; queste ultime sono sempre presenti con il loro valore massimo o minimo (in considerazione del tipo di inviluppo che l’utente vuole andare ad analizzare).

Da ciascun gruppo viene estrapolato il valore (massimo o minimo) legato ad uno ed un solo set, quello di volta in volta più gravoso.

Di seguito si riportano i set ed i gruppi utilizzati nei vari modelli con la tipologia di “comportamento” ad essi associata.

NAME SET	TYPE	GROUP
PERMANENTI SX	Additive (AND)	PERMANENTI
PERMANENTI DEX	Additive (AND)	PERMANENTI
FALDA ALTA	Additive (AND)	TERRENO
FALDA BASSA	Additive (AND)	TERRENO
UNO PRIMO SX	Additive (AND)	A
UNO PRIMO DEX	Additive (AND)	A
UNO SECONDO SX	Additive (AND)	A
UNO SECONDO DEX	Additive (AND)	A
DUE SX	Additive (AND)	A
DUE DEX	Additive (AND)	A
TRE PRIMO 1 SX	Additive (AND)	A
TRE PRIMO 1 DEX	Additive (AND)	A
TRE PRIMO 07 SX	Additive (AND)	A
TRE PRIMO 07 DEX	Additive (AND)	A
TRE SECONDO 1 SX	Additive (AND)	A
TRE SECONDO 1 DEX	Additive (AND)	A
TRE SECONDO 07 SX	Additive (AND)	A
TRE SECONDO 07 DEX	Additive (AND)	A
QUARTO PRIMO SX	Additive (AND)	A
QUARTO PRIMO DEX	Additive (AND)	A
QUARTO SECONDO SX	Additive (AND)	A
QUARTO SECONDO DEX	Additive (AND)	A
QUINTO PRIMO SX	Additive (AND)	A
QUINTO PRIMO DEX	Additive (AND)	A
QUINTO SECONDO SX	Additive (AND)	A
QUINTO SECONDO DEX	Additive (AND)	A
TEMPERATURA	Exclusive (OR)	B
DERAGLIAMENTO SX	Exclusive (OR)	C
DERAGLIAMENTO DEX	Exclusive (OR)	C
SISMA UNO SX	Additive (AND)	C
SISMA DUE SX	Additive (AND)	C
SISMA UNO DEX	Additive (AND)	C
SISMA DUE DEX	Additive (AND)	C
FESSURAZIONE PRIMO SX	Additive (AND)	D
FESSURAZIONE SECONDO SX	Additive (AND)	D
FESSURAZIONE PRIMO DEX	Additive (AND)	D
FESSURAZIONE SECONDO DEX	Additive (AND)	D
SPINTA TERRENO DX	Exclusive (OR)	

**Tabella 16 – Set e gruppi di carico utilizzati per la definizione delle combinazioni di carico**

Questi set e gruppi sono riscontrabili anche nei file di input riportati all’interno degli allegati numerici.

#### 10.3.4. Determinazione delle sollecitazioni di verifica

Il modello descritto è stato utilizzato per la validazione delle carpenteria, la determinazione dell’armatura e delle incidenze relative a ciascun elemento strutturale.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-02-E-CV-CL-GA1N-0X-001-A00 Relazione di calcolo opera c.a sottopasso
	Foglio 75 di 366

Il modello adottato per determinare le sollecitazioni sulla struttura è stato caricato con tutti i carichi permanenti accidentali ed eccezionali previsti dalle normative con l'obiettivo di determinare gli involuppi delle sollecitazioni agenti su questo tipo di struttura.

Si sono quindi determinati gli involuppi per le condizioni legate alla presenza dei carichi variabili come predominanti, successivamente per la presenza dei carichi eccezionali ed infine per i carichi legati alla fessurazione ed alle verifiche tensionali.

Ovviamente per ciascuna tipologia di involuppo si è valutato il valore massimo e minimo in termini di segno; gli involuppi risultano quindi essere complessivamente 8 per ciascun modello.

Di seguito si riportano le singole condizioni di carico elementari considerate nei vari modelli utilizzati.

#### **10.4. Condizioni di carico analizzate**

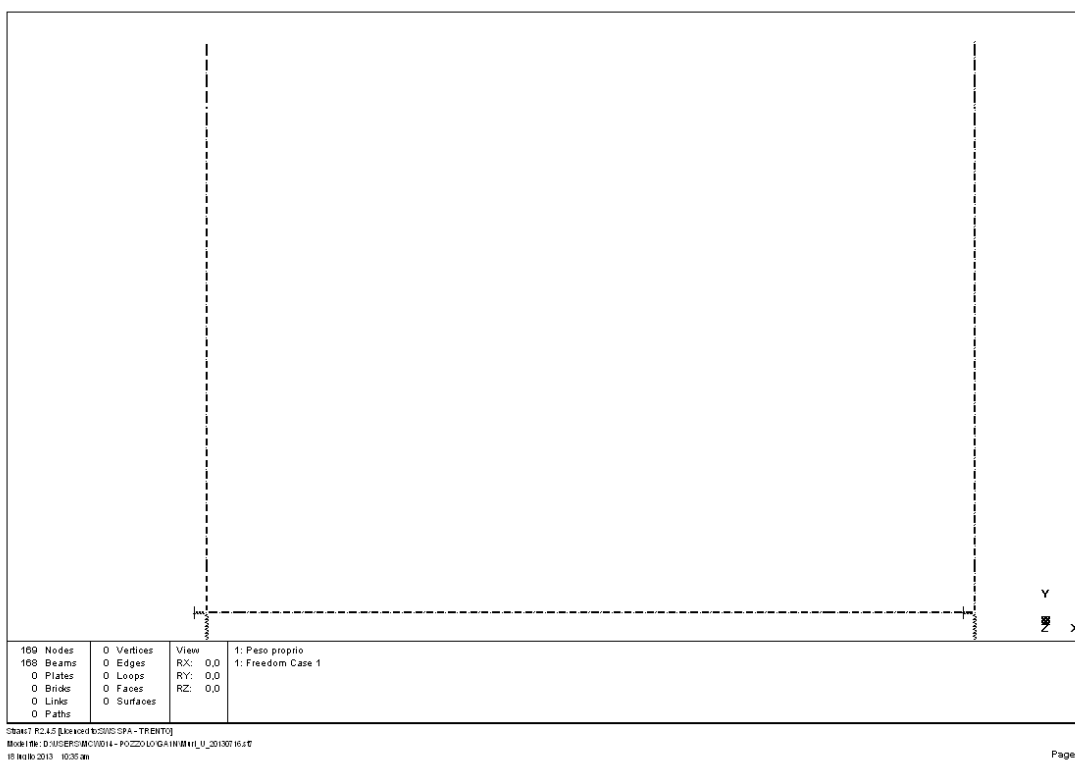
Di seguito vengono riportate le analisi dei carichi descrivendone la tipologia e la zona di applicazione.

##### **1. Peso proprio (Condizione di carico 1)**

peso proprio struttura:

$$\gamma = 2500 \text{ daN/m}^3$$

Il peso proprio è stato considerato mediante l'applicazione dell'accelerazione di gravità ai beam dei piedritti e della soletta inferiore costituenti il modello.



**Figura 19 – Peso proprio**

## 2. Spinta terreno SX K0 falda alta e Spinta terreno DX K0 falda alta (Condizioni di carico 60 e 61)

Sono state applicate le spinte del terreno in assenza della falda.

Tali spinte saranno caratterizzate da un coefficiente relativo al peso specifico del terreno pari al suo valore nominale .

Il valore della spinta è stato calcolato considerando il coefficiente di spinta a riposo K0 assumendo un monostrato.

Nella valutazione delle spinte delle terre, a favore di sicurezza, si è considerato che l'angolo di attrito tra paramento verticale e terreno sia pari a zero.

Nelle verifiche geotecniche si farà riferimento a spinte delle terre determinabili con la seguente equazione:

$$p'_\sigma(z) = \sigma'_{v(z)} \cdot K_0$$

- $\sigma'_{v(z)}$  = tensione verticale efficace alla generica quota z;
- $K_0$  = coefficiente di spinta a riposo;
- q = eventuale sovraccarico uniformemente distribuito.

Il calcolo di K0 avviene utilizzando la formula di Jaky, valida per superfici di rottura piane, riportata di seguito:

$$K_0 = 1 - \tan \phi$$

con:

- $\phi'$  = angolo di resistenza al taglio.

Per ogni strato di materiale a tergo si sono calcolate le spinte esercitate con la precedente formulazione.

Nella valutazione delle spinte, vista la modalità di realizzazione dell'opera si è tenuto conto di una stratigrafia omogenea. I parametri di riferimento sono quelli riportati in tabella.

$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kPa)	$\phi'$ (°)
18	0	35

**Tabella 17 – Parametri del terreno**

Nel seguito si riportano le sollecitazioni statiche oggetto delle verifiche. La profondità è riferita allo 0 coincidente con il nodo posto alla base del piedritto del modello..

Spinta terreno DX K0 falda alta (Condizione 61)							
z (m)	Terreno	$\gamma'$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kPa)	$\phi'$ (°)	$K_0$ (-)	$\sigma_{v0}'$ (kPa)	$\sigma_{ha}'$ (kPa)
10.35	Terreno	18	0	35	0.426	0.0	0.0
0.0						186.3	79.36

NOTE:  
1. Lo 0 coincide con il nodo posto alla base del piedritto del modello

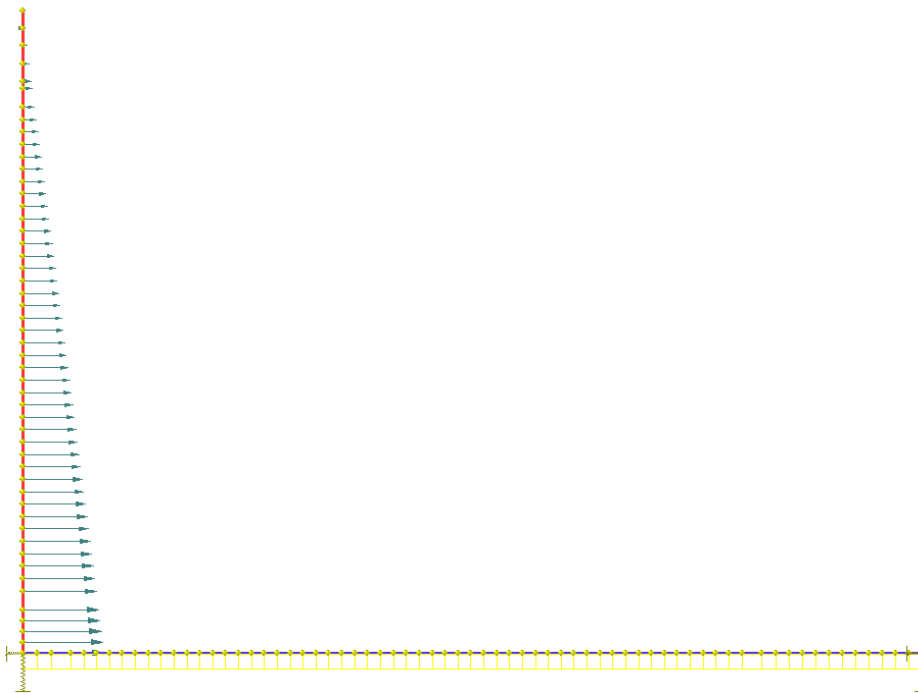
**Tabella 18 – Spinta terreno DX K0 falda alta (Condizione 61)**



**Figura 20 – Spinta terreno DX K0 falda alta (Condizione 61)**

Spinta terreno DX K0 falda alta (Condizione 61)							
z (m)	Terreno	$\gamma'$ (kN/m <sup>3</sup> )	c' (kPa)	$\phi'$ (°)	$K_0$ (-)	$\sigma_{v0}'$ (kPa)	$\sigma_{ha}'$ (kPa)
10.35	Terreno	18	0	35	0.426	0.0	0.0
0.0						186.3	79.36

NOTE:  
 2. Lo 0 coincide con il nodo posto alla base del piedritto del modello

**Tabella 19 – Spinta terreno SX K0 falda alta (Condizione 60)**

**Figura 21 – Spinta terreno SX K0 falda alta (Condizione 60)**
**3. Spinta idraulica falda alta (Condizione di carico 4)**

Assente

**4. Spinta terreno SX K0 falda bassa e Spinta terreno DX K0 falda bassa (Condizioni di carico 63 e 62)**

Non determinata

**5. Spinta idraulica falda bassa (Condizione di carico 7)**

Assente

**6. Spinta sinistra accidentale  $K_0$  (Condizione 65)**

Si tratta della spinta sui piedritti dovuta al carico accidentale nel caso in cui lateralmente vi sia il passaggio di automezzi. Si è assunto un carico verticale per unità di superficie pari a:

$$Q_{acc} = 2000 \text{ daN/cm}^2$$

Tale valore deve essere moltiplicato per il coefficiente di spinta a riposo  $K_0$  opportuno ( $K_0 = 0.426$ ).

L' applicazione del carico sui montanti di sinistra del modello si estende su tutta l'altezza dell'elevazione

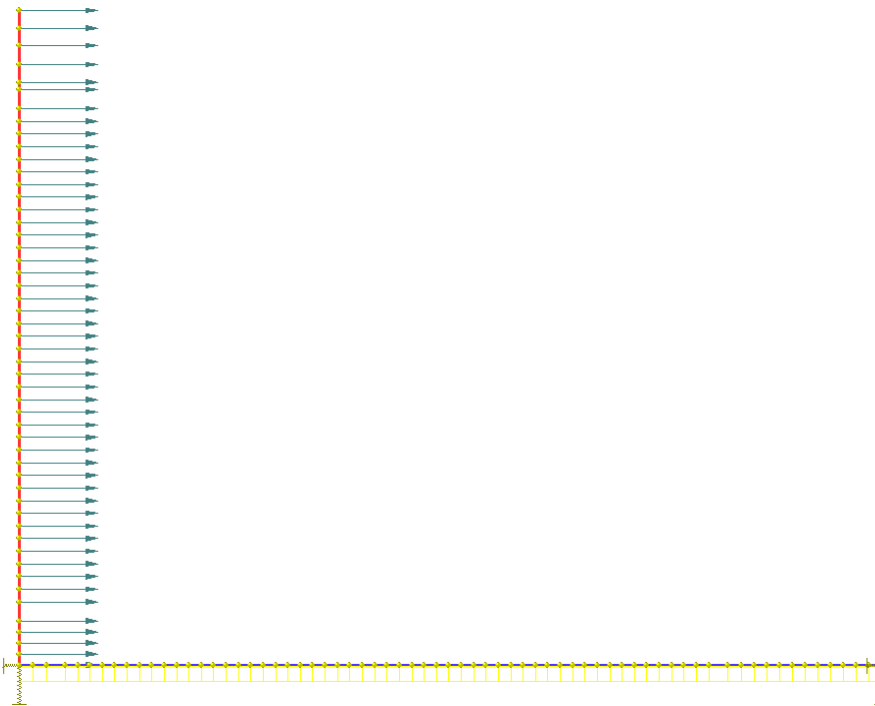


Figura 22 – Spinta sinistra accidentale  $K_0$  (Condizione 65)

## 7. Ricoprimento (Condizione 10,12 e 49)

Assente

## 8. Incremento spinta terreno sismica SX (Condizione 14) associata alla Spinta terreno SX falda alta e falda bassa (Condizioni 2 e 5)

Questa condizione di carico prevede l'applicazione di una spinta da sinistra verso destra a tergo dei piedritti di risultante pari alla differenza tra la spinta totale sismica dovuta al terreno agente in regime di tensioni totali e la spinta totale in condizioni statiche calcolata in regime spinta attiva.

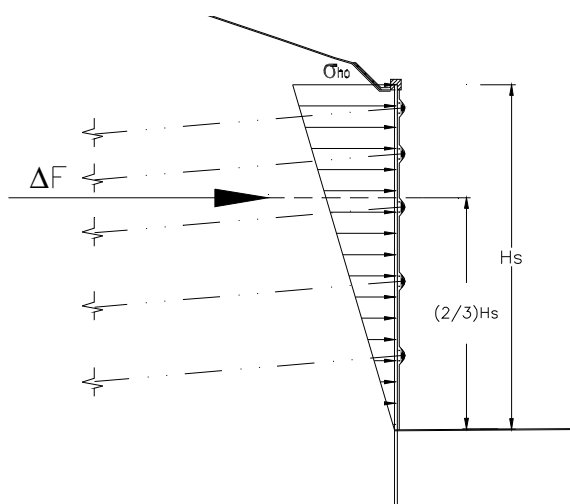
L'applicazione di questo carico è prevista mediante una distribuzione triangolare rovesciata (entità massima in sommità, valore nullo al lembo inferiore del montante).

Questa condizione di carico è associata alla presenza del sisma all'interno dell'involuppo "Eccezionali" nel gruppo C che comprende i set "SISMA UNO" e "SISMA DUE".

L'azione di questa condizione è alternativa a quello della condizione successiva riferita alla spinta sismica DX (Condizione 15).

Nel dettaglio l'incremento di spinta a tergo della paratia è stimato pari a  $\Delta F = F_s - F$ , dove:

- $F$  rappresenta la spinta esercitata dal terreno in condizioni statiche, calcolata come integrale, sull'altezza di scavo, della tensione orizzontale esercitata dal terreno in condizioni di equilibrio limite attivo e fornita dall'espressione:
  - $\sigma_h = K_a \sigma_v - 2c(K_a)^{0.5}$
- $F_s$  rappresenta la spinta esercitata dal terreno in condizioni sismiche, calcolata come integrale, sull'altezza di scavo, della tensione orizzontale esercitata dal terreno in condizioni sismiche, trascurando l'attrito terreno struttura, e fornita dall'espressione:
  - $\sigma_{hs} = K_{as} \sigma_v - 2c(K_{as})^{0.5}$
- Nelle due espressioni i simboli rappresentano:
  - $\sigma_v = \gamma z$  = tensione verticale
  - $c$  = coesione
  - $K_a, K_{as}$  = rispettivamente coefficiente di spinta attiva in condizioni statiche (calcolato con il metodo di Coulomb) e sismico (calcolato con il metodo di Mononobe-Okabe) trascurando l'attrito all'interfaccia tra terreno e struttura.
- Nelle verifiche effettuate, l'incremento di spinta  $\Delta F$  così calcolato è applicato a tergo della paratia come una pressione orizzontale con andamento triangolare sull'altezza libera della paratia, in modo da ottenere una risultante posta a  $2/3$  dell'altezza libera dal fondo dello scavo, così come indicato nello schema che segue.



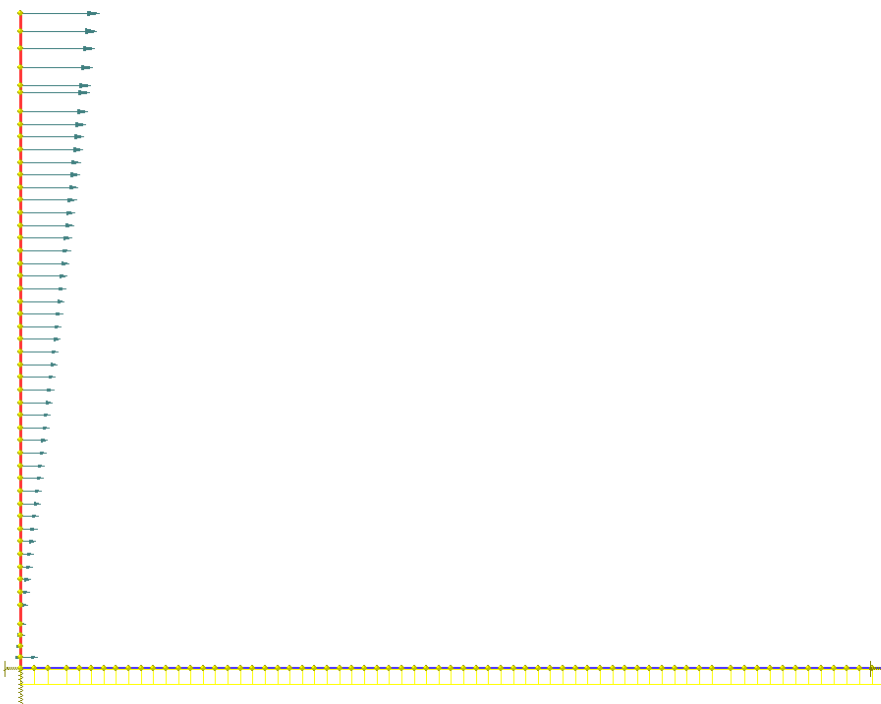
Nel seguito si riportano le sollecitazioni statiche e sismiche oggetto delle verifiche. La profondità è riferita allo 0 coincidente con il nodo alla base del piedritto del modello,



Incremento spinta terreno sismica SX associata alla Spinta terreno SX falda alta (Condizione 14)										
z (m)	Terreno	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c' (kPa)	$\phi'$ (°)	$K_{as}$ (-)	$K_a$ (-)	$\sigma_{v0}'$ (kPa)	$\sigma_{ha}'$ (kPa)	$\sigma_{has}'$ (kPa)	$\Delta\sigma_{has}'$ (kPa)
10.35	Terreno sopra falda	18	0	35	0.310	0.271	0.0	0.0	0.0	7.75
0							186.30	50.48	57.75	0.0

NOTE:  
1. Lo 0 coincide con il nodo posto alla base del piedritto del modello

**Tabella 20 – Incremento spinta terreno sismica SX associata alla Spinta terreno SX falda alta (Condizione 14)**



**Figura 23 – Incremento spinta terreno sismica SX (Condizione 14)**

Quale valore di incremento spinta sismica SX da associare alla Condizione 14 di carico è stato scelto il valore massimo tra quelli derivanti dalle analisi con falda bassa ed alta associato poi nelle analisi delle combinazioni di carico eccezionali alternativamente alla spinta attiva statica SX con falda alta (Condizione 2) e spinta attiva statica SX con falda bassa (Condizione 5).

#### **9. Incremento spinta terreno sismica DX (Condizione 15) associata alla Spinta terreno DX falda alta e falda bassa (Condizioni 3 e 6)**

Questa condizione di carico prevede l'applicazione di una spinta da sinistra verso destra a tergo dei piedritti di risultante pari alla differenza tra la spinta totale sismica dovuta al terreno agente in regime di tensioni totali e la spinta totale in condizioni statiche calcolata in regime spinta attiva.

Nel seguito si riportano le sollecitazioni statiche e sismiche oggetto delle verifiche. La profondità è riferita allo 0 coincidente con il nodo alla base del piedritto del modello

Incremento spinta terreno sismica SX associata alla Spinta terreno SX falda alta (Condizione 14)

z (m)	Terreno	$\square$ (kN/m <sup>3</sup> )	c' (kPa)	$\phi'$ (°)	K <sub>as</sub> (-)	K <sub>a</sub> (-)	$\sigma_{v0}'$ (kPa)	$\sigma_{ha}'$ (kPa)	$\sigma_{has}'$ (kPa)	$\Delta\sigma_{has}'$ (kPa)
10.35	Terreno sopra falda	18	0	35	0.310	0.271	0.0	0.0	0.0	7.75
0							186.30	50.48	57.75	0.0

NOTE:

2. Lo 0 coincide con il nodo posto alla base del piedritto del modello

**Tabella 21 – Incremento spinta terreno sismica DX associata alla Spinta terreno DX falda alta (Condizione 15)**

**Figura 24 – Incremento spinta terreno sismica DX (Condizione 15)**

Quale valore di incremento spinta sismica DX da associare alla Condizione 15 di carico è stato scelto il valore massimo tra quelli derivanti dalle analisi con falda bassa ed alta associato poi nelle analisi delle combinazioni di carico **eccezionali** alternativamente alla spinta attiva statica DX con falda alta (Condizione 3) e spinta attiva statica SX con falda bassa (Condizione 6).

### 10. Inerzia sismica orizzontale (Condizione 16)

Forza d'inerzia orizzontale  $F_i = C W$  dove:

C = coefficiente d'intensità sismica pari a 0,04 per zone sismiche di III° categoria (grado di sismicità S = 6)

W = peso proprio della paratia

Tale forza viene applicata, nelle verifiche effettuate, come una pressione orizzontale con distribuzione rettangolare, su tutta l'altezza dell'elemento strutturale, in modo che la risultante sia posta nel baricentro dei pesi.



Essa tiene conto dei seguenti parametri:

$$S = 6$$

$$C = (s-2)/100 = 0.04$$

$$R = 1.0$$

$$\varepsilon = 1.0$$

$$B = 1.0$$

$$I = 1.0$$

Per cui il coefficiente moltiplicativo dei carichi verticali utilizzato per il calcolo delle forze inerziali sismiche è pari a:

$$F_h = C \cdot R \cdot \varepsilon \cdot B \cdot I = 0.04$$

I pesi permanenti sono pari a:

Soletta superiore

$$Q_{pp} = 2500 \cdot 1.2 = 3000 \text{ daN/m}^2$$

Soletta inferiore

$$Q_{pp} = 2500 \cdot 1.2 = 3000 \text{ daN/m}^2$$

Piedritti

$$Q_{pp} = 2500 \cdot 1.2 = 3000 \text{ daN/m}^2$$

Le forze inerziali sulle solette e sui piedritti sono dunque pari rispettivamente a:

$$F_h \text{ soletta soletta inferiore} = 0.04 \cdot 3000 = 120 \text{ daN/m}^2$$

$$F_h \text{ piedritti} = 0.04 \cdot 3000 = 120 \text{ daN/m}^2$$

La forza di inerzia sismica orizzontale dovuta agli accidentali viene determinata considerando un carico accidentale opportuno secondo quanto previsto dalla norma 44b.

Si considera la situazione più gravosa caratterizzata dalla presenza di 2 carichi Q distanti tra loro 1,50 m di intensità pari a 200 kN = 20000 daN.

$$Q = 20000 \text{ daN}$$

Il coefficiente s è pari a:

$$s = 1 + 0.5 \cdot (n-1)$$

con n = numero binari = 2

$$s = 1 + 0.5 \cdot (2-1) = 1.5$$

La lunghezza di distribuzione longitudinalmente è pari a 5,0 m (vedi paragrafo B17) mentre trasversalmente a livello di piano medio della soletta (tenendo conto di una diffusione 1:4 nel ballast e nel ricoprimento e di 1:1 nella soletta) si ha una larghezza pari a:

$$B_{\text{tras}} = B_{\text{traversa}} + ((H_{\text{ric}} + H_{\text{ballast}} - H_{\text{traversa}})/4 + H_{\text{soletta}}/2) \cdot 2 = 2.6 + (0.26 + 0.60 - 0.23)/4 + 1.2/2) \cdot 2 = 2.6 + (0.1575 + 0.6) \cdot 2 = 4.12 \text{ m}$$

Essendo tale valore superiore all'interasse tra i binari si considera, a favore di sicurezza, un valore  $B_{\text{long}}$  pari a 4,0 m.

Il carico per unità di superficie risulta quindi pari a:

$$q = s \cdot n \cdot Q / (b_{\text{tras}} \cdot B_{\text{long}} \cdot n) = 1.5 \cdot 2 \cdot 20000 / (4.0 \cdot 5.0 \cdot 2) = 1500 \text{ daN/m}^2.$$

La forza inerziale orizzontale per la presenza dell'accidentale è dunque pari in definitiva a:

$$F_{\text{h acc}} = 0.07 \cdot 1500 = 105 \text{ daN/m}^2.$$

Questa condizione di carico è associata alla presenza del sisma all'interno dell'involuppo "Eccezionali" nel gruppo C che comprende i set "SISMA UNO" e "SISMA DUE".

Questi carichi sono stati applicati sul modello in maniera uniforme sui piedritti, sulla soletta inferiore con diverse intensità a seconda dei carichi permanenti ed accidentali che generano la massa sismica da considerare seconda la normativa specifica.



Figura 25 – Inerzia sismica orizzontale (Condizione 16)



### 11. Inerzia sismica verticale (Condizione 17-18)

Forza d'inerzia orizzontale  $F_i = C W$  dove:

- $C$  = coefficiente d'intensità sismica pari a 0,04 per zone sismiche di III° categoria (grado di sismicità  $S = 6$ )
- $W$  = peso proprio della paratia

Tale forza viene applicata, nelle verifiche effettuate, come una pressione orizzontale con distribuzione rettangolare, su tutta l'altezza dell'elemento strutturale, in modo che la risultante sia posta nel baricentro dei pesi.

Essa tiene conto dei seguenti parametri:

- $S = 6$
- $C = (s-2)/100 = 0.04$
- $m = 2.0$
- $\varepsilon = 1.0$
- $B = 1.0$
- $I = 1.0$

Per cui il coefficiente moltiplicativo dei carichi verticali utilizzato per il calcolo delle forze inerziali sismiche è pari a:

$$F_v = C \cdot m \cdot \varepsilon \cdot B \cdot I = 0.08$$

I pesi permanenti sono pari a:

Soletta inferiore

$$Q_{pp} = 2500 \cdot 1.2 = 3000 \text{ daN/m}^2$$

Il carico permanente sulla soletta inferiore dovuto a ricoprimento e ballast è pari a:

$$Q_{perm} = 545 + 1080 = 1625 \text{ daN/m}^2$$

Il carico totale permanente sulla soletta varia quindi a seconda delle situazioni analizzate.

$$Q_{tot \text{ perm soletta inferiore}} = 3000 + 1625 = 4625 \text{ daN/m}^2$$

Le forze inerziali sulle solette e sui piedritti sono dunque pari rispettivamente a:

$$F_h \text{ soletta soletta inferiore} = 0.08 \cdot 4625 = 370 \text{ daN/m}^2$$

La forza di inerzia sismica verticale dovuta agli accidentali viene determinata considerando un carico accidentale opportuno secondo quanto previsto dalla norma 44b.

Si considera la situazione più gravosa caratterizzata dalla presenza di 2 carichi  $Q$  distanti tra loro 1,50 m di intensità pari a 200 kN = 20000 daN.



$$Q = 20000 \text{ daN}$$

Il coefficiente  $s$  è pari a:

$$s = 1 + 0.5 \cdot (n-1)$$

con  $n$  = numero binari = 2

$$s = 1 + 0.5 \cdot (2-1) = 1.5$$

La lunghezza di distribuzione longitudinalmente è pari a 5,0 m (vedi paragrafo B17) mentre trasversalmente a livello di piano medio della soletta (tenendo conto di una diffusione 1:4 nel ballast e nel ricoprimento e di 1:1 nella soletta) si ha una larghezza pari a:

$$B_{\text{tras}} = B_{\text{traversa}} + ((H_{\text{ric}} + H_{\text{ballast}} - H_{\text{traversa}})/4 + H_{\text{soletta}}/2) \cdot 2 = 2.6 + (0.26 + 0.60 - 0.23)/4 + 1.2/2 \\ \cdot 2 = 2.6 + (0.1575 + 0.6) \cdot 2 = 4.12 \text{ m}$$

Essendo tale valore superiore all'interasse tra i binari si considera, a favore di sicurezza, un valore  $B_{\text{long}}$  pari a 4,0 m.

Il carico per unità di superficie risulta quindi pari a:

$$q = s \cdot n \cdot Q / (b_{\text{tras}} \cdot B_{\text{long}} \cdot n) = 1.5 \cdot 2 \cdot 20000 / (4.0 \cdot 5.0 \cdot 2) = 1500 \text{ daN/m}^2.$$

La forza inerziale orizzontale per la presenza dell'accidentale è dunque pari in definitiva a:

$$F_{\text{h acc}} = 0.14 \cdot 1500 = 210 \text{ daN/m}^2.$$

Questa condizione di carico è associata alla presenza del sisma all'interno dell'involucro "Eccezionali" nel gruppo C che comprende i set "SISMA UNO" e "SISMA DUE".

Questi carichi sono stati applicati sul modello in maniera uniforme sulla soletta superiore e sulla soletta inferiore con diverse intensità a seconda dei carichi permanenti ed accidentali che generano la massa sismica da considerare seconda la normativa specifica.

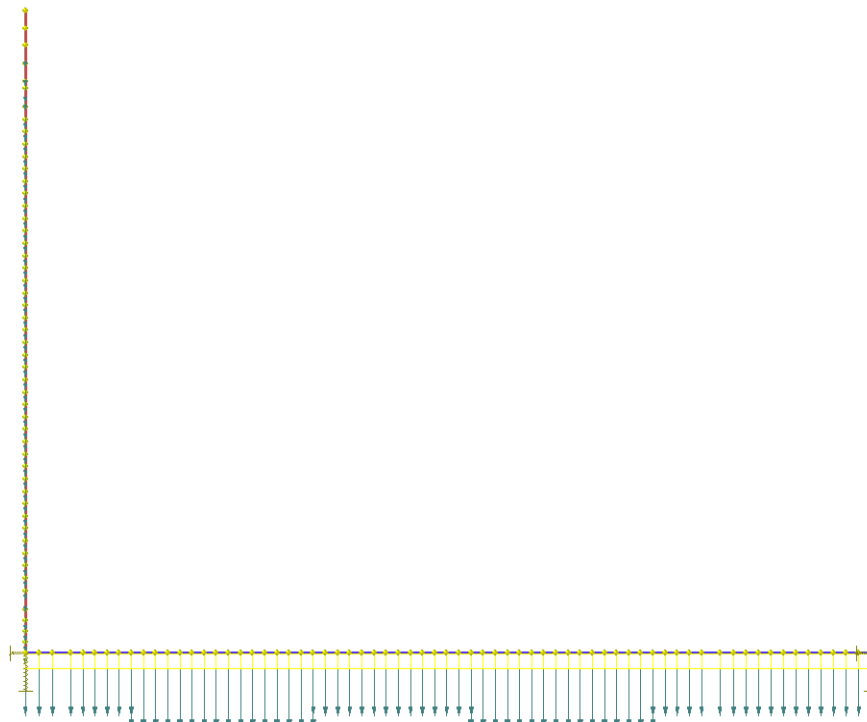


Figura 26 – Inerzia sismica verticale (Condizione 17)

**12. LM71-1: Carico variabile ferroviario con incremento dinamico (Condizione 19-25)**

Assente

**13. LM71- 2: Carichi variabili ferroviari con incremento dinamico su due binari (Condizione 20,26 e 51)**

Assente

**14. Gradiente termico (Condizione 39)**

Essendo la struttura aperta il gradiente termico non determina sollecitazioni significative

**15. Variazione termica costante (Condizione 40)**

Essendo la struttura aperta la variazione termica non determina sollecitazioni significative

**16. Ritiro (Condizione 41)**

Essendo la struttura aperta la variazione termica non determina sollecitazioni significative

**17. Treno scarico (Condizione 42,44)**

Conformemente a quanto previsto dalla normativa si considera un carico di intensità pari a  $12.5 \text{ kN/m} = 1250 \text{ daN/m}$  uniformemente distribuito.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-CL-GA1N-0X-001-A00 Relazione di calcolo opera c.a sottopasso
	Foglio 88 di 366

Esso agisce sulla soletta inferiore.

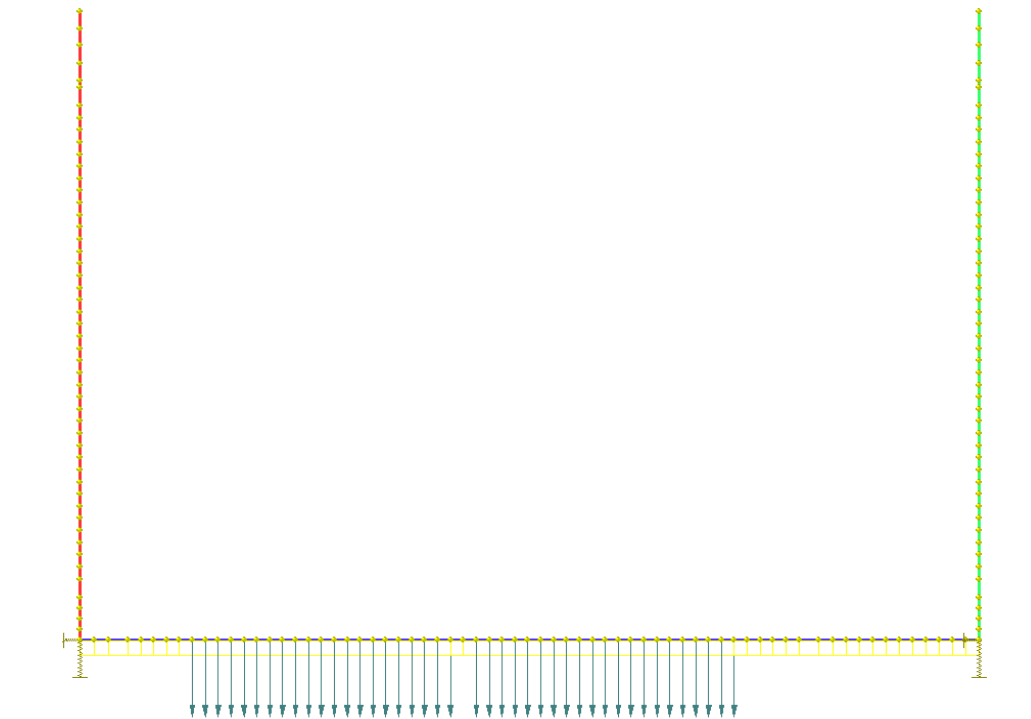


Figura 27 – Treno sotto (Condizione 36)

### 18. Folla (Condizione 55)

Si considera un carico variabile di intensità pari a 1000 daN/m<sup>2</sup> per tenere conto dell'eventuale presenza della folla sui marciapiedi a bordo dei binari qualora presenti.

Tale carico si estende su un tratto di 120 cm alle estremità dei binari.

Come previsto dalla norma tale carico non viene considerato contemporaneamente al passaggio dei treni e non viene amplificato per il coefficiente dinamico  $\phi$ .



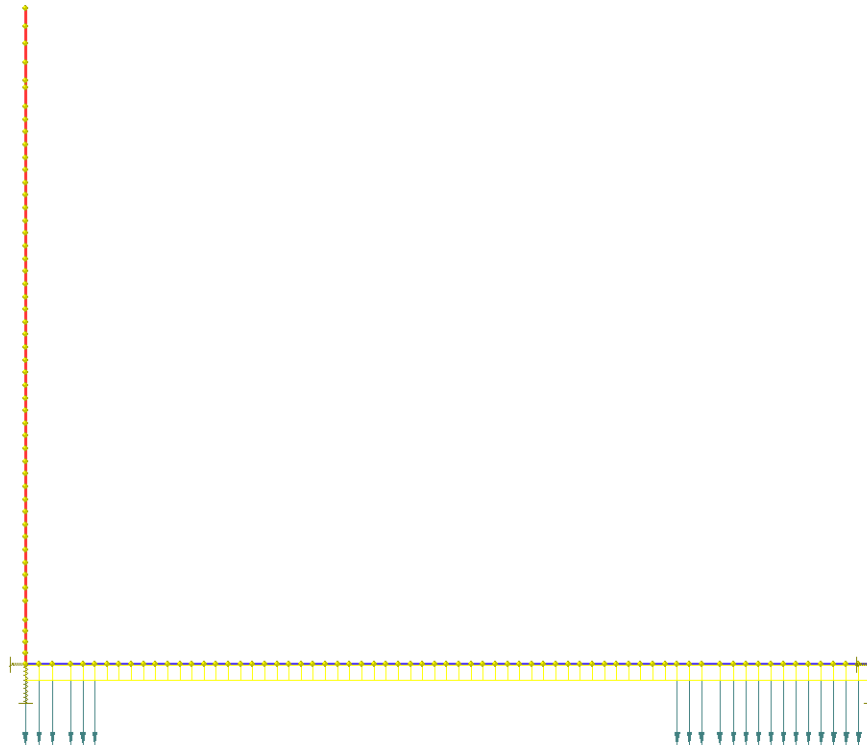


Figura 28 – Folla (Condizione 55)

### 19. Marciapiedi (Condizione 50)

Si considera un carico permanente che tiene conto del peso del marciapiede di spessore pari a 153 cm.

L'intensità del carico sarà pari quindi a:

$$P_{\text{marc}} = 1.53 \times 2500 = 3825 \text{ daN/mq}$$

Tale carico si estende su un tratto di 120 cm alle estremità dei binari.

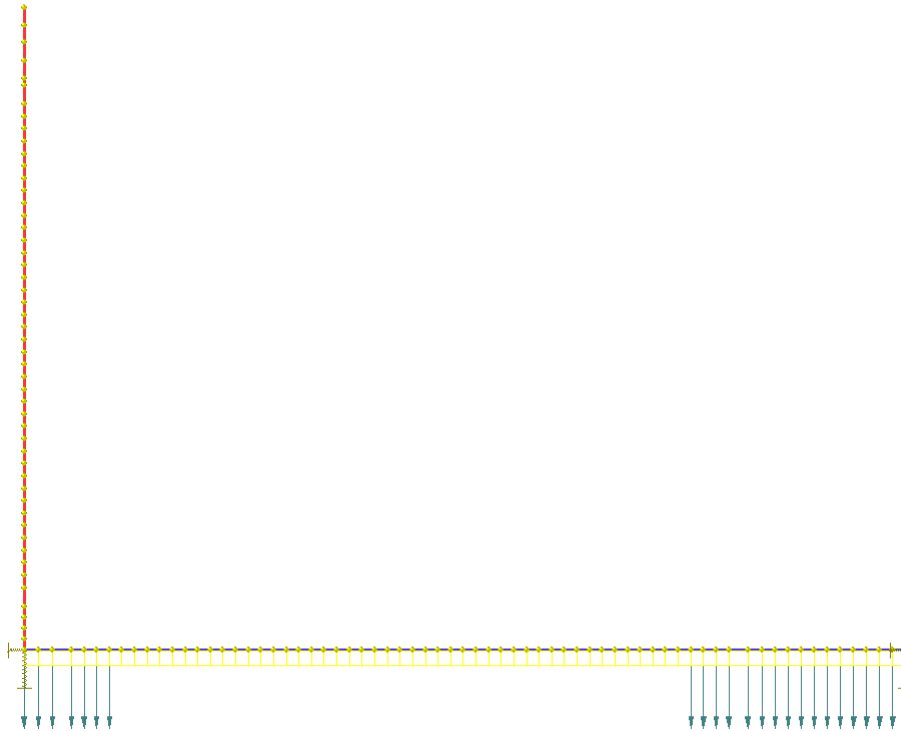


Figura 29 – Marciapiedi (Condizione 50)

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-CL-GA1N-0X-001-A00 Relazione di calcolo opera c.a sottopasso
	Foglio 91 di 366

## 10.5. Combinazioni di carico e criteri di verifica

Per ciascun elemento strutturale e per ciascuna sezione di verifica vengono riportate combinazioni e le verifiche previste dalla normativa.

Vengono utilizzate le combinazioni delle azioni previste dall'Istruzione delle F.S. del 13/1/1997 "Sovraccarichi per il calcolo dei ponti ferroviari. Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo", nonché dalle Istruzioni F.S. 44/b (aggiornamento 14/4/1998) limitatamente alle combinazioni di carico sismiche.

Vengono riportate le verifiche per la soletta superiore ed inferiore:

Mezzeria: SLU per flessione, SLF, SLT

Nodo a un quarto dello spessore del piedritto: SLU per flessione, SLT

Nodo filo incastro: SLU per il taglio, SLF

Vengono riportate le verifiche per i montanti:

Nodo a un quarto dello spessore delle solette: SLU per flessione, SLT

Nodo filo incastro: SLU per il taglio, SLF

Campata: SLU per flessione, SLU per il taglio, SLF, SLT (quando significative)

### Verifiche SLU

Per quanto riguarda gli stati limite ultimi sono state utilizzate due combinazioni di carico fondamentali, una statica ( $\gamma_g = 1.4-1.8$  (1.0);  $\gamma_q = 1.5-1.2-0.9$  (0.0)) e una sismica ( $\gamma_g = 1.4-1.8$  (1.0);  $\gamma_q = 1.5-1.2-0.9$  (0.0);  $\gamma_e = \pm 1.5$ ).

Si eseguono le verifiche per flessione agli stati limite ultimi fornendo le combinazioni di carico inerenti (statiche e sismiche), le sollecitazioni e i due coefficienti di sicurezza distinti: 1)  $M/N = \text{cost.}$ ; 2)  $N = \text{cost.}$  Per gli stati limite ultimi per taglio vengono riportate le verifiche imposte dal DM 09-01-1996.

### Verifiche SLF

Per gli stati limite di fessurazione è stata eseguita una combinazione di carico rara specifica con il gruppo di carico accidentale gr6 ( $\alpha_g = 1.0$ ;  $\alpha_q = 0.8-0.0$ ) della tabella 1.7.2.3 della normativa N1/SC/PS-OM/2298 del 2 giugno 1995. Tuttavia a favore di sicurezza, si sono presi unitari i coefficienti di combinazione  $\Psi$ .

Le verifiche allo stato limite di apertura delle fessure vengono eseguite in questi termini:

$w_k = 1.7 w_m \leq 0.15 \text{ mm}$  per superfici contro terra (superfici in contatto permanente con il terreno).

$w_k = 1.7 w_m \leq 0.30 \text{ mm}$  per superfici interne (superfici non in contatto permanente con il terreno).

Tal limiti sono consentiti in virtù del fatto che il copriferro minimo utilizzato in tutti gli elementi strutturali è  $\geq 4 \text{ cm}$  (essendo per l'esattezza  $\geq 4 \text{ cm}$  per la soletta superiore, inferiore e per i piedritti).



Nelle verifiche a fessurazione si sono utilizzati i seguenti parametri:

*Getti solette,*

Coefficiente di aderenza: distanza fessure	$K_2 = 0.4$
Coefficiente di forma: diagramma tensioni	$K_3 = 0.125$
Coefficiente di aderenza	$\beta_1 = 1.0$
Coefficiente di sollecitazione	$\beta_2 = 0.5$
Resistenza caratteristica del calcestruzzo	$R_{ck} = 400 \text{ daN/cm}^2$
Resistenza a trazione del calcestruzzo	$f_{ctm} = 32.41 \text{ daN/cm}^2$
	$f_{ctfk} = 27.22 \text{ daN/cm}^2$

### Verifiche SLT

Per gli stati limite di limitazione delle tensioni è stata eseguita una combinazione di carico rara nella quale, a favore di sicurezza, si sono presi unitari i coefficienti di combinazione  $\Psi$ .

Le verifiche allo stato limite di limitazione delle tensioni vengono eseguite in questi termini:

$$\sigma_c \leq 0.45 \times f_{ck} \text{ (combinazione di carico rara)}$$

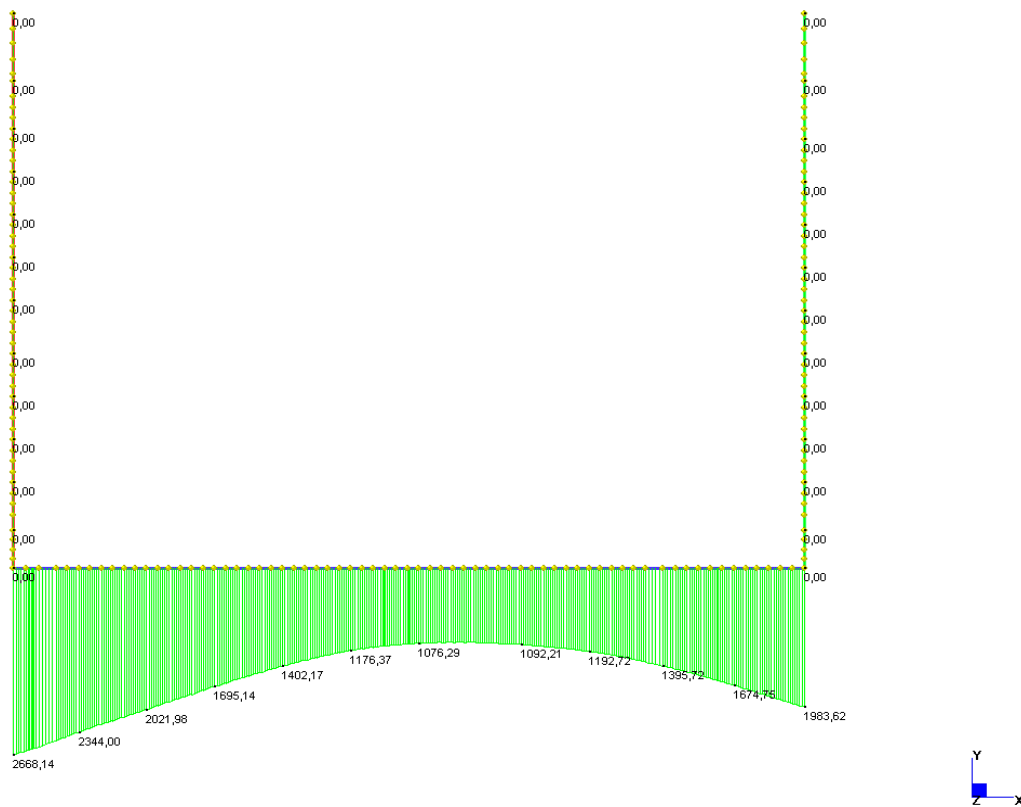
$$\sigma_s \leq 0.65 \times f_{yk}$$

Inoltre a riguardo delle tensioni nelle barre di armatura si sono rispettate le limitazioni tensionali riportate nella tabella 2.2.2.4 della normativa N1/SC/PS-OM/2298 del 2 giu gno 1995.

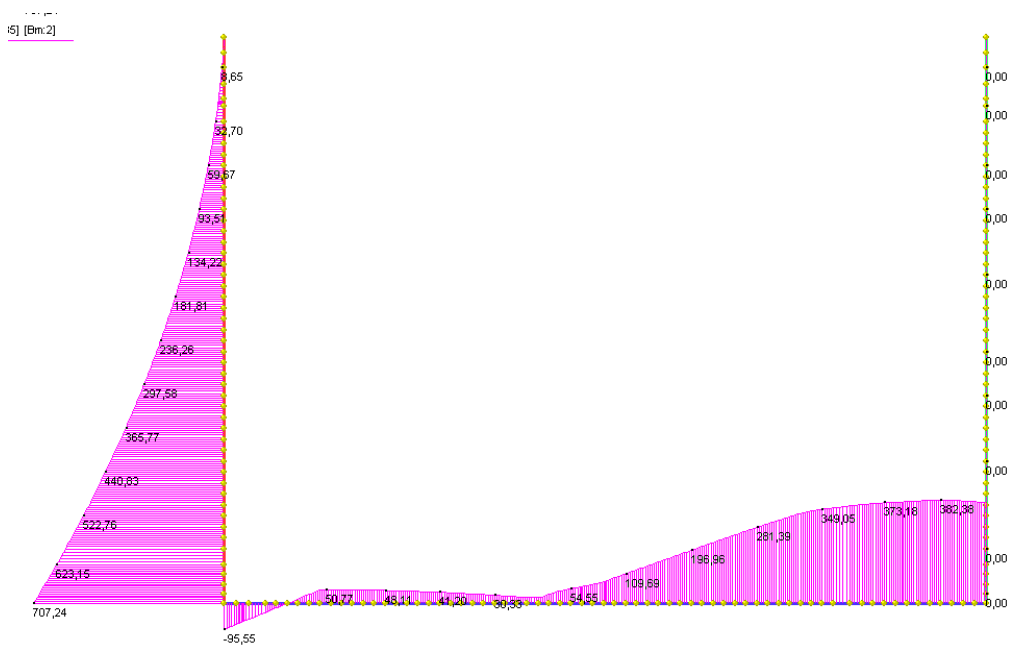
## 10.6. Modelli di calcolo – Risultati e verifiche

Si riportano di seguito i grafici degli involuipi delle sollecitazioni agli SLU e SLE .

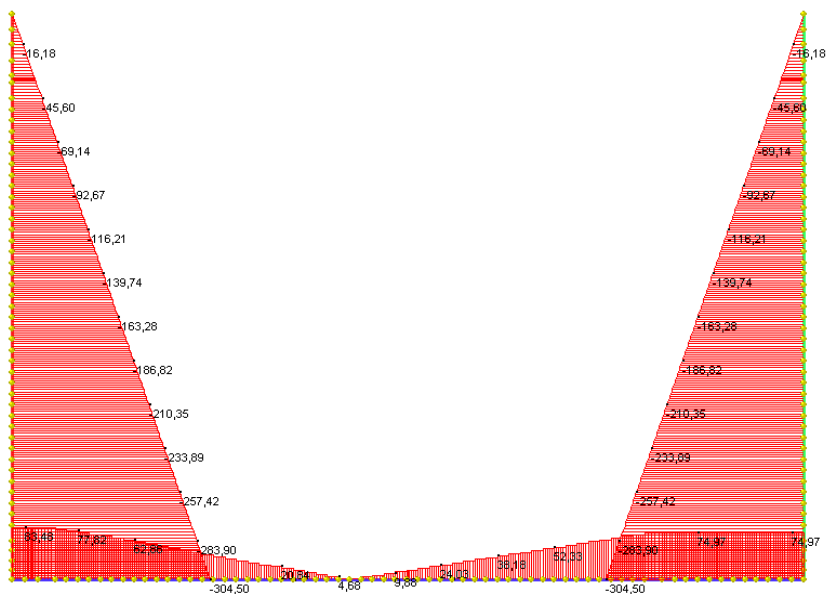
A seguire si riassumono le principali verifiche delle sezioni maggiormente sollecitate per la medesima sezione sia allo stato limite ultimo che in esercizio.



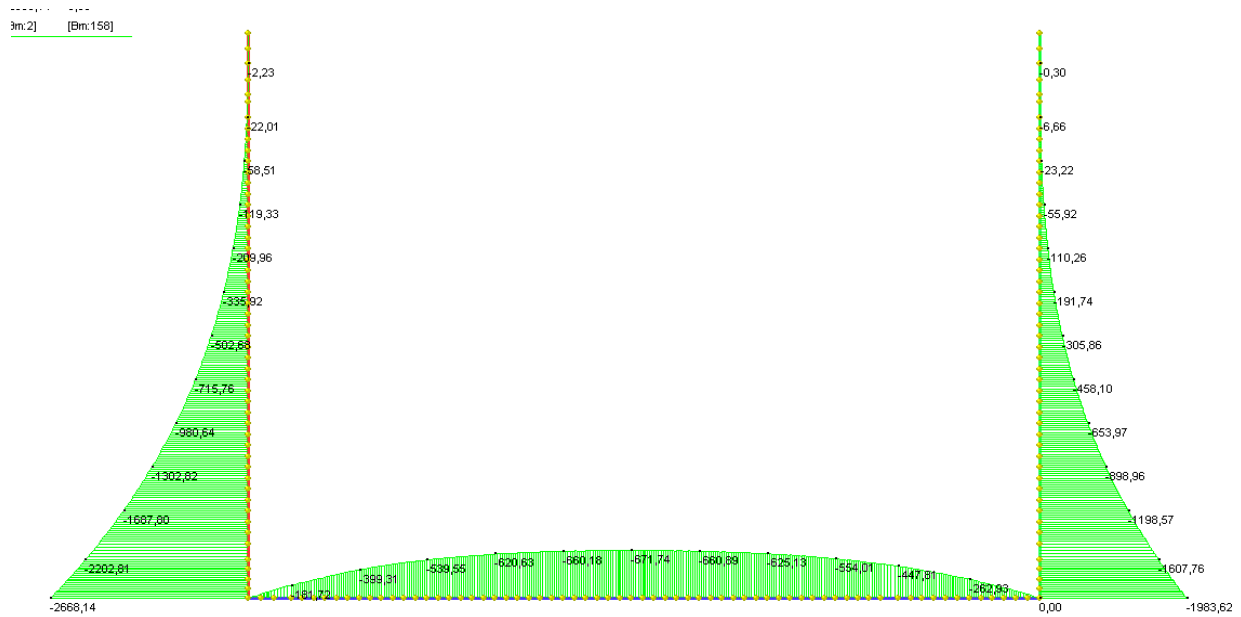
: involuppo positivo "variabili" momento



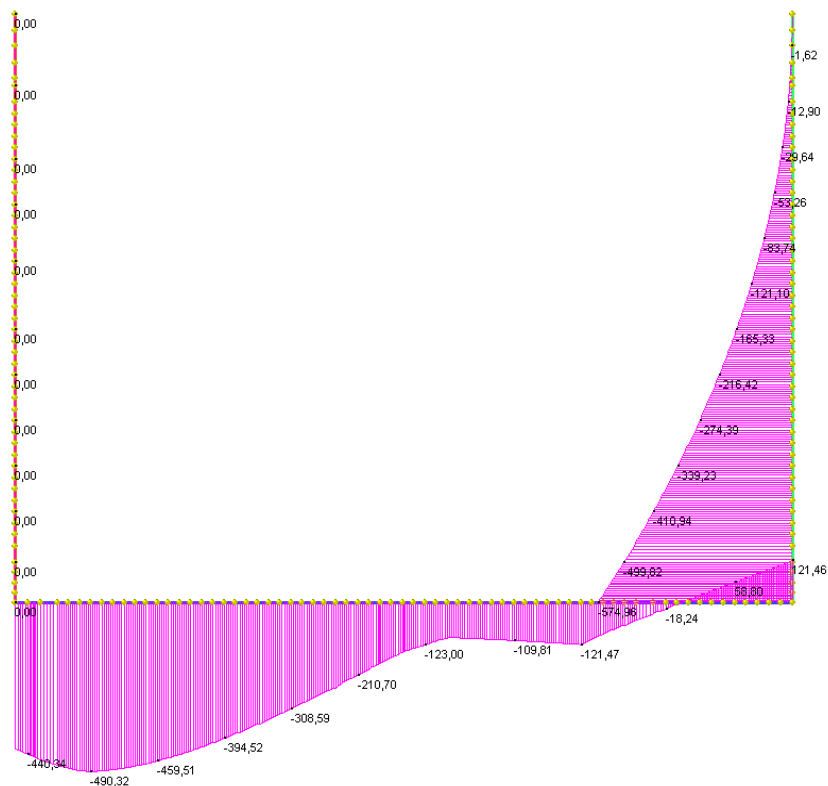
: involucro positivo "variabili" taglio



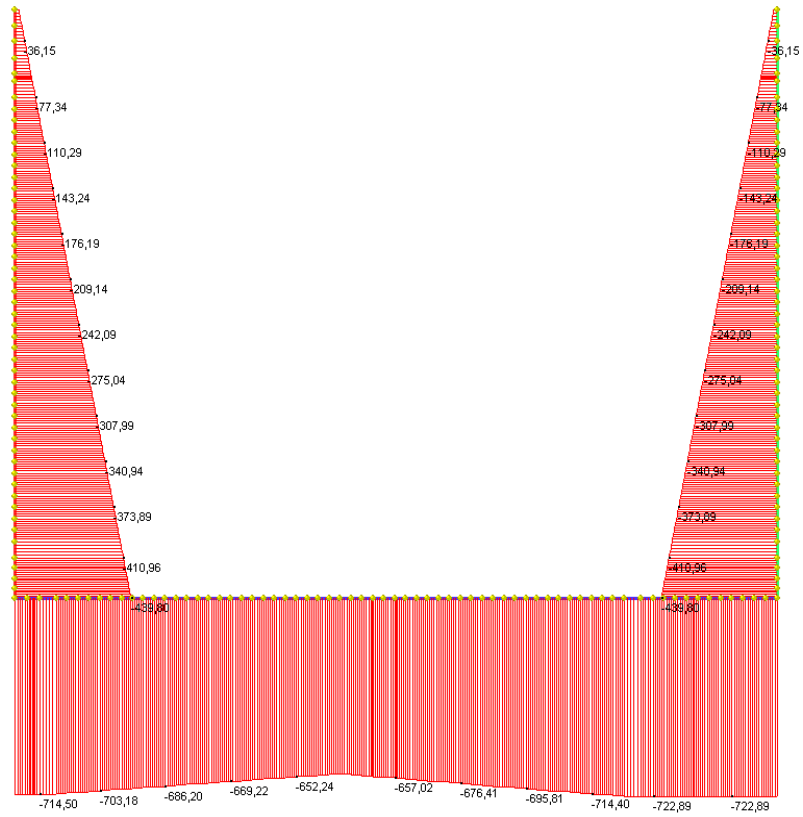
: involucro positivo "variabili" azione assiale



: involucro negativo "variabili" momento

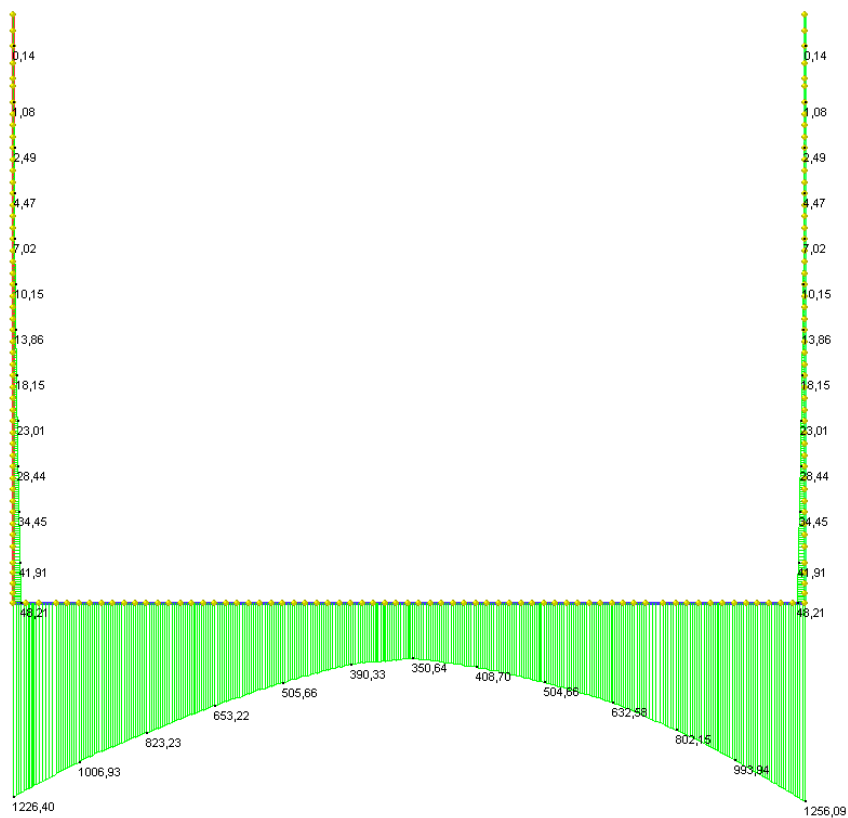


: involucro negativo "variabili" taglio



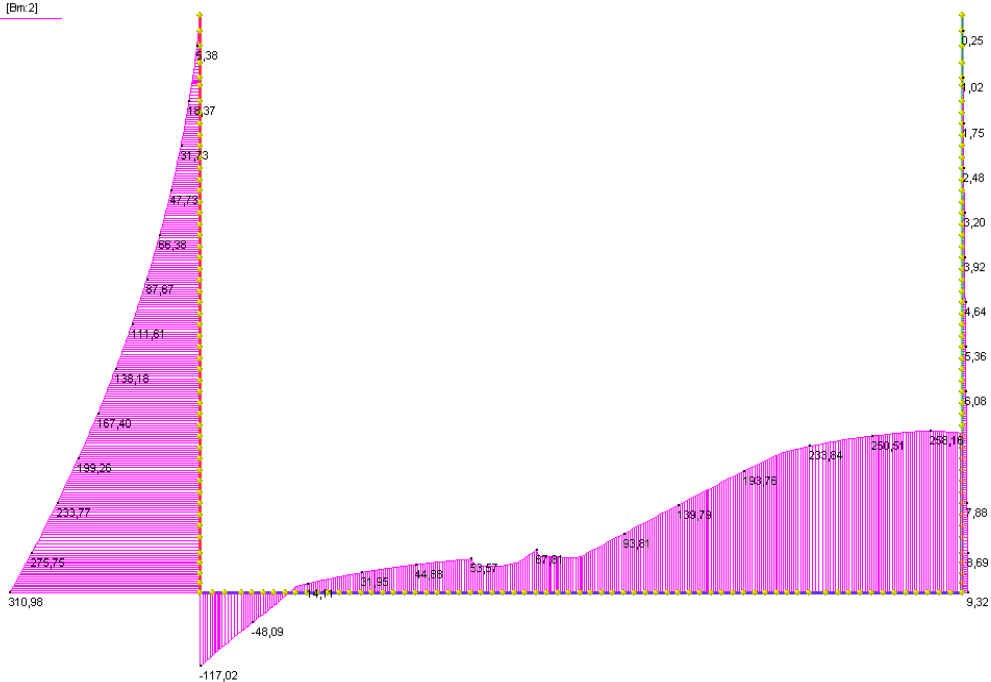
: involuppo negativo "variabili" azione assiale



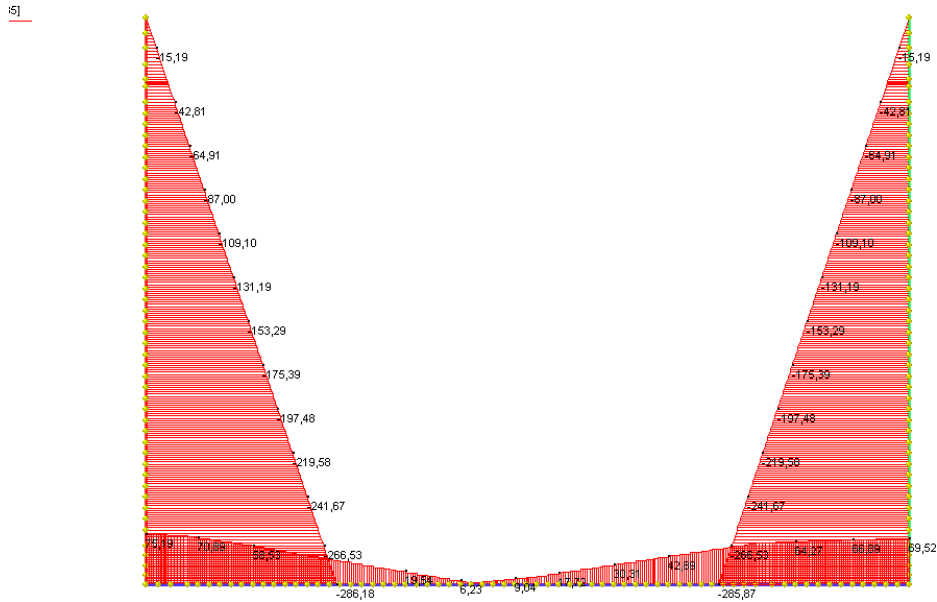


*involuppo positivo "eccezionali" momento*

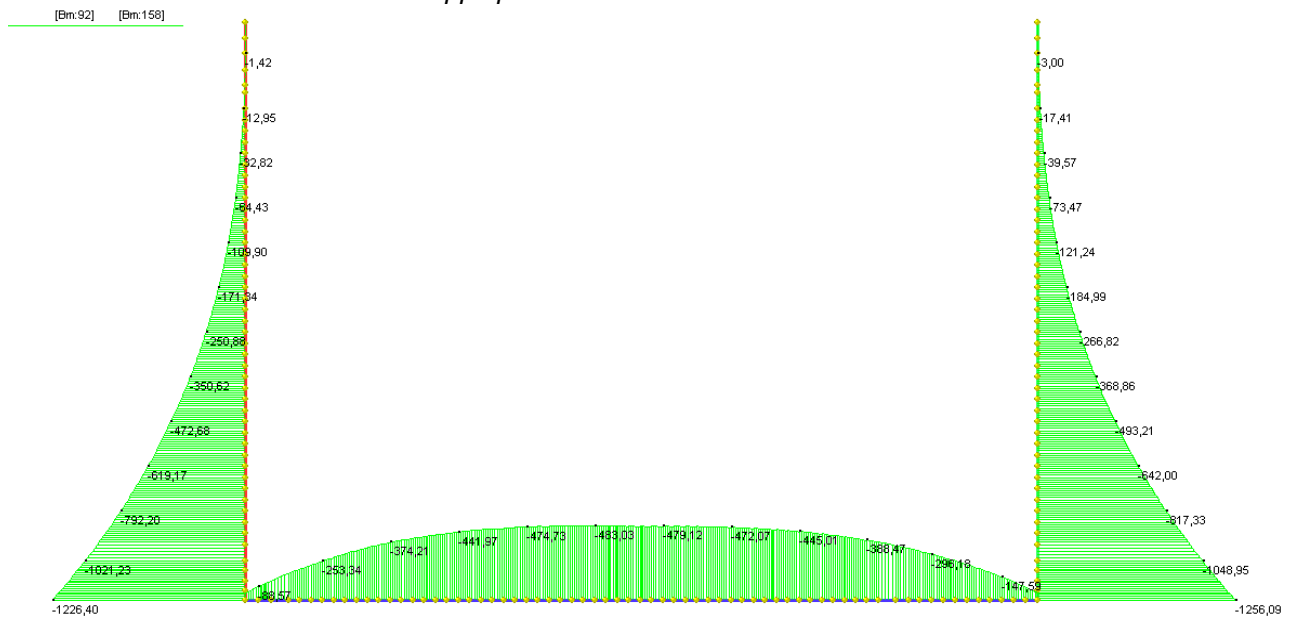
IN	MAX
17,02	310,98
Im:135	[Bm:2]



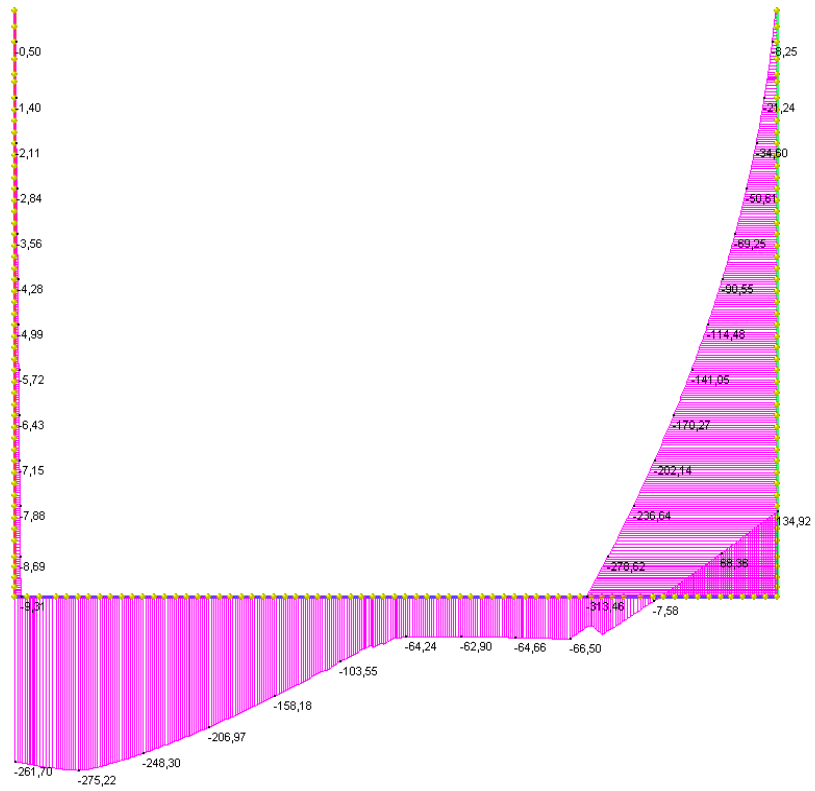
: involucro positivo "eccezionali" taglio



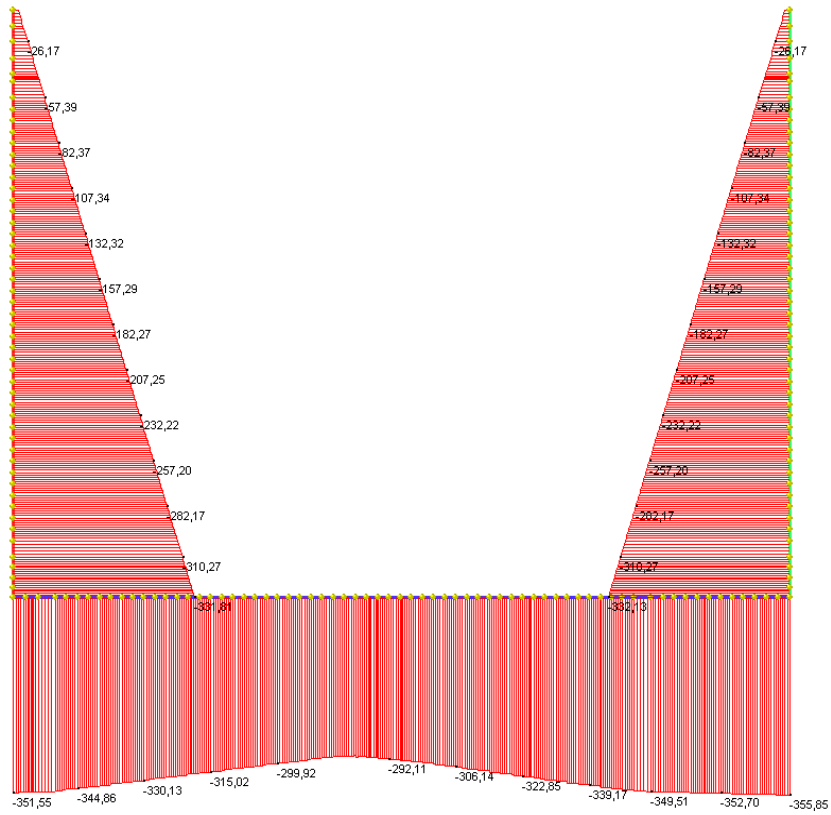
involucro positivo "eccezionali" azione assiale



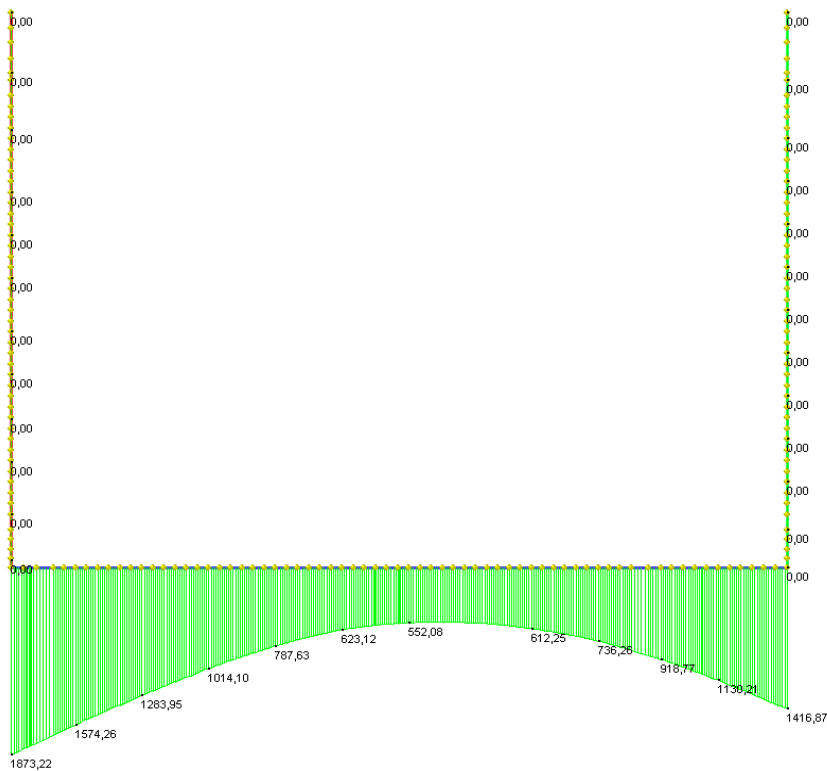
: involucro negativo "eccezionali" momento



*involuppo negativo "eccezionali" taglio*

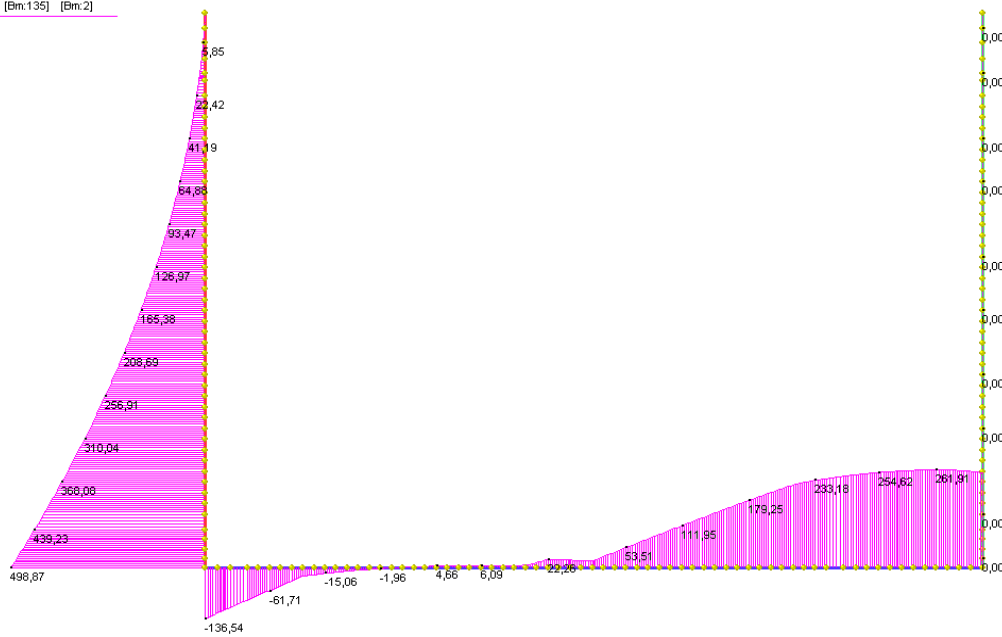


: involucro negativo "eccezionali" azione assiale

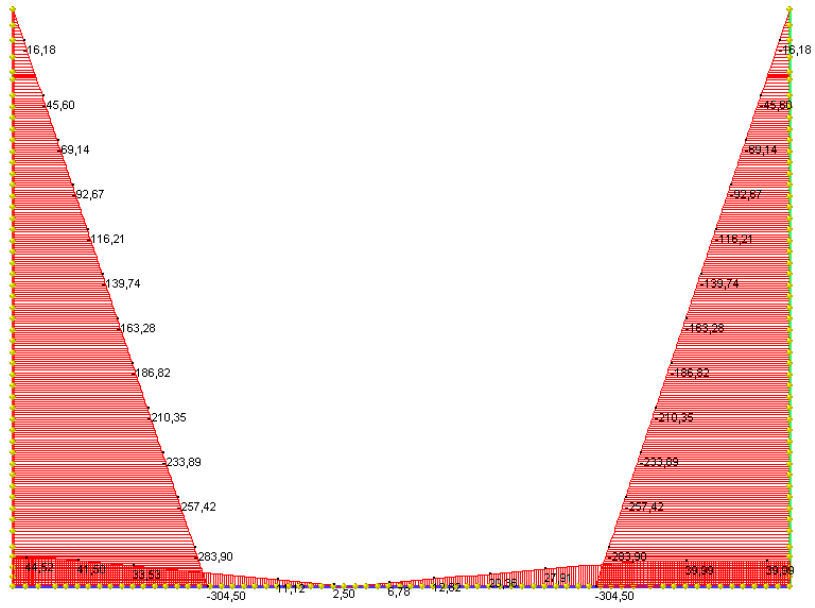


: involuppo positivo "fessurazione" momento

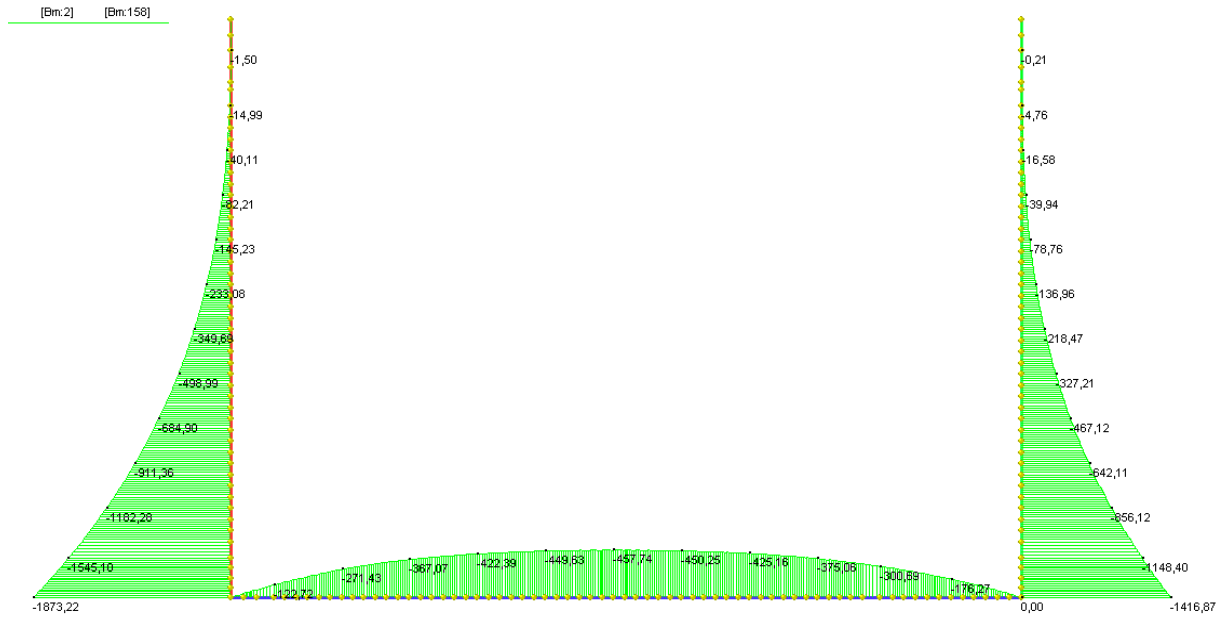
2(kN) -136,54 498,87  
[Em.135] [Em.2]



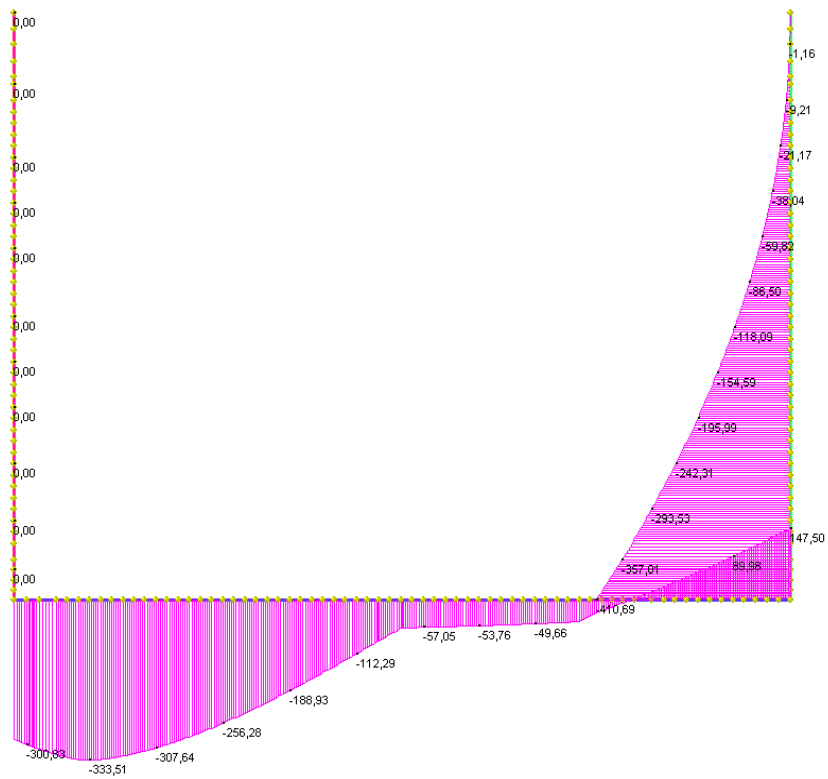
involuppo positivo "fessurazione" taglio



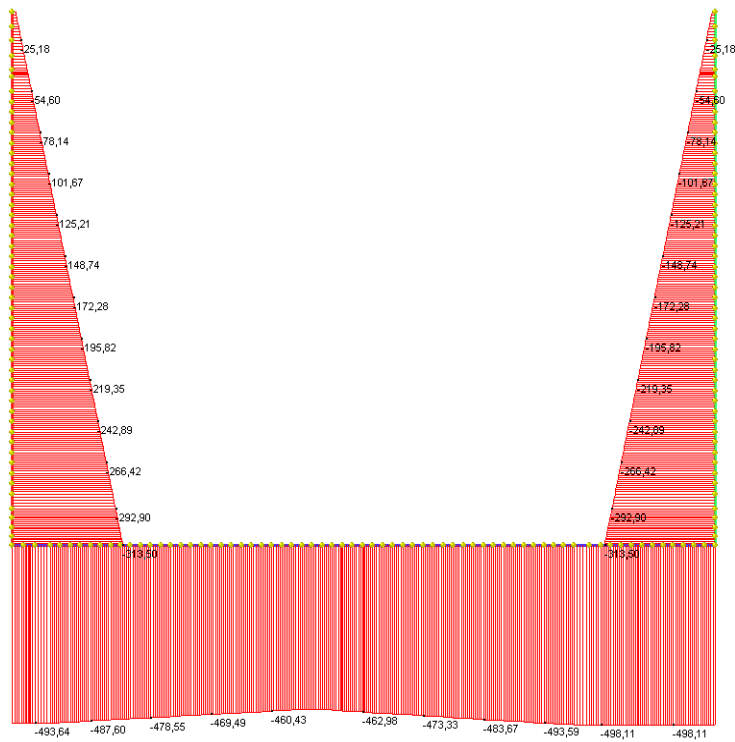
*involuppo positivo "fessurazione" azione assiale*



*involuppo negativo "fessurazioni" momento*

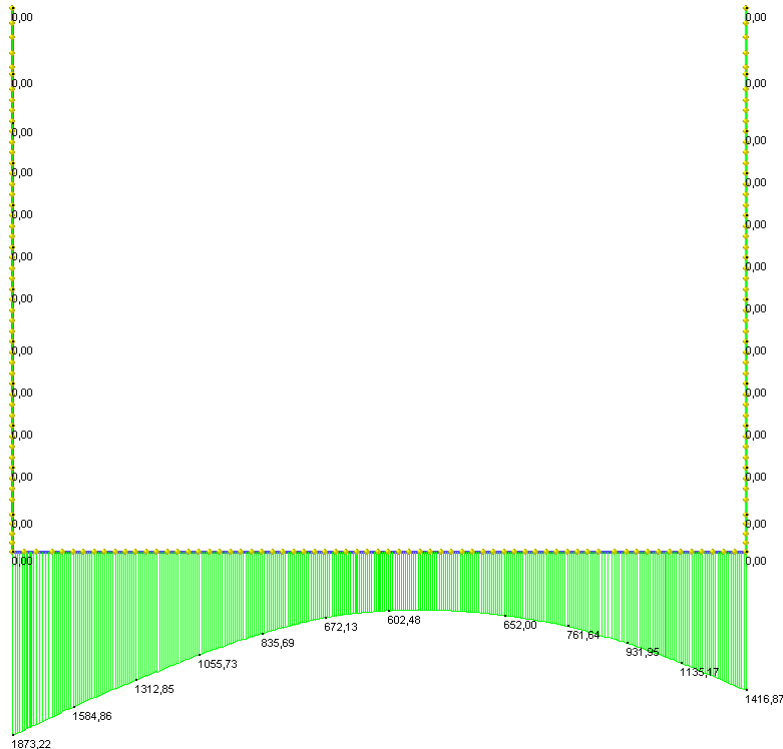


*involuppo negativo "fessurazioni" taglio*



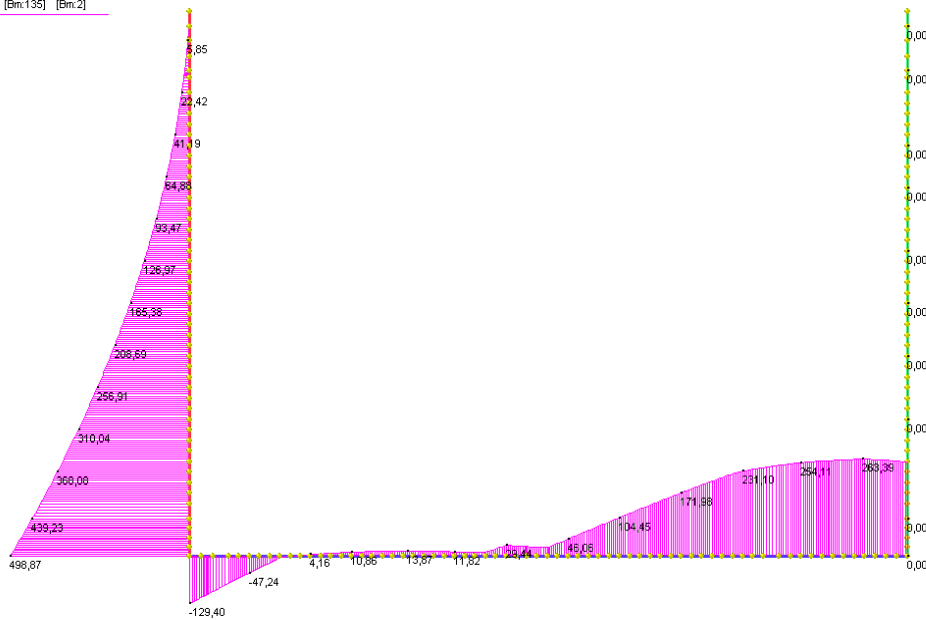
*Piedritti 1, 2, 3: inviluppo negativo "fessurazioni" azione assiale*



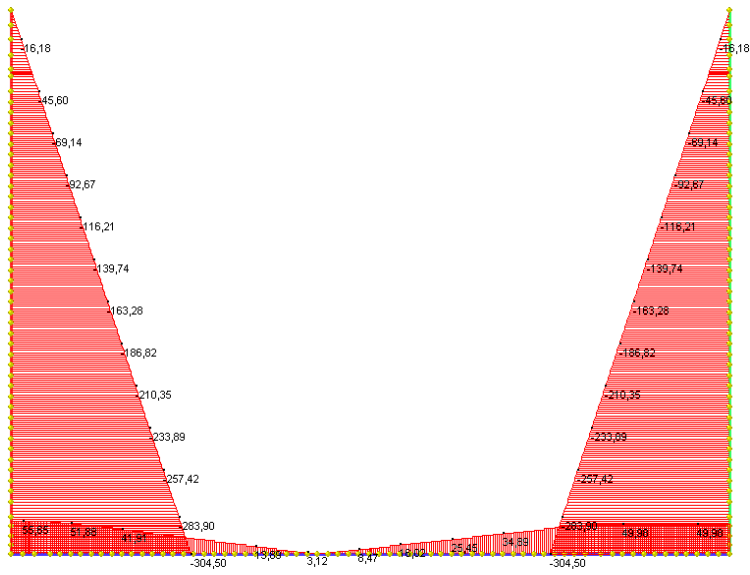


: involucro positivo "tensioni" momento

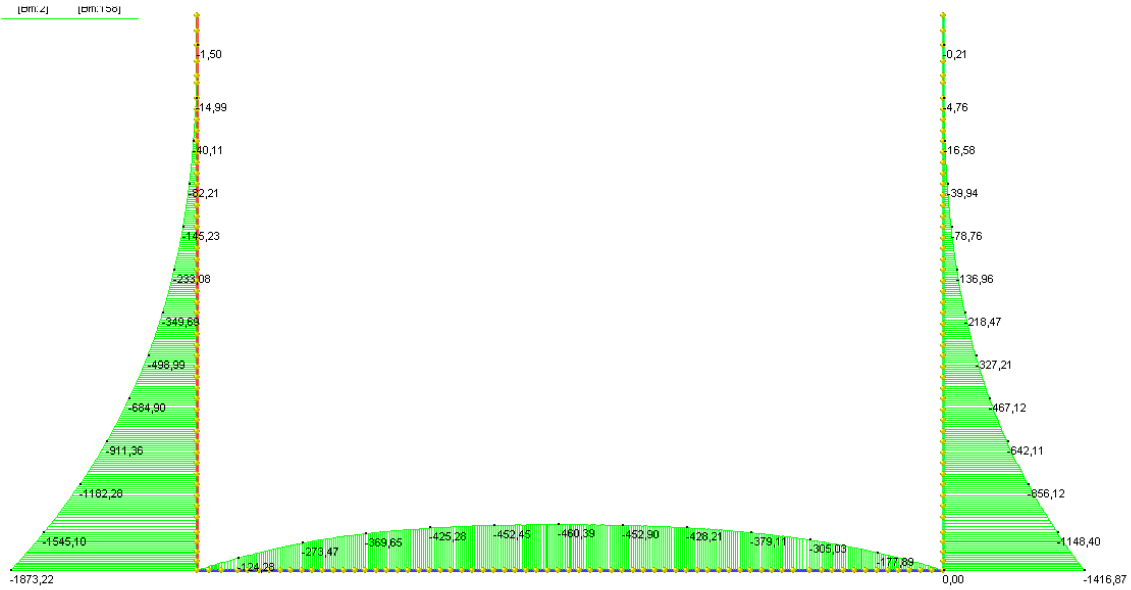
0 1142,74 1240,00  
[Bm.135] [Bm.2]



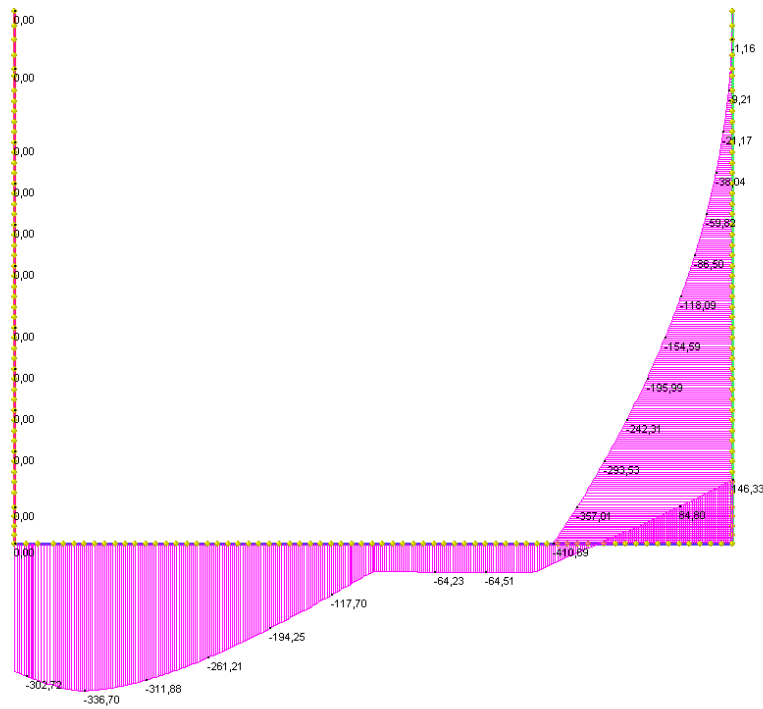
involucro positivo "tensioni" taglio



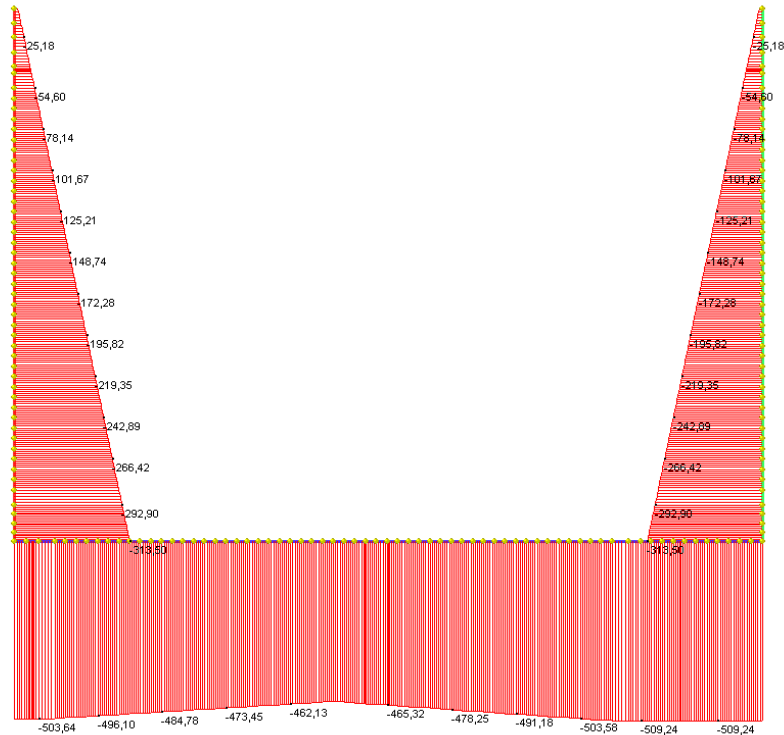
*inviluppo positivo "tensioni" azione assiale*



*involuppo negativo "tensioni" momento*



*involuppo negativo "tensioni" taglio*



*Piedritti 1, 2, 3: involuppo negativo "tensioni" azione assiale*

Si riportano di seguito le sollecitazioni, le caratteristiche geometriche, le armature necessarie nelle sezioni maggiormente sollecitate nelle varie situazioni che si possono presentare concordemente con le normative vigenti.

Tutte le verifiche sono risultate soddisfatte per tutte le sezioni e per tutte le combinazioni.

### 10.6.1. SLU – Stato limite ultimo

Si riportano di seguito le sollecitazioni massime tra gli involuppi "variabili" e "eccezionali" verificando le sezioni di base di incastro alla base.

**Piedritto:**

Sezione di base

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-CL-GA1N-0X-001-A00 Relazione di calcolo opera c.a sottopasso

Foglio  
109 di  
366

$$\begin{aligned}
 N_{Sd} &= 299,35 \text{ kN} \\
 M_{Sd} &= 2546,26 \text{ kNm} & M_{Rd} &= 3693,58 \text{ kNm} & \text{Verificato} \\
 V_{Sd} &= 685,72 \text{ kN} & V_{Rd} &= 864,32 \text{ kN} & \text{Verificato}
 \end{aligned}$$

### Verifica a presso-flessione

$$\begin{aligned}
 b &= 100 \text{ cm} \\
 h &= 120 \text{ cm} \\
 d &= 112 \text{ cm} \\
 A_a &= 90,48 \text{ cm}^2 & (20\emptyset 24) & + (0\emptyset 0) & x &= 18,71 \text{ cm} \\
 A_a' &= 45,24 \text{ cm}^2 & (10\emptyset 24) & + (0\emptyset 0) & M_{Rd} &= 3693,58 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

### Verifica a taglio

$$\begin{aligned}
 V_{Rdc} &= (C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d > (v_{min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d \\
 C_{Rd,c} &= 0,18/\gamma_c = 0,1125 \\
 k &= 1 + (200/d)^{0,5} \leq 2,0 = 1,423 \\
 \rho_l &= A_{sl}/(b_w d) \leq 0,02 = 0,008 \\
 f_{ck} &= 0 \\
 v_{min} &= 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} = 0,325 \\
 k_1 &= 0,15
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_{cp} &= N/A = 299,4 / (1,00 \times 1,20) = 299,4 / 1,20 = 249,5 \text{ kN/m}^2 = 0,25 \text{ N/mm}^2 \\
 A_{sl} &= 9048 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$V_{Rdc} = \max (560,62; 406,21) \text{ kN} < V_{Sd} \quad \text{Non verificato}$$

Contributo staffe:

$$\begin{aligned}
 V_{Rd,s} &= (A_{sw}/s) 0,9 d f_{ywd} (\cot\theta + \cot\alpha) \sin\alpha = 864 \text{ kN} \\
 V_{Rd,max} &= \alpha_{cw} b_w 0,9 d v_1 f_{cd} (\cot\theta + \cot\alpha)/(1 + \cot^2\alpha) = 13514 \text{ kN} \\
 v_1 &= 0,60 & \theta &= 40^\circ \\
 \alpha_{cw} &= 1,00 & \alpha &= 90^\circ \\
 V_{Rd} &= \min (V_{Rd,s}; V_{Rd,max}) = 864 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{sw} &= 3,85 \text{ cm}^2 & (3\emptyset 14) \\
 s &= 20 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-CL-GA1N-0X-001-A00 Relazione di calcolo opera c.a sottopasso

Foglio  
110 di  
366

### Platea:

#### Sezione di incastro

$N_{Sd} =$	714,50 kN		
$M_{Sd} =$	2609,00 kNm	$M_{Rd} =$ 4037,52 kNm	<b>Verificato</b>
$V_{Sd} =$	425,00 kN	$V_{Rd} =$ 628,59 kN	<b>Verificato</b>

#### Verifica a presso-flessione

$b =$	100 cm		
$h =$	120 cm		
$d =$	115 cm		
$A_a =$	90,48 cm <sup>2</sup>	(20ø 24)	$x =$ 21,34 cm
$A_a' =$	45,24 cm <sup>2</sup>	(10ø 24)	$M_{Rd} =$ 4037,52 kNm

#### Verifica a taglio

$$V_{Rdc} = (C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d > (v_{min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d$$

$C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_c =$	0,1125
$k = 1+(200/d)^{0,5} \leq 2,0 =$	1,417
$\rho_l = A_{sl}/(b_w d) \leq 0,02 =$	0,008
$f_{ck} =$	0
$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} =$	0,323
$k_1 =$	0,15

$$\sigma_{cp} = N/A = 714,5 / (1,00 \times 1,20) = 714,5 / 1,20 = 595,4 \text{ kN/m}^2 = 0,60 \text{ N/mm}^2$$

$$A_{sl} = 9048 \text{ mm}^2$$

$$V_{Rdc} = \max (628,59; 474,58) \text{ kN} < V_{Sd} \quad \text{Verificato}$$

#### Contributo staffe:

$$V_{Rd,s} = (A_{sw}/s) 0,9 d f_{ywd} (\cot\theta + \cot\alpha) \sin\alpha = 887 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} b_w 0,9d v_1 f_{cd} (\cot\theta + \cot\alpha)/(1+\cot^2\alpha) = 13876 \text{ kN}$$

$$v_1 = 0,60 \quad \theta = 40^\circ$$

$$\alpha_{cw} = 1,00 \quad \alpha = 90^\circ$$

$$V_{Rd} = \min (V_{Rd,s}; V_{Rd,max}) = 887 \text{ kN}$$

$$A_{sw} = 3,85 \text{ cm}^2 \quad (2,5\phi 14)$$

$$s = 20 \text{ cm}$$

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-CL-GA1N-0X-001-A00 Relazione di calcolo opera c.a sottopasso

Foglio  
111 di  
366

### Sezione di mezzeria

$N_{Sd} =$	0,00 kN			
$M_{Sd} =$	671,74 kNm	$M_{Rd} =$	1749,35 kNm	<b>Verificato</b>
$V_{Sd} =$	0,00 kN	$V_{Rd} =$	426,47 kN	<b>Verificato</b>

### Verifica a presso-flessione

$b =$	100 cm			
$h =$	120 cm			
$d =$	115 cm			
$A_a =$	45,24 cm <sup>2</sup>	(10ø 24)	+(0ø 0)	$x =$ 12,57 cm
$A_a' =$	45,24 cm <sup>2</sup>	(10ø 24)	+(0ø 0)	$M_{Rd} =$ 1749,35 kNm

### Verifica a taglio

$$V_{Rdc} = (C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d > (v_{min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d$$

$$C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_c = 0,1125$$

$$k = 1 + (200/d)^{0,5} \leq 2,0 = 1,417$$

$$\rho_l = A_{sl}/(b_w d) \leq 0,02 = 0,004$$

$$f_{ck} = 32$$

$$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} = 0,334$$

$$k_1 = 0,15$$

$$\sigma_{cp} = N/A = 0,0 / (1,00 \times 1,20) = 0,0 / 1,20 = 0,0 \text{ kN/m}^2 = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

$$A_{sl} = 4524 \text{ mm}^2$$

$$V_{Rdc} = \max (426,47; 384,07) \text{ kN} < V_{Sd} \text{ Verificato}$$

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG51-02-E-CV-CL-GA1N-0X-001-A00 Relazione di calcolo opera c.a sottopasso</p>	<p>Foglio 112 di 366</p>

10.6.2. *SLF – Stato limite fessurazione e tensione*

**Piedritto – Sezione base**



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-CL-GA1N-0X-001-A00 Relazione di calcolo opera c.a sottopasso
	Foglio 113 di 366

### verifica a fessurazione

#### Dati di input

##### - Materiali

resistenza cubica caratteristica	Rck	40,0	[N/mm <sup>2</sup> ]
resistenza cilindrica caratteristica	fck	35,0	[N/mm <sup>2</sup> ]
modulo elastico cls	Ec	34077	[N/mm <sup>2</sup> ]
resistenza acciaio (B450C)	fyk	450	[N/mm <sup>2</sup> ]
modulo elastico acciaio	Es	210000	[N/mm <sup>2</sup> ]

##### - Caratteristiche geometriche dell'elemeto

forma elemento (rettang.=1 circ.=2)	f	1	
base elemento (o diametro)	b	1,00	[m]
altezza elemento (o diametro)	h	1,20	[m]
copriferro (da bordo cls a bordo barra)	c	5,2	[cm]

##### - Caratteristiche dell'armatura

armatura in compressione	As'	45,3	[cm <sup>2</sup> ]
armatura in trazione	As	90,6	[cm <sup>2</sup> ]
armatura circonferenziale	Asd	0,0	[cm <sup>2</sup> ]
diametro delle barre più esterne	φ	24	[mm]
distanza tra le barre in trazione	s	10	[cm]
barre ad aderenza migliorata	si=1/no=0	1	

##### - Sollecitazioni

momento flettente (tende barre inferiori)	<b>Msk</b>	<b>1787,00</b>	<b>[kNm]</b>
azione assiale (positiva se di compres.)	<b>Nsk</b>	<b>493,00</b>	<b>[kN]</b>
condizione di sollecitazione			
breve durata = 1 / lunga durata o ciclica = 2)		2	

#### Dati di output

##### - Calcolo della distanza media fra le fessure

copriferro (da bordo cls a bordo barra)	c	5,2	[cm]	
distanza tra le barre	s	10,0	[cm]	<
diametro barre	φ	24	[mm]	
coeff. per aderenza barra	k2	0,4		
coeff. per forma diagramma tensioni	k3	0,125		
base efficace	beff	100	[cm]	
altezza efficace	deff	23,2	[cm]	<
area cemento efficace	Ac,eff	2320,0	[cm <sup>2</sup> ]	
area acciaio posta nell'area Ac,eff	Af	90,6	[cm <sup>2</sup> ]	
rapporto geometrico di armatura	ρ <sub>r</sub>	0,039		

distanza media fra le fessure

**S<sub>m</sub> 15,47 [cm]**

##### - Calcolo della deformazione unitaria media

resistenza media a trazione del cls	f <sub>ctm</sub>	3,72	[N/mm <sup>2</sup> ]
coeff. per aderenza barra	β <sub>1</sub>	1	
coeff. tipo di carico	β <sub>2</sub>	0,5	
deformazione unitaria media	ε <sub>sm</sub>	0,387	‰

valore limite dell'apertura

**w<sub>i</sub> 0,150 [mm]**

valore teorico dell'apertura

w<sub>m</sub> 0,060 [mm]

valore caratteristico dell'apertura

**w<sub>k</sub> 0,102 [mm] OK**

##### - Calcolo delle tensioni di esercizio

tensione limite cls	σ <sub>c,adm</sub>	21,0	[N/mm <sup>2</sup> ]
tensione limite acciaio	σ <sub>s,adm</sub>	360	[N/mm <sup>2</sup> ]

tensione cls per le azioni sollecitanti

**σ<sub>c</sub> 2,6 [N/mm<sup>2</sup>] OK**

tensione acciaio per le azioni sollec.

**σ<sub>s</sub> 41,6 [N/mm<sup>2</sup>] OK**

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-CL-GA1N-0X-001-A00 Relazione di calcolo opera c.a sottopasso
	Foglio 114 di 366

## Platea – Sezione incastro

### verifica a fessurazione

#### Dati di input

##### - Materiali

resistenza cubica caratteristica	Rck	40,0	[N/mm <sup>2</sup> ]
resistenza cilindrica caratteristica	fck	35,0	[N/mm <sup>2</sup> ]
modulo elastico cls	Ec	34077	[N/mm <sup>2</sup> ]
resistenza acciaio (B450C)	fyk	450	[N/mm <sup>2</sup> ]
modulo elastico acciaio	Es	210000	[N/mm <sup>2</sup> ]

##### - Caratteristiche geometriche dell'elemento

forma elemento (rettang.=1 circ.=2)	f	1	
base elemento (o diametro)	b	1,00	[m]
altezza elemento (o diametro)	h	1,20	[m]
copriferro (da bordo cls a bordo barra)	c	5,2	[cm]

##### - Caratteristiche dell'armatura

armatura in compressione	As'	45,3	[cm <sup>2</sup> ]
armatura in trazione	As	90,6	[cm <sup>2</sup> ]
armatura circonferenziale	Asd	0,0	[cm <sup>2</sup> ]
diametro delle barre più esterne	φ	24	[mm]
distanza tra le barre in trazione	s	10	[cm]
barre ad aderenza migliorata	si=1/no=0	1	

##### - Sollecitazioni

momento flettente (tende barre inferiori)	Msk	1873,22	[kNm]
azione assiale (positiva se di compres.)	Nsk	350,98	[kN]
condizione di sollecitazione			
breve durata = 1 / lunga durata o ciclica = 2)		2	

#### Dati di output

##### - Calcolo della distanza media fra le fessure

copriferro (da bordo cls a bordo barra)	c	5,2	[cm]	
distanza tra le barre	s	10,0	[cm]	<
diametro barre	φ	24	[mm]	
coeff. per aderenza barra	k2	0,4		
coeff. per forma diagramma tensioni	k3	0,125		
base efficace	beff	100	[cm]	
altezza efficace	deff	23,2	[cm]	<

area cemento efficace	Ac,eff	2320,0	[cm <sup>2</sup> ]
area acciaio posta nell'area Ac,eff	Af	90,6	[cm <sup>2</sup> ]
rapporto geometrico di armatura	ρr	0,039	

distanza media fra le fessure	<b>S<sub>m</sub></b>	<b>15,47</b>	<b>[cm]</b>
-------------------------------	----------------------	--------------	-------------

##### - Calcolo della deformazione unitaria media

resistenza media a trazione del cls	f <sub>ctm</sub>	3,72	[N/mm <sup>2</sup> ]
coeff. per aderenza barra	β1	1	
coeff. tipo di carico	β2	0,5	
deformazione unitaria media	ε <sub>sm</sub>	0,422	‰

valore limite dell'apertura	w <sub>i</sub>	0,150	[mm]	
valore teorico dell'apertura	w <sub>m</sub>	0,065	[mm]	
valore caratteristico dell'apertura	<b>w<sub>k</sub></b>	<b>0,111</b>	<b>[mm]</b>	<b>OK</b>

##### - Calcolo delle tensioni di esercizio

tensione limite cls	σ <sub>c,adm</sub>	21,0	[N/mm <sup>2</sup> ]
tensione limite acciaio	σ <sub>s,adm</sub>	360	[N/mm <sup>2</sup> ]

tensione cls per le azioni sollecitanti	<b>σ<sub>c</sub></b>	<b>2,1</b>	<b>[N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>OK</b>
tensione acciaio per le azioni sollec.	<b>σ<sub>s</sub></b>	<b>35,8</b>	<b>[N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>OK</b>

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-CL-GA1N-0X-001-A00 Relazione di calcolo opera c.a sottopasso
	Foglio 115 di 366

## Platea – Sezione mezzeria

### verifica a fessurazione

#### Dati di input

##### - Materiali

resistenza cubica caratteristica	Rck	40,0	[N/mm <sup>2</sup> ]
resistenza cilindrica caratteristica	fck	35,0	[N/mm <sup>2</sup> ]
modulo elastico cls	Ec	34077	[N/mm <sup>2</sup> ]
resistenza acciaio (B450C)	fyk	450	[N/mm <sup>2</sup> ]
modulo elastico acciaio	Es	210000	[N/mm <sup>2</sup> ]

##### - Caratteristiche geometriche dell'elemento

forma elemento (rettang.=1 circ.=2)	f	1	
base elemento (o diametro)	b	1,00	[m]
altezza elemento (o diametro)	h	1,20	[m]
copriferro (da bordo cls a bordo barra)	c	5,2	[cm]

##### - Caratteristiche dell'armatura

armatura in compressione	As'	45,3	[cm <sup>2</sup> ]
armatura in trazione	As	45,3	[cm <sup>2</sup> ]
armatura circonferenziale	Asd	0,0	[cm <sup>2</sup> ]
diametro delle barre più esterne	φ	24	[mm]
distanza tra le barre in trazione	s	10	[cm]
barre ad aderenza migliorata	si=1/no=0	1	

##### - Sollecitazioni

momento flettente (tende barre inferiori)	Msk	457,74	[kNm]
azione assiale (positiva se di compres.)	Nsk	0,00	[kN]
condizione di sollecitazione breve durata = 1 / lunga durata o ciclica = 2)		2	

#### Dati di output

##### - Calcolo della distanza media fra le fessure

copriferro (da bordo cls a bordo barra)	c	5,2	[cm]	
distanza tra le barre	s	10,0	[cm]	<
diametro barre	φ	24	[mm]	
coeff. per aderenza barra	k2	0,4		
coeff. per forma diagramma tensioni	k3	0,125		
base efficace	beff	100	[cm]	
altezza efficace	deff	23,2	[cm]	<
area cemento efficace	Ac,eff	2320,0	[cm <sup>2</sup> ]	
area acciaio posta nell'area Ac,eff	Af	45,3	[cm <sup>2</sup> ]	
rapporto geometrico di armatura	ρr	0,020		

distanza media fra le fessure

**S<sub>m</sub> 18,55 [cm]**

##### - Calcolo della deformazione unitaria media

resistenza media a trazione del cls	f <sub>ctm</sub>	3,72	[N/mm <sup>2</sup> ]
coeff. per aderenza barra	β1	1	
coeff. tipo di carico	β2	0,5	
deformazione unitaria media	ε <sub>sm</sub>	0,205	‰

valore limite dell'apertura

**w<sub>i</sub> 0,150 [mm]**

valore teorico dell'apertura

w<sub>m</sub> 0,038 [mm]

valore caratteristico dell'apertura

**w<sub>k</sub> 0,064 [mm]** OK

##### - Calcolo delle tensioni di esercizio

tensione limite cls	σ <sub>c,adm</sub>	21,0	[N/mm <sup>2</sup> ]
tensione limite acciaio	σ <sub>s,adm</sub>	360	[N/mm <sup>2</sup> ]

tensione cls per le azioni sollecitanti

**σ<sub>c</sub> 0,0 [N/mm<sup>2</sup>]** OK

tensione acciaio per le azioni sollec.

**σ<sub>s</sub> 0,0 [N/mm<sup>2</sup>]** OK

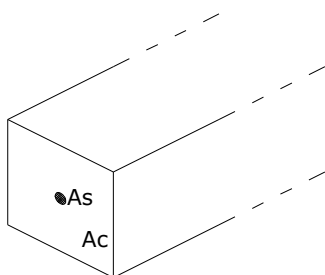
GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-CL-GA1N-0X-001-A00 Relazione di calcolo opera c.a sottopasso
	Foglio 116 di 366

## 10.7. Verifica effetti longitudinali da ritiro

Vengono discussi brevemente gli effetti dovuti al ritiro nel calcestruzzo che provocano stati interni di coazione con l'armatura. Scopo della trattazione è quello di verificare l'armatura minima longitudinale dello scatolare.

### 10.7.1. Coazioni interne dovute ai fenomeni di ritiro

Per il calcolo delle coazioni interne dovute ai fenomeni di ritiro si consideri una sezione di area unitaria  $A_c$  con un'unica barra di armatura di area  $A_s$  come rappresentato nell'immagine sottostante:



Si assumono le seguenti ipotesi:

perfetta aderenza tra calcestruzzo ed acciaio;

deformata piana della sezione in calcestruzzo;

comportamento del calcestruzzo e dell'acciaio elastico e lineare,

Le equazioni di equilibrio, congruenza e legame dell'insieme calcestruzzo + acciaio che governano il fenomeno sono:

$$N_c + N_s = 0 \quad (\text{equazione di equilibrio})$$

$$\varepsilon_r = \varepsilon_s - \varepsilon_c \quad (\text{equazione di congruenza})$$

$$N_c = A_c \sigma_c = A_c E_c \varepsilon_c \quad (\text{equazione legame costitutivo del calcestruzzo})$$

$$N_s = A_s \sigma_s = A_s E_s \varepsilon_s \quad (\text{equazione legame costitutivo dell'acciaio})$$

Sostituendo le equazioni di legame in quella di equilibrio ed esprimendo la deformazione del calcestruzzo in funzione di quella dell'acciaio si ha:

$$N_s = -N_c = A_s E_s A_c E_c \varepsilon_r / (A_s E_s + A_c E_c)$$

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-CL-GA1N-0X-001-A00 Relazione di calcolo opera c.a sottopasso
	Foglio 117 di 366

Il comportamento viscoso del calcestruzzo viene considerato attraverso l'abbattimento del modulo elastico, pertanto è necessario sostituire il valore di  $E_c$  con  $E^*_c$ . La tensione sull'acciaio e sul calcestruzzo risultano quindi pari a:

$$\sigma_s = A_c E^*_c E_s \varepsilon_r / (A_s E_s + A_c E^*_c)$$

$$\sigma_c = -A_s E^*_c E_s \varepsilon_r / (A_s E_s + A_c E^*_c)$$

### 10.7.2. Calcolo delle sollecitazioni longitudinali dovute ai fenomeni di ritiro

L'analisi delle sollecitazioni viene svolta per una striscia di larghezza unitaria, assumendo la dimensione convenzionale  $h_0$  pari a  $2 \times A/u = 2 \times H = 280$  cm, ed un calcestruzzo C32/40.

Caratteristiche della sezione:

$$B = 100 \text{ cm}$$

$$H = 120 \text{ cm}$$

$$A_{s, \text{long}} = 1 + 1\phi 16/20 = 2010 \text{ mm}^2$$

$$E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$$

$$E_c = 33346 \text{ N/mm}^2$$

Deformazione da ritiro:

$$U.R. = 75\%$$

$$\varepsilon_r = \varepsilon_{ca} + \varepsilon_{cd} = 0.35 \text{ ‰}$$

A favore di sicurezza, si assume una deformazione  $\varepsilon_r = 0.35 \text{ ‰}$ .

Effetto viscosità:

Il modulo viscoso a tempo infinito, in considerazione del valore di  $h_0$ , della resistenza del calcestruzzo e della U.R., può cautelativamente essere assunto pari a  $\phi (t = \infty) = 1.6$ . Il modulo elastico ridotto del calcestruzzo risulta quindi pari a:

$$E^*_c = E_c / (1 + \phi) = 12825 \text{ N/mm}^2$$

Tensioni nei materiali:

$$\sigma_s = -(1000 \times 120) \times 12825 \times 200000 \times 0.00035 / (2010 \times 200000 + 1000 \times 120 \times 12825) = -55.50 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_c = 2010 \times 12825 \times 200000 \times 0.00035 / (2010 \times 200000 + 1000 \times 1200 \times 12825) = 0.114 \text{ N/mm}^2$$

La sollecitazione sul calcestruzzo risulta molto inferiore rispetto alla resistenza a trazione e quindi non porta a fessurazione il calcestruzzo; la sollecitazione sull'acciaio risulta modesta ed accettabile per le normali condizioni di esercizio della struttura.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG51-02-E-CV-CL-GA1N-0X-001-A00 Relazione di calcolo opera c.a sottopasso	Foglio 118 di 366

## 11. SINTESI DELLE CONCLUSIONI

Nella presente relazione sono state affrontate le problematiche progettuali connesse con la realizzazione delle opere strutturali sottovia autostradale interessa il tratto compreso fra le progressive Km 44+135 e 44+209.

Le verifiche condotte hanno dimostrato che le soluzioni progettuali proposte sono verificate a Norma di legge.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-CL-GA1N-0X-001-A00 Relazione di calcolo opera c.a sottopasso
	Foglio 119 di 366

## 12. ALLEGATO 1

### ANALISI PARATIE

### SEZIONE 1 – MODELLO 1

## *DeepXcav 2012: Report Output*

Copyright@2009 - 2012 Deep Excavation LLC: www.deepexcavation.com A program for the evaluation of deep excavations Deep Excavation LLC, Astoria, New York, www.deepexcavation.com Ce.A.S , Centro di Analisi Strutturale, viale Giustiniano 10, 20129 Milano . www.ceas.it.

Project: My Project

Company: My Company  
 Prepared by engineer: Engineer  
 File number: 1  
 Time: 7/6/2013 9:05:20 AM

THIS PROGRAM IS PROTECTED BY U.S. COPYRIGHT LAWS AS DESCRIBED IN THE EULA. UNAUTHORIZED COPYING IS PROHIBITED. LICENSED TO: Deep Excavation LLC BY DEEP EXCAVATION LLC UNDER SPECIFIC LICENCE. This report has printed because the user has accepted responsibility as described in the disclaimer and EULA  
 File: F:\SWS\035\_Cociv\01\_lavoro\04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_3.01\_SLE.DEEP

### STRUCTURAL MATERIALS DATA

---

#### Steel

Name	Strength Fy (MPa)	Fu (MPa)	Elastic E (MPa)	Density g (kN/m3)
Fe360	235.2	360	206000.2	77.0046
Fe510	355.2	509.7	206000.2	77.0046
A36	248.3	400	200100	77.0046
A50	344.8	500	200100	77.0046
New steel 4	241.4	413.8	206000.2	77.0046

#### Concrete

Name	Strength Fc'	Elastic E	Density g	Tension Strength Ft
------	--------------	-----------	-----------	---------------------

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-CL-GA1N-0X-001-A00 Relazione di calcolo opera c.a sottopasso
	Foglio 120 di 366

	(MPa)	(MPa)	(kN/m3)	(MPa)
C20/25	20	29961.9	25.0029	10
C25/30	24.8	31200	25.0029	10
C28/35	28	32308	25	10
C32/40	32	33346	25	10

#### Steel rebar

Name	Strength Fy	Elastic E
	(MPa)	(MPa)
Grade 60	413.8	200100
Grade 75	517.2	200100
Grade 80	551.7	200100
Grade 150	1034.5	200100
Strands 270 ksi	1862.1	200100
S410	409.7	210000.1
S500	500	210000.1
B450C	449.7	210000.1

#### Wood

Name	Ultimate Bending Strength Fbu	Ultimate Tensile Strength FtU	Ultimate Shear Strength Fvu	Density g	Elastic E
	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(kN/m3)	(MPa)
Construction Timber	11	9.7	5.5	7.8576	6900
Regular grade	6.9	6.9	4.1	7.8576	5520

#### STEEL

Name=material name

$f_y=f_{yk}$ = characteristic resistance for steel (for all the codes)

$F_u=f_{uk}$ = ultimate resistance for steel (for all the codes)

Elastic E= Elastic modulus

Density g= specific weight

#### CONCRETE

Name=material name

$f'_c=f_{ck}$ = cylindrical resistance for concrete (for all the codes)

Elastic E= Elastic modulus

Density g= specific weight

Tension strength= $f_t=f_{ctk}$ = characteristic tension resistance for concrete

#### STEEL REBARS

Name=material name

$f_y=f_{yk}$ = characteristic resistance for steel (for all the codes)

$F_u=f_{uk}$ = ultimate resistance for steel (for all the codes)

Elastic E= Elastic modulus

Density g= specific weight

#### WOOD

Name=material name

$F_b=f_{bk}$ = Ultimate bending strength

$F_{tu}=f_{tuk}$ = Ultimate tensile strength

$F_{vu}=f_{vuk}$ = Ultimate shear strength

Density g= specific weight

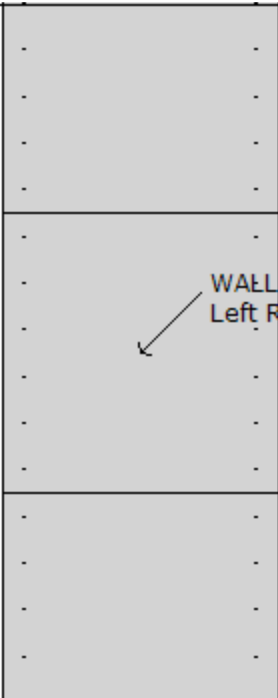
Elastic E= Elastic modulus



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-CL-GA1N-0X-001-A00 Relazione di calcolo opera c.a sottopasso
	Foglio 121 di 366

## WALL DATA

Wall section 0: Wall 1

		
Company: My Company	Wall sketch	CeAS srl and Deep Excavation LCC
Engineer: Engineer		Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011
F:\SW...\04_sottopasso\01_paratie_scatolare\scatolare1_3.01_SLE.DEEP		7/6/2013

Wall type: Diaphragm wall (US: slurry wall)

Hor. wall spacing: 1 Wall thickness = 0.979439444

Passive width below exc: 1 Active width below exc: 1 Swater= 1

Concrete  $f_c' = 24.8$  Rebar  $F_y = 409.7$   $E_{conc} = 31200$  Concrete tension  $F_{cT} = 10\%$  of  $F_c'$

Diaphragm wall (US: slurry wall)

Table: Concrete Slab Data

Shape	$F_y$	$F_c'$	D	B	Bw	tf	Ctop	Cbot	AsTop	AsBot	A	Pmax	Mmax
	(MPa)	(MPa)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(kN)	(kN-m)
Rect	409.7	24.8	97.9	100	N/A	N/A	7.6	7.6	12.1	12.1	9794.4	0	0

### GENERAL WALL DATA

Hor wall spacing= Wall horizontal spacing

Passive width below exc= spacing for passive thrust pressure for classic analysis

$f_c' = f_{ck}$ = cylindrical concrete resistance

$f_y = f_y$ = steel rebar characteristic resistance

$E_{conc}$ = Concrete Elastic modulus

$f_{ctk}$ = characteristic Concrete tension

$E_{steel}$ = steel elastic modulus

TABULAR DATA (principal parameters)

1) Diaphragm wall (rectangular cross section)

N/A= data not available

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-CL-GA1N-0X-001-A00 Relazione di calcolo opera c.a sottopasso

Foglio  
122 di  
366

$F_y = f_{yk}$   
 $F'_c = f_{ck}$   
 D=wall height  
 B=wall width  
 2)Steel sheet pile  
 DES=shape (Z or U)  
 W=width per unit of length  
 A=area  
 h=height  
 t=horizontal part thickness  
 b=width of the single sheet pile part  
 s=inclined part thickness  
 $I_{xx}$ =strong axis inertia (per unit of length)  
 $S_{xx}$ =strong axis section modulus (per unit of length)  
 3)Secant piles wall, Tangent piles wall, soldier piles, soldier piles and timber lagging  
 W=weight per unit of length  
 A=area  
 D=diameter  
 tw=web thickness  
 tp= pipe thickness  
 bf=flange width  
 tf= flange thickness  
 k= flange thickness+stem base height  
 $I_{xx}$ = strong axis inertia modulus (per unit of length)  
 $S_{xx}$ = strong axis section modulus (per unit of length)  
 $r_x$ =radius of gyration about X axis  
 $r_y$ =radius of gyration about Y axis  
 $I_{yy}$ =weak axis inertia modulus (per unit of length)  
 $S_{yy}$ =weak axis section modulus (per unit of length)  
 $r_T$ =radius of gyration for torsion  
 Cw= warping constant

## SLAB SECTION DATA

Name	Shape	$F_y$	$F'_c$	D	B	Bw	tf	Ctop	Cbot	AsTop	AsBot	A	Pmax	Mmax
		(MPa)	(MPa)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(kN)	(kN-m)
Slab H=140cm	Rect	500	32	140	100	N/A	N/A	3	3	6	12.1	14000	1121.1	161.1
Slab H=120cm	Rect	500	32	120	100	N/A	N/A	3	3	6	12.1	12000	624.4	68.4

Slab sections can be used in any slab support.

N/A=data non available

Name=section name

Shape=shape of the cross section

$F_y = f_{yk}$ = characteristic resistance for steel (for all the codes)

$F'_c = f_{ck}$ =cylindrical characteristic resistance for steel (for all the codes)

D=slab height

B=slab base (width)

Bw=N/A

$I_{xx}$ = bending inertia about strong axis

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG51-02-E-CV-CL-GA1N-0X-001-A00 Relazione di calcolo opera c.a sottopasso	Foglio 123 di 366

tf=N/A

Ctop=top cover to center of bar

Cbot=bottom cover to center of bar

Astop= Top reinforcement

Asbot=bottom reinforcement

A=total gross section area

Pmax=Nu=Ultimate axial resistance (preliminary)

Mmax=Mu=Ultimate bending resistance (preliminary)

***Project: My Project***

***Results for Design Section 0: Base model***

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-CL-GA1N-0X-001-A00 Relazione di calcolo opera c.a sottopasso
	Foglio 124 di 366

## SOIL DATA

Name	g tot (kN/m3)	g dry (kN/m3)	Frict (deg)	C' (kPa)	Su (kPa)	FRp (deg)	FRcv (deg)	Eload (kPa)	Eur (kPa)	kAp NL	kPp NL	kAcv NL	kPcv NL	Vary	Spring Model	Color
rilevato	18	18	35	0	N/A	N/A	N/A	15000	24000	0.24	5.94	N/A	N/A	True	Linear	
LS	18	18	28	0	N/A	N/A	N/A	20000	32000	0.32	3.81	N/A	N/A	True	Linear	
GS/GLA	19	19	40	0	N/A	N/A	N/A	40000	64000	0.19	8.38	N/A	N/A	True	Linear	

Name	Poisson v	Min Ka (clays)	Min sh (clays)	ko.NC -	nOCR -	aH.EXP (0 to 1)	aV.EXP (0 to 1)	qSkin (kPa)	qNails (kPa)	kS.nails (kN/m3)	PL (MPa)
rilevato	0.35	-	-	0.426	0.5	-	-	49.7	33.1	3143.04	-
LS	0.35	-	-	0.531	0.5	-	-	89.7	60	3143.04	-
GS/GLA	0.3	-	-	0.357	0.5	-	-	35.2	23.4	3143.04	-

gtot = total soil specific weight

gdry = dry weight of the soil

Frict = friction angle

C' = effective cohesion

Su = Undrained shear strength (only for CLAY soils in undrained conditions, used as a cutoff strength in NL analysis)

Evc = Virgin compression elastic modulus

Eur = unloading/reloading elastic modulus

Kap = Peak active thrust coefficient (initial value, may be modified on each stage according to analysis settings).

Kpp = Peak passive thrust coefficient (initial value, may be modified on each stage according to analysis settings).

Kacv = Constant volume active thrust coeff (only for clays, initial value)

Kpcv = Constant volume passive thrust coeff (only for clays, initial value).

Spring models= spring model (LIN= constant E over the soil layer height , EXP=exponential , SIMC=simplified winkler)

LIN= Linear-Elastic-Perfectly Plastic,

EXP: Exponential, SUB: Modulus of Subgrade Reaction

SIMC= Simplified Clay mode

## SOIL BORINGS

Top Elev= superior Soil level

Soil type= type of the soil (sand , clay , etc)

OCR= overconsolidation ratio

K0= at rest coefficient

Name: Boring 1, pos: (-20, 0)

Top elev.	Soil type	OCR	Ko
0	rilevato	1	0.43
-6.2	LS	1	0.53
-8.2		1	0.36

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-CL-GA1N-0X-001-A00 Relazione di calcolo opera c.a sottopasso
	Foglio 125 di 366

## STRUCTURAL MATERIALS DATA

### Steel

Name	Strength Fy (MPa)	Fu (MPa)	Elastic E (MPa)	Density g (kN/m3)
Fe360	235.2	360	206000.2	77.0046
Fe510	355.2	509.7	206000.2	77.0046
A36	248.3	400	200100	77.0046
A50	344.8	500	200100	77.0046
New steel 4	241.4	413.8	206000.2	77.0046

### Concrete

Name	Strength Fc' (MPa)	Elastic E (MPa)	Density g (kN/m3)	Tension Strength Ft (MPa)
C20/25	20	29961.9	25.0029	10
C25/30	24.8	31200	25.0029	10
C28/35	28	32308	25	10
C32/40	32	33346	25	10

### Steel rebar

Name	Strength Fy (MPa)	Elastic E (MPa)
Grade 60	413.8	200100
Grade 75	517.2	200100
Grade 80	551.7	200100
Grade 150	1034.5	200100
Strands 270 ksi	1862.1	200100
S410	409.7	210000.1
S500	500	210000.1
B450C	449.7	210000.1

### Wood

Name	Ultimate Bending Strength Fbu (MPa)	Ultimate Tensile Strength FtU (MPa)	Ultimate Shear Strength Fvu (MPa)	Density g (kN/m3)	Elastic E (MPa)
Construction Timber	11	9.7	5.5	7.8576	6900
Regular grade	6.9	6.9	4.1	7.8576	5520

### STEEL

Name=material name

fy=fyk= characteristic resistance for steel (for all the codes)

Fu=fuk= ultimate resistance for steel (for all the codes)

Elastic E= Elastic modulus

Density g= specific weight

### CONCRETE

Name=material name

f'c=fck= cylindrical resistance for concrete (for all the codes)

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-CL-GA1N-0X-001-A00 Relazione di calcolo opera c.a sottopasso

Foglio  
126 di  
366

Elastic E= Elastic modulus  
 Density g= specific weight  
 Tension strength=ft=fctk= characteristic tension resistance for concrete

**STEEL REBARS**

Name=material name  
 fy=fyk= characteristic resistance for steel (for all the codes)  
 Fu=fuk= ultimate resistance for steel (for all the codes)

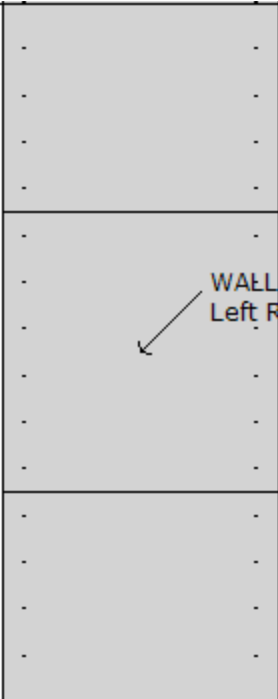
Elastic E= Elastic modulus  
 Density g= specific weight

**WOOD**

Name=material name  
 Fb=fbk= Ultimate bending strength  
 Ft=ftuk= Ultimate tensile strength  
 Fvu=fvuk= Ultimate shear strength  
 Density g= specific weight  
 Elastic E= Elastic modulus

**WALL DATA**

Wall section 0: Wall 1

		
Company: My Company Engineer: Engineer	Wall sketch	CeAS srl and Deep Excavation LCC Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011
F:\SW..04_sottopasso\01_paratie_scatolare\scatolare1_3.01_SLE.DEEP		7/6/2013

Wall uses wall section 0: Wall 1  
 Wall type: Diaphragm wall (US: slurry wall)  
 Top wall El: 0 m Bottom wall El: -22 m  
 Hor. wall spacing: 1 Wall thickness = 0.979439444  
 Passive width below exc: 1 Active width below exc: 1 Swater= 1  
 Concrete fc' = 24.8 Rebar Fy = 409.7 Econc = 31200 Concrete tension FcT = 10% of Fc'  
 Wall friction: Ignored

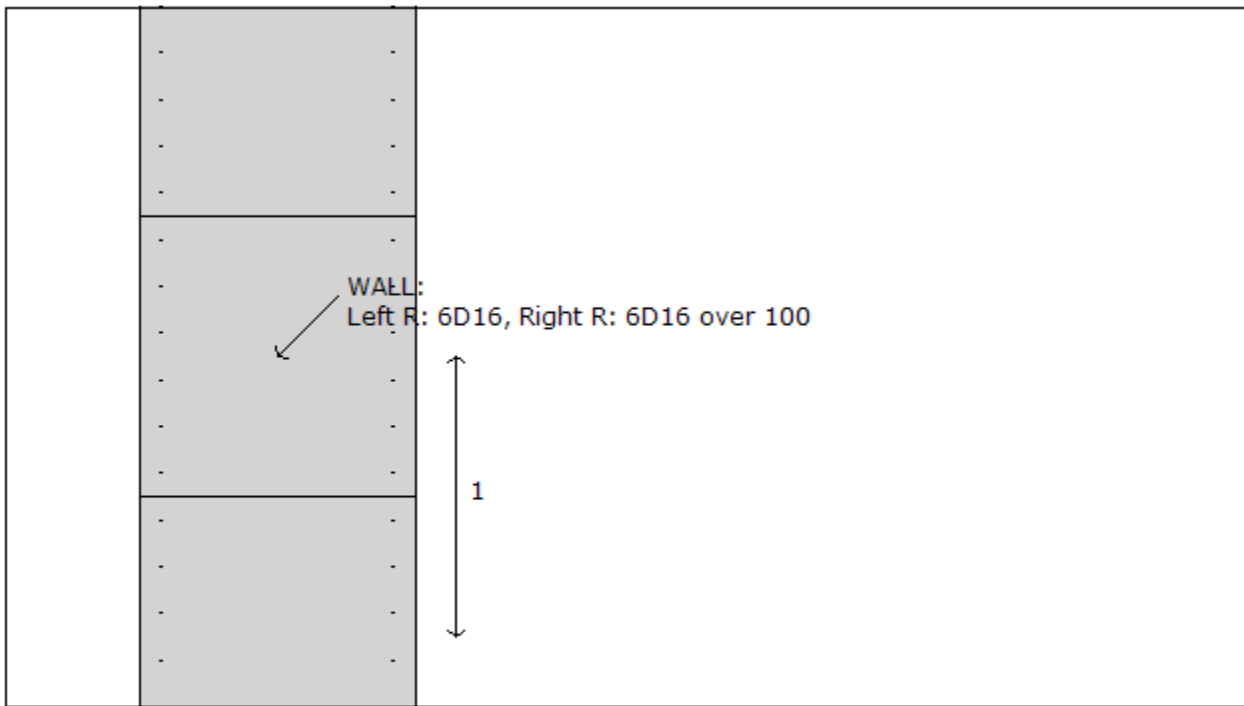
GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-CL-GA1N-0X-001-A00 Relazione di calcolo opera c.a sottopasso
	Foglio 127 di 366

Steel wall capacities are calculated with EC3 2005  
 Concrete capacities are calculated with EC2-2004  
 Note: With ultimate capacities you may have to use a structural safety factor.  
 Diaphragm wall (US: slurry wall)

Table: Concrete Slab Data

Name	Shape	Fy	Fc'	D	B	Bw	tf	Ctop	Cbot	AsTop	AsBot	A	Pmax	Mmax
		(MPa)	(MPa)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(kN)	(kN-m)
Wall 1	Rect	409.7	24.8	97.9	100	N/A	N/A	7.6	7.6	12.1	12.1	9794.4	0	0

Wall section 1: Right wall



WALL:  
 Left R: 6D16, Right R: 6D16 over 100

Company: My Company	Wall sketch	CeAS srl and Deep Excavation LCC
Engineer: Engineer		Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011
F:\SW..04_sottopasso\01_paratie_scatolare\scatolare1_3.01_SLE.DEEP		7/6/2013

Wall uses wall section 0: Wall 1  
 Wall type: Diaphragm wall (US: slurry wall)  
 Top wall El: 0 m Bottom wall El: -22 m  
 Hor. wall spacing: 1 Wall thickness = 0.979439444  
 Passive width below exc: 1 Active width below exc: 1 Swater= 1  
 Concrete fc' = 24.8 Rebar Fy = 409.7 Econc = 31200 Concrete tension FcT = 10% of Fc'  
 Wall friction: Ignored  
 Steel wall capacities are calculated with EC3 2005  
 Concrete capacities are calculated with EC2-2004  
 Note: With ultimate capacities you may have to use a structural safety factor.  
 Diaphragm wall (US: slurry wall)

Table: Concrete Slab Data

Name	Shape	Fy	Fc'	D	B	Bw	tf	Ctop	Cbot	AsTop	AsBot	A	Pmax	Mmax
		(MPa)	(MPa)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(kN)	(kN-m)
Wall 1	Rect	409.7	24.8	97.9	100	N/A	N/A	7.6	7.6	12.1	12.1	9794.4	0	0

## GENERAL WALL DATA

Hor wall spacing= Wall horizontal spacing

Passive width below exc= spacing for passive thrust pressure for classic analysis

f'c=fck= cylindrical concrete resistance

fyk=fyk= steel rebar characteristic resistance

Econc= Concrete Elastic modulus

fctk= characteristic Concrete tension

Esteel= steel elastic modulus

TABULAR DATA (principal parameters)

1) Diaphragm wall (rectangular cross section)

N/A= data not available

Fy=fyk

F'c=fck

D=wall height

B=wall width

2) Steel sheet pile

DES=shape (Z or U)

W=width per unit of length

A=area

h=height

t=horizontal part thickness

b=width of the single sheet pile part

s=inclined part thickness

Ixx=strong axis inertia (per unit of length)

Sxx=strong axis section modulus (per unit of length)

3) Secant piles wall, Tangent piles wall, soldier piles, soldier piles and timber lagging

W=weight per unit of length

A=area

D=diameter

tw=web thickness

tp= pipe thickness

bf=flange width

tf= flange thickness

k= flange thickness+stem base height

Ixx= strong axis inertia modulus (per unit of length)

Sxx= strong axis section modulus (per unit of length)

rx=radius of gyration about X axis

ry=radius of gyration about Y axis

Iyy=weak axis inertia modulus (per unit of length)

Syy=weak axis section modulus (per unit of length)

rT=radius of gyration for torsion

Cw= warping constant

## SLAB SECTION DATA

Name	Shape	Fy	Fc'	D	B	Bw	tf	Ctop	Cbot	AsTop	AsBot	A	Pmax	Mmax
		(MPa)	(MPa)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(kN)	(kN-m)
Slab H=140cm	Rect	500	32	140	100	N/A	N/A	3	3	6	12.1	14000	1121.1	161.1
Slab	Rect	500	32	120	100	N/A	N/A	3	3	6	12.1	12000	624.4	68.4



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-CL-GA1N-0X-001-A00 Relazione di calcolo opera c.a sottopasso

Foglio  
129 di  
366

H=120cm

Slab sections can be used in any slab support.

N/A=data non available

Name=section name

Shape=shape of the cross section

Fy= fyk= characteristic resistance for steel (for all the codes)

F'c=fck=cylindrical characteristic resistance for steel (for all the codes)

D=slab height

B=slab base (width)

Bw=N/A

Ixx= bending inertia about strong axis

tf=N/A

Ctop=top cover to center of bar

Cbot=bottom cover to center of bar

Astop= Top reinforcement

Asbot=bottom reinforcement

A=total gross section area

Pmax=Nu=Ultimate axial resistance (preliminary)

Mmax=Mu=Ultimate bending resistance (preliminary)

## SURFACE LOADS

Surcharge 0: X1 = 13.779439444, X2 = 50

Variable surcharge

Stage No	Active	X1	Z1	qX1	qZ1	X2	Z2	qX2	qZ2
	Yes/No	(m)	(m)	(kPa)	(kPa)	(m)	(m)	(kPa)	(kPa)
0	Yes	13.779439444	0	0	74	50	0	0	74
1	Yes	13.779439444	0	0	74	50	0	0	74
2	Yes	13.779439444	0	0	74	50	0	0	74
3	Yes	13.779439444	0	0	74	50	0	0	74
4	Yes	13.779439444	0	0	74	50	0	0	74
5	Yes	13.779439444	0	0	74	50	0	0	74
6	Yes	13.779439444	0	0	74	50	0	0	74
7	Yes	13.779439444	0	0	74	50	0	0	74
8	Yes	13.779439444	0	0	54	50	0	0	54
9	Yes	13.779439444	0	0	54	50	0	0	54

Surcharge 1: X1 = -50, X2 = 0

Variable surcharge

Stage No	Active	X1	Z1	qX1	qZ1	X2	Z2	qX2	qZ2
	Yes/No	(m)	(m)	(kPa)	(kPa)	(m)	(m)	(kPa)	(kPa)
0	Yes	-50	0	0	74	0	0	0	74
1	Yes	-50	0	0	74	0	0	0	74
2	Yes	-50	0	0	74	0	0	0	74
3	Yes	-50	0	0	74	0	0	0	74

4	Yes	-50	0	0	74	0	0	0	74
5	Yes	-50	0	0	74	0	0	0	74
6	Yes	-50	0	0	74	0	0	0	74
7	Yes	-50	0	0	74	0	0	0	74
8	Yes	-50	0	0	74	0	0	0	74
9	Yes	-50	0	0	74	0	0	0	74

Surcharge 2:  $X1 = 0, X2 = 0$

Variable surcharge

Surcharge applies to wall 0

Stage No	Active	X1	Z1	qX1	qZ1	X2	Z2	qX2	qZ2
	Yes/No	(m)	(m)	(kPa)	(kPa)	(m)	(m)	(kPa)	(kPa)
0	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
1	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
2	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
3	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
4	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
5	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
6	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
7	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
8	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
9	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0

Surcharge 3:  $X1 = 0, X2 = 0$

Variable surcharge

Surcharge applies to wall 0

Stage No	Active	X1	Z1	qX1	qZ1	X2	Z2	qX2	qZ2
	Yes/No	(m)	(m)	(kPa)	(kPa)	(m)	(m)	(kPa)	(kPa)
0	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
1	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
2	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
3	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
4	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
5	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
6	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
7	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
8	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
9	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0

Surcharge 4:  $X1 = 0, X2 = 0$

Variable surcharge

Surcharge applies to wall 0

Stage No	Active	X1	Z1	qX1	qZ1	X2	Z2	qX2	qZ2
	Yes/No	(m)	(m)	(kPa)	(kPa)	(m)	(m)	(kPa)	(kPa)
0	No	0	0	12	0	0	-11.15	0	0

1	No	0	0	12	0	0	-11.15	0	0
2	No	0	0	12	0	0	-11.15	0	0
3	No	0	0	12	0	0	-11.15	0	0
4	No	0	0	12	0	0	-11.15	0	0
5	No	0	0	12	0	0	-11.15	0	0
6	No	0	0	12	0	0	-11.15	0	0
7	No	0	0	12	0	0	-11.15	0	0
8	No	0	0	12	0	0	-11.15	0	0
9	Yes	0	0	12	0	0	-11.15	0	0

**LEGEND**

Stage No=Excavation step number

Active=load status (Yes=active)

-----

X1=first X coordinate position of the load (left for surface loads)

Z1=first Z coordinate position of the load

qX1=first horizontal point load value

qZ1=first vertical point load value

-----

X2=second X coordinate position of the load (right for surface loads)

Z2=second Z coordinate position of the load

qX2=second horizontal point load value

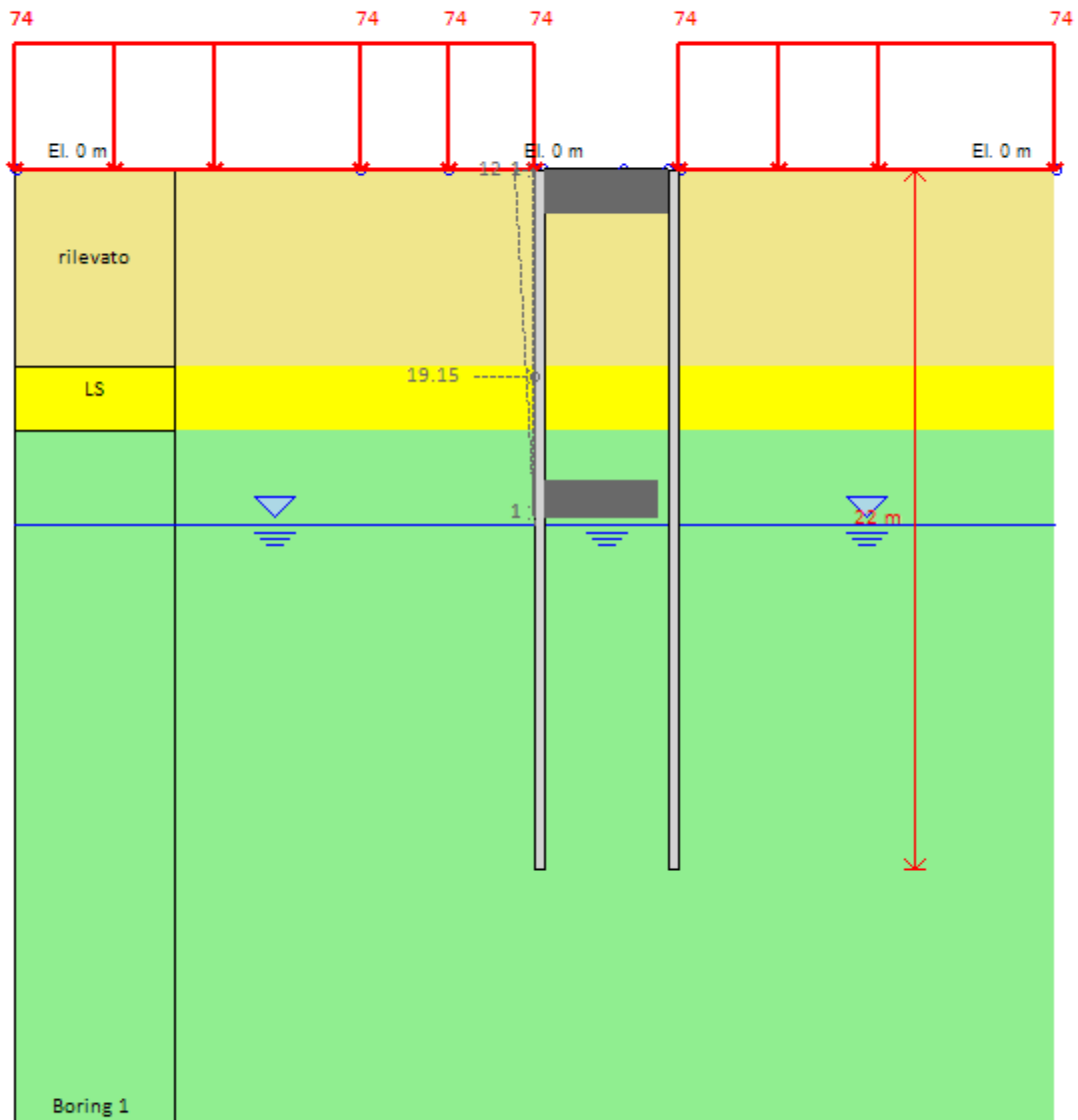
qZ2=second vertical point load value

## **EXCAVATION STAGES SKETCHES**

---

A sequence of figures for each excavation stage is reported

Base model



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0, Stage 0

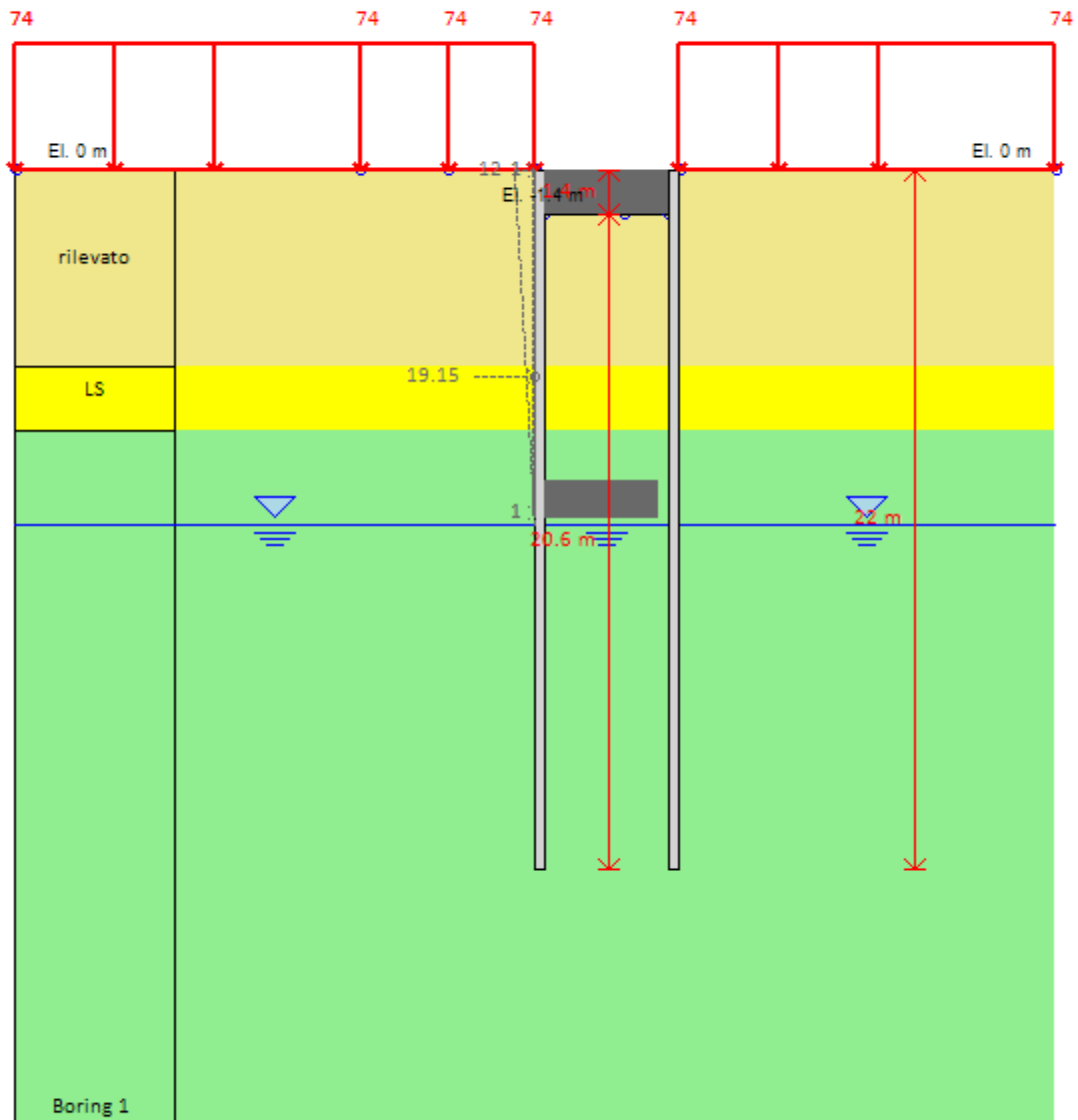
CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW..04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_3.01\_SLE.DEEP

7/6/2013

Base model



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0, Stage 1-Scavo -1.4m

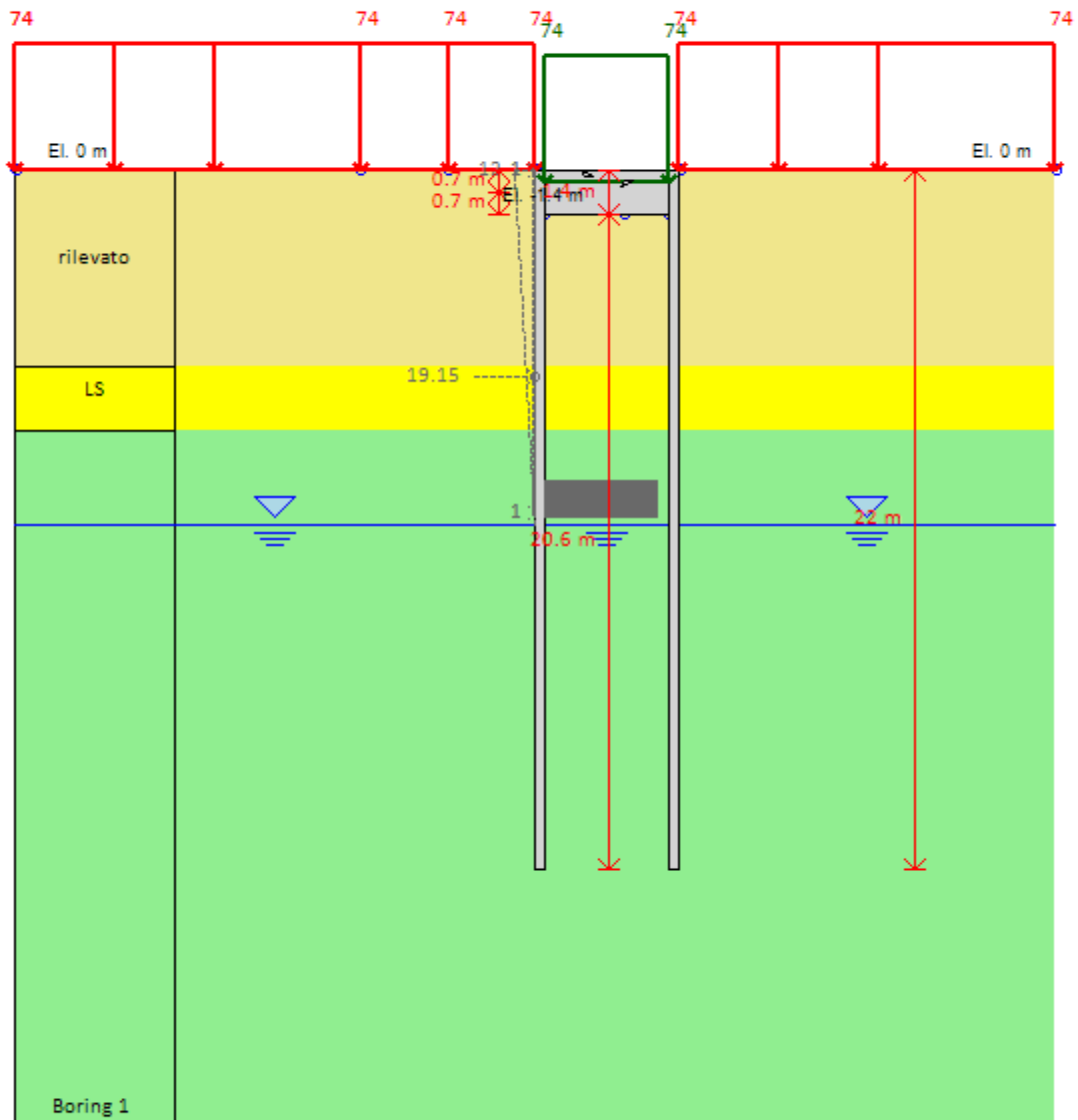
CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW.\04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_3.01\_SLE.DEEP

7/6/2013

Base model



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0, Stage 2-SolettoneSuperiore

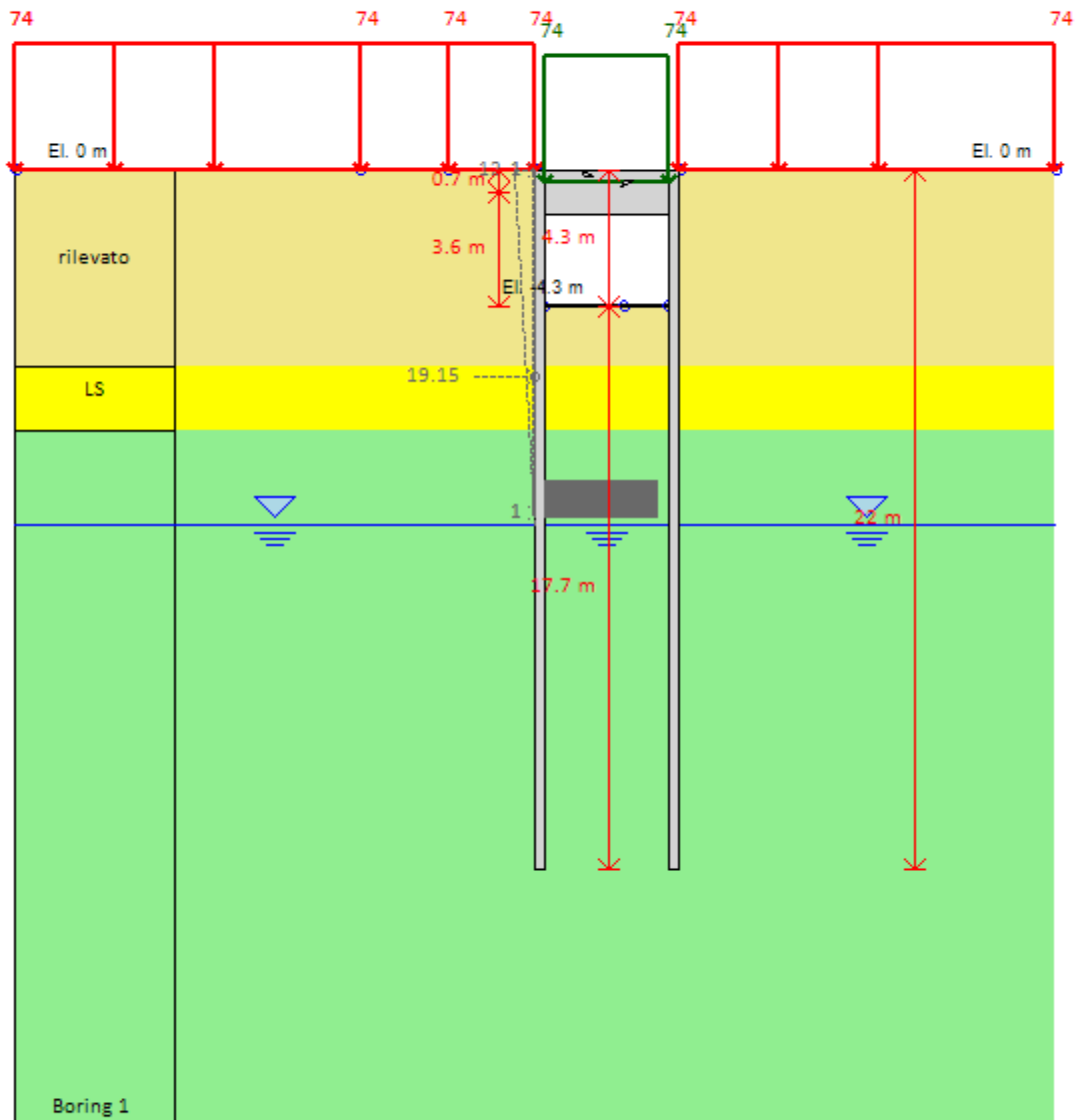
CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW..04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_3.01\_SLE.DEEP

7/6/2013

Base model



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0, Stage 3-Scavo -4.3m

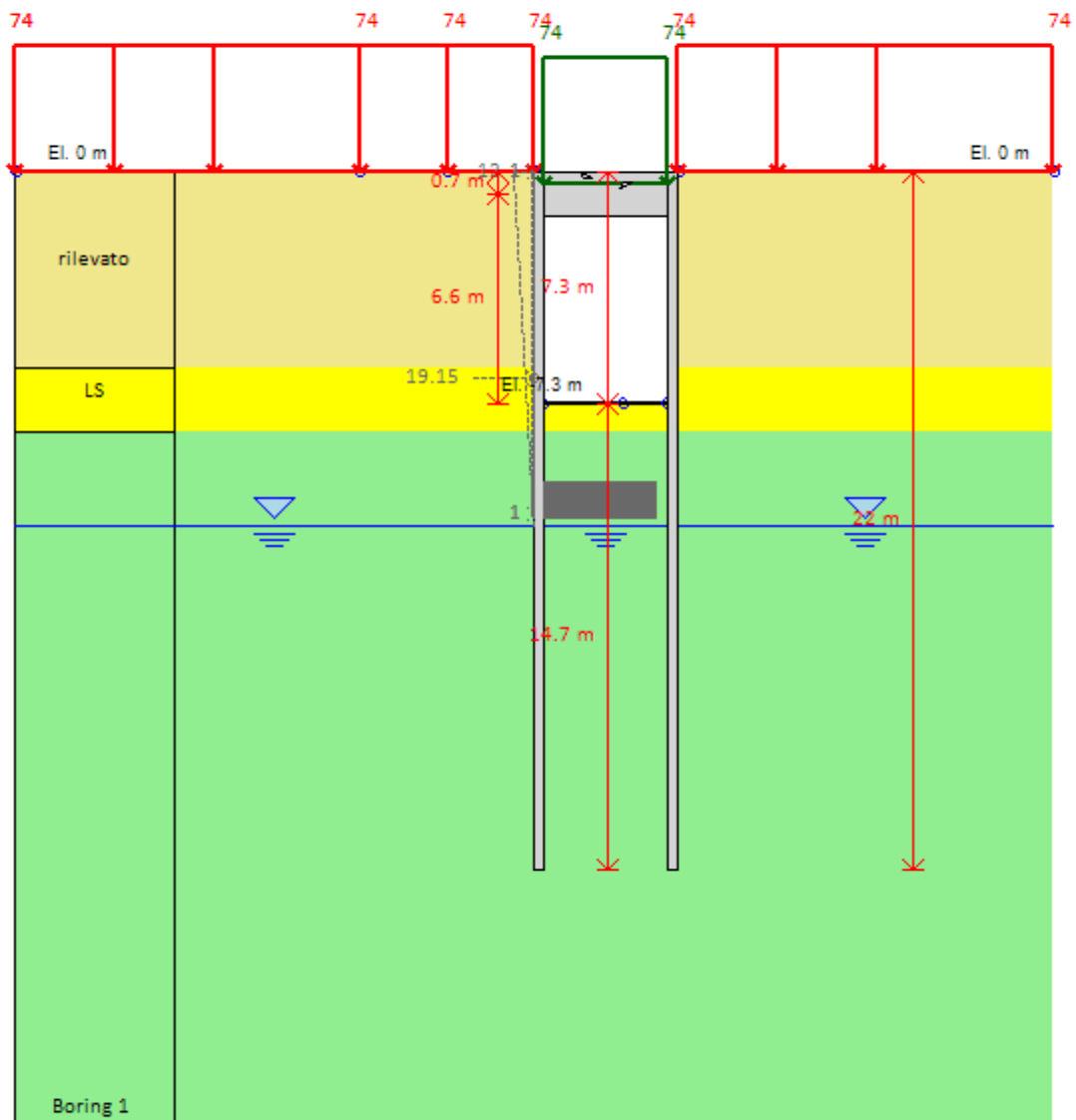
CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW..04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_3.01\_SLE.DEEP

7/6/2013

Base model



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0, Stage 4-Scavo -7.3m

CeAS srl and Deep Excavation LCC

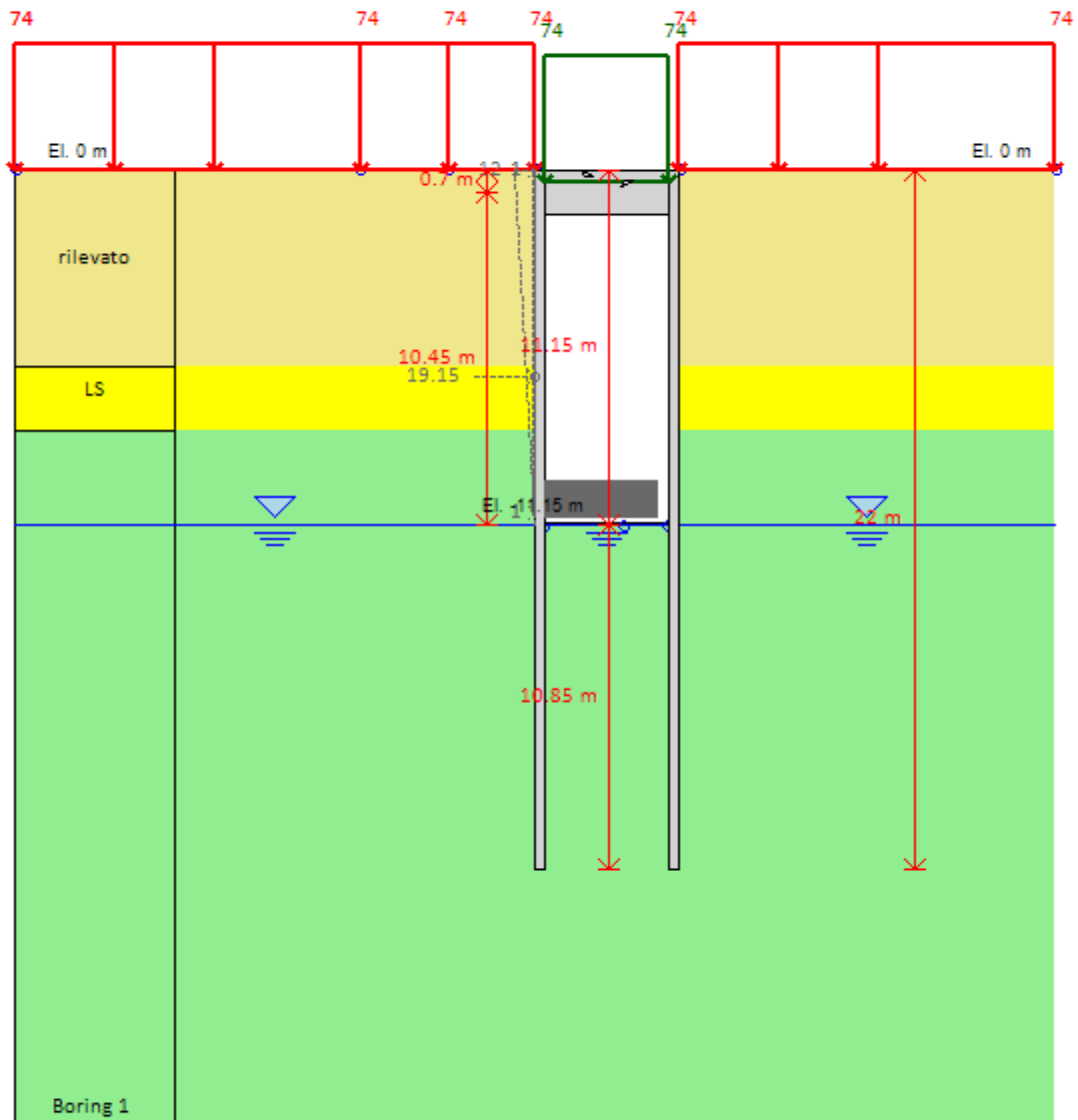
Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW..04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_3.01\_SLE.DEEP

7/6/2013



Base model



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0, Stage 5-Scavo -11.15m

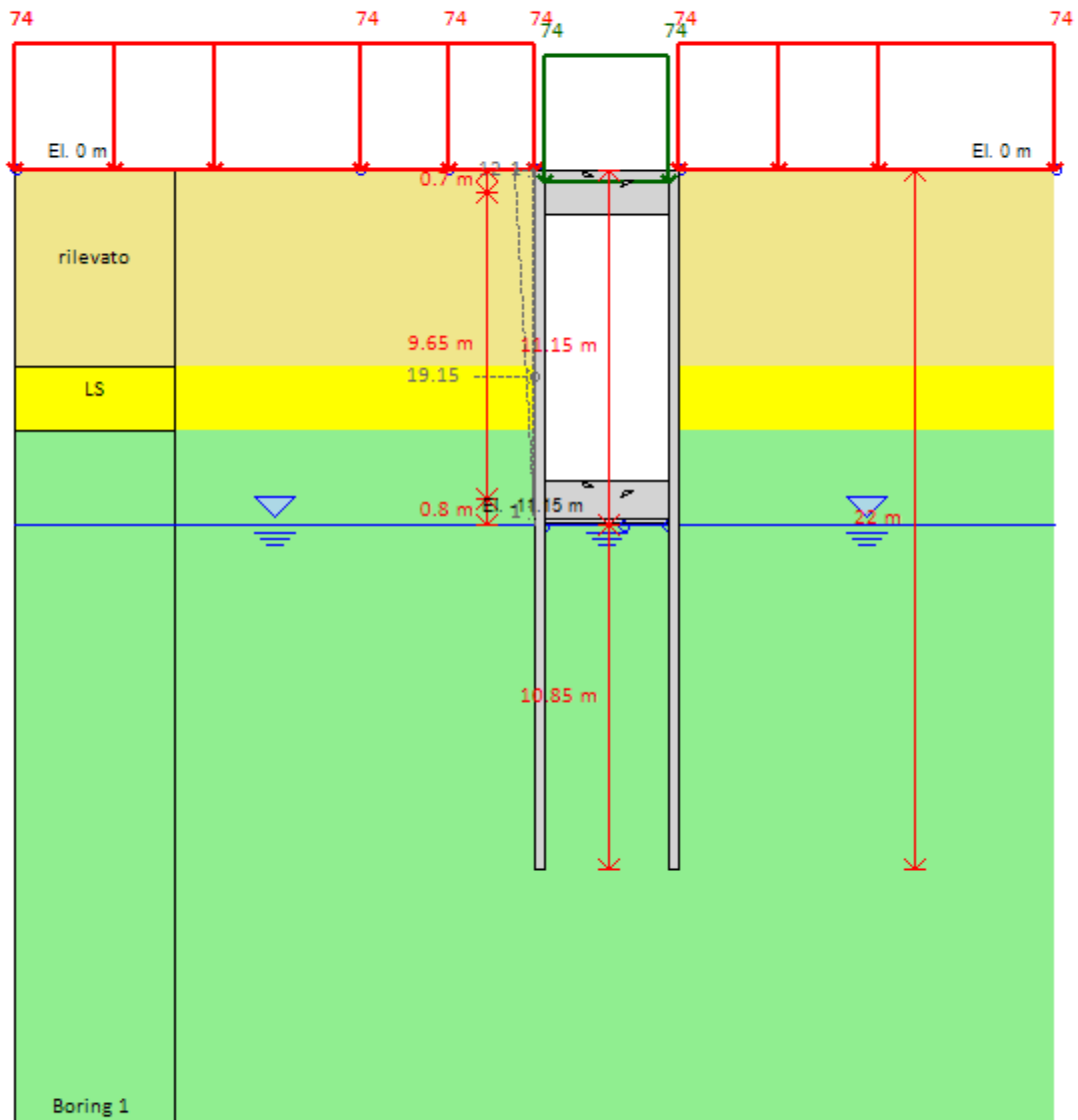
CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW..04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_3.01\_SLE.DEEP

7/6/2013

Base model



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0, Stage 6-SolettoneInferiore

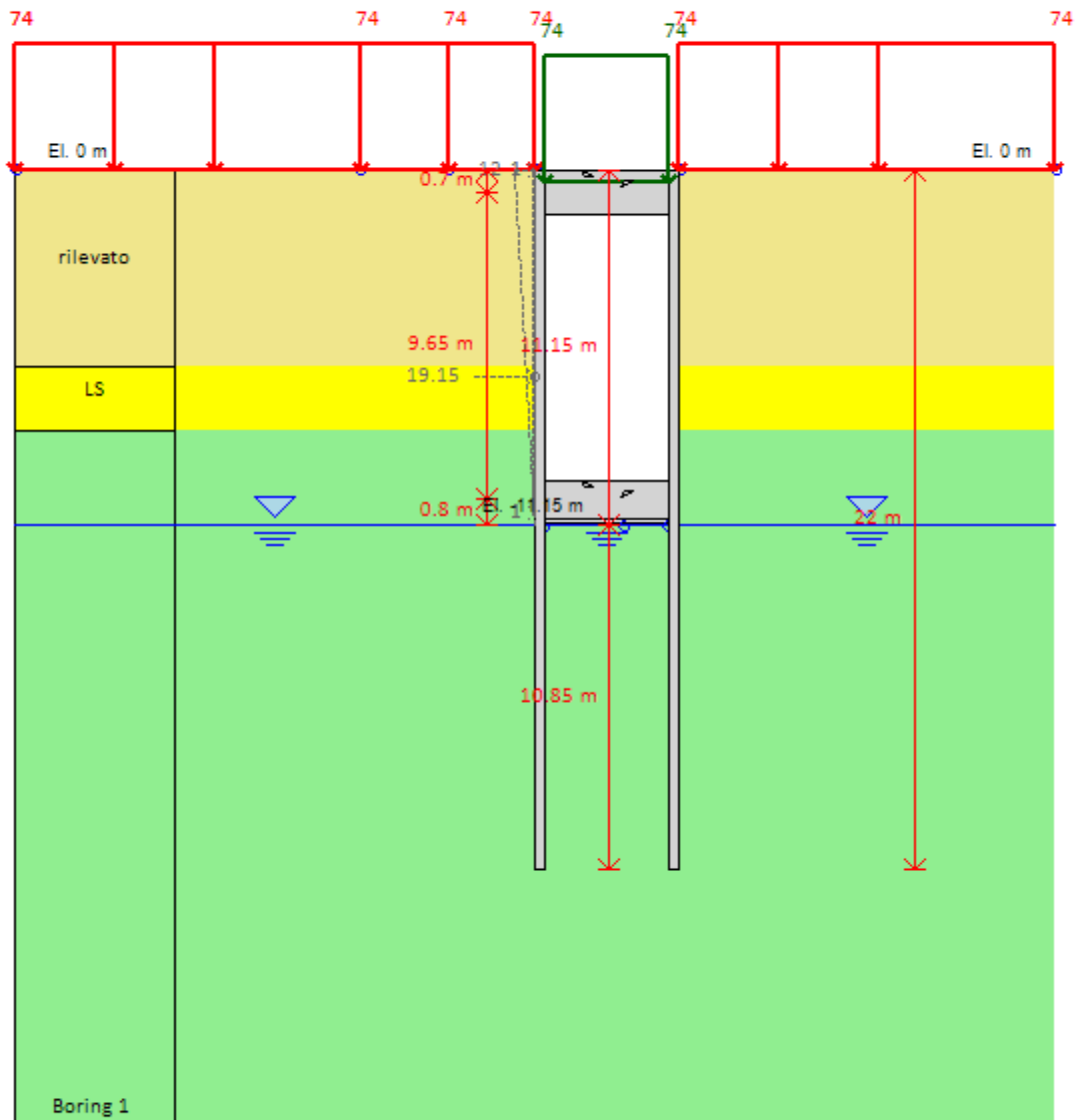
CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW..04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_3.01\_SLE.DEEP

7/6/2013

Base model



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0, Stage 7-Lungo termine 1

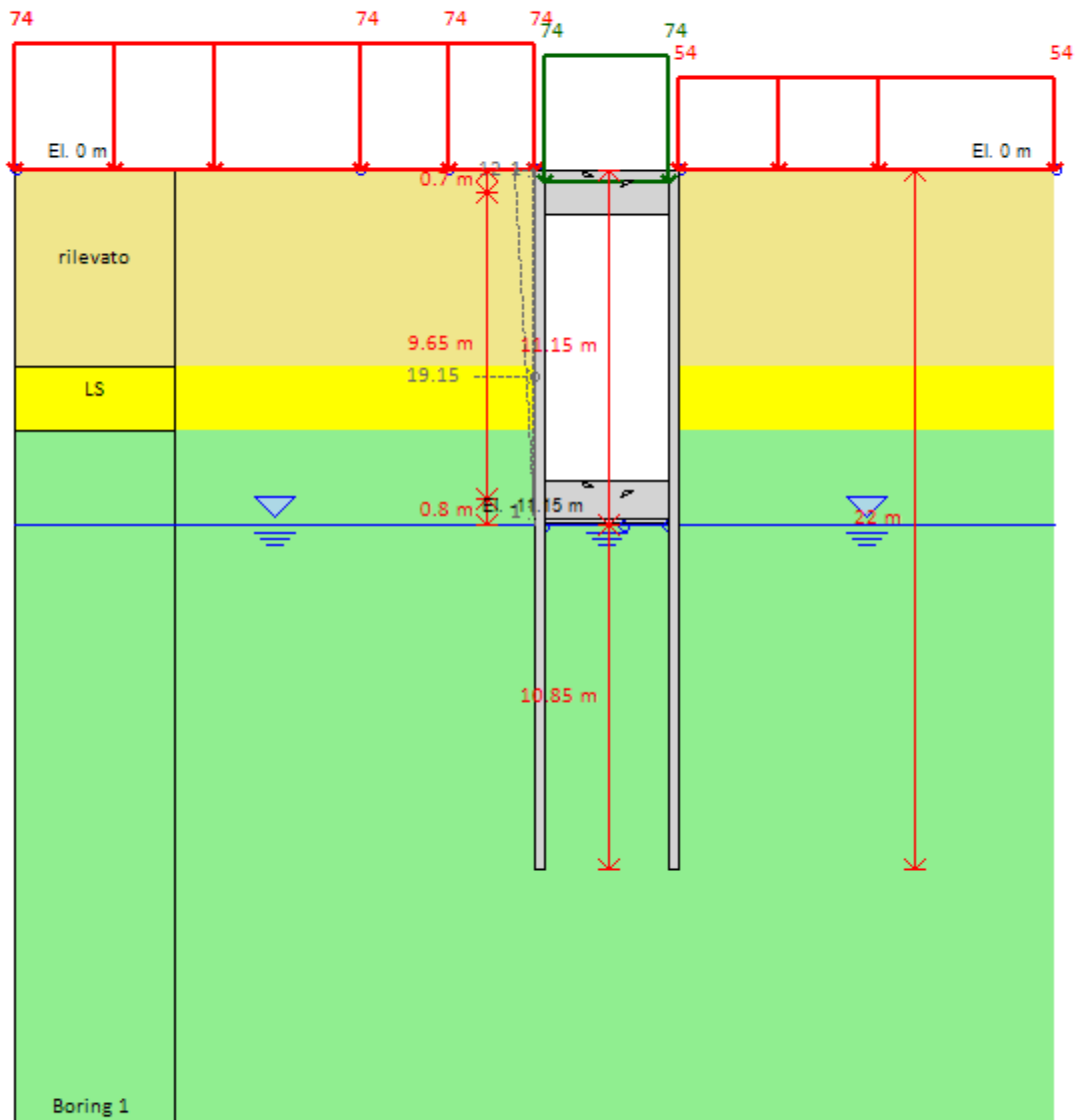
CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW..04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_3.01\_SLE.DEEP

7/6/2013

Base model



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0, Stage 8-Lungo Termine2

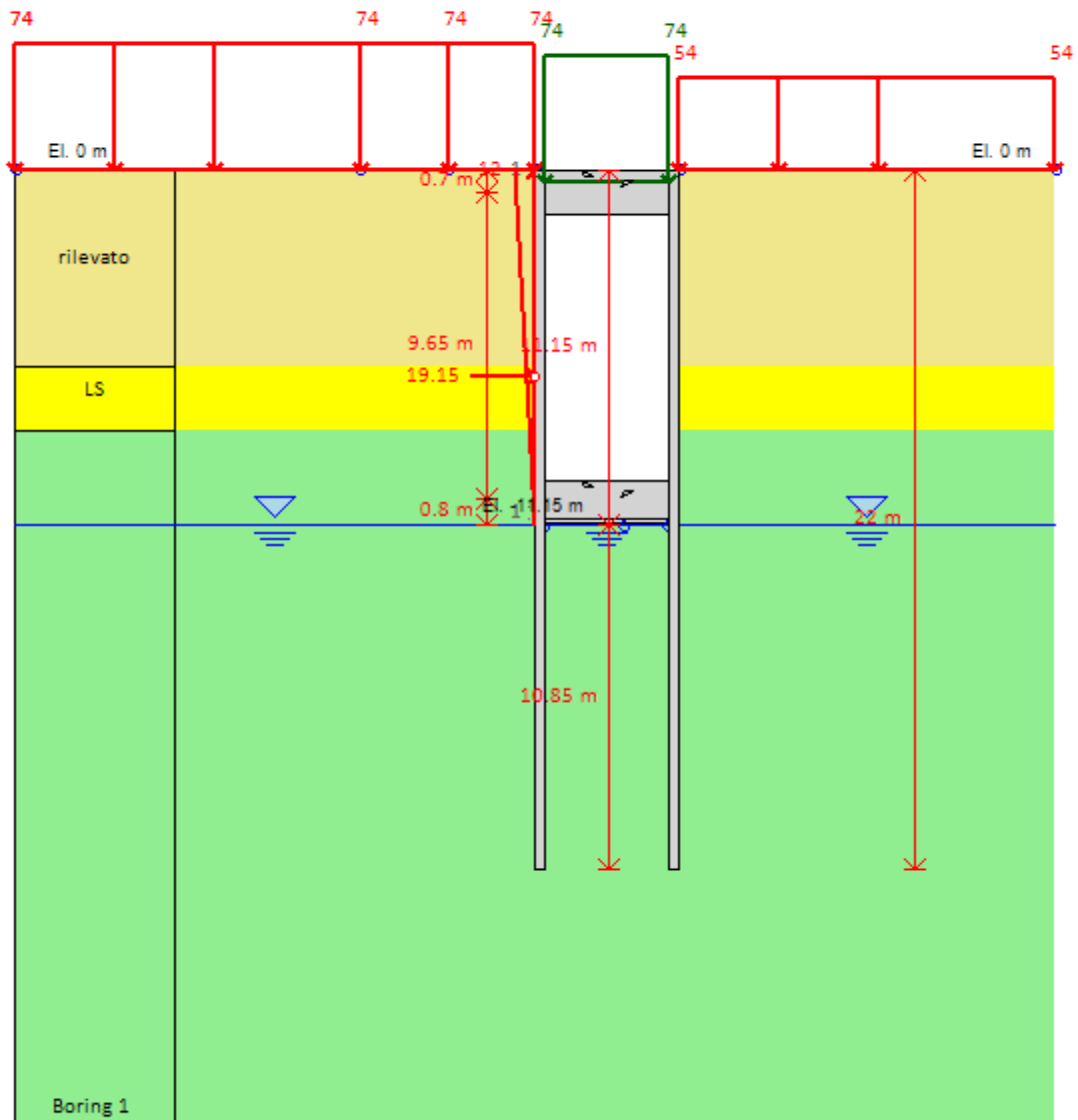
CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW.\04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_3.01\_SLE.DEEP

7/6/2013

Base model



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0, Stage 9-Sisma

CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW..04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_3.01\_SLE.DEEP

7/6/2013

**SUPPORTS REACTIONS (TIEBACKS, STRUTS, SLABS, RAKERS)**

## Support 0

Stage No	R
	(kN)
0	0
1	0
2	0
3	88.555
4	165.32
5	279.7
6	279.7
7	279.7
8	276.88
9	318.88

## Support 1

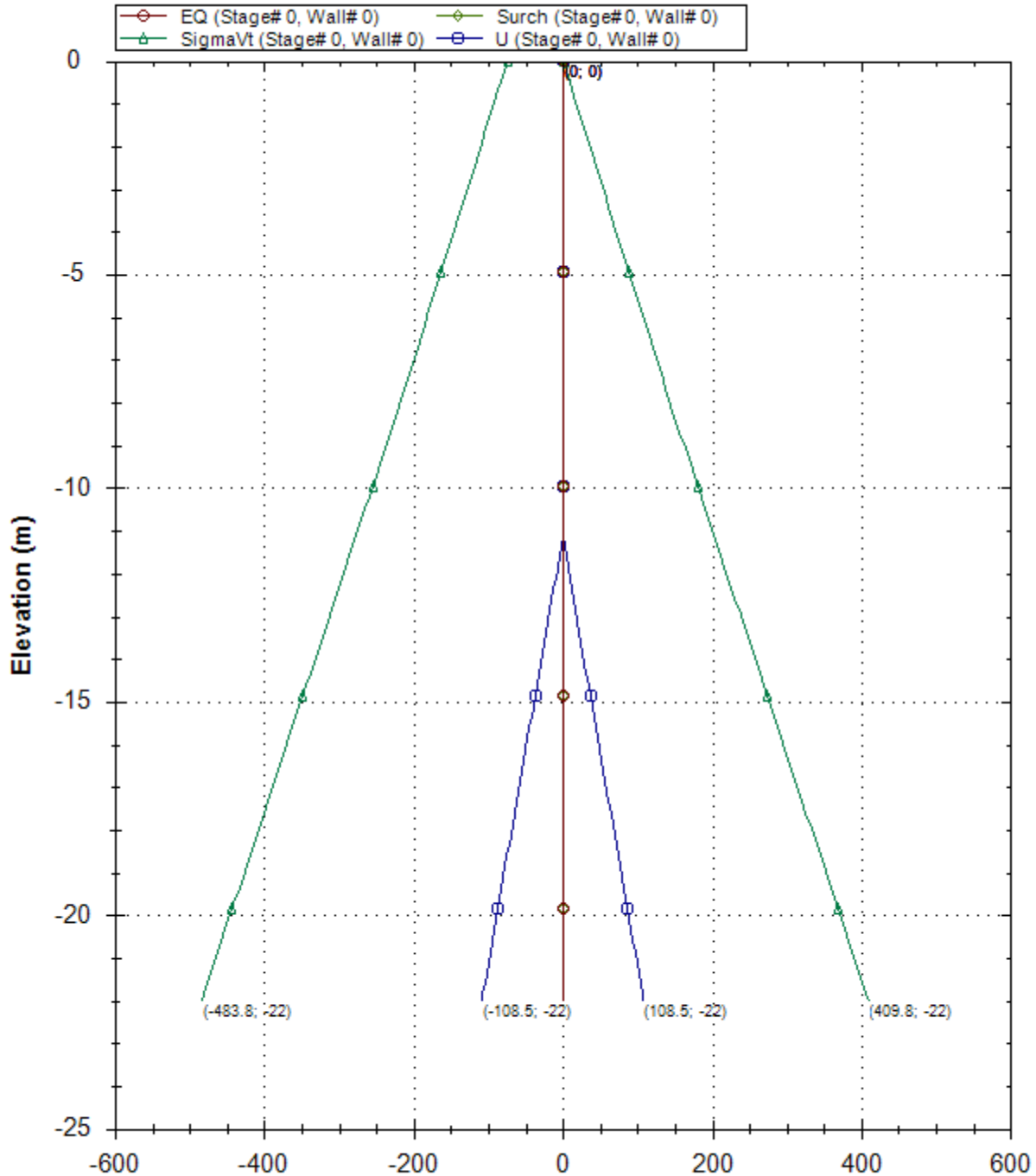
Stage No	R
	(kN)
0	0
1	0
2	0
3	0
4	0
5	0
6	0
7	0
8	-0.999
9	52.519

## Result diagrams (for walls)

---

A sequence of result diagrams for each excavation stage is reported

### Horizontal and vertical pressures (kPa)



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0 (left wall)

Stage 0

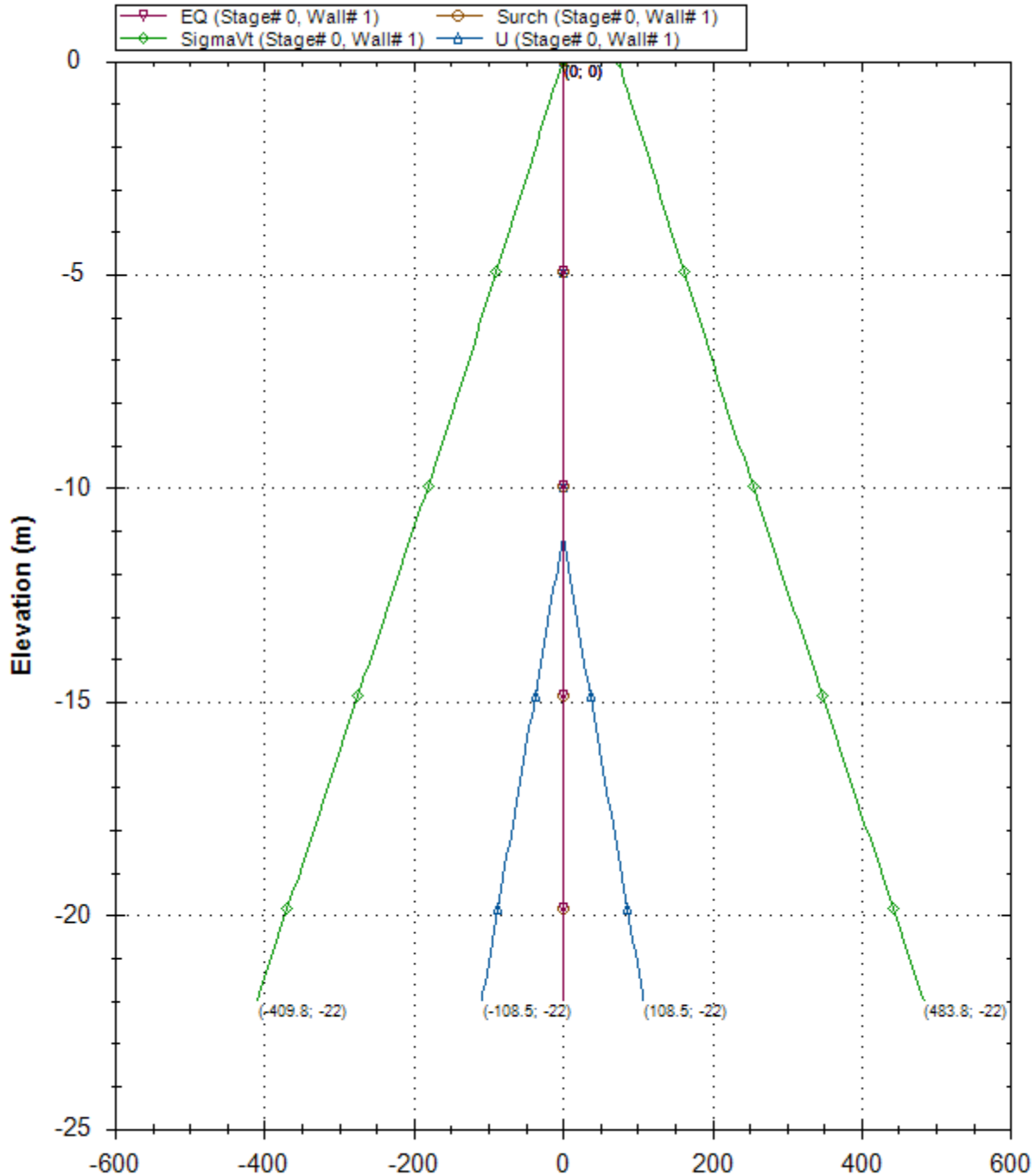
CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW..04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_3.01\_SLE.DEEP

7/6/2013

### Horizontal and vertical pressures (kPa)



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0 (right wall)

Stage 0

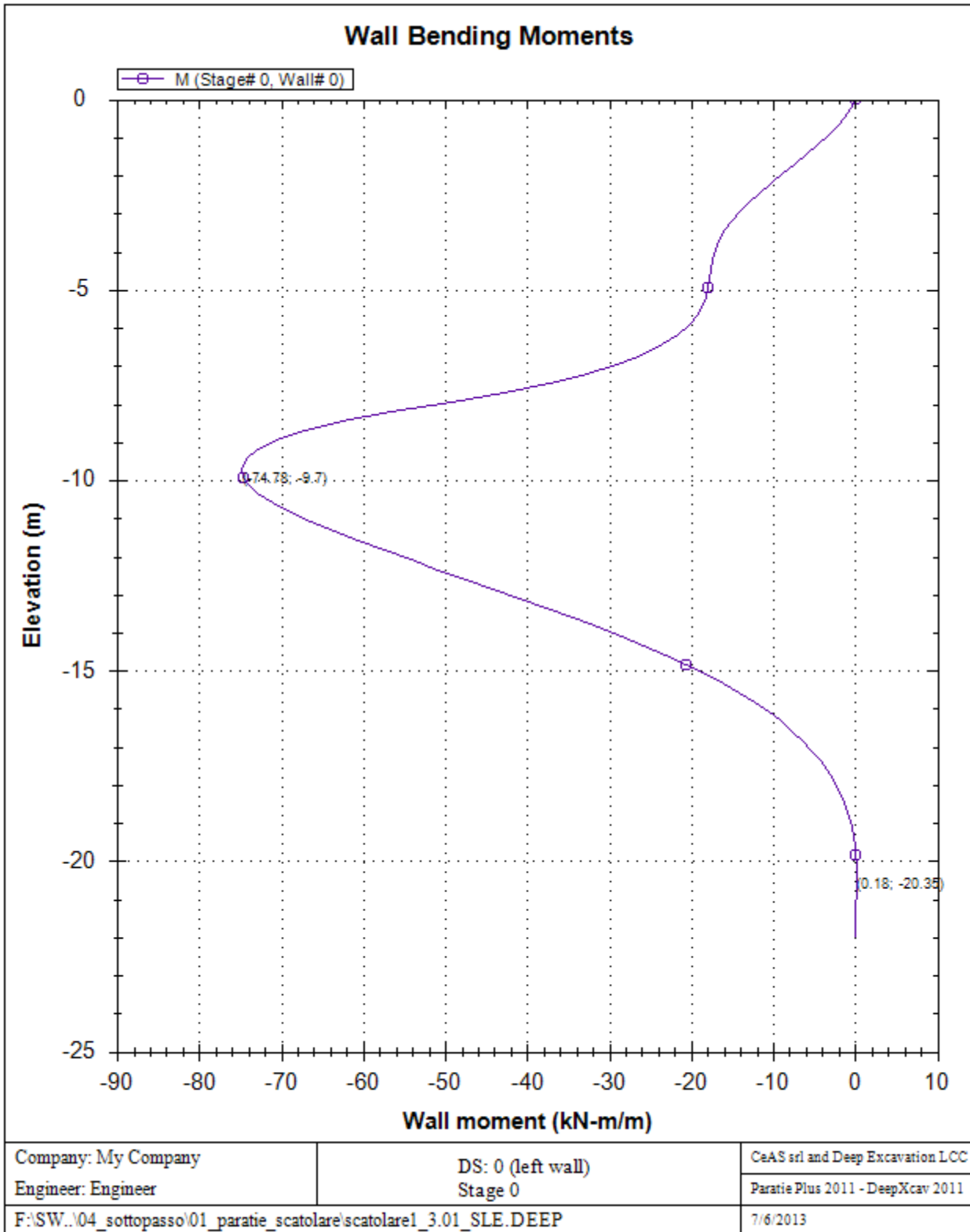
CeAS srl and Deep Excavation LCC

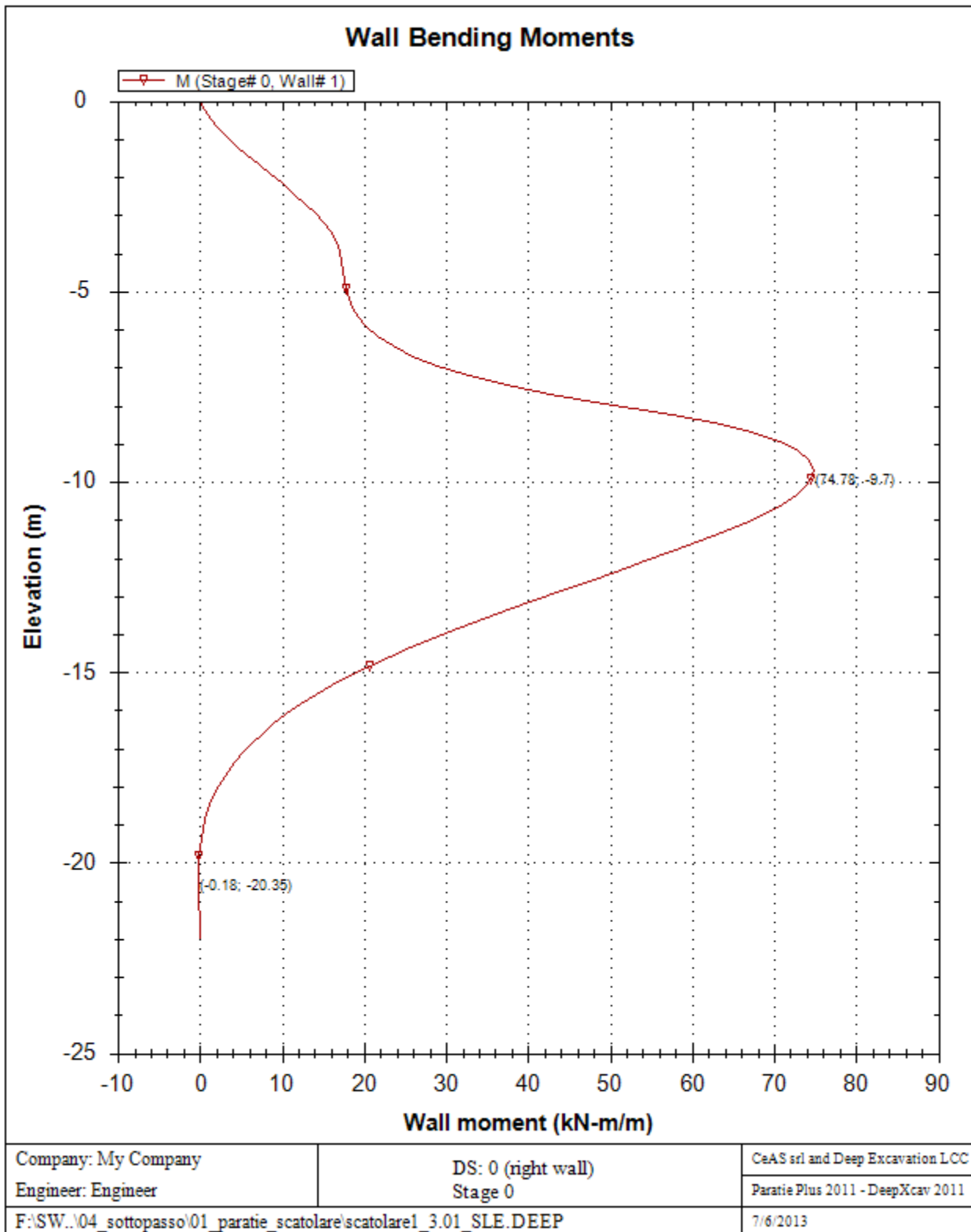
Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

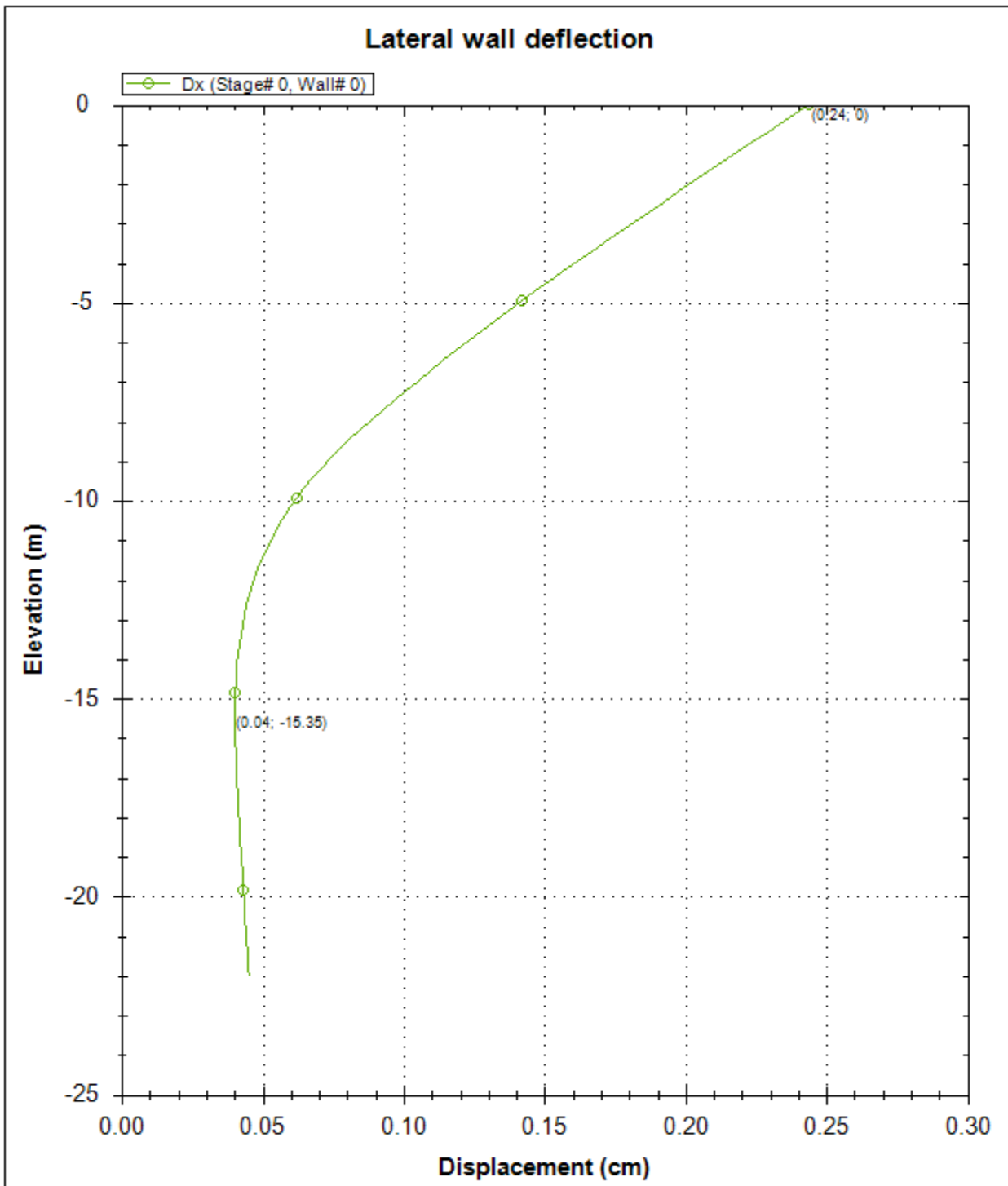
F:\SW..04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_3.01\_SLE.DEEP

7/6/2013

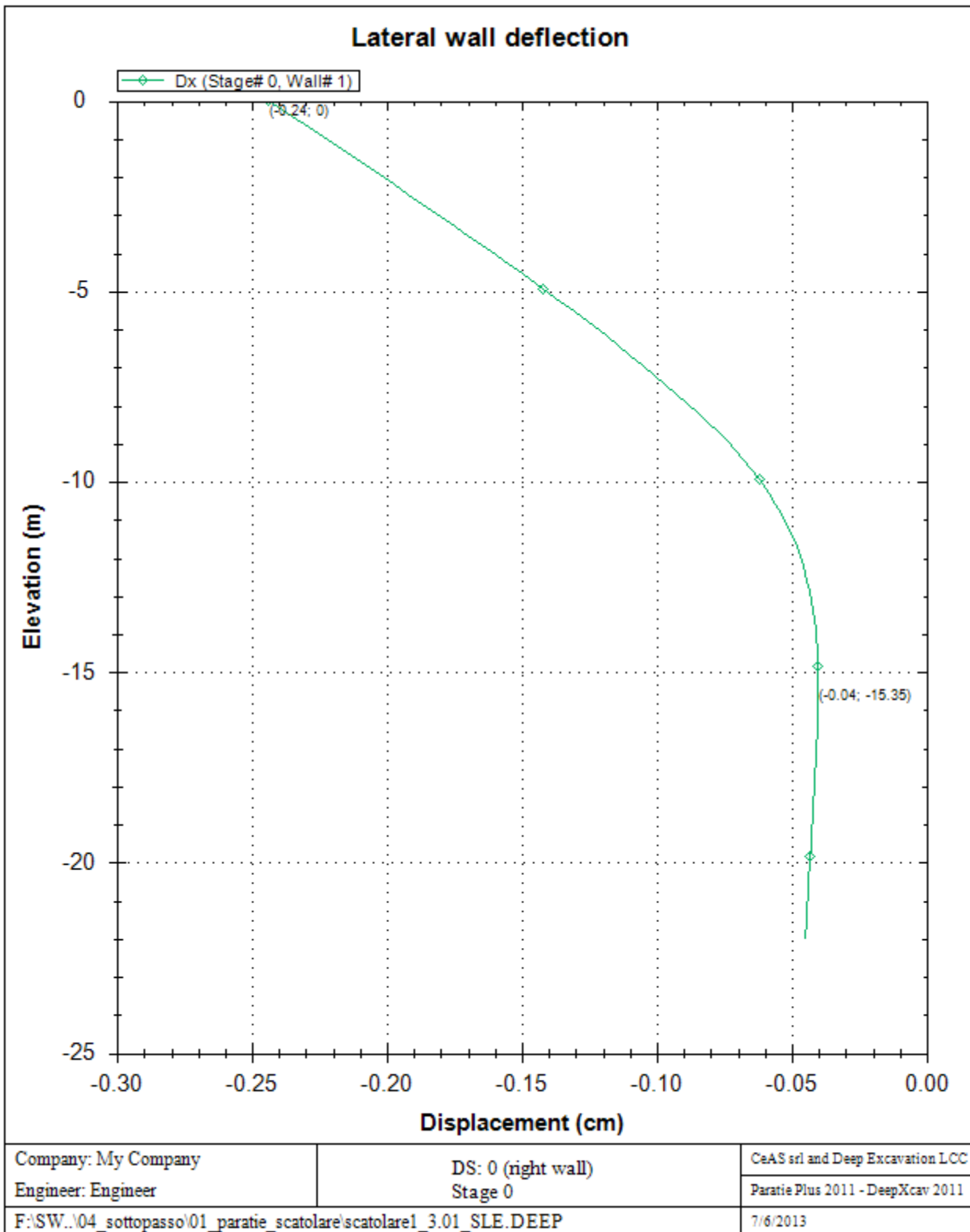


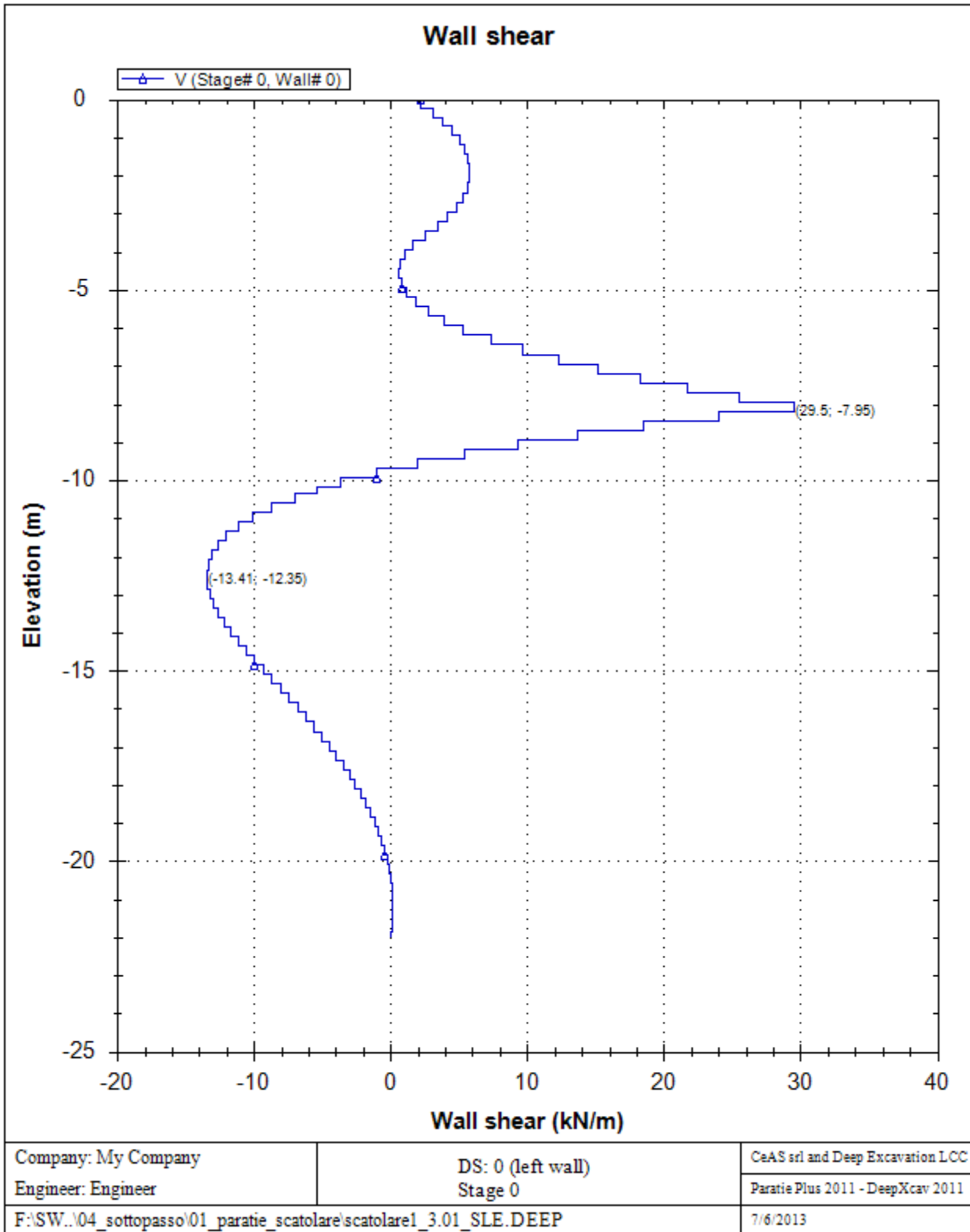


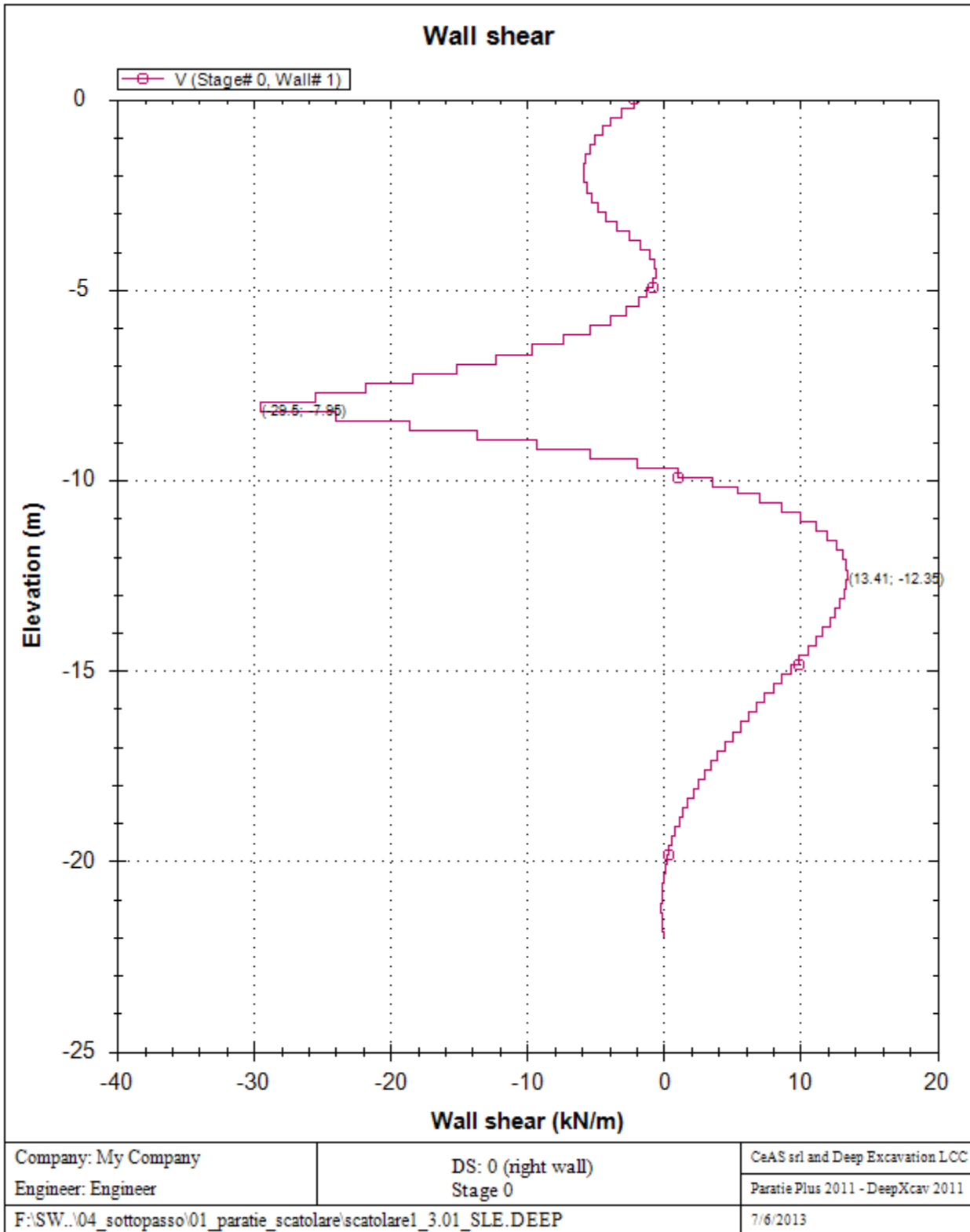




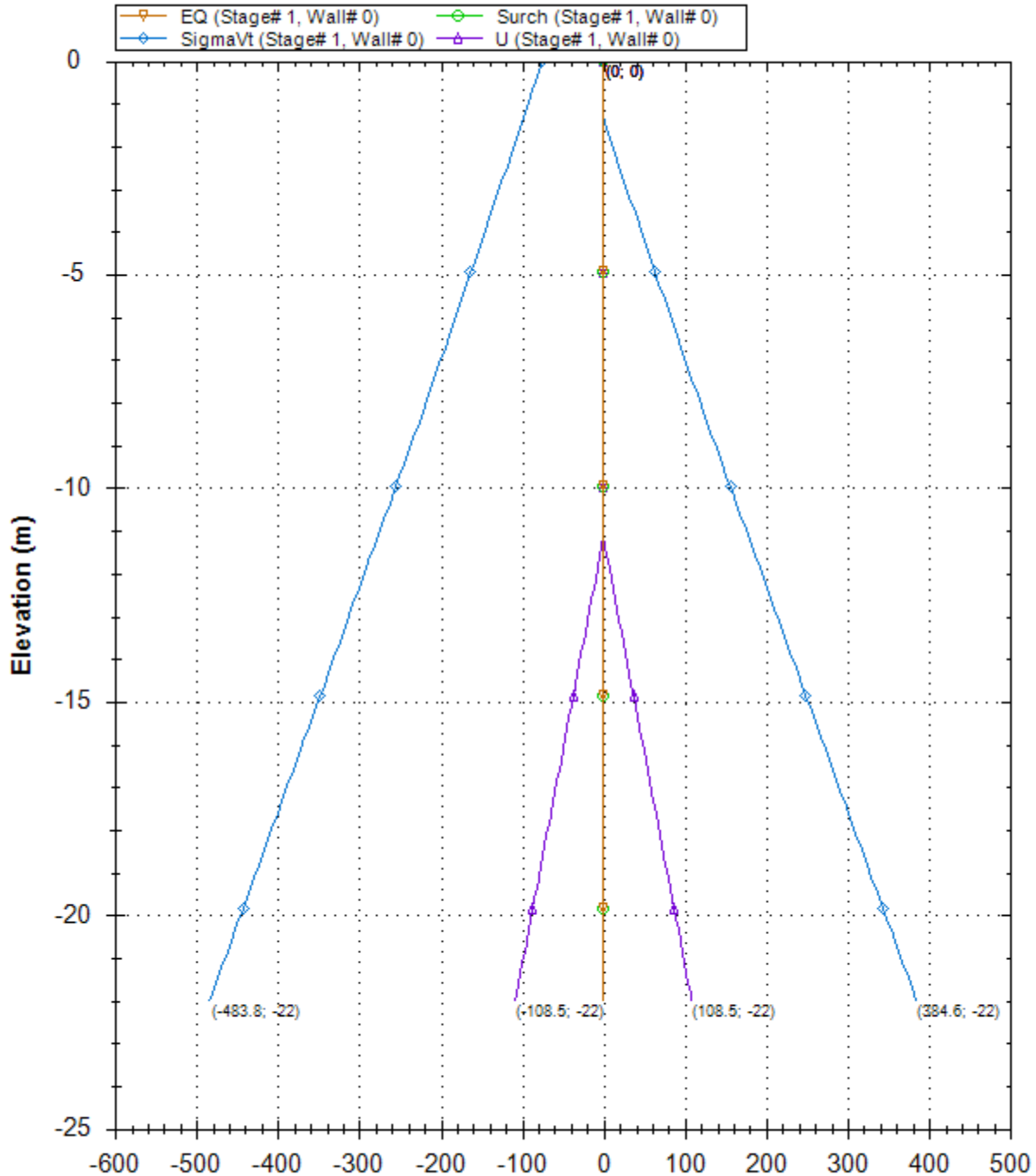
Company: My Company	DS: 0 (left wall)	CeAS srl and Deep Excavation LCC
Engineer: Engineer	Stage 0	Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011
F:\SW..04_sottopasso\01_paratie_scatolare\scatolare1_3.01_SLE.DEEP		7/6/2013







### Horizontal and vertical pressures (kPa)



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0 (left wall)  
 Stage 1-Scavo -1.4m

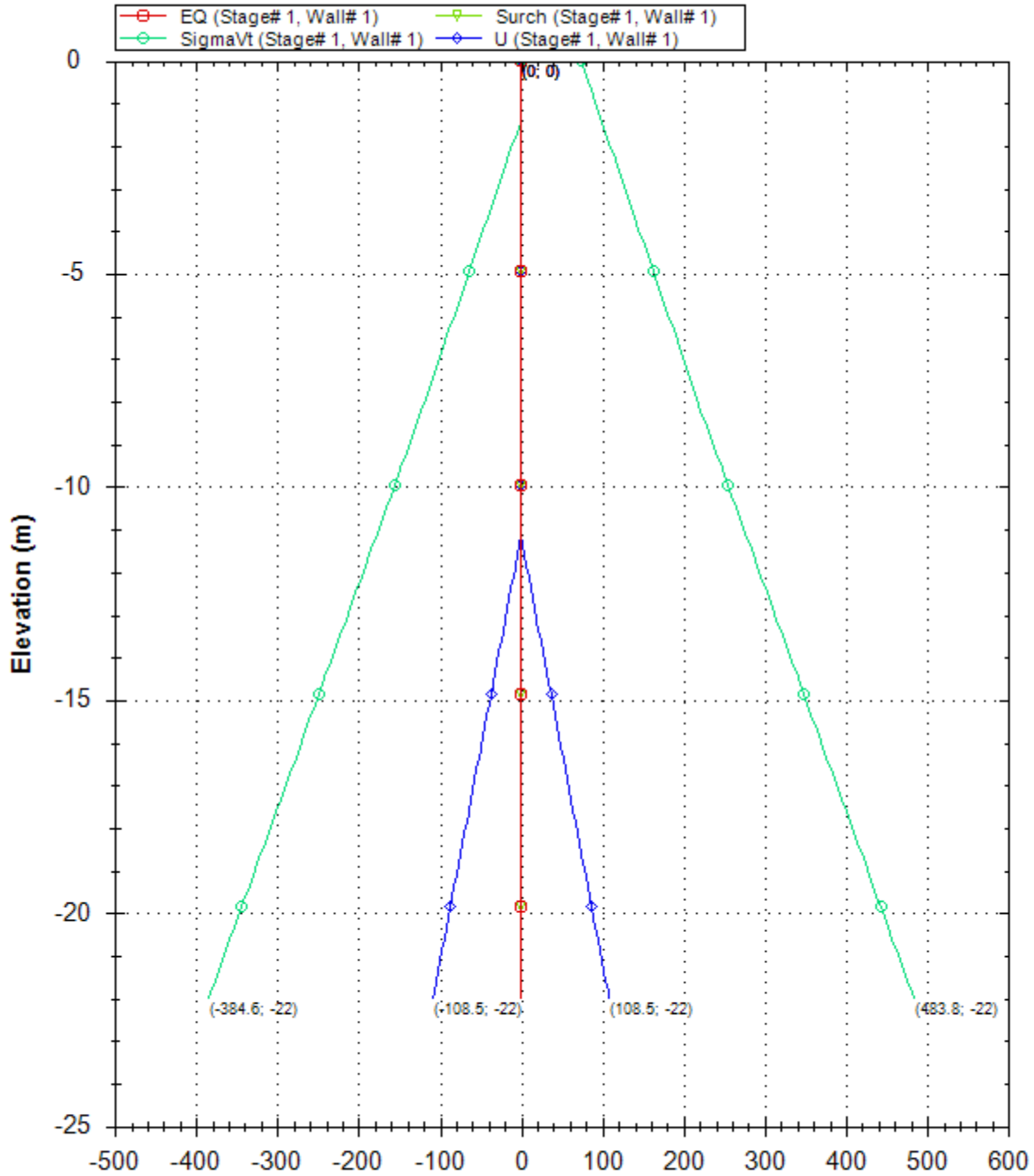
CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW..04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_3.01\_SLE.DEEP

7/6/2013

### Horizontal and vertical pressures (kPa)



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0 (right wall)  
Stage 1-Scavo -1.4m

CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

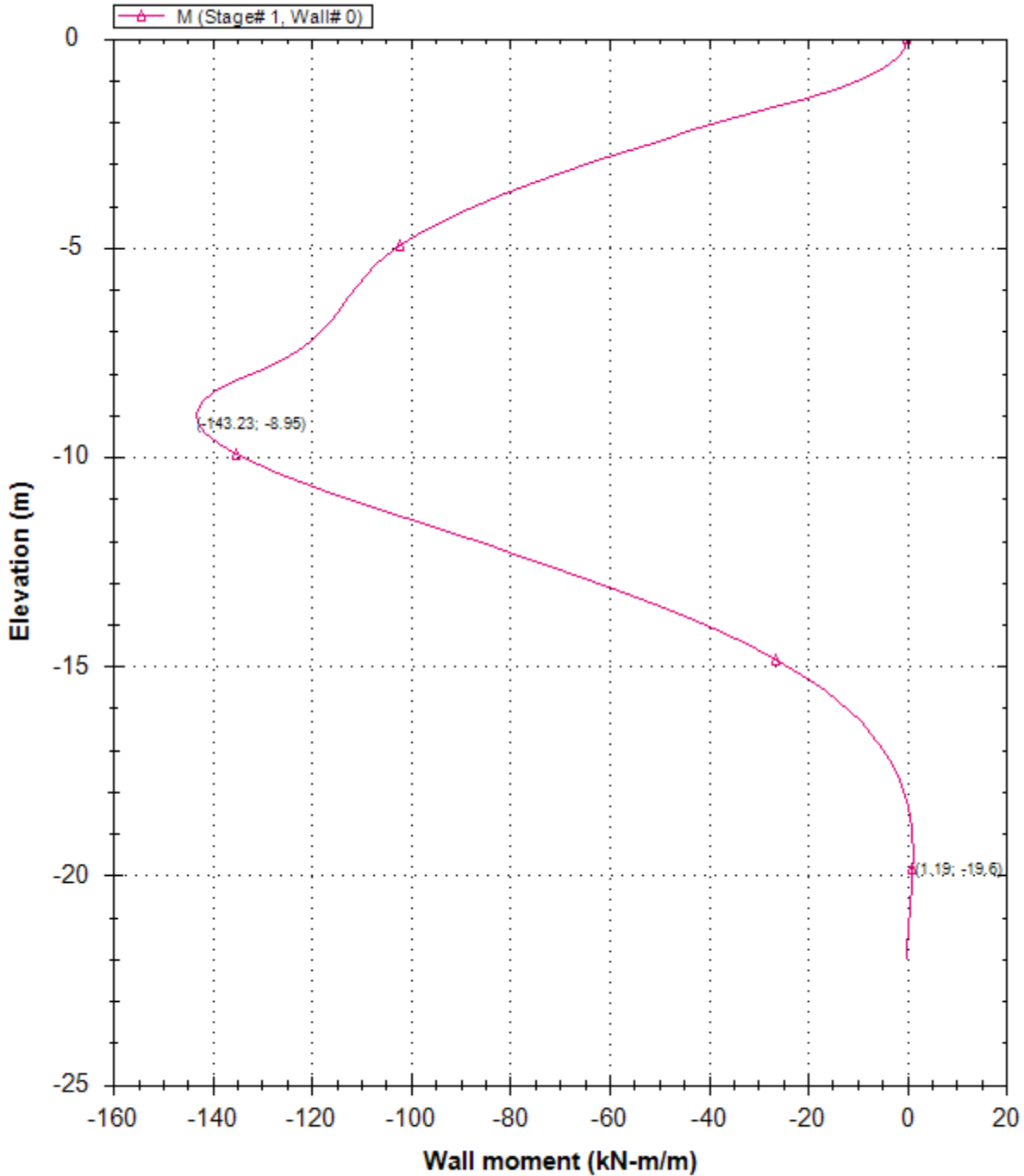
F:\SW..04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_3.01\_SLE.DEEP

7/6/2013





### Wall Bending Moments



Company: My Company

Engineer: Engineer

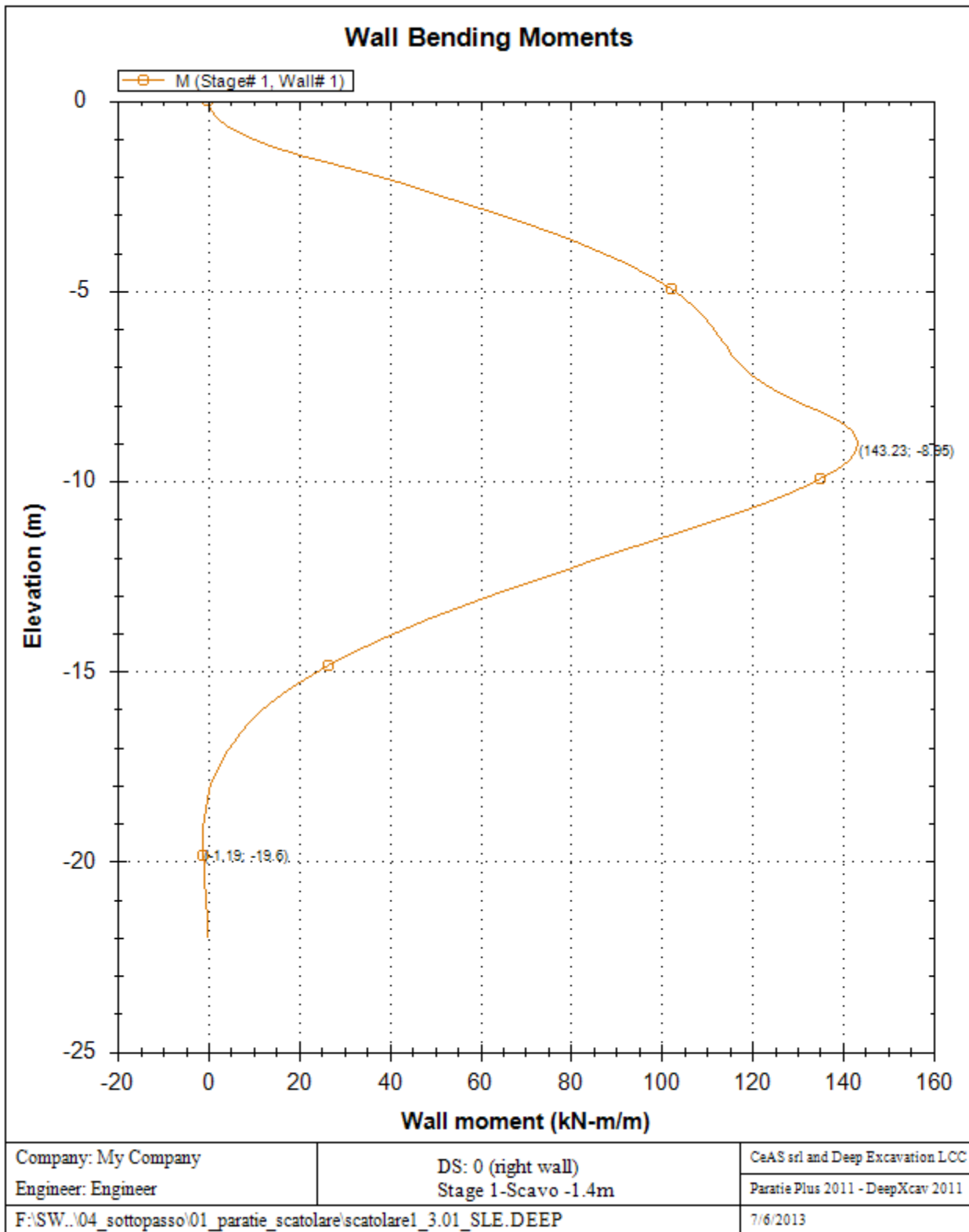
DS: 0 (left wall)  
 Stage 1-Scavo -1.4m

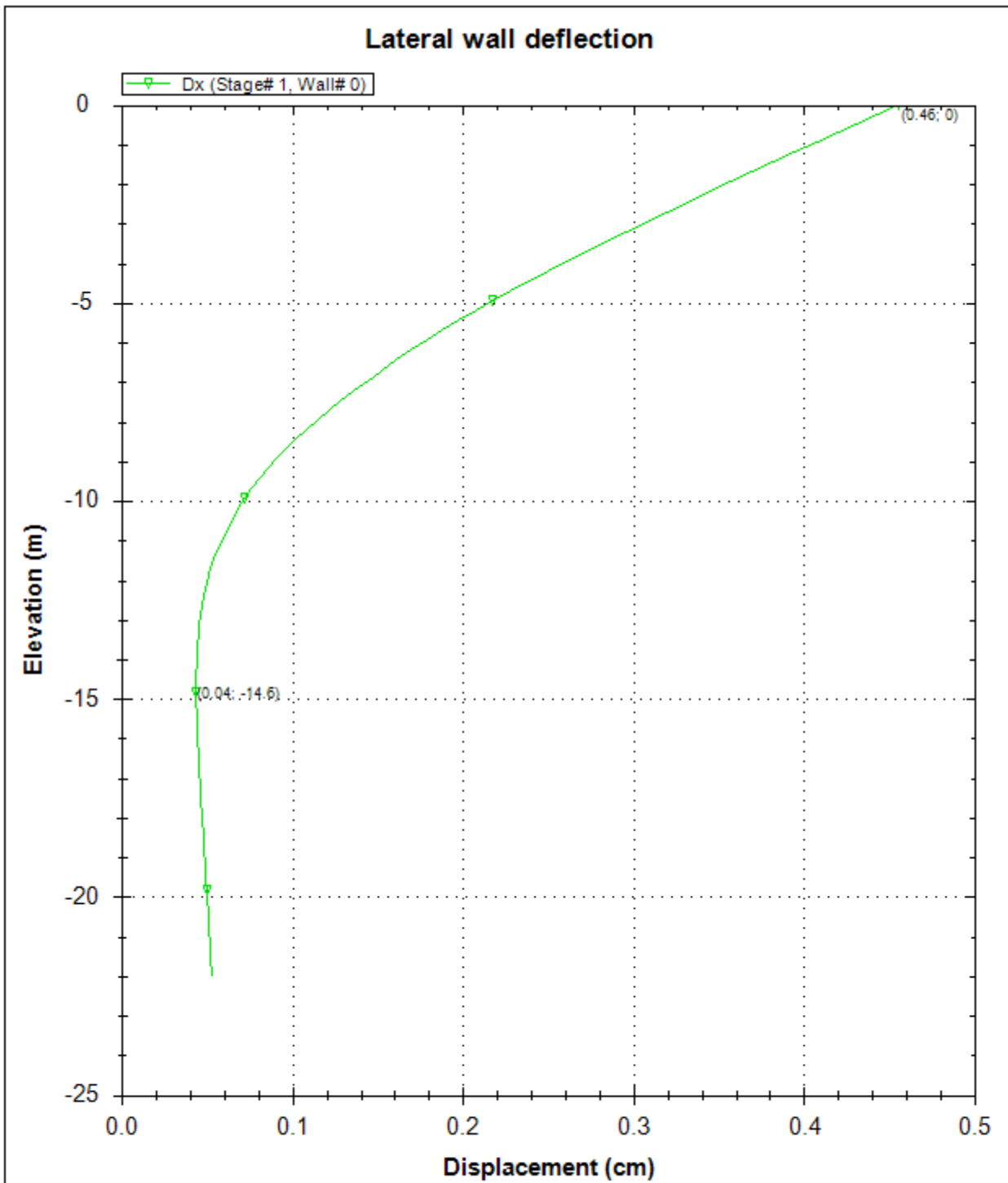
CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW..04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_3.01\_SLE.DEEP

7/6/2013





Company: My Company

Engineer: Engineer

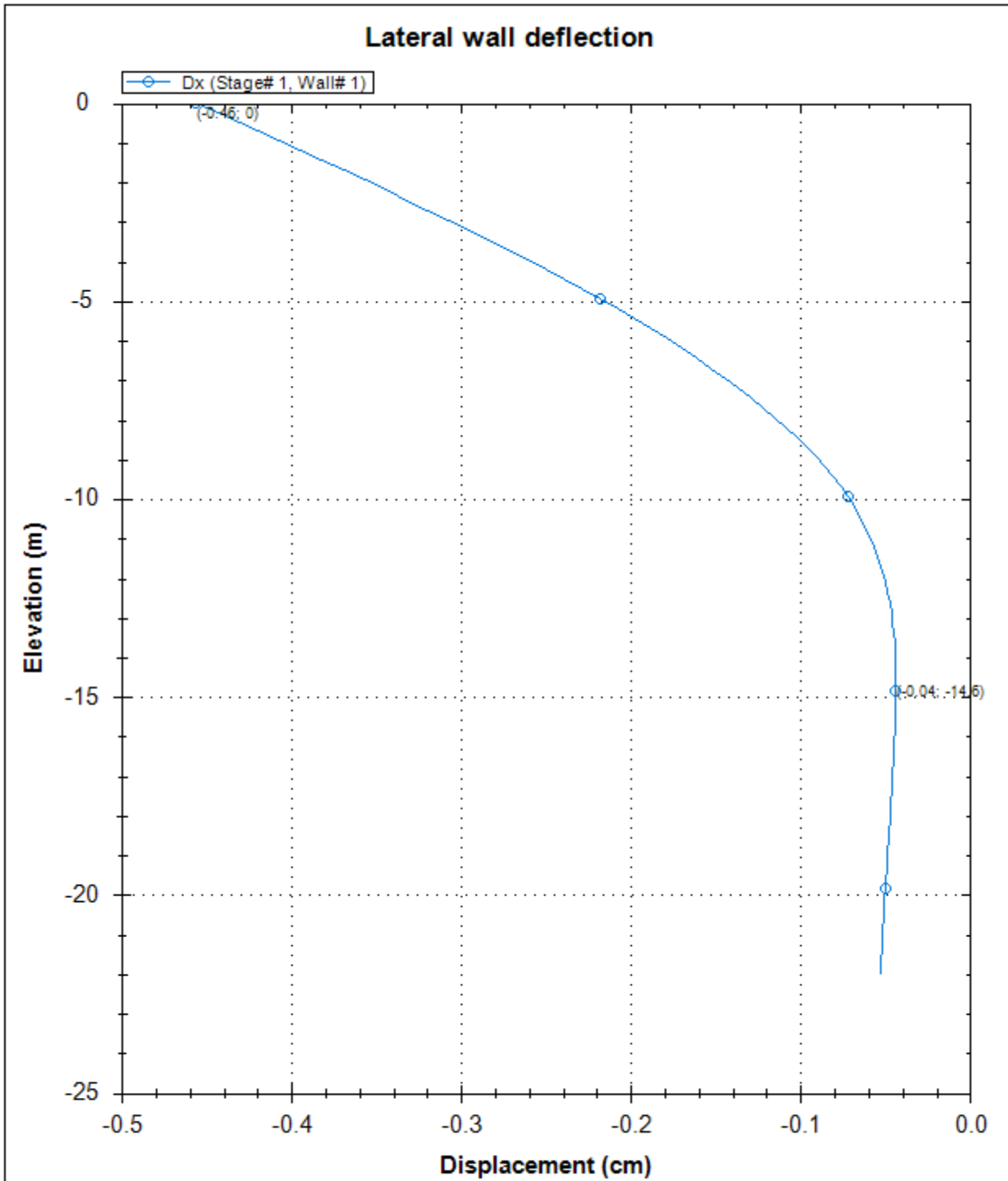
DS: 0 (left wall)  
Stage 1-Scavo -1.4m

CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW..04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_3.01\_SLE.DEEP

7/6/2013



Company: My Company

Engineer: Engineer

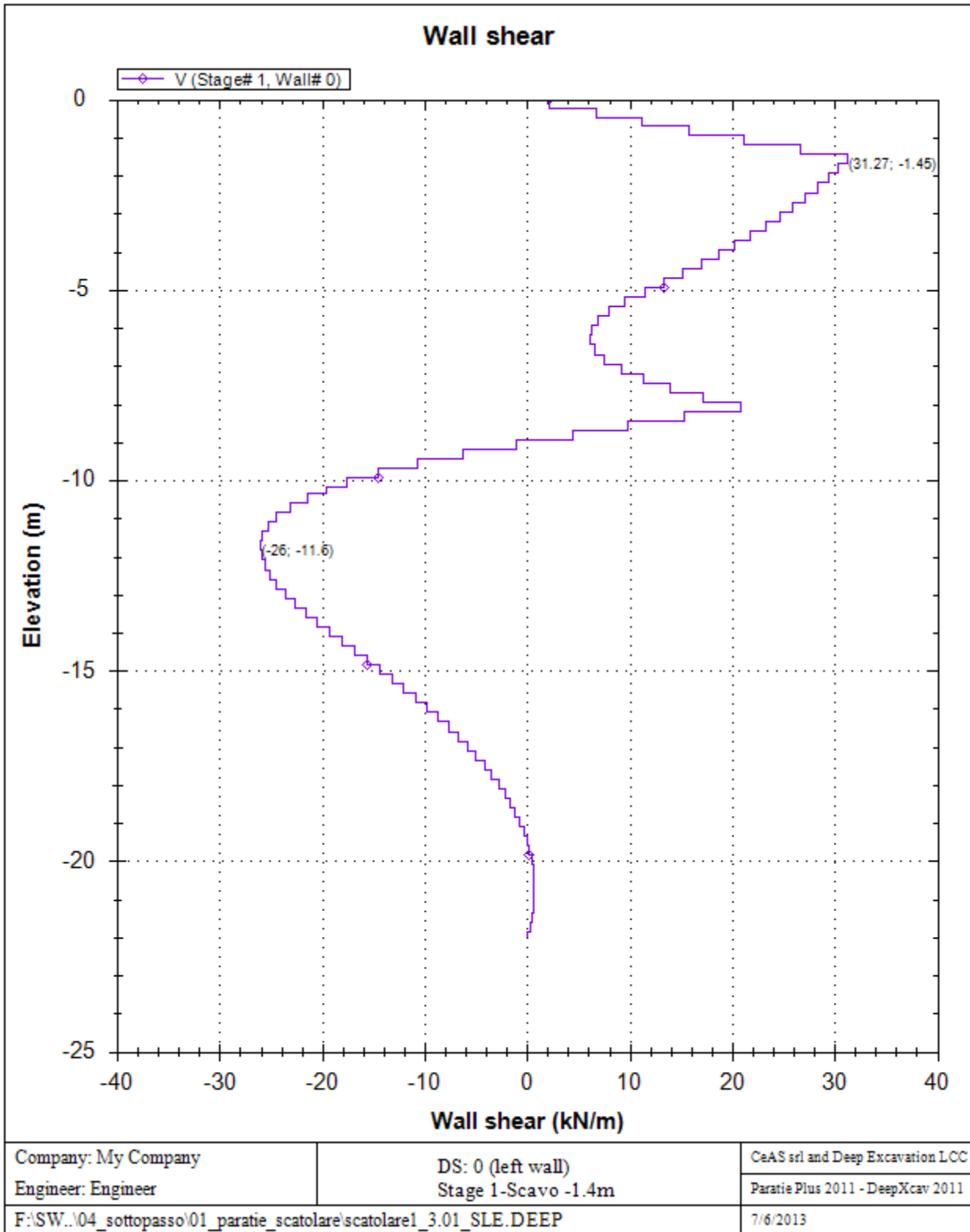
DS: 0 (right wall)  
Stage 1-Scavo -1.4m

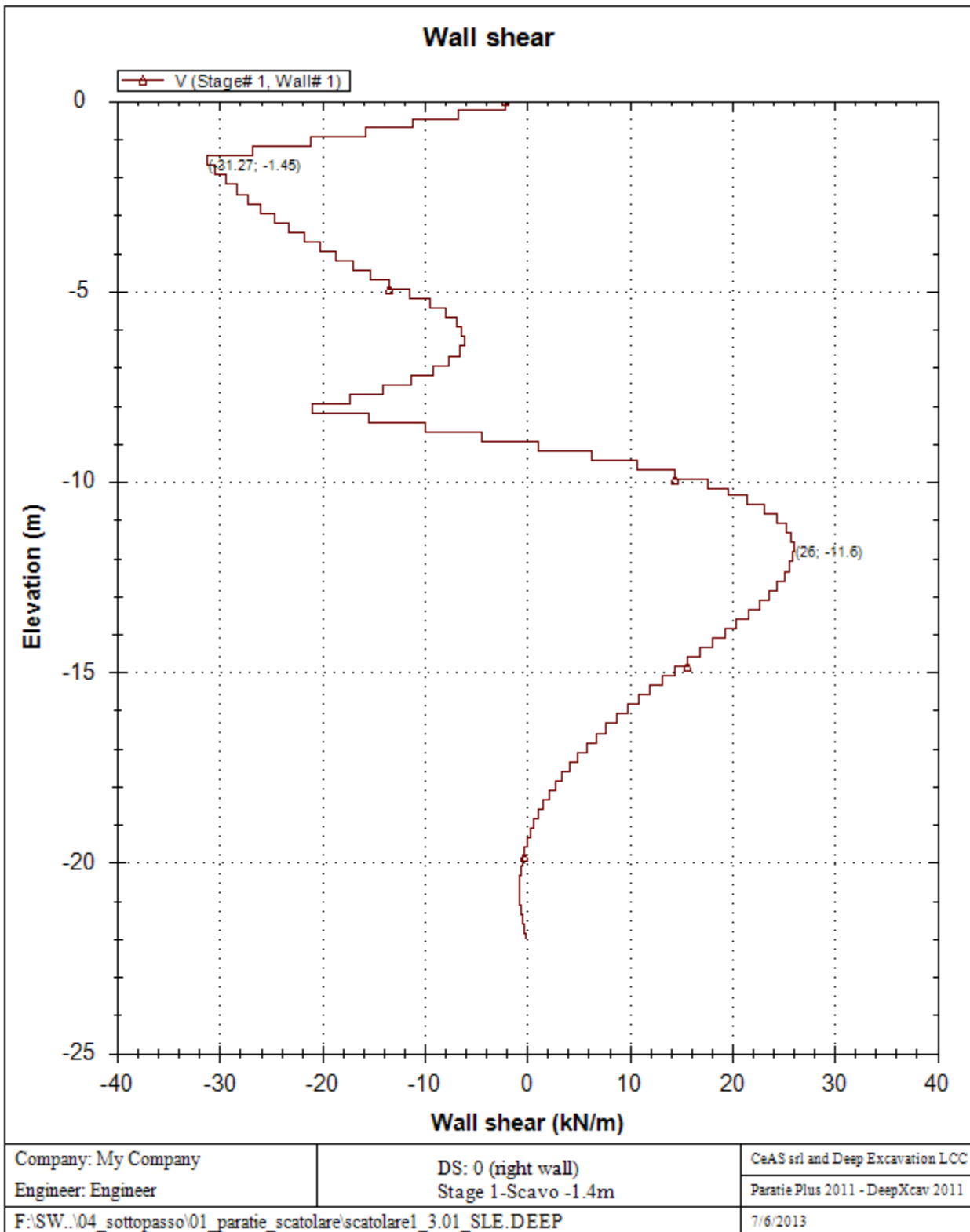
CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

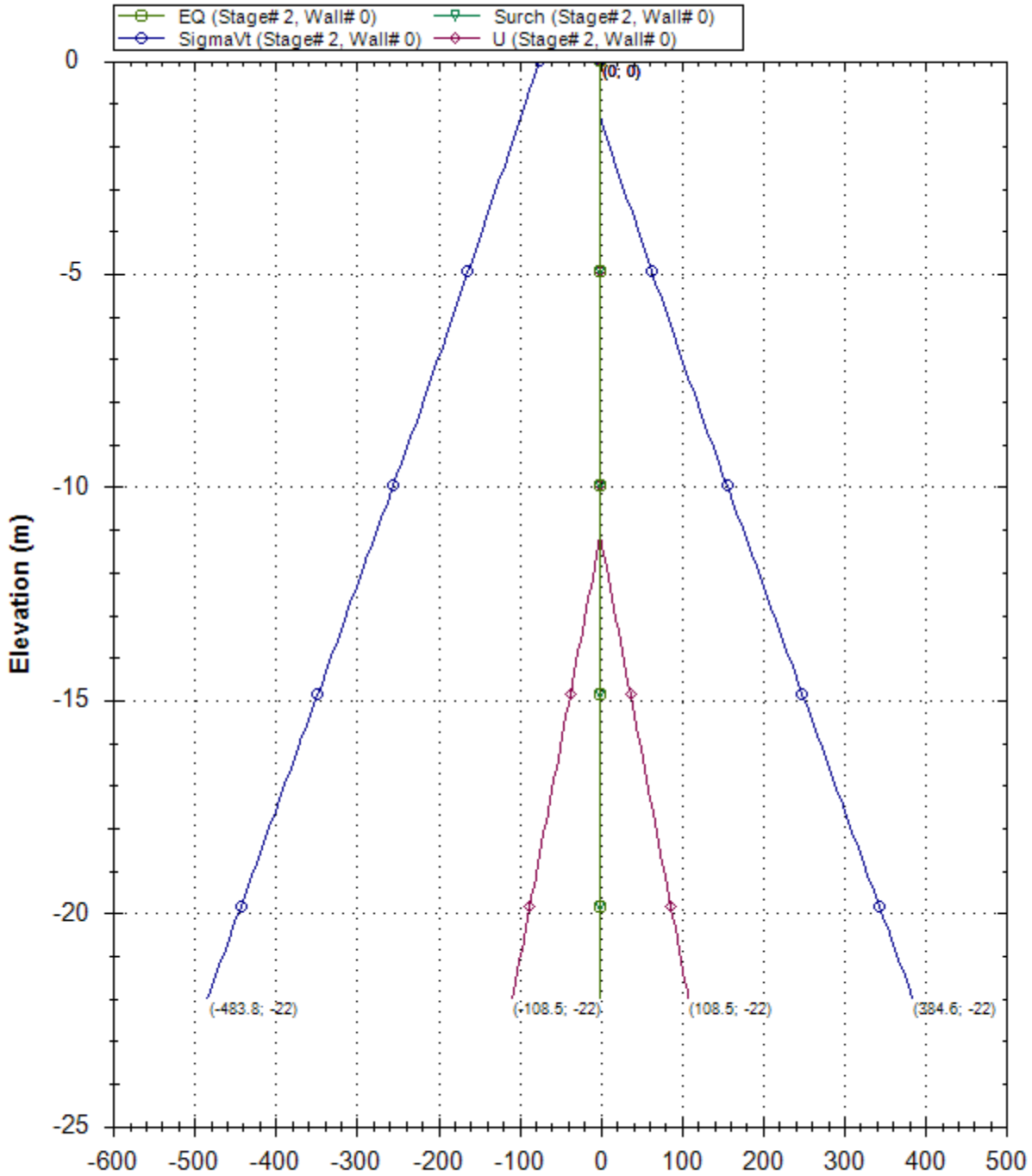
F:\SW..04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_3.01\_SLE.DEEP

7/6/2013





### Horizontal and vertical pressures (kPa)



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0 (left wall)  
Stage 2-SolettoneSuperiore

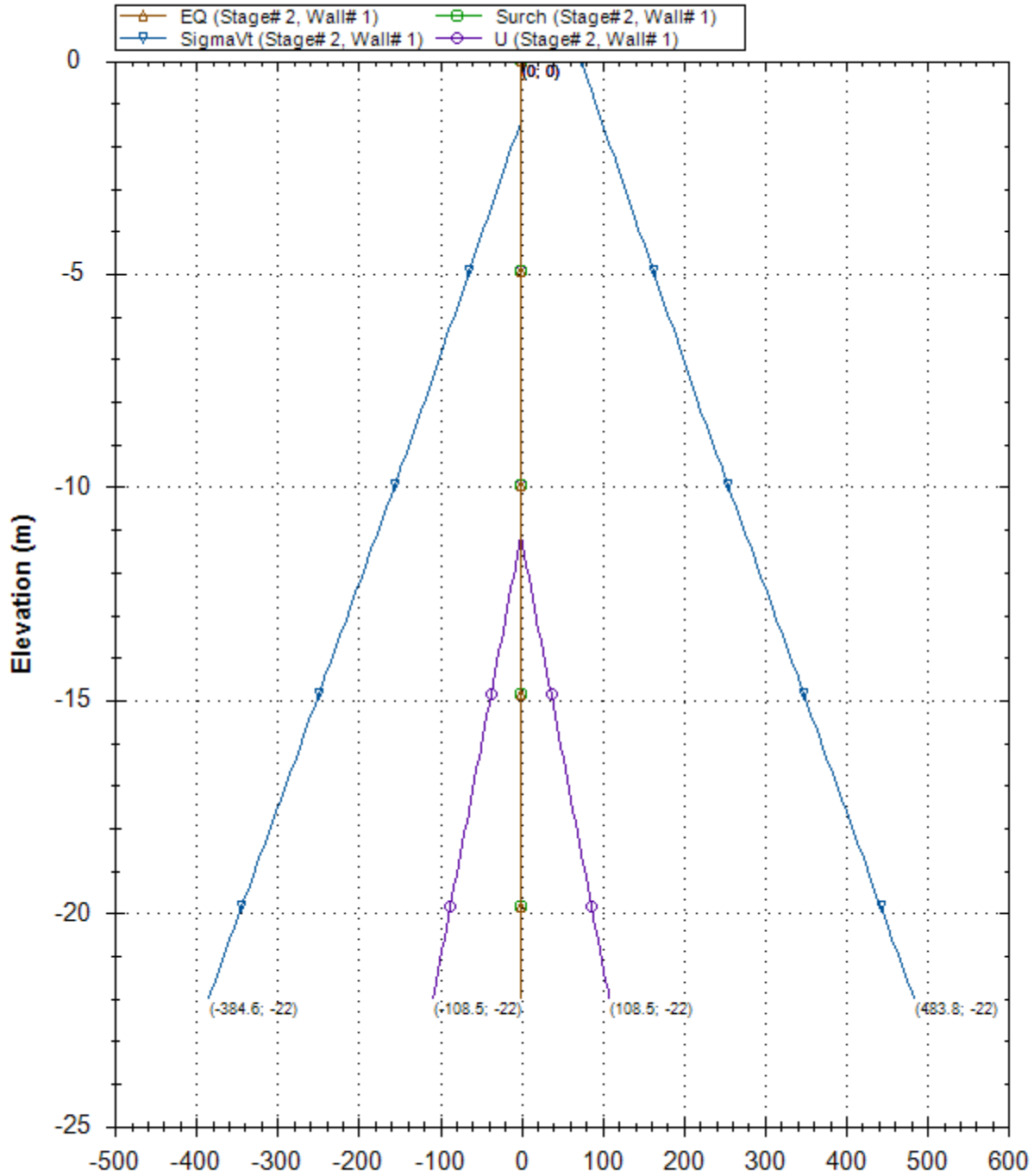
CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW..04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_3.01\_SLE.DEEP

7/6/2013

### Horizontal and vertical pressures (kPa)



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0 (right wall)  
Stage 2-SolettoneSuperiore

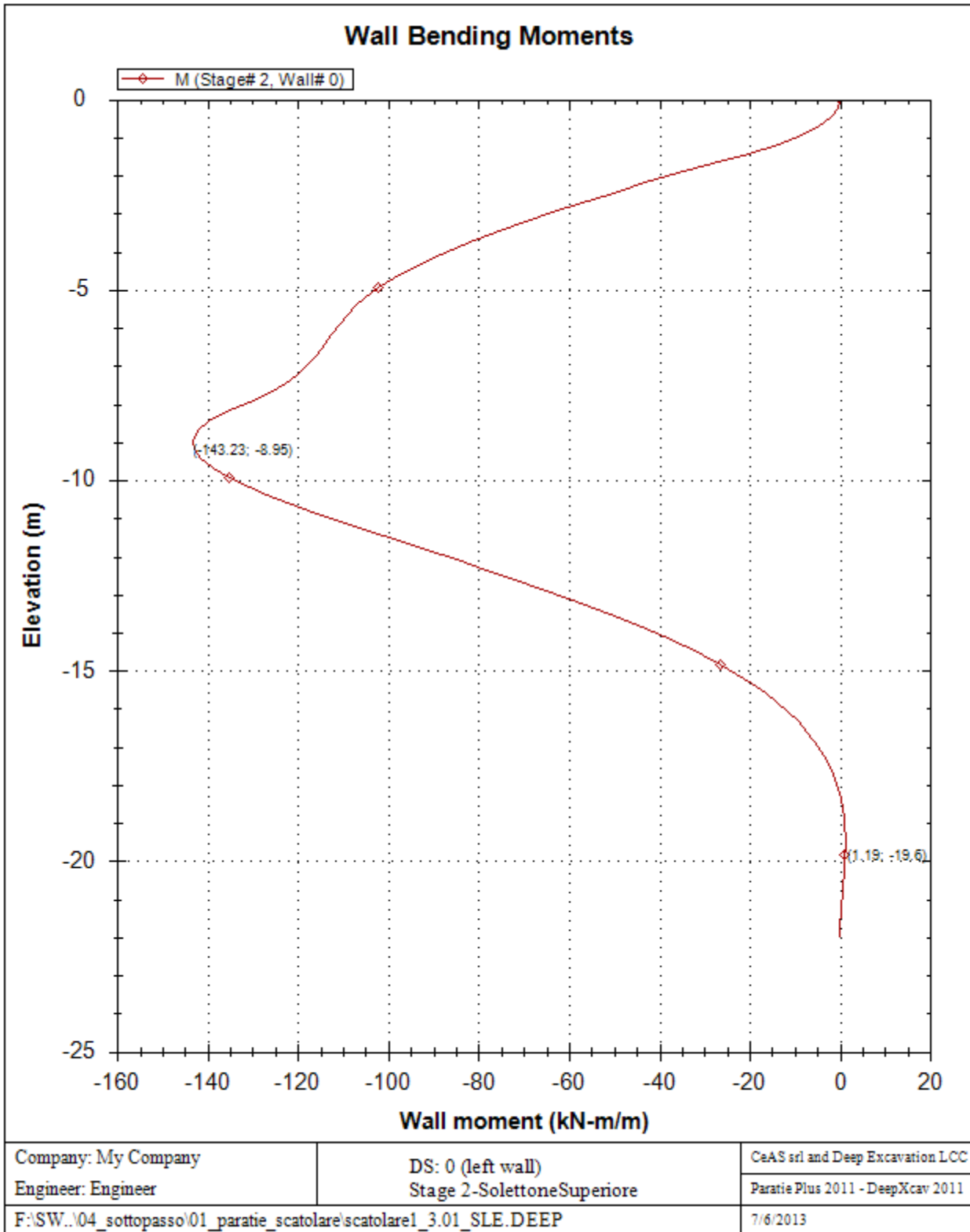
CeAS srl and Deep Excavation LCC

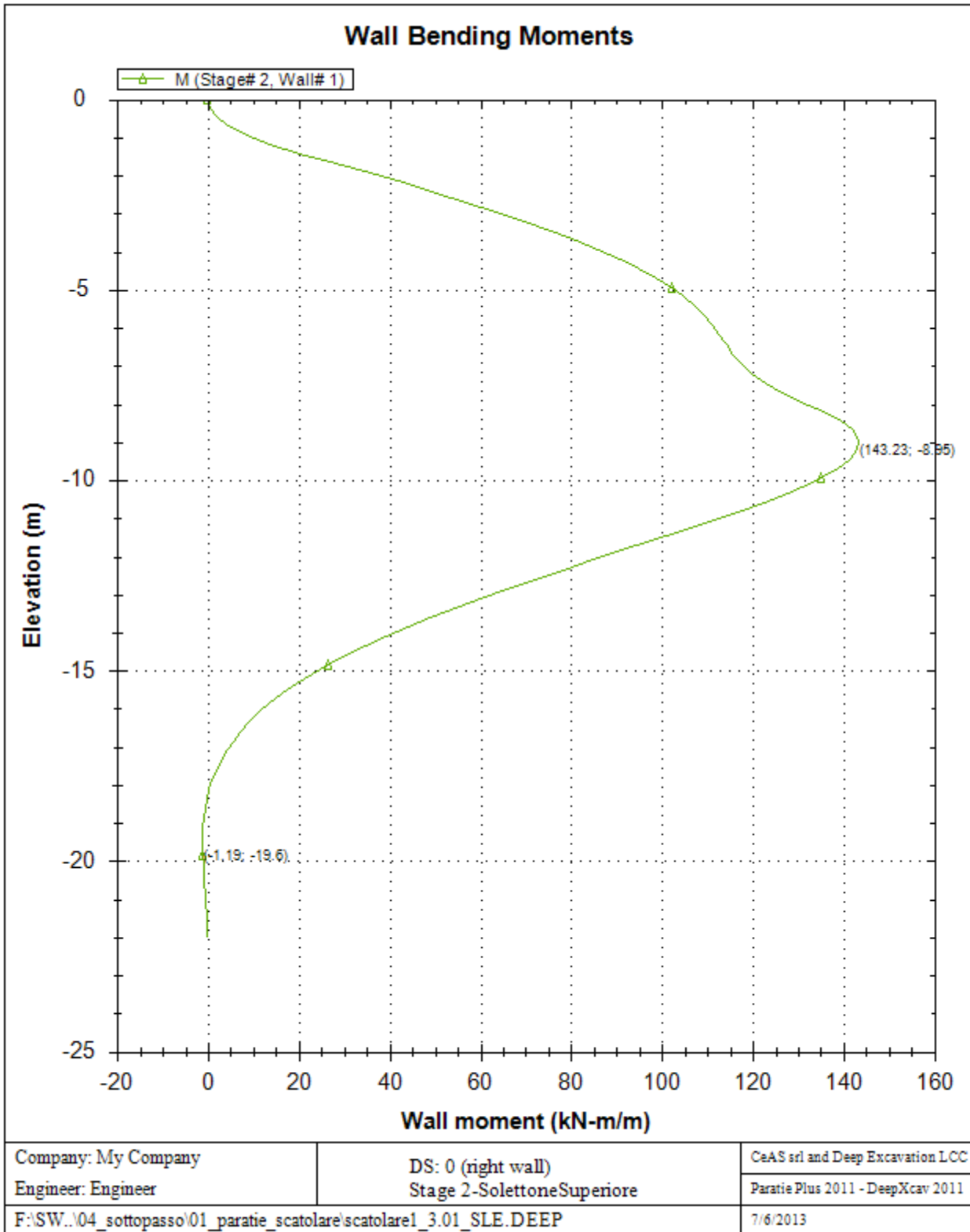
Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

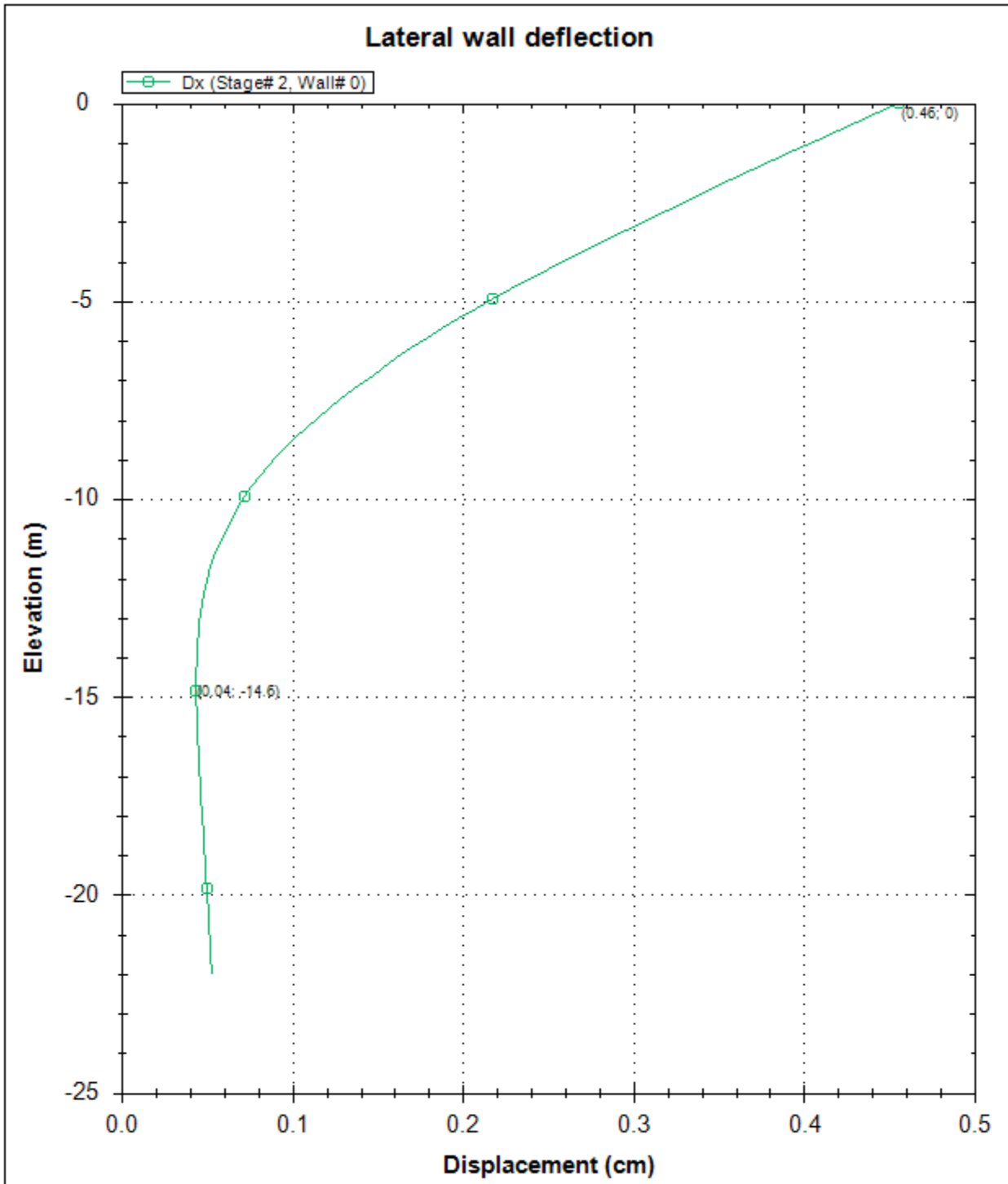
F:\SW..04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_3.01\_SLE.DEEP

7/6/2013

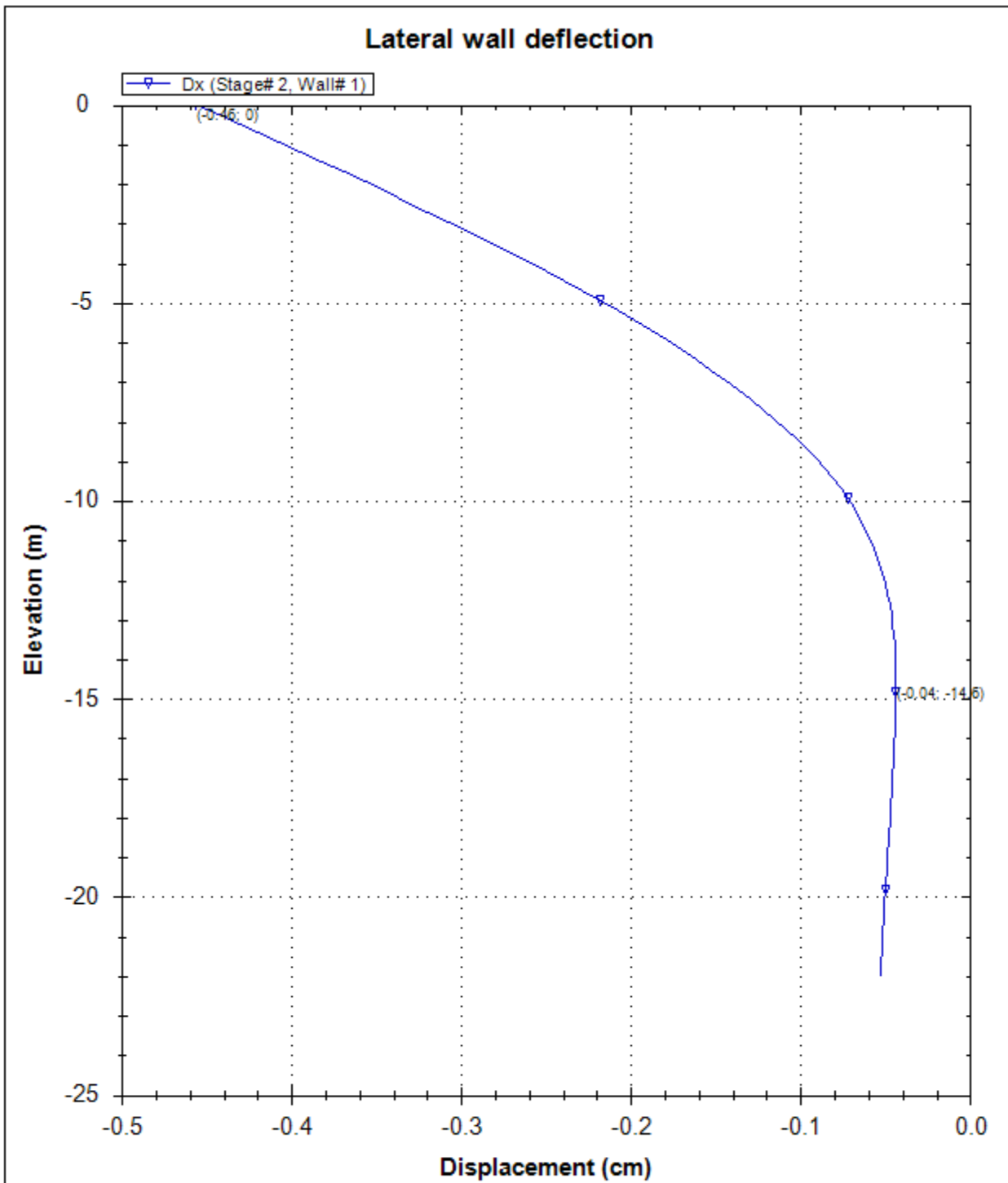








Company: My Company	DS: 0 (left wall)	CeAS srl and Deep Excavation LCC
Engineer: Engineer	Stage 2-SolettoneSuperiore	Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011
F:\SW..04_sottopasso\01_paratie_scatolare\scatolare1_3.01_SLE.DEEP		7/6/2013



Company: My Company

Engineer: Engineer

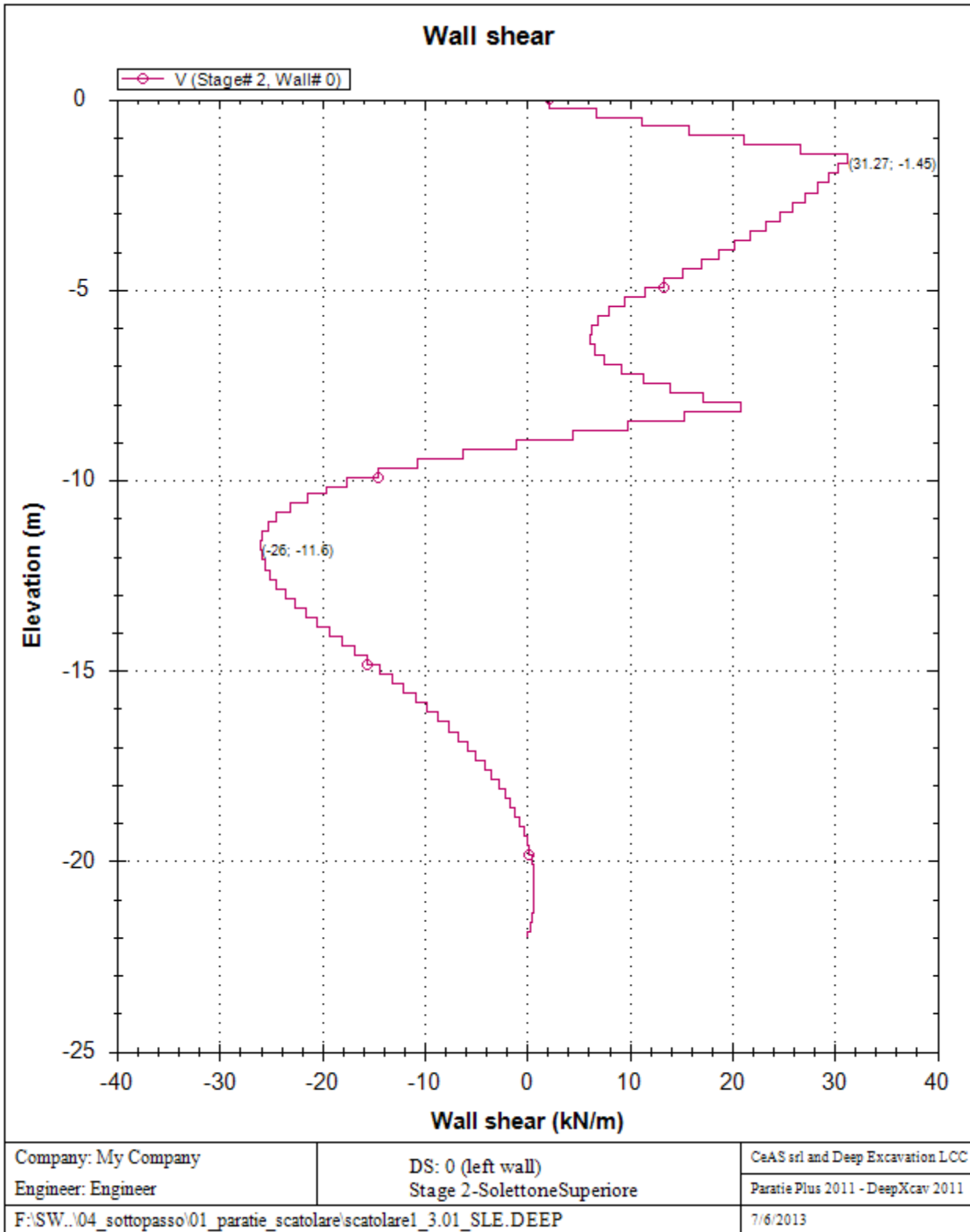
DS: 0 (right wall)  
Stage 2-SolettoneSuperiore

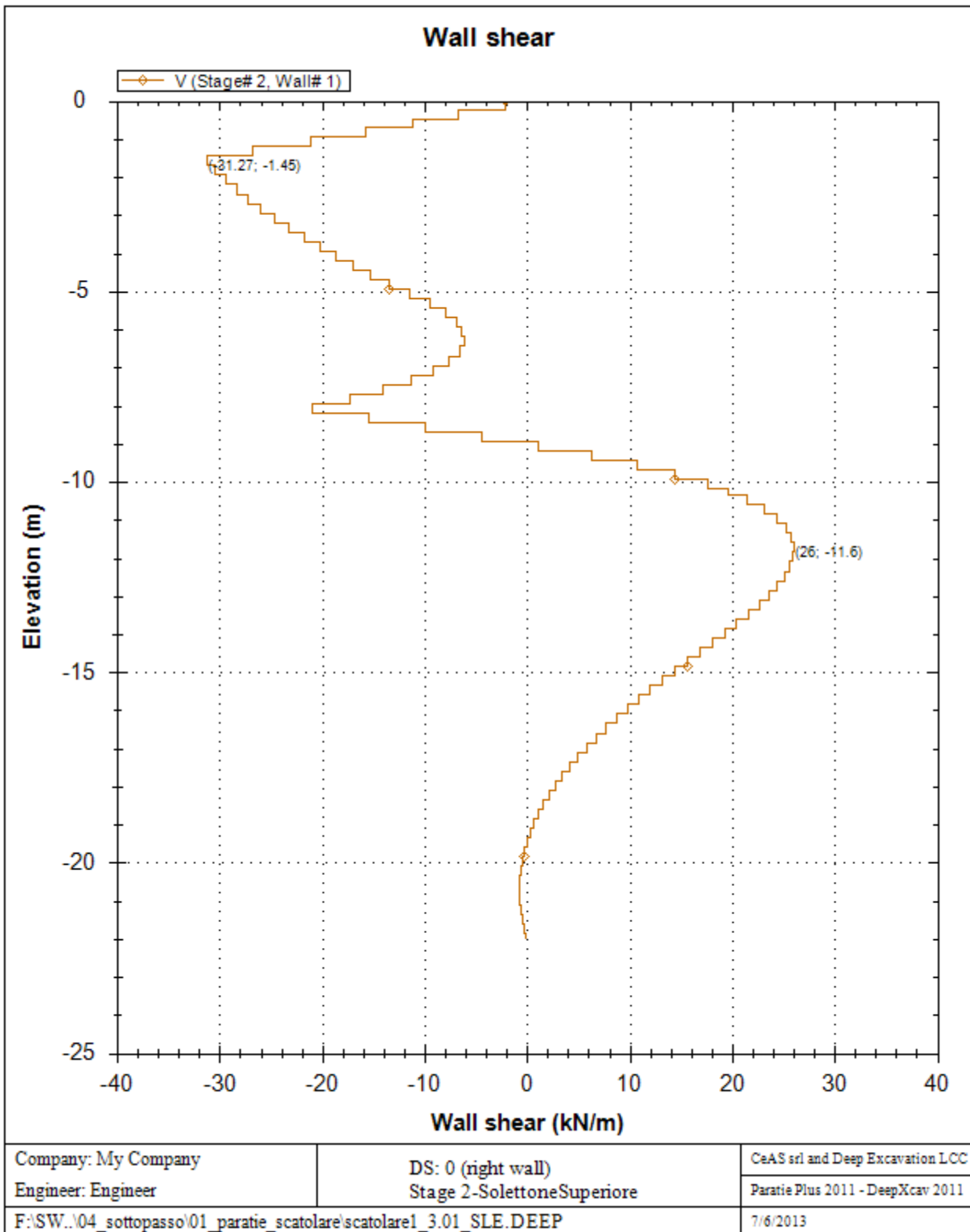
CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

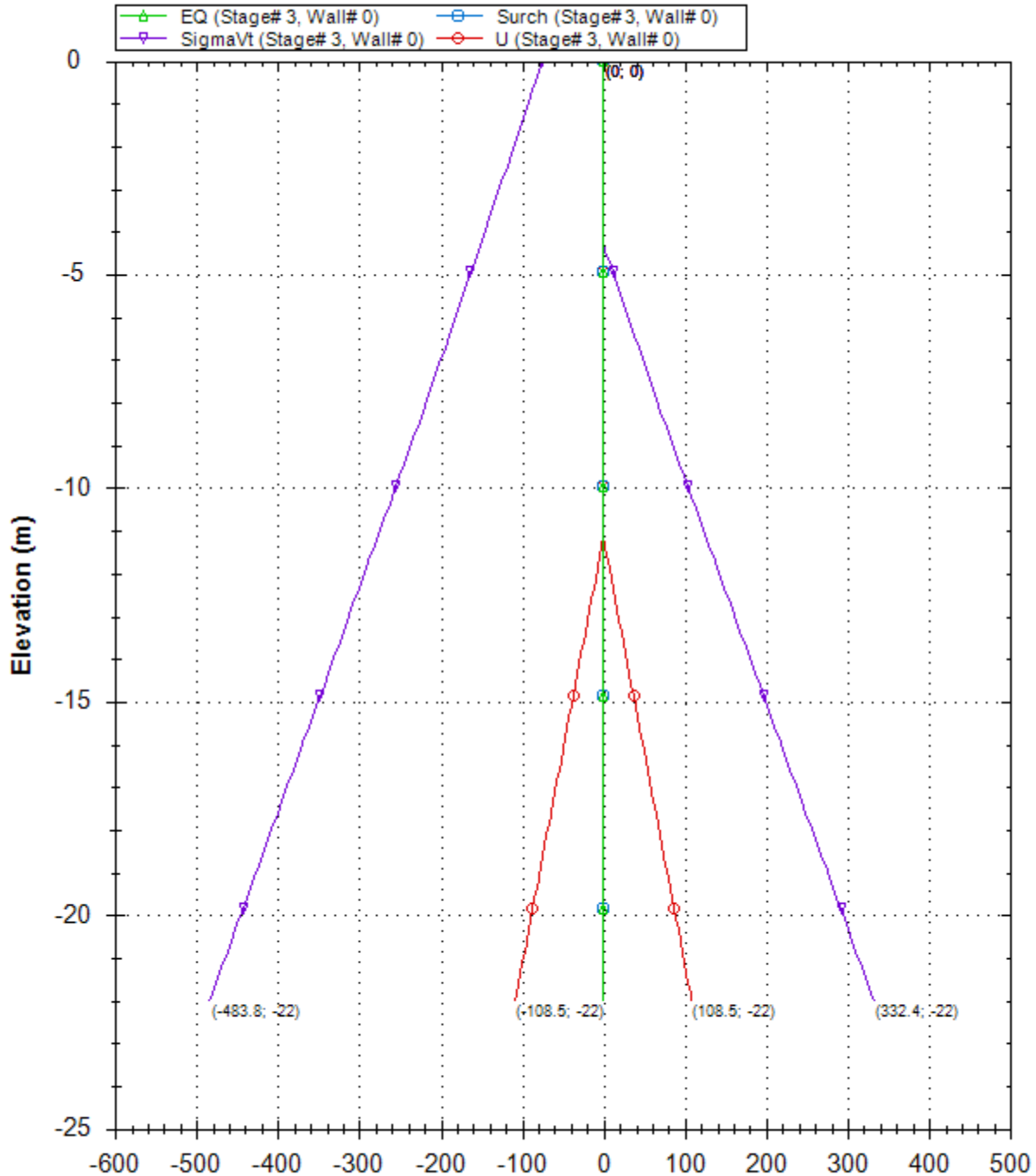
F:\SW..04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_3.01\_SLE.DEEP

7/6/2013





### Horizontal and vertical pressures (kPa)



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0 (left wall)  
Stage 3-Scavo -4.3m

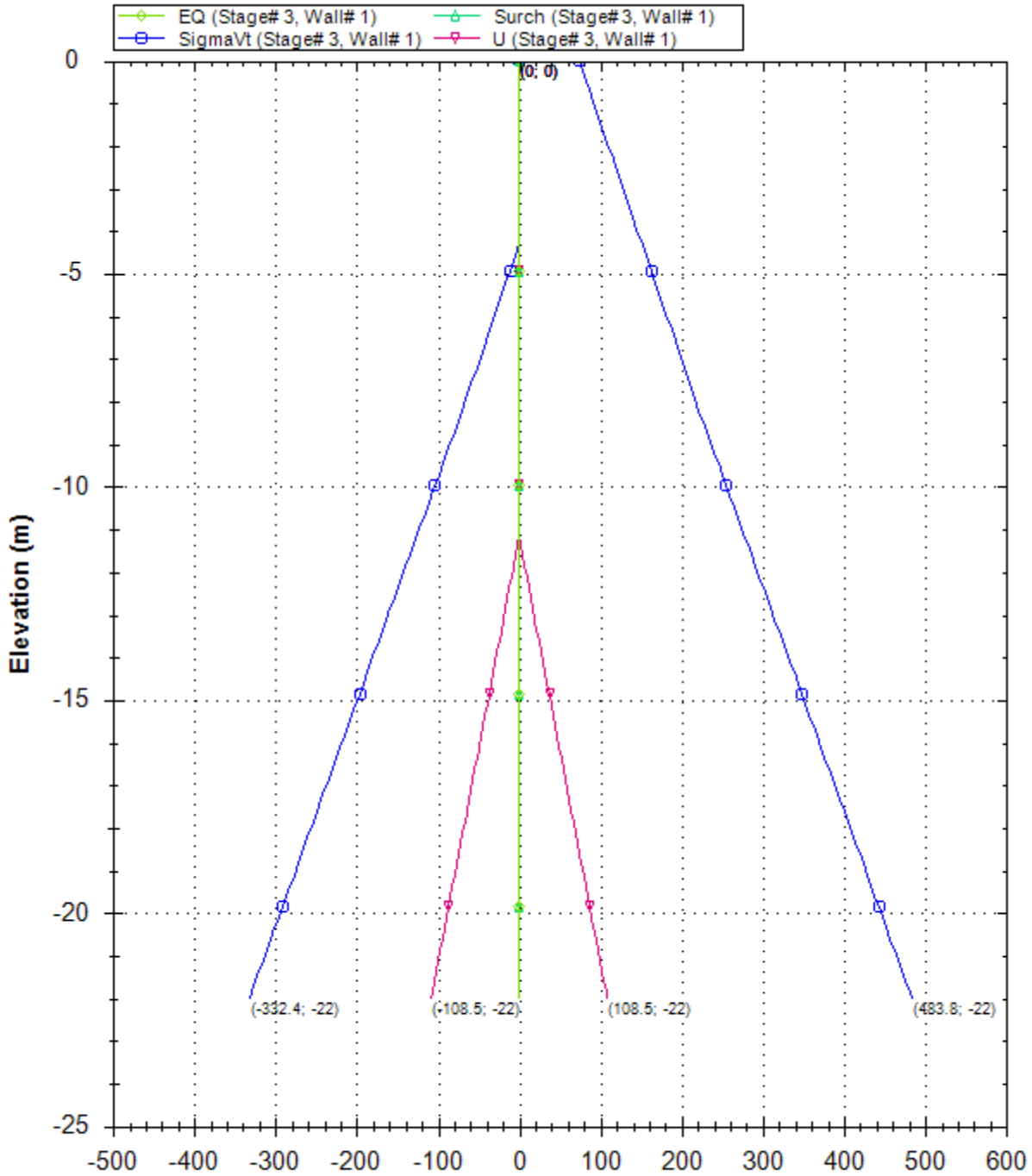
CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW..04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_3.01\_SLE.DEEP

7/6/2013

### Horizontal and vertical pressures (kPa)



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0 (right wall)  
Stage 3-Scavo -4.3m

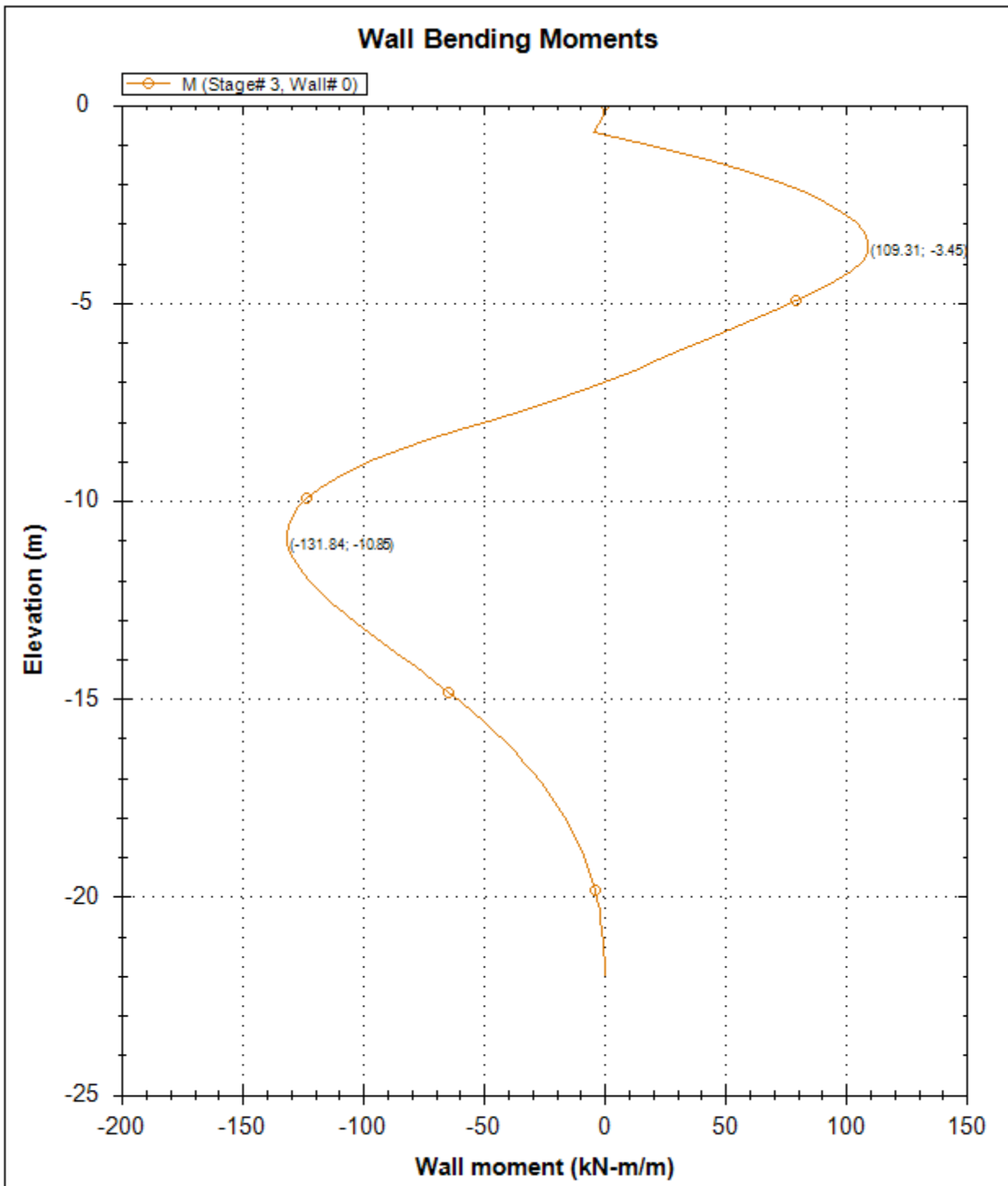
CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

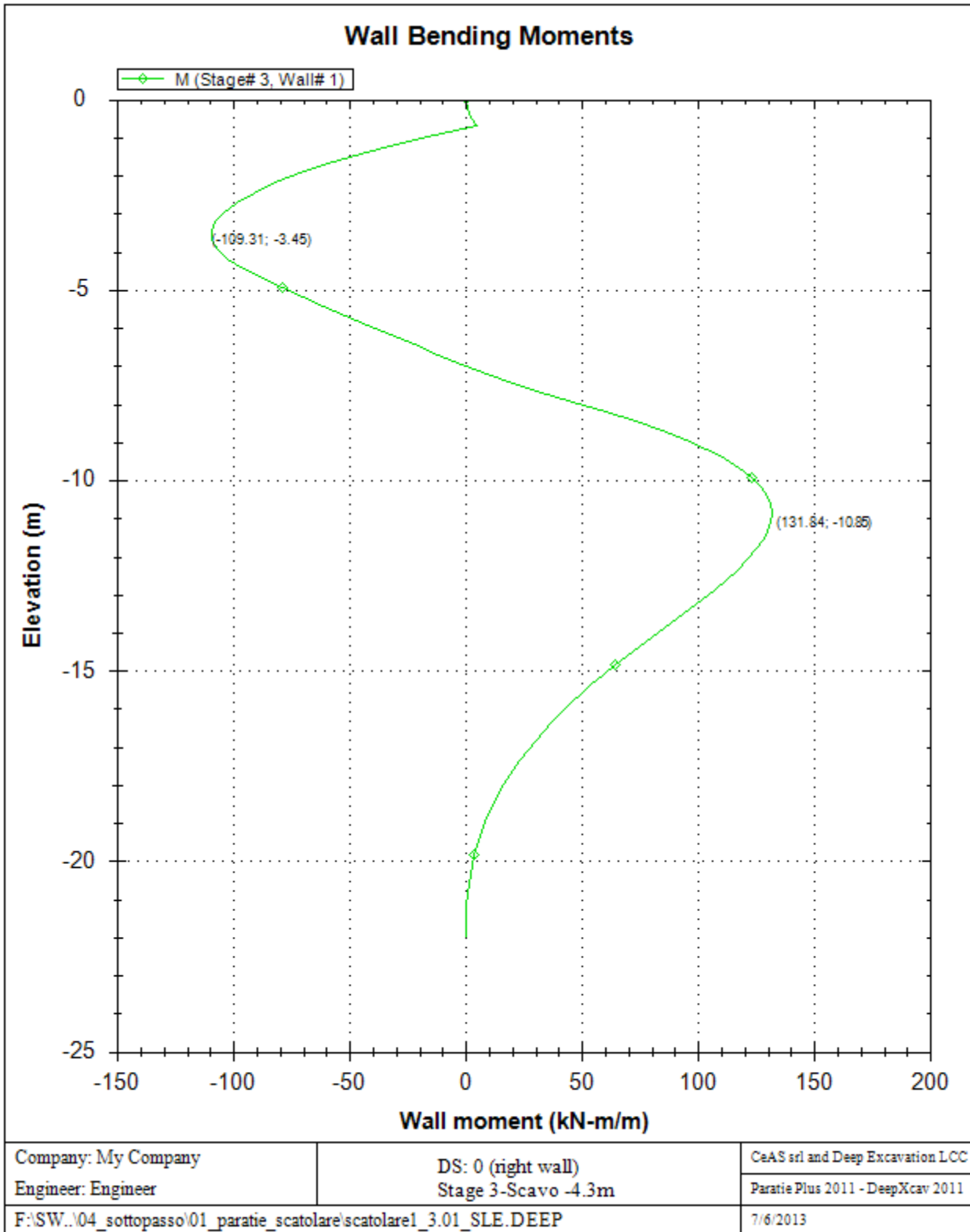
F:\SW..04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_3.01\_SLE.DEEP

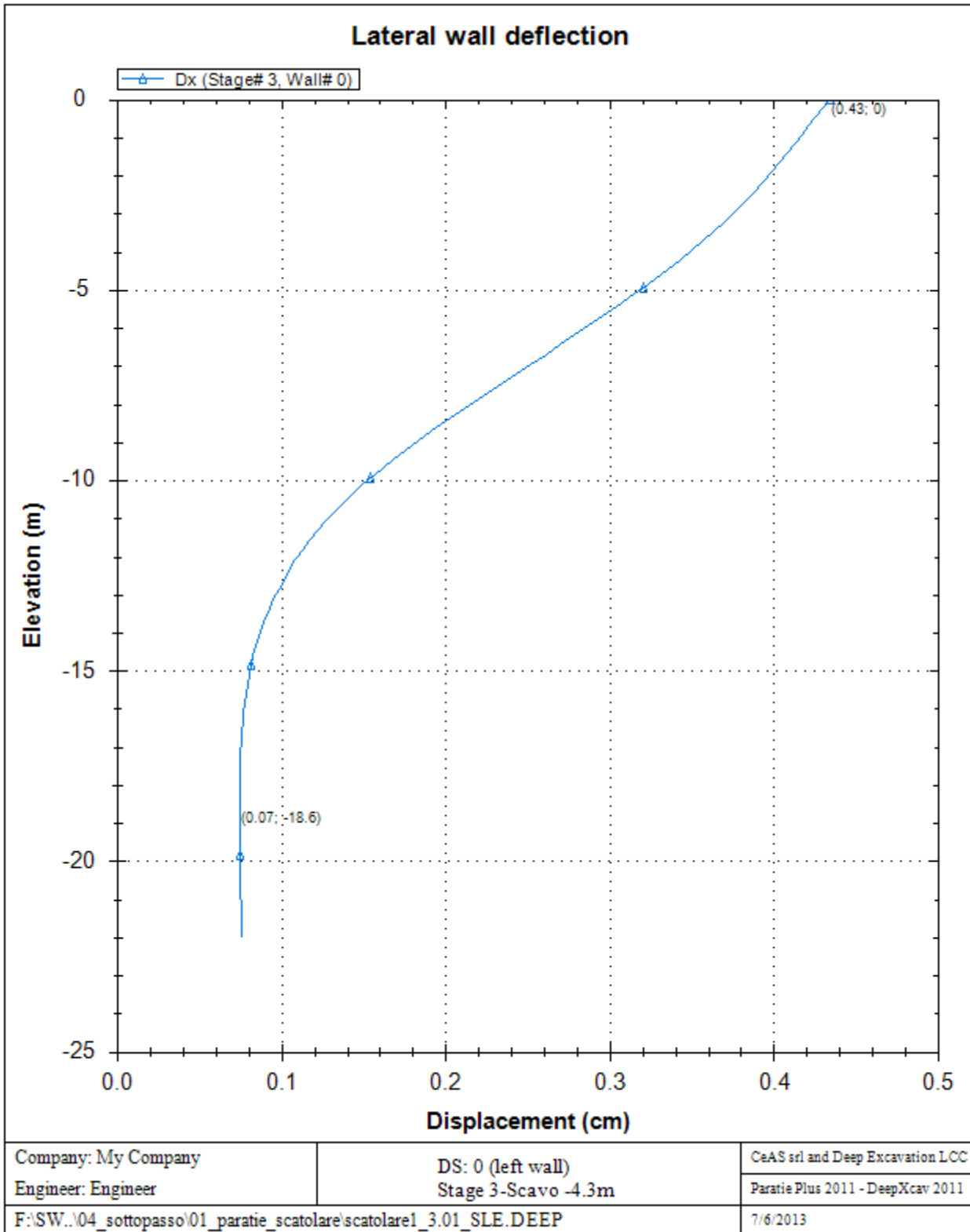
7/6/2013

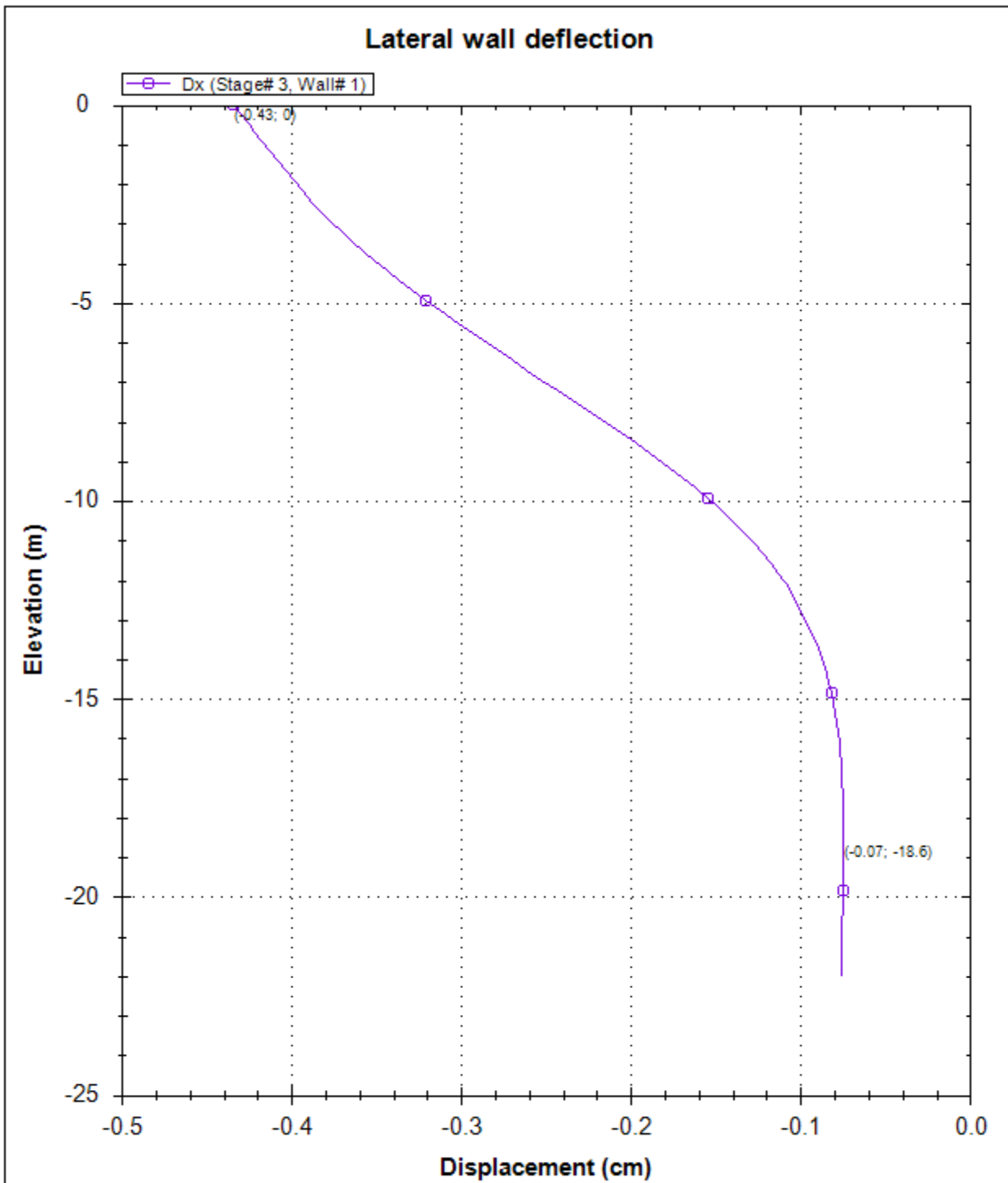




Company: My Company	DS: 0 (left wall)	CeAS srl and Deep Excavation LCC
Engineer: Engineer	Stage 3-Scavo -4.3m	Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011
F:\SW...\04_sottopasso\01_paratie_scatolare\scatolare1_3.01_SLE.DEEP		7/6/2013







Company: My Company

Engineer: Engineer

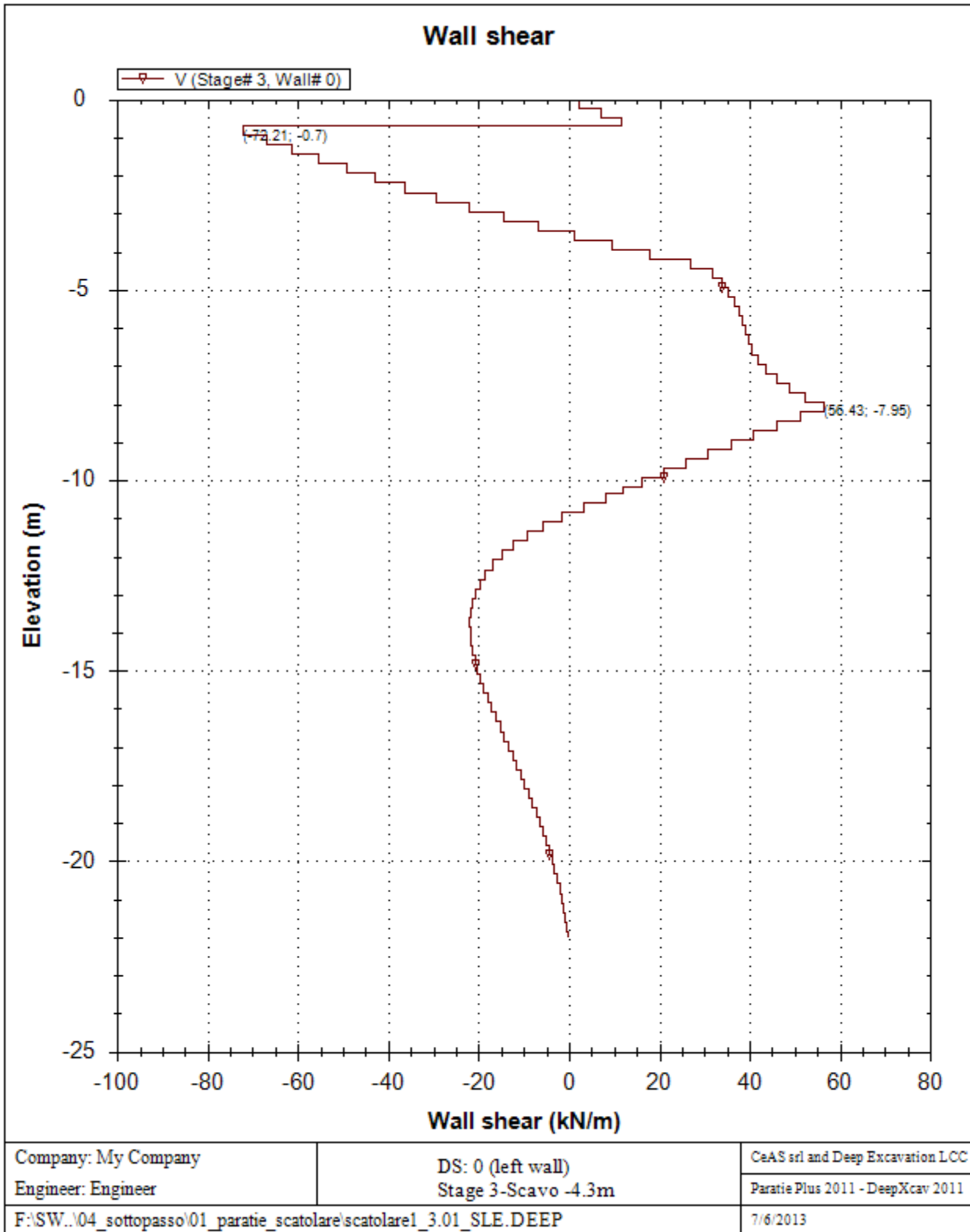
DS: 0 (right wall)  
Stage 3-Scavo -4.3m

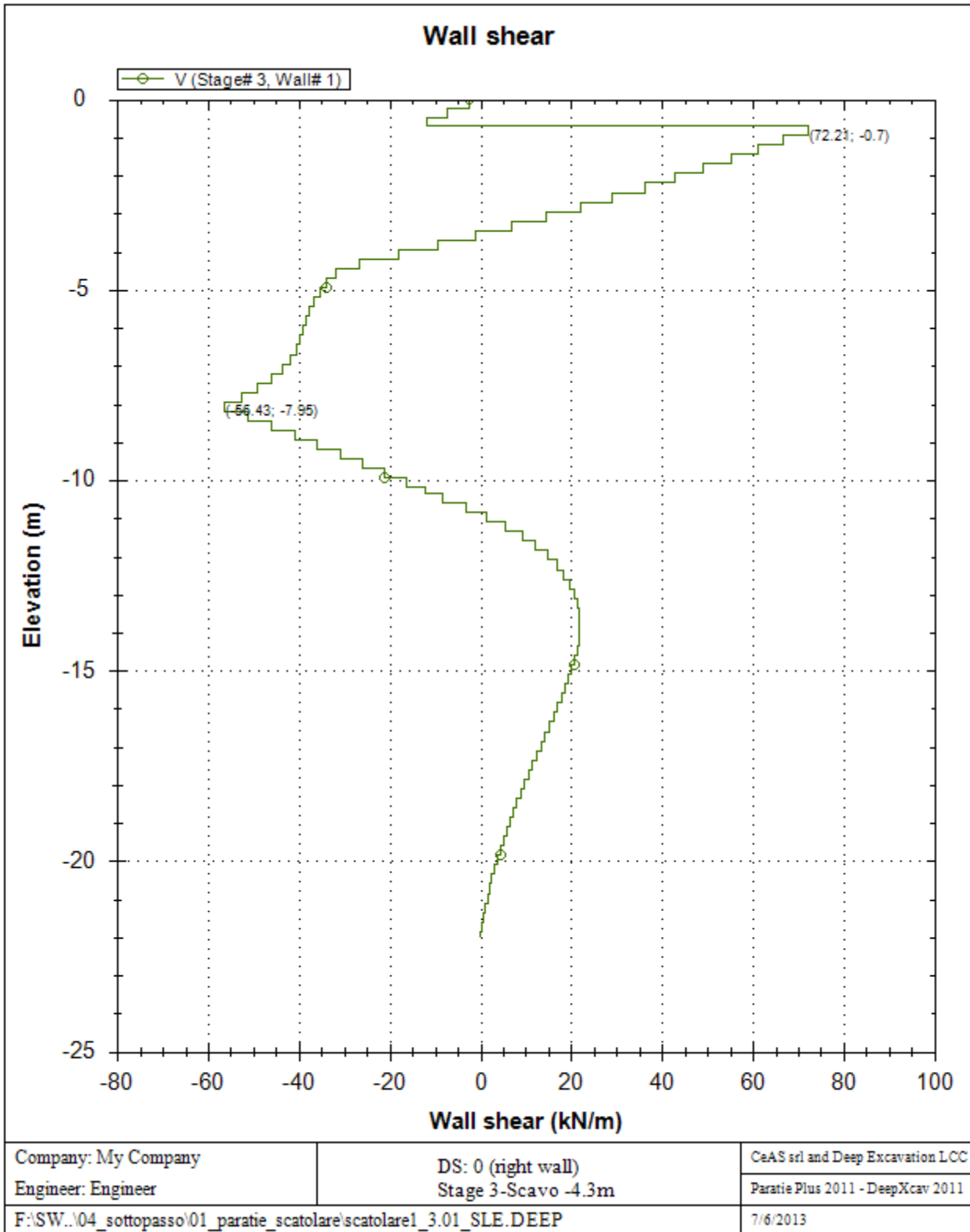
CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

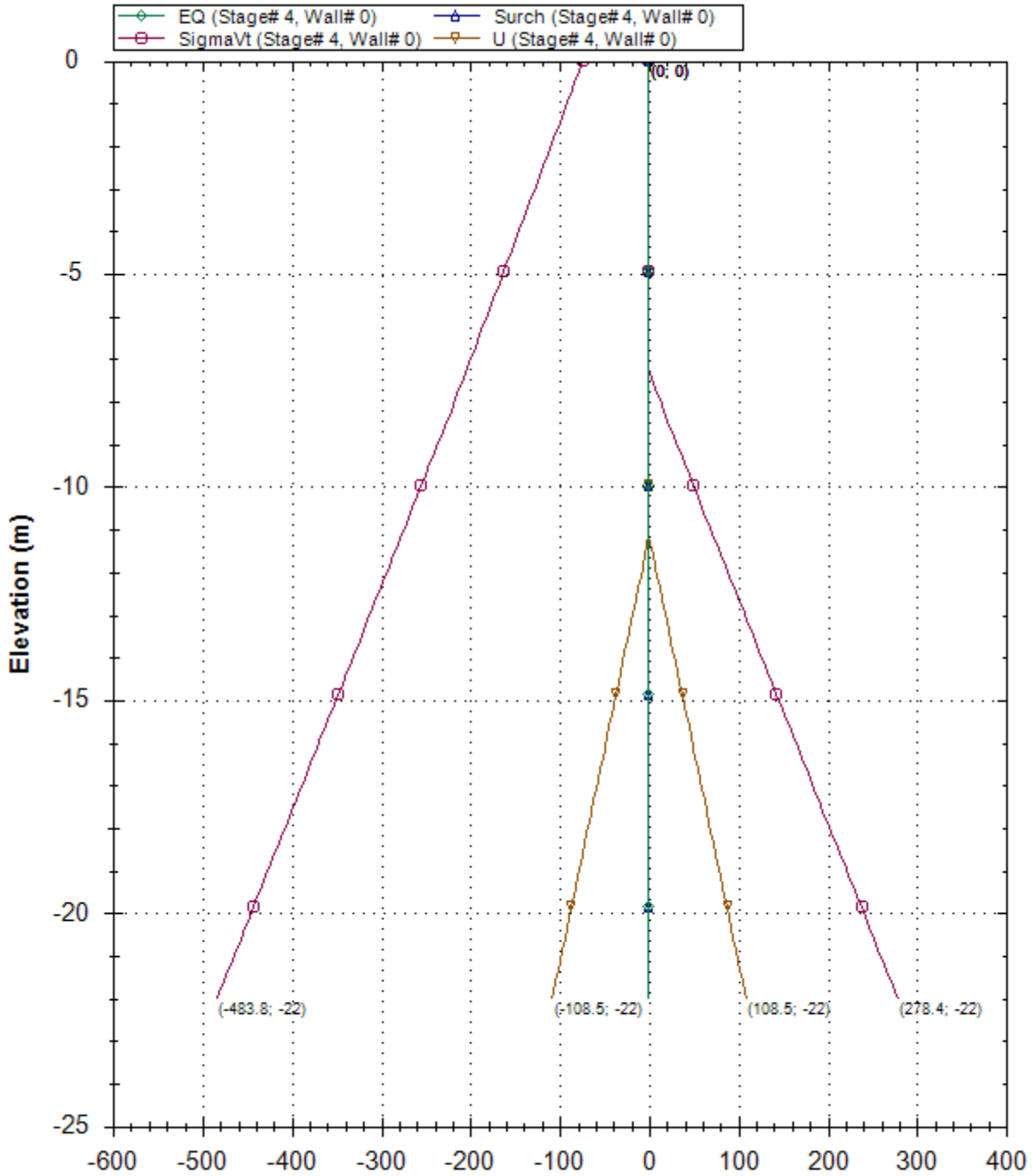
F:\SW..04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_3.01\_SLE.DEEP

7/6/2013





### Horizontal and vertical pressures (kPa)



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0 (left wall)  
Stage 4-Scavo -7.3m

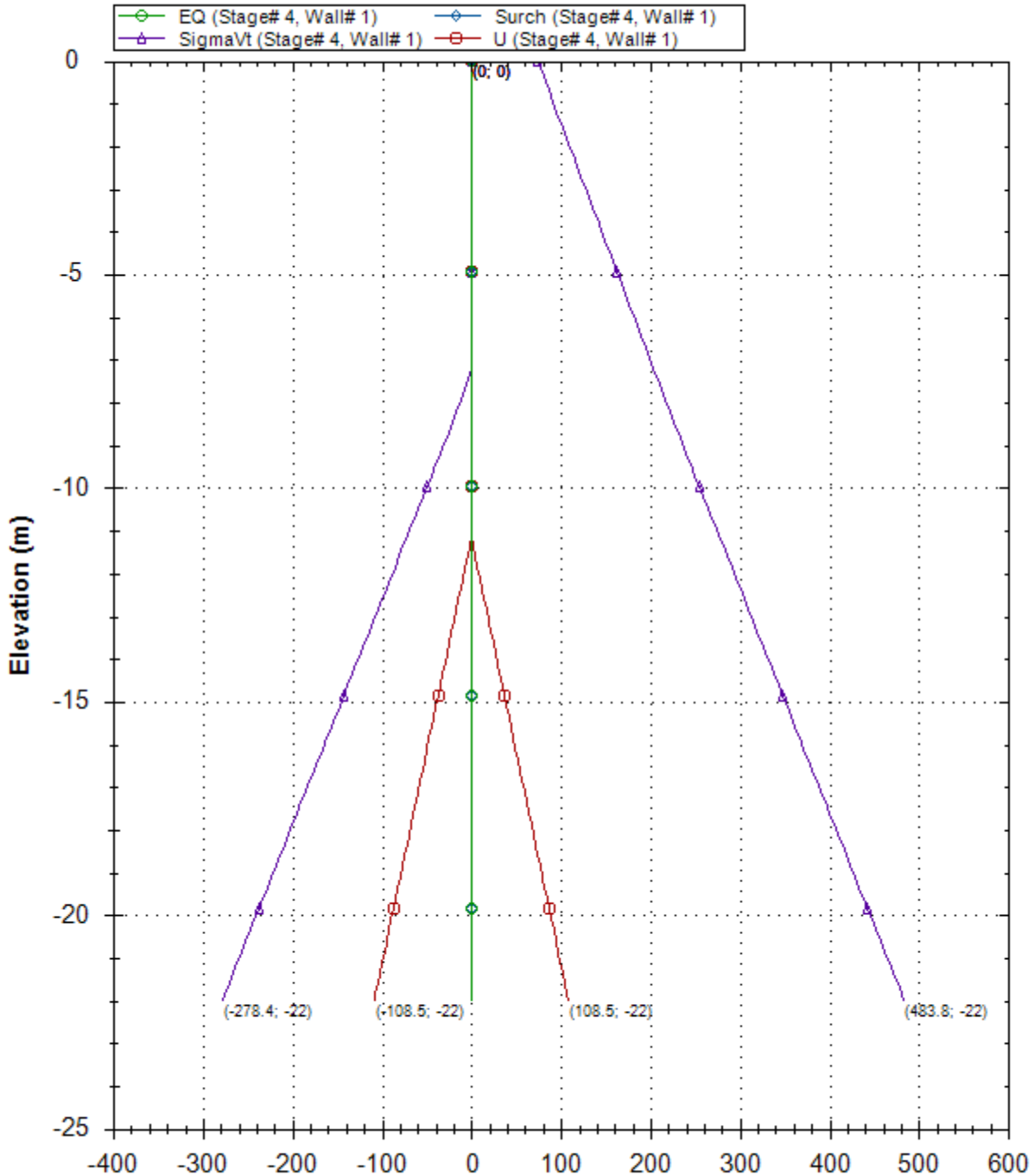
CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW...\04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_3.01\_SLE.DEEP

7/6/2013

### Horizontal and vertical pressures (kPa)



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0 (right wall)  
Stage 4-Scavo -7.3m

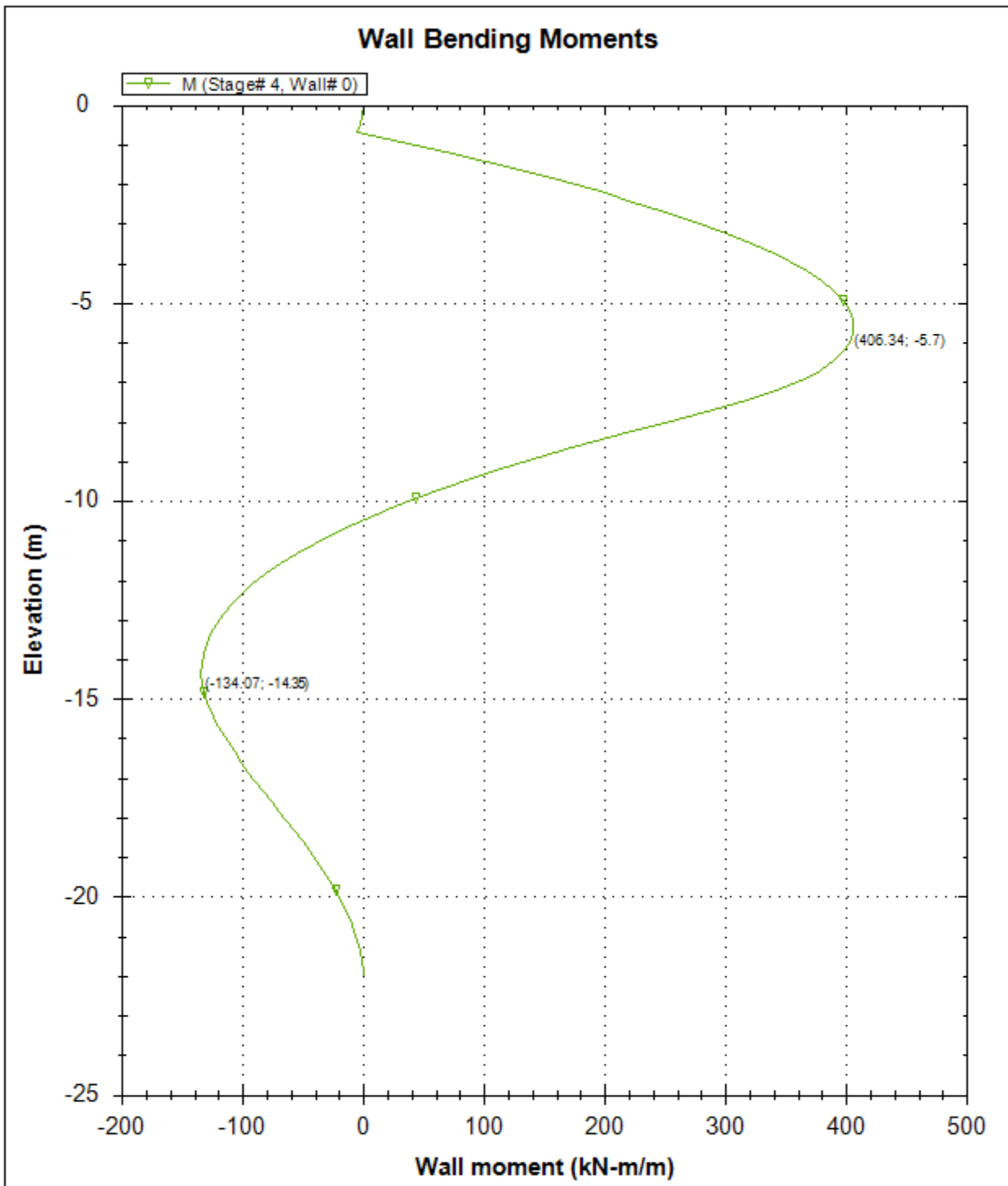
CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

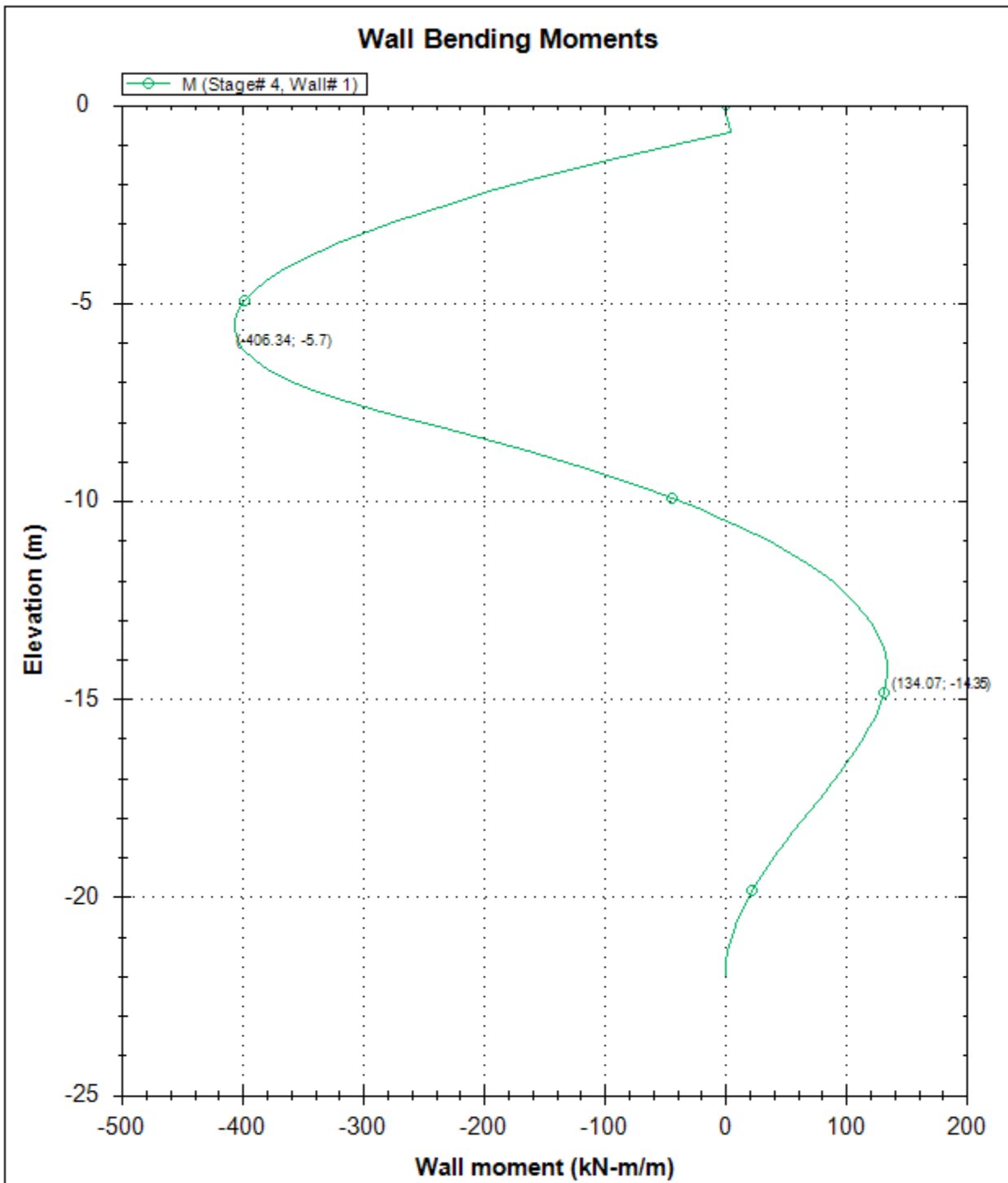
F:\SW..04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_3.01\_SLE.DEEP

7/6/2013





Company: My Company	DS: 0 (left wall)	CeAS srl and Deep Excavation LCC
Engineer: Engineer	Stage 4-Scavo -7.3m	Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011
F:\SW...\04_sottopasso\01_paratie_scatolare\scatolare1_3.01_SLE.DEEP		7/6/2013



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0 (right wall)  
 Stage 4-Scavo -7.3m

CeAS srl and Deep Excavation LCC

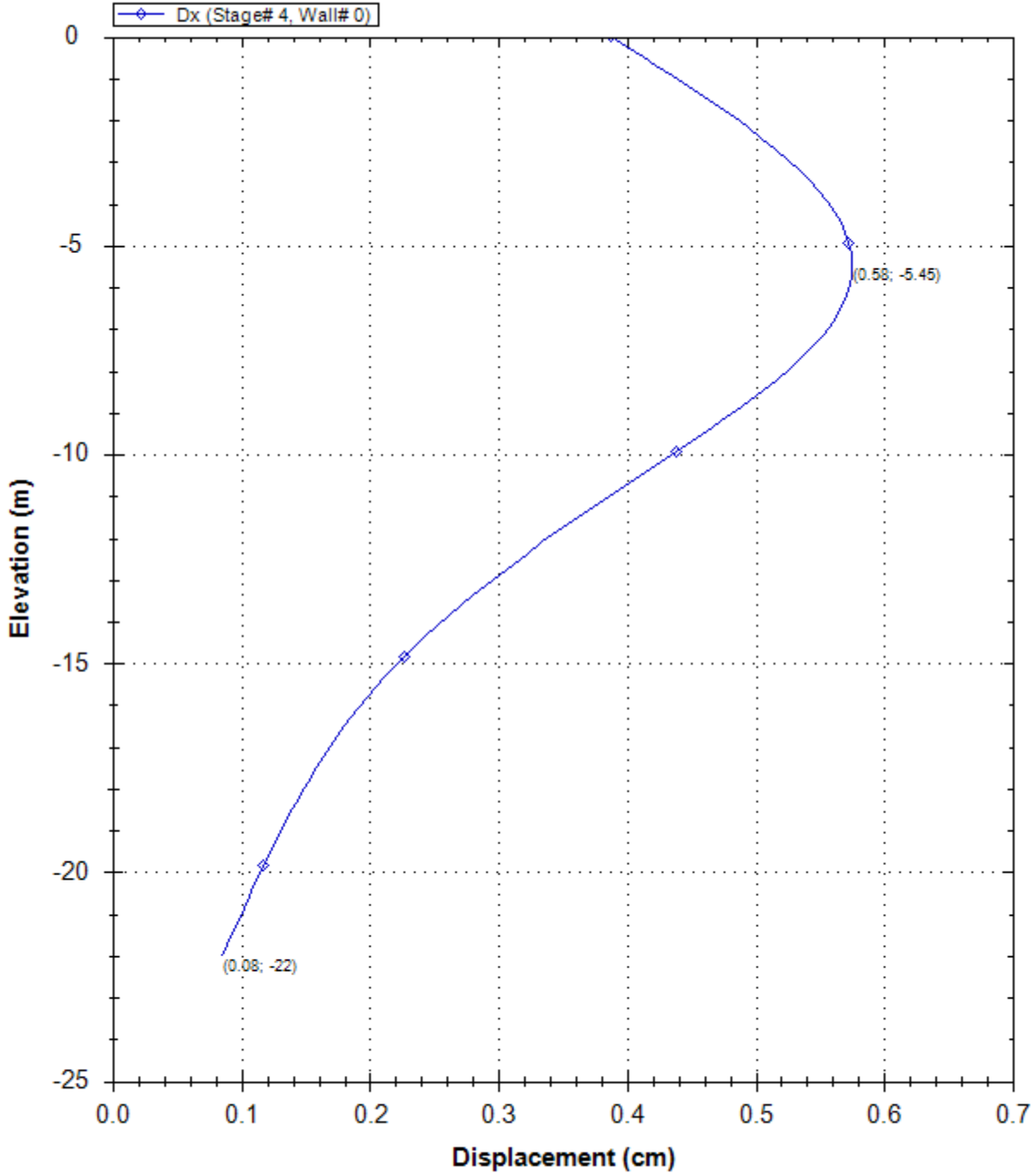
Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW...\04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_3.01\_SLE.DEEP

7/6/2013



### Lateral wall deflection



Company: My Company

Engineer: Engineer

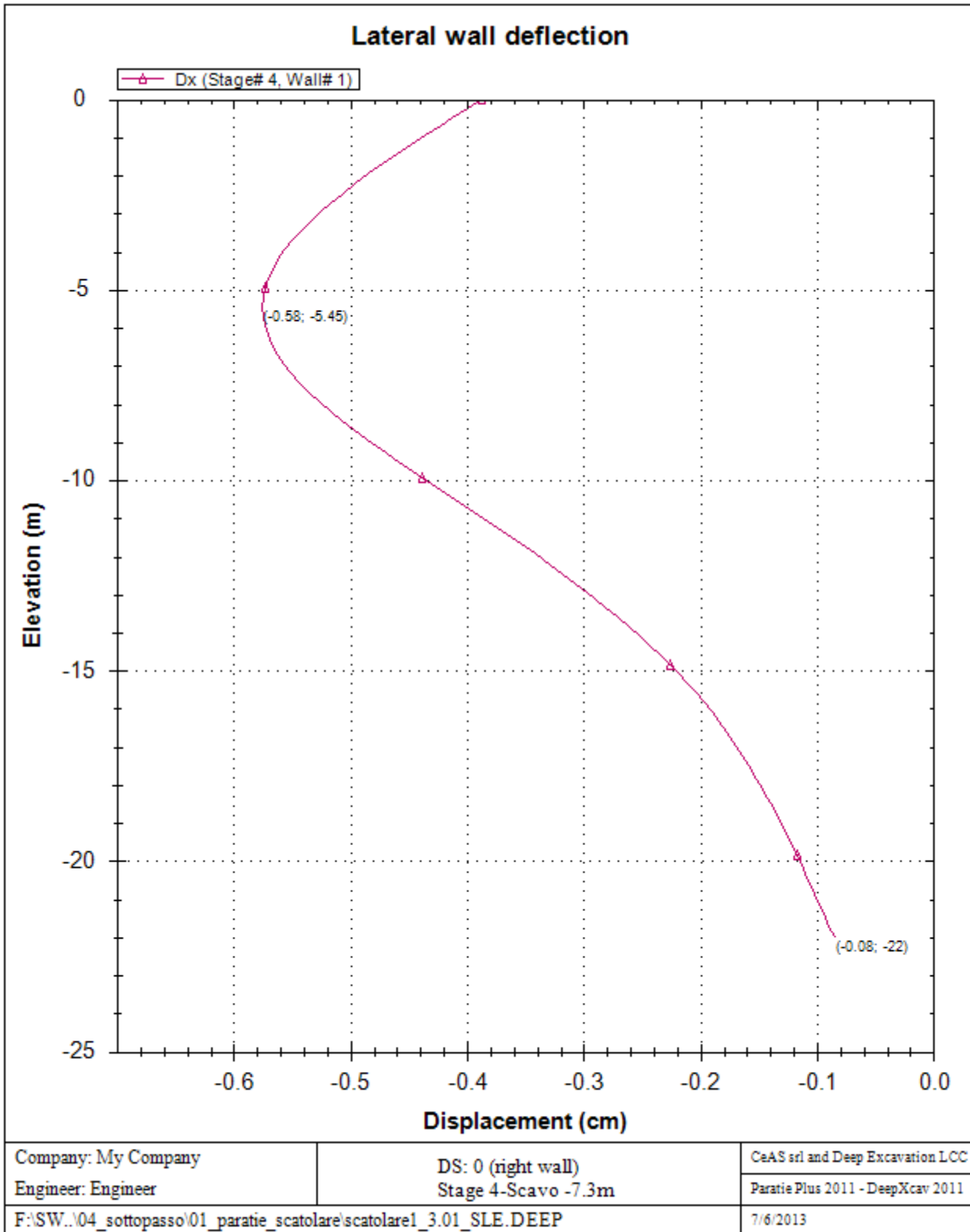
DS: 0 (left wall)  
 Stage 4-Scavo -7.3m

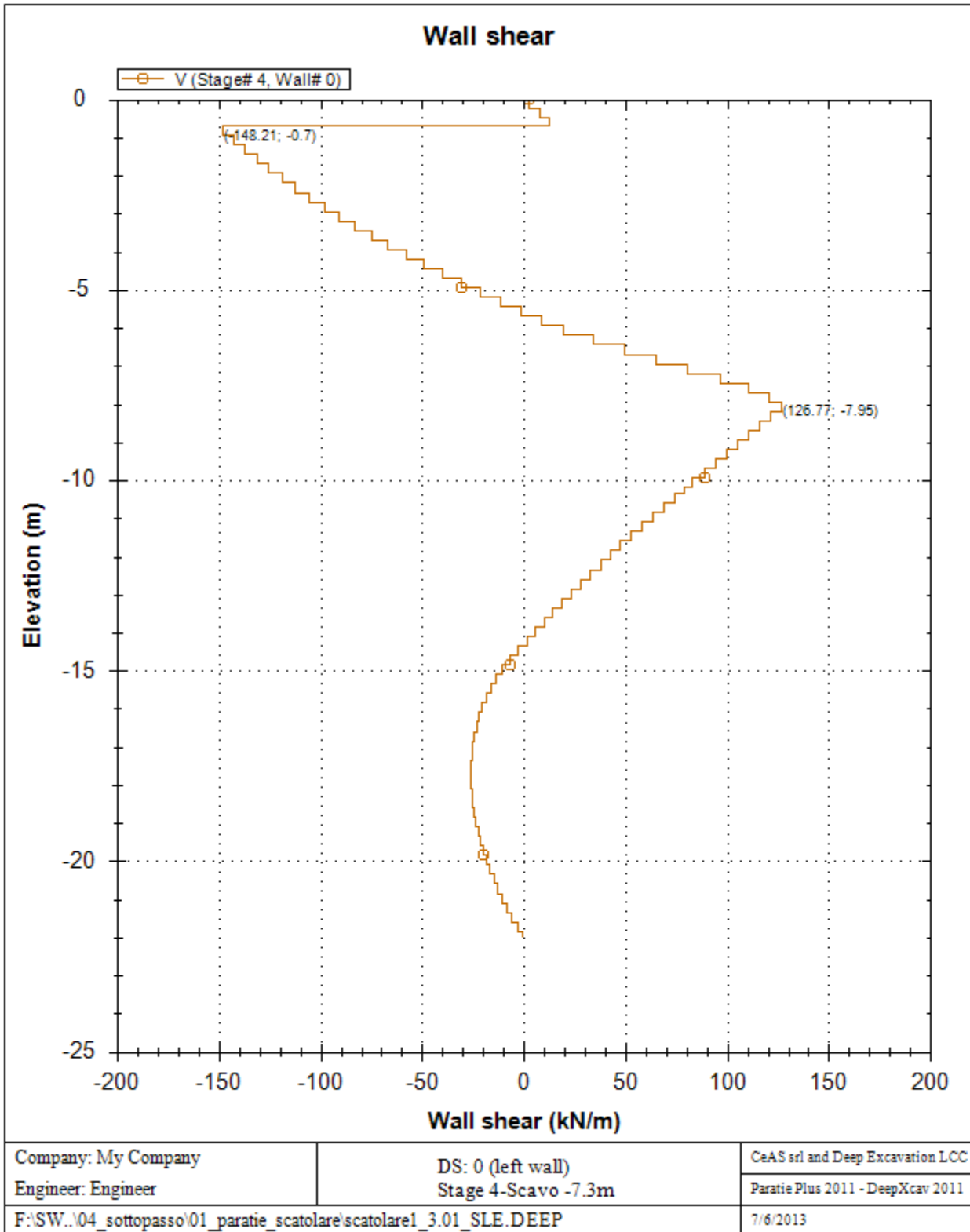
CeAS srl and Deep Excavation LCC

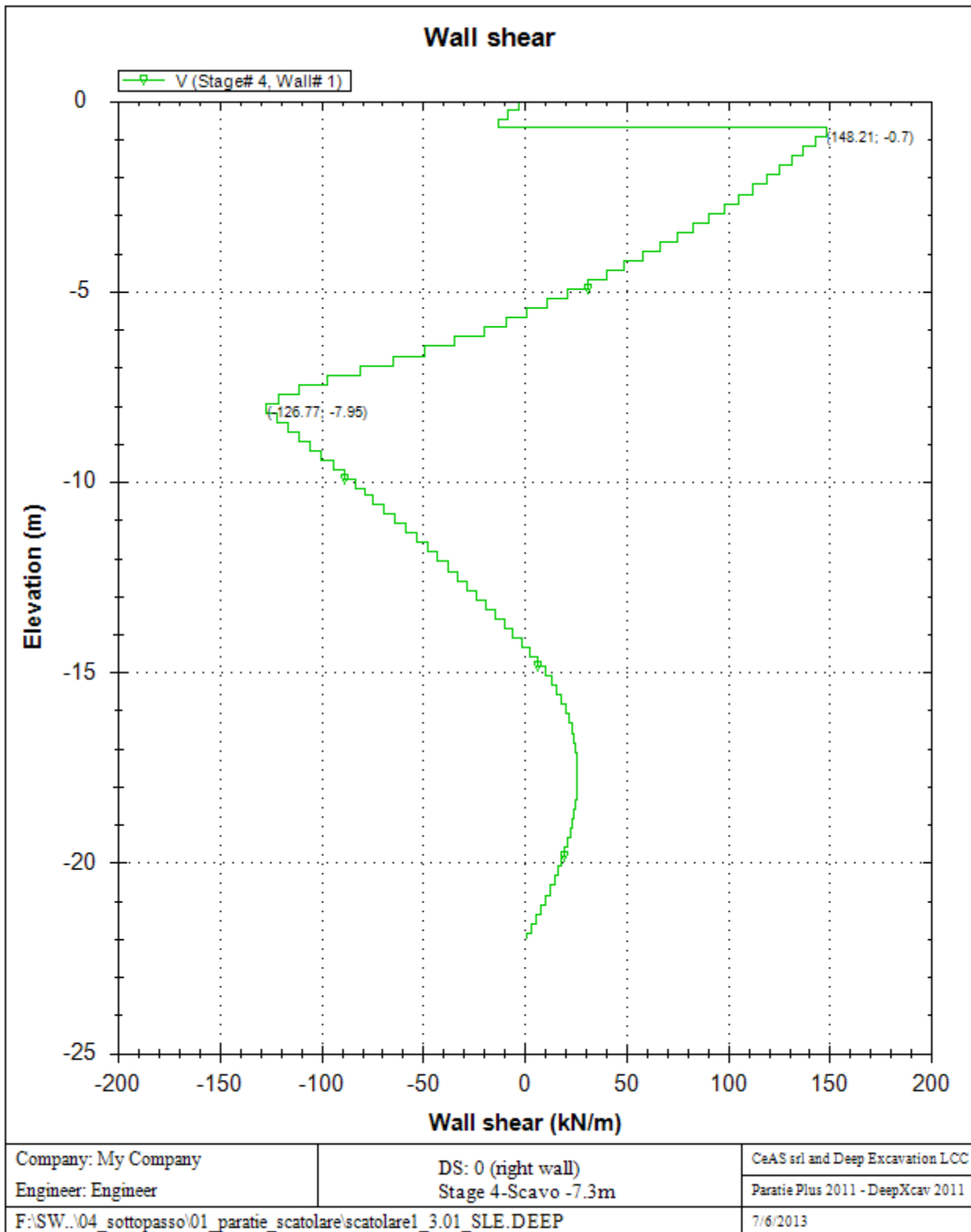
Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW...\04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_3.01\_SLE.DEEP

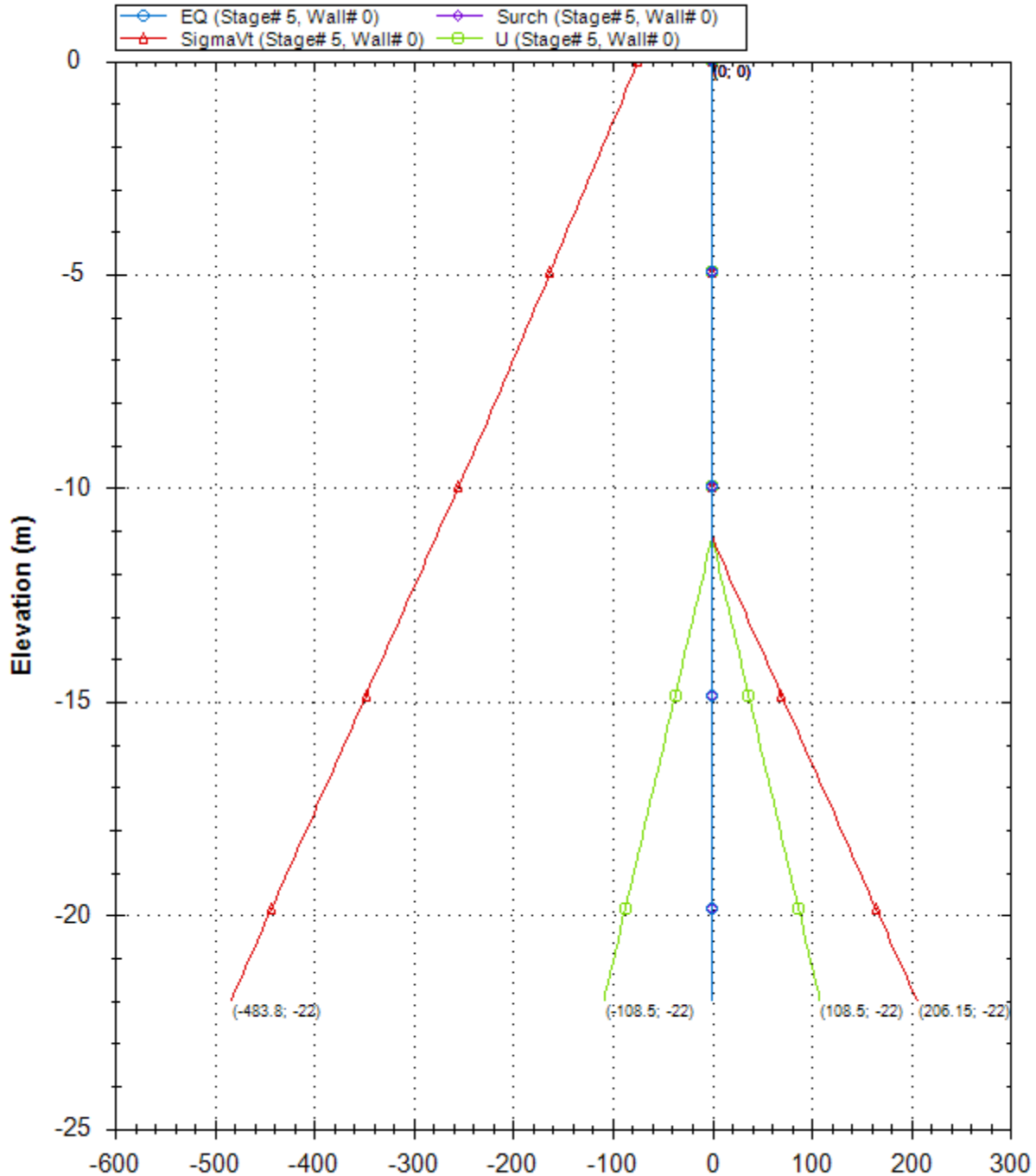
7/6/2013







### Horizontal and vertical pressures (kPa)



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0 (left wall)  
Stage 5-Scavo -11.15m

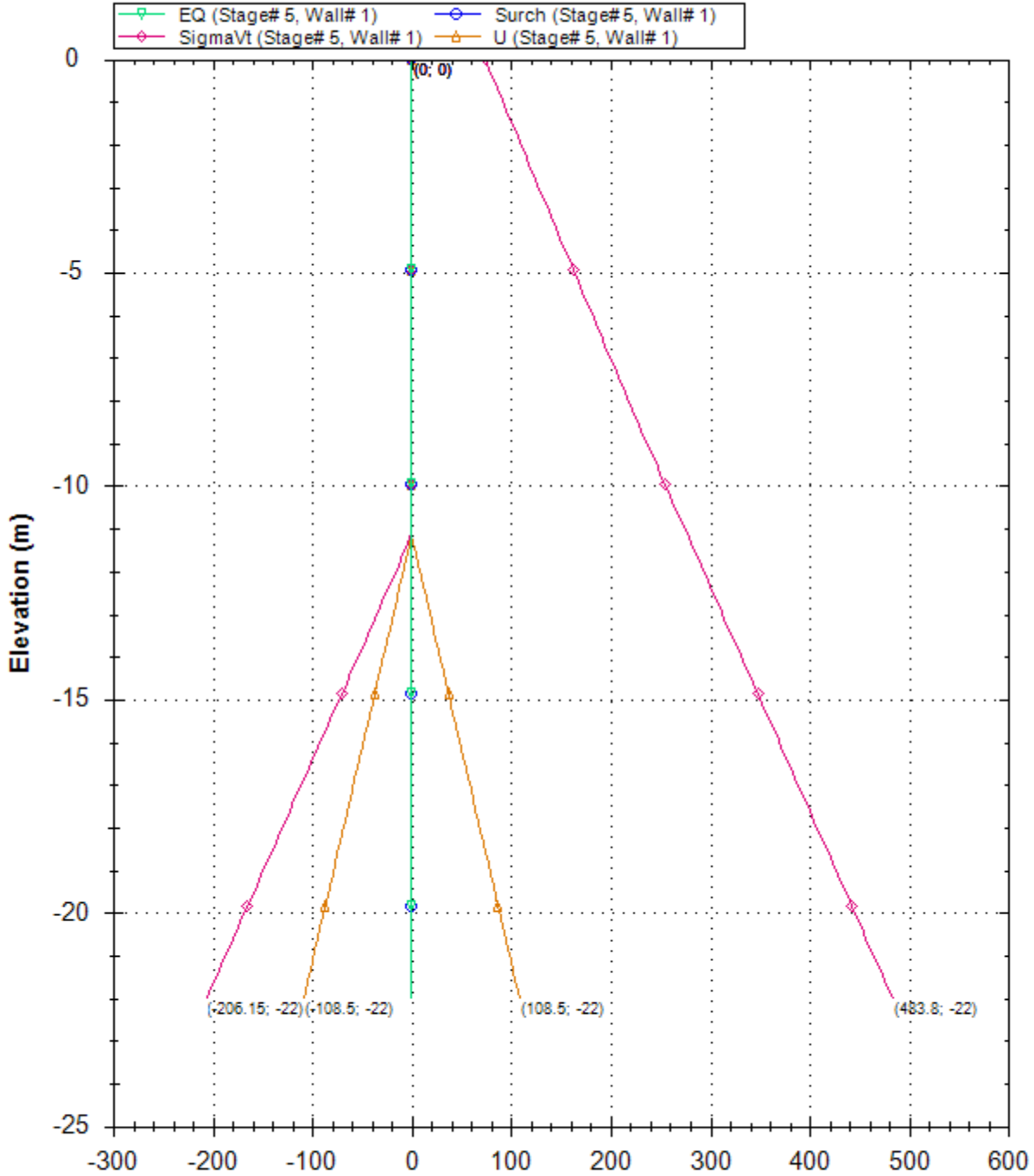
CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW..04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_3.01\_SLE.DEEP

7/6/2013

### Horizontal and vertical pressures (kPa)



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0 (right wall)  
Stage 5-Scavo -11.15m

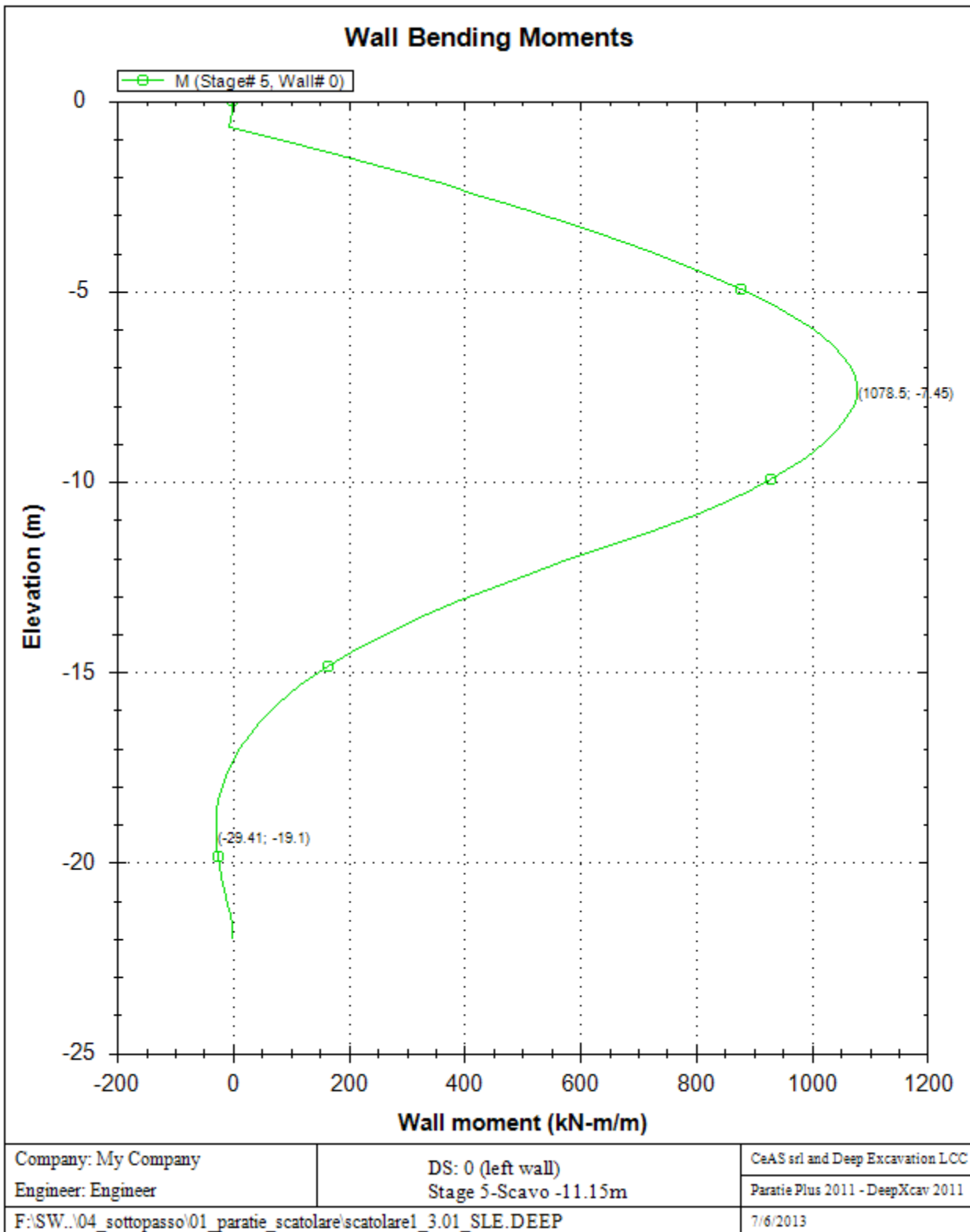
CeAS srl and Deep Excavation LCC

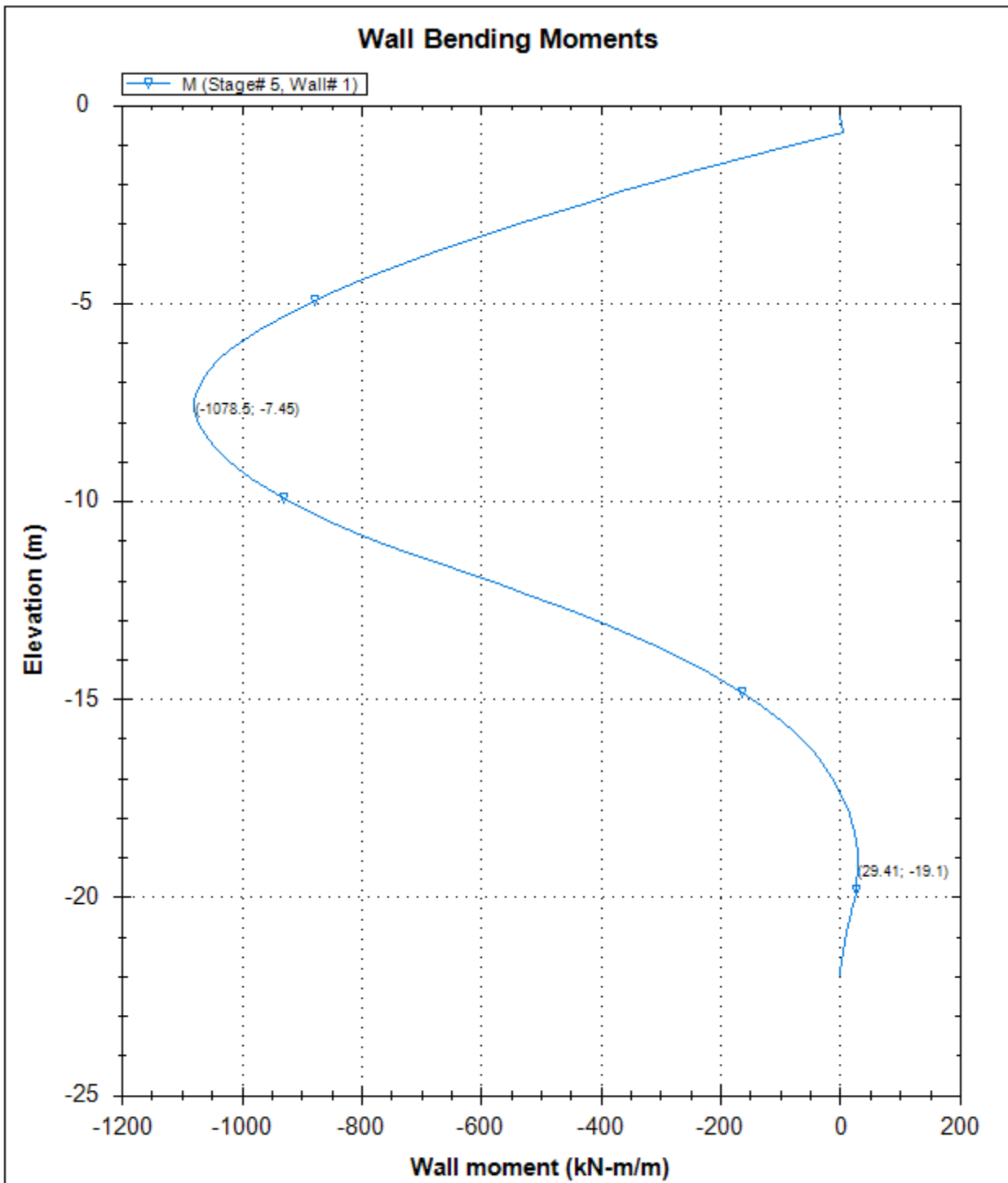
Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW..04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_3.01\_SLE.DEEP

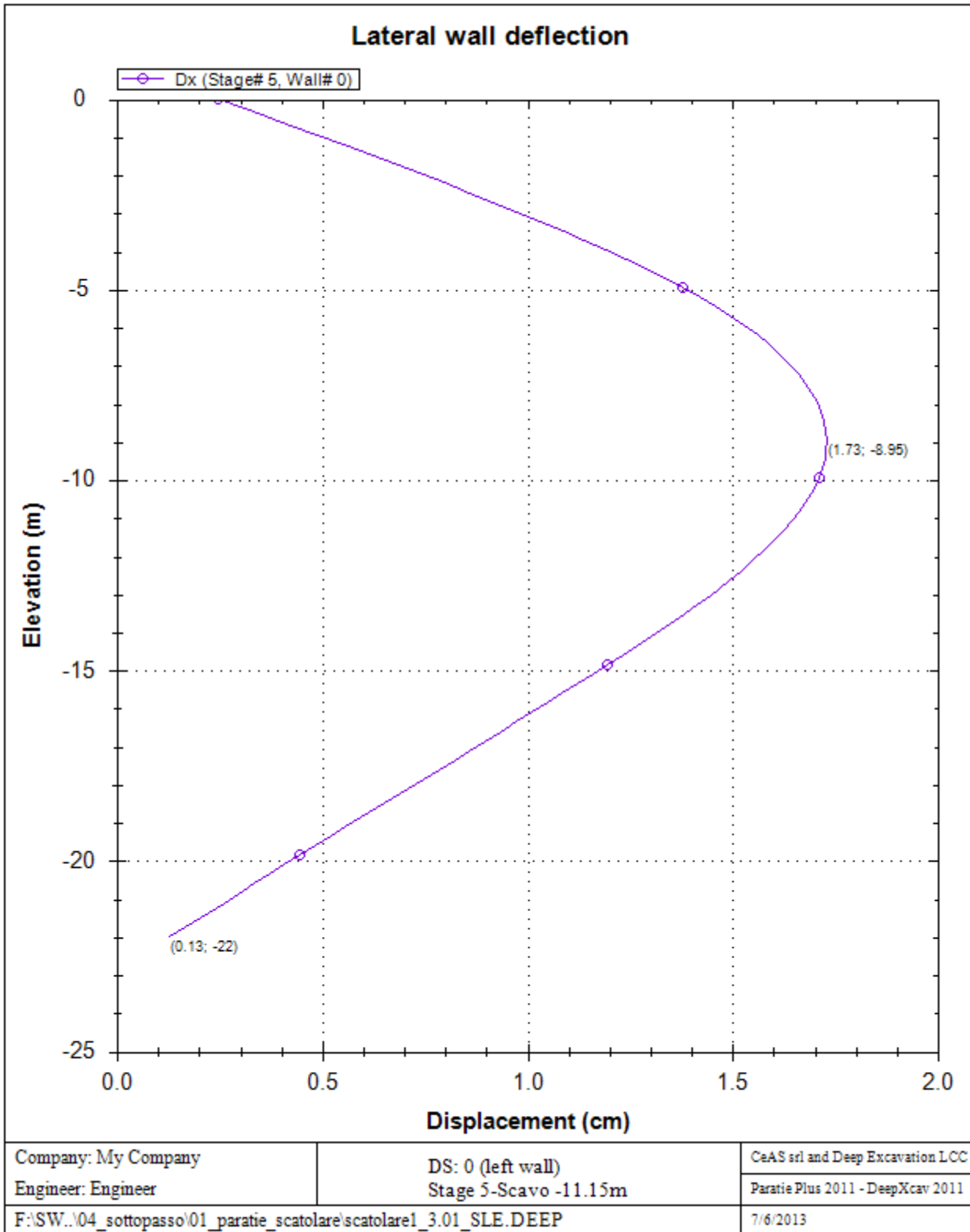
7/6/2013

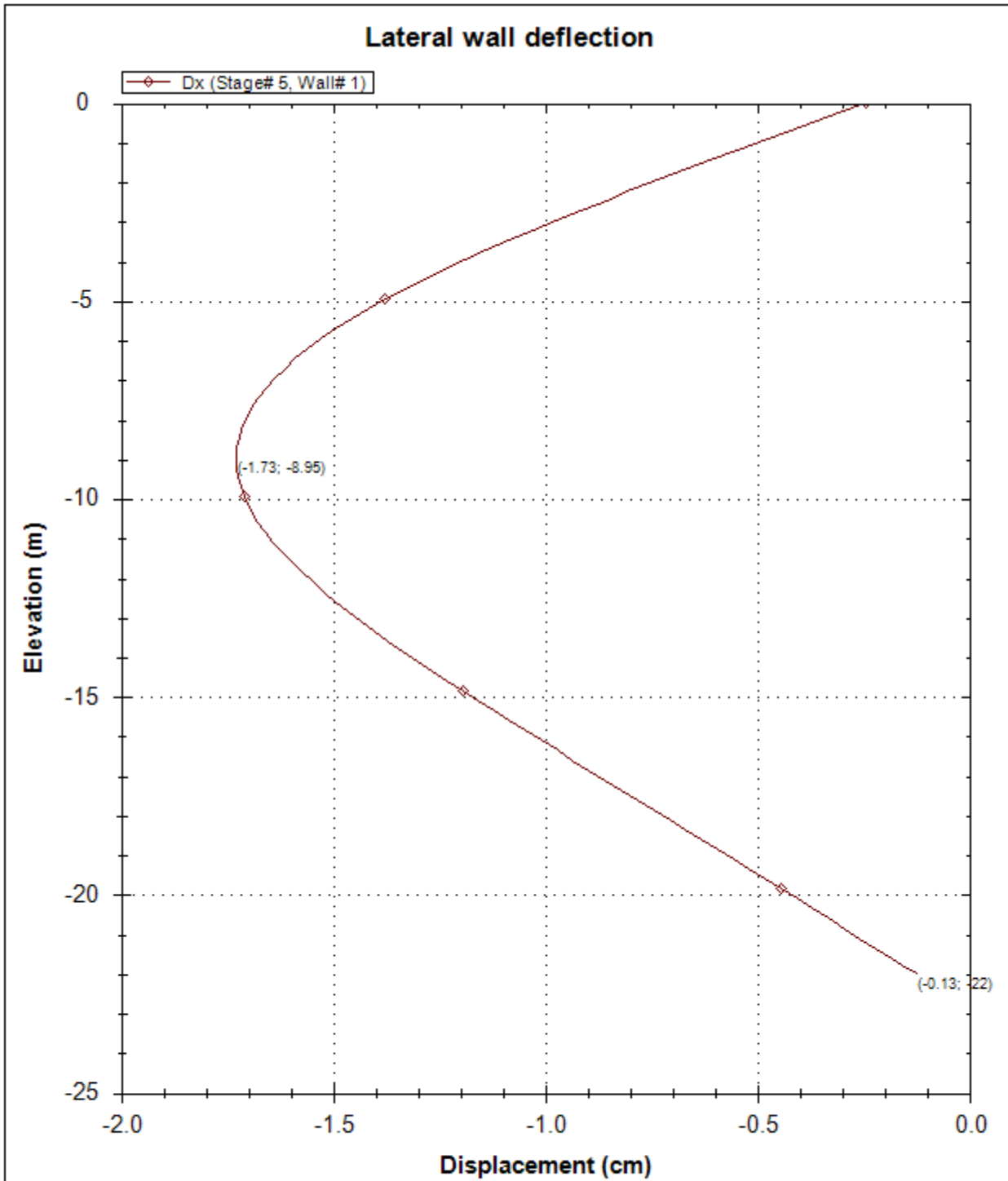




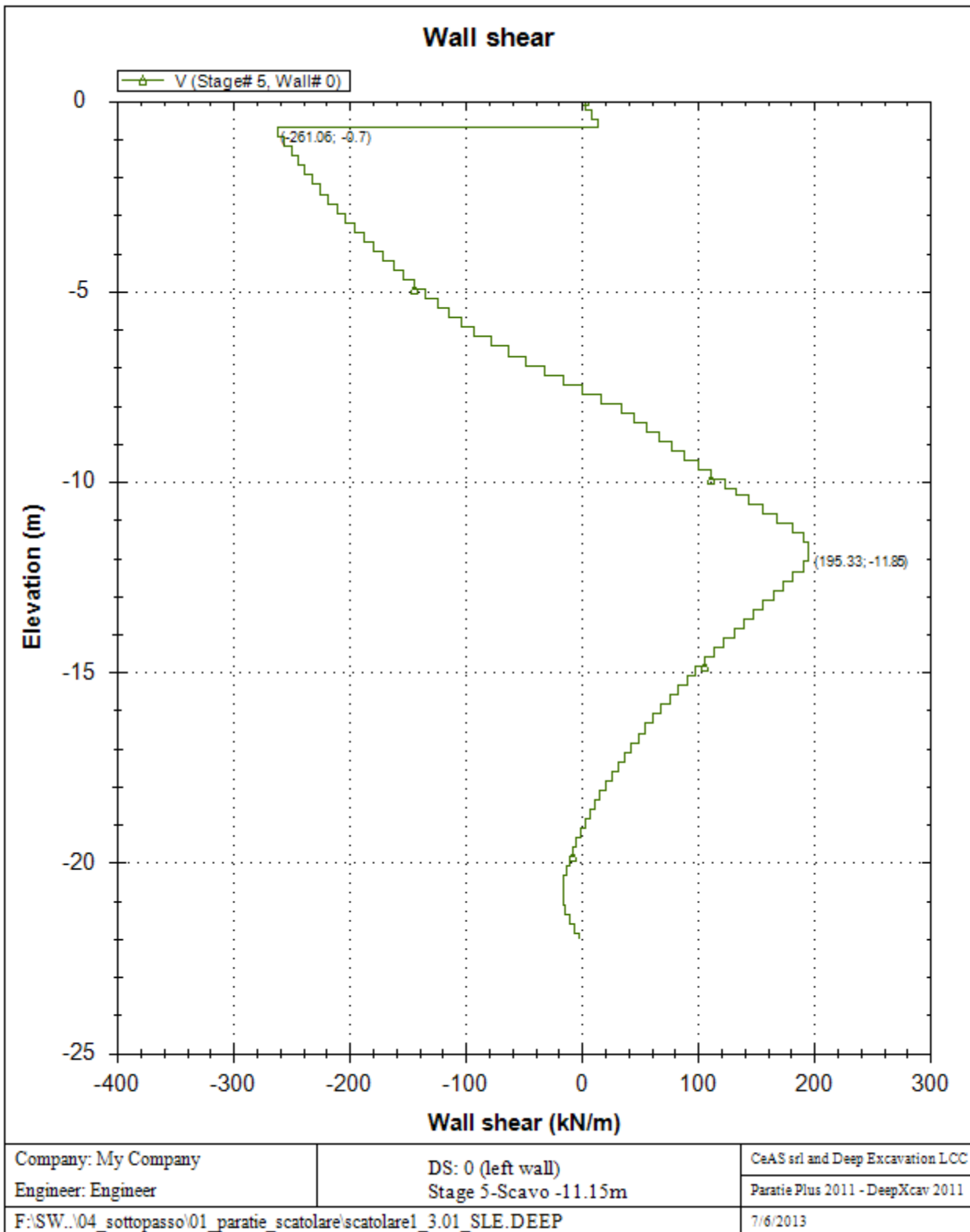


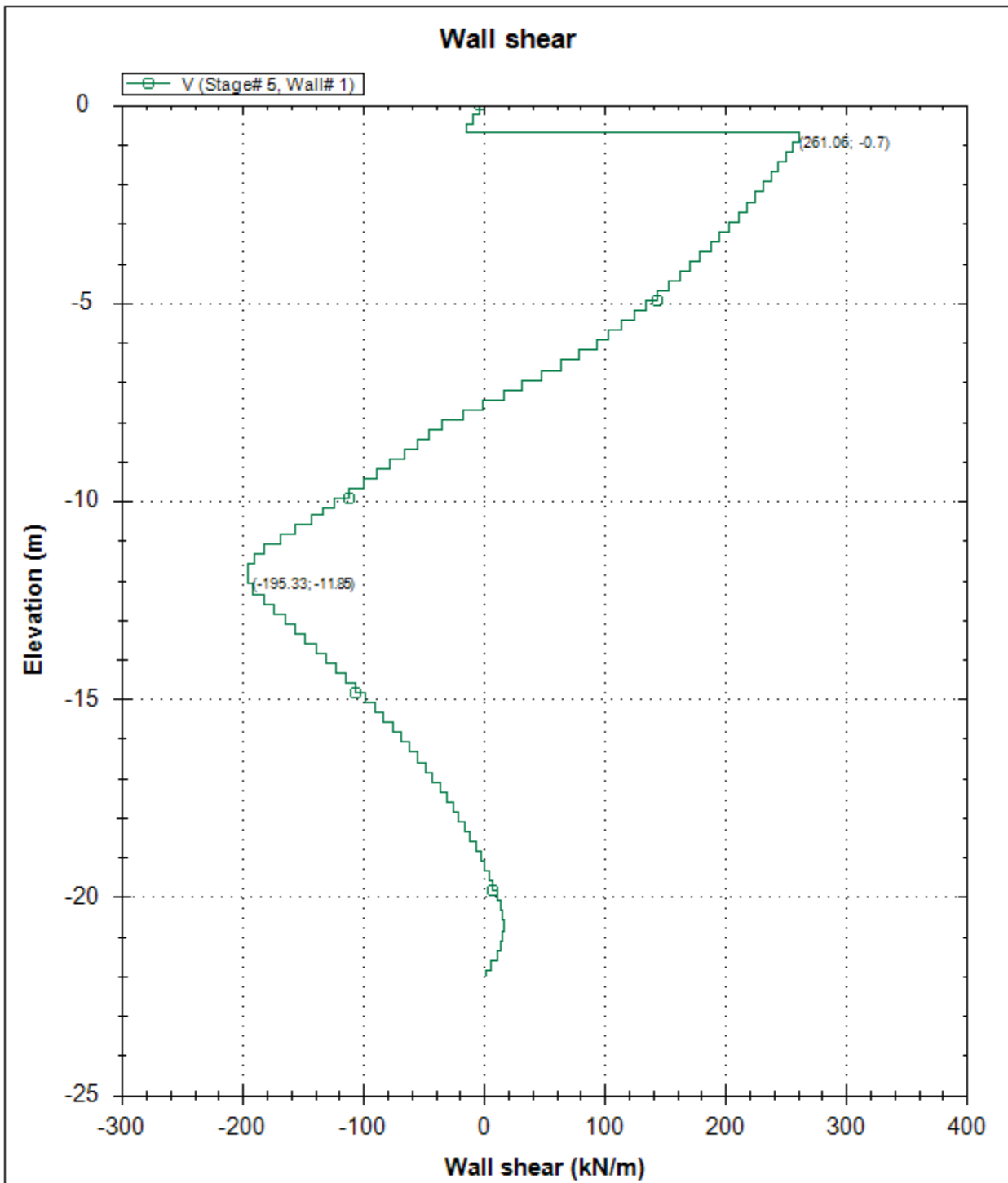
Company: My Company	DS: 0 (right wall)	CeAS srl and Deep Excavation LCC
Engineer: Engineer	Stage 5-Scavo -11.15m	Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011
F:\SW..04_sottopasso\01_paratie_scatolare\scatolare1_3.01_SLE.DEEP		7/6/2013





Company: My Company	DS: 0 (right wall)	CeAS srl and Deep Excavation LCC
Engineer: Engineer	Stage 5-Scavo -11.15m	Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011
F:\SW..04_sottopasso\01_paratie_scatolare\scatolare1_3.01_SLE.DEEP		7/6/2013





Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0 (right wall)  
Stage 5-Scavo -11.15m

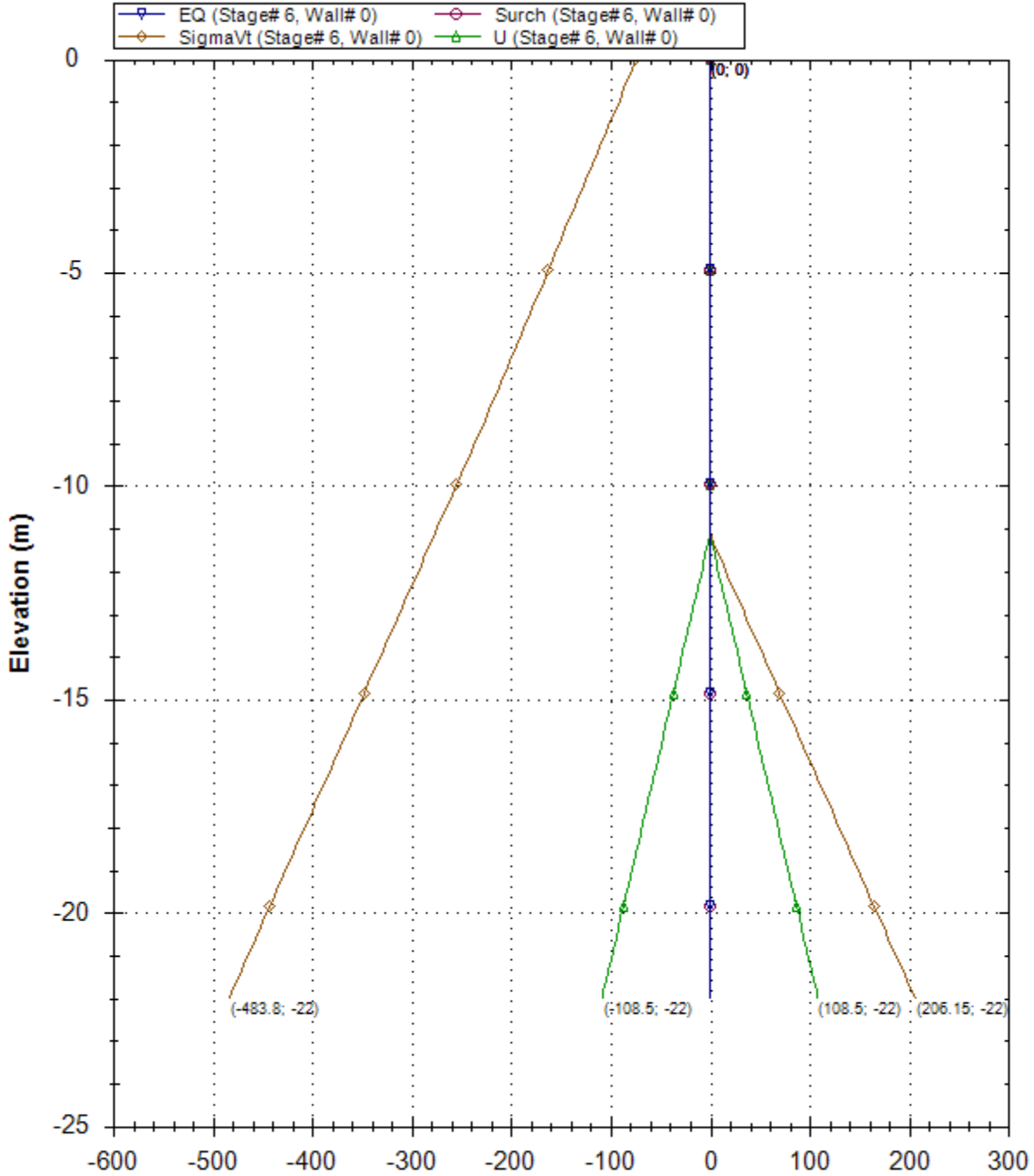
CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW..04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_3.01\_SLE.DEEP

7/6/2013

### Horizontal and vertical pressures (kPa)



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0 (left wall)  
Stage 6-SolettoneInferiore

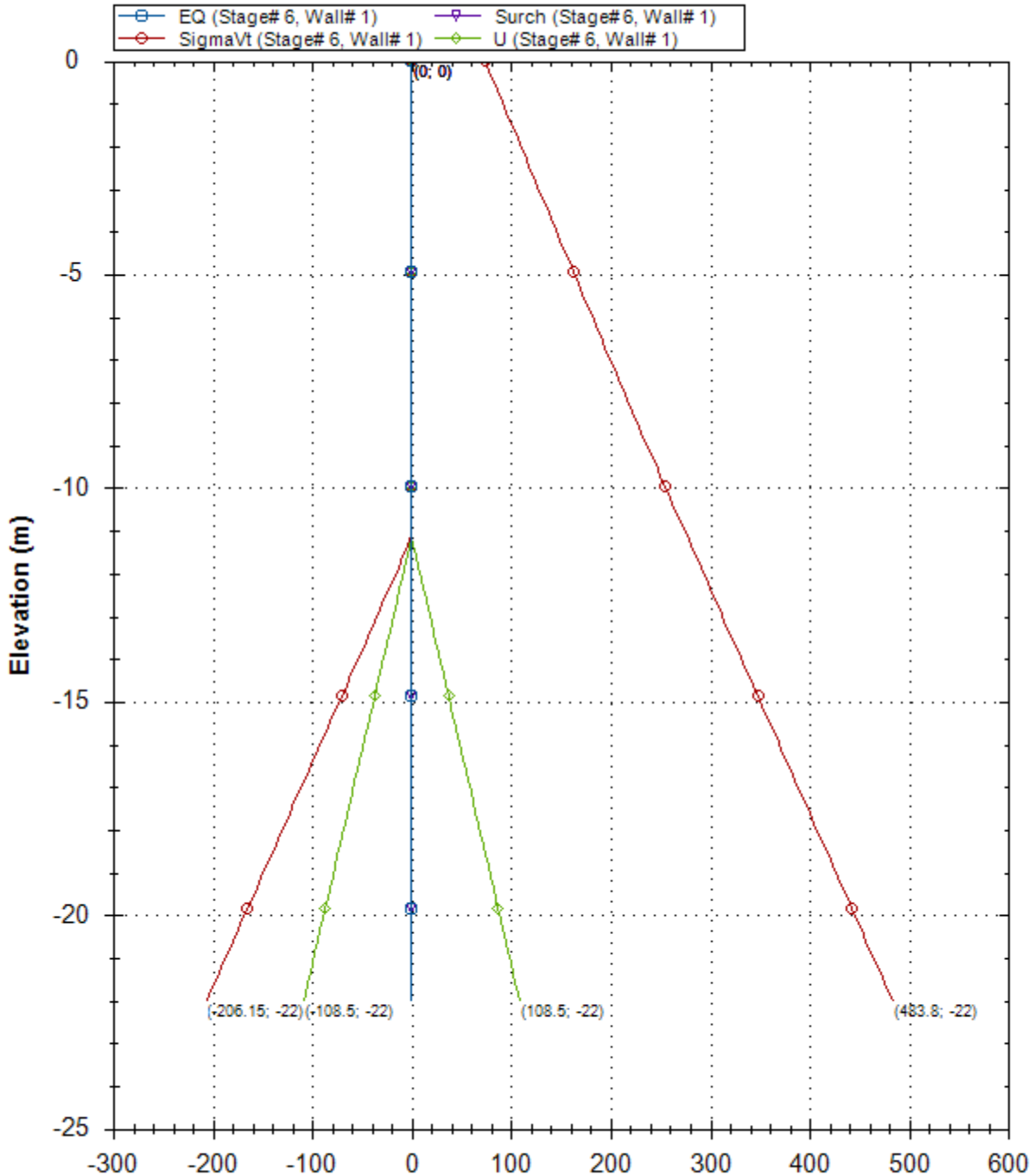
CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW...\04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_3.01\_SLE.DEEP

7/6/2013

### Horizontal and vertical pressures (kPa)



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0 (right wall)  
Stage 6-SolettoneInferiore

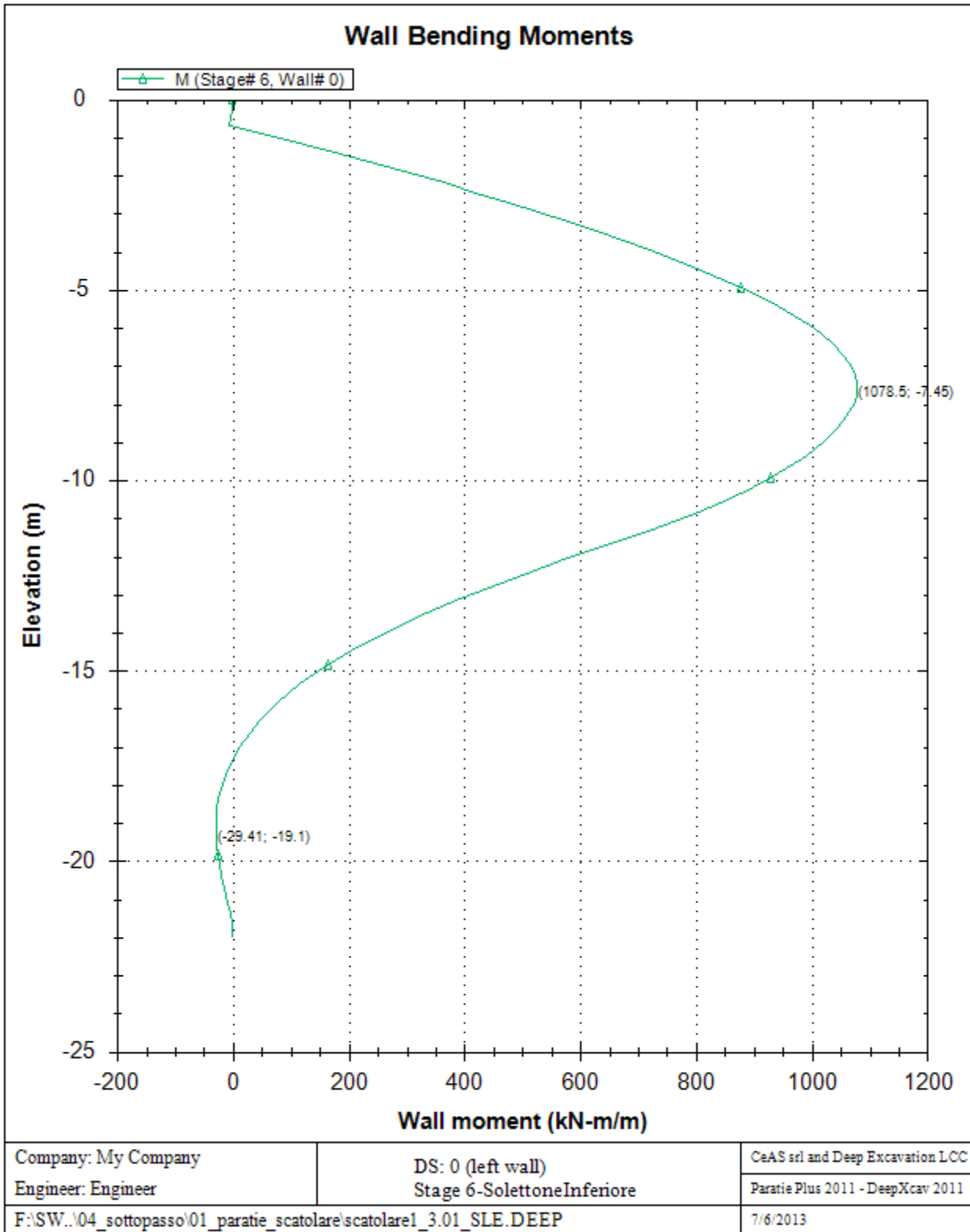
CeAS srl and Deep Excavation LCC

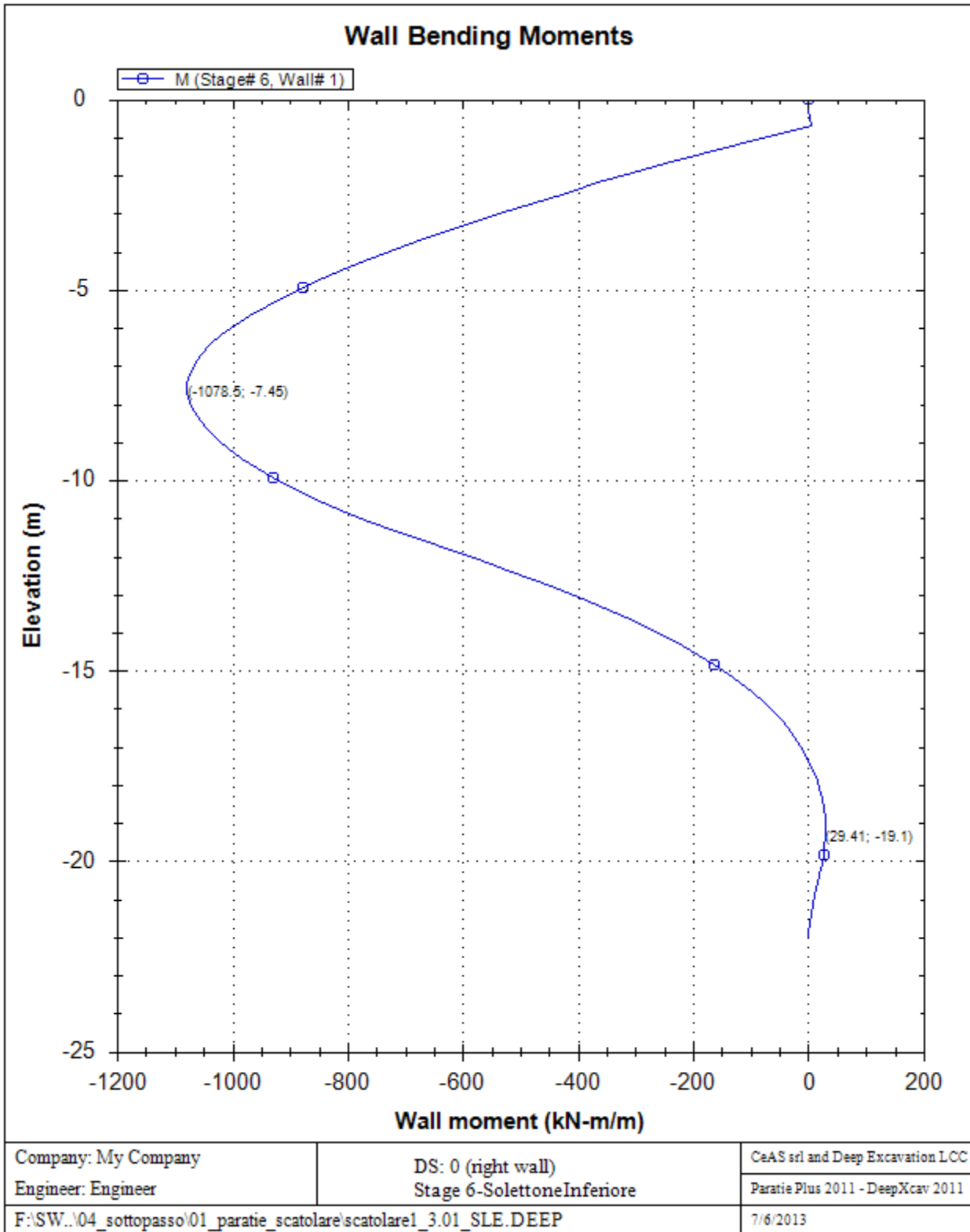
Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

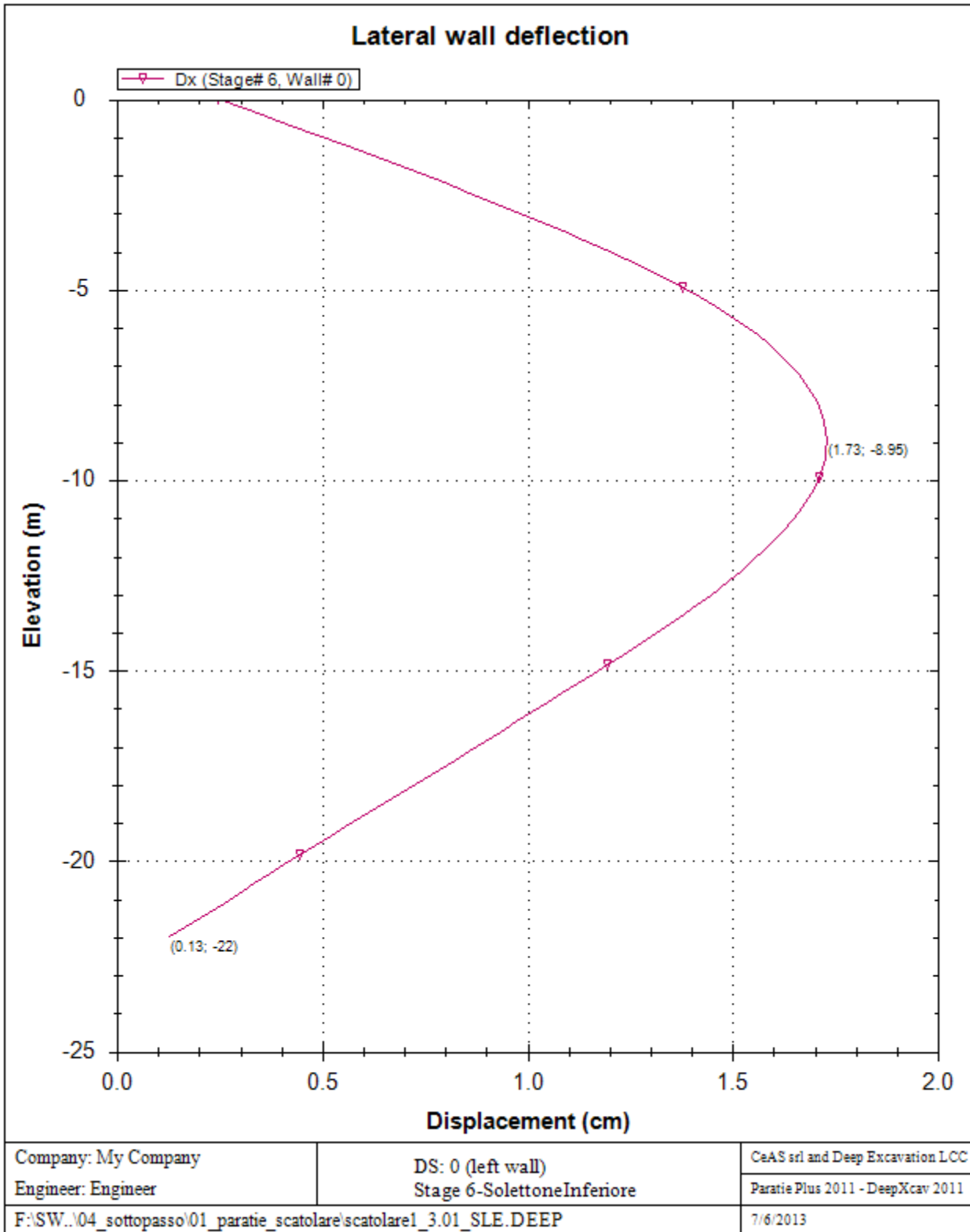
F:\SW..04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_3.01\_SLE.DEEP

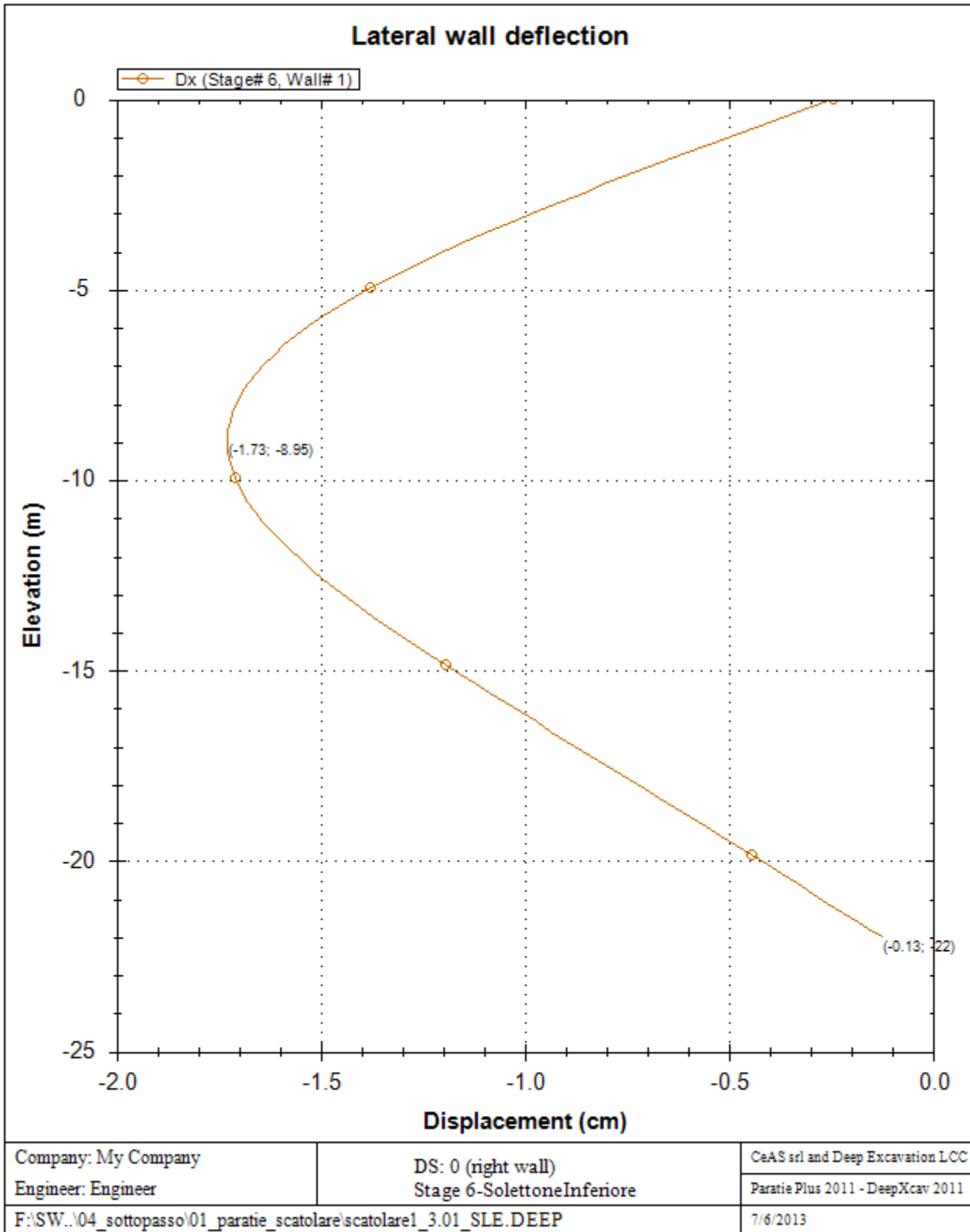
7/6/2013

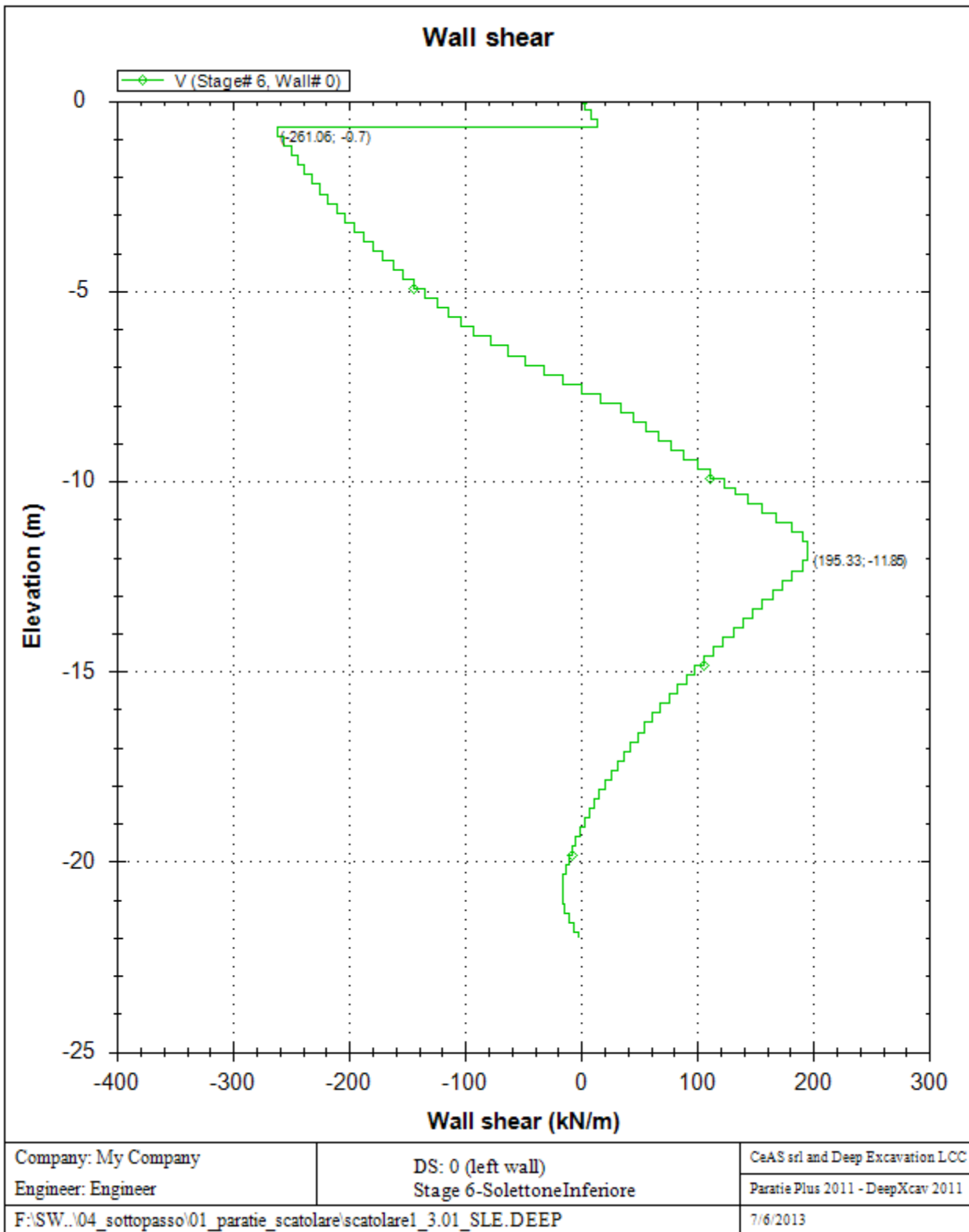


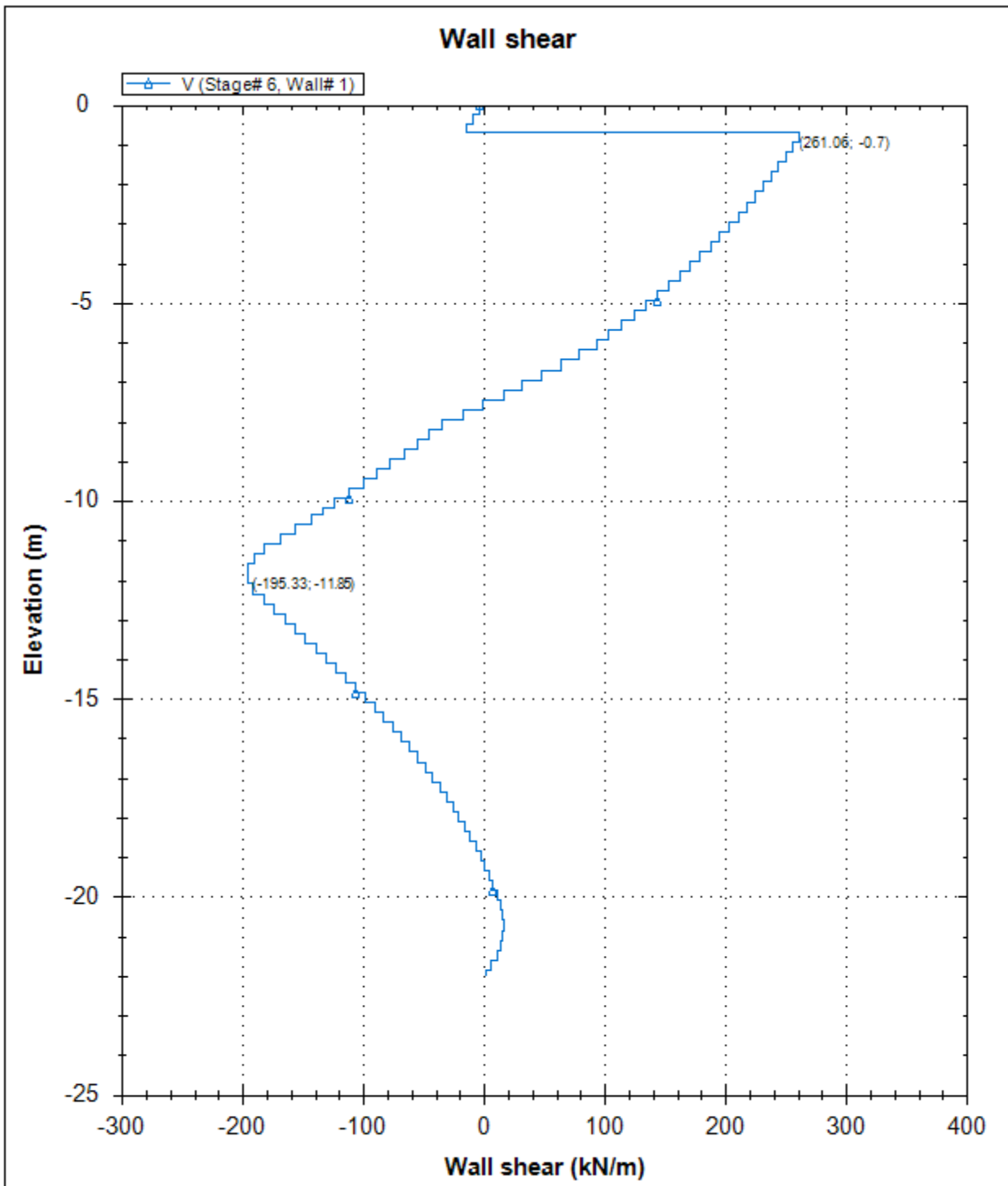






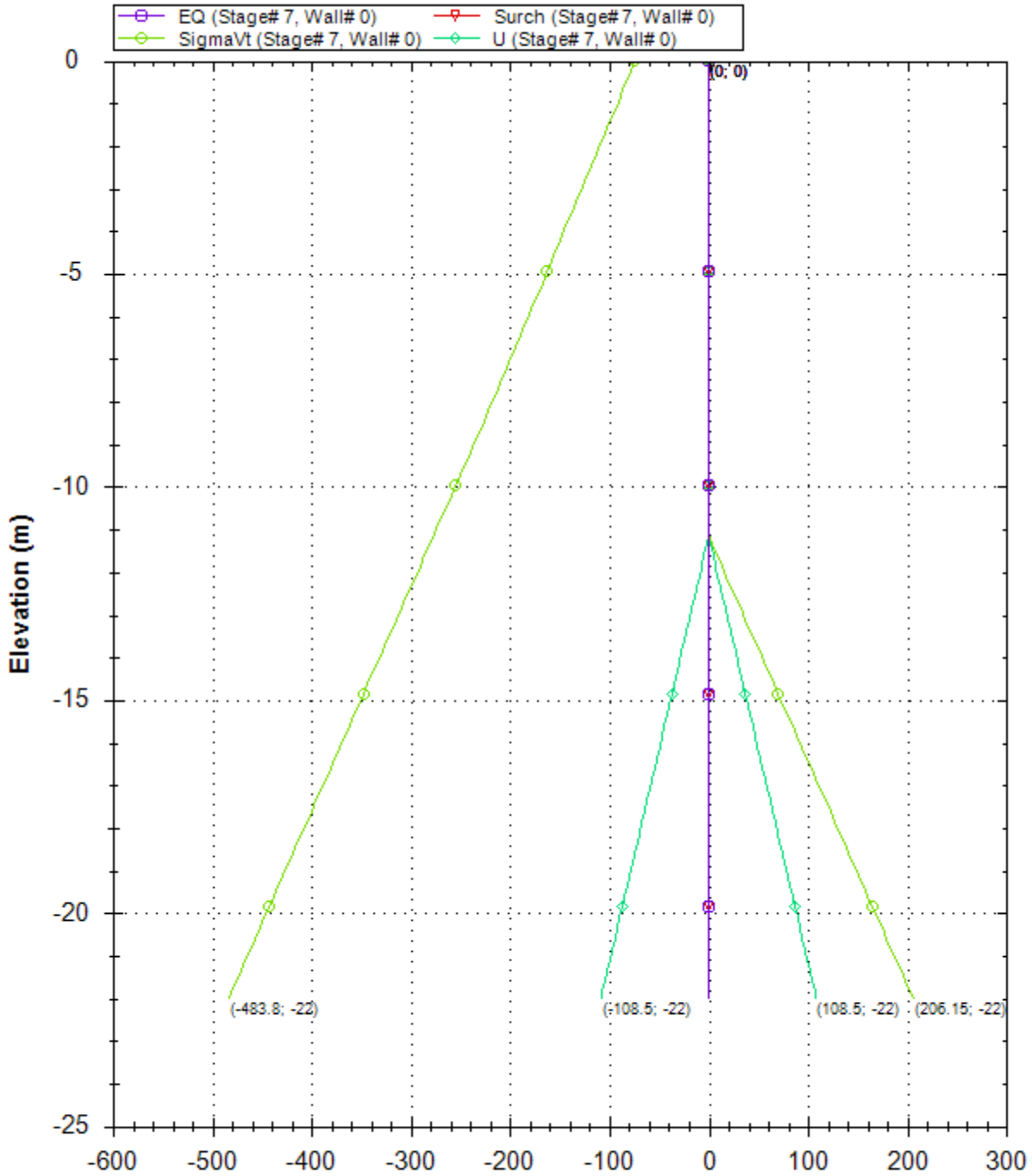






Company: My Company	DS: 0 (right wall)	CeAS srl and Deep Excavation LCC
Engineer: Engineer	Stage 6-SolettoneInferiore	Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011
F:\SW..04_sottopasso\01_paratie_scatolare\scatolare1_3.01_SLE.DEEP		7/6/2013

### Horizontal and vertical pressures (kPa)



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0 (left wall)

Stage 7-Lungo termine 1

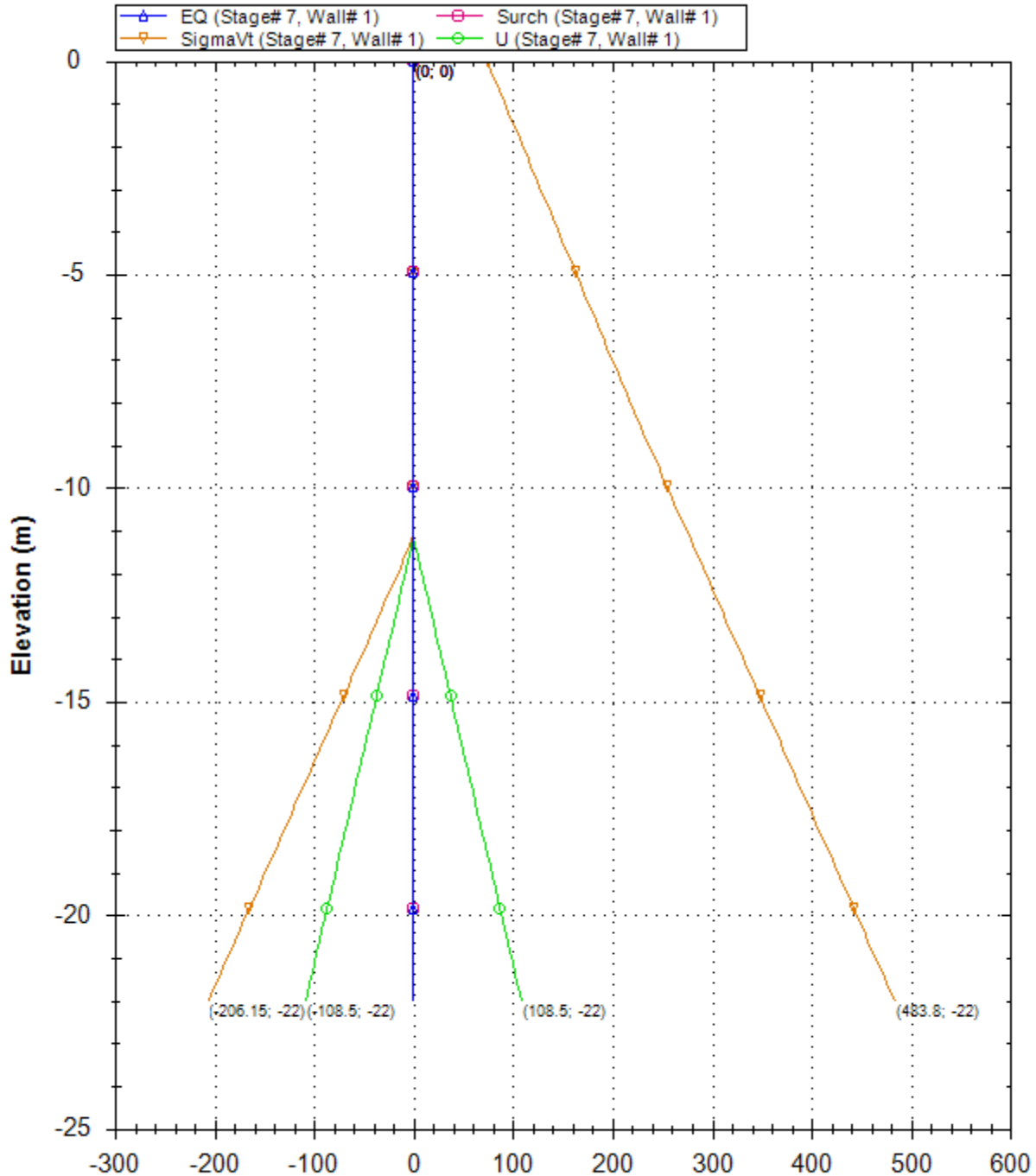
CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW..04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_3.01\_SLE.DEEP

7/6/2013

### Horizontal and vertical pressures (kPa)



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0 (right wall)  
Stage 7-Lungo termine 1

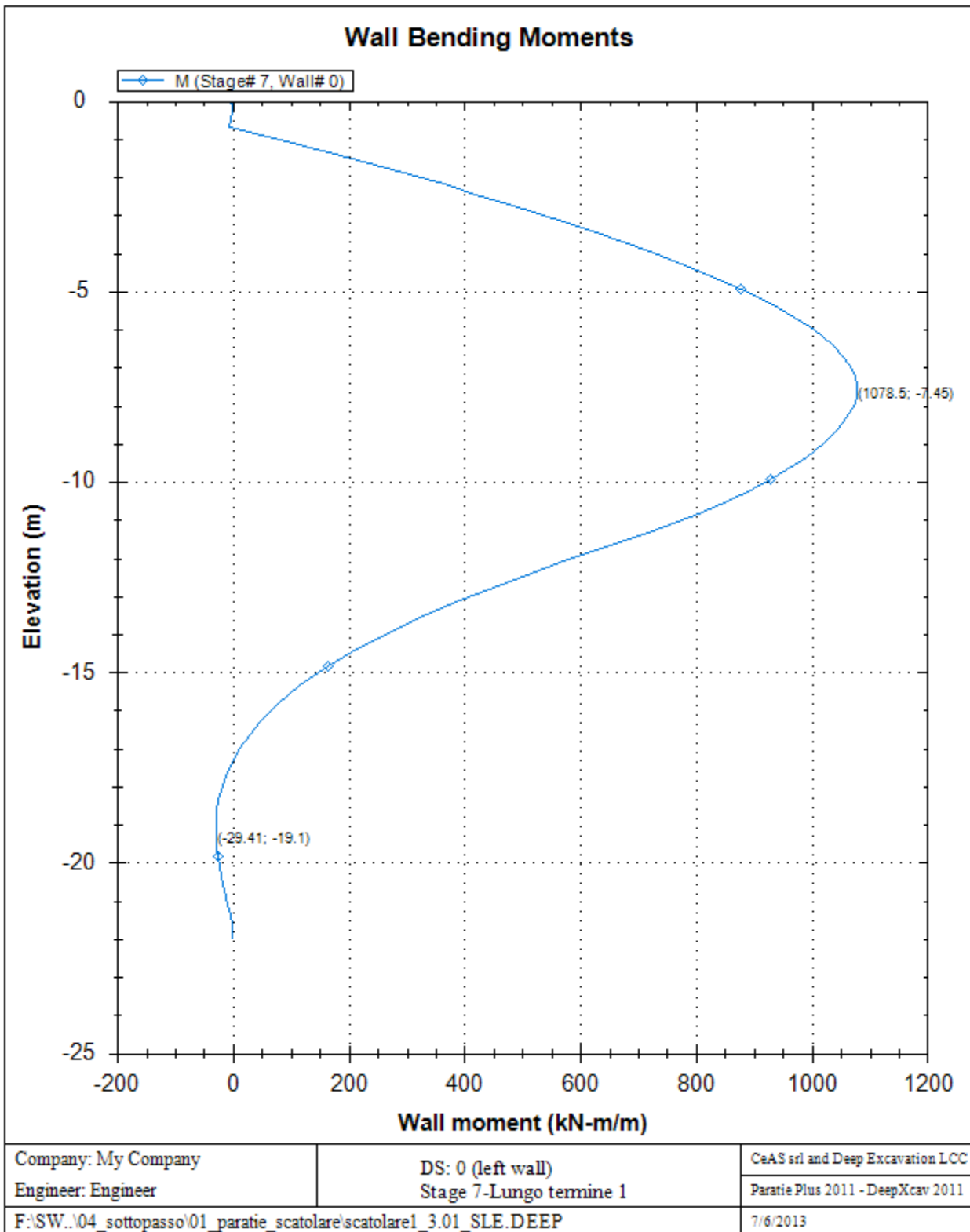
CeAS srl and Deep Excavation LCC

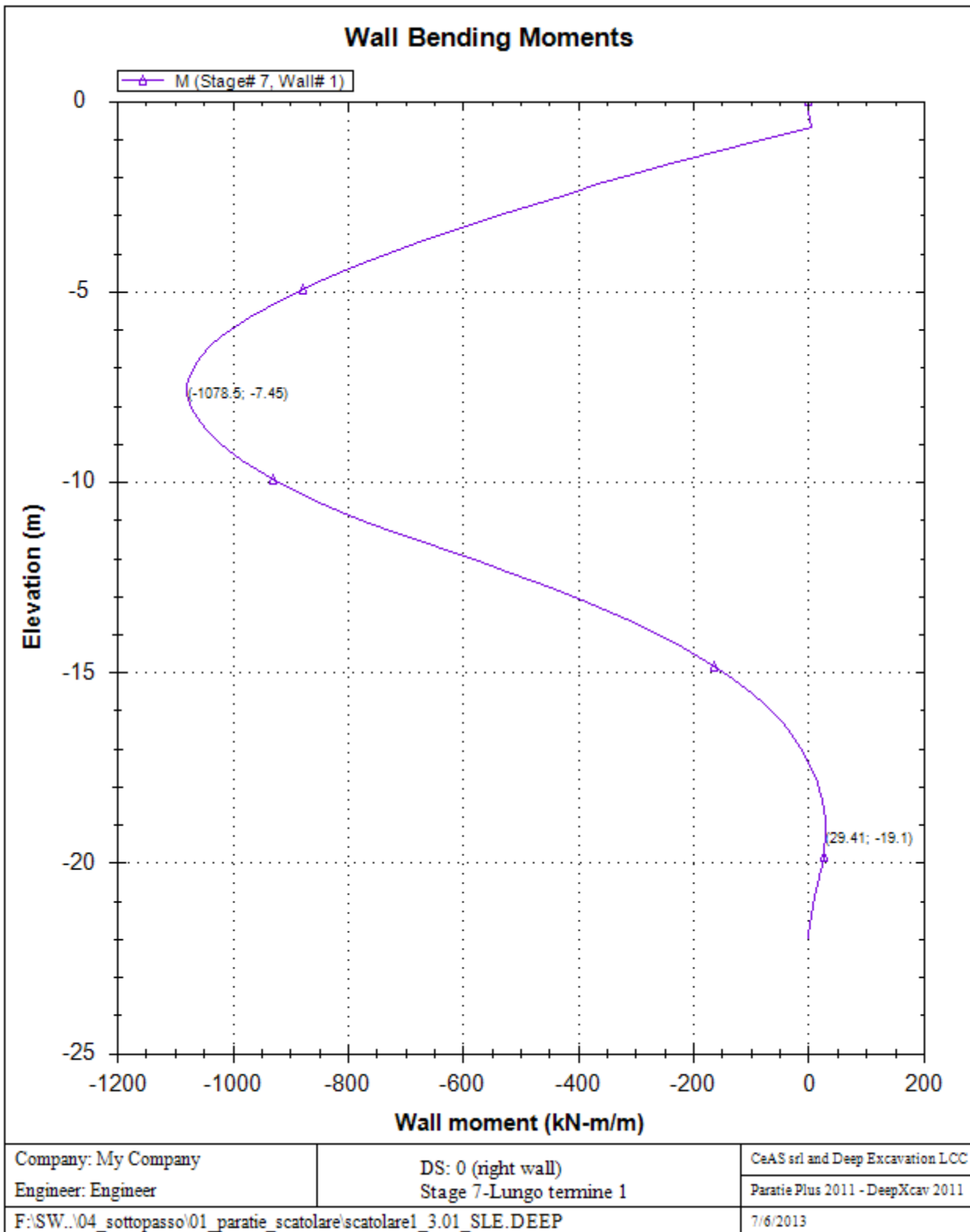
Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

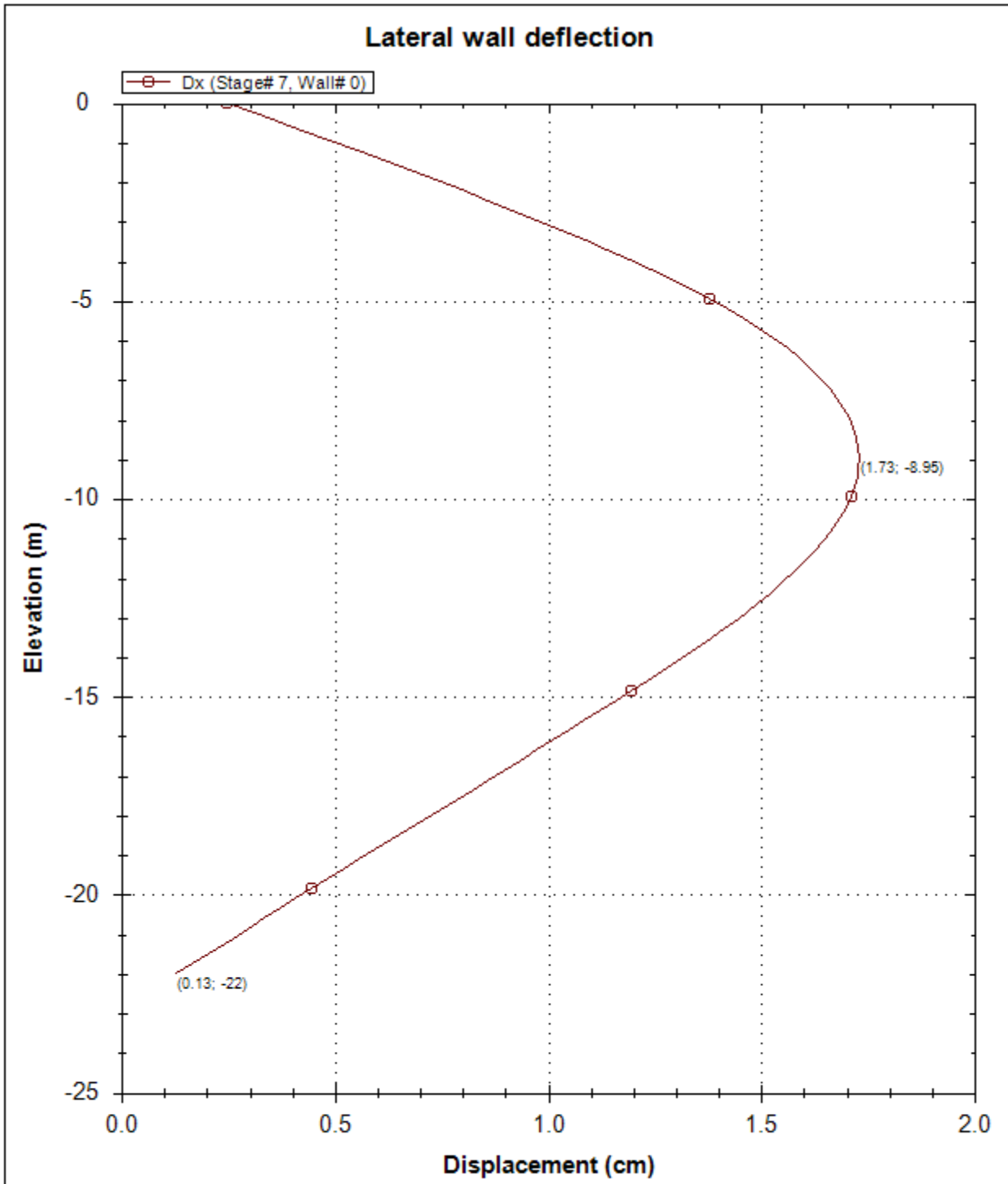
F:\SW..04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_3.01\_SLE.DEEP

7/6/2013

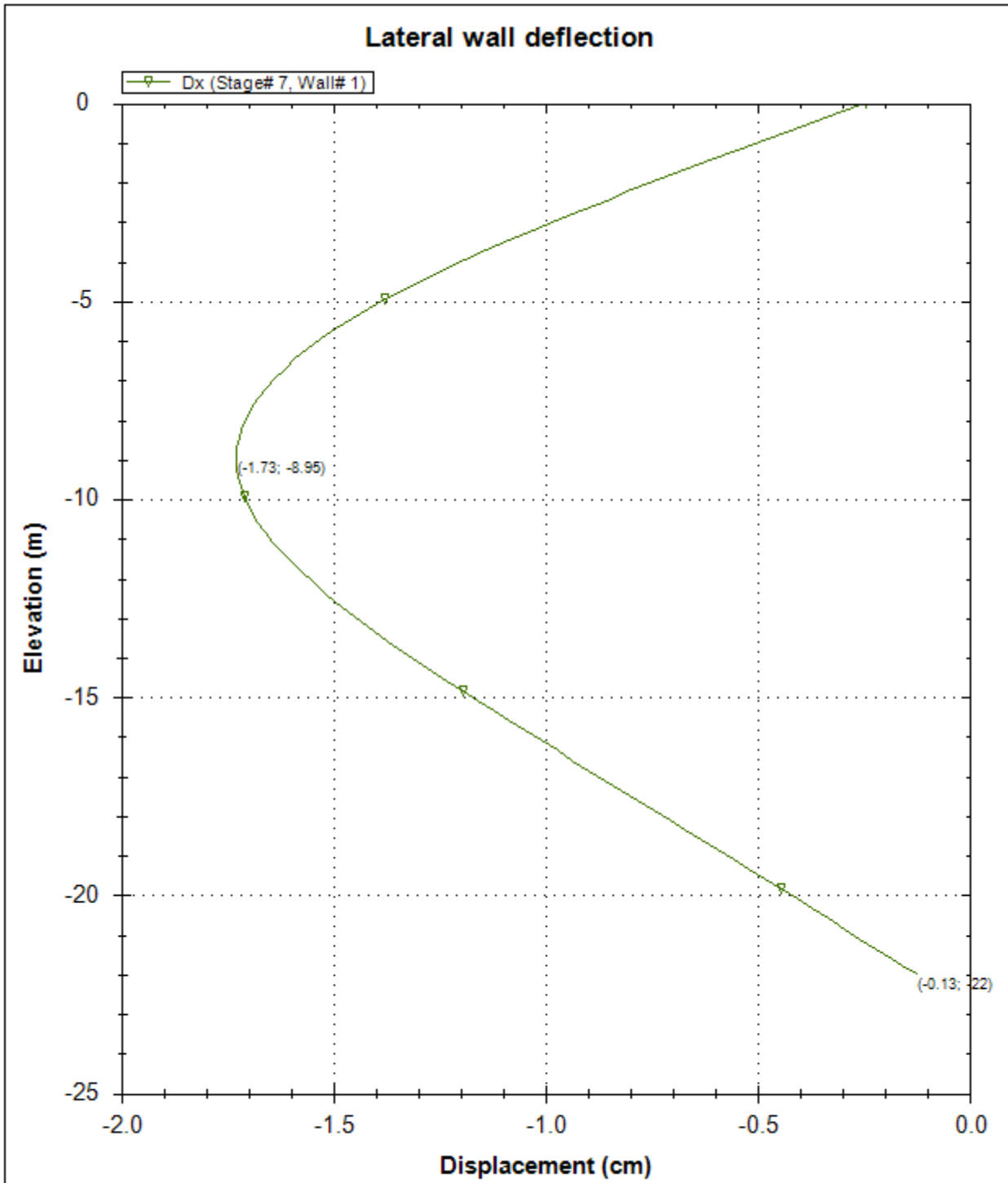








Company: My Company	DS: 0 (left wall)	CeAS srl and Deep Excavation LCC
Engineer: Engineer	Stage 7-Lungo termine 1	Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011
F:\SW..04_sottopasso\01_paratie_scatolare\scatolare1_3.01_SLE.DEEP		7/6/2013



Company: My Company

Engineer: Engineer

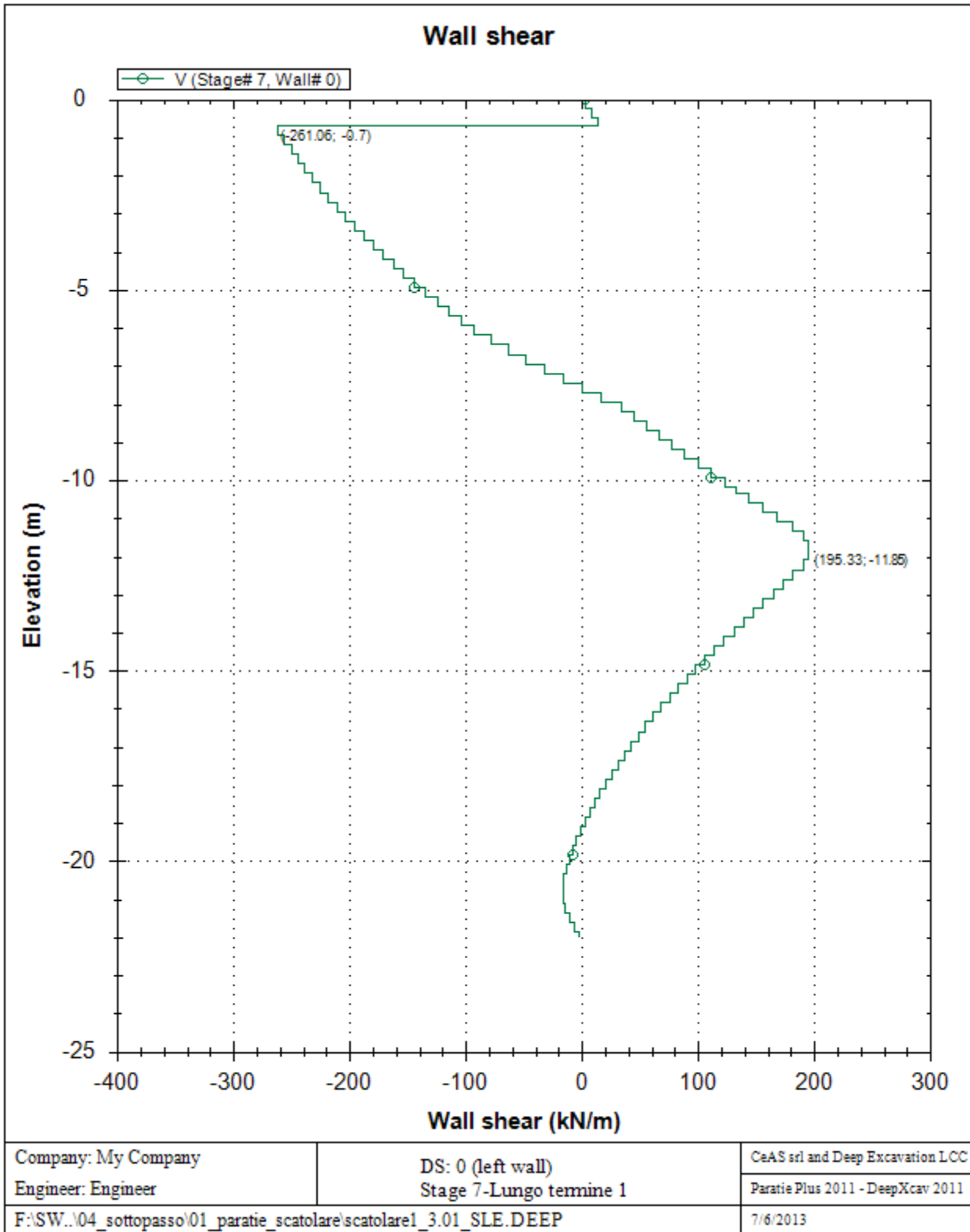
DS: 0 (right wall)  
 Stage 7-Lungo termine 1

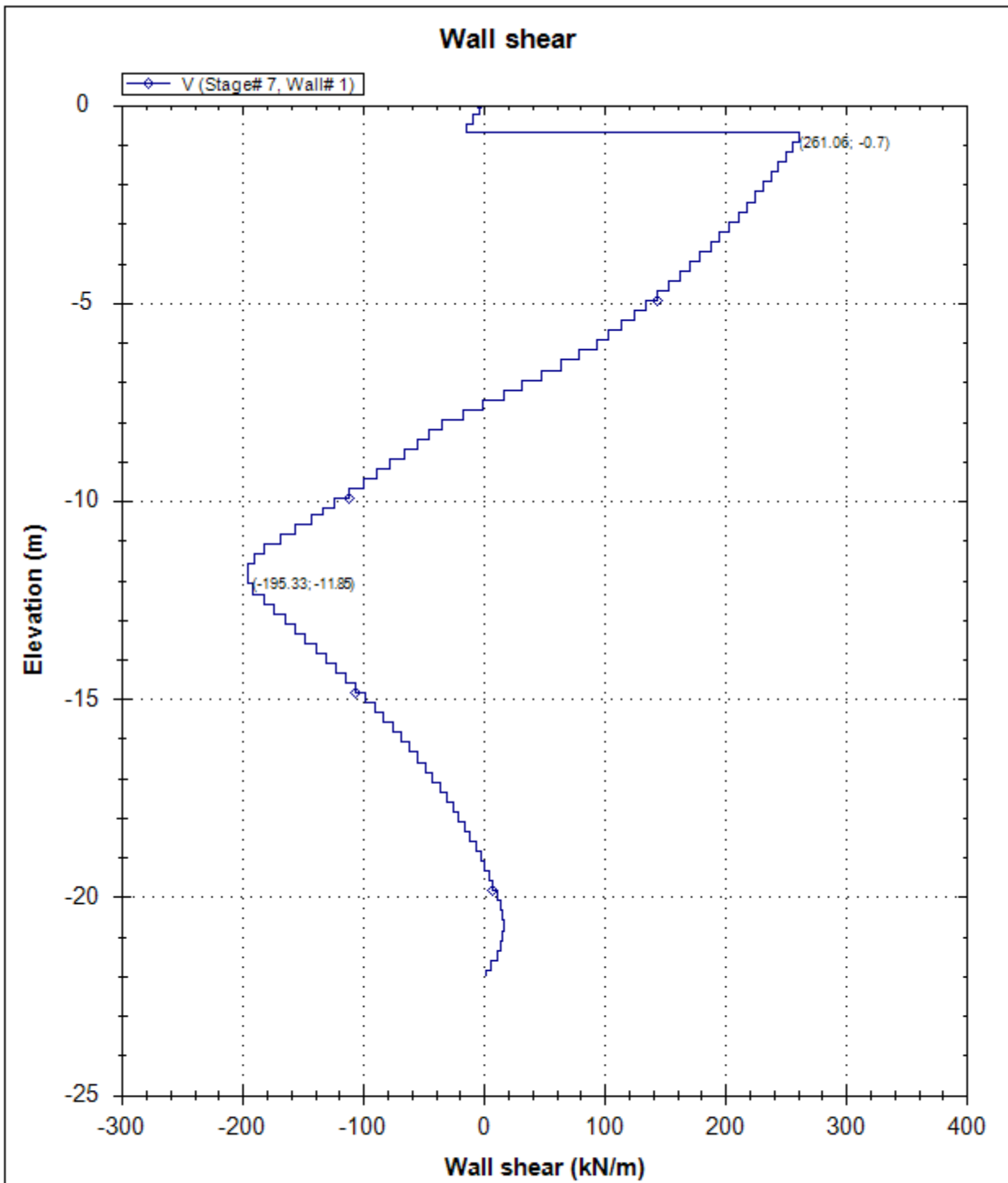
CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW..04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_3.01\_SLE.DEEP

7/6/2013





Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0 (right wall)  
 Stage 7-Lungo termine 1

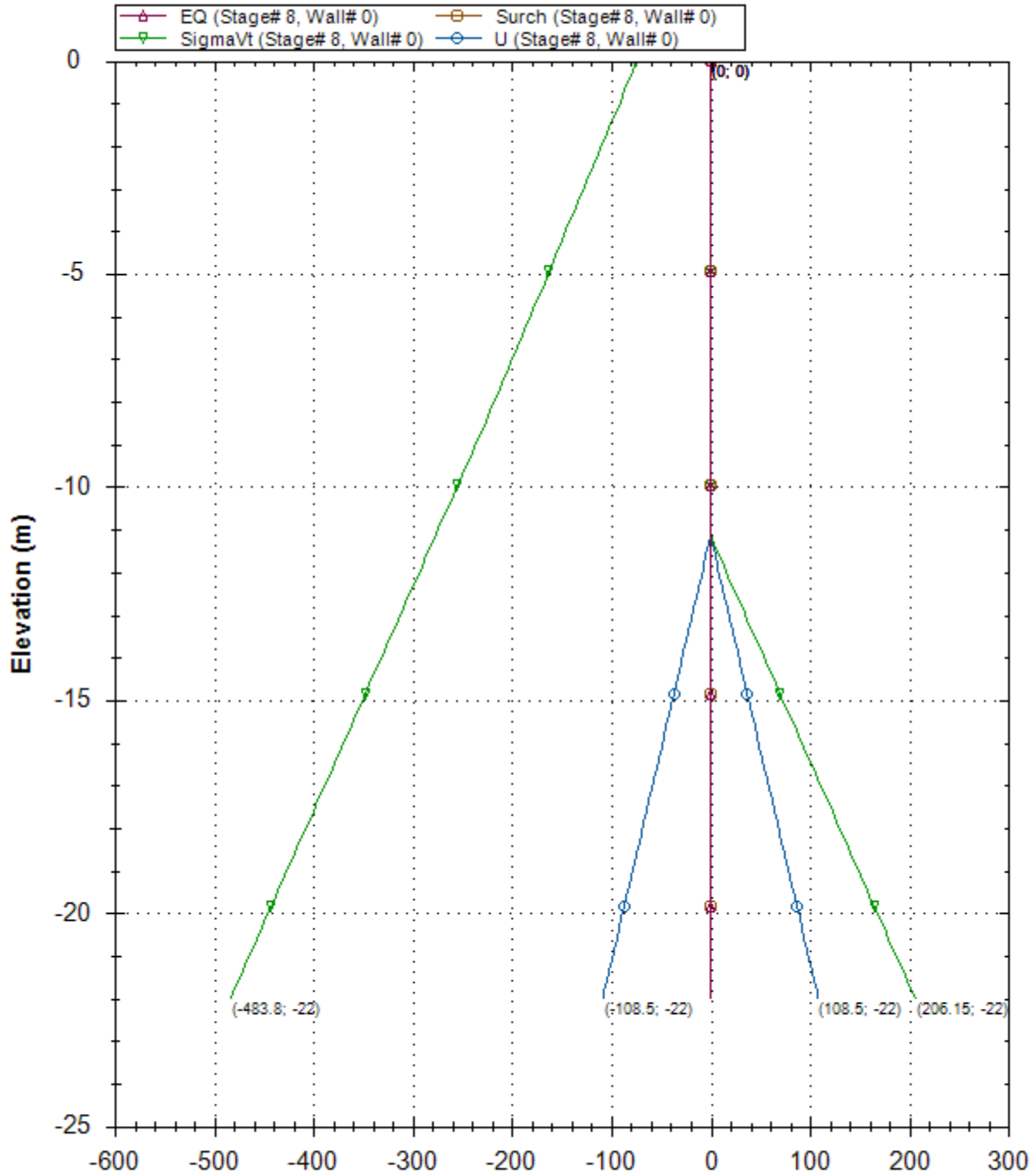
CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW..04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_3.01\_SLE.DEEP

7/6/2013

### Horizontal and vertical pressures (kPa)



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0 (left wall)  
Stage 8-Lungo Termine2

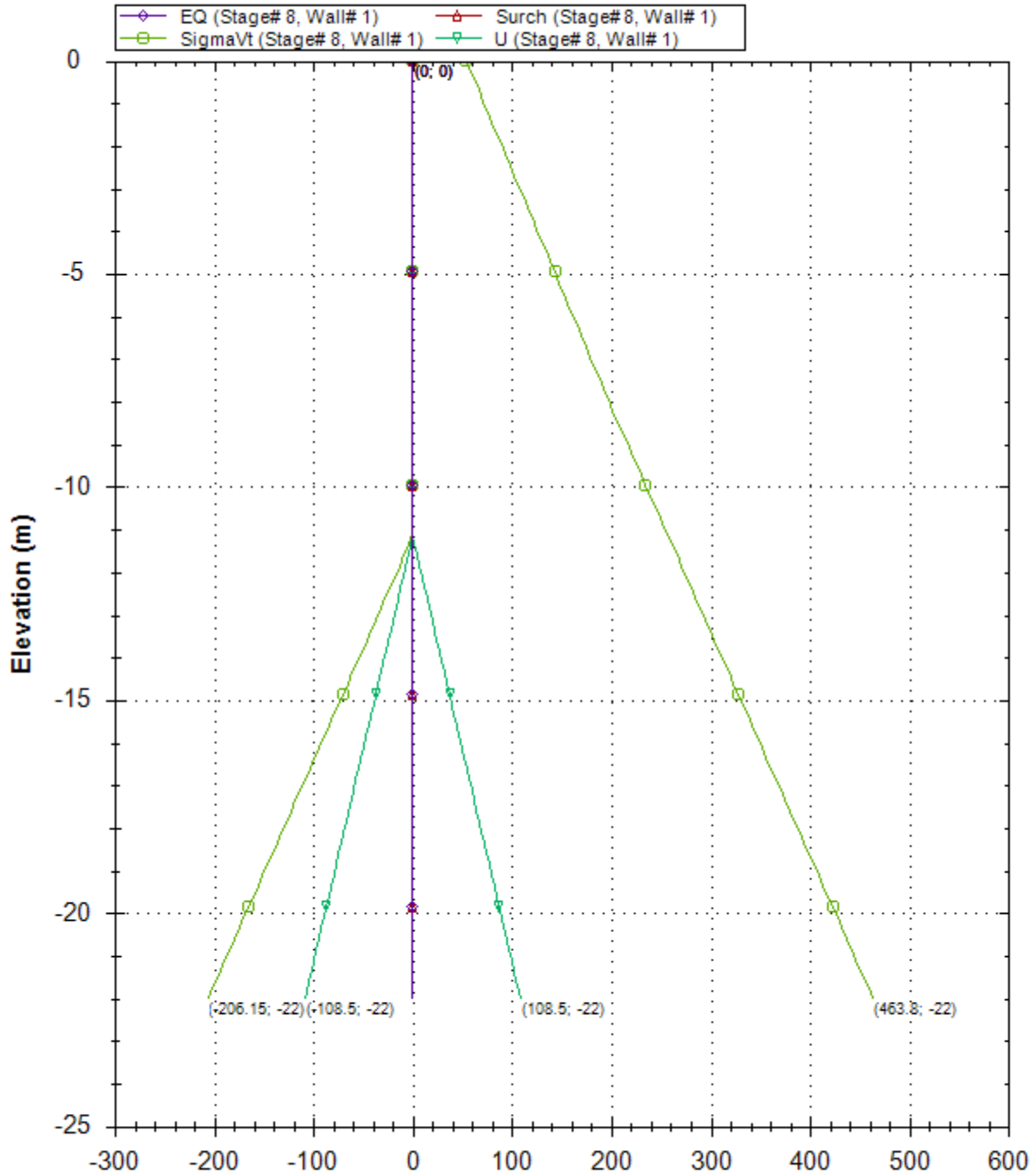
CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW...\04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_3.01\_SLE.DEEP

7/6/2013

### Horizontal and vertical pressures (kPa)



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0 (right wall)  
Stage 8-Lungo Termine2

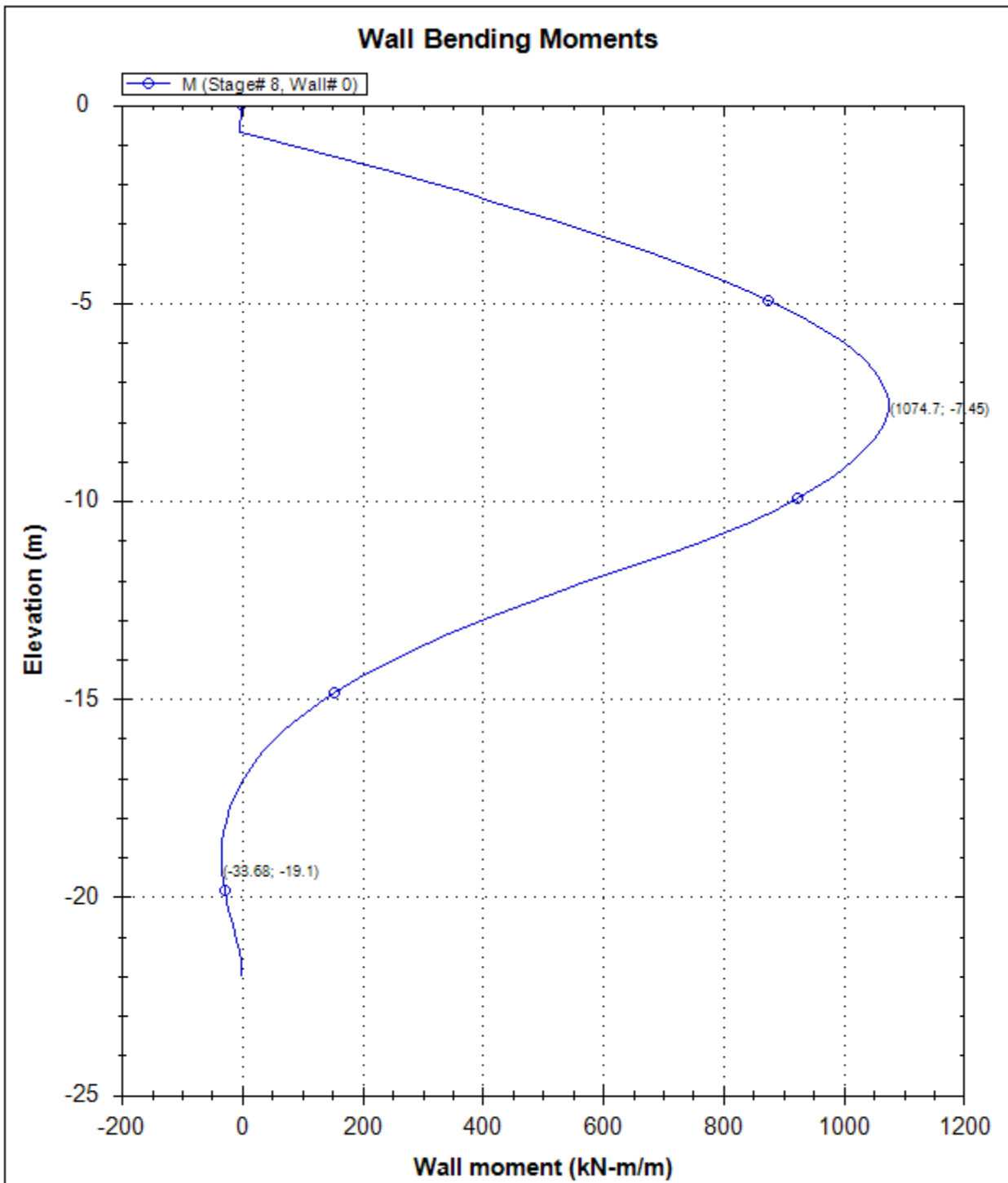
CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW..04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_3.01\_SLE.DEEP

7/6/2013





Company: My Company

Engineer: Engineer

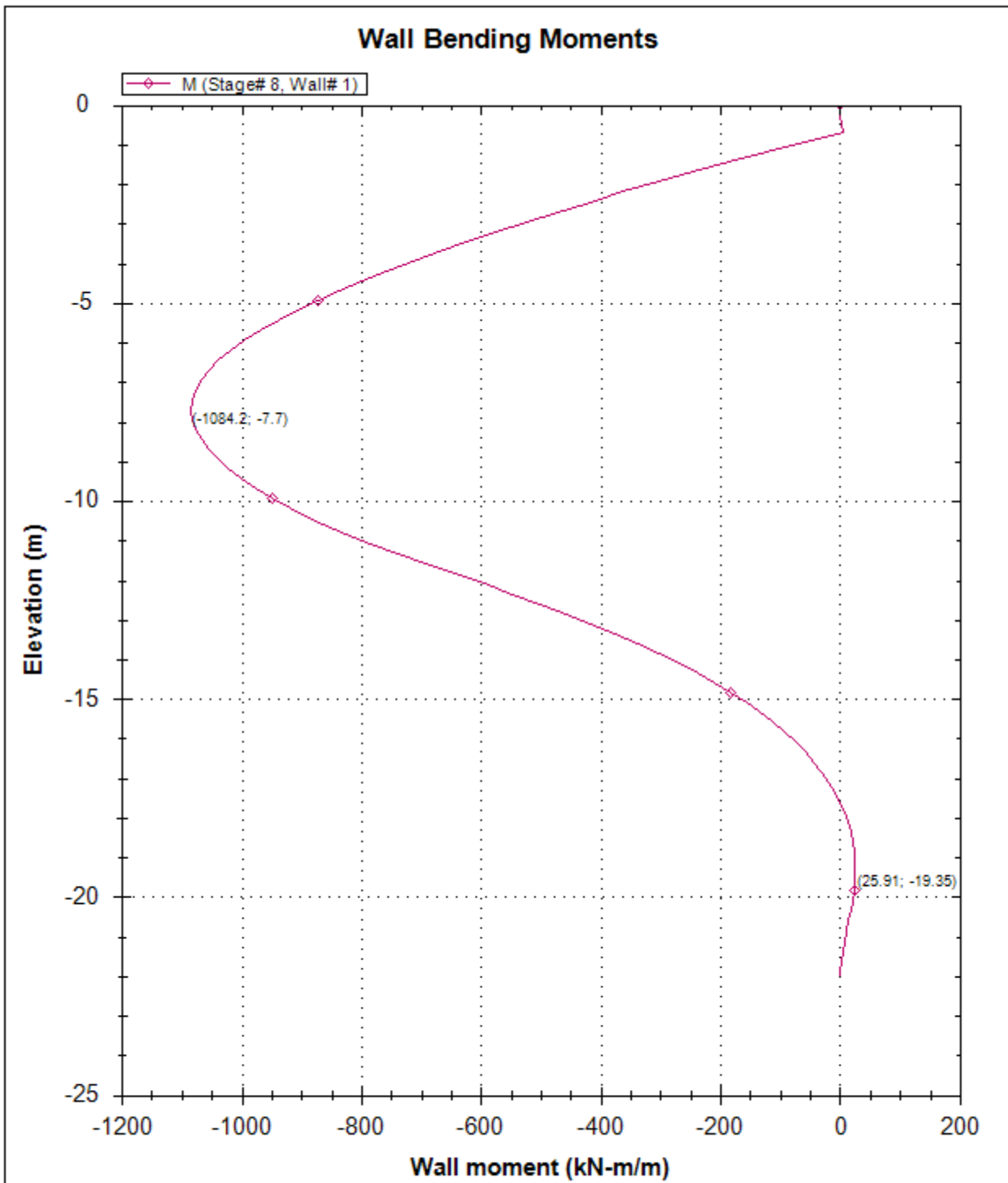
DS: 0 (left wall)  
 Stage 8-Lungo Termine2

CeAS srl and Deep Excavation LCC

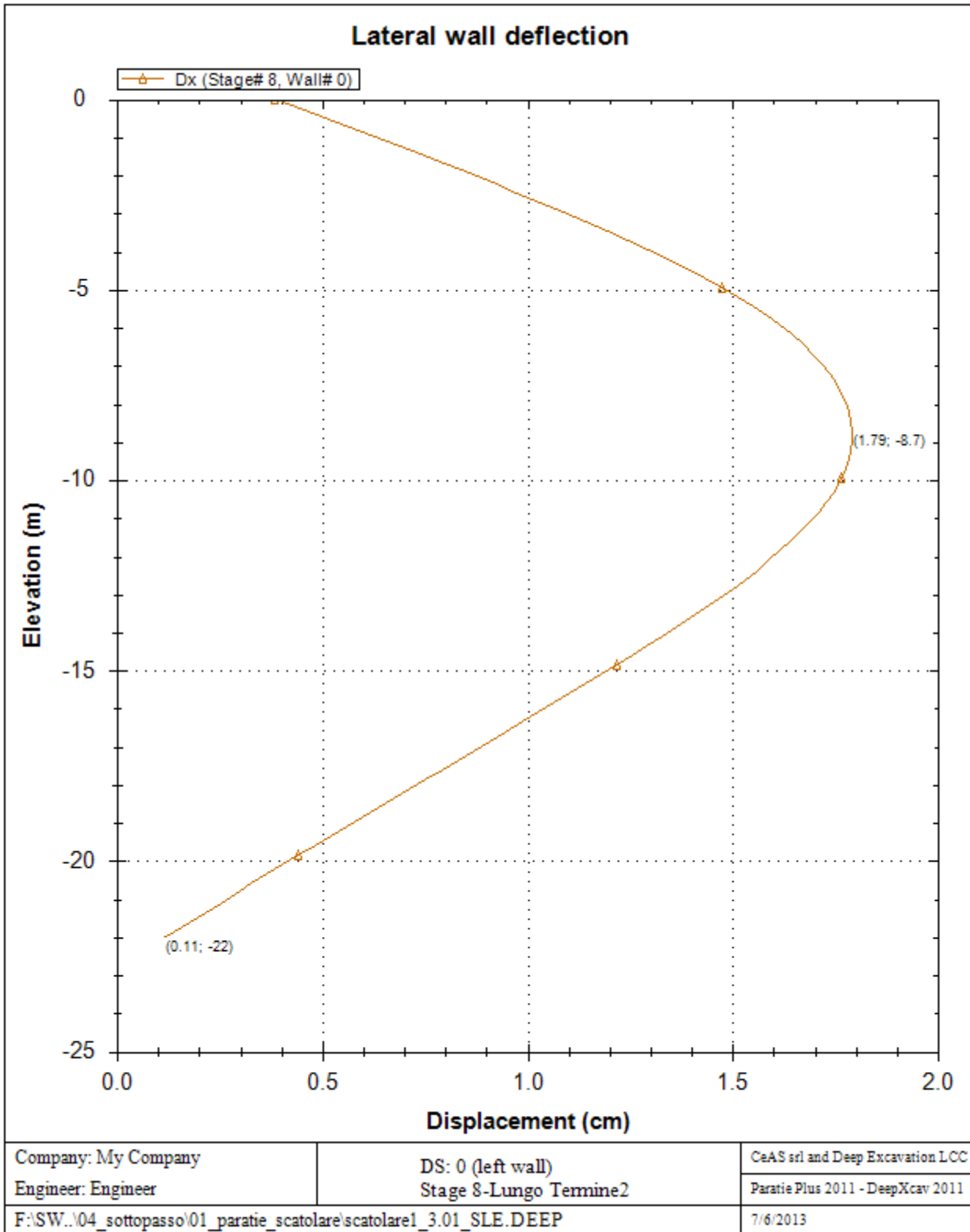
Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

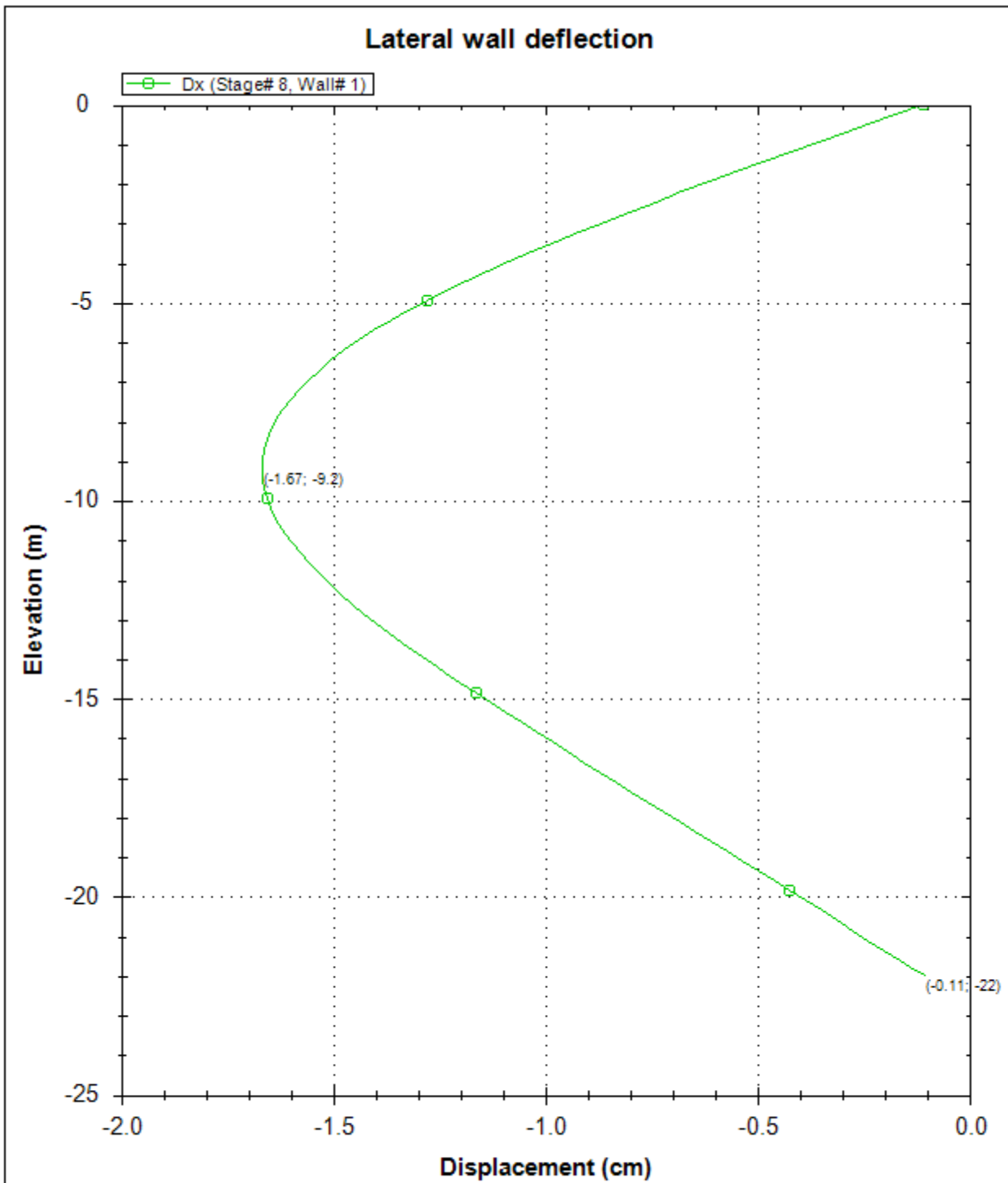
F:\SW..04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_3.01\_SLE.DEEP

7/6/2013



Company: My Company	DS: 0 (right wall)	CeAS srl and Deep Excavation LCC
Engineer: Engineer	Stage 8-Lungo Termine2	Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011
F:\SW..04_sottopasso\01_paratie_scatolare\scatolare1_3.01_SLE.DEEP		7/6/2013





Company: My Company

Engineer: Engineer

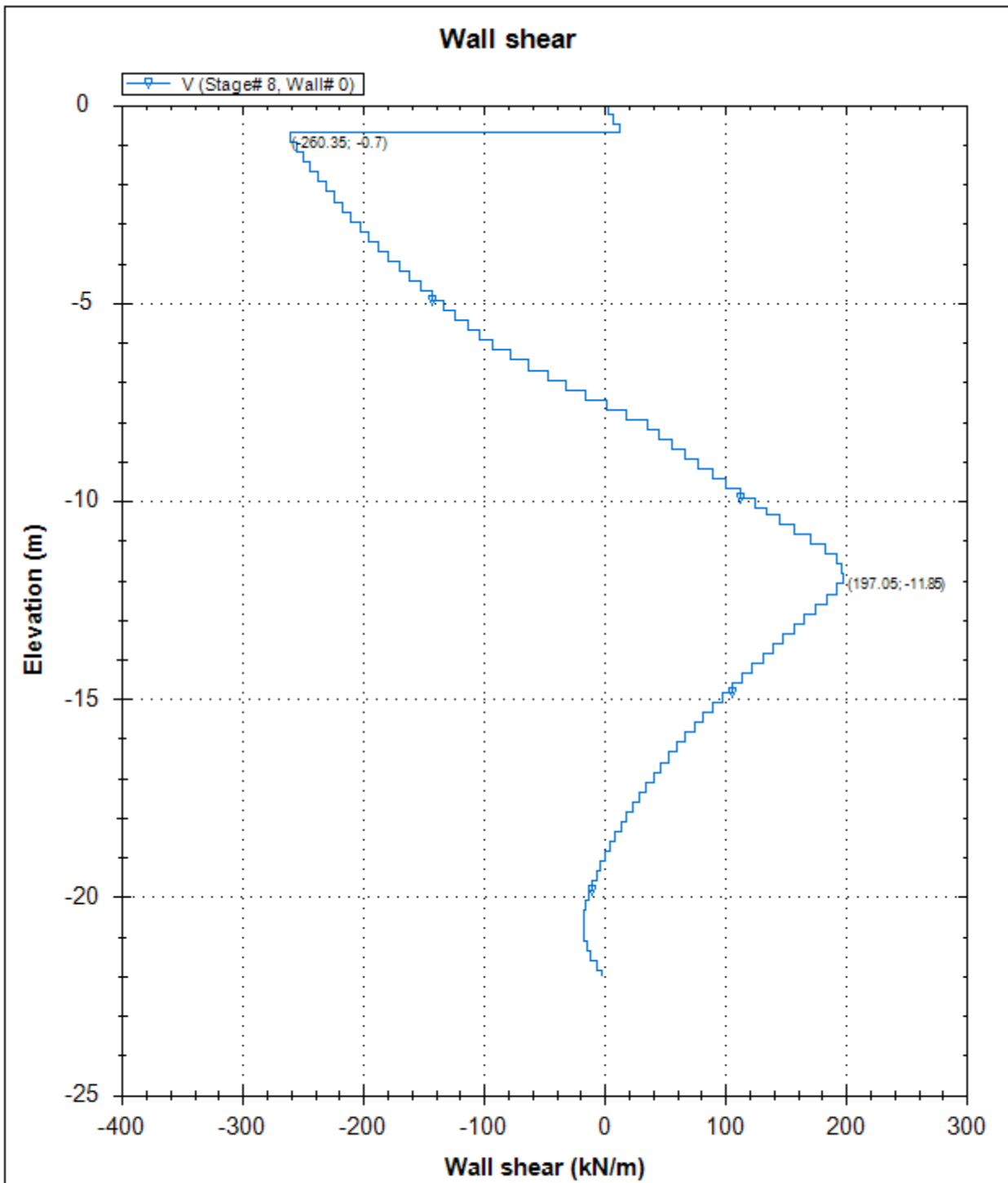
DS: 0 (right wall)  
 Stage 8-Lungo Termine2

CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW..04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_3.01\_SLE.DEEP

7/6/2013



Company: My Company

Engineer: Engineer

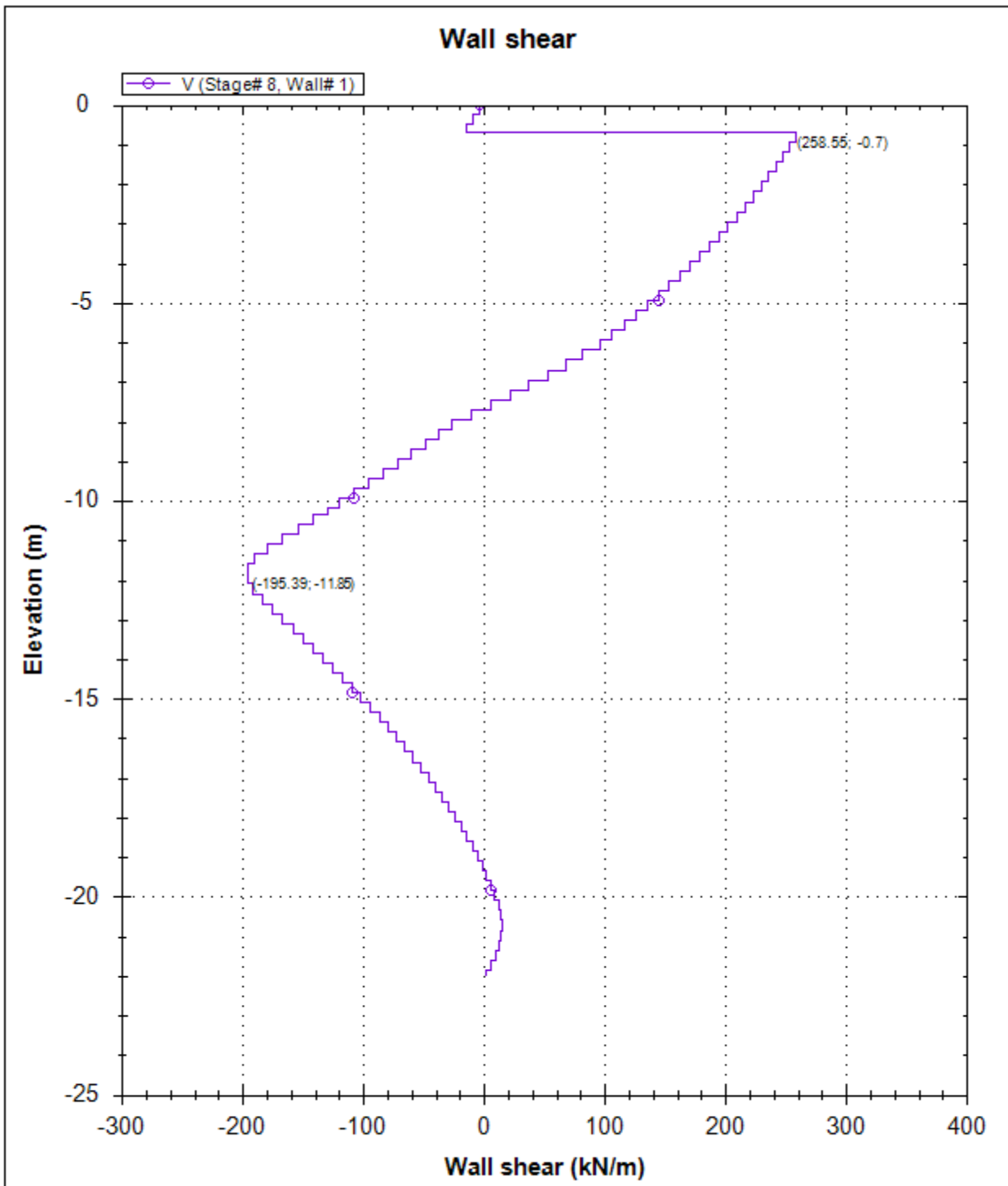
DS: 0 (left wall)  
 Stage 8-Lungo Termine2

CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

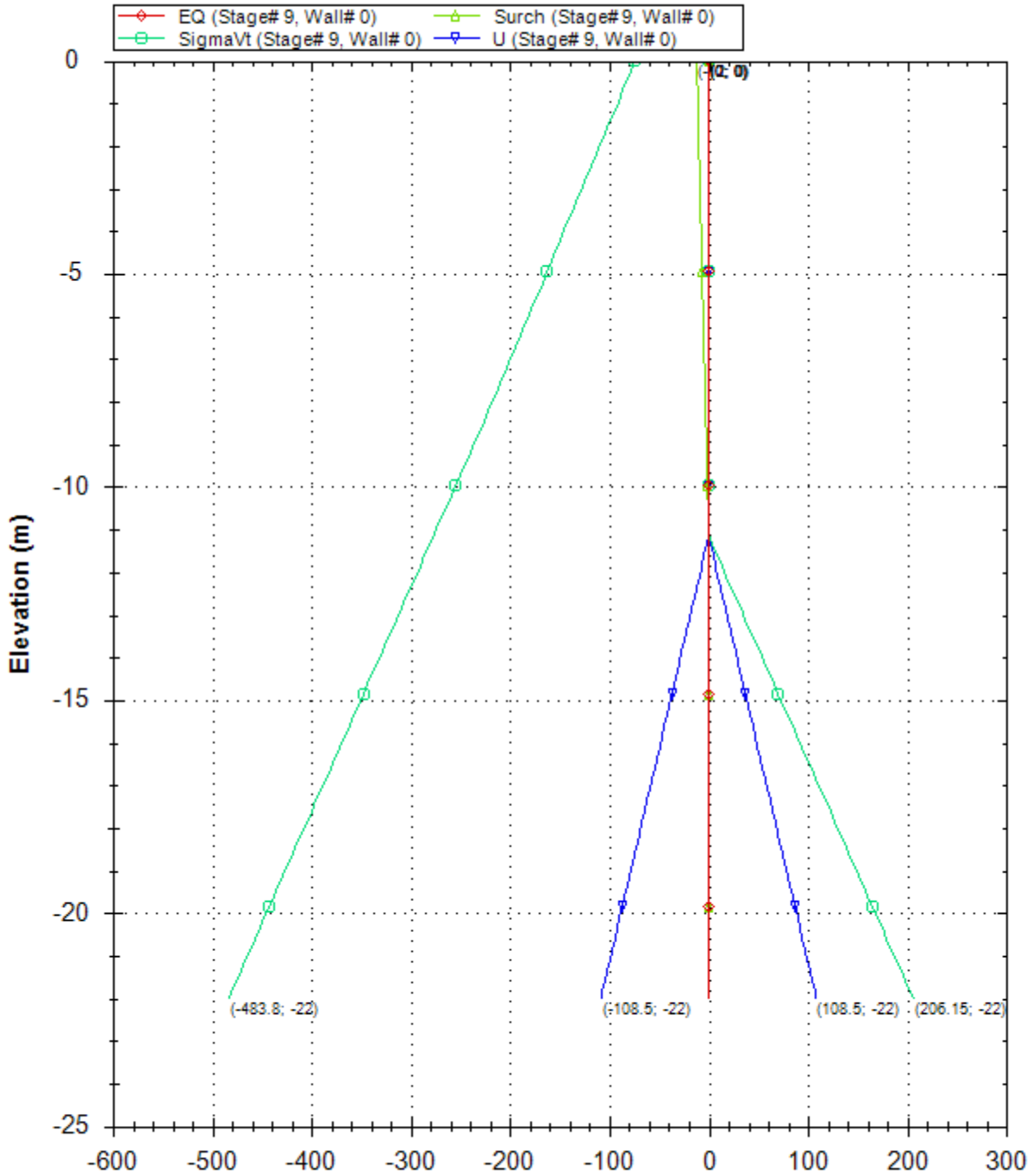
F:\SW...\04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_3.01\_SLE.DEEP

7/6/2013



Company: My Company	DS: 0 (right wall)	CeAS srl and Deep Excavation LCC
Engineer: Engineer	Stage 8-Lungo Termine2	Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011
F:\SW..04_sottopasso\01_paratie_scatolare\scatolare1_3.01_SLE.DEEP		7/6/2013

### Horizontal and vertical pressures (kPa)



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0 (left wall)

Stage 9-Sisma

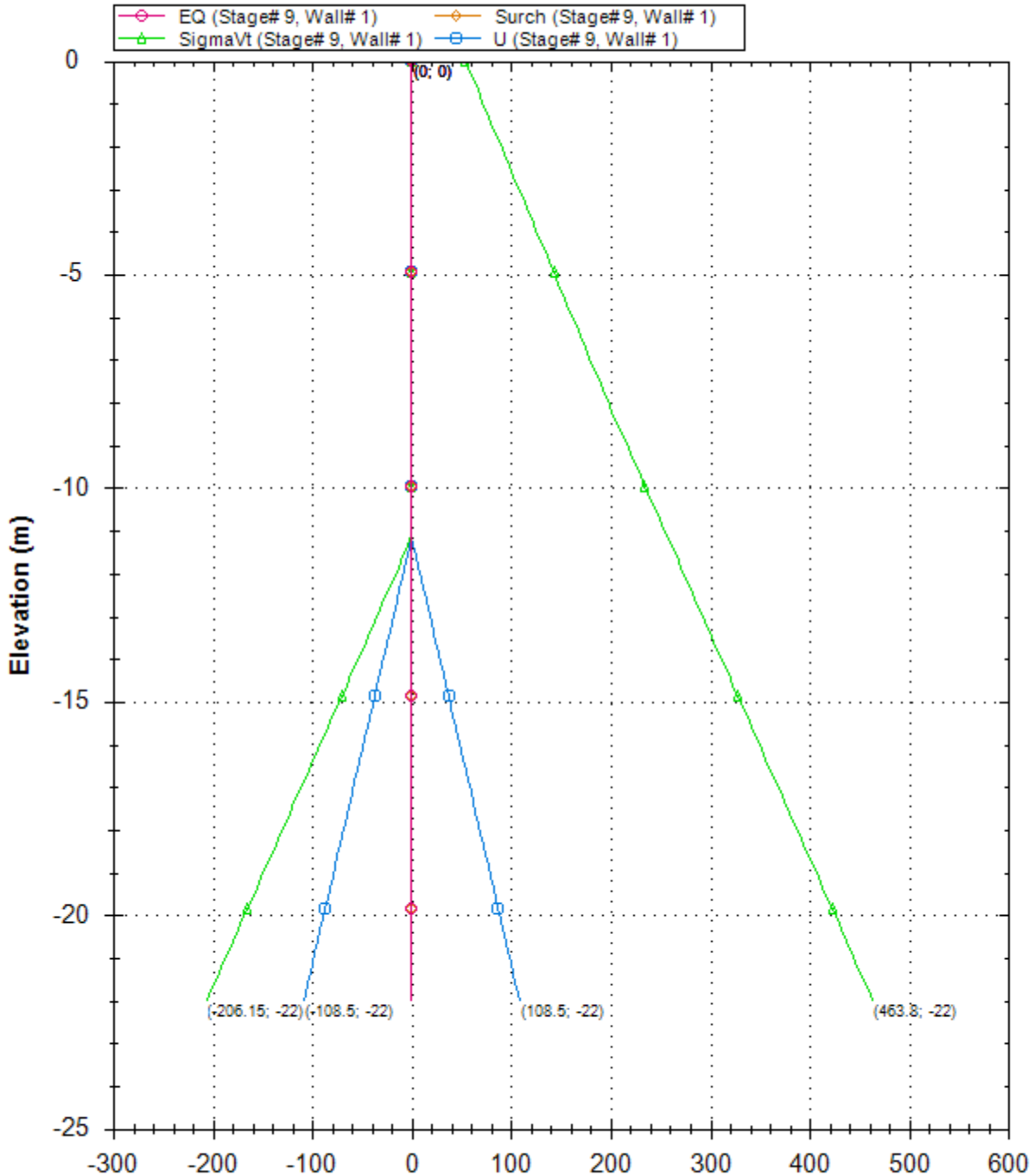
CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW..04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_3.01\_SLE.DEEP

7/6/2013

### Horizontal and vertical pressures (kPa)



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0 (right wall)

Stage 9-Sisma

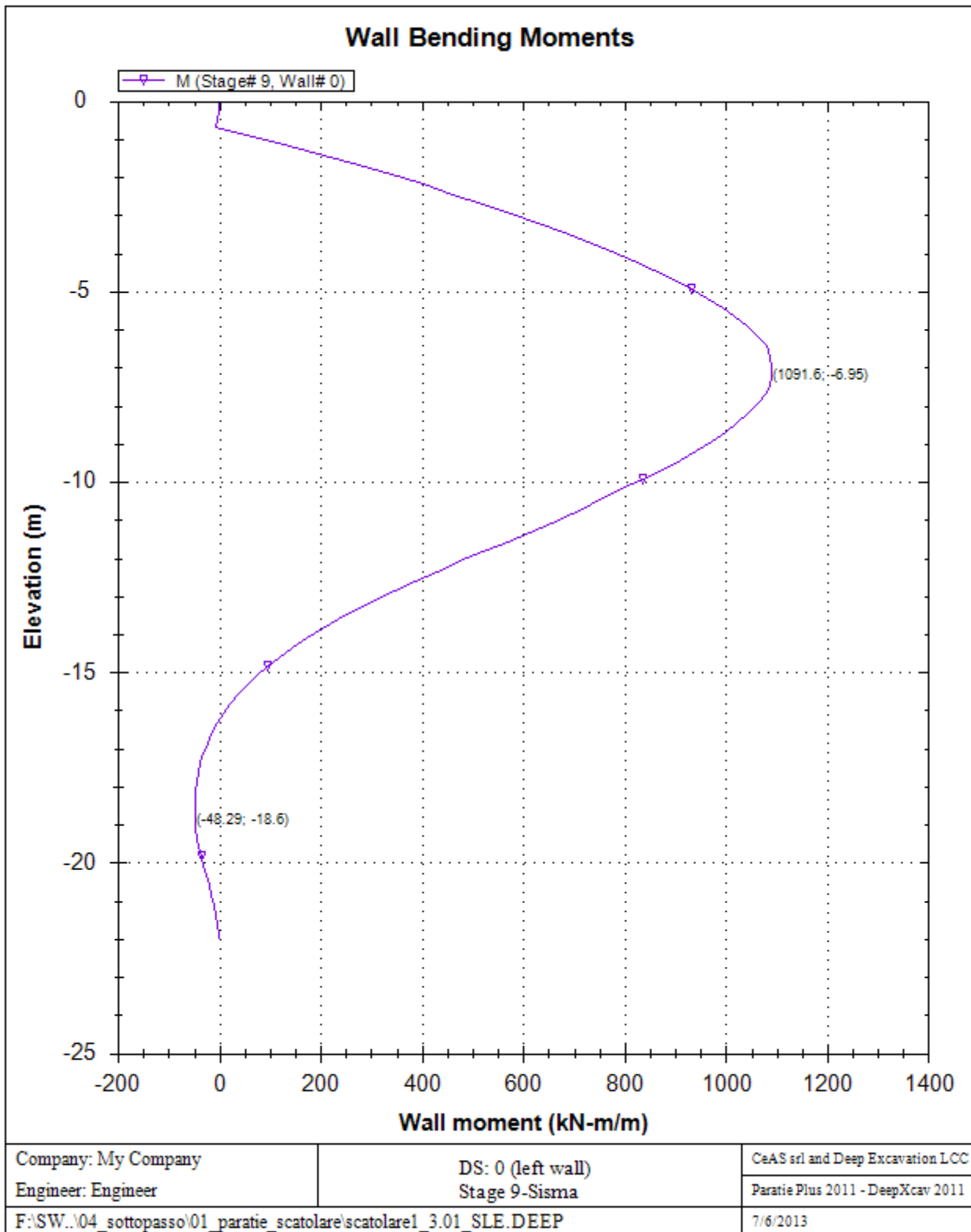
CeAS srl and Deep Excavation LCC

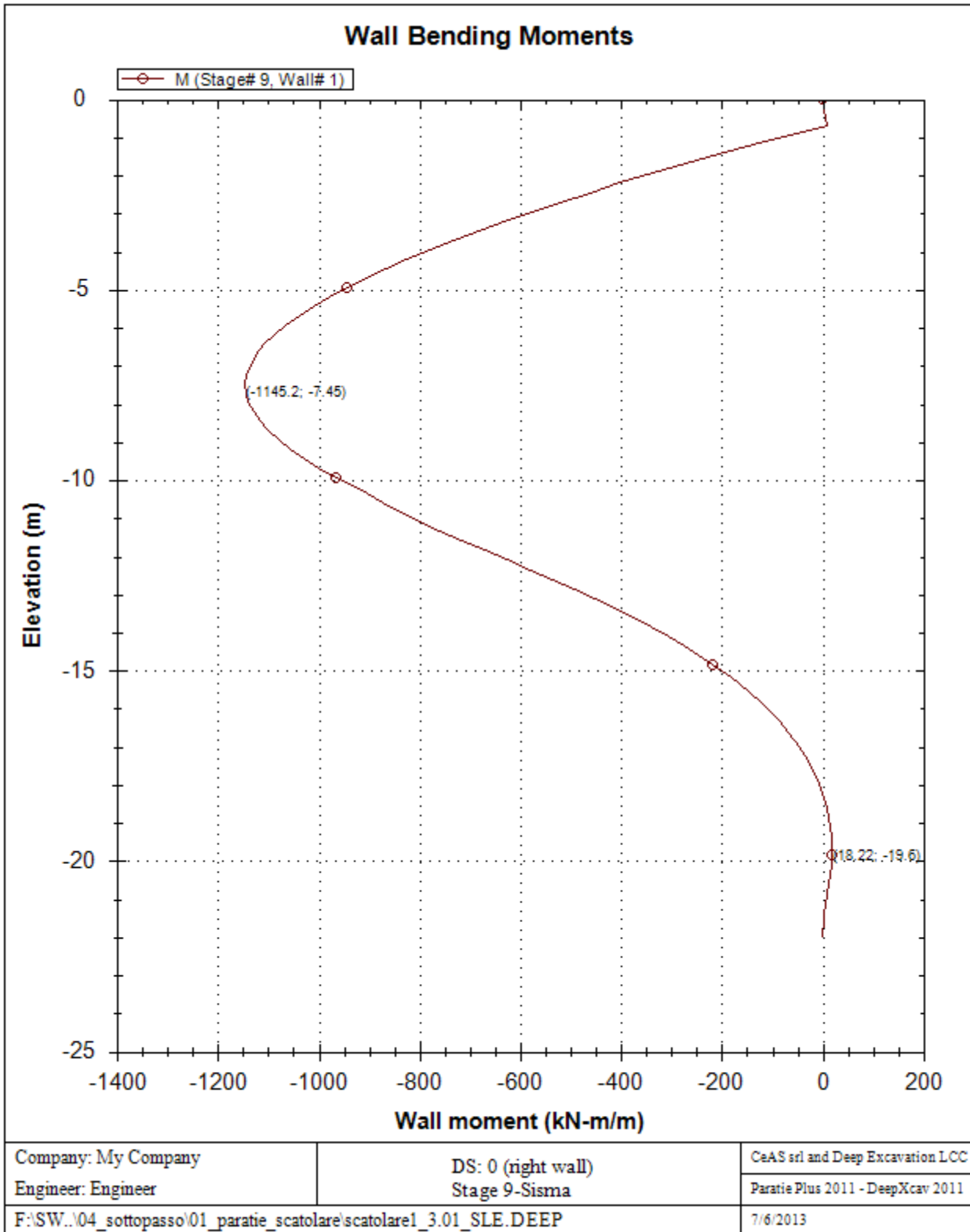
Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

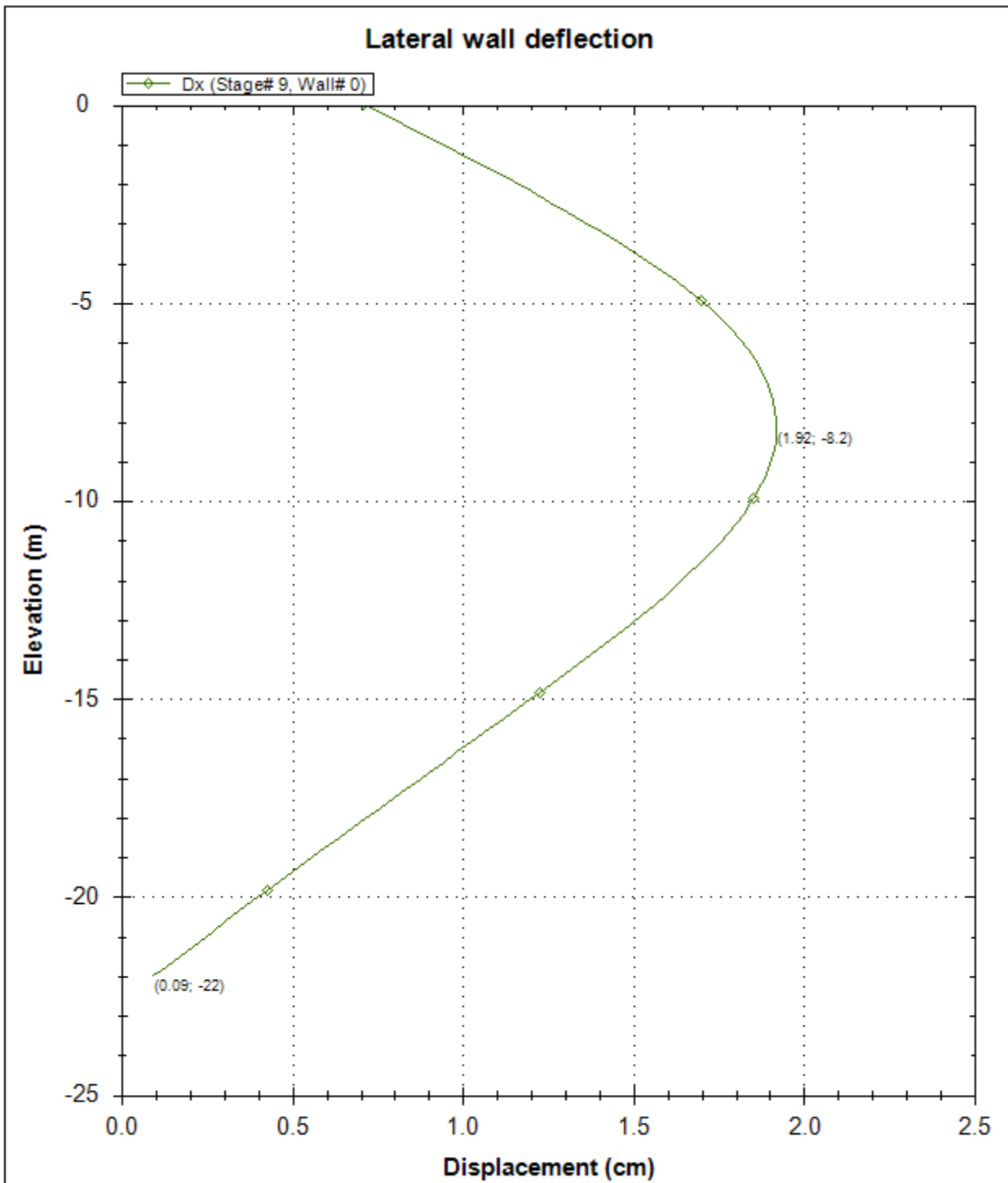
F:\SW..04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_3.01\_SLE.DEEP

7/6/2013

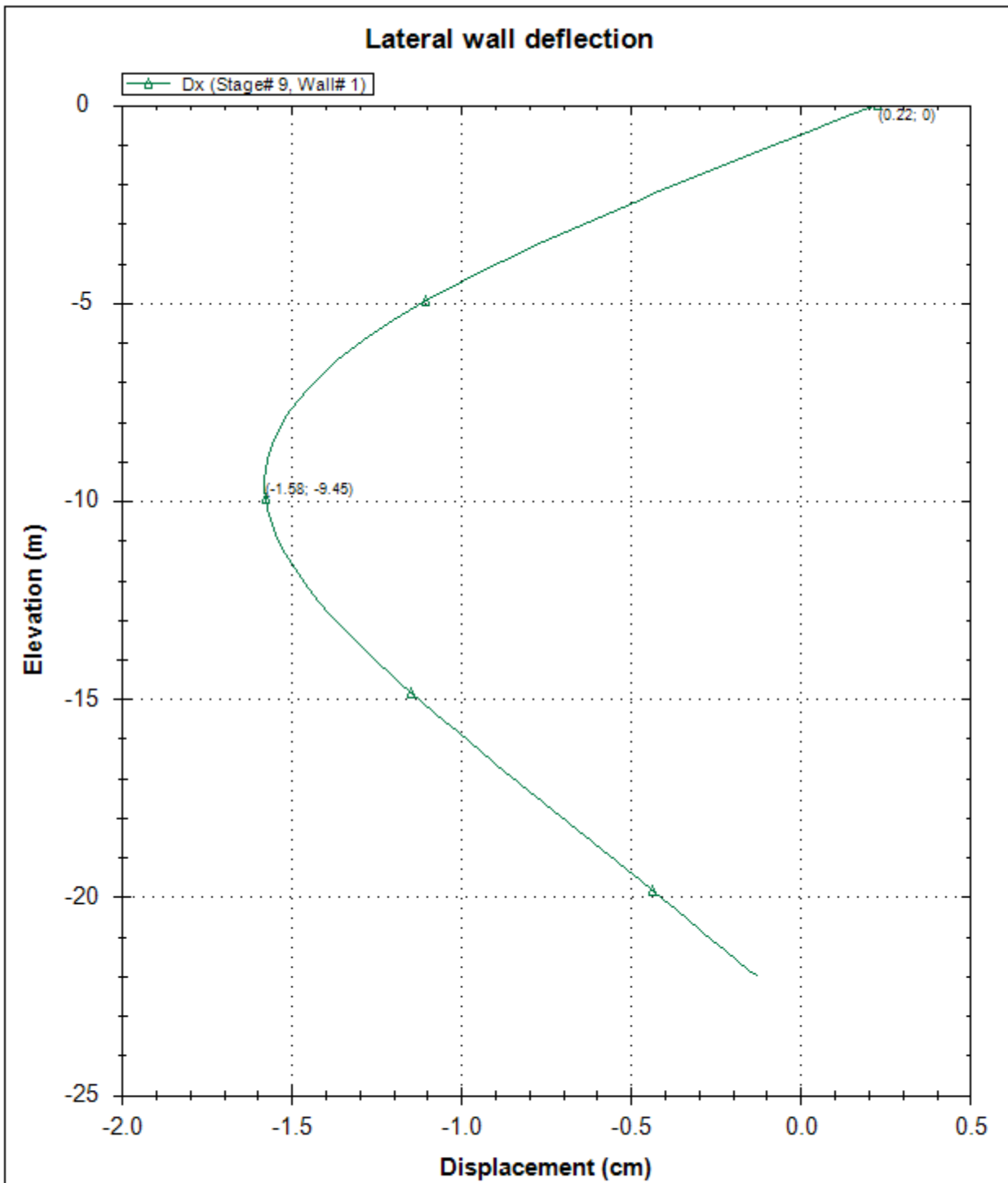








Company: My Company	DS: 0 (left wall)	CeAS srl and Deep Excavation LCC
Engineer: Engineer	Stage 9-Sisma	Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011
F:\SW...\04_sottopasso\01_paratie_scatolare\scatolare1_3.01_SLE.DEEP		7/6/2013



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0 (right wall)

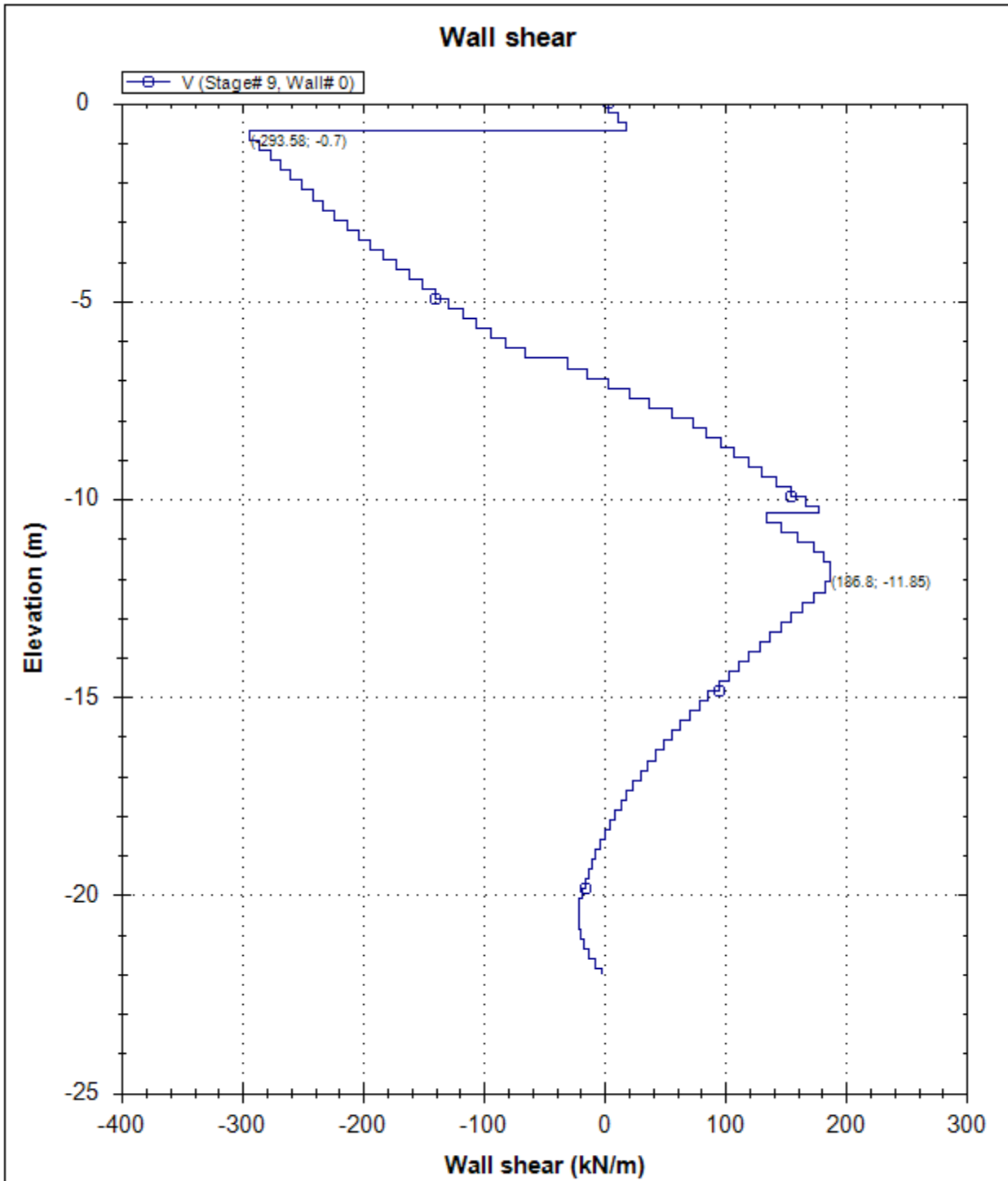
Stage 9-Sisma

CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW..04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_3.01\_SLE.DEEP

7/6/2013



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0 (left wall)

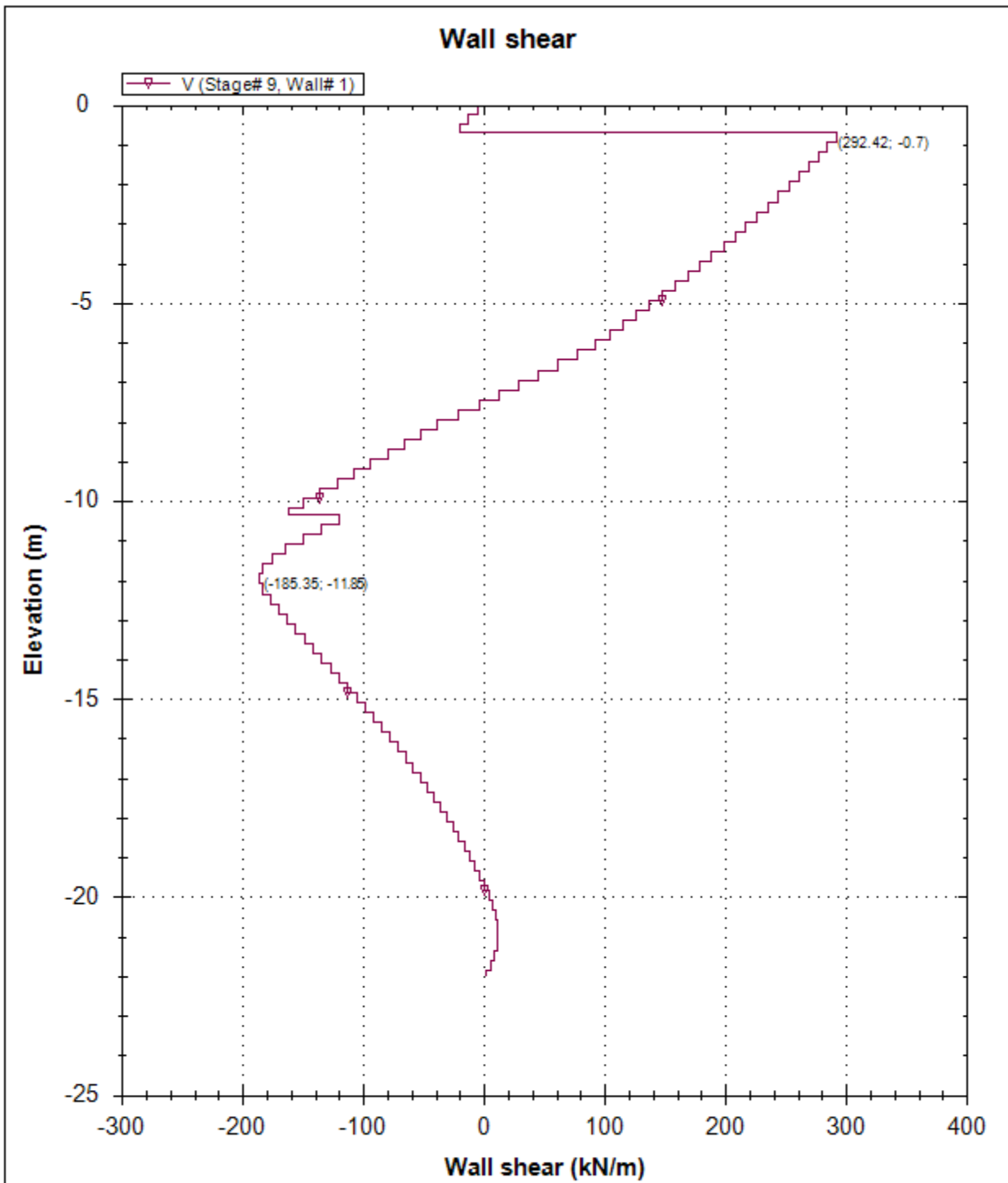
Stage 9-Sisma

CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW...\04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_3.01\_SLE.DEEP

7/6/2013



Company: My Company	DS: 0 (right wall)	CeAS srl and Deep Excavation LCC
Engineer: Engineer	Stage 9-Sisma	Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011
F:\SW...\04_sottopasso\01_paratie_scatolare\scatolare1_3.01_SLE.DEEP		7/6/2013

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-CL-GA1N-0X-001-A00 Relazione di calcolo opera c.a sottopasso
	Foglio 223 di 366

## 13. ALLEGATO 2

### ANALISI PARATIE

### SEZIONE 1 – MODELLO 2

## *DeepXcav 2012: Report Output*

Copyright@2009 - 2012 Deep Excavation LLC: www.deepexcavation.com A program for the evaluation of deep excavations Deep Excavation LLC, Astoria, New York, www.deepexcavation.com Ce.A.S , Centro di Analisi Strutturale, viale Giustiniano 10, 20129 Milano . www.ceas.it.

Project: My Project

Company: My Company  
 Prepared by engineer: Engineer  
 File number: 1  
 Time: 7/6/2013 9:09:28 AM

THIS PROGRAM IS PROTECTED BY U.S. COPYRIGHT LAWS AS DESCRIBED IN THE EULA. UNAUTHORIZED COPYING IS PROHIBITED. LICENSED TO: Deep Excavation LLC BY DEEP EXCAVATION LLC UNDER SPECIFIC LICENCE. This report has printed because the user has accepted responsibility as described in the disclaimer and EULA  
 File: F:\SWS\035\_Cociv\01\_lavoro\04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_2.01\_SLE.DEEP

### STRUCTURAL MATERIALS DATA

---

#### Steel

Name	Strength Fy (MPa)	Fu (MPa)	Elastic E (MPa)	Density g (kN/m3)
Fe360	235.2	360	206000.2	77.0046
Fe510	355.2	509.7	206000.2	77.0046
A36	248.3	400	200100	77.0046
A50	344.8	500	200100	77.0046
New steel 4	241.4	413.8	206000.2	77.0046

#### Concrete

Name	Strength Fc' (MPa)	Elastic E (MPa)	Density g (kN/m3)	Tension Strength Ft (MPa)

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-CL-GA1N-0X-001-A00 Relazione di calcolo opera c.a sottopasso
	Foglio 224 di 366

C20/25	20	29961.9	25.0029	10
C25/30	24.8	31200	25.0029	10
C28/35	28	32308	25	10
C32/40	32	33346	25	10

#### Steel rebar

Name	Strength Fy (MPa)	Elastic E (MPa)
Grade 60	413.8	200100
Grade 75	517.2	200100
Grade 80	551.7	200100
Grade 150	1034.5	200100
Strands 270 ksi	1862.1	200100
S410	409.7	210000.1
S500	500	210000.1
B450C	449.7	210000.1

#### Wood

Name	Ultimate Bending Strength Fbu (MPa)	Ultimate Tensile Strength Ft <sub>u</sub> (MPa)	Ultimate Shear Strength Fv <sub>u</sub> (MPa)	Density g (kN/m <sup>3</sup> )	Elastic E (MPa)
Construction Timber	11	9.7	5.5	7.8576	6900
Regular grade	6.9	6.9	4.1	7.8576	5520

#### STEEL

Name=material name

f<sub>y</sub>=f<sub>yk</sub>= characteristic resistance for steel (for all the codes)

F<sub>u</sub>=f<sub>uk</sub>= ultimate resistance for steel (for all the codes)

Elastic E= Elastic modulus

Density g= specific weight

#### CONCRETE

Name=material name

f'<sub>c</sub>=f<sub>ck</sub>= cylindrical resistance for concrete (for all the codes)

Elastic E= Elastic modulus

Density g= specific weight

Tension strength=f<sub>t</sub>=f<sub>ctk</sub>= characteristic tension resistance for concrete

#### STEEL REBARS

Name=material name

f<sub>y</sub>=f<sub>yk</sub>= characteristic resistance for steel (for all the codes)

F<sub>u</sub>=f<sub>uk</sub>= ultimate resistance for steel (for all the codes)

Elastic E= Elastic modulus

Density g= specific weight

#### WOOD

Name=material name

F<sub>b</sub>=f<sub>bk</sub>= Ultimate bending strength

F<sub>tu</sub>=f<sub>tuk</sub>= Ultimate tensile strength

F<sub>vu</sub>=f<sub>vuk</sub>= Ultimate shear strength

Density g= specific weight

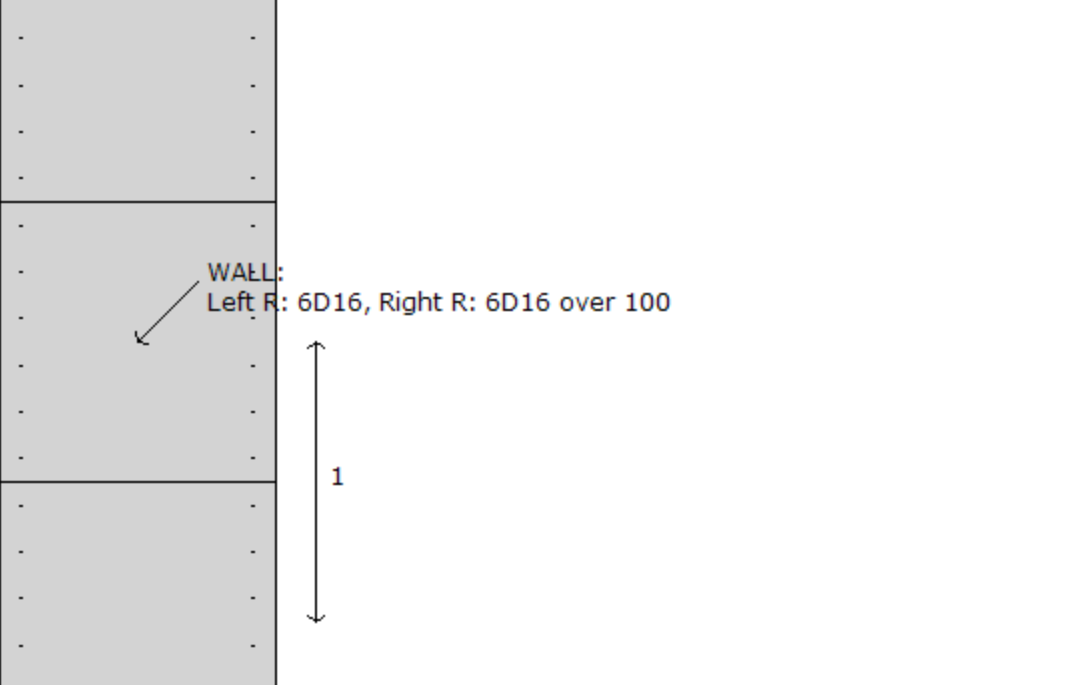
Elastic E= Elastic modulus



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	IG51-02-E-CV-CL-GA1N-0X-001-A00 Relazione di calcolo opera c.a sottopasso	Foglio 225 di 366
--	--	--	-------------------------

## WALL DATA

Wall section 0: Wall 1

	Company: My Company Engineer: Engineer	Wall sketch	CeAS srl and Deep Excavation LCC Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011
F:\SW..04_sottopasso\01_paratie_scatolare\scatolare1_2.01_SLE.DEEP		7/6/2013	

Wall type: Diaphragm wall (US: slurry wall)

Hor. wall spacing: 1 Wall thickness = 0.979439444

Passive width below exc: 1 Active width below exc: 1 Swater= 1

Concrete  $f_c' = 24.8$  Rebar  $F_y = 409.7$   $E_{conc} = 31200$  Concrete tension  $F_{cT} = 10\%$  of  $F_c'$

Diaphragm wall (US: slurry wall)

Table: Concrete Slab Data

Shape	$F_y$	$F_c'$	D	B	Bw	tf	Ctop	Cbot	AsTop	AsBot	A	Pmax	Mmax
	(MPa)	(MPa)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(kN)	(kN-m)
Rect	409.7	24.8	97.9	100	N/A	N/A	7.6	7.6	12.1	12.1	9794.4	0	0

### GENERAL WALL DATA

Hor wall spacing= Wall horizontal spacing

Passive width below exc= spacing for passive thrust pressure for classic analysis

$f_c' = f_{ck}$ = cylindrical concrete resistance

$f_y = f_y$ = steel rebar characteristic resistance

$E_{conc}$ = Concrete Elastic modulus

$f_{ctk}$ = characteristic Concrete tension

$E_{steel}$ = steel elastic modulus

TABULAR DATA (principal parameters)

1) Diaphragm wall (rectangular cross section)

N/A= data not available

$F_y = f_y$

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-CL-GA1N-0X-001-A00 Relazione di calcolo opera c.a sottopasso
	Foglio 226 di 366

$F'c=fck$   
D=wall height  
B=wall width  
2)Steel sheet pile  
DES=shape (Z or U)  
W=width per unit of length  
A=area  
h=height  
t=horizontal part thickness  
b=width of the single sheet pile part  
s=inclined part thickness  
 $I_{xx}$ =strong axis inertia (per unit of length)  
 $S_{xx}$ =strong axis section modulus (per unit of length)  
3)Secant piles wall, Tangent piles wall, soldier piles, soldier piles and timber lagging  
W=weight per unit of length  
A=area  
D=diameter  
tw=web thickness  
tp= pipe thickness  
bf=flange width  
tf= flange thickness  
k= flange thickness+stem base height  
 $I_{xx}$ = strong axis inertia modulus (per unit of length)  
 $S_{xx}$ = strong axis section modulus (per unit of length)  
rx=radius of gyration about X axis  
ry=radius of gyration about Y axis  
 $I_{yy}$ =weak axis inertia modulus (per unit of length)  
 $S_{yy}$ =weak axis section modulus (per unit of length)  
rT=radius of gyration for torsion  
Cw= warping constant

## SLAB SECTION DATA

Name	Shape	Fy	Fc'	D	B	Bw	tf	Ctop	Cbot	AsTop	AsBot	A	Pmax	Mmax
		(MPa)	(MPa)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(kN)	(kN-m)
Slab H=140cm	Rect	500	32	140	100	N/A	N/A	3	3	6	12.1	14000	1121.1	161.1
Slab H=120cm	Rect	500	32	120	100	N/A	N/A	3	3	6	12.1	12000	624.4	68.4

Slab sections can be used in any slab support.

N/A=data non available

Name=section name

Shape=shape of the cross section

Fy= fyk= characteristic resistance for steel (for all the codes)

F'c=fck=cylindrical characteristic resistance for steel (for all the codes)

D=slab height

B=slab base (width)

Bw=N/A

$I_{xx}$ = bending inertia about strong axis

tf=N/A

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG51-02-E-CV-CL-GA1N-0X-001-A00 Relazione di calcolo opera c.a sottopasso</p>	<p>Foglio 227 di 366</p>

Ctop=top cover to center of bar  
Cbot=bottom cover to center of bar  
Astop= Top reinforcement  
Asbot=bottom reinforcement  
A=total gross section area  
Pmax=Nu=Ultimate axial resistance (preliminary)  
Mmax=Mu=Ultimate bending resistance (preliminary)

***Project: My Project***  
***Results for Design Section 0: Base model***

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
IG51-02-E-CV-CL-GA1N-0X-001-A00 Relazione di calcolo opera c.a sottopasso		Foglio 228 di 366

## SOIL DATA

Name	g tot (kN/m3)	g dry (kN/m3)	Frict (deg)	C' (kPa)	Su (kPa)	FRp (deg)	FRcv (deg)	Eload (kPa)	Eur (kPa)	kAp NL	kPp NL	kAcv NL	kPcv NL	Vary	Spring Model	Color
rilevato	18	18	35	0	N/A	N/A	N/A	15000	24000	0.24	5.94	N/A	N/A	True	Linear	
GS/GLA	19	19	40	0	N/A	N/A	N/A	40000	64000	0.19	8.38	N/A	N/A	True	Linear	

Name	Poisson v	Min Ka (clays)	Min sh (clays)	ko.NC -	nOCR -	aH.EXP (0 to 1)	aV.EXP (0 to 1)	qSkin (kPa)	qNails (kPa)	kS.nails (kN/m3)	PL (MPa)
rilevato	0.35	-	-	0.426	0.5	-	-	49.7	33.1	3143.04	-
GS/GLA	0.3	-	-	0.357	0.5	-	-	35.2	23.4	3143.04	-

gtot = total soil specific weight

gdry = dry weight of the soil

Frict = friction angle

C' = effective cohesion

Su = Undrained shear strength (only for CLAY soils in undrained conditions, used as a cutoff strength in NL analysis)

Evc = Virgin compression elastic modulus

Eur = unloading/reloading elastic modulus

kAp = Peak active thrust coefficient (initial value, may be modified on each stage according to analysis settings).

kPp = Peak passive thrust coefficient (initial value, may be modified on each stage according to analysis settings).

kAcv = Constant volume active thrust coeff (only for clays, initial value)

kPcv = Constant volume passive thrust coeff (only for clays, initial value).

Spring models= spring model (LIN= constant E over the soil layer height , EXP=exponential , SIMC=simplified winkler)

LIN= Linear-Elastic-Perfectly Plastic,

EXP: Exponential, SUB: Modulus of Subgrade Reaction

SIMC= Simplified Clay mode

## SOIL BORINGS

Top Elev= superior SOil level

Soil type= type of the soil (sand , clay , etc)

OCR= overconsolidation ratio

K0= at rest coefficient

Name: Boring 1, pos: (-20, 0)

Top elev.	Soil type	OCR	Ko
0	rilevato	1	0.43
-6.2	GS/GLA	1	0.36

## STRUCTURAL MATERIALS DATA

Steel

Name	Strength Fy	Fu	Elastic E	Density g
	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(kN/m3)
Fe360	235.2	360	206000.2	77.0046
Fe510	355.2	509.7	206000.2	77.0046
A36	248.3	400	200100	77.0046
A50	344.8	500	200100	77.0046
New steel 4	241.4	413.8	206000.2	77.0046

## Concrete

Name	Strength Fc'	Elastic E	Density g	Tension Strength Ft
	(MPa)	(MPa)	(kN/m3)	(MPa)
C20/25	20	29961.9	25.0029	10
C25/30	24.8	31200	25.0029	10
C28/35	28	32308	25	10
C32/40	32	33346	25	10

## Steel rebar

Name	Strength Fy	Elastic E
	(MPa)	(MPa)
Grade 60	413.8	200100
Grade 75	517.2	200100
Grade 80	551.7	200100
Grade 150	1034.5	200100
Strands 270 ksi	1862.1	200100
S410	409.7	210000.1
S500	500	210000.1
B450C	449.7	210000.1

## Wood

Name	Ultimate Bending Strength Fbu	Ultimate Tensile Strength FtU	Ultimate Shear Strength Fvu	Density g	Elastic E
	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(kN/m3)	(MPa)
Construction Timber	11	9.7	5.5	7.8576	6900
Regular grade	6.9	6.9	4.1	7.8576	5520

## STEEL

Name=material name

fy=fyk= characteristic resistance for steel (for all the codes)

Fu=fuk= ultimate resistance for steel (for all the codes)

Elastic E= Elastic modulus

Density g= specific weight

## CONCRETE

Name=material name

f'c=fck= cylindrical resistance for concrete (for all the codes)

Elastic E= Elastic modulus

Density g= specific weight

Tension strength=ft=fctk= characteristic tension resistance for concrete

## STEEL REBARS

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-CL-GA1N-0X-001-A00 Relazione di calcolo opera c.a sottopasso
	Foglio 230 di 366

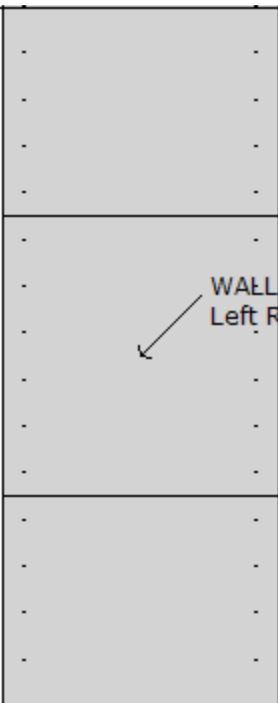
Name=material name  
fy=fyk= characteristic resistance for steel (for all the codes)  
Fu=fuk= ultimate resistance for steel (for all the codes)  
Elastic E= Elastic modulus  
Density g= specific weight

**WOOD**

Name=material name  
Fb=fbk= Ultimate bending strength  
Ftu=ftuk= Ultimate tensile strength  
Fvu=fvuk= Ultimate shear strength  
Density g= specific weight  
Elastic E= Elastic modulus

**WALL DATA**

Wall section 0: Wall 1

		WALL: Left R: 6D16, Right R: 6D16 over 100
Company: My Company Engineer: Engineer	Wall sketch	CeAS srl and Deep Excavation LCC Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011
F:\SW.\04_sottopasso\01_paratie_scatolare\scatolare1_2.01_SLE.DEEP		7/6/2013

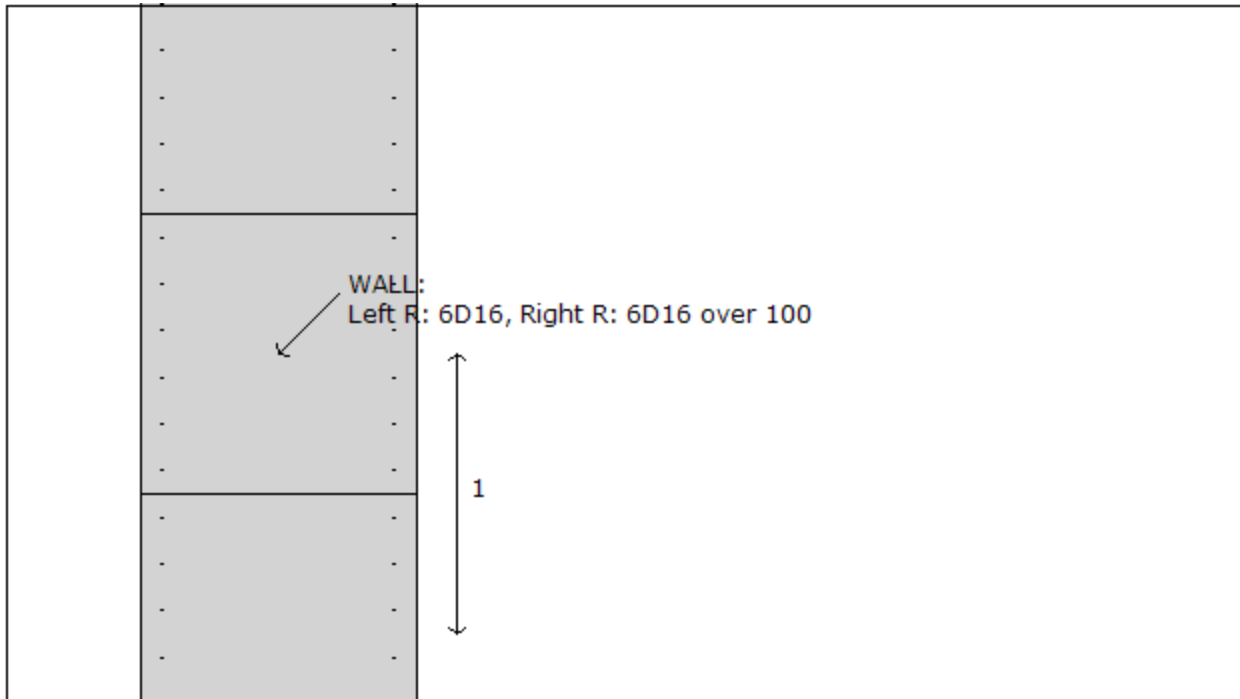
Wall uses wall section 0: Wall 1  
Wall type: Diaphragm wall (US: slurry wall)  
Top wall El: 0 m Bottom wall El: -22 m  
Hor. wall spacing: 1 Wall thickness = 0.979439444  
Passive width below exc: 1 Active width below exc: 1 Swater= 1  
Concrete fc' = 24.8 Rebar Fy = 409.7 Econc = 31200 Concrete tension FcT = 10% of Fc'  
Wall friction: Ignored  
Steel wall capacities are calculated with EC3 2005  
Concrete capacities are calculated with EC2-2004  
Note: With ultimate capacities you may have to use a structural safety factor.  
Diaphragm wall (US: slurry wall)

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
IG51-02-E-CV-CL-GA1N-0X-001-A00 Relazione di calcolo opera c.a sottopasso		Foglio 231 di 366

Table: Concrete Slab Data

Name	Shape	Fy	Fc'	D	B	Bw	tf	Ctop	Cbot	AsTop	AsBot	A	Pmax	Mmax
		(MPa)	(MPa)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(kN)	(kN-m)
Wall 1	Rect	409.7	24.8	97.9	100	N/A	N/A	7.6	7.6	12.1	12.1	9794.4	0	0

Wall section 1: Right wall

		
Company: My Company Engineer: Engineer	Wall sketch	CeAS srl and Deep Excavation LCC Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011
F:\SW...\04_sottopasso\01_paratie_scatolare\scatolare1_2.01_SLE.DEEP		7/6/2013

Wall uses wall section 0: Wall 1

Wall type: Diaphragm wall (US: slurry wall)

Top wall El: 0 m Bottom wall El: -22 m

Hor. wall spacing: 1 Wall thickness = 0.979439444

Passive width below exc: 1 Active width below exc: 1 Swater= 1

Concrete fc' = 24.8 Rebar Fy = 409.7 Econc = 31200 Concrete tension FcT = 10% of Fc'

Wall friction: Ignored

Steel wall capacities are calculated with EC3 2005

Concrete capacities are calculated with EC2-2004

Note: With ultimate capacities you may have to use a structural safety factor.

Diaphragm wall (US: slurry wall)

Table: Concrete Slab Data

Name	Shape	Fy	Fc'	D	B	Bw	tf	Ctop	Cbot	AsTop	AsBot	A	Pmax	Mmax
		(MPa)	(MPa)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(kN)	(kN-m)
Wall 1	Rect	409.7	24.8	97.9	100	N/A	N/A	7.6	7.6	12.1	12.1	9794.4	0	0

GENERAL WALL DATA

Hor wall spacing= Wall horizontal spacing

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-CL-GA1N-0X-001-A00 Relazione di calcolo opera c.a sottopasso

Foglio  
232 di  
366

Passive width below exc= spacing for passive thrust pressure for classic analysis  
 $f'c=fck$ = cylindrical concrete resistance  
 $f_yk=f_y$ = steel rebar characteristic resistance  
 $E_{conc}$ = Concrete Elastic modulus  
 $f_{ctk}$ = characteristic Concrete tension  
 $E_{steel}$ = steel elastic modulus  
 TABULAR DATA (principal parameters)  
 1) Diaphragm wall (rectangular cross section)  
 N/A= data not available  
 $F_y=f_yk$   
 $F'c=fck$   
 $D$ =wall height  
 $B$ =wall width  
 2)Steel sheet pile  
 $DES$ =shape (Z or U)  
 $W$ =width per unit of length  
 $A$ =area  
 $h$ =height  
 $t$ =horizontal part thickness  
 $b$ =width of the single sheet pile part  
 $s$ =inclined part thickness  
 $I_{xx}$ =strong axis inertia (per unit of length)  
 $S_{xx}$ =strong axis section modulus (per unit of length)  
 3)Secant piles wall, Tangent piles wall, soldier piles, soldier piles and timber lagging  
 $W$ =weight per unit of length  
 $A$ =area  
 $D$ =diameter  
 $t_w$ =web thickness  
 $t_p$ = pipe thickness  
 $b_f$ =flange width  
 $t_f$ = flange thickness  
 $k$ = flange thickness+stem base height  
 $I_{xx}$ = strong axis inertia modulus (per unit of length)  
 $S_{xx}$ = strong axis section modulus (per unit of length)  
 $r_x$ =radius of gyration about X axis  
 $r_y$ =radius of gyration about Y axis  
 $I_{yy}$ =weak axis inertia modulus (per unit of length)  
 $S_{yy}$ =weak axis section modulus (per unit of length)  
 $r_T$ =radius of gyration for torsion  
 $C_w$ = warping constant

**SLAB SECTION DATA**

Name	Shape	$F_y$	$F_c'$	$D$	$B$	$B_w$	$t_f$	$C_{top}$	$C_{bot}$	$A_{sTop}$	$A_{sBot}$	$A$	$P_{max}$	$M_{max}$
		(MPa)	(MPa)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(kN)	(kN-m)
Slab H=140cm	Rect	500	32	140	100	N/A	N/A	3	3	6	12.1	14000	1121.1	161.1
Slab H=120cm	Rect	500	32	120	100	N/A	N/A	3	3	6	12.1	12000	624.4	68.4

Slab sections can be used in any slab support.



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-CL-GA1N-0X-001-A00 Relazione di calcolo opera c.a sottopasso
	Foglio 233 di 366

N/A=data non available  
 Name=section name  
 Shape=shape of the cross section  
 $F_y$ =  $f_{yk}$ = characteristic resistance for steel (for all the codes)  
 $F'_c$ = $f_{ck}$ =cylindrical characteristic resistance for steel (for all the codes)  
 D=slab height  
 B=slab base (width)  
 $B_w$ =N/A  
 $I_{xx}$ = bending inertia about strong axis  
 $t_f$ =N/A  
 $C_{top}$ =top cover to center of bar  
 $C_{bot}$ =bottom cover to center of bar  
 $A_{stop}$ = Top reinforcement  
 $A_{sbot}$ =bottom reinforcement  
 $A$ =total gross section area  
 $P_{max}$ = $N_u$ =Ultimate axial resistance (preliminary)  
 $M_{max}$ = $M_u$ =Ultimate bending resistance (preliminary)

## SURFACE LOADS

Surcharge 0:  $X_1 = 13.779439444$ ,  $X_2 = 50$

Variable surcharge

Stage No	Active	X1	Z1	qX1	qZ1	X2	Z2	qX2	qZ2
	Yes/No	(m)	(m)	(kPa)	(kPa)	(m)	(m)	(kPa)	(kPa)
0	Yes	13.779439444	0	0	74	50	0	0	74
1	Yes	13.779439444	0	0	74	50	0	0	74
2	Yes	13.779439444	0	0	74	50	0	0	74
3	Yes	13.779439444	0	0	74	50	0	0	74
4	Yes	13.779439444	0	0	74	50	0	0	74
5	Yes	13.779439444	0	0	74	50	0	0	74
6	Yes	13.779439444	0	0	74	50	0	0	74
7	Yes	13.779439444	0	0	74	50	0	0	74
8	Yes	13.779439444	0	0	54	50	0	0	54
9	Yes	13.779439444	0	0	54	50	0	0	54

Surcharge 1:  $X_1 = -50$ ,  $X_2 = 0$

Variable surcharge

Stage No	Active	X1	Z1	qX1	qZ1	X2	Z2	qX2	qZ2
	Yes/No	(m)	(m)	(kPa)	(kPa)	(m)	(m)	(kPa)	(kPa)
0	Yes	-50	0	0	74	0	0	0	74
1	Yes	-50	0	0	74	0	0	0	74
2	Yes	-50	0	0	74	0	0	0	74
3	Yes	-50	0	0	74	0	0	0	74
4	Yes	-50	0	0	74	0	0	0	74
5	Yes	-50	0	0	74	0	0	0	74
6	Yes	-50	0	0	74	0	0	0	74
7	Yes	-50	0	0	74	0	0	0	74

8	Yes	-50	0	0	74	0	0	0	74
9	Yes	-50	0	0	74	0	0	0	74

Surcharge 2:  $X1 = 0, X2 = 0$

Variable surcharge

Surcharge applies to wall 0

Stage No	Active	X1	Z1	qX1	qZ1	X2	Z2	qX2	qZ2
	Yes/No	(m)	(m)	(kPa)	(kPa)	(m)	(m)	(kPa)	(kPa)
0	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
1	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
2	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
3	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
4	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
5	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
6	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
7	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
8	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
9	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0

Surcharge 3:  $X1 = 0, X2 = 0$

Variable surcharge

Surcharge applies to wall 0

Stage No	Active	X1	Z1	qX1	qZ1	X2	Z2	qX2	qZ2
	Yes/No	(m)	(m)	(kPa)	(kPa)	(m)	(m)	(kPa)	(kPa)
0	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
1	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
2	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
3	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
4	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
5	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
6	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
7	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
8	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
9	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0

Surcharge 4:  $X1 = 0, X2 = 0$

Variable surcharge

Surcharge applies to wall 0

Stage No	Active	X1	Z1	qX1	qZ1	X2	Z2	qX2	qZ2
	Yes/No	(m)	(m)	(kPa)	(kPa)	(m)	(m)	(kPa)	(kPa)
0	No	0	0	12	0	0	-11.15	0	0
1	No	0	0	12	0	0	-11.15	0	0
2	No	0	0	12	0	0	-11.15	0	0
3	No	0	0	12	0	0	-11.15	0	0
4	No	0	0	12	0	0	-11.15	0	0

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-02-E-CV-CL-GA1N-0X-001-A00 Relazione di calcolo opera c.a sottopasso

Foglio  
235 di  
366

5	No	0	0	12	0	0	-11.15	0	0
6	No	0	0	12	0	0	-11.15	0	0
7	No	0	0	12	0	0	-11.15	0	0
8	No	0	0	12	0	0	-11.15	0	0
9	Yes	0	0	12	0	0	-11.15	0	0

**LEGEND**

Stage No=Excavation step number

Active=load status (Yes=active)

-----  
 X1=first X coordinate position of the load (left for surface loads)

Z1=first Z coordinate position of the load

qX1=first horizontal point load value

qZ1=first vertical point load value

-----  
 X2=second X coordinate position of the load (right for surface loads)

Z2=second Z coordinate position of the load

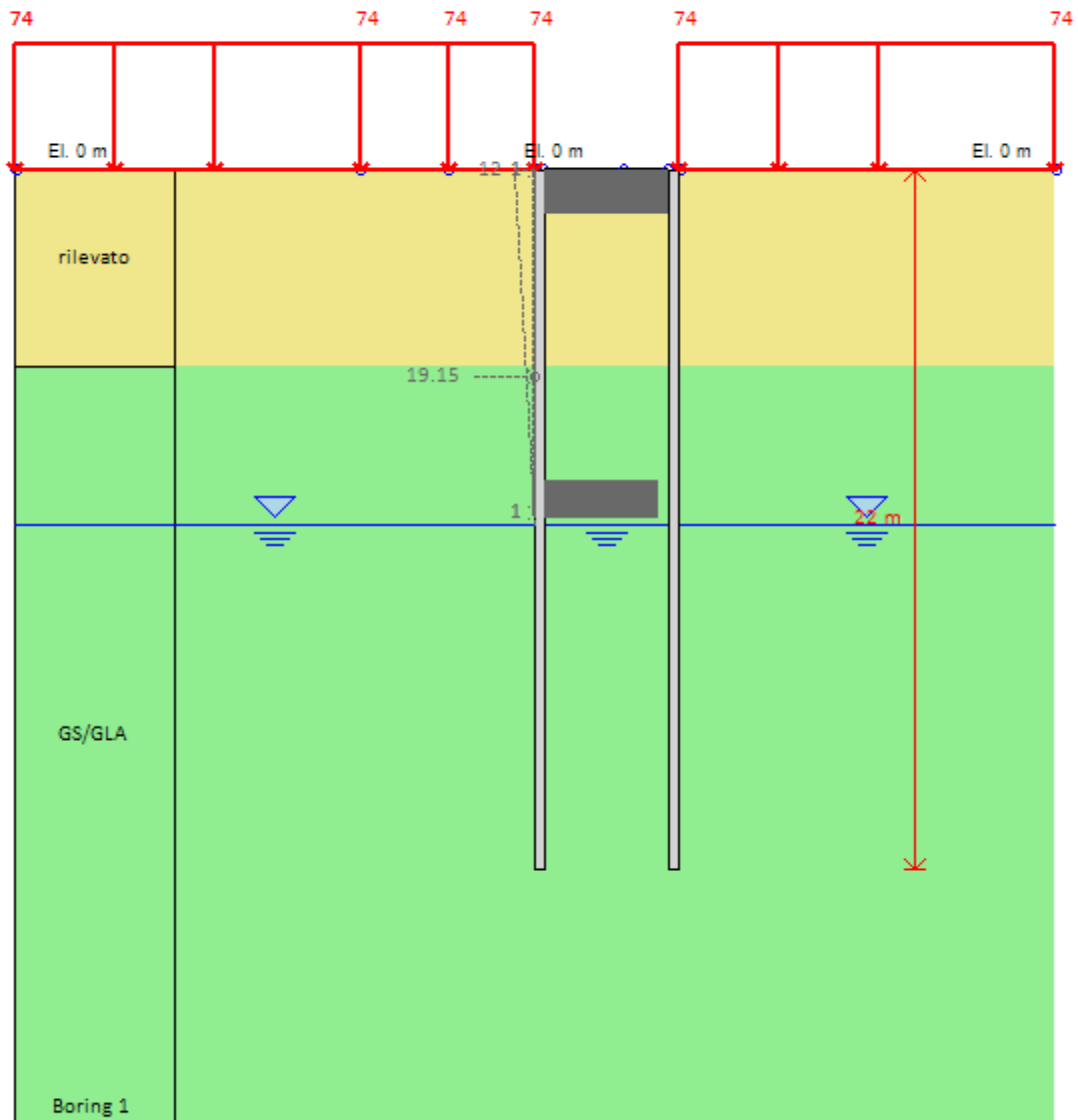
qX2=second horizontal point load value

qZ2=second vertical point load value

**EXCAVATION STAGES SKETCHES**

A sequence of figures for each excavation stage is reported

Base model



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0, Stage 0

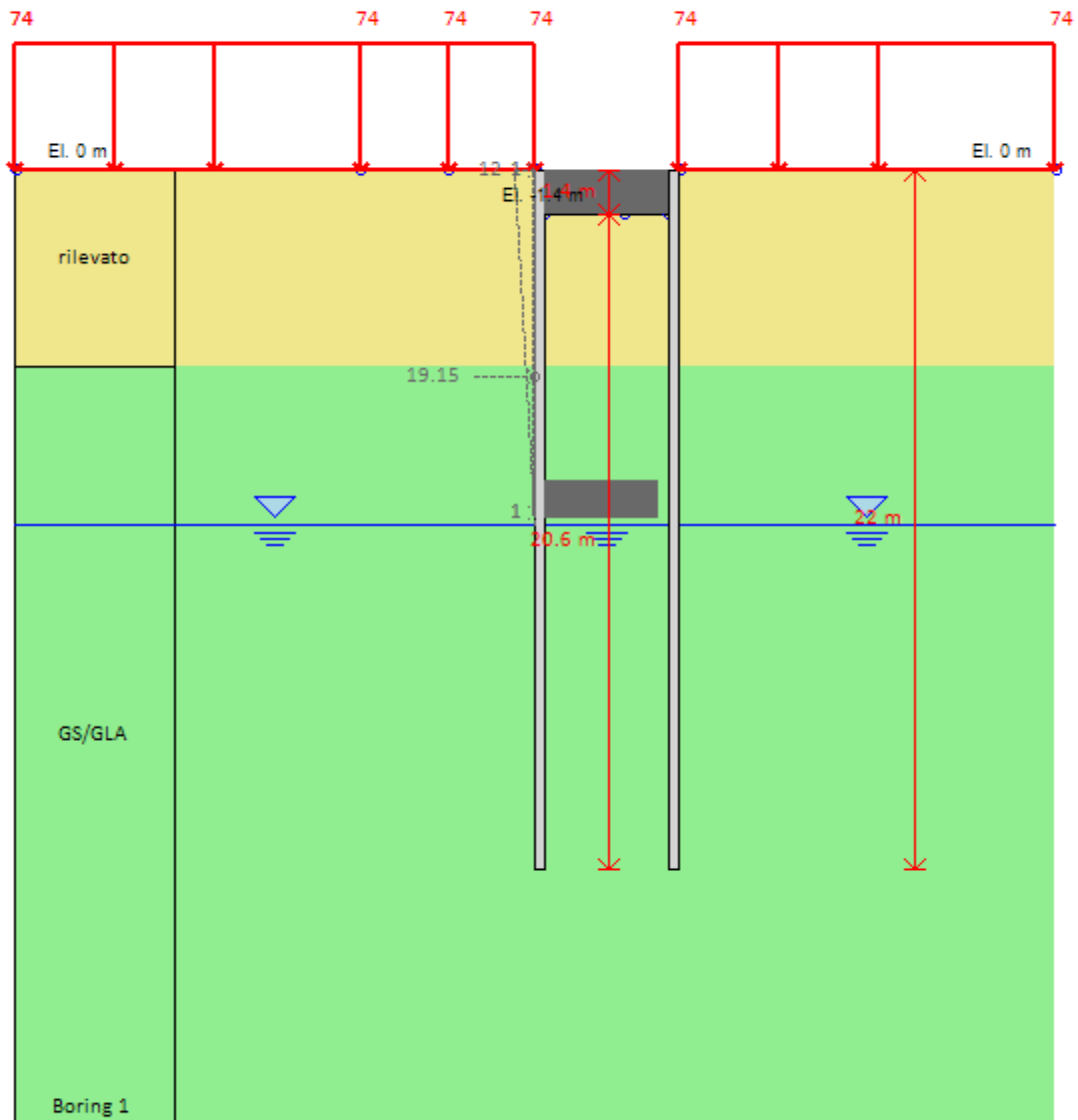
CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW.\04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_2.01\_SLE.DEEP

7/6/2013

Base model



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0, Stage 1-Scavo -1.4m

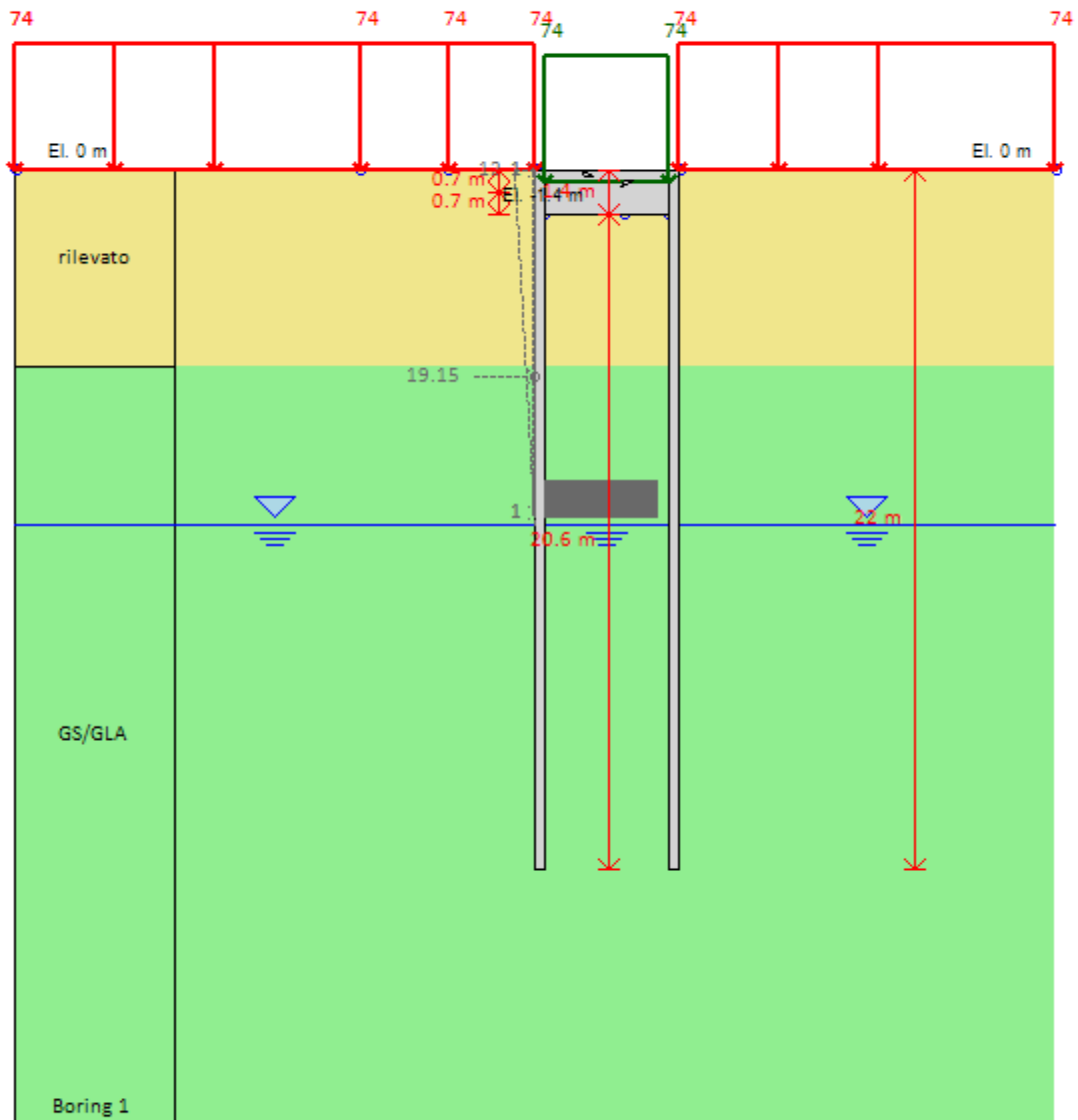
CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW..04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_2.01\_SLE.DEEP

7/6/2013

Base model



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0, Stage 2-SolettoneSuperiore

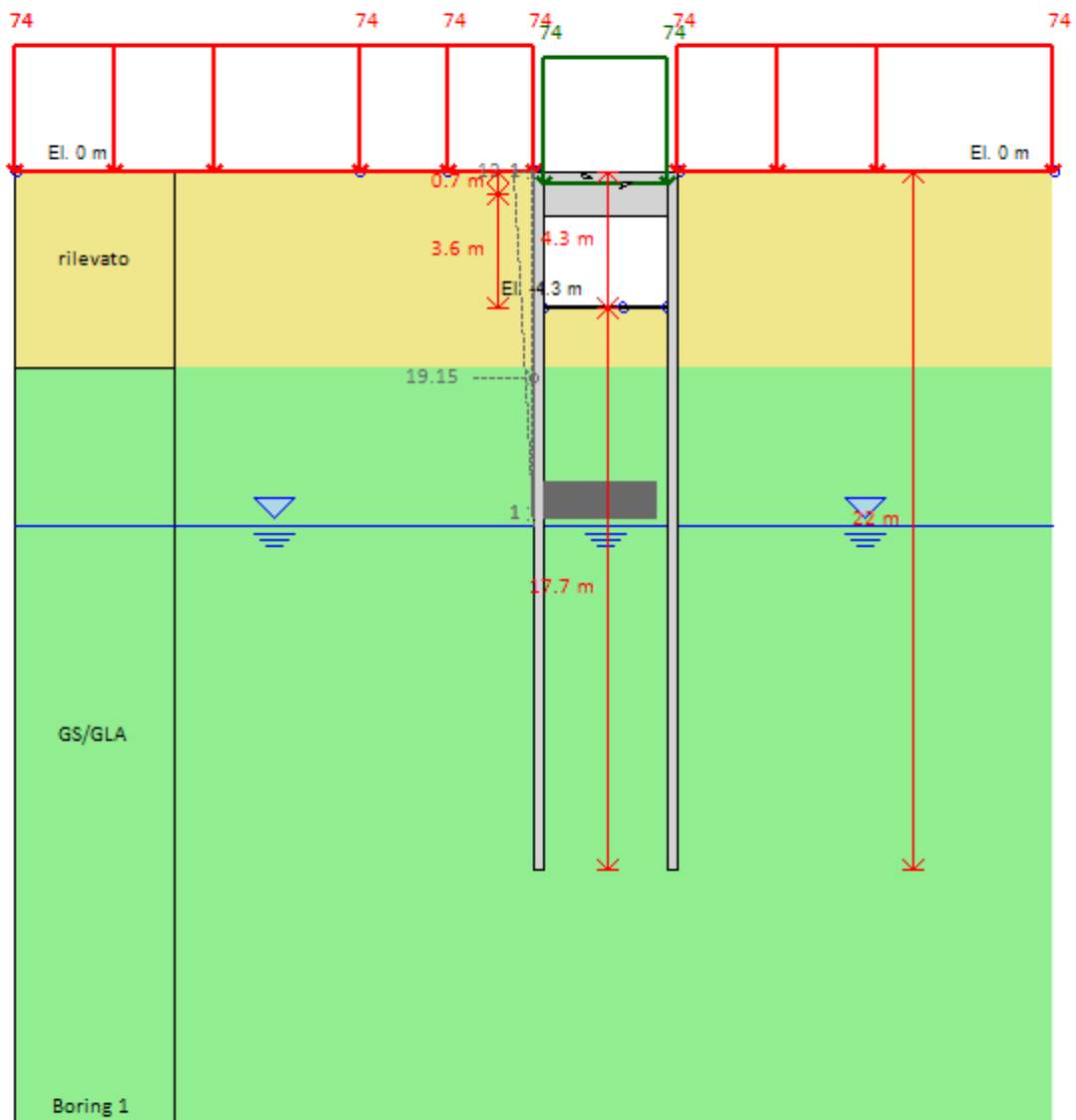
CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW..04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_2.01\_SLE.DEEP

7/6/2013

Base model



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0, Stage 3-Scavo -4.3m

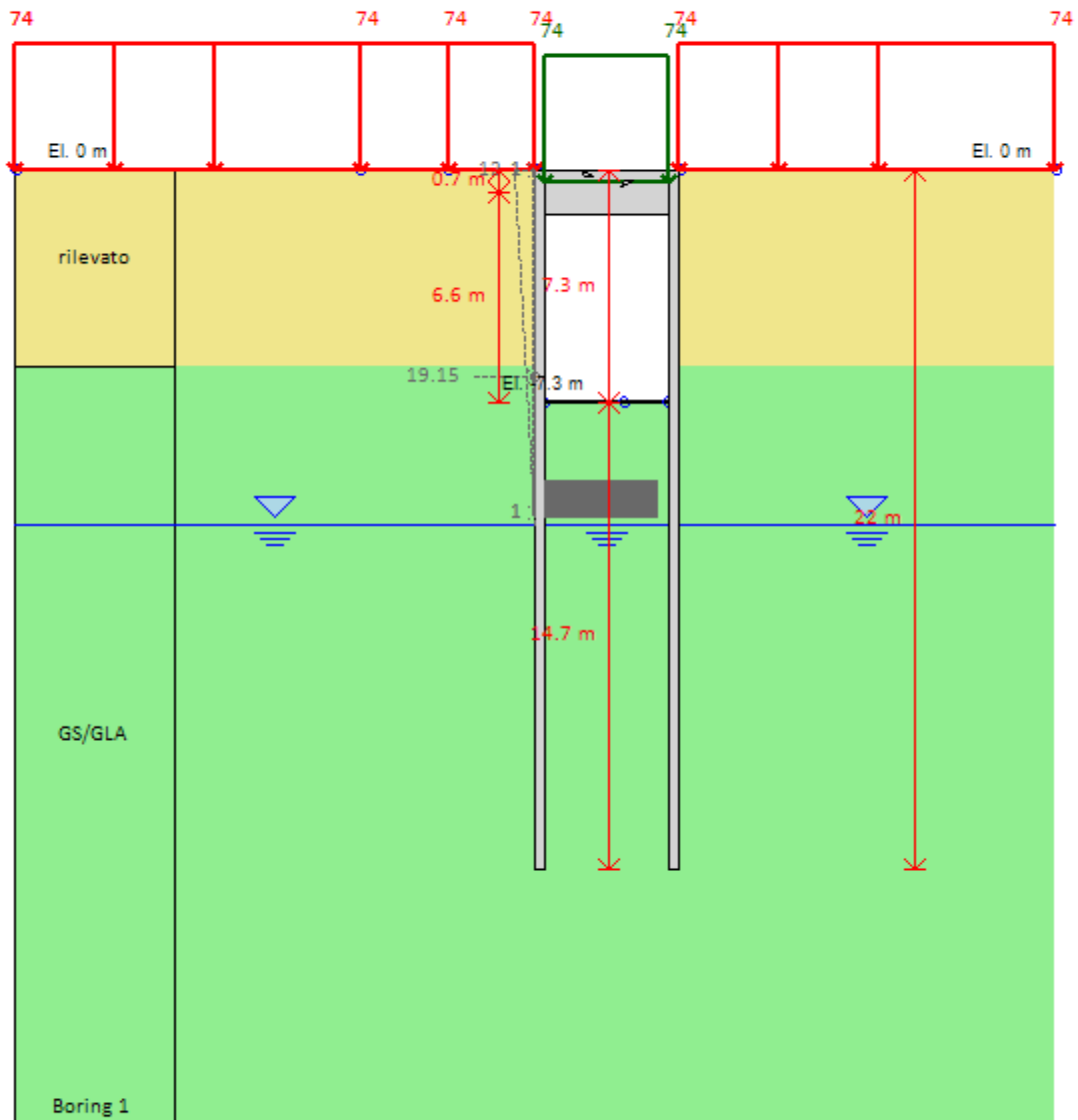
CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW..04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_2.01\_SLE.DEEP

7/6/2013

Base model



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0, Stage 4-Scavo -7.3m

CeAS srl and Deep Excavation LCC

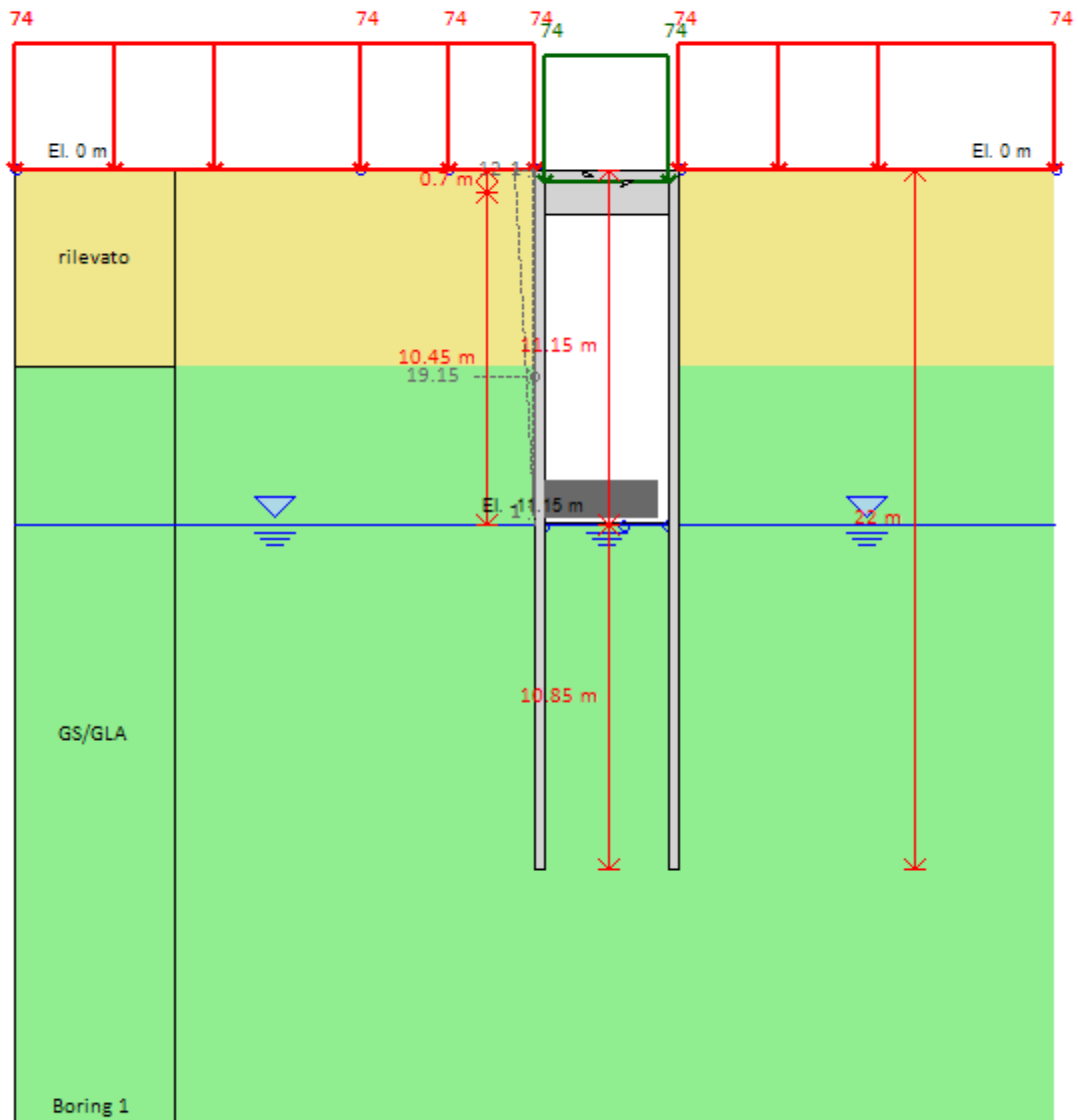
Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW..04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_2.01\_SLE.DEEP

7/6/2013



Base model



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0, Stage 5-Scavo -11.15m

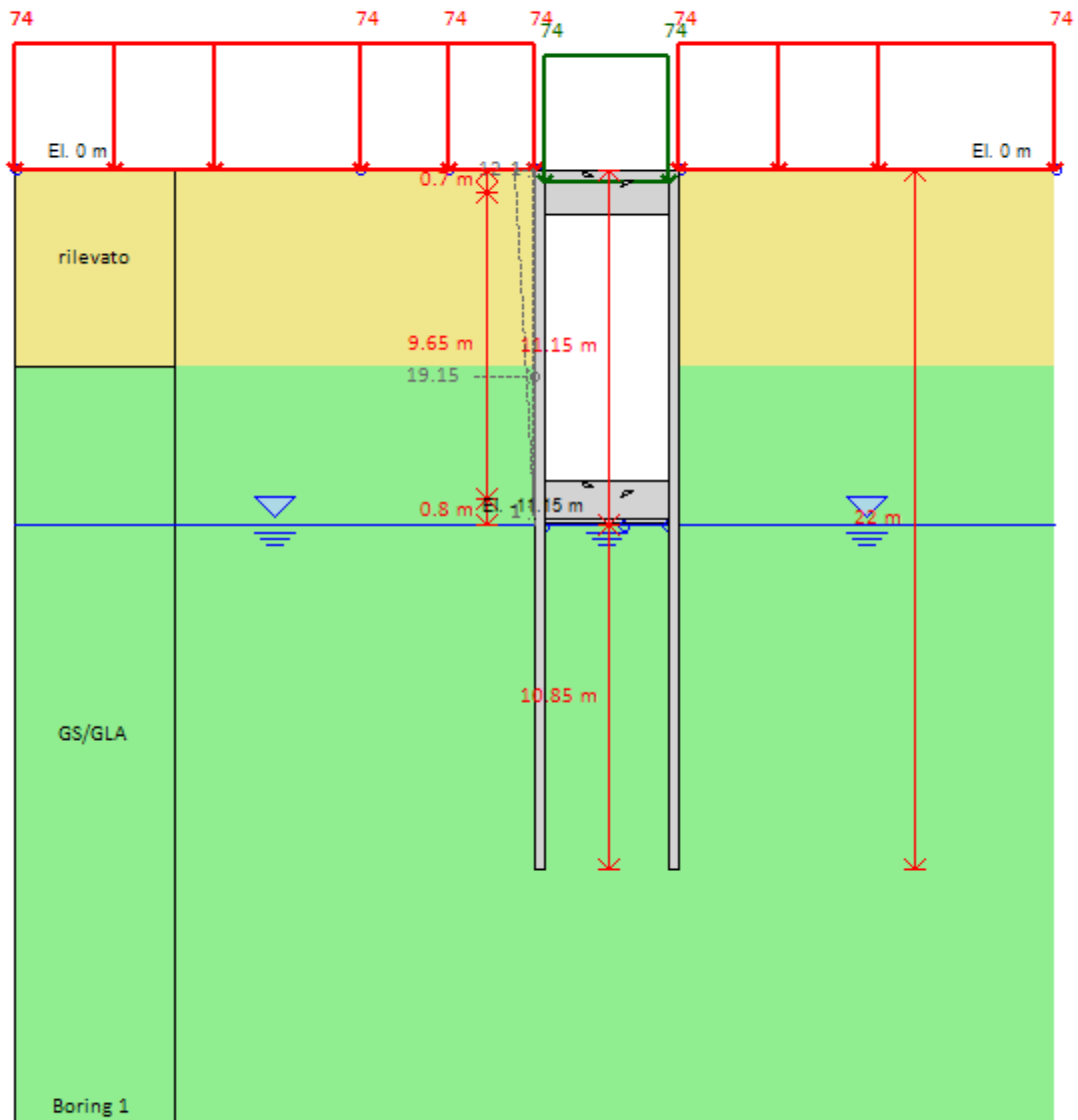
CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW..04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_2.01\_SLE.DEEP

7/6/2013

Base model



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0, Stage 6-SolettoneInferiore

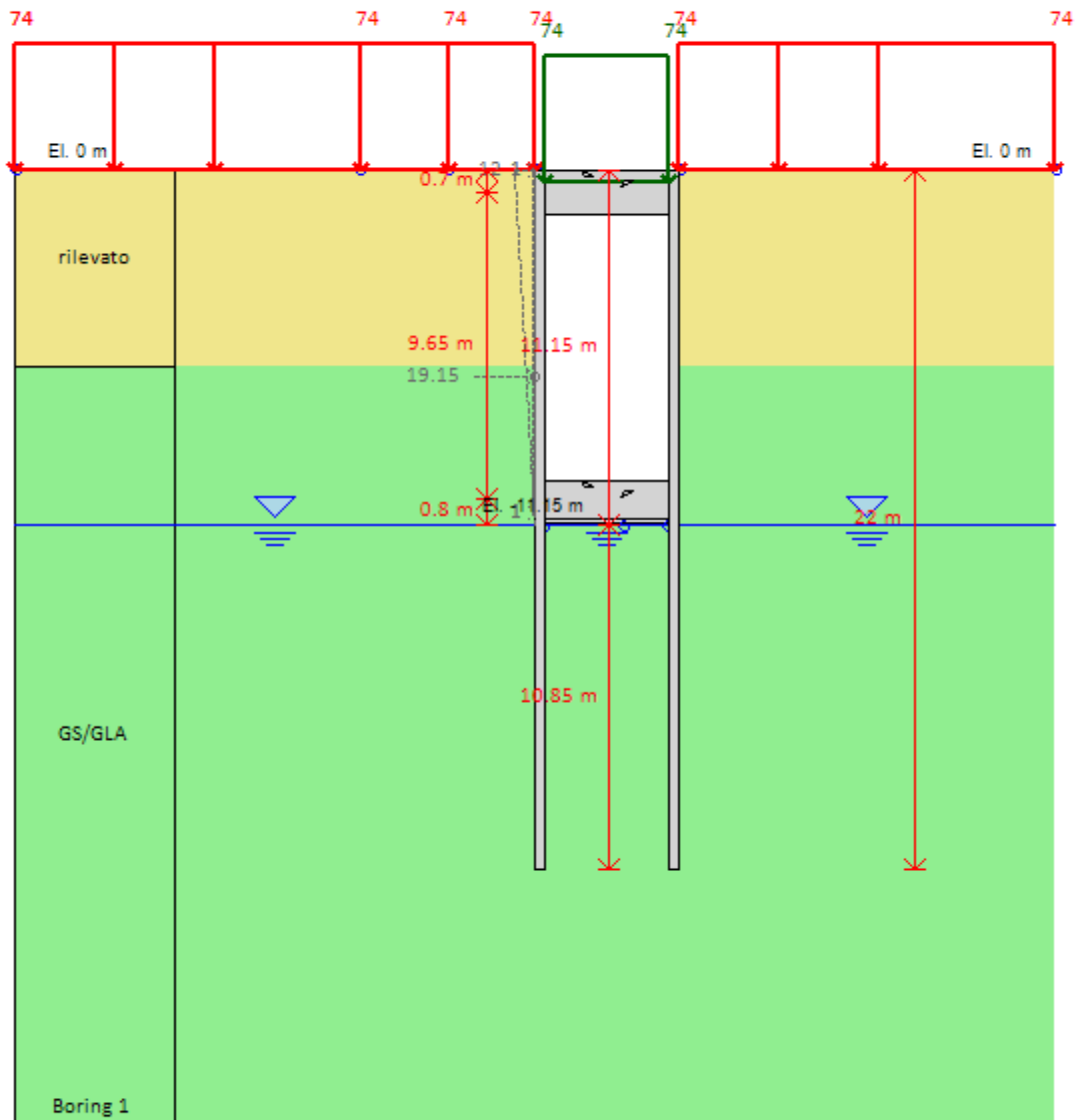
CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW..04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_2.01\_SLE.DEEP

7/6/2013

Base model



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0, Stage 7-Lungo termine 1

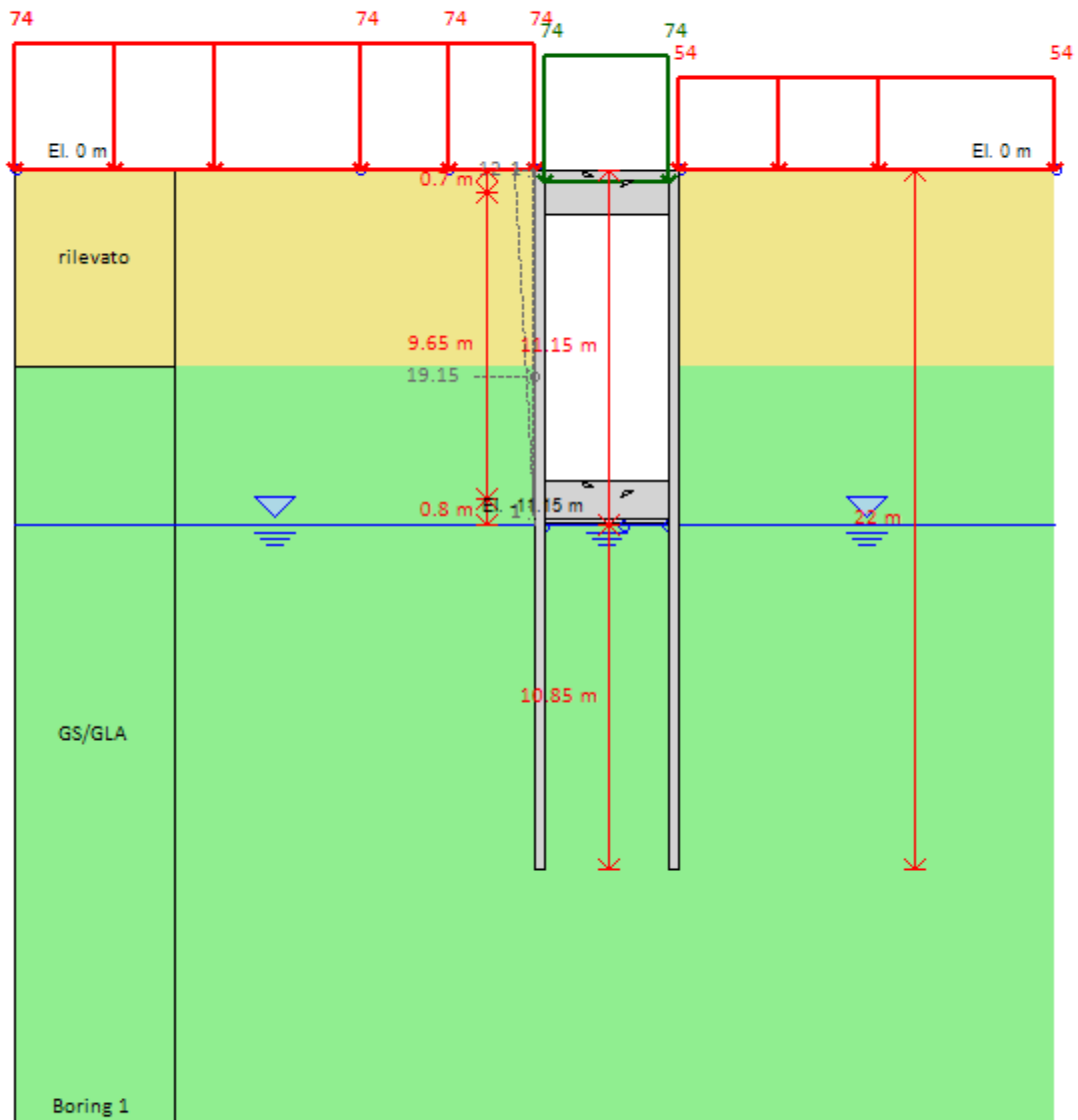
CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW..04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_2.01\_SLE.DEEP

7/6/2013

Base model



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0, Stage 8-Lungo Termine2

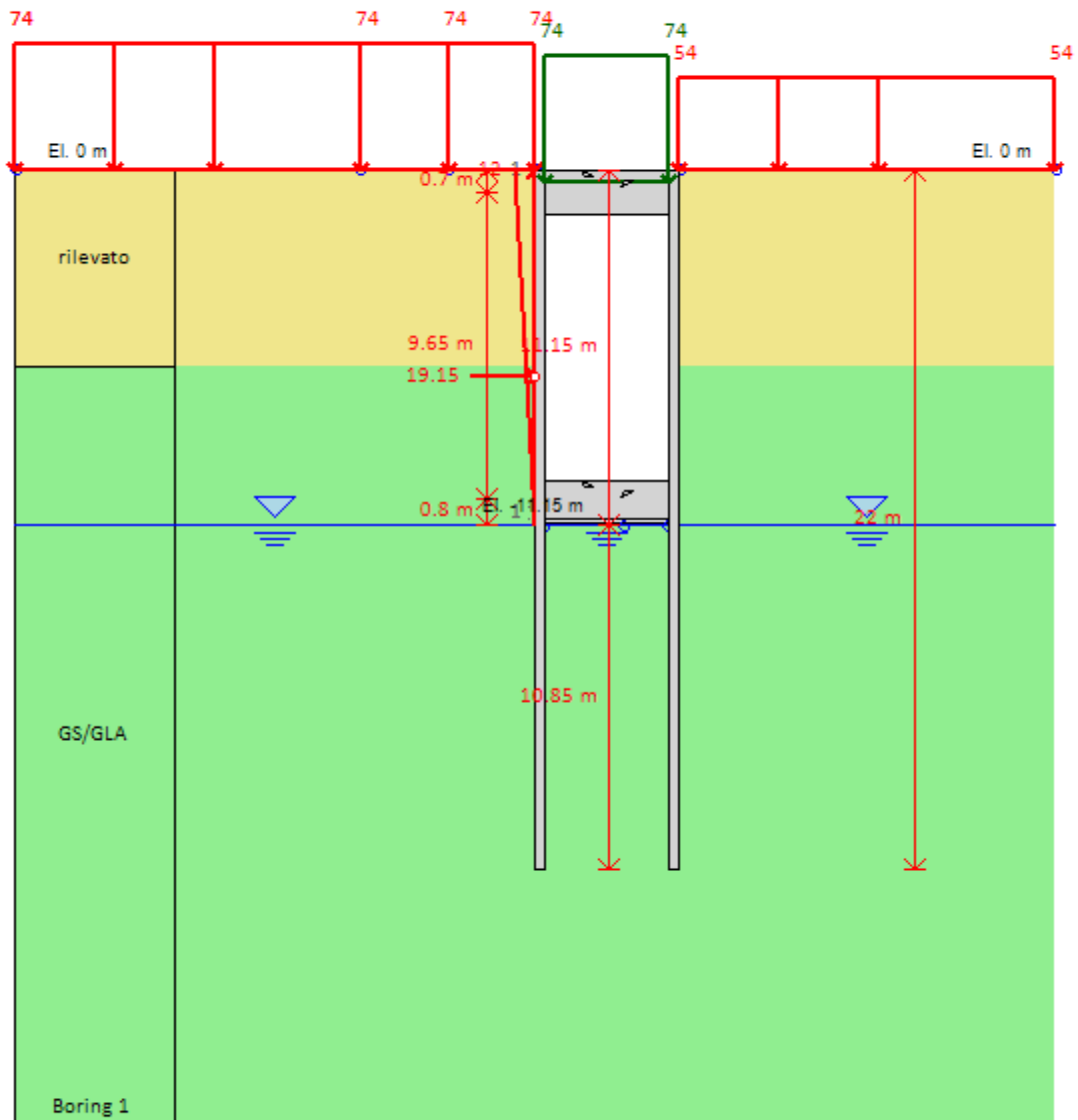
CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW..04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_2.01\_SLE.DEEP

7/6/2013

Base model



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0, Stage 9-Sisma

CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW.\04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_2.01\_SLE.DEEP

7/6/2013

**SUPPORTS REACTIONS (TIEBACKS, STRUTS, SLABS, RAKERS)**

## Support 0

Stage No	R
	(kN)
0	0
1	0
2	0
3	79.368
4	144.52
5	252.3
6	252.3
7	252.3
8	249.64
9	291.54

## Support 1

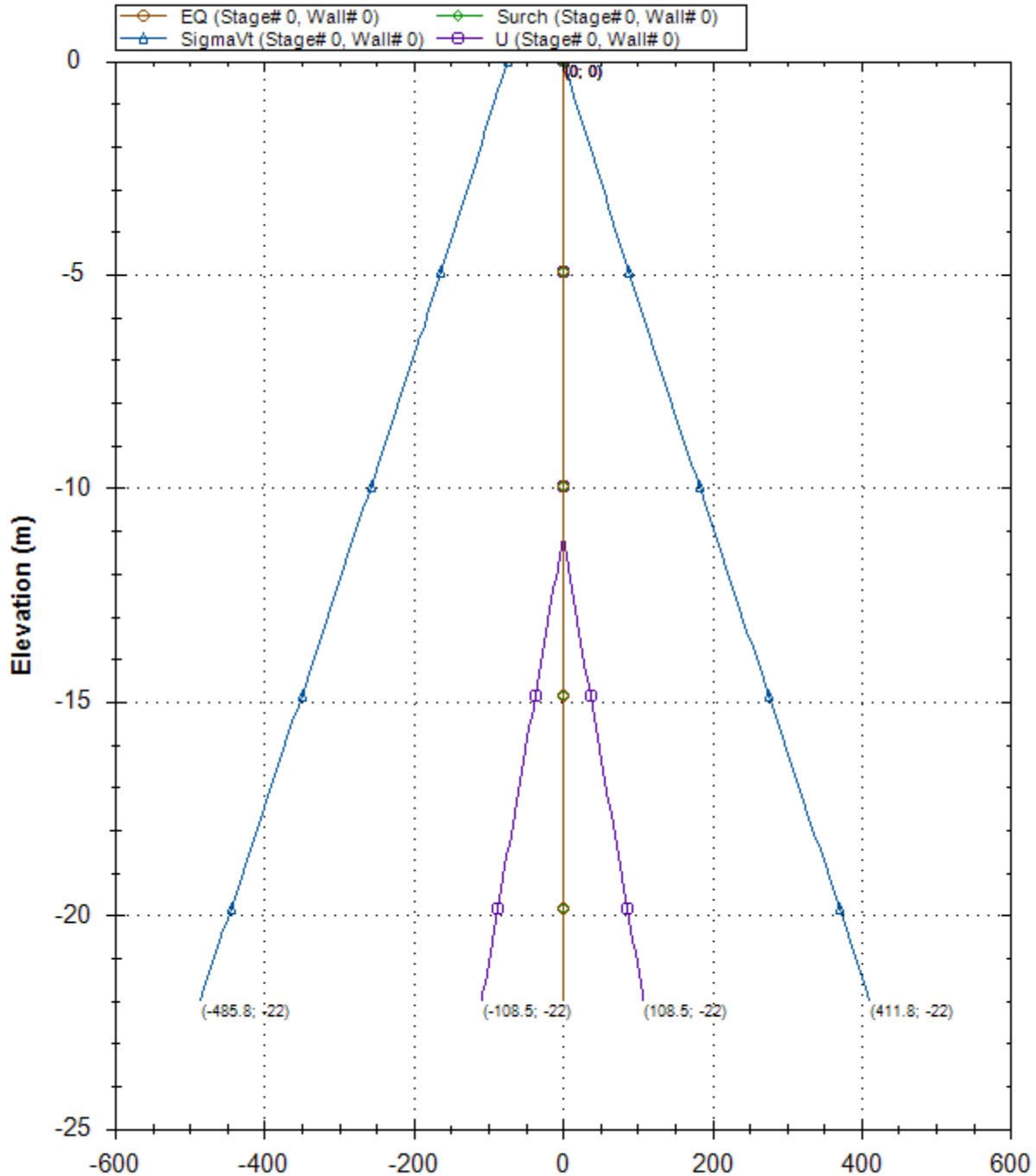
Stage No	R
	(kN)
0	0
1	0
2	0
3	0
4	0
5	0
6	0
7	0
8	-0.473
9	54.04

## Result diagrams (for walls)

---

A sequence of result diagrams for each excavation stage is reported

### Horizontal and vertical pressures (kPa)



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0 (left wall)

Stage 0

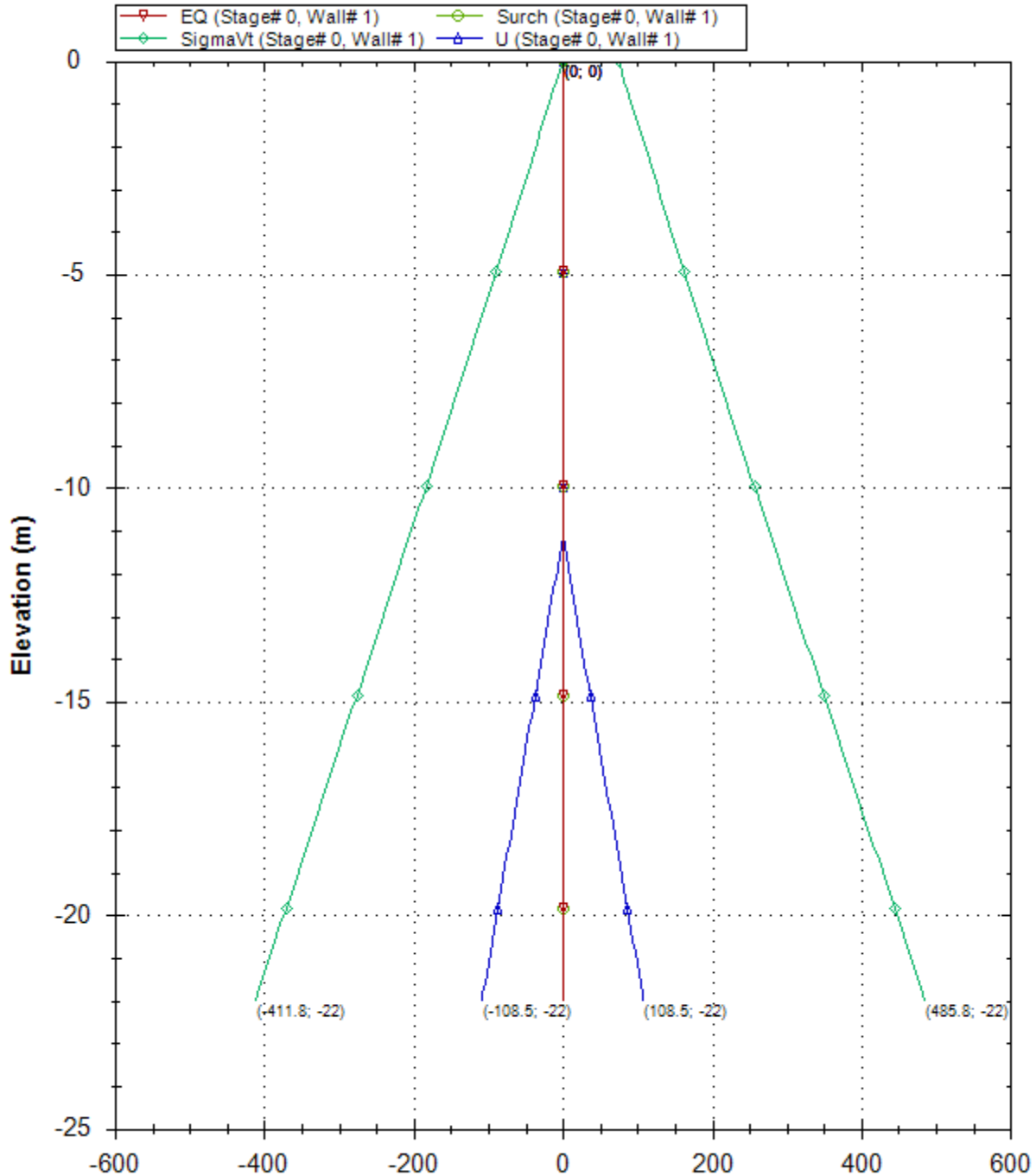
CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW..04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_2.01\_SLE.DEEP

7/6/2013

### Horizontal and vertical pressures (kPa)



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0 (right wall)

Stage 0

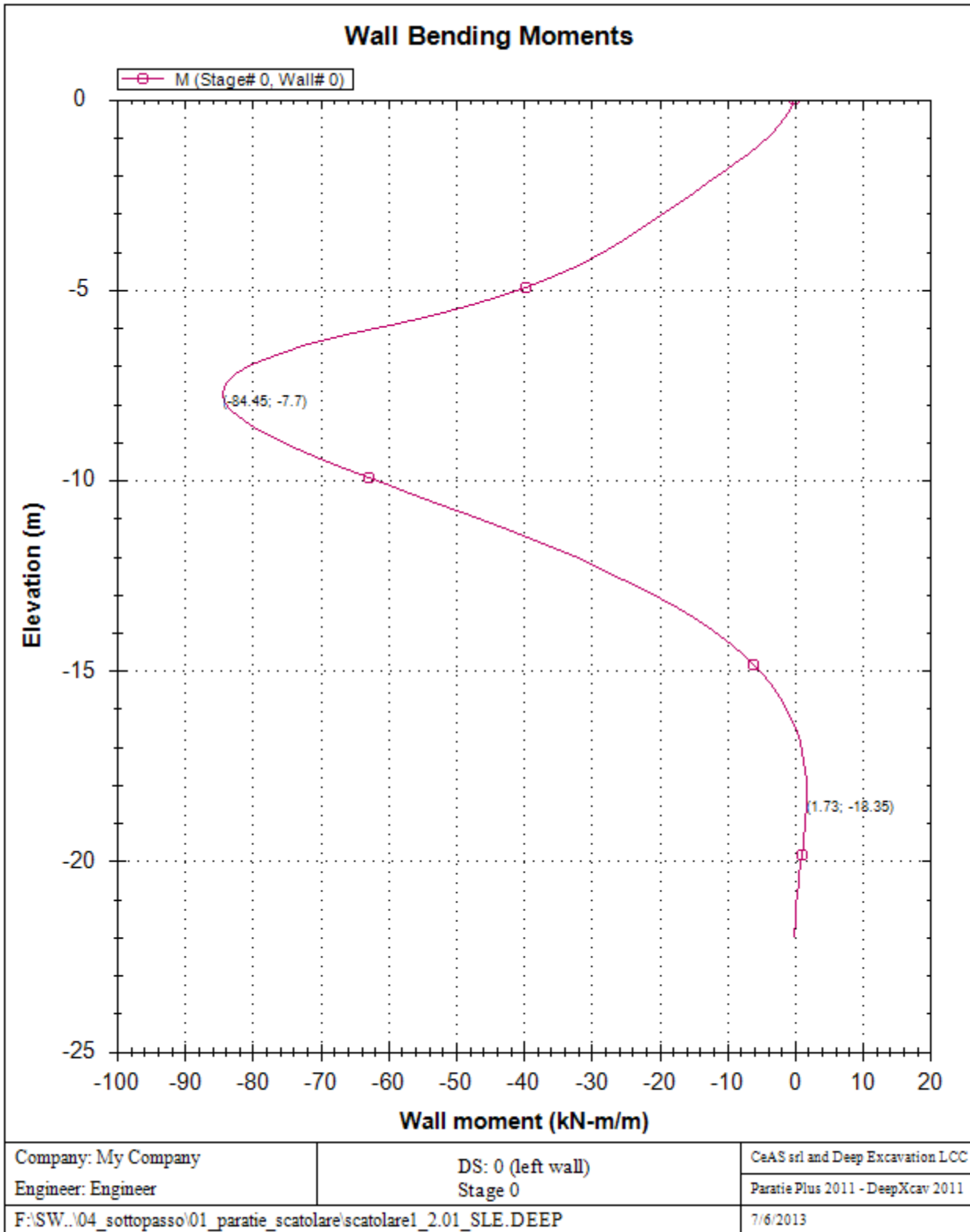
CeAS srl and Deep Excavation LCC

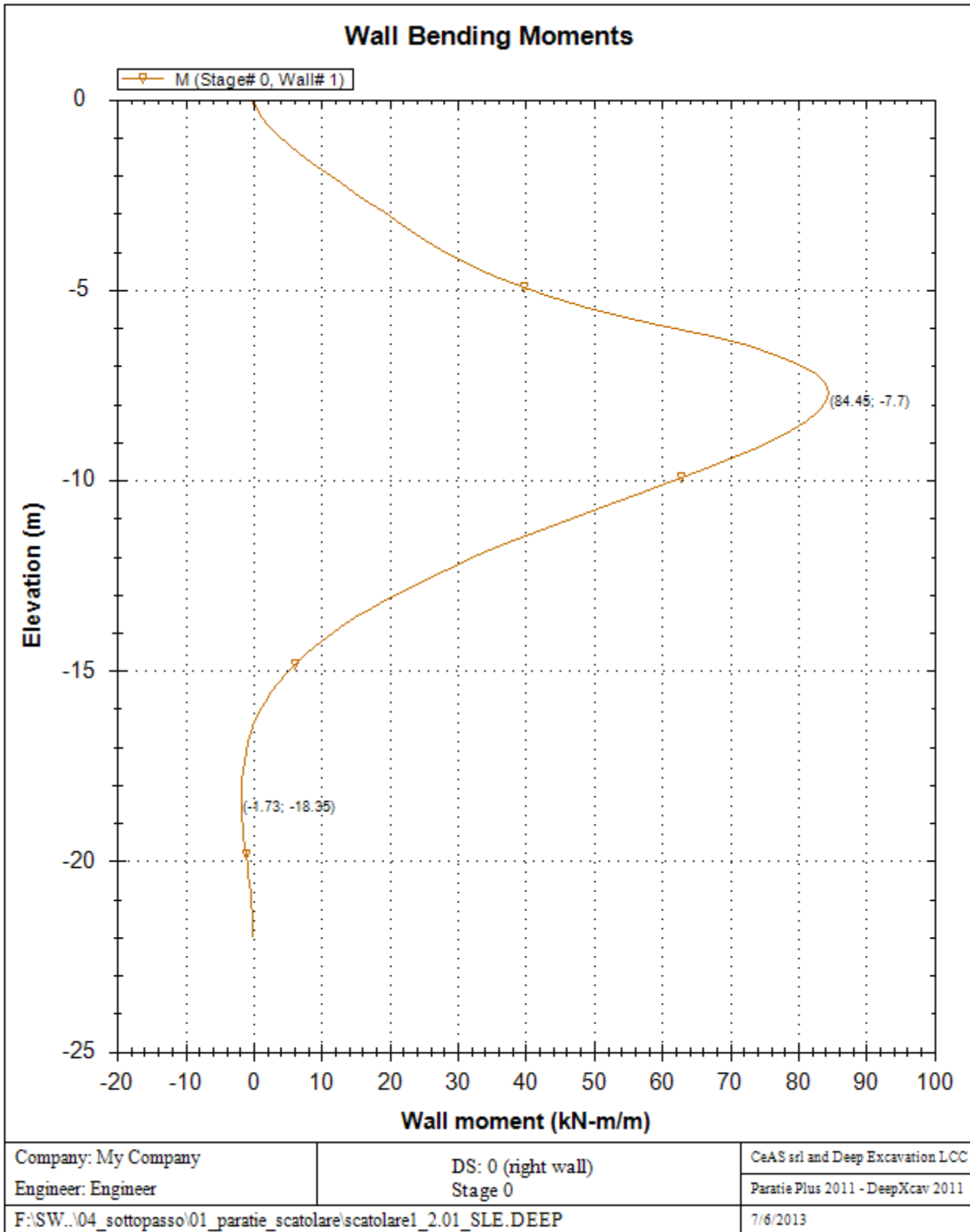
Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

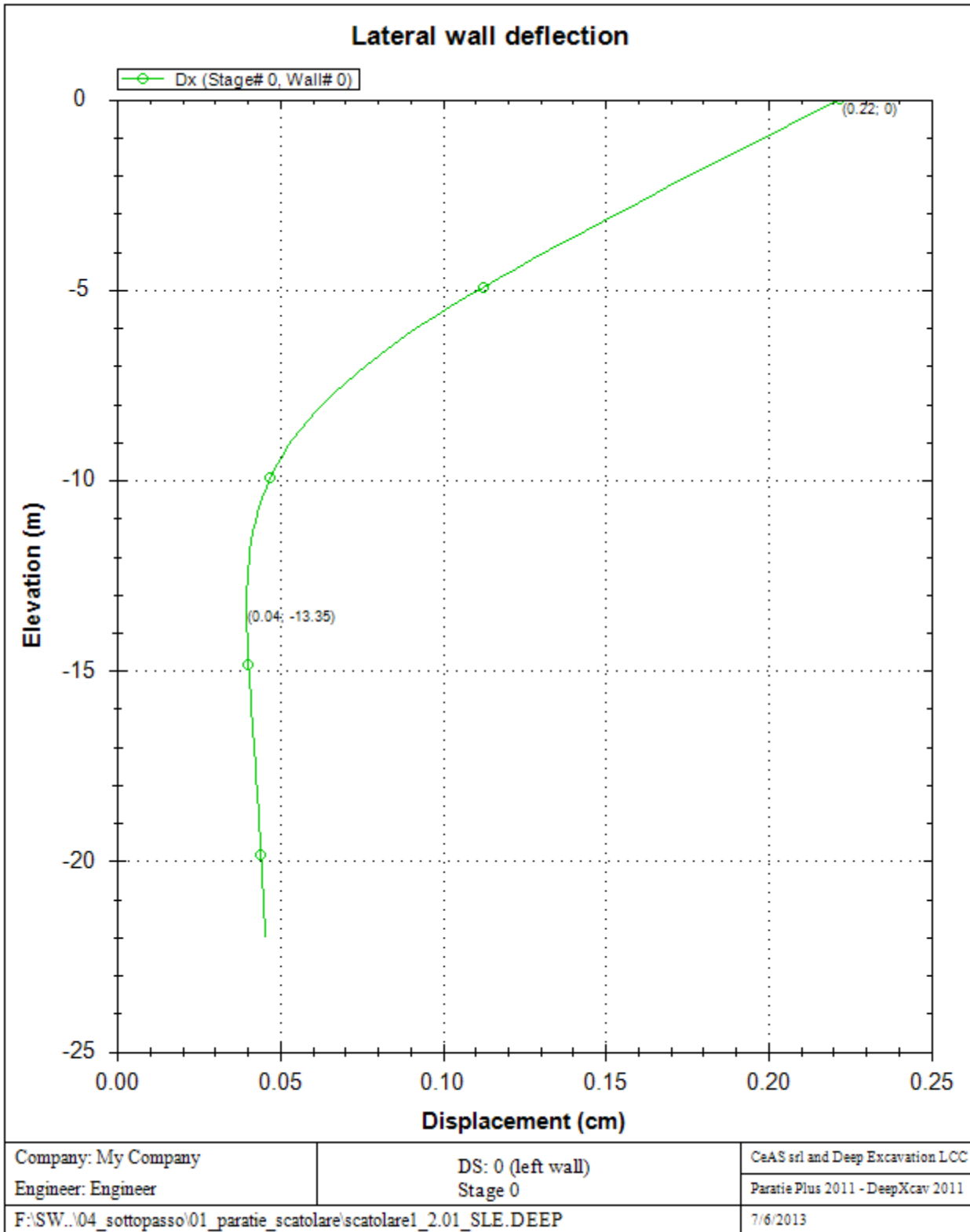
F:\SW..04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_2.01\_SLE.DEEP

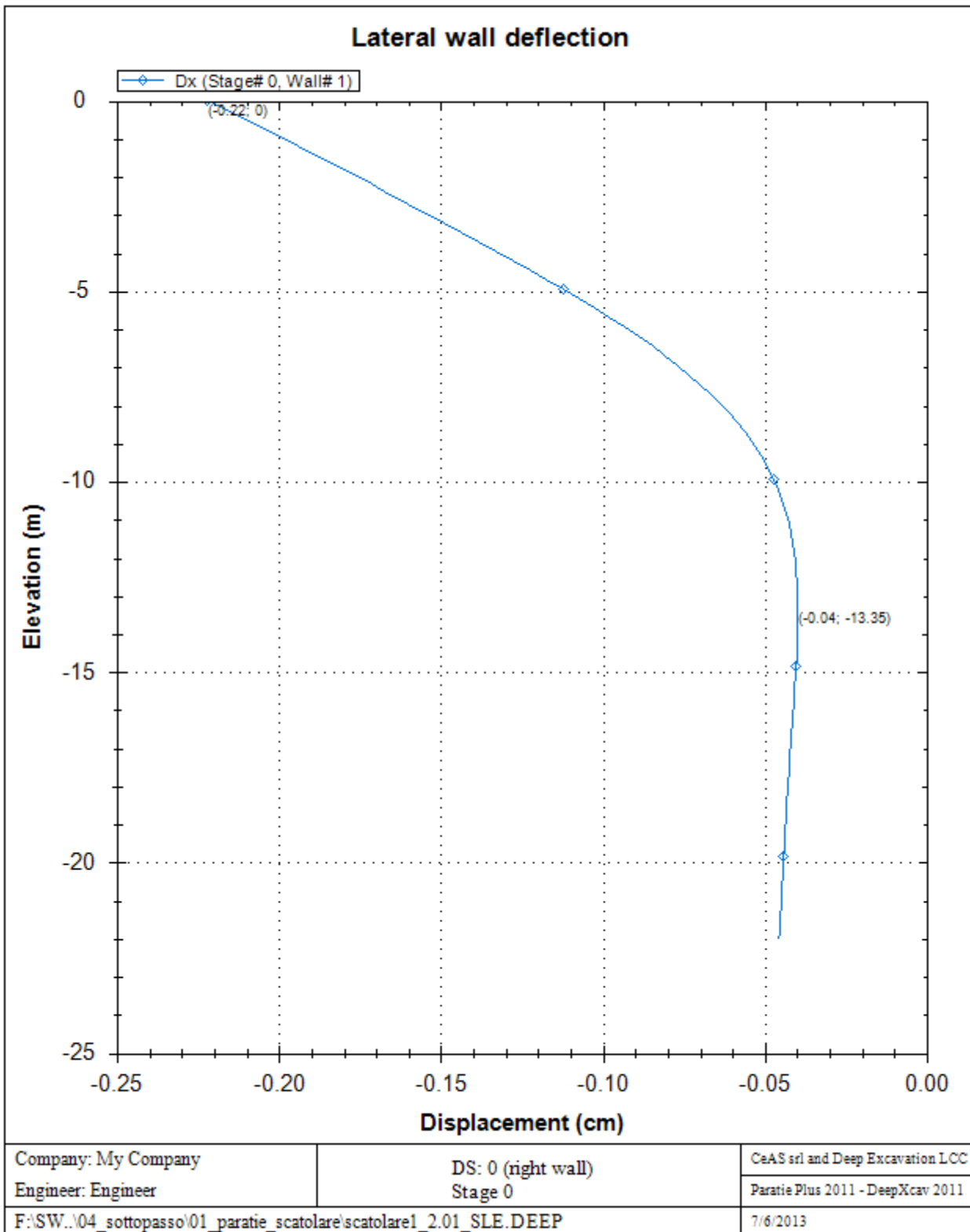
7/6/2013

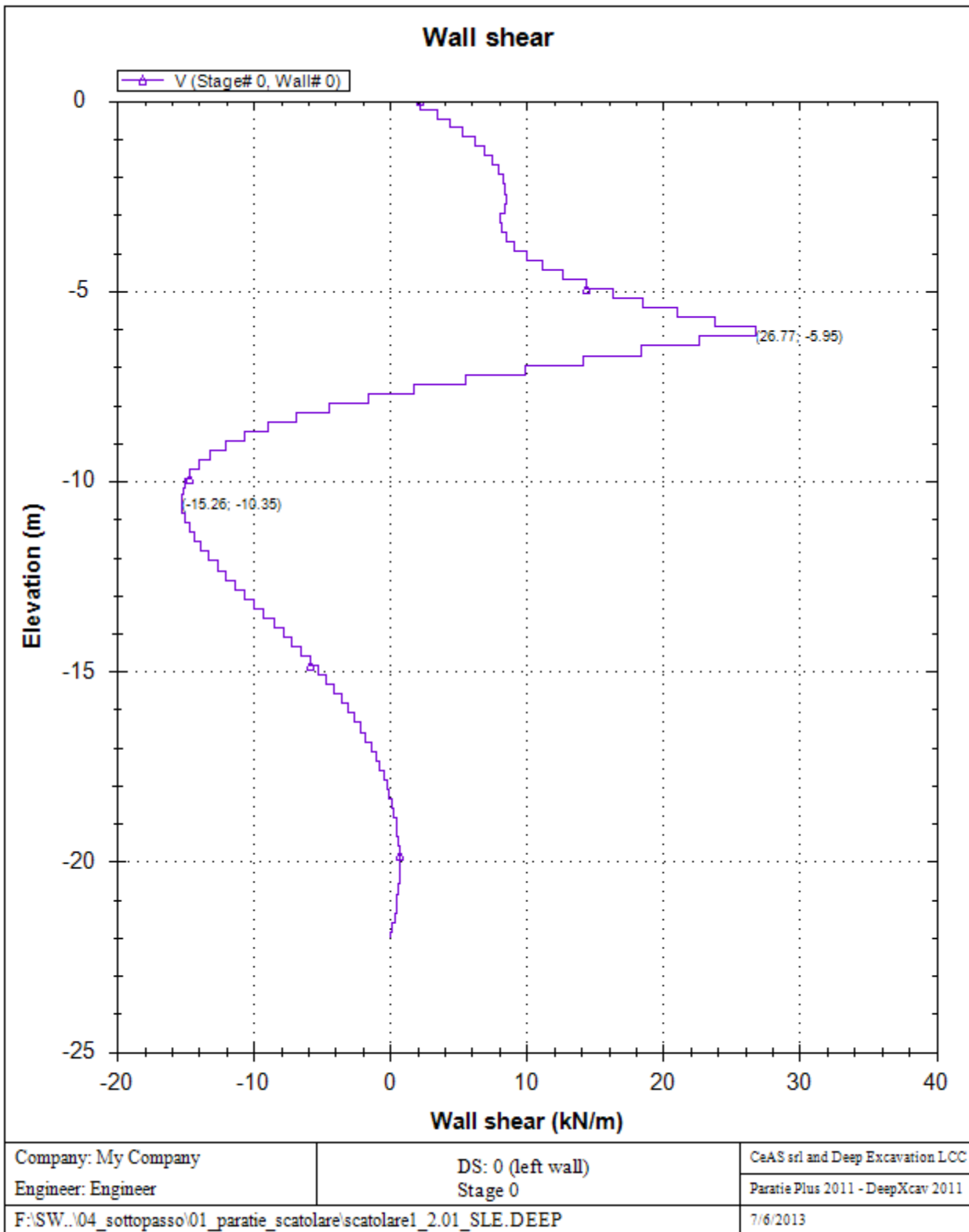


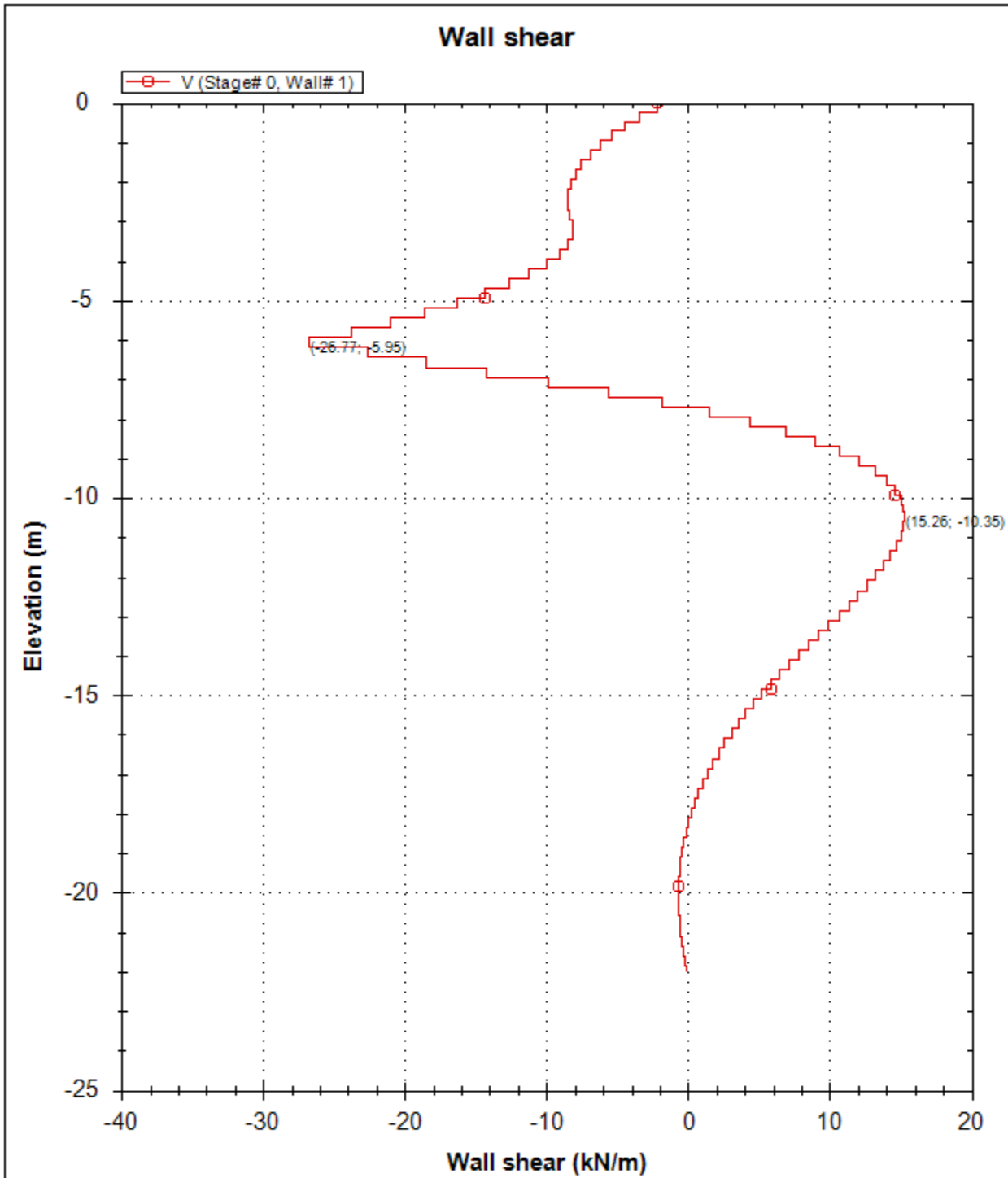












Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0 (right wall)  
Stage 0

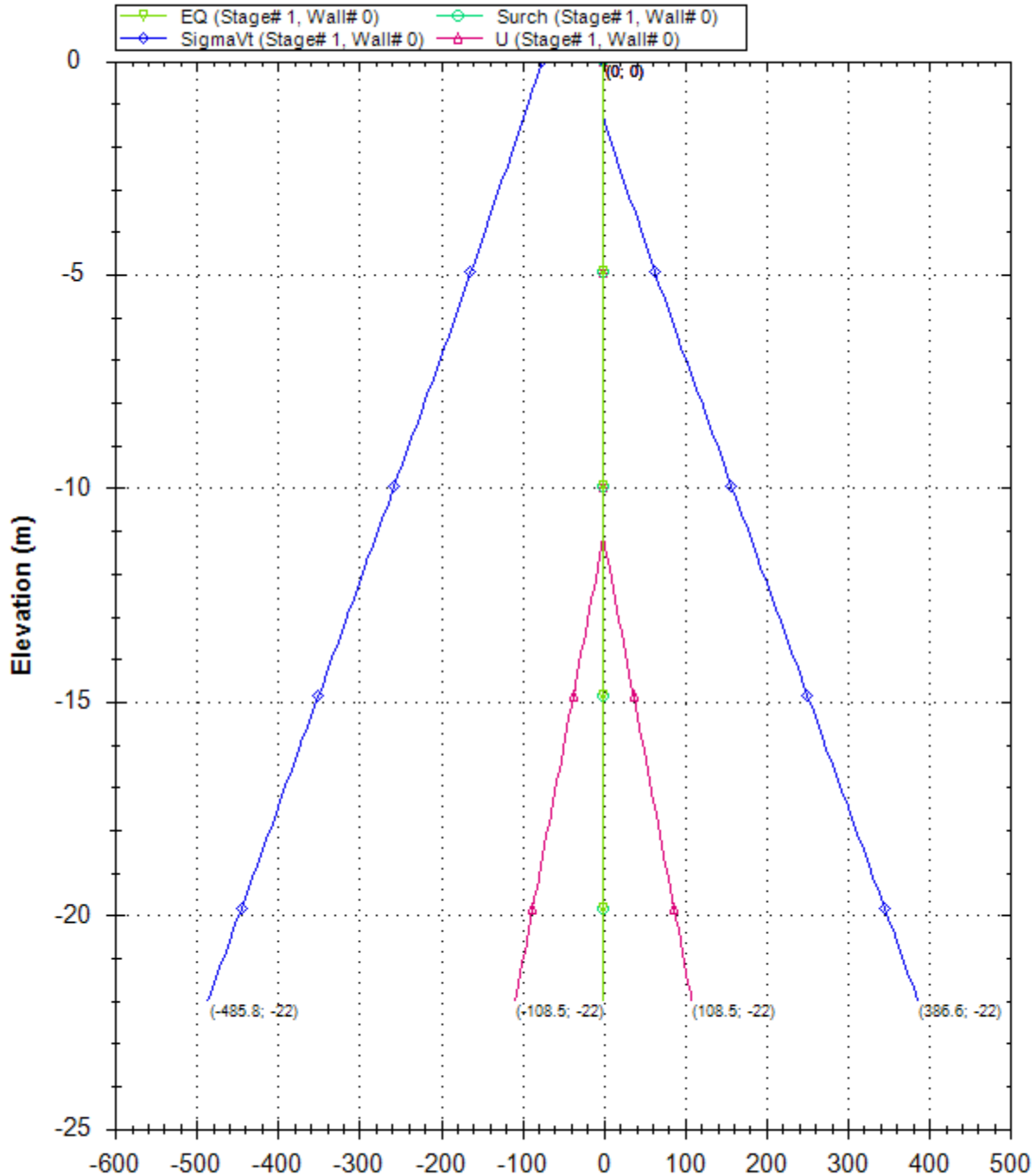
CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW...\04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_2.01\_SLE.DEEP

7/6/2013

### Horizontal and vertical pressures (kPa)



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0 (left wall)  
Stage 1-Scavo -1.4m

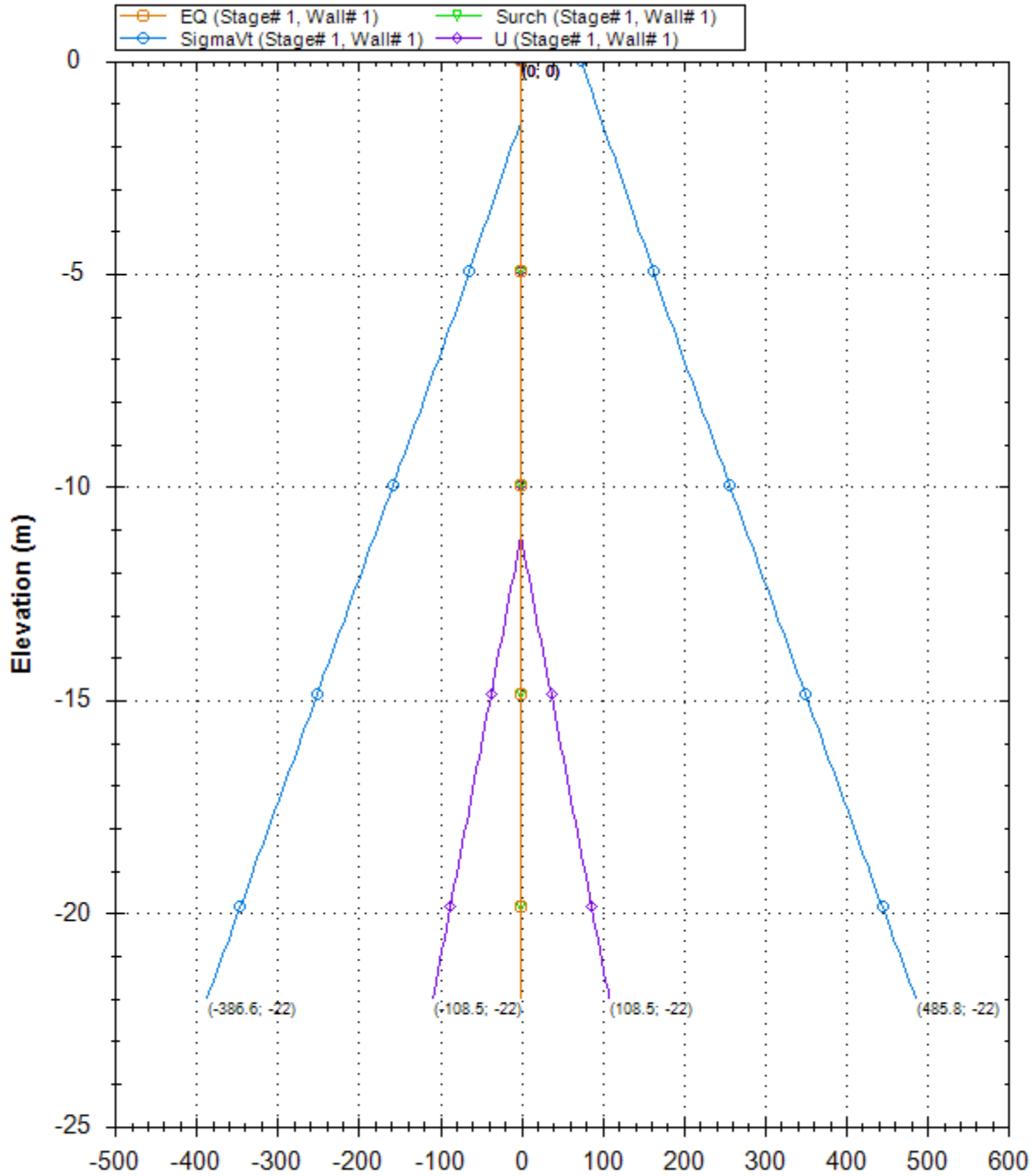
CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW..04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_2.01\_SLE.DEEP

7/6/2013

### Horizontal and vertical pressures (kPa)



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0 (right wall)  
Stage 1-Scavo -1.4m

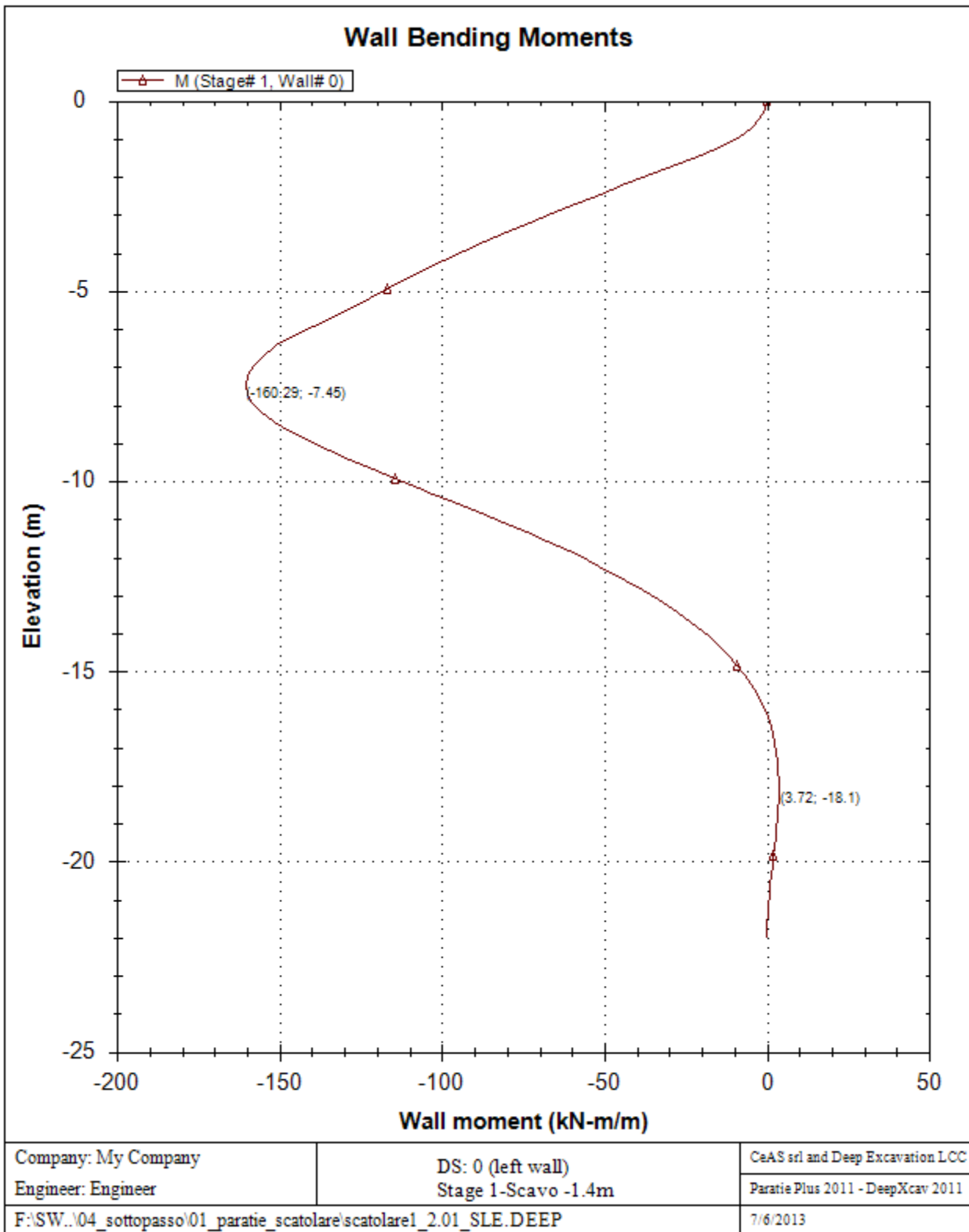
CeAS srl and Deep Excavation LCC

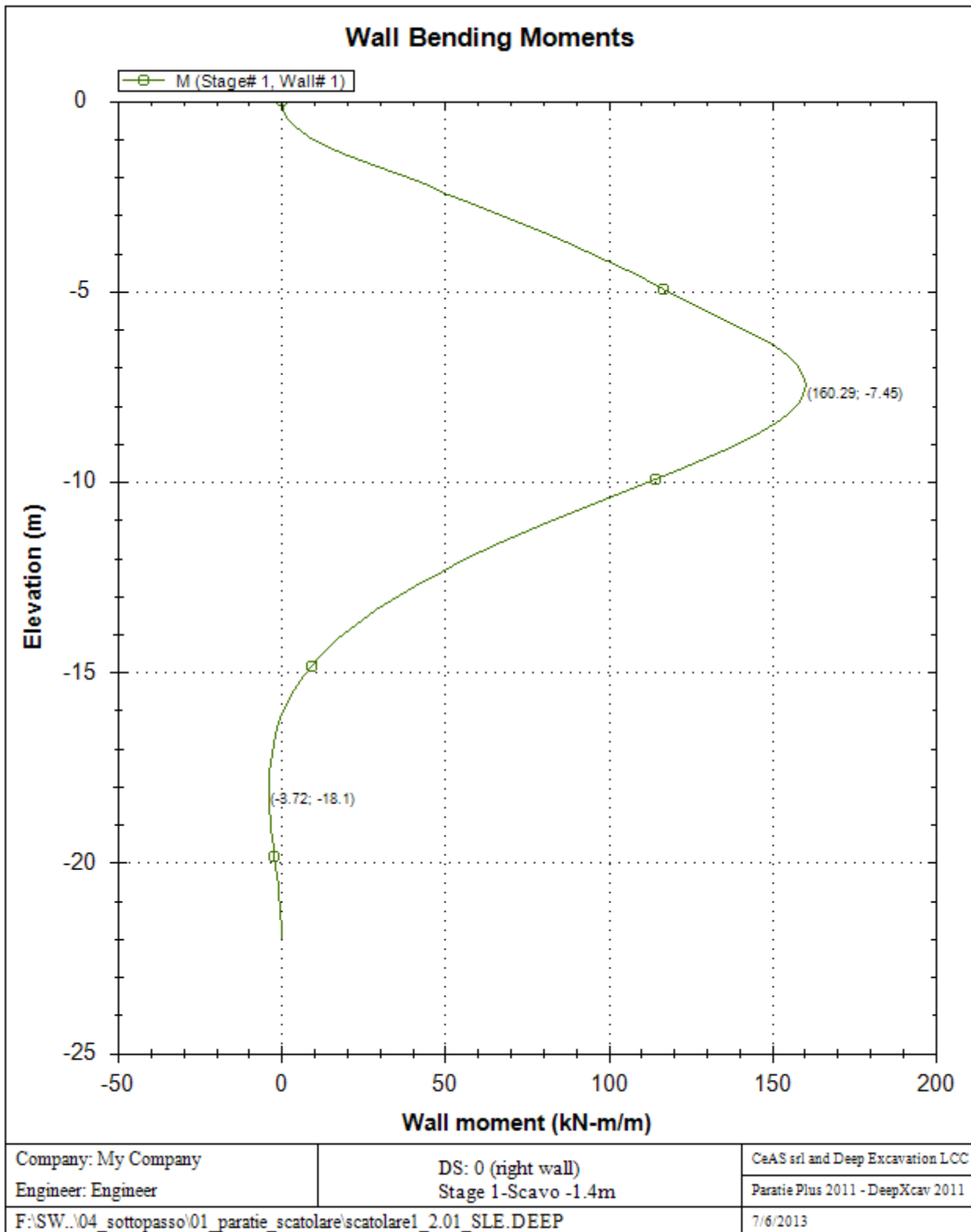
Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

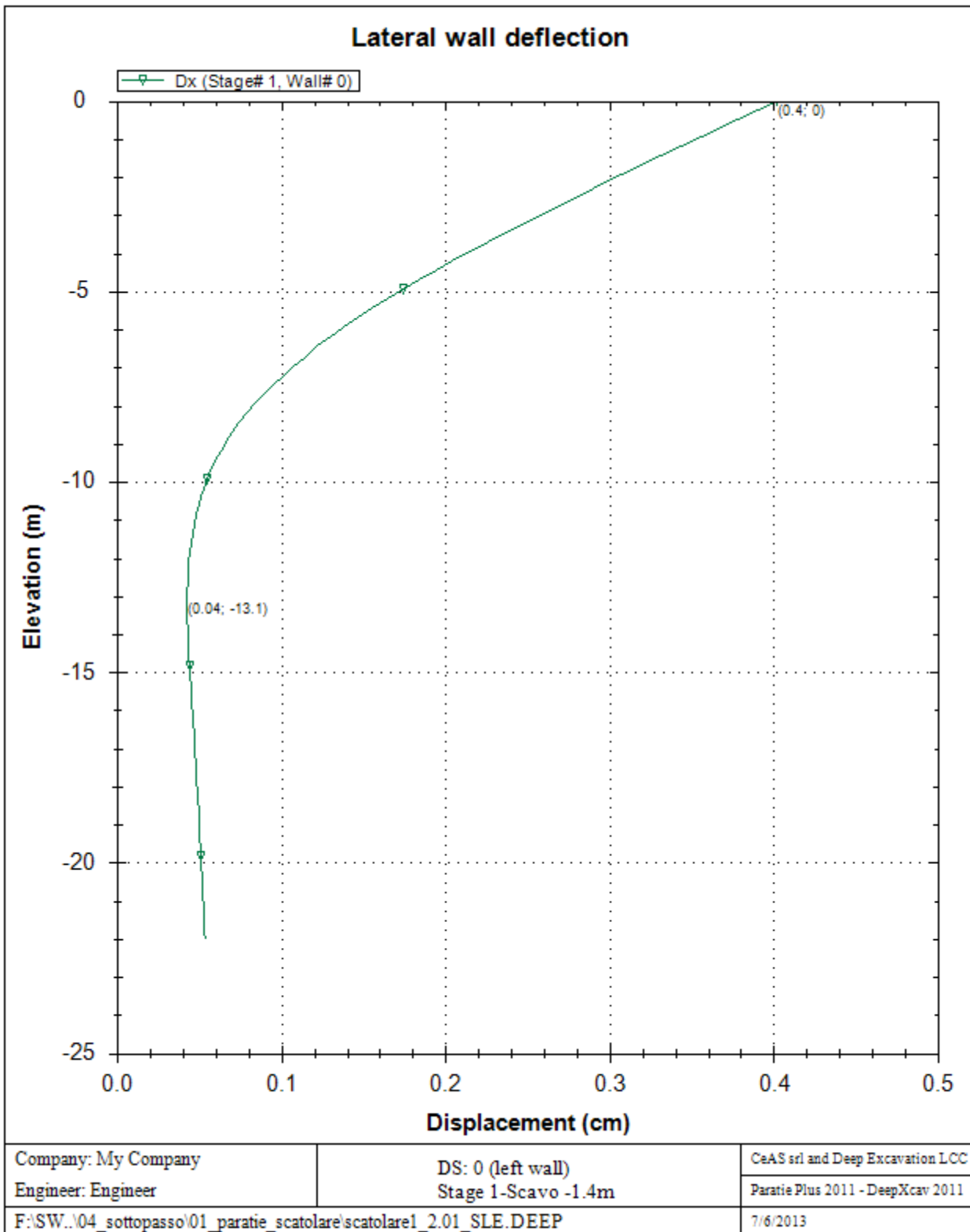
F:\SW..04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_2.01\_SLE.DEEP

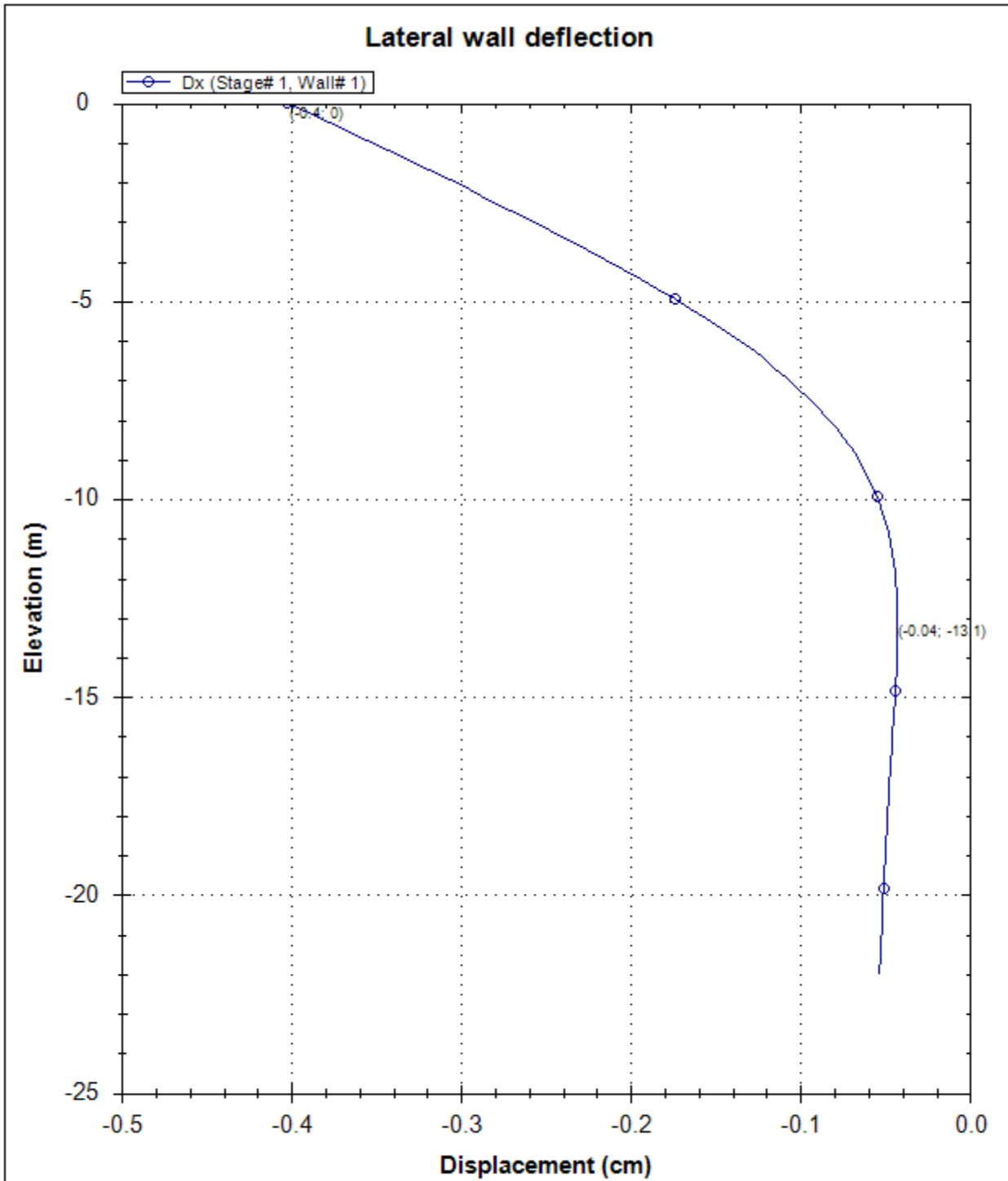
7/6/2013











Company: My Company

Engineer: Engineer

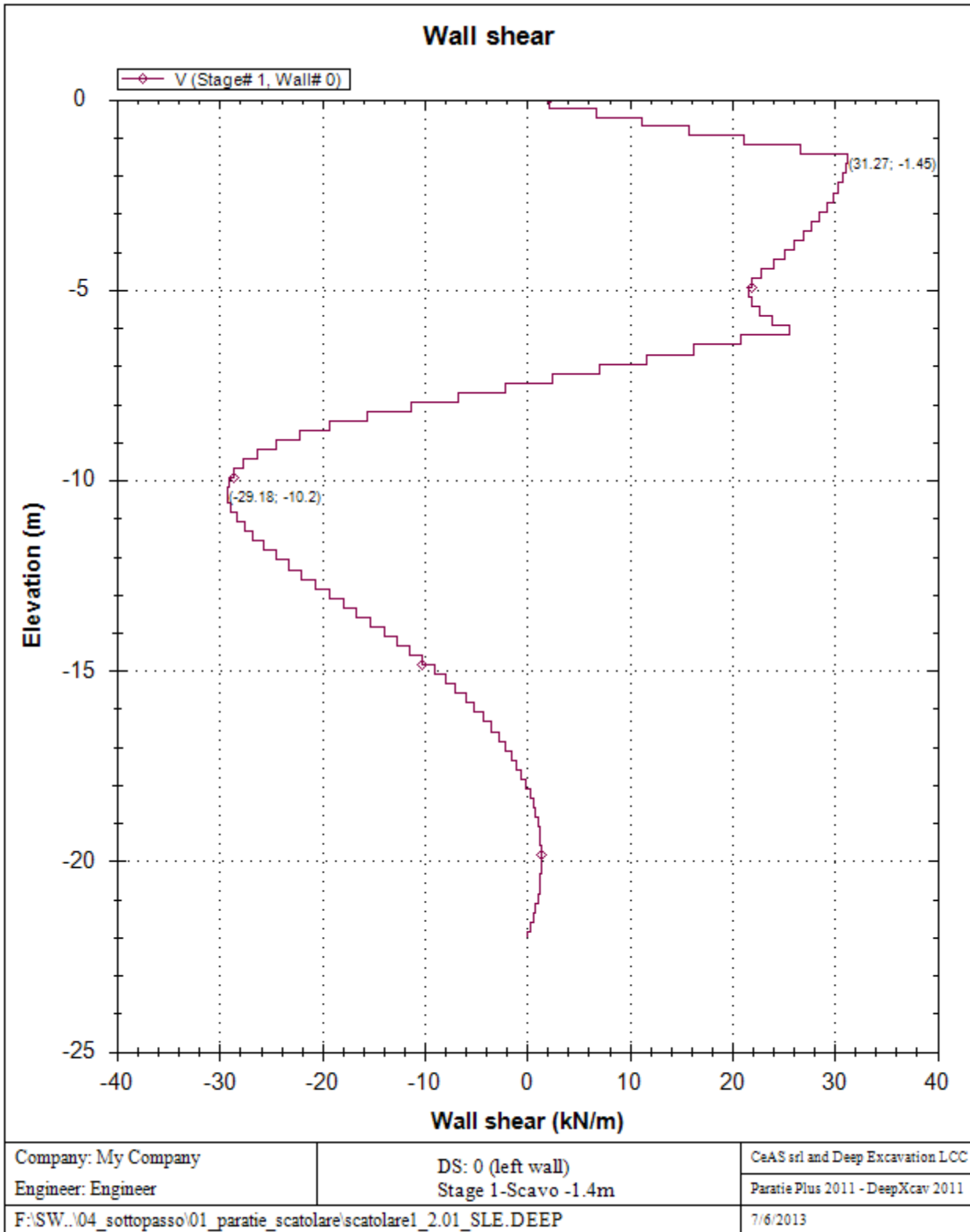
DS: 0 (right wall)  
Stage 1-Scavo -1.4m

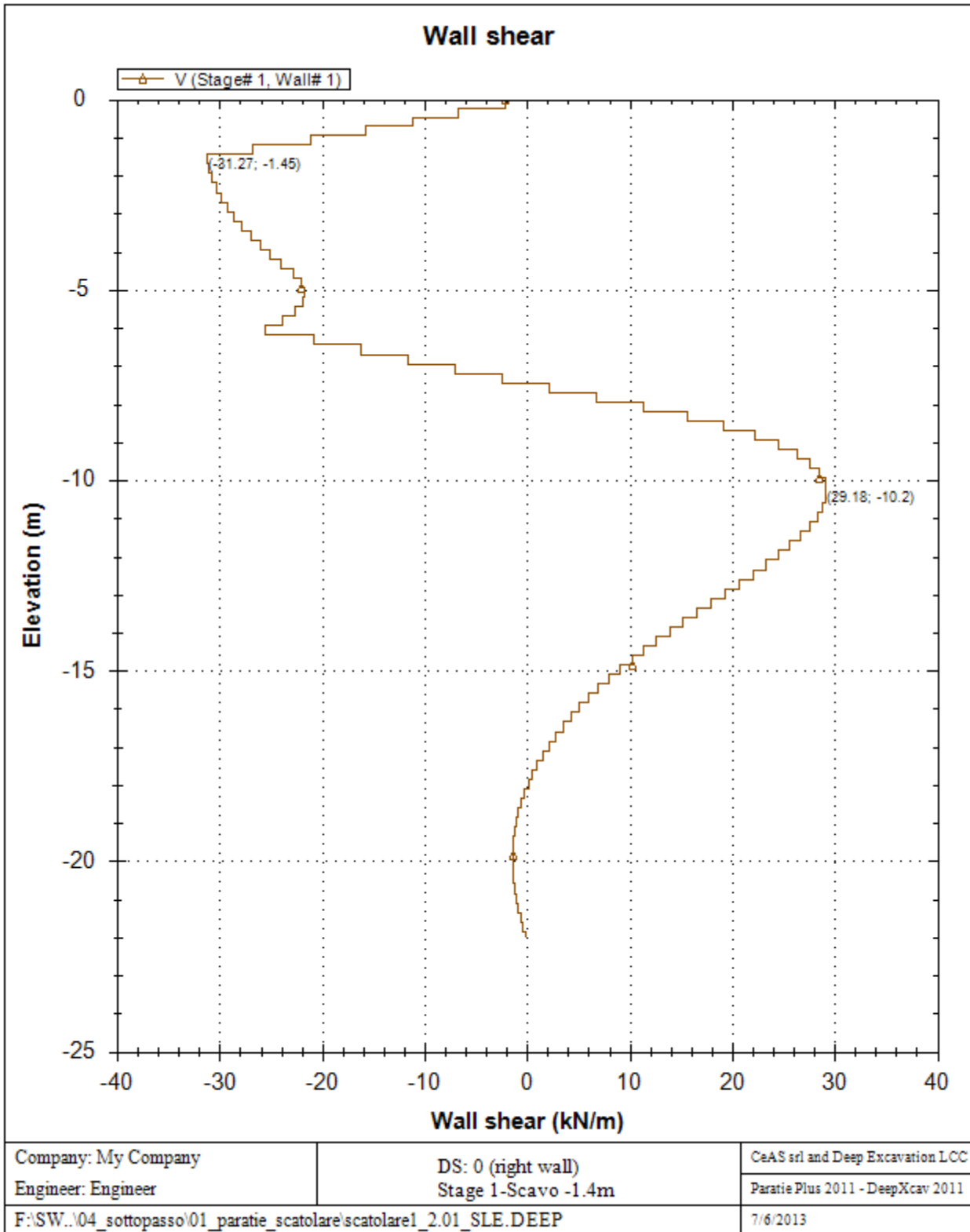
CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

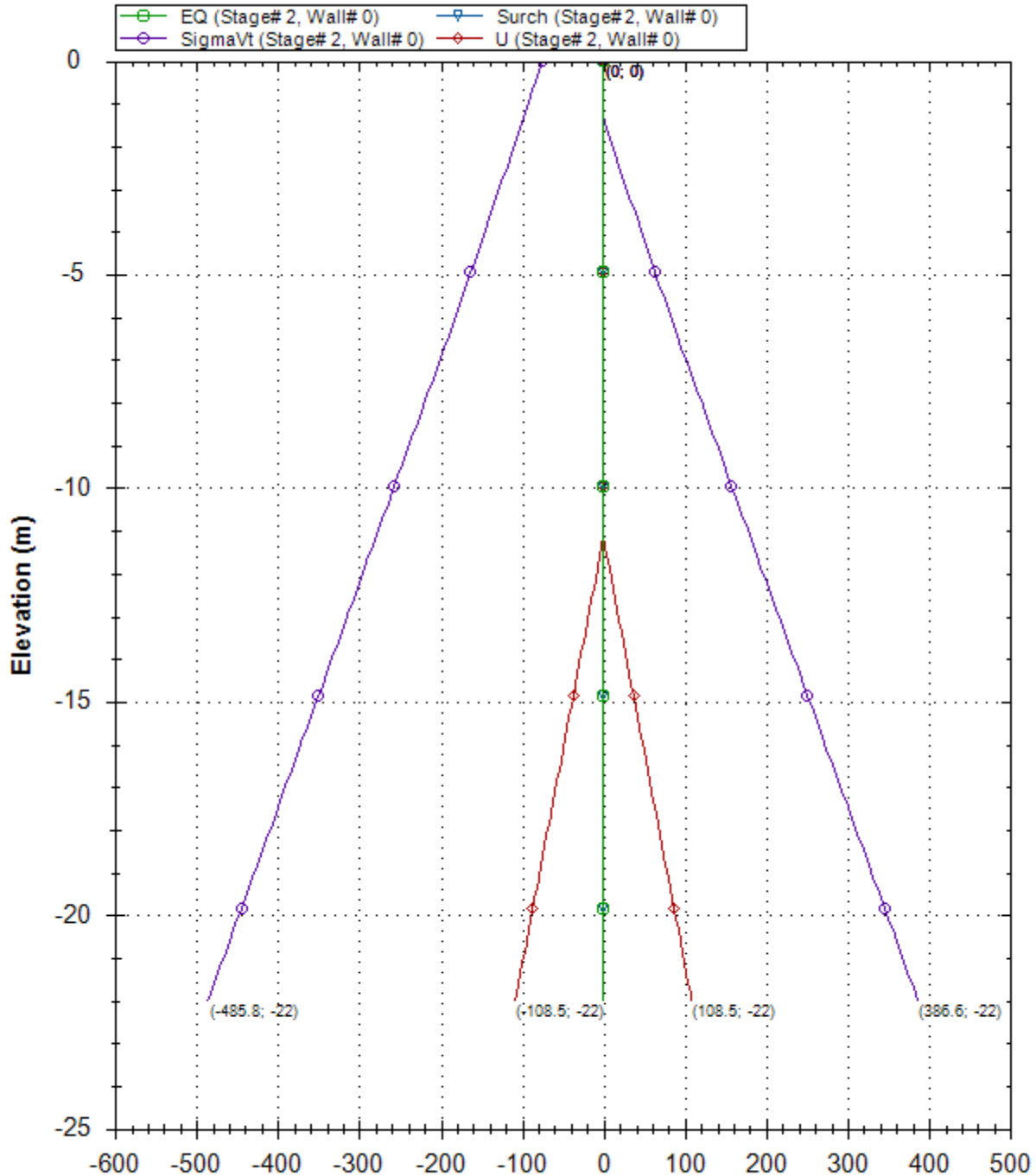
F:\SW..04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_2.01\_SLE.DEEP

7/6/2013





### Horizontal and vertical pressures (kPa)



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0 (left wall)  
Stage 2-SolettoneSuperiore

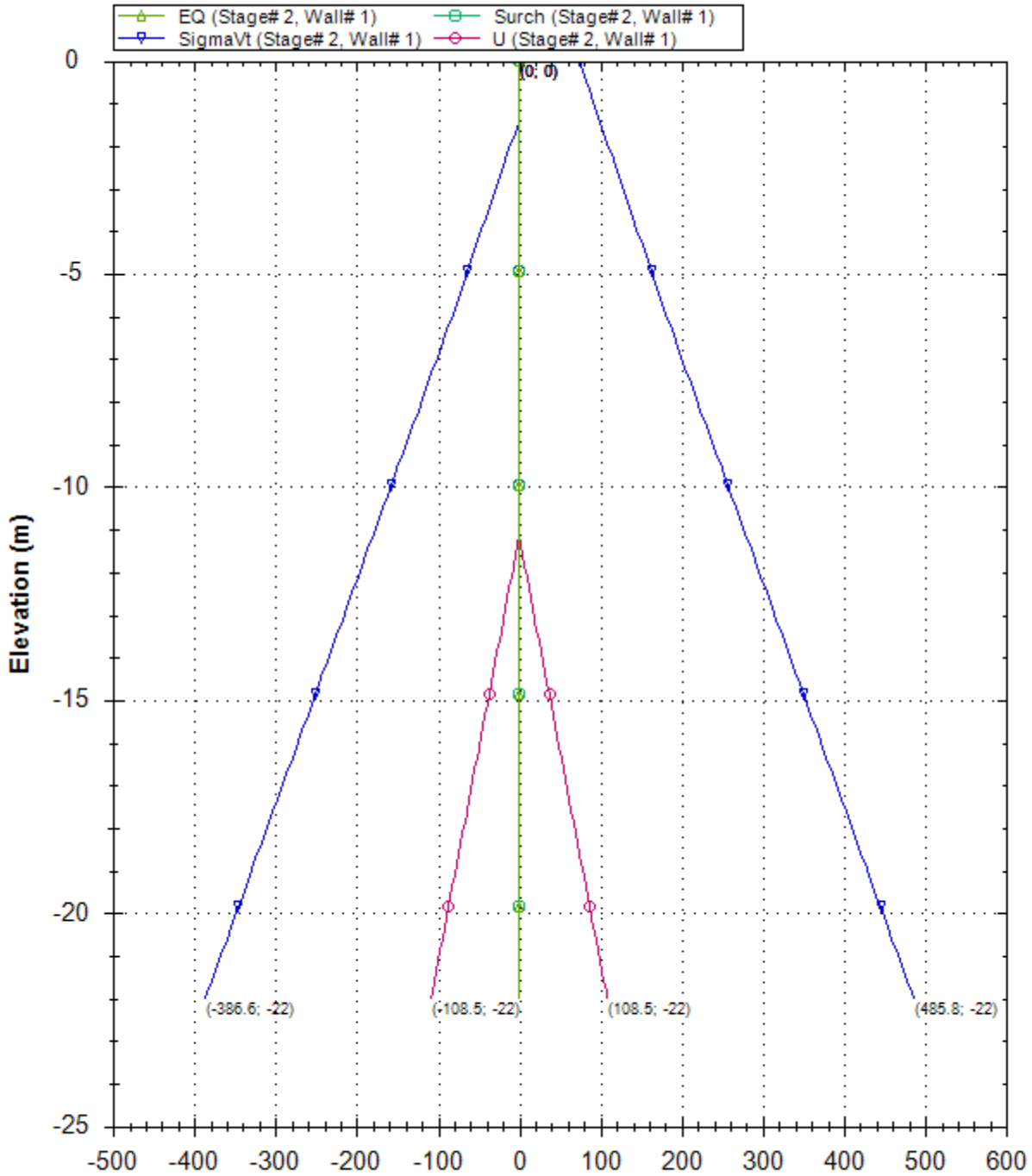
CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW..04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_2.01\_SLE.DEEP

7/6/2013

### Horizontal and vertical pressures (kPa)



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0 (right wall)  
Stage 2-SolettoneSuperiore

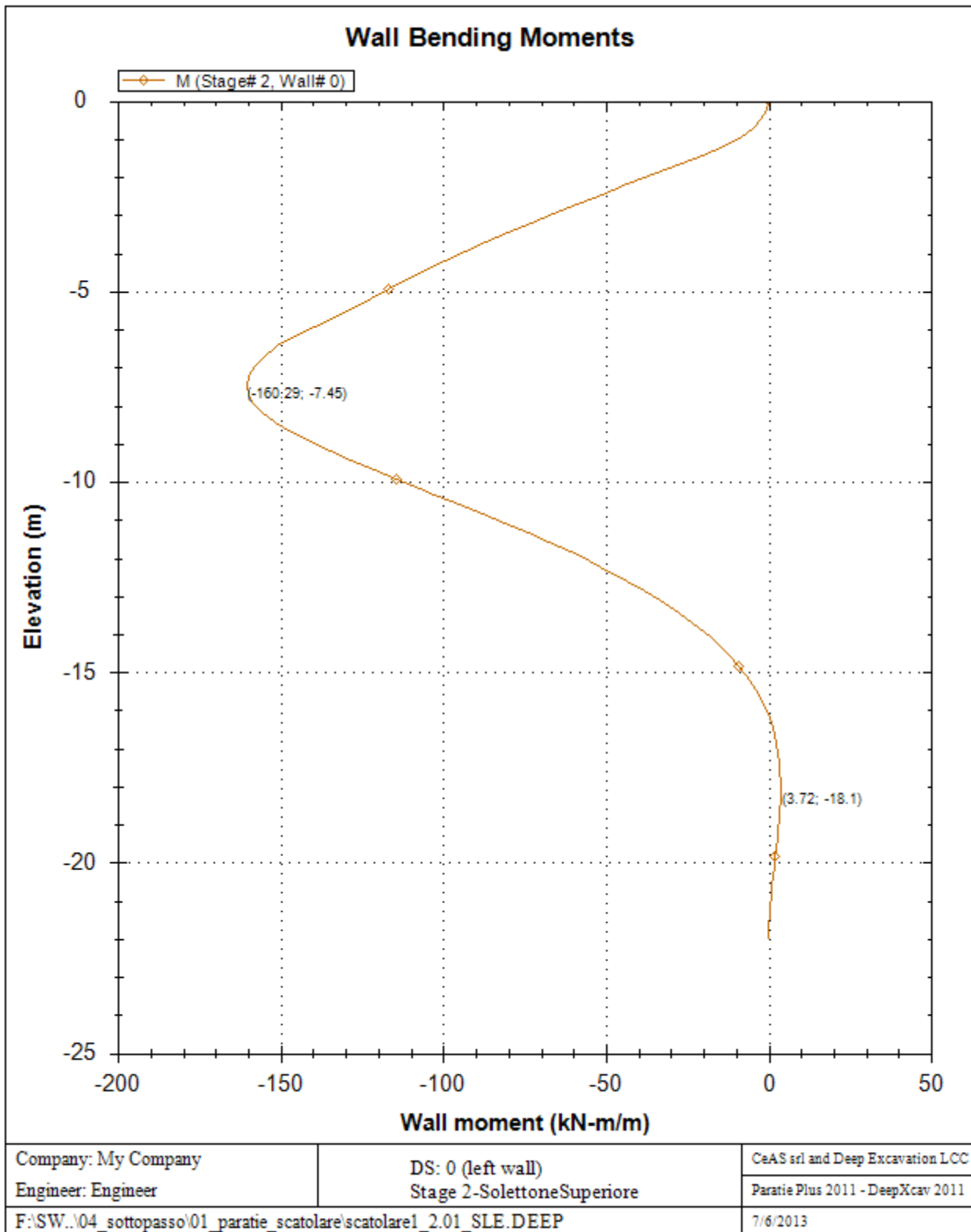
CeAS srl and Deep Excavation LCC

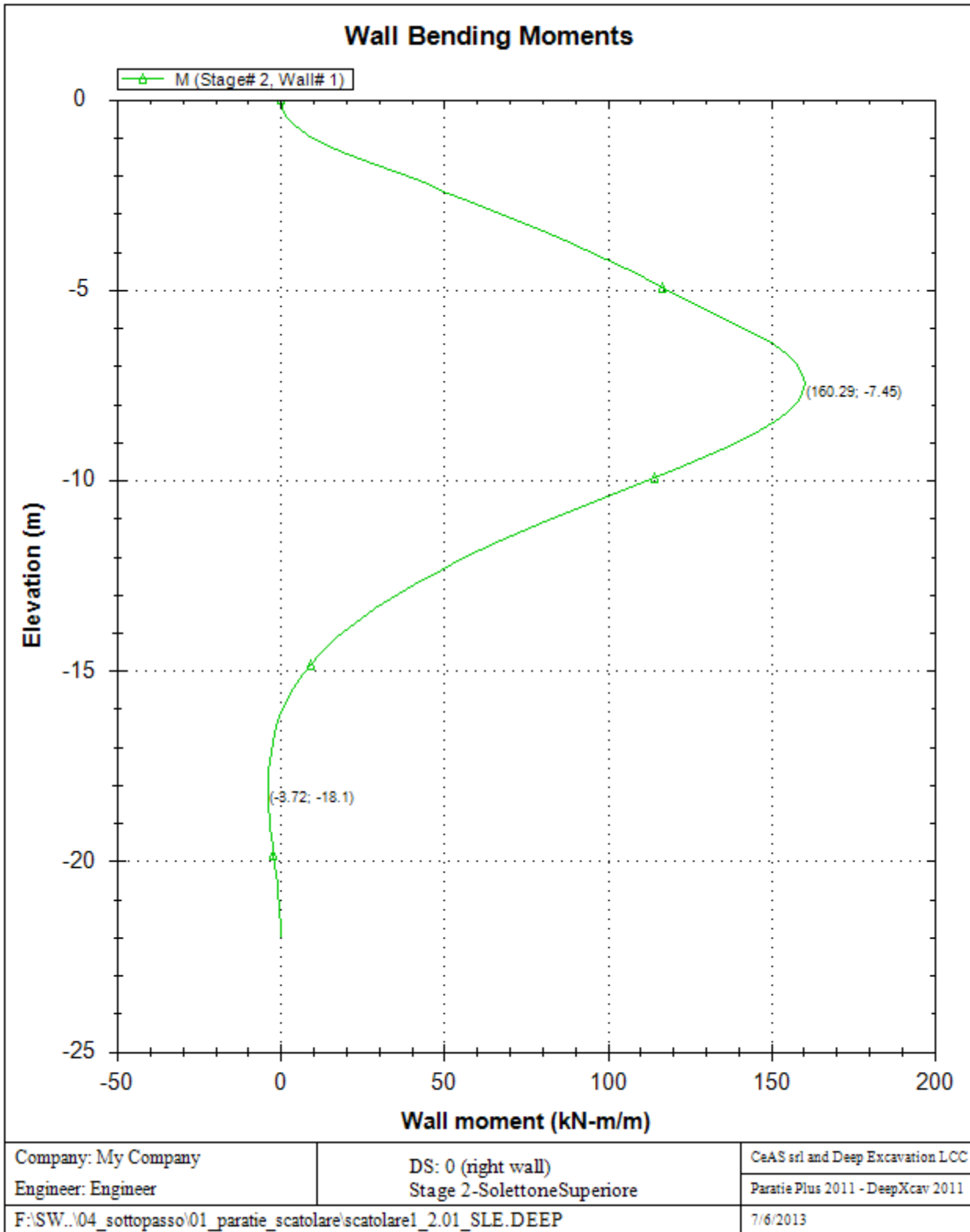
Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

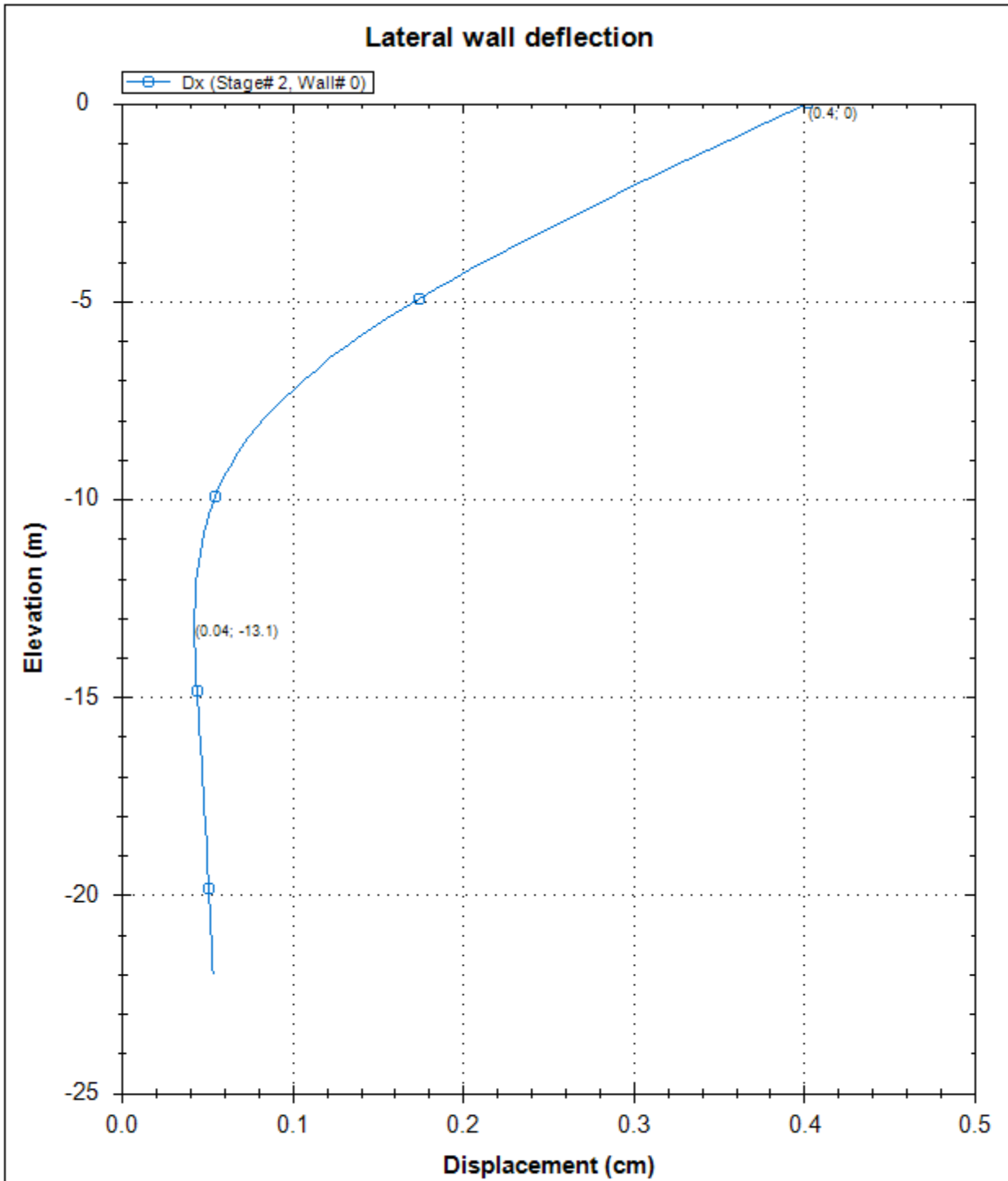
F:\SW..04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_2.01\_SLE.DEEP

7/6/2013









Company: My Company

Engineer: Engineer

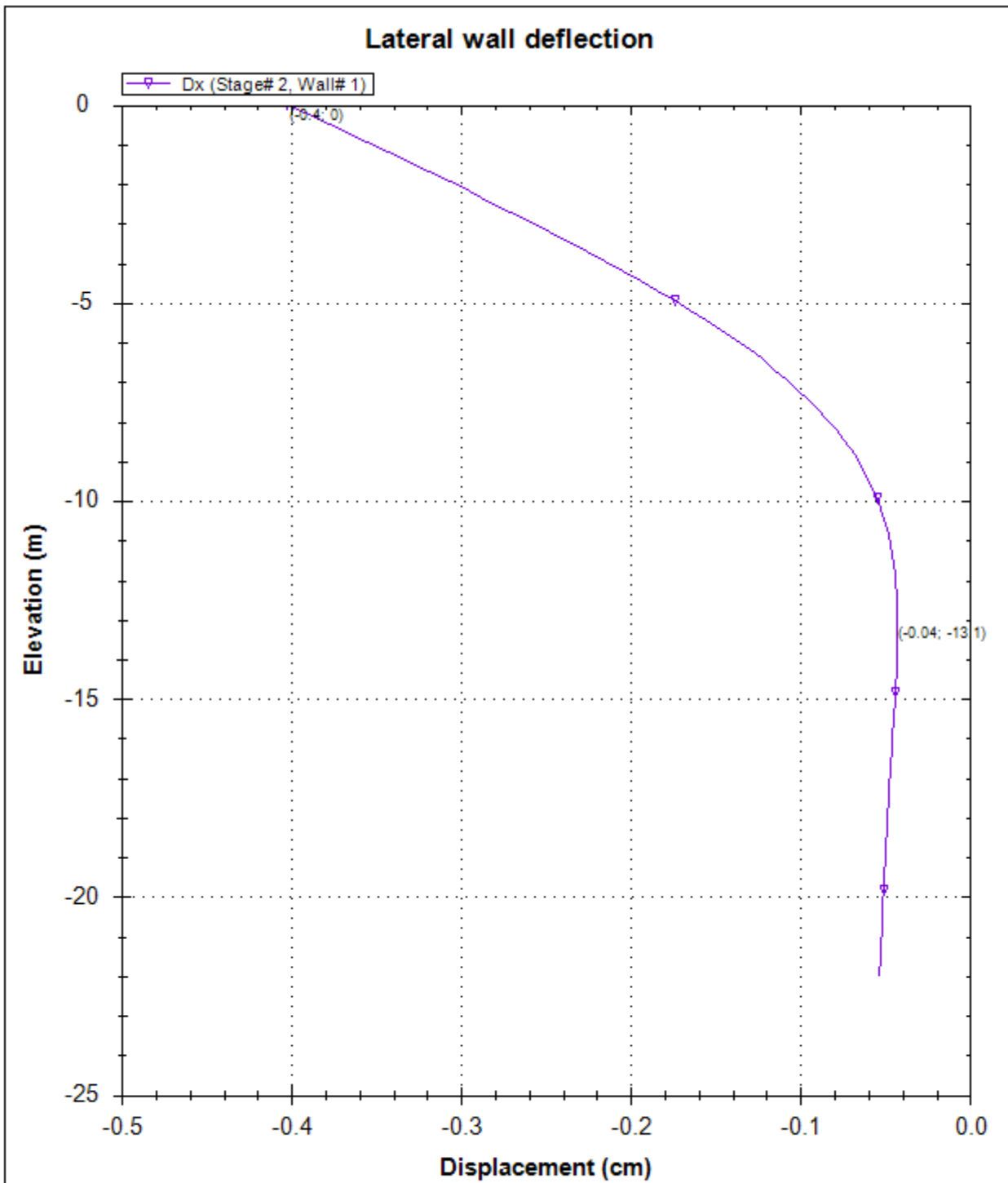
DS: 0 (left wall)  
Stage 2-SolettoneSuperiore

CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW...\04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_2.01\_SLE.DEEP

7/6/2013



Company: My Company

Engineer: Engineer

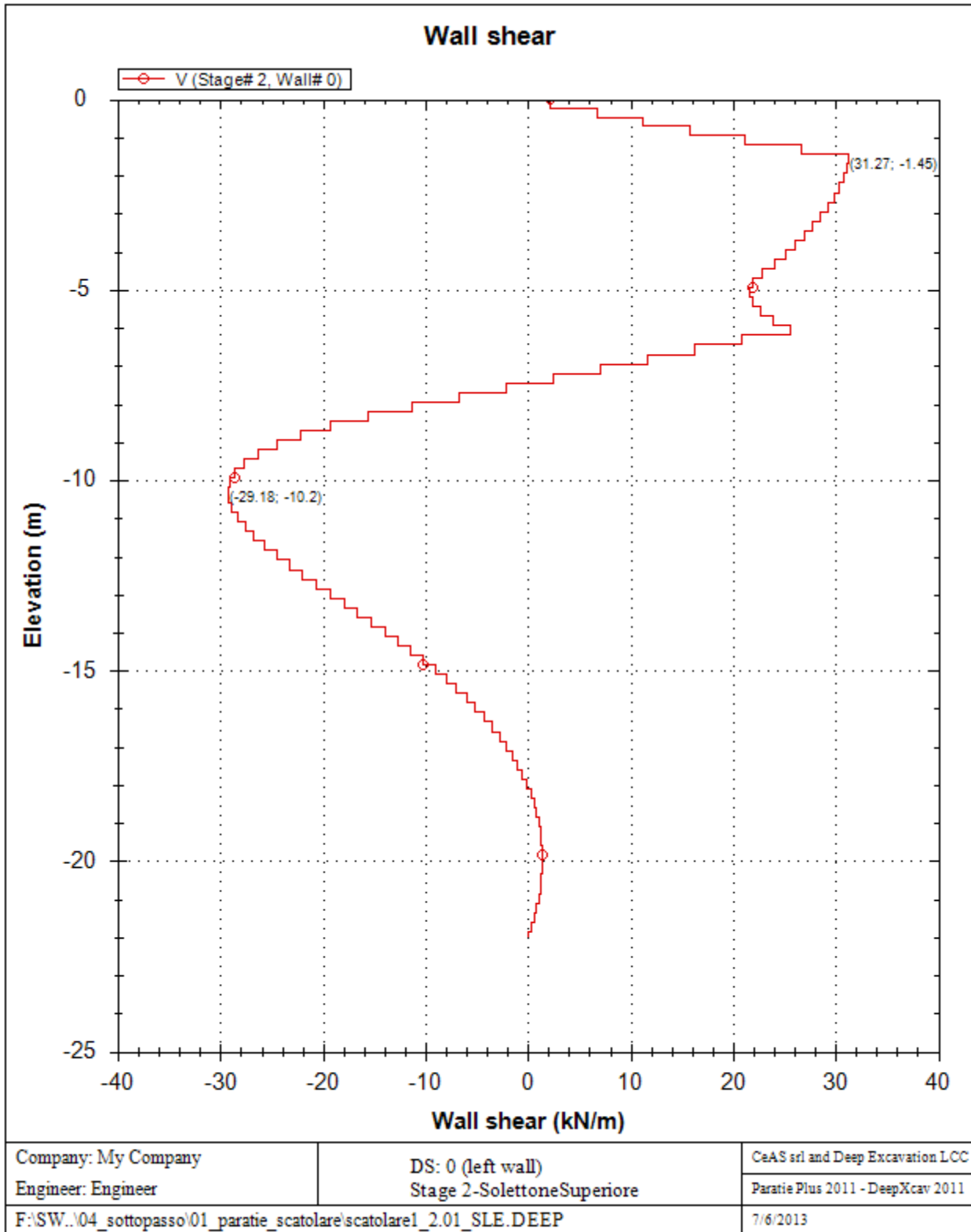
DS: 0 (right wall)  
 Stage 2-SolettoneSuperiore

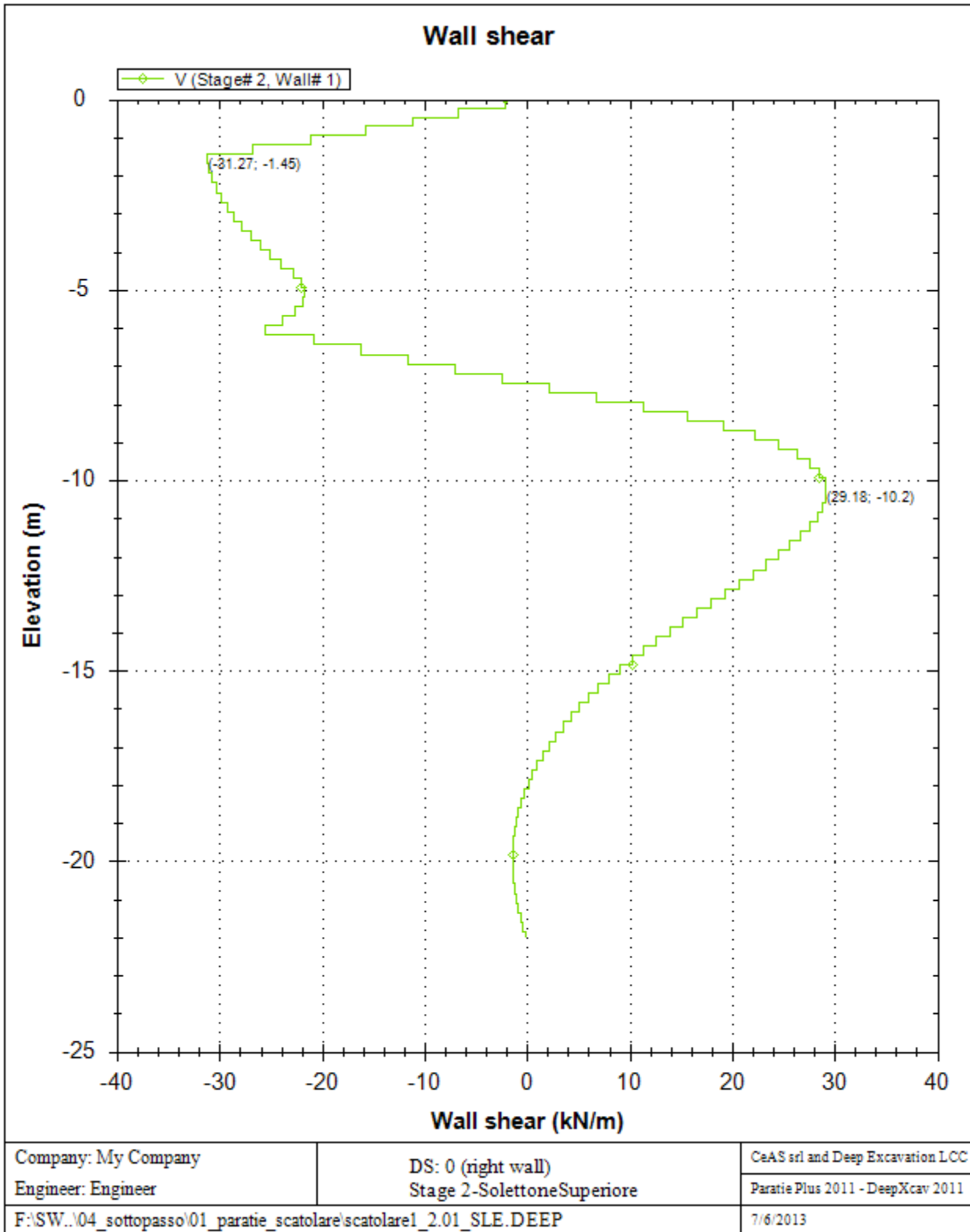
CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

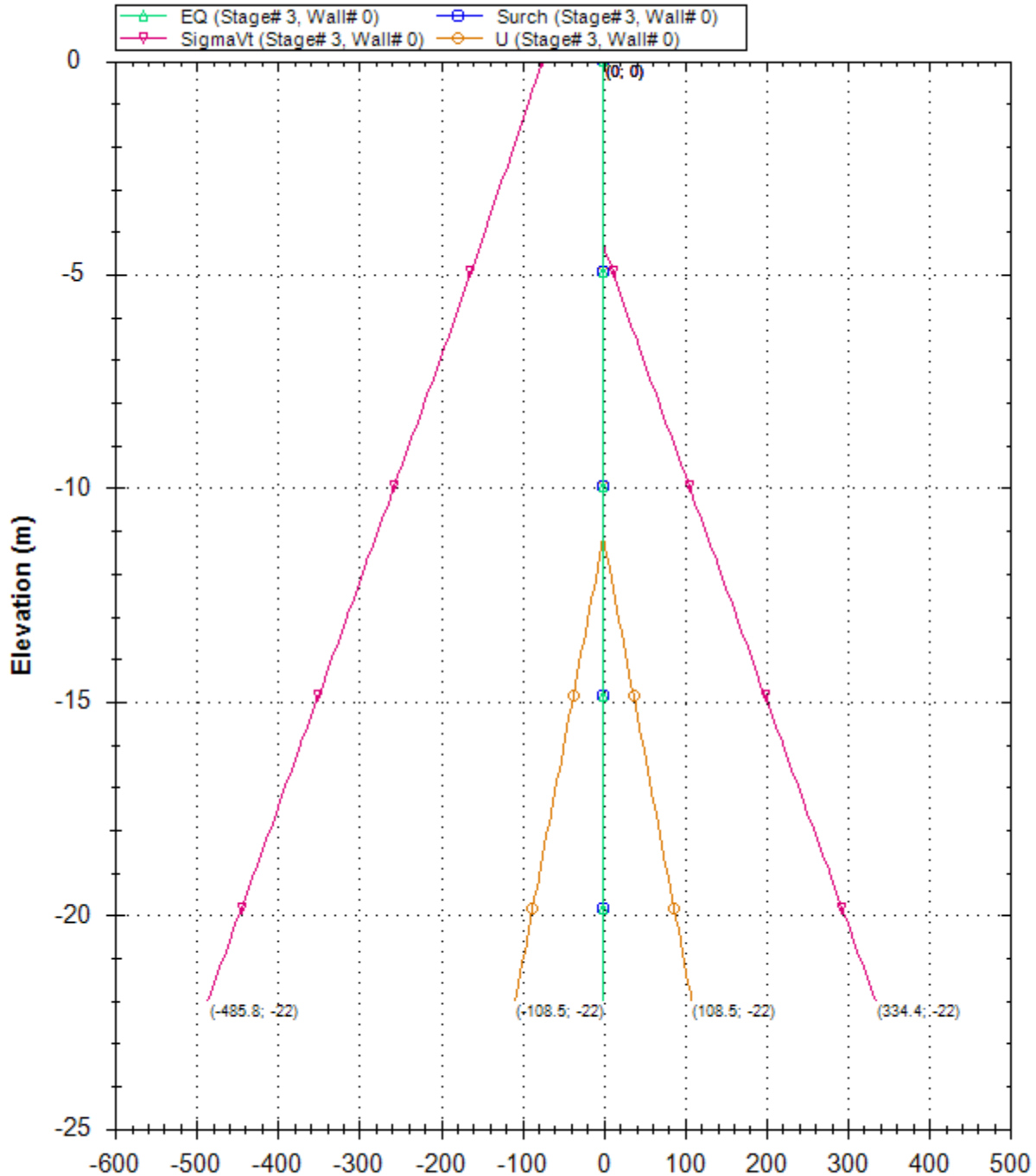
F:\SW...\04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_2.01\_SLE.DEEP

7/6/2013





### Horizontal and vertical pressures (kPa)



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0 (left wall)  
Stage 3-Scavo -4.3m

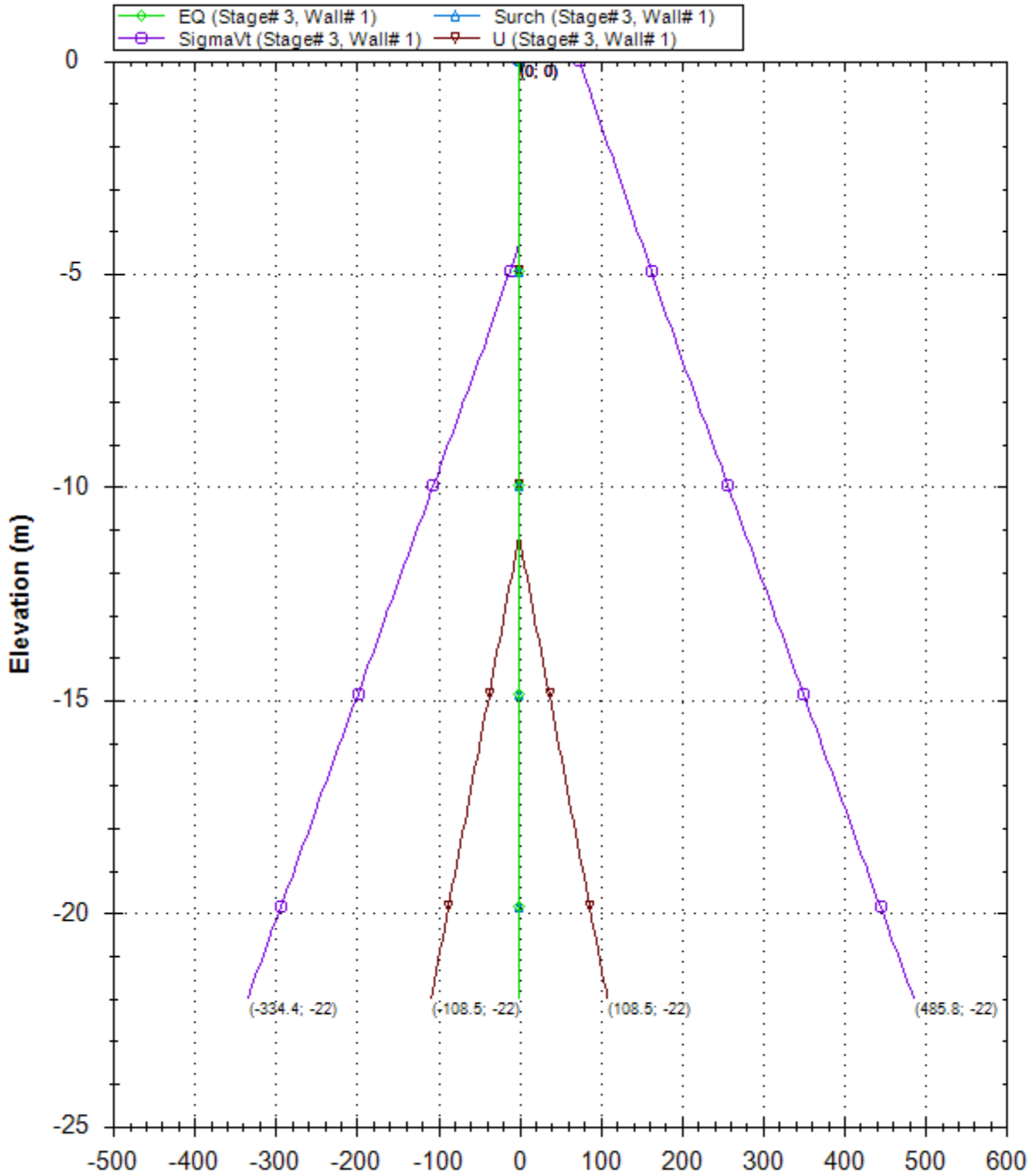
CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW...\04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_2.01\_SLE.DEEP

7/6/2013

### Horizontal and vertical pressures (kPa)



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0 (right wall)  
Stage 3-Scavo -4.3m

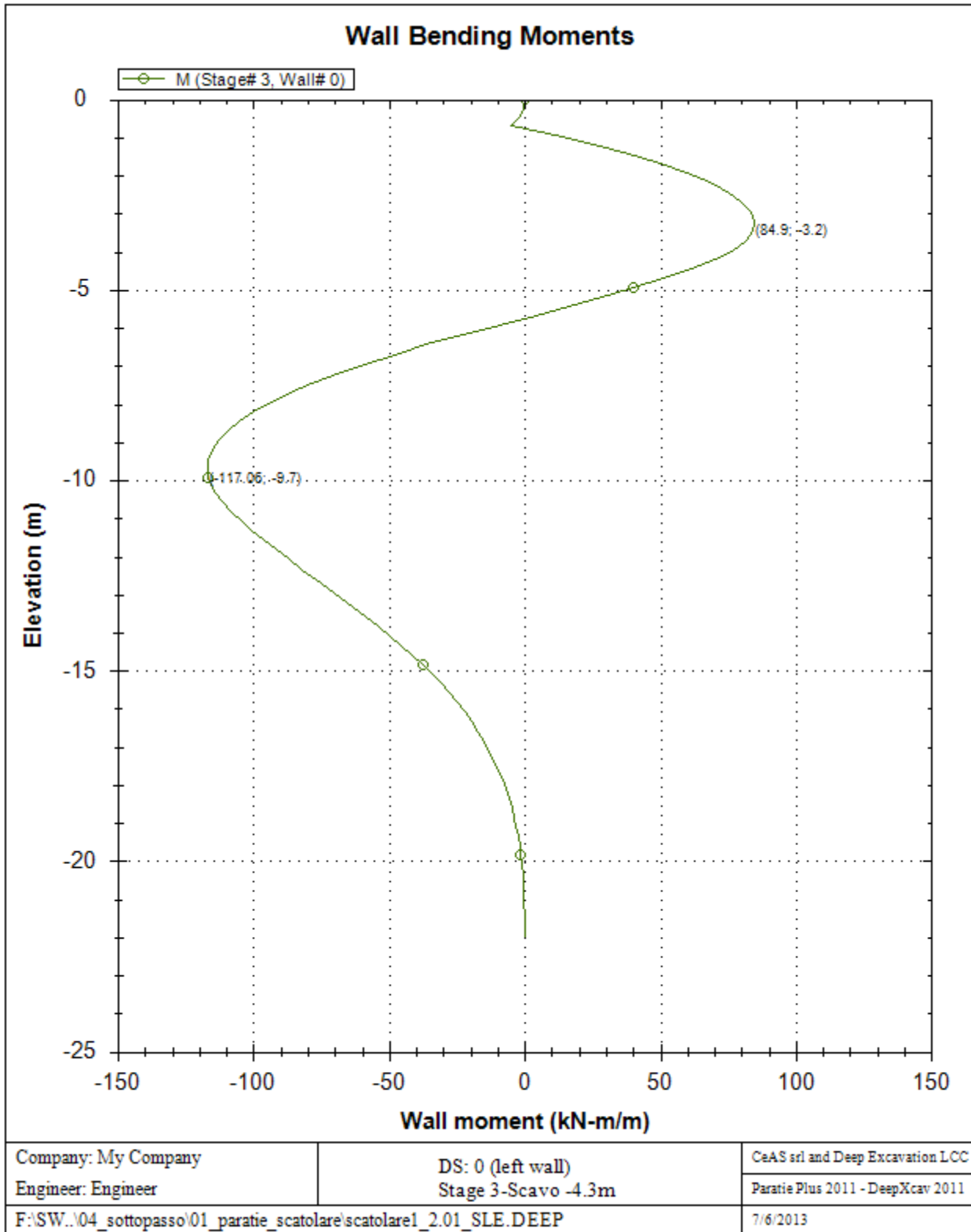
CeAS srl and Deep Excavation LCC

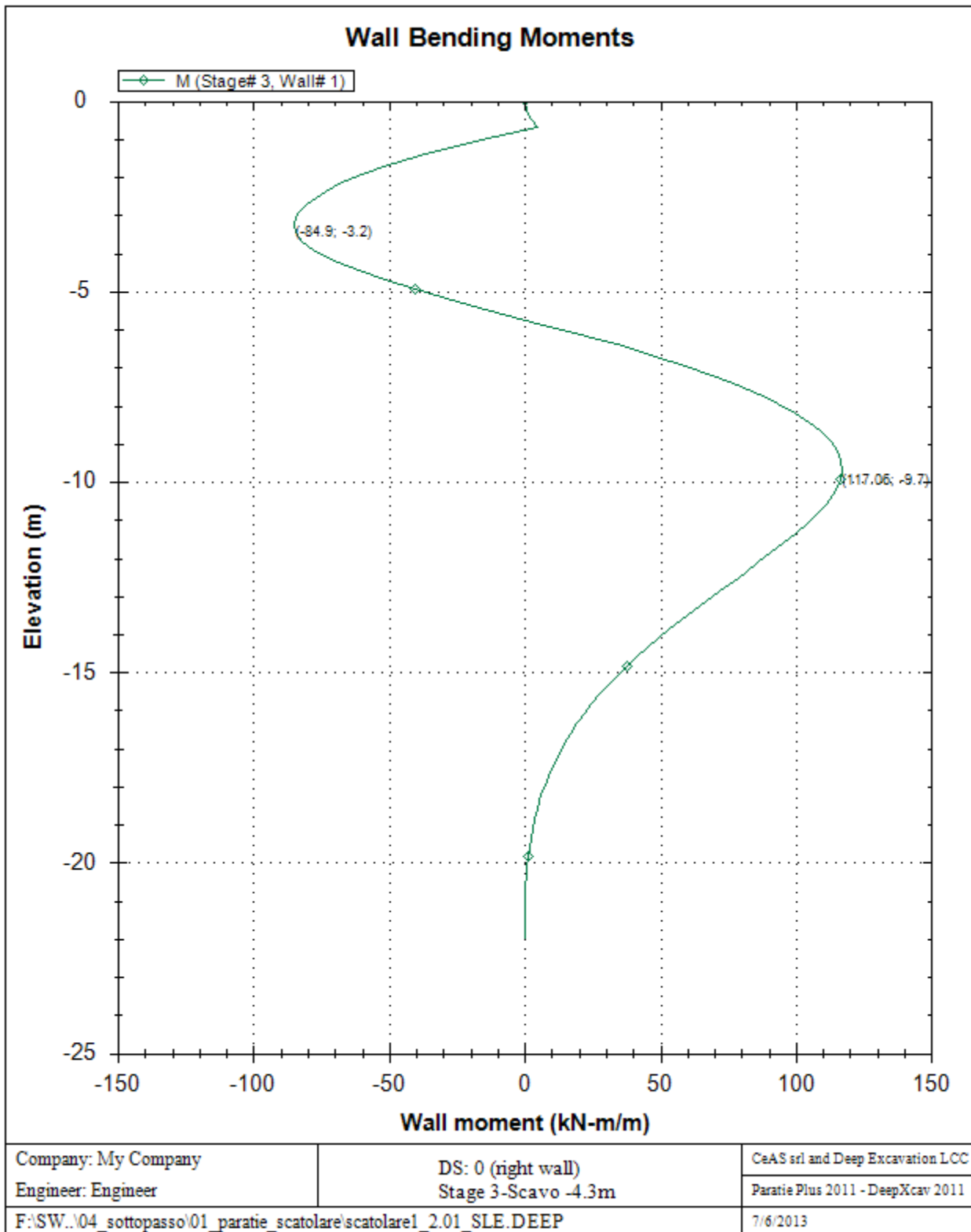
Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

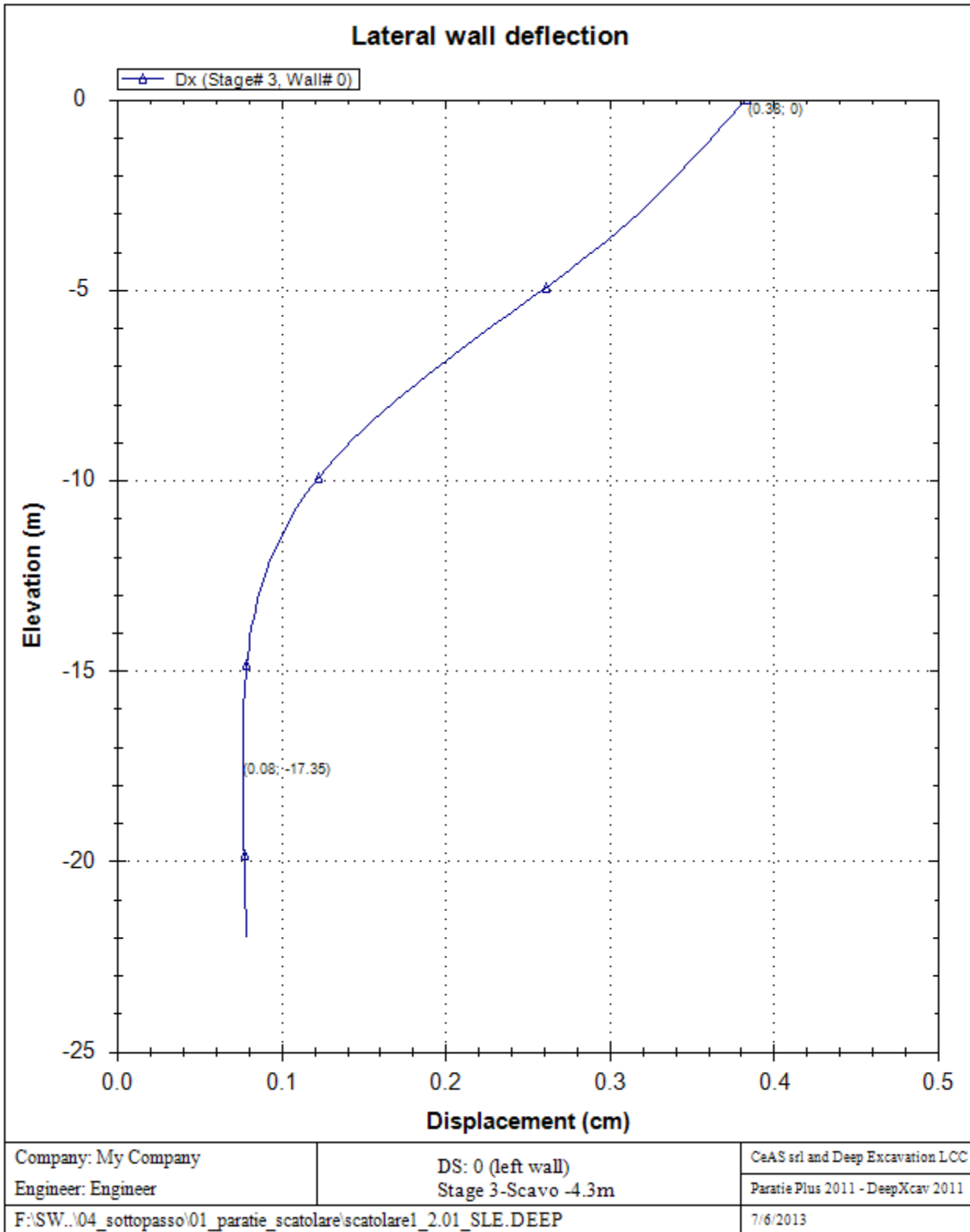
F:\SW..04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_2.01\_SLE.DEEP

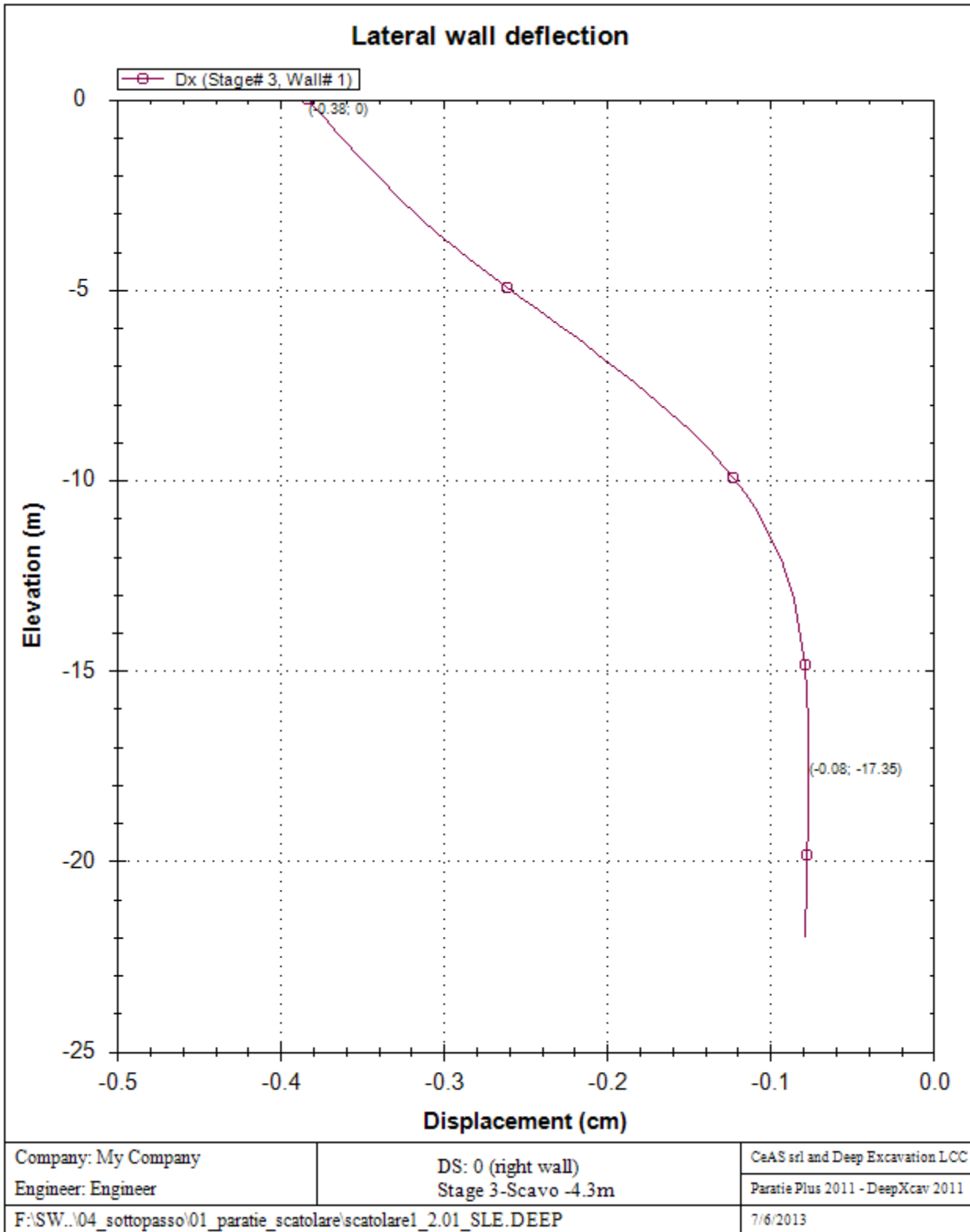
7/6/2013

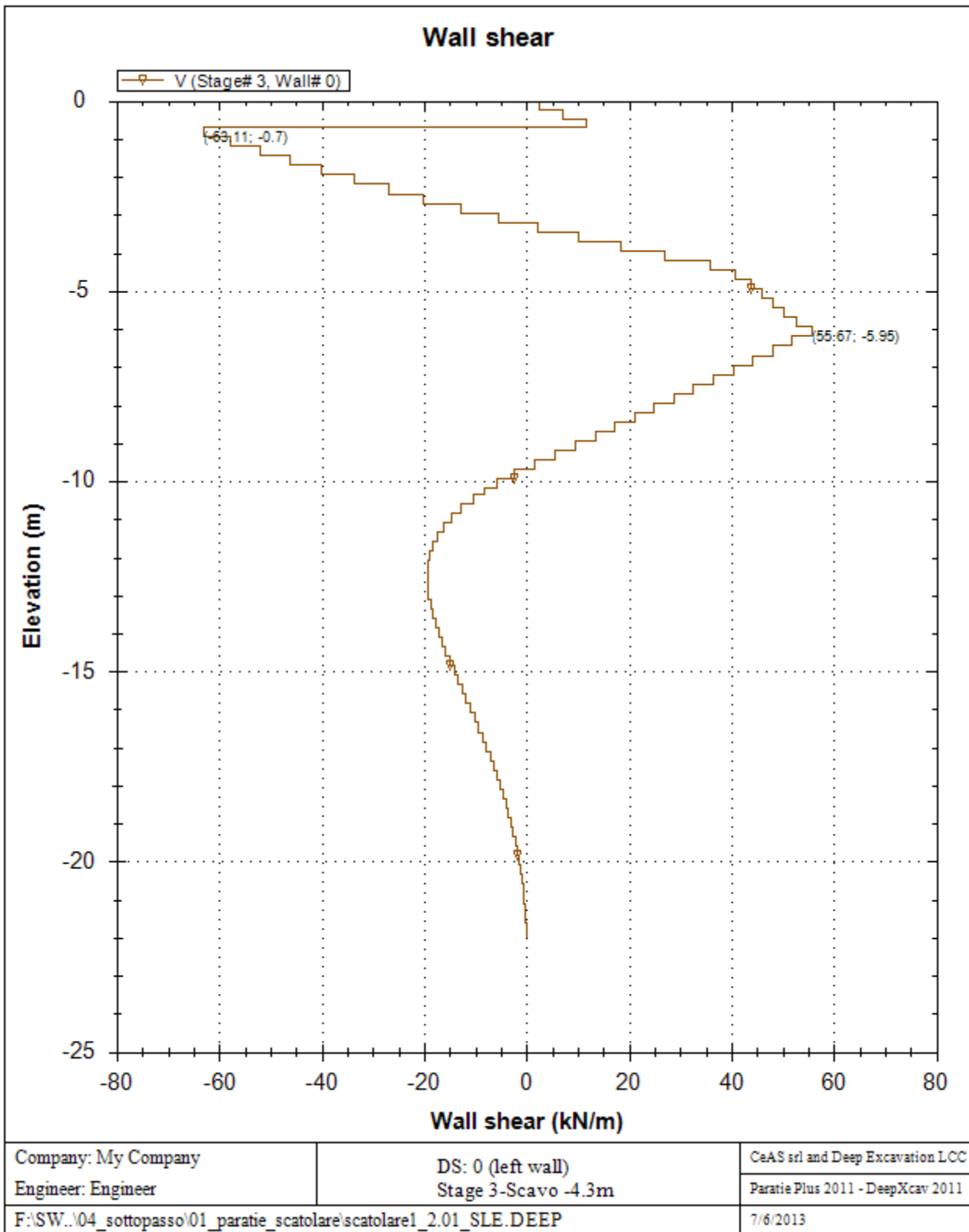


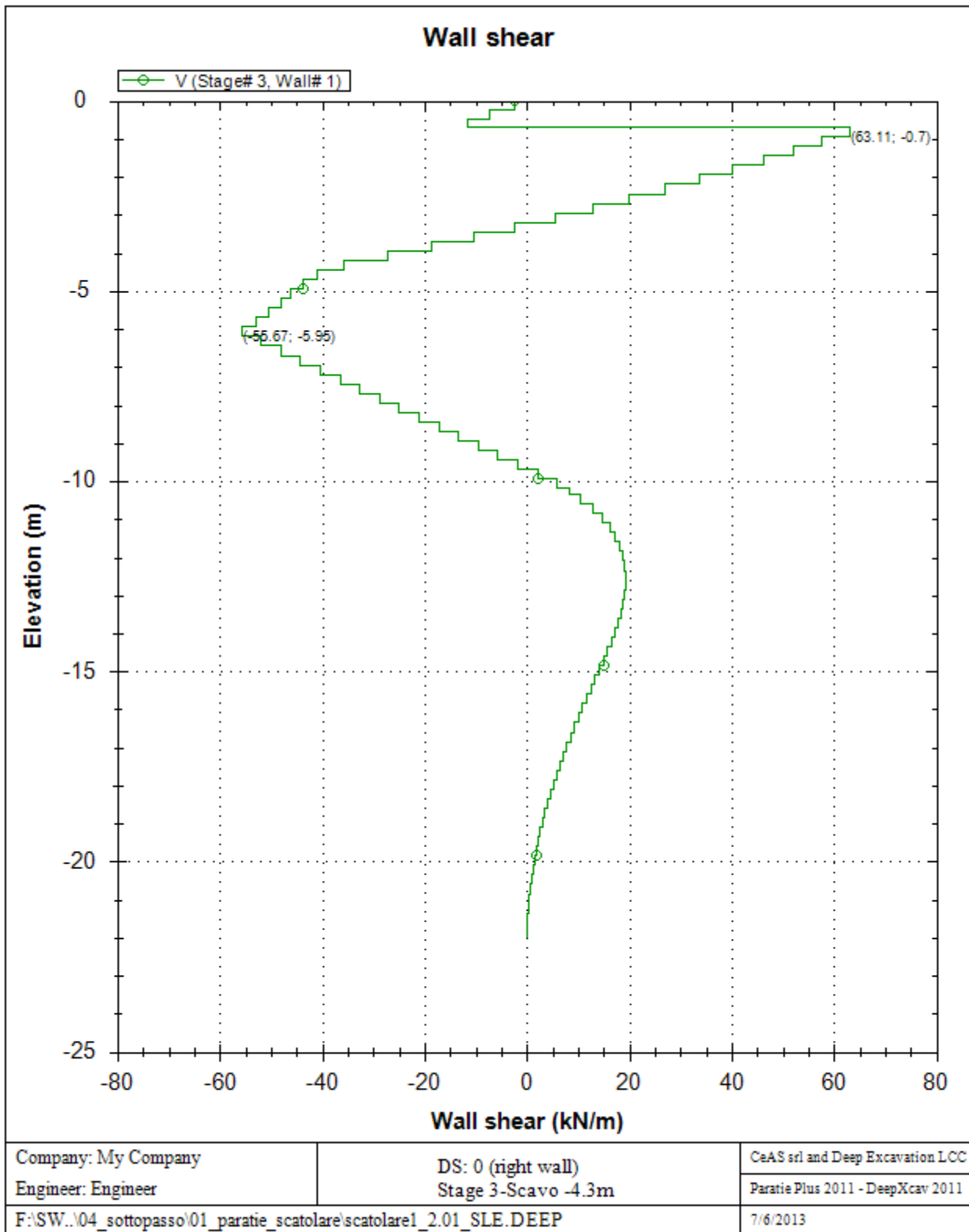




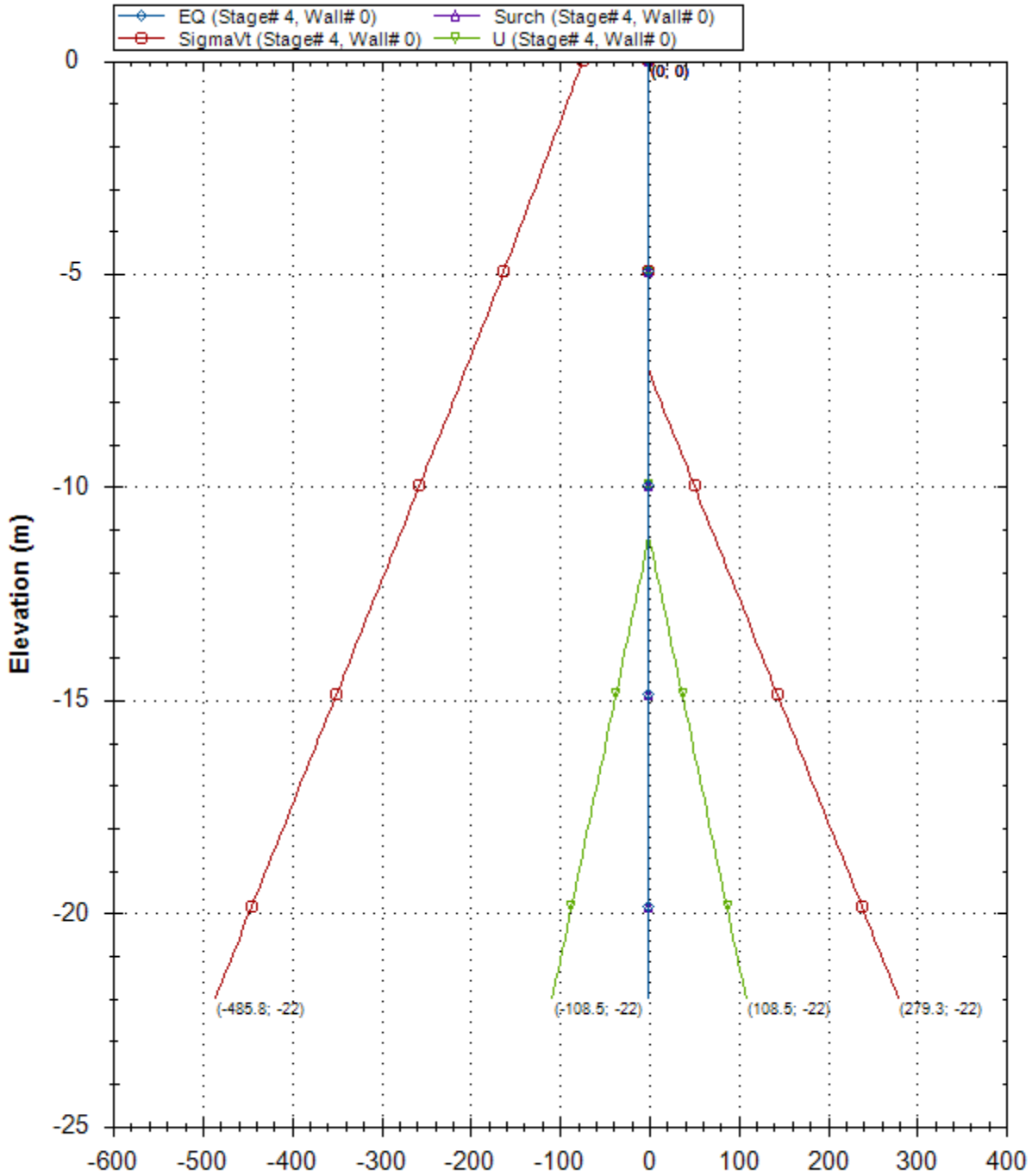








### Horizontal and vertical pressures (kPa)



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0 (left wall)  
Stage 4-Scavo -7.3m

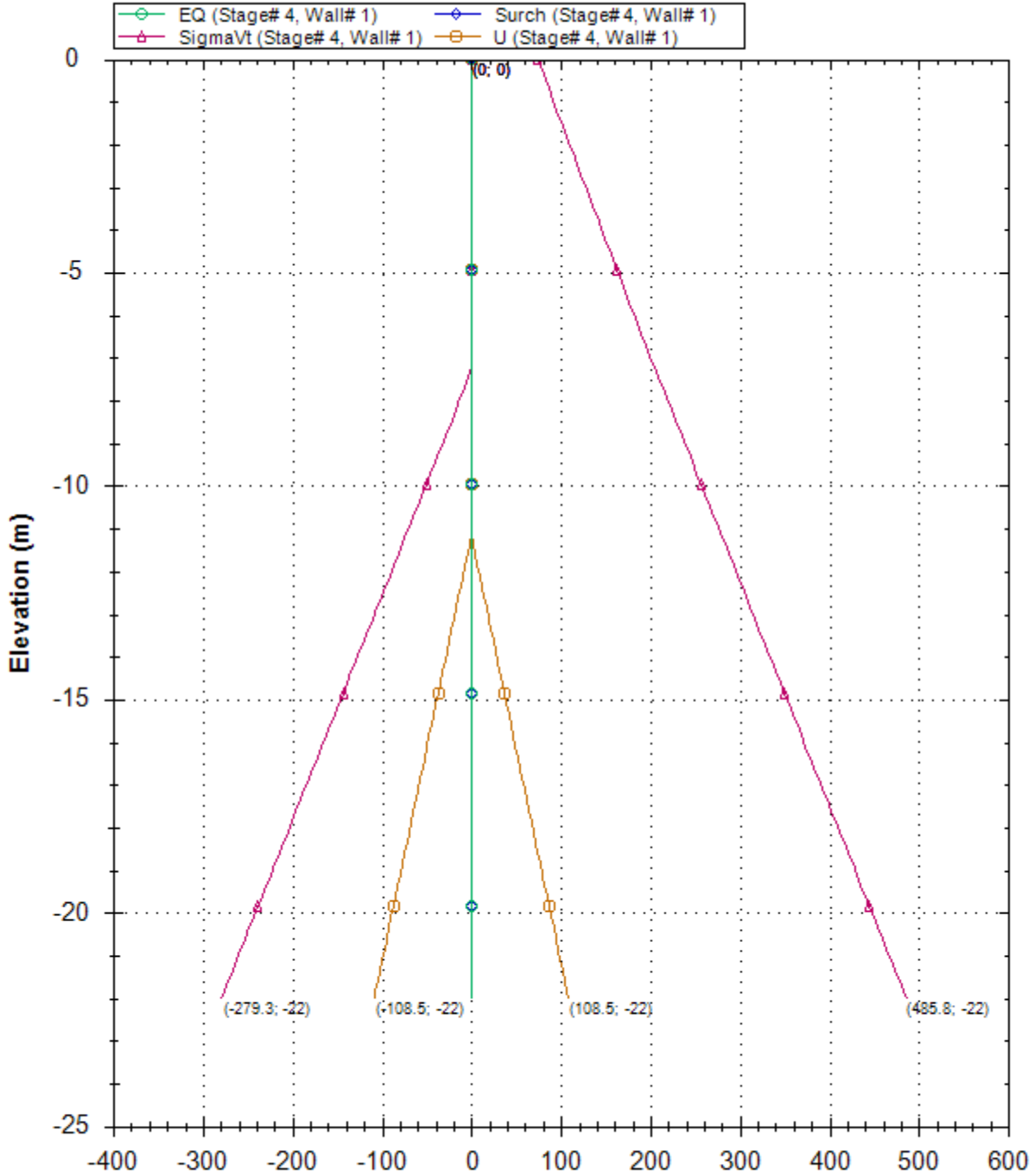
CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW..04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_2.01\_SLE.DEEP

7/6/2013

### Horizontal and vertical pressures (kPa)



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0 (right wall)  
Stage 4-Scavo -7.3m

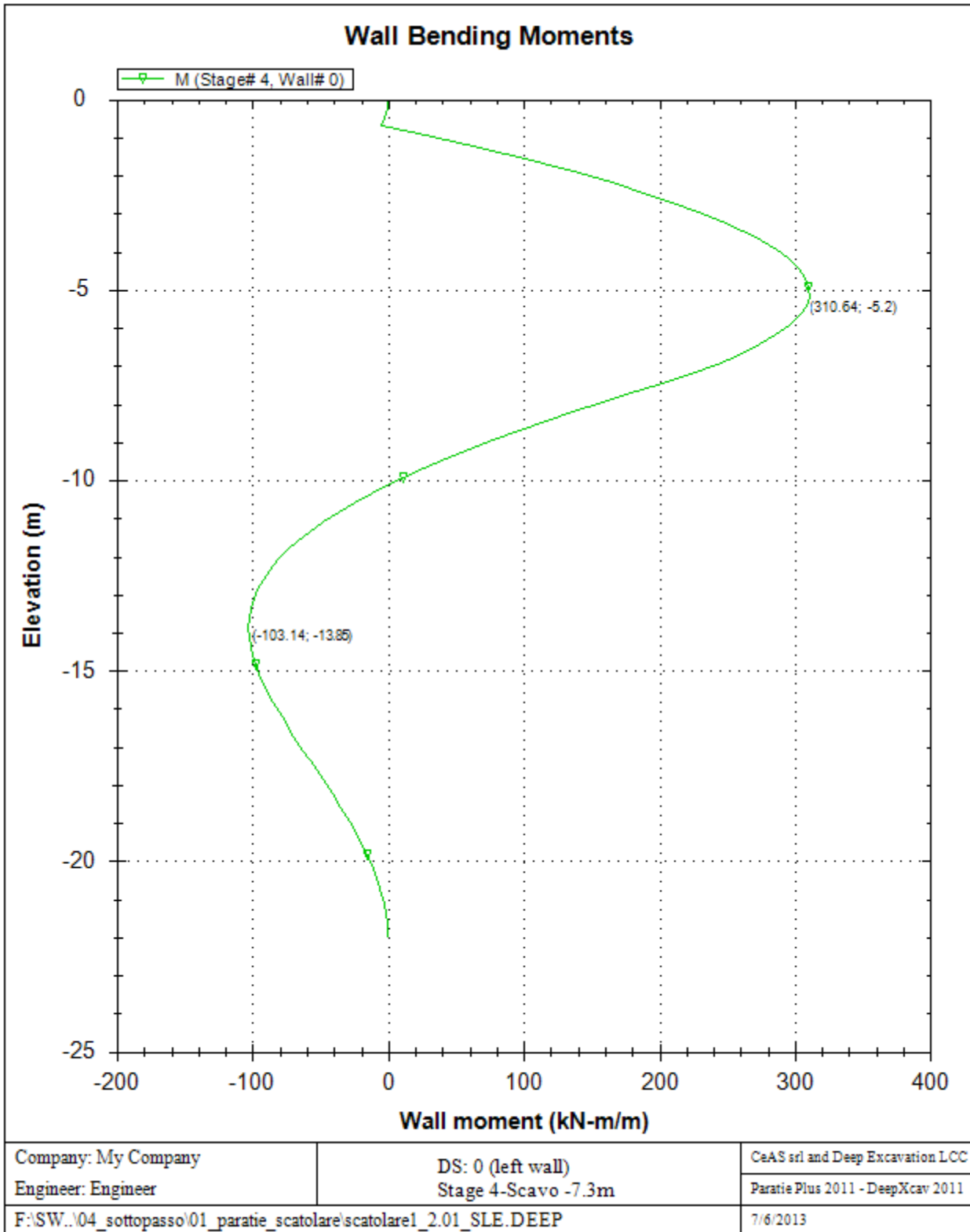
CeAS srl and Deep Excavation LCC

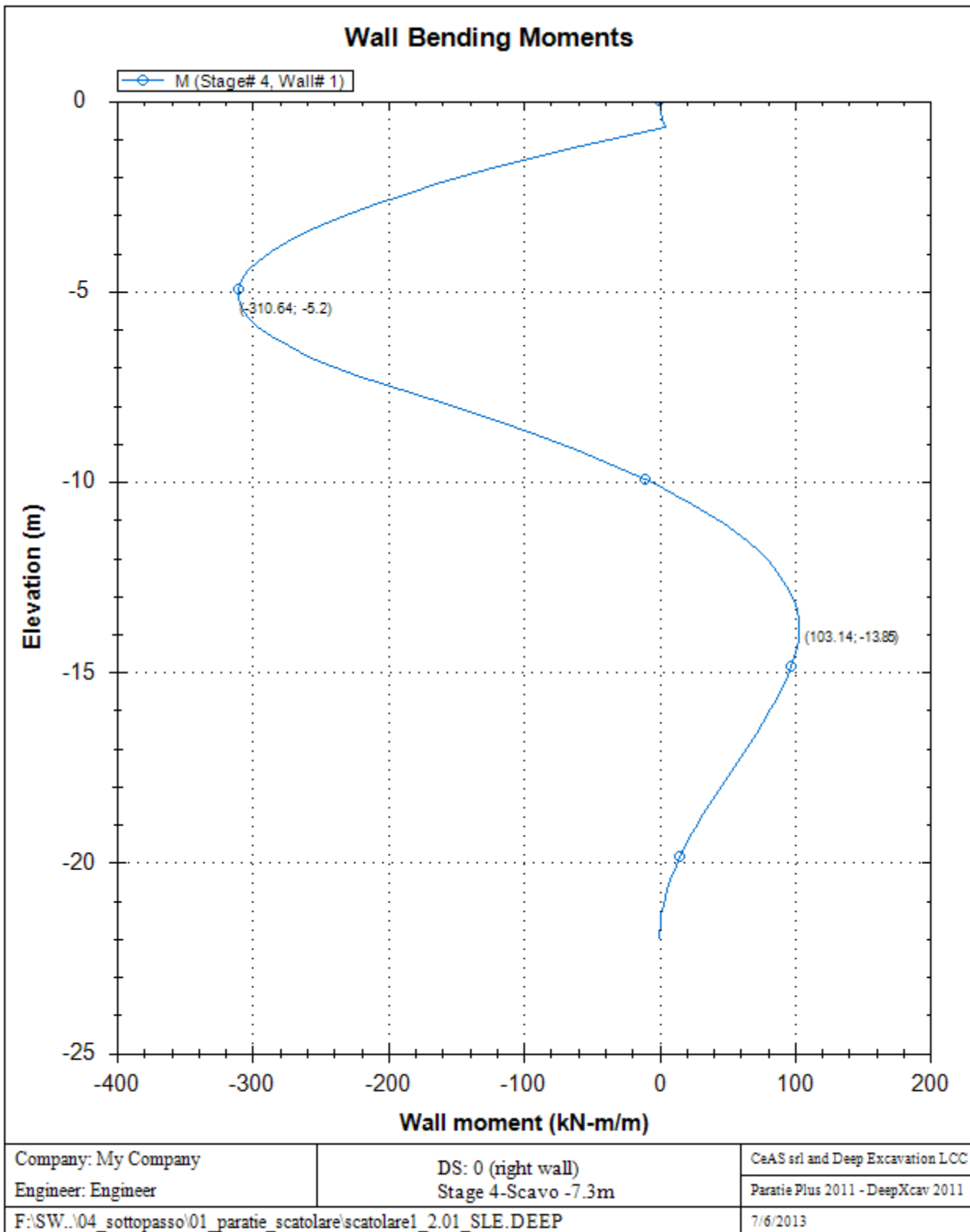
Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

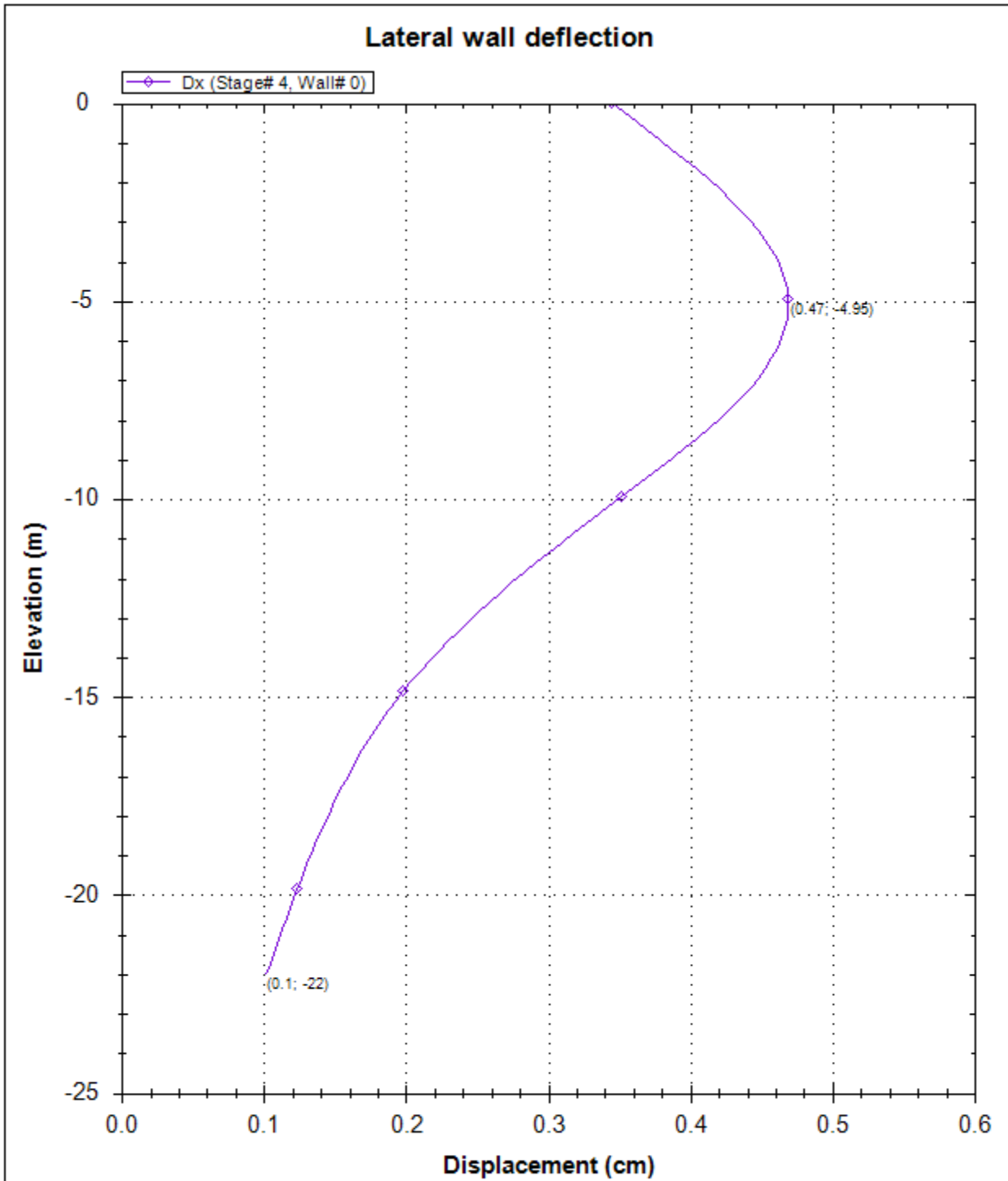
F:\SW..04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_2.01\_SLE.DEEP

7/6/2013





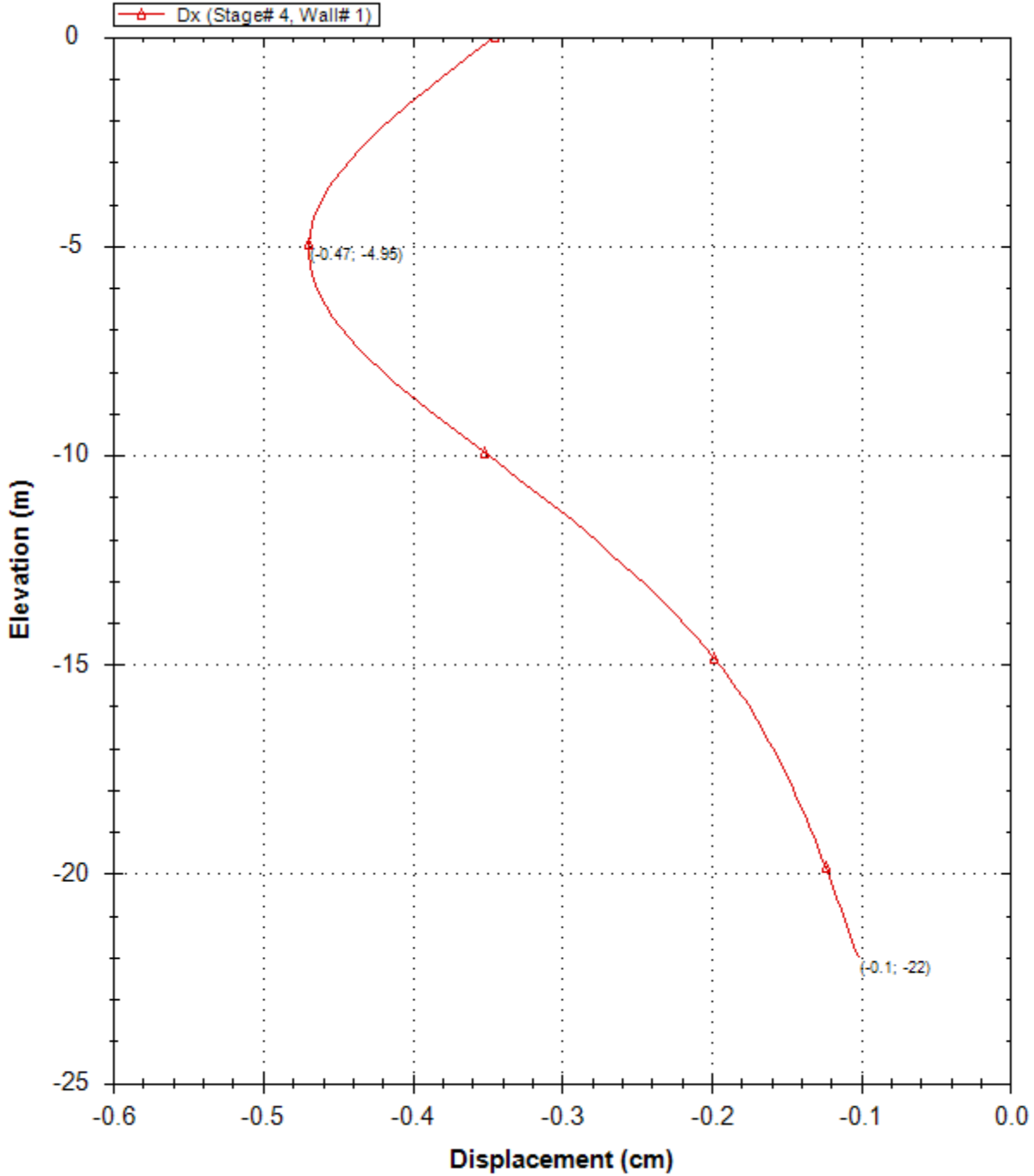




Company: My Company	DS: 0 (left wall)	CeAS srl and Deep Excavation LCC
Engineer: Engineer	Stage 4-Scavo -7.3m	Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011
F:\SW..04_sottopasso\01_paratie_scatolare\scatolare1_2.01_SLE.DEEP		7/6/2013



### Lateral wall deflection



Company: My Company

Engineer: Engineer

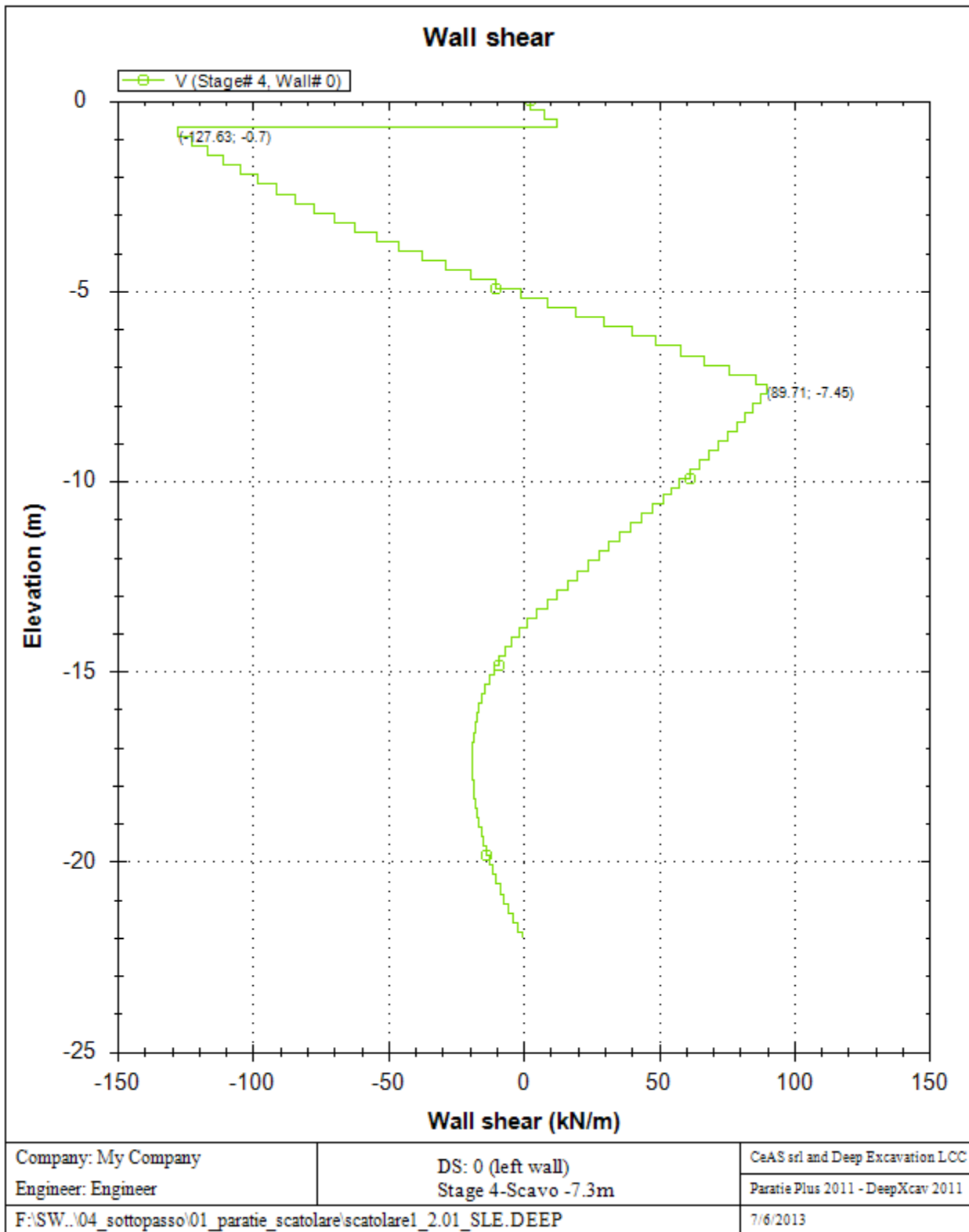
DS: 0 (right wall)  
 Stage 4-Scavo -7.3m

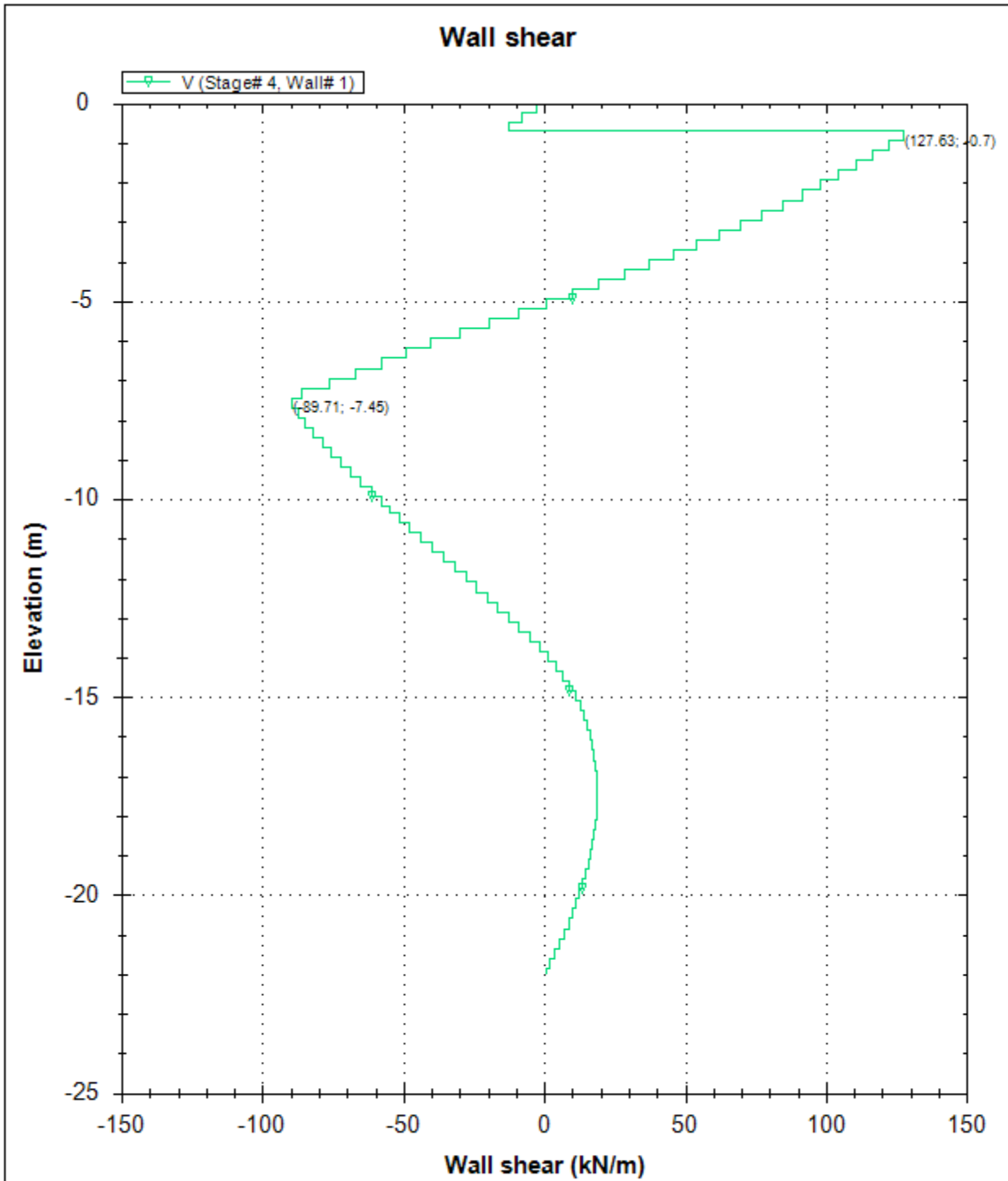
CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW...\04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_2.01\_SLE.DEEP

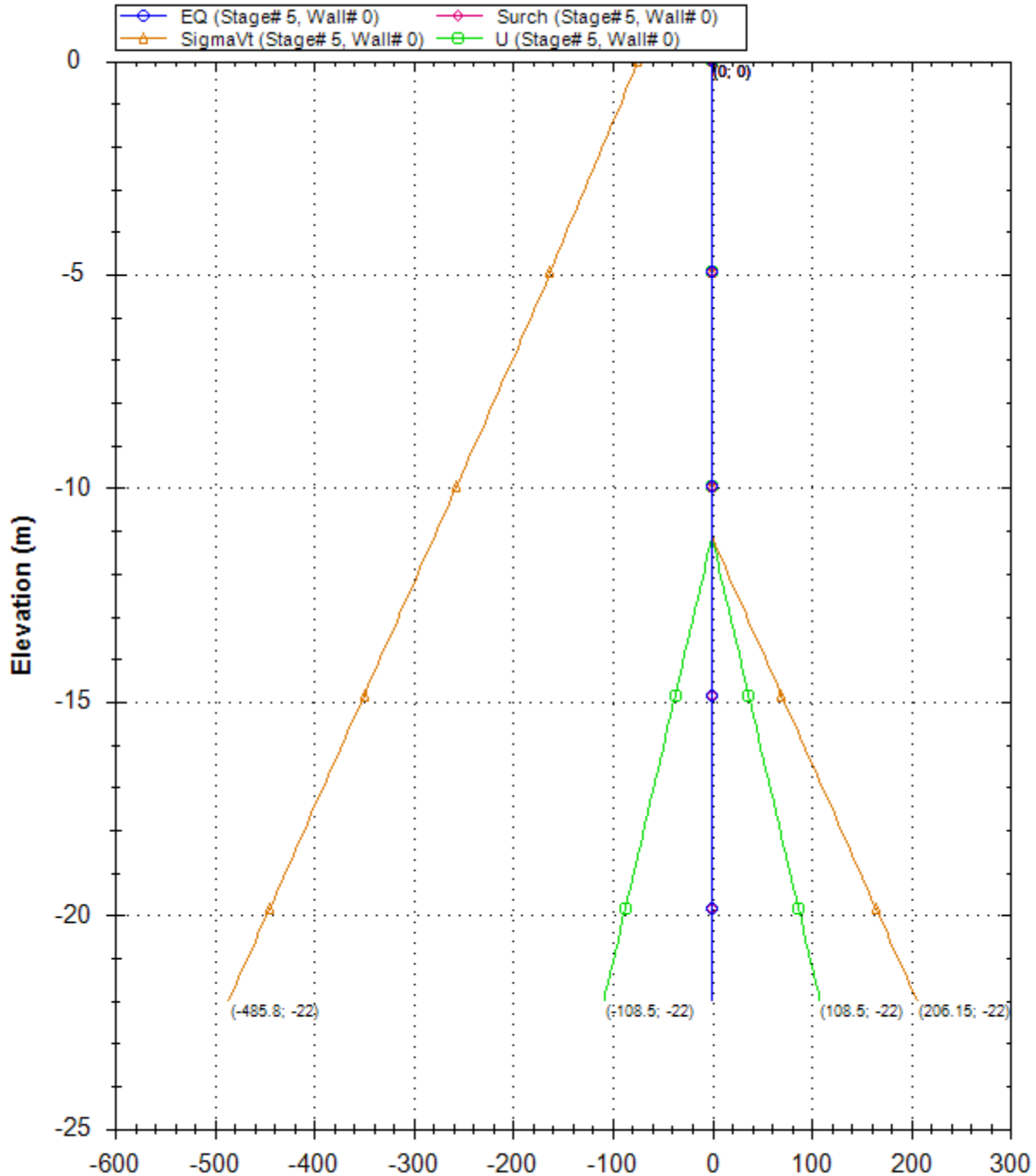
7/6/2013





Company: My Company	DS: 0 (right wall)	CeAS srl and Deep Excavation LCC
Engineer: Engineer	Stage 4-Scavo -7.3m	Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011
F:\SW..04_sottopasso\01_paratie_scatolare\scatolare1_2.01_SLE.DEEP		7/6/2013

### Horizontal and vertical pressures (kPa)



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0 (left wall)  
Stage 5-Scavo -11.15m

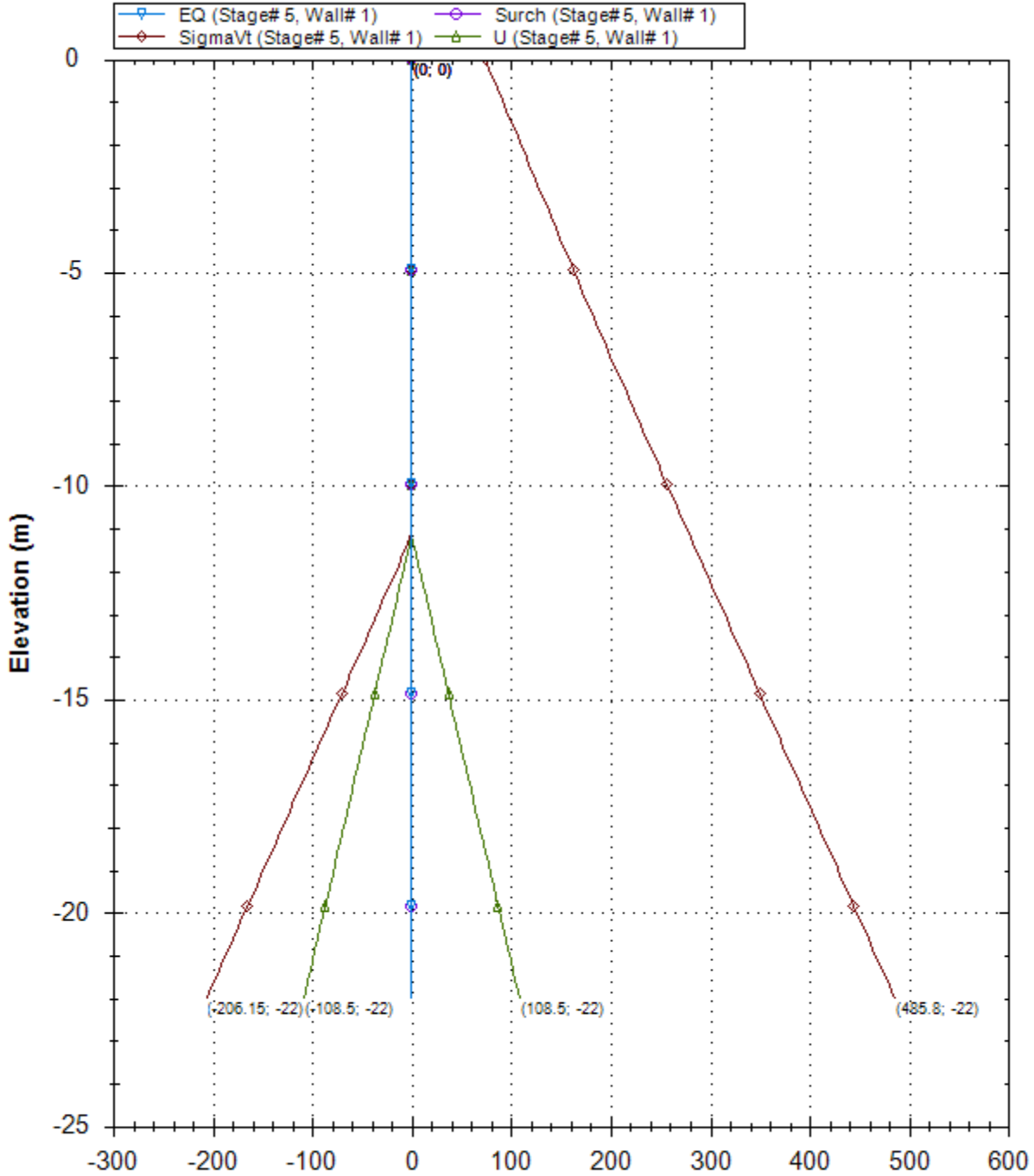
CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW..04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_2.01\_SLE.DEEP

7/6/2013

### Horizontal and vertical pressures (kPa)



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0 (right wall)  
Stage 5-Scavo -11.15m

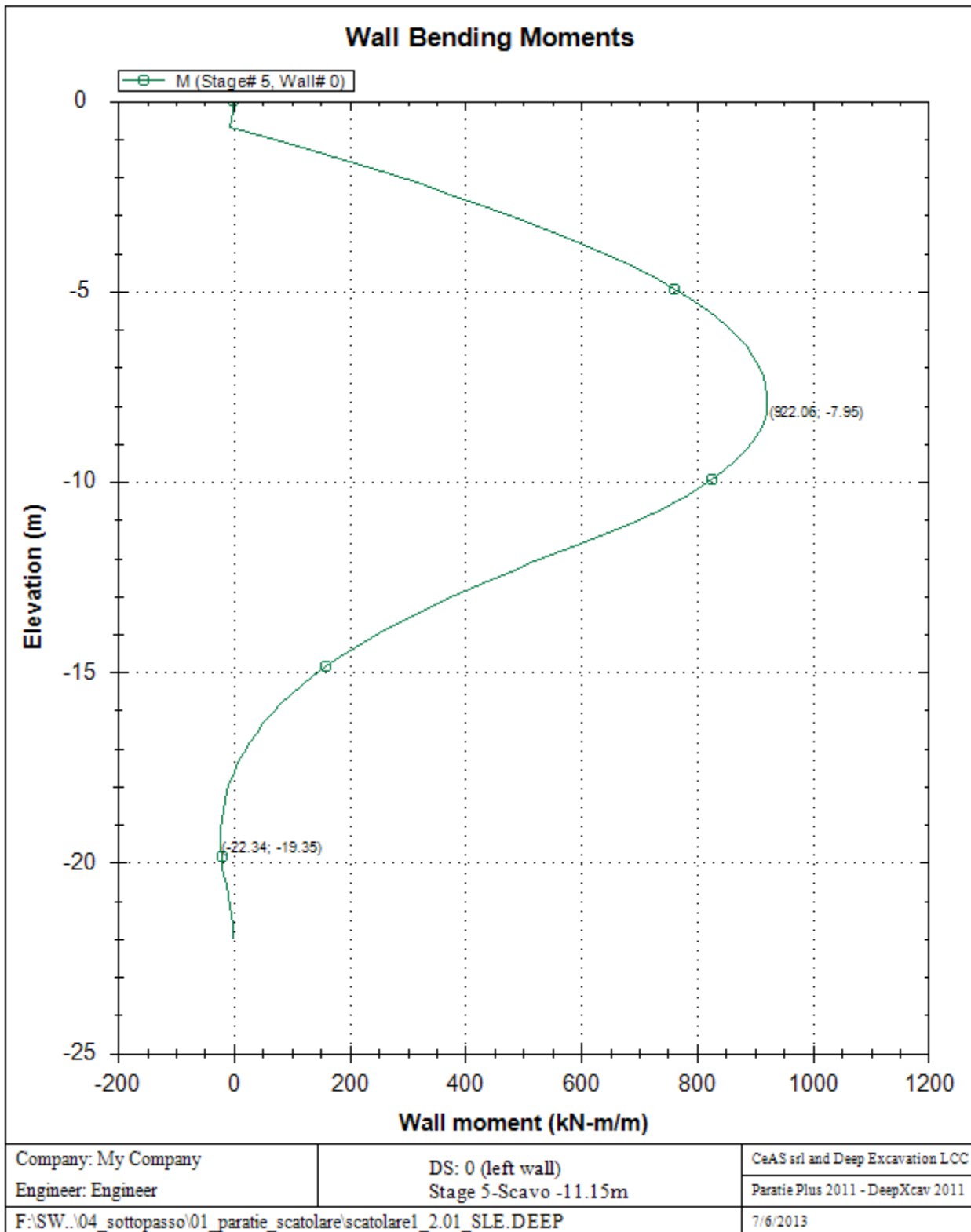
CeAS srl and Deep Excavation LCC

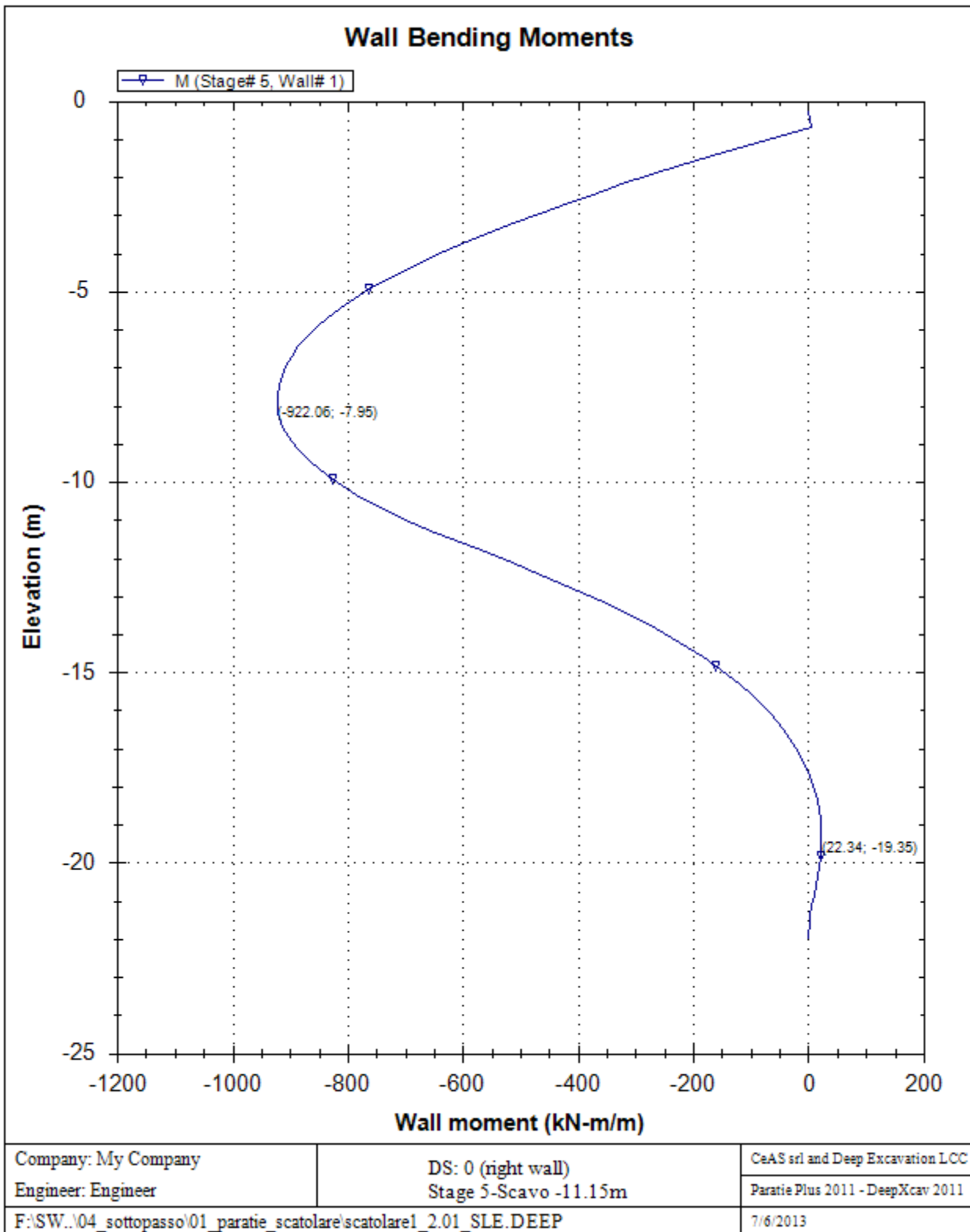
Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

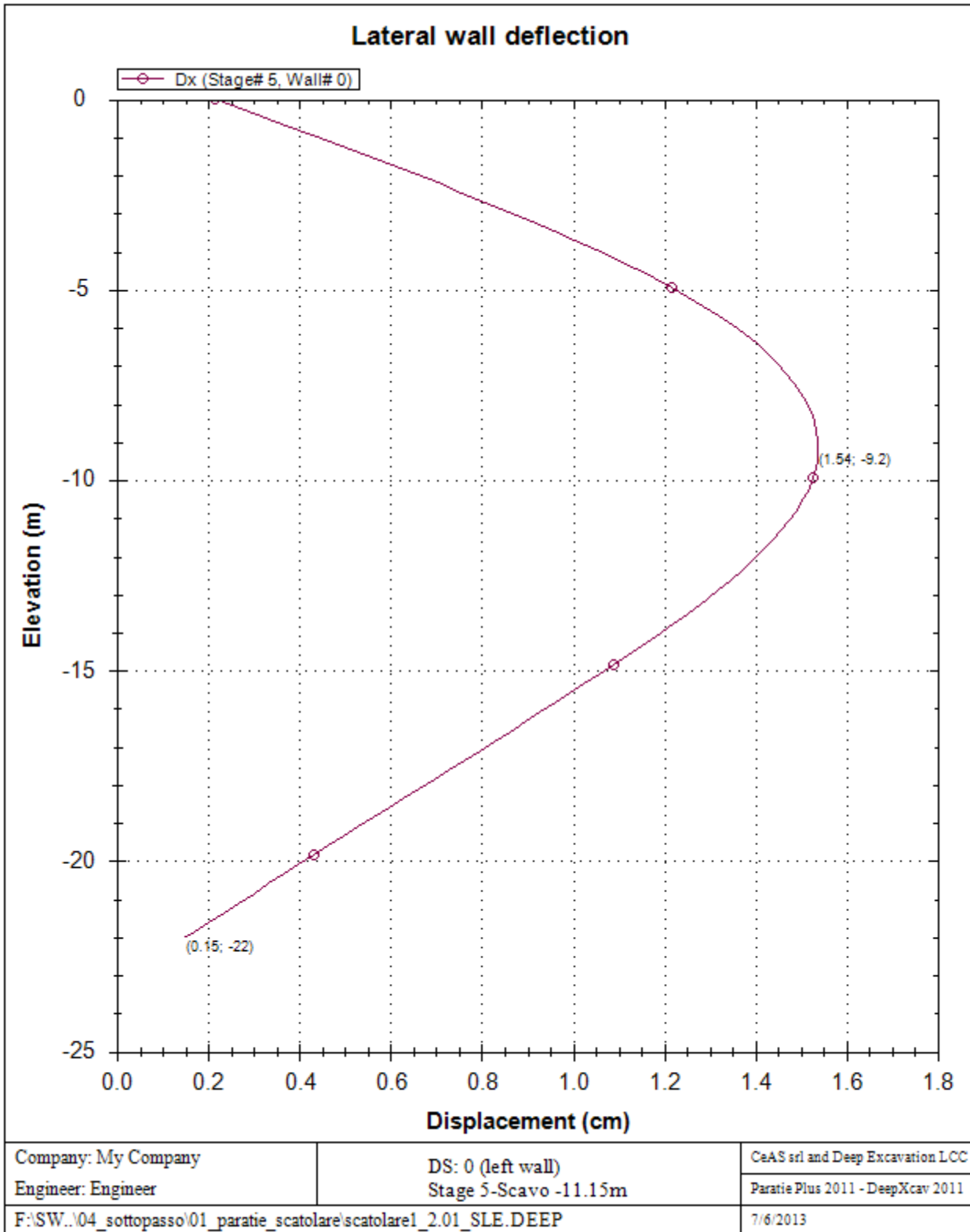
F:\SW..04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_2.01\_SLE.DEEP

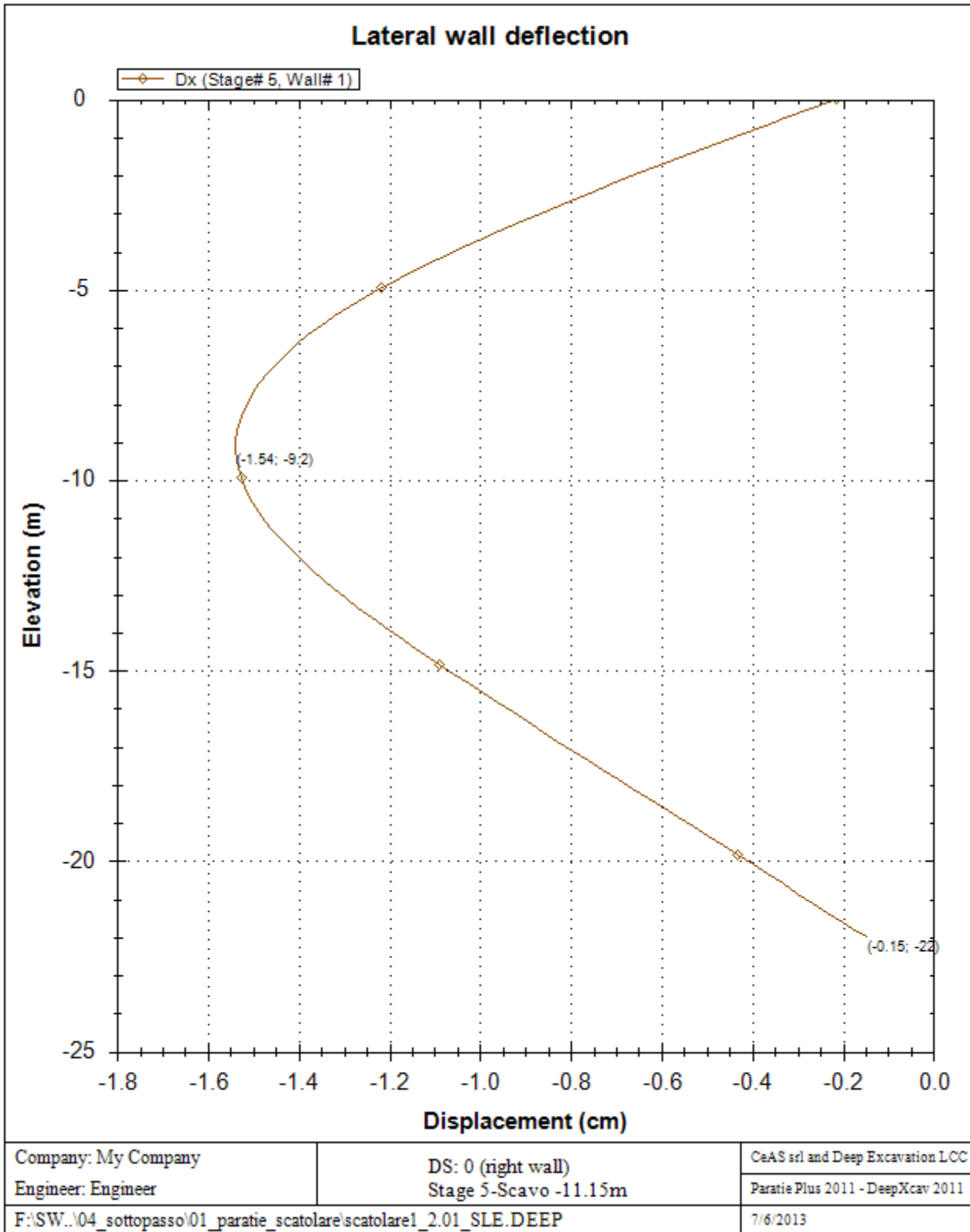
7/6/2013

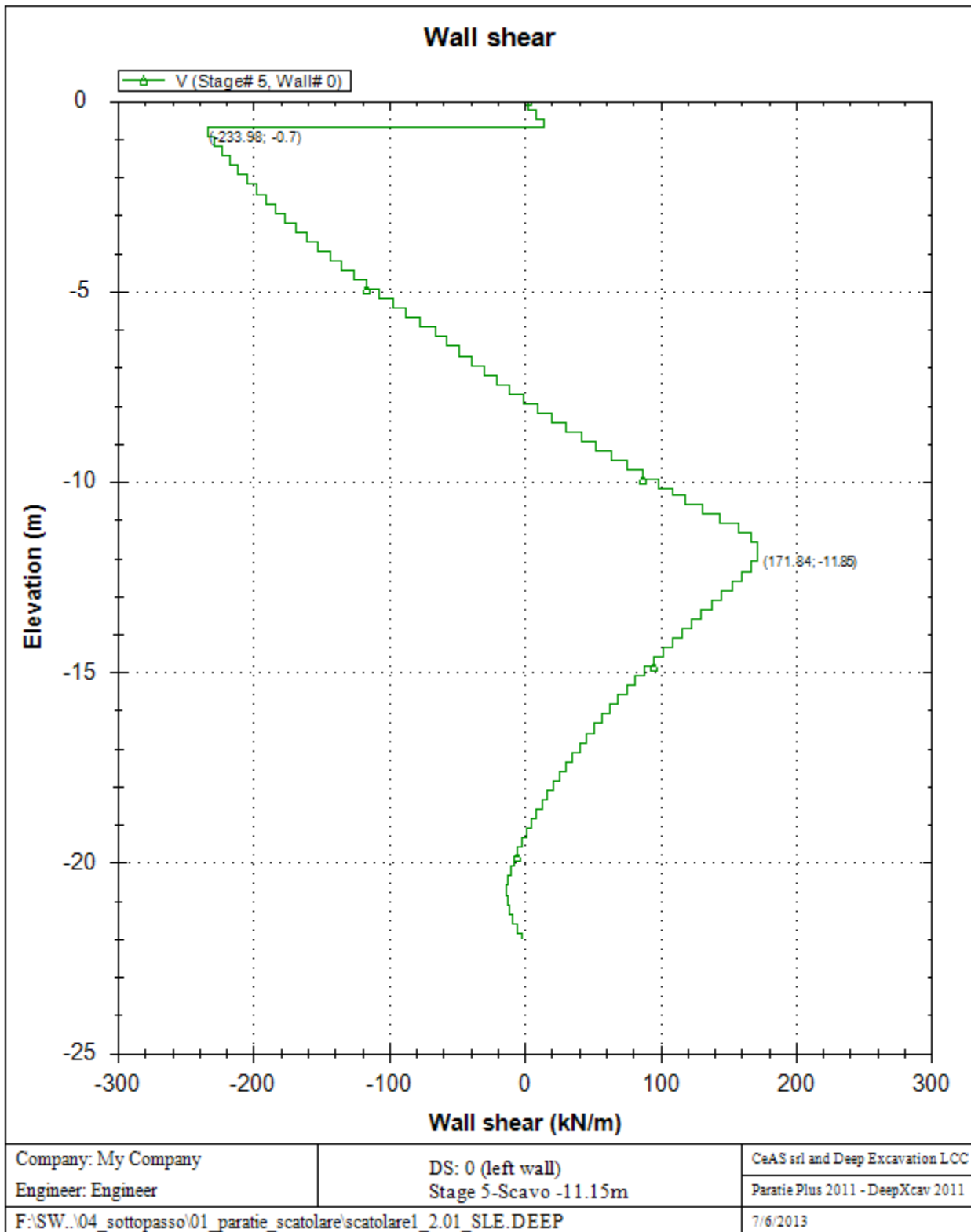


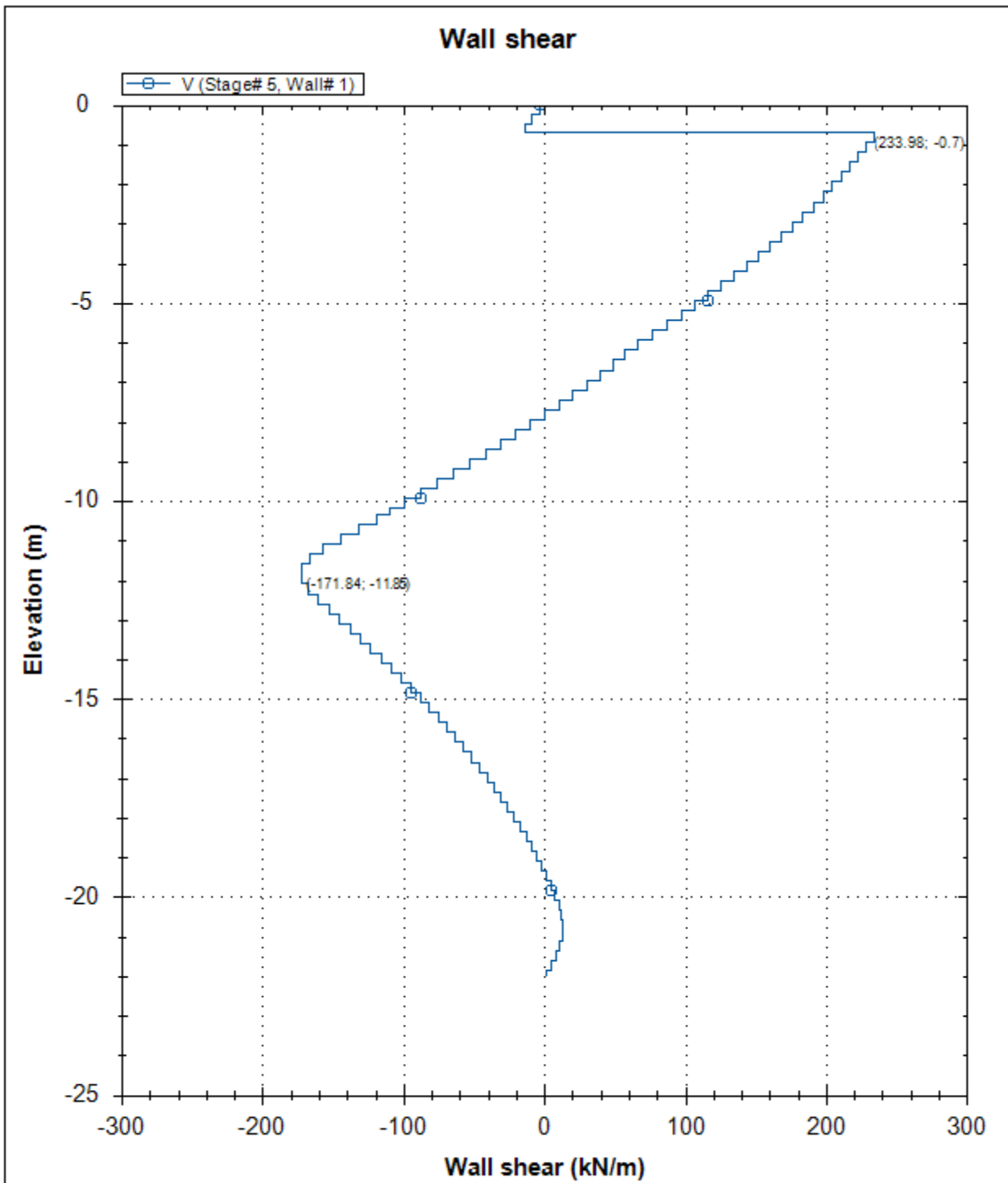












Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0 (right wall)  
Stage 5-Scavo -11.15m

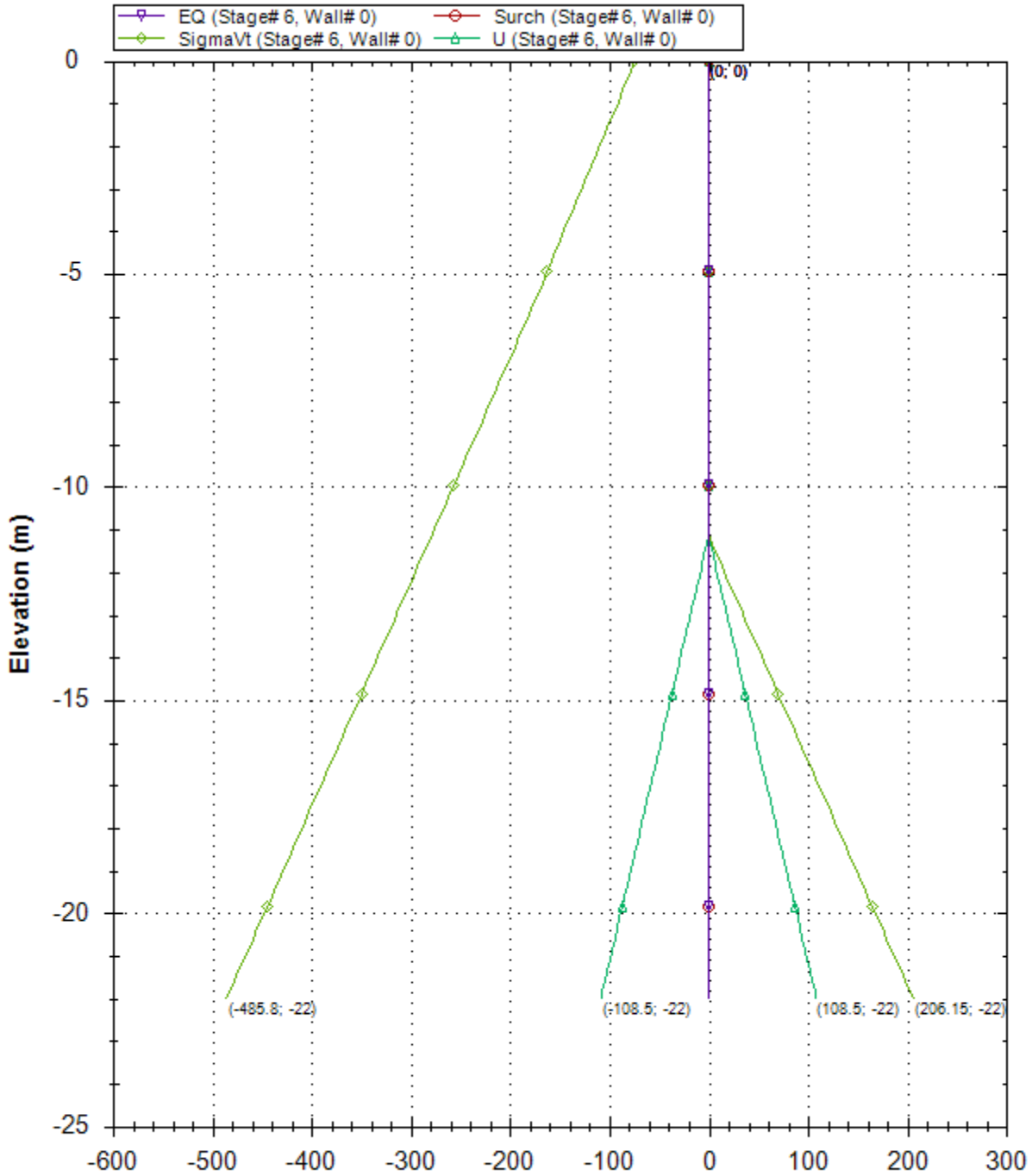
CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW..04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_2.01\_SLE.DEEP

7/6/2013

### Horizontal and vertical pressures (kPa)



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0 (left wall)  
Stage 6-SolettoneInferiore

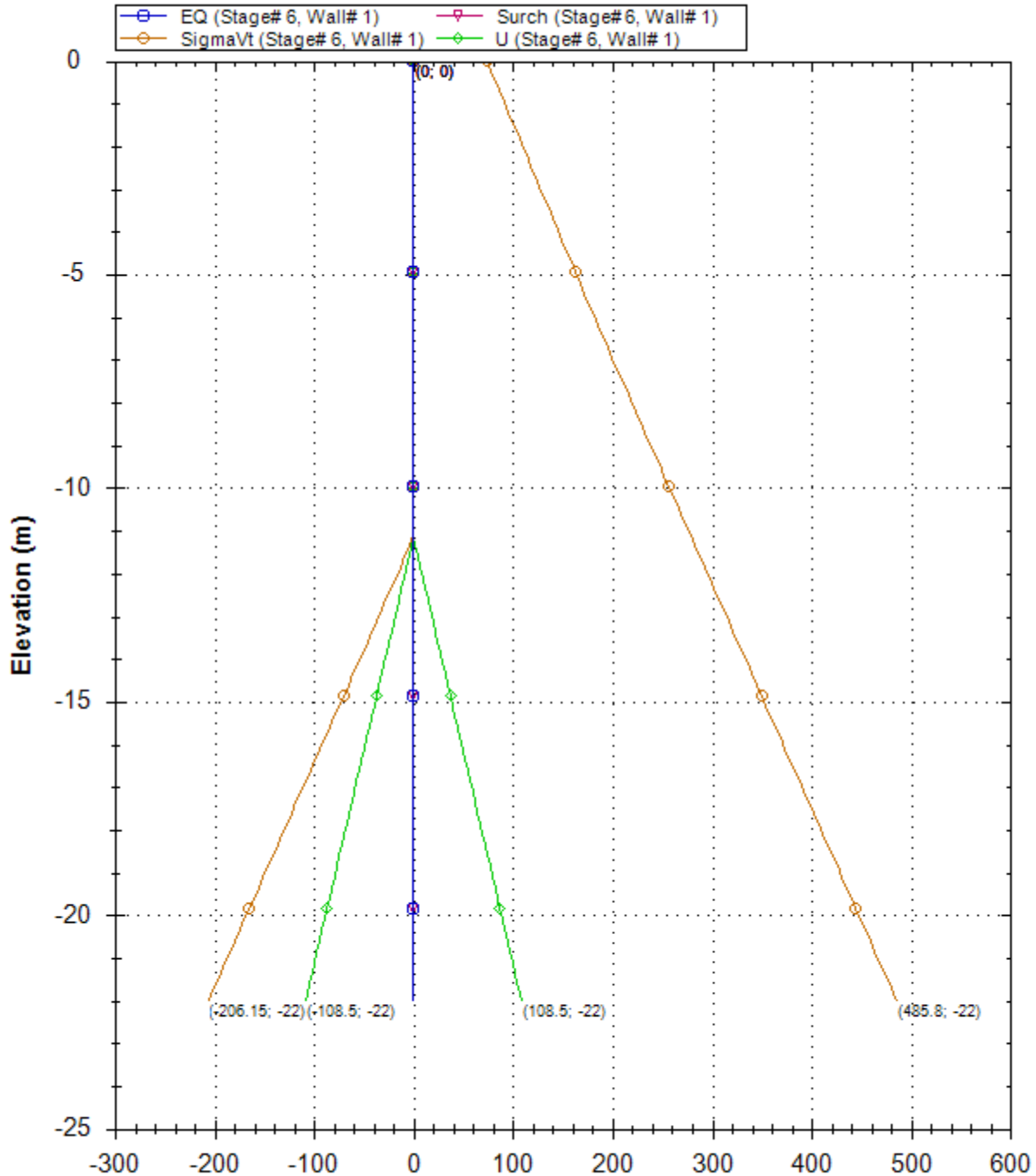
CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW...\04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_2.01\_SLE.DEEP

7/6/2013

### Horizontal and vertical pressures (kPa)



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0 (right wall)  
Stage 6-SolettoneInferiore

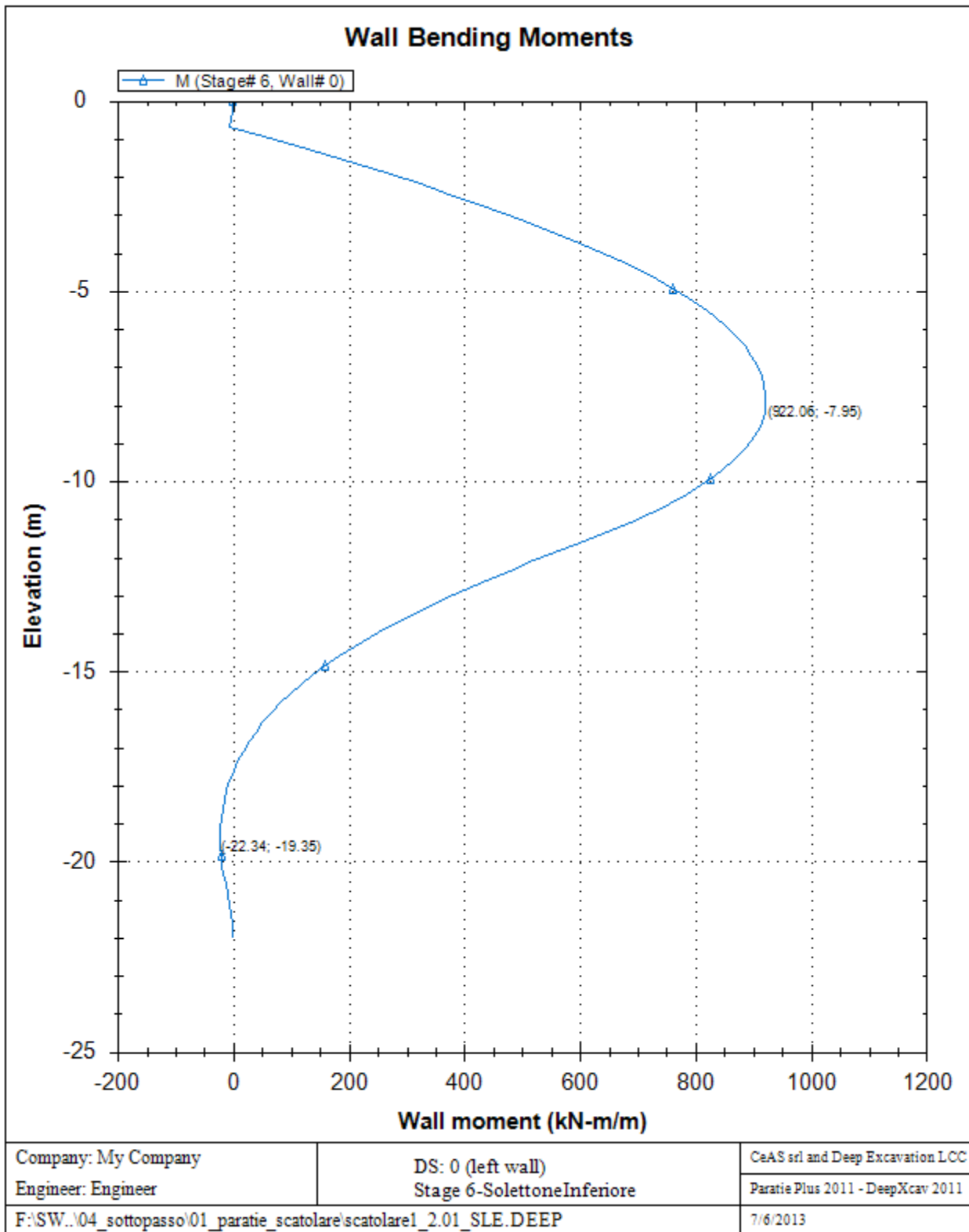
CeAS srl and Deep Excavation LCC

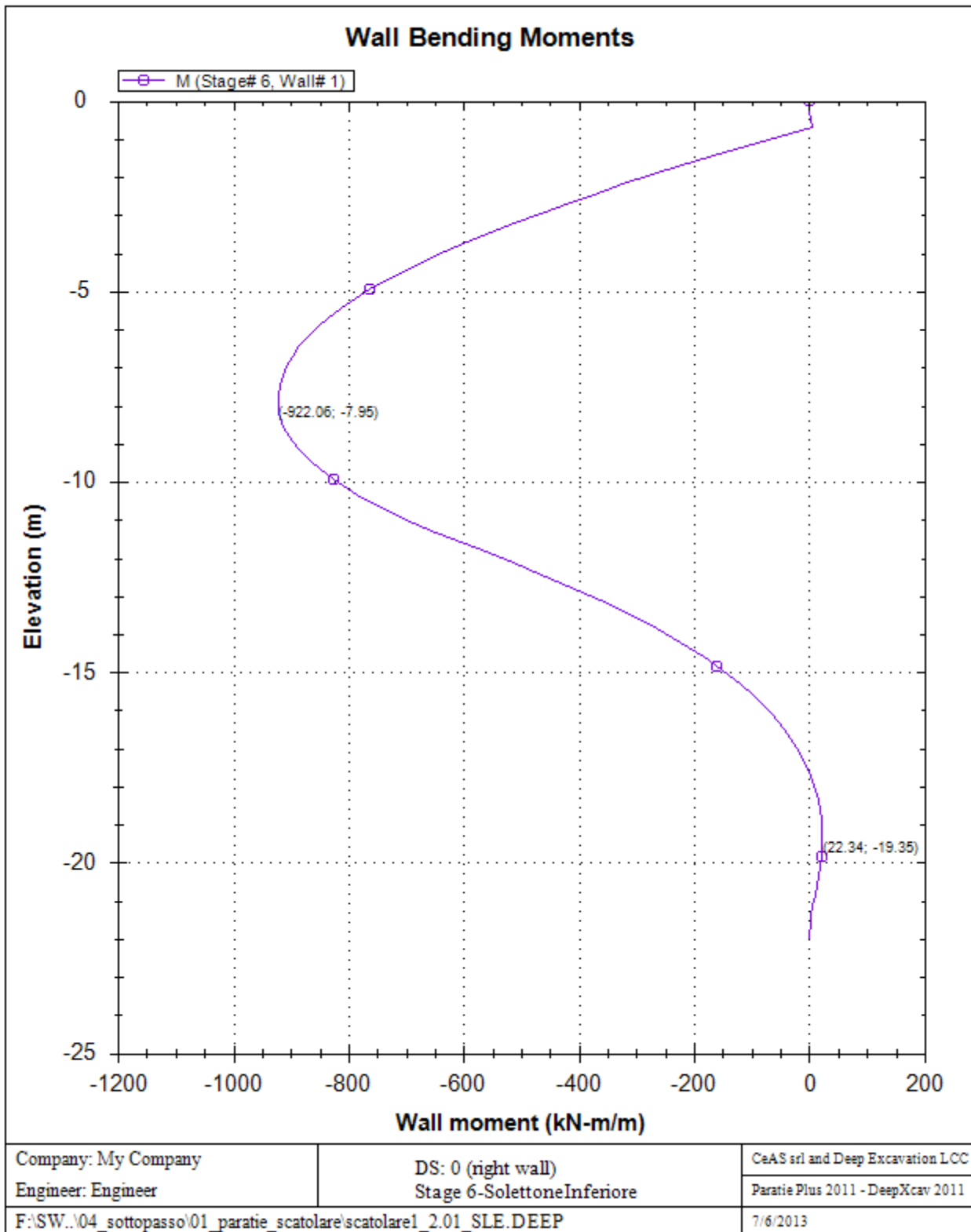
Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

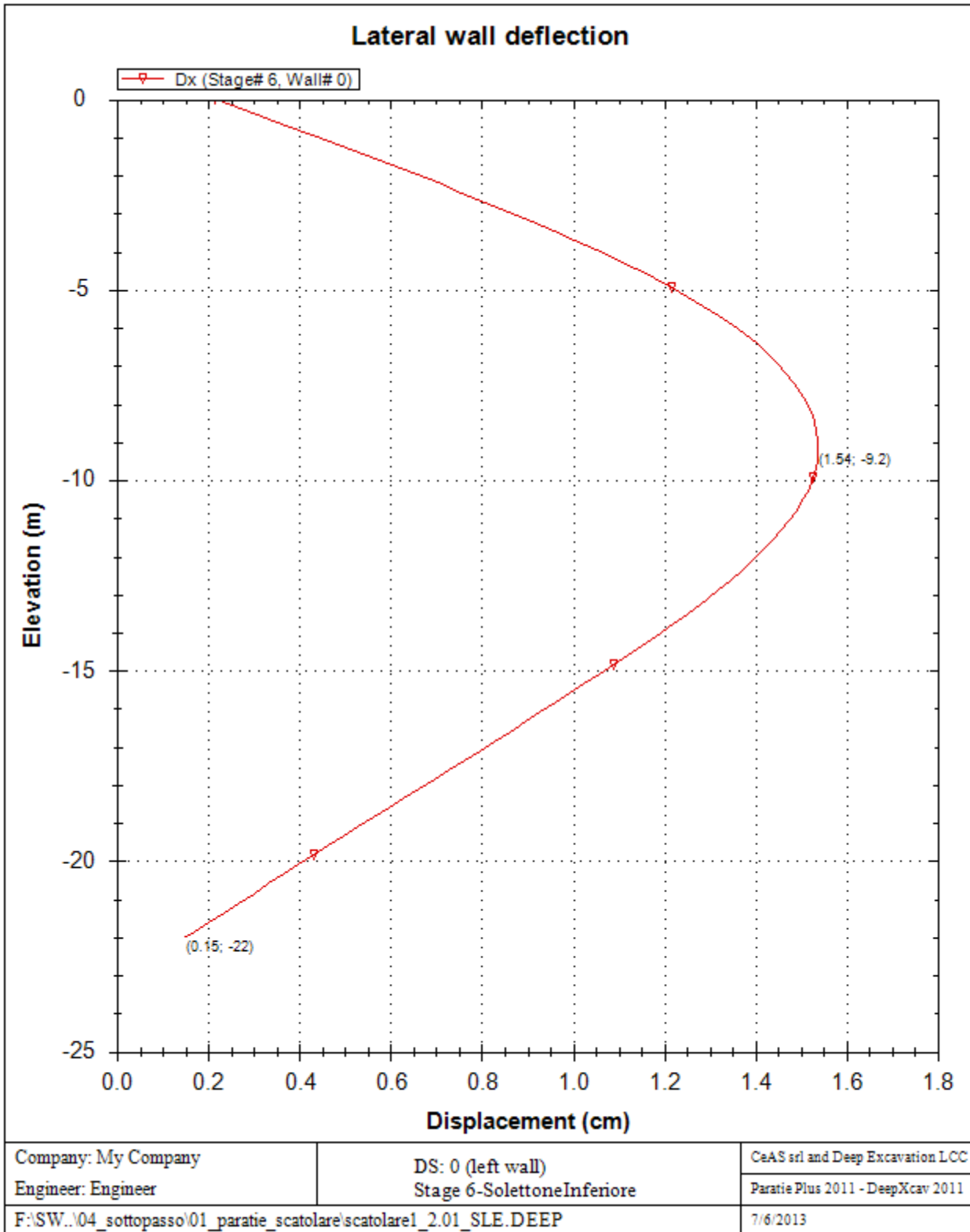
F:\SW..04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_2.01\_SLE.DEEP

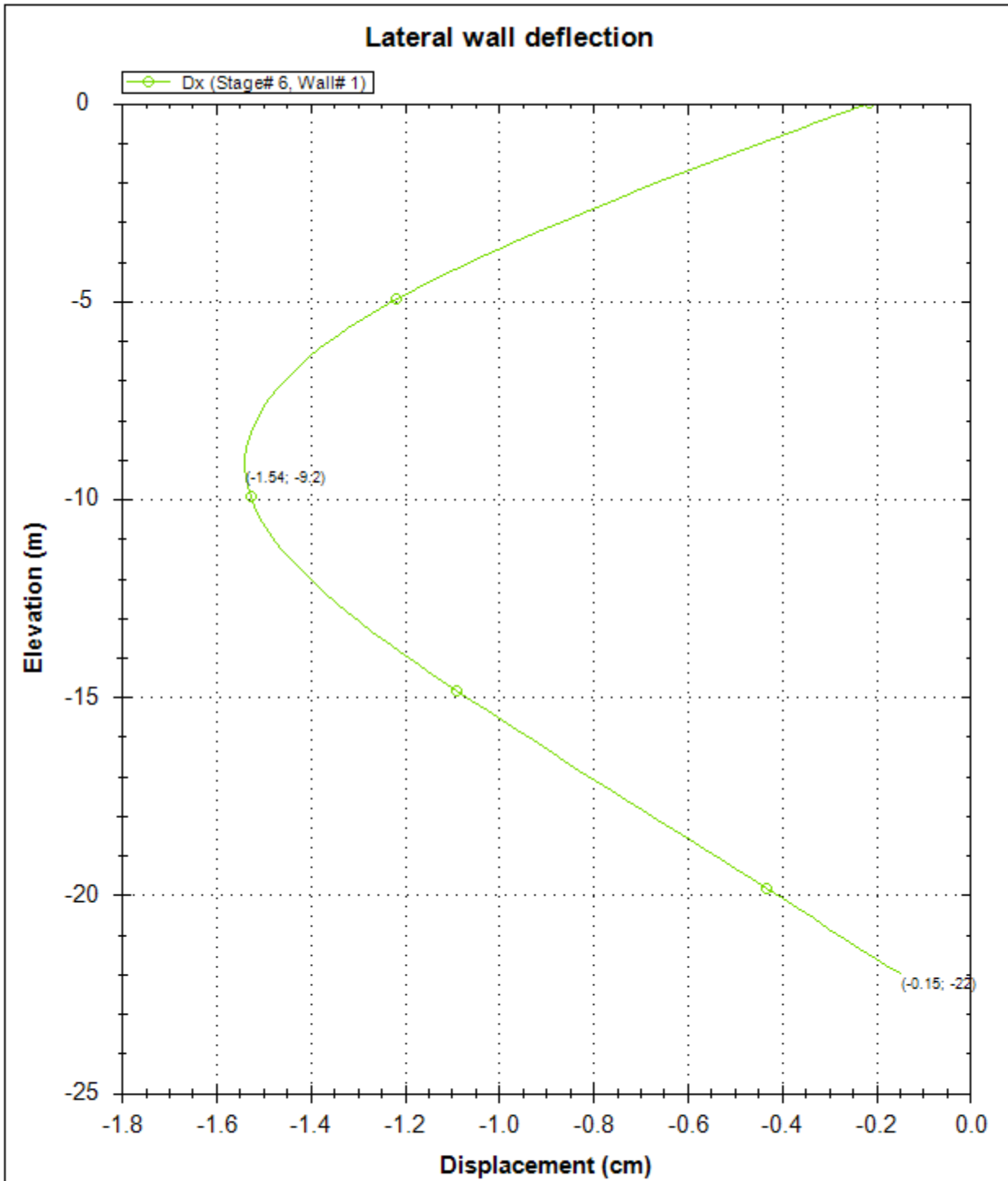
7/6/2013











Company: My Company

Engineer: Engineer

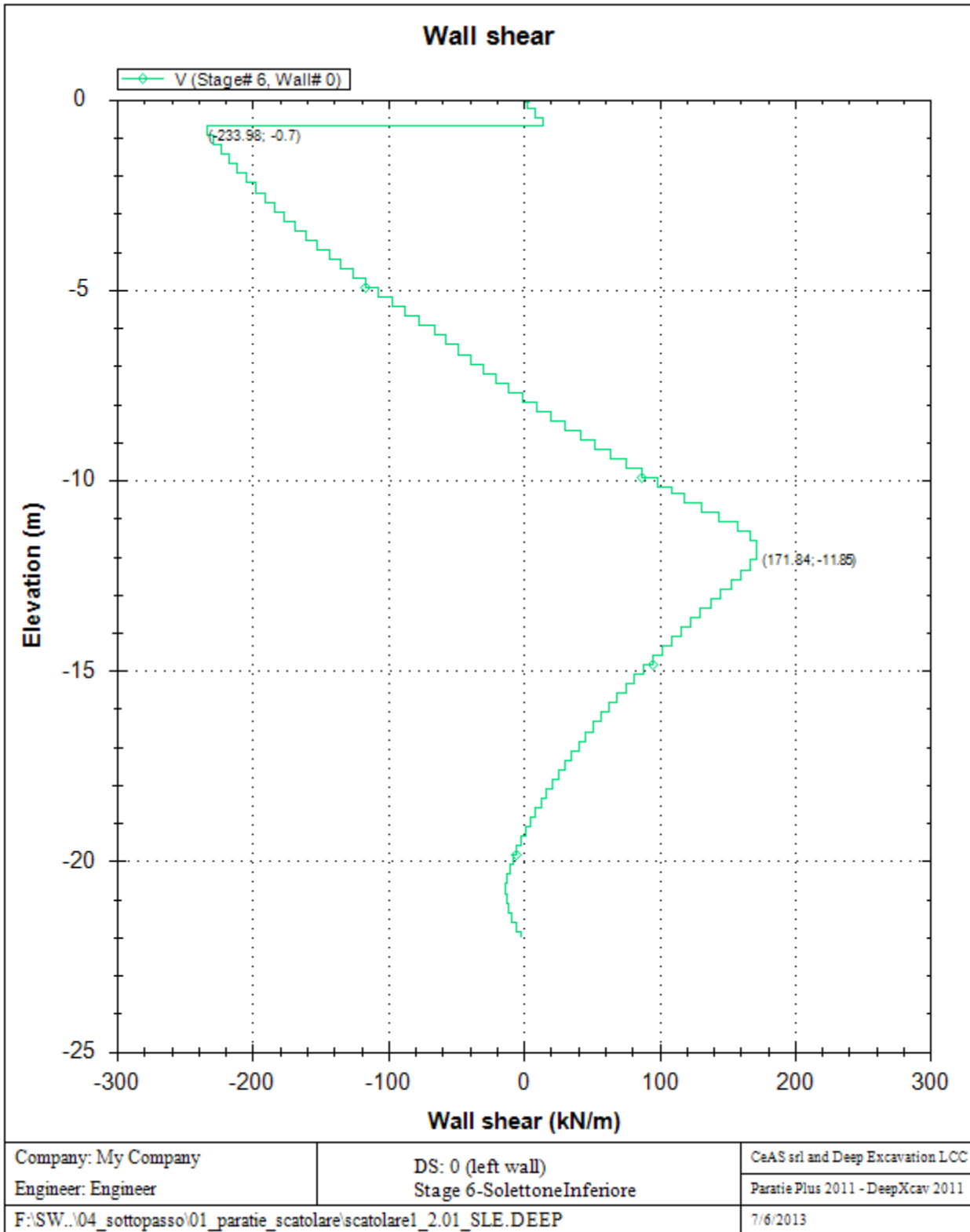
DS: 0 (right wall)  
Stage 6-SolettoneInferiore

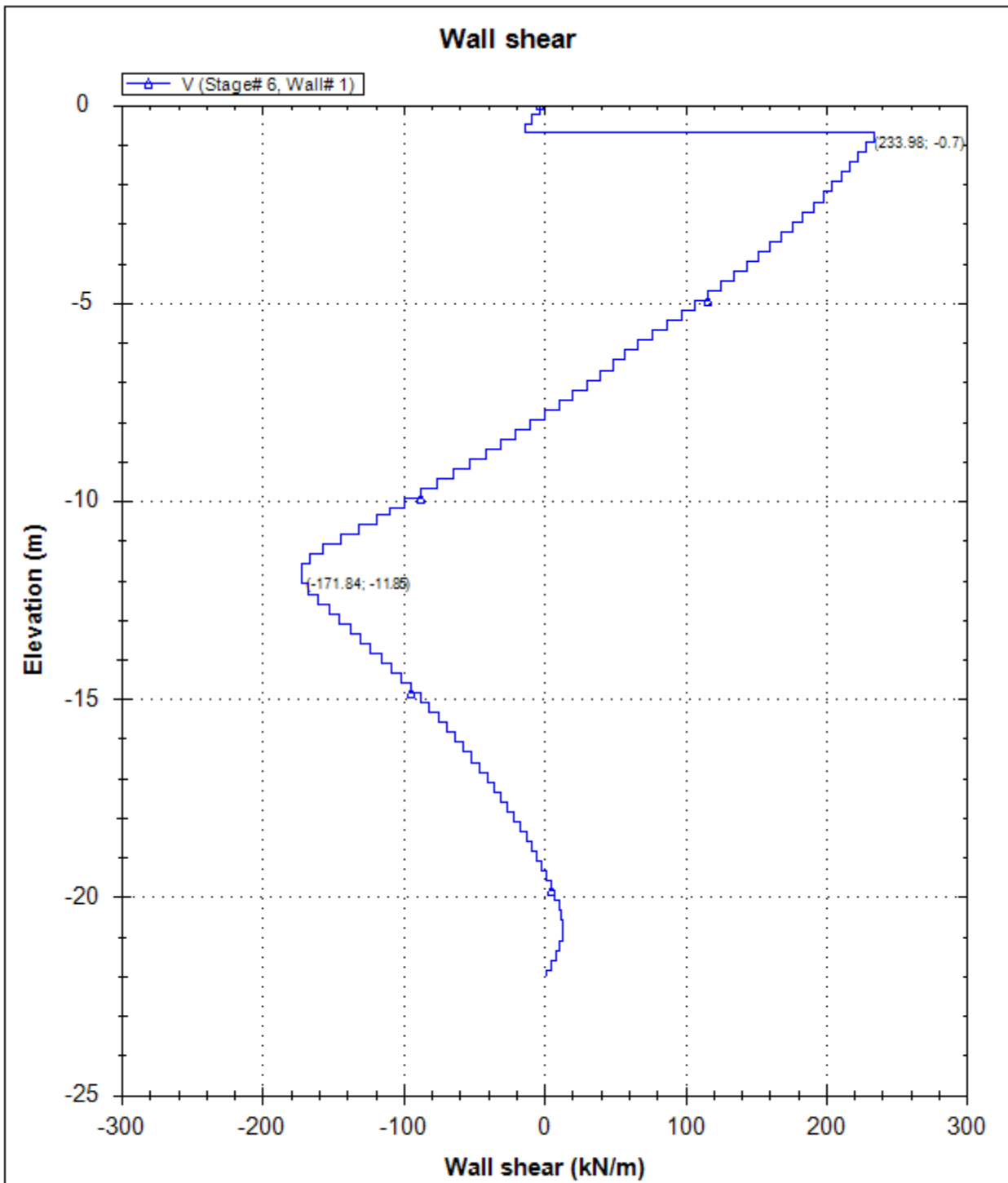
CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW..04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_2.01\_SLE.DEEP

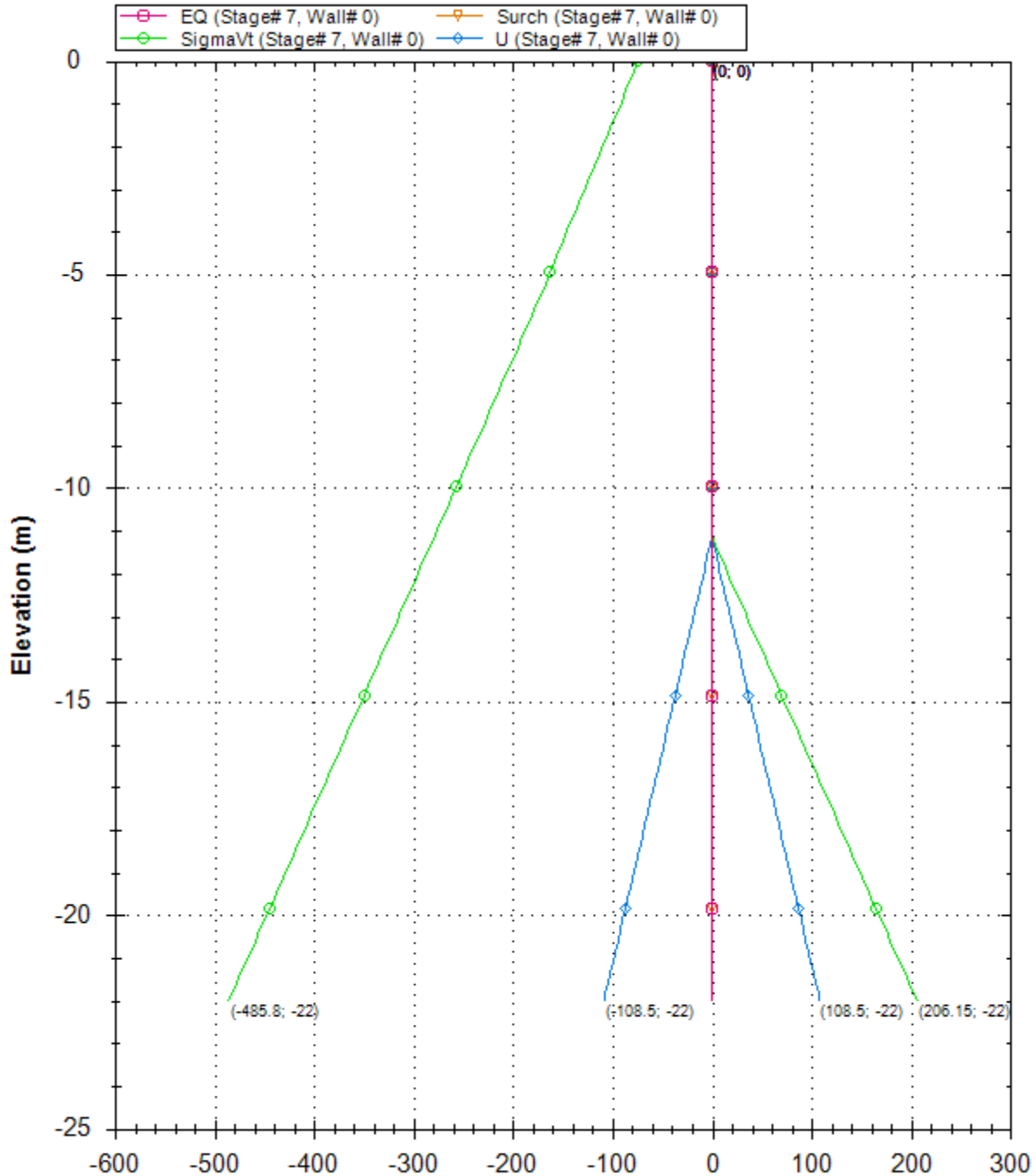
7/6/2013





Company: My Company	DS: 0 (right wall)	CeAS srl and Deep Excavation LCC
Engineer: Engineer	Stage 6-SolettoneInferiore	Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011
F:\SW..04_sottopasso\01_paratie_scatolare\scatolare1_2.01_SLE.DEEP		7/6/2013

### Horizontal and vertical pressures (kPa)



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0 (left wall)  
Stage 7-Lungo termine 1

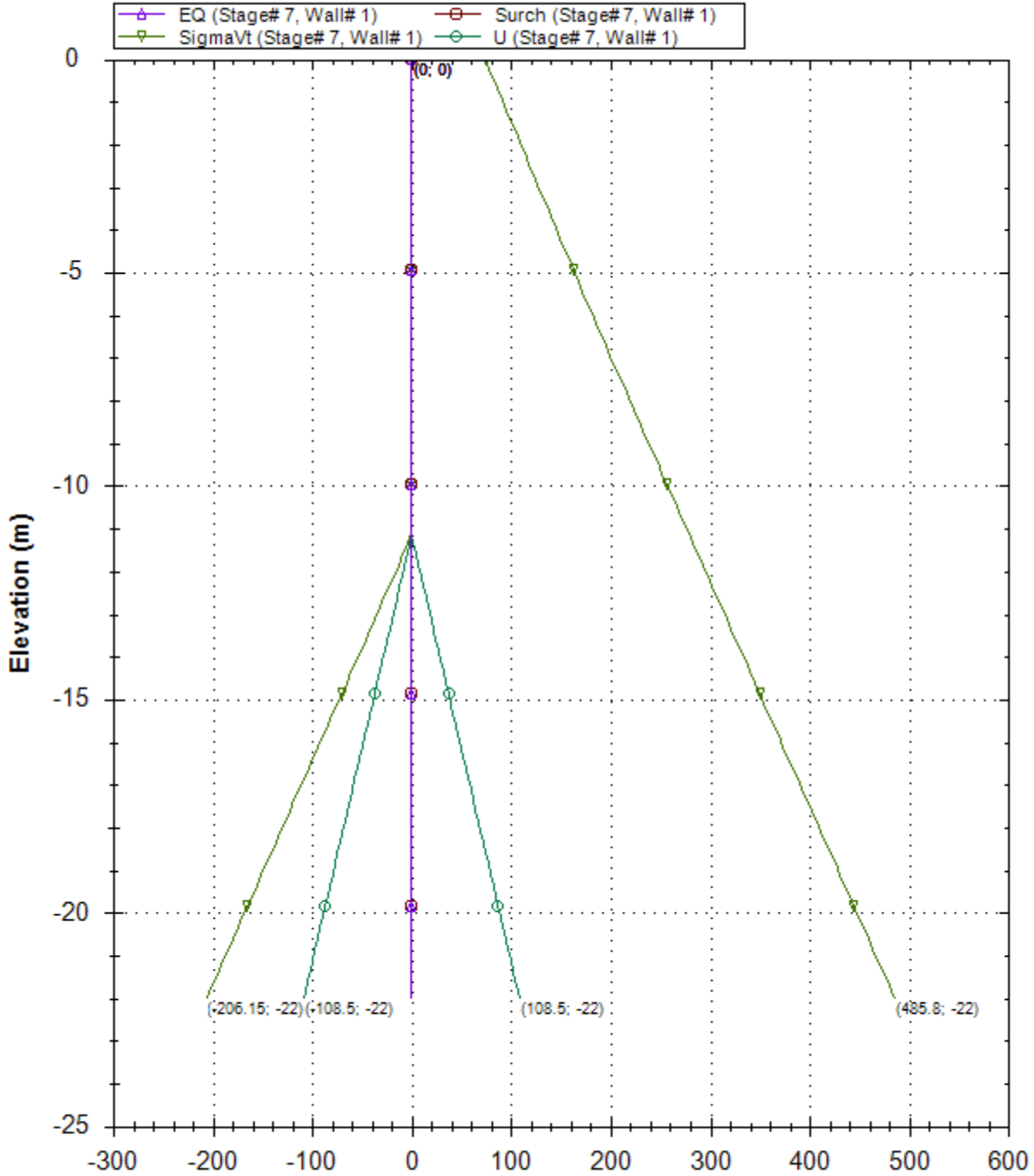
CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW..04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_2.01\_SLE.DEEP

7/6/2013

### Horizontal and vertical pressures (kPa)



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0 (right wall)  
Stage 7-Lungo termine 1

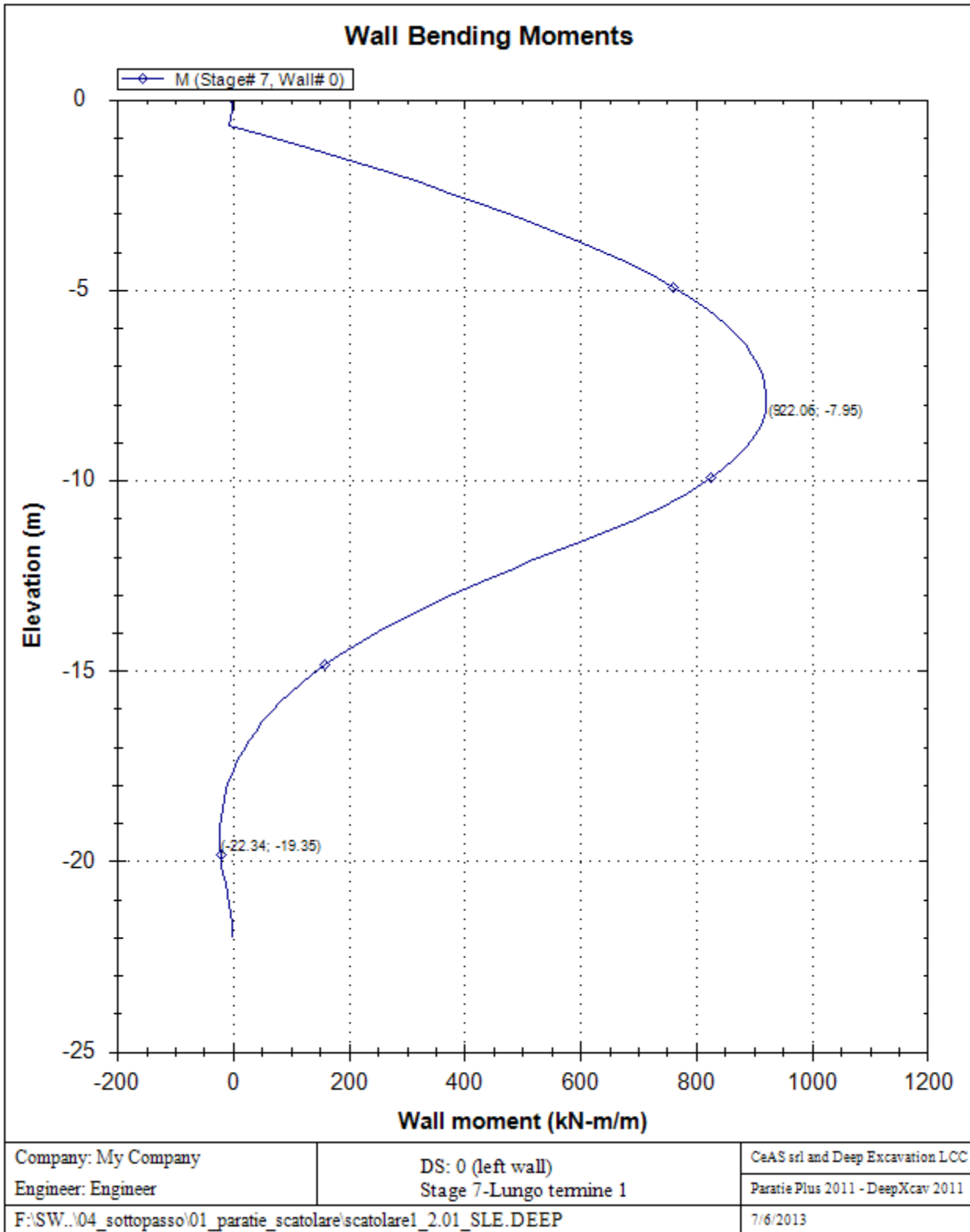
CeAS srl and Deep Excavation LCC

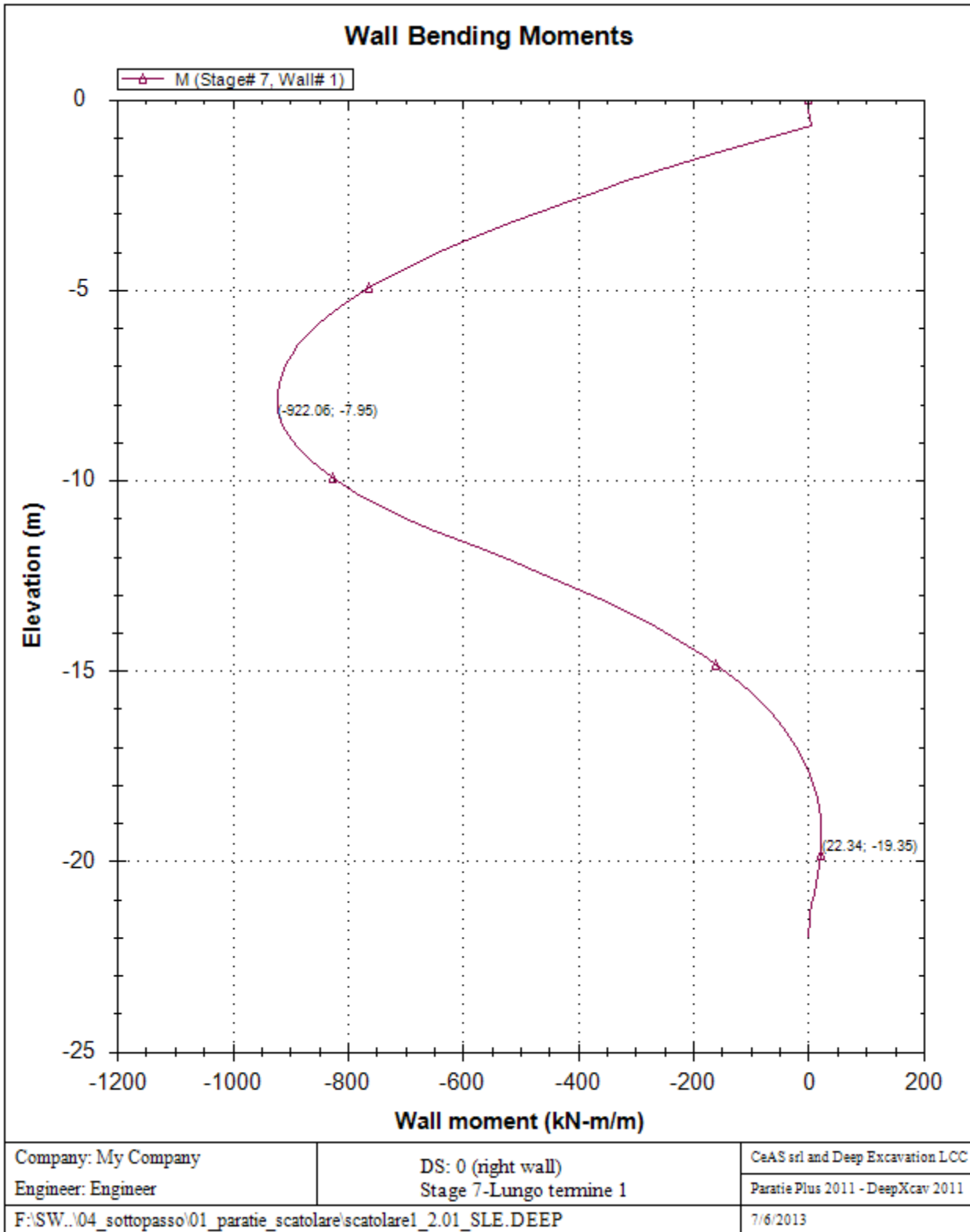
Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

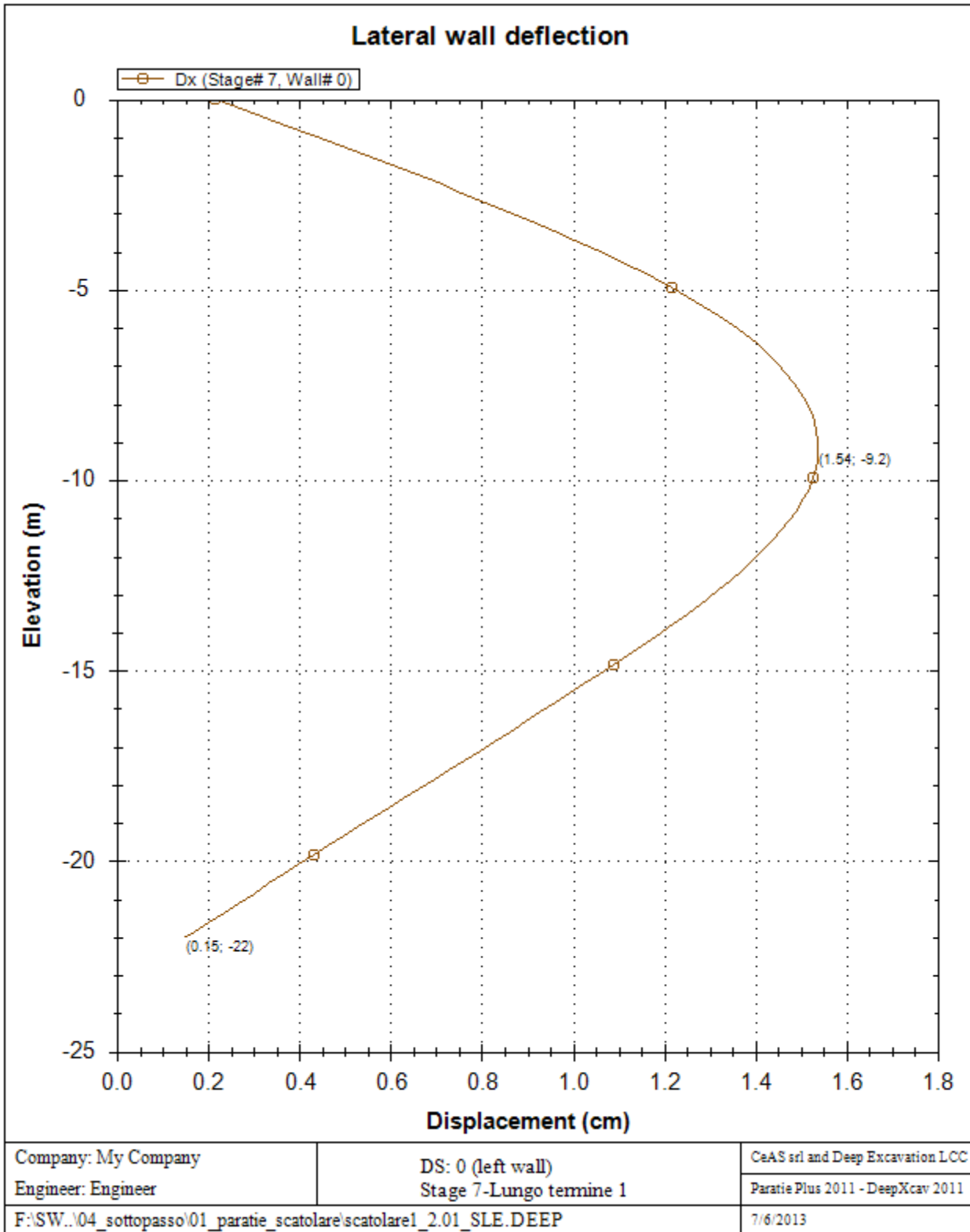
F:\SW..04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_2.01\_SLE.DEEP

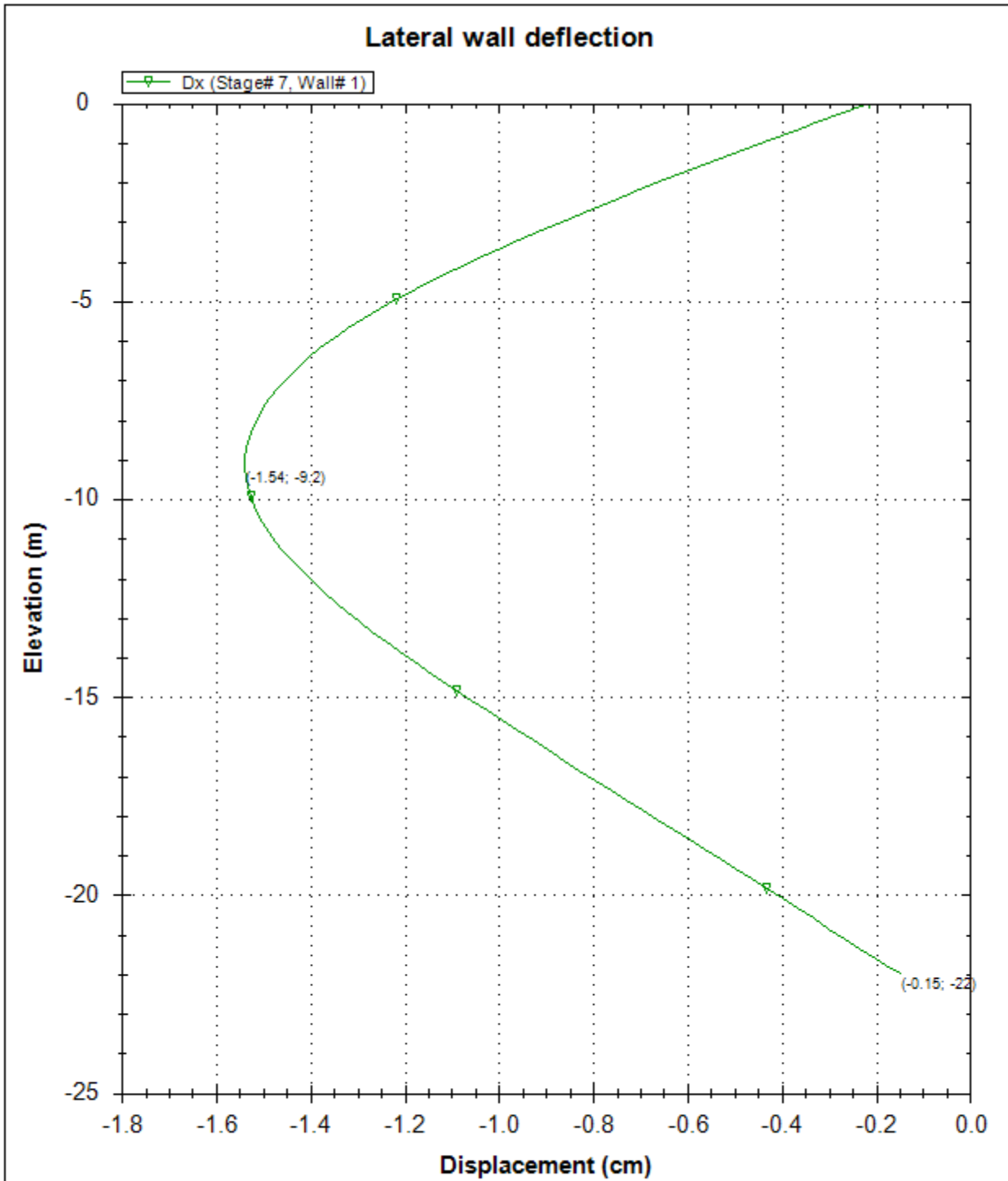
7/6/2013











Company: My Company

Engineer: Engineer

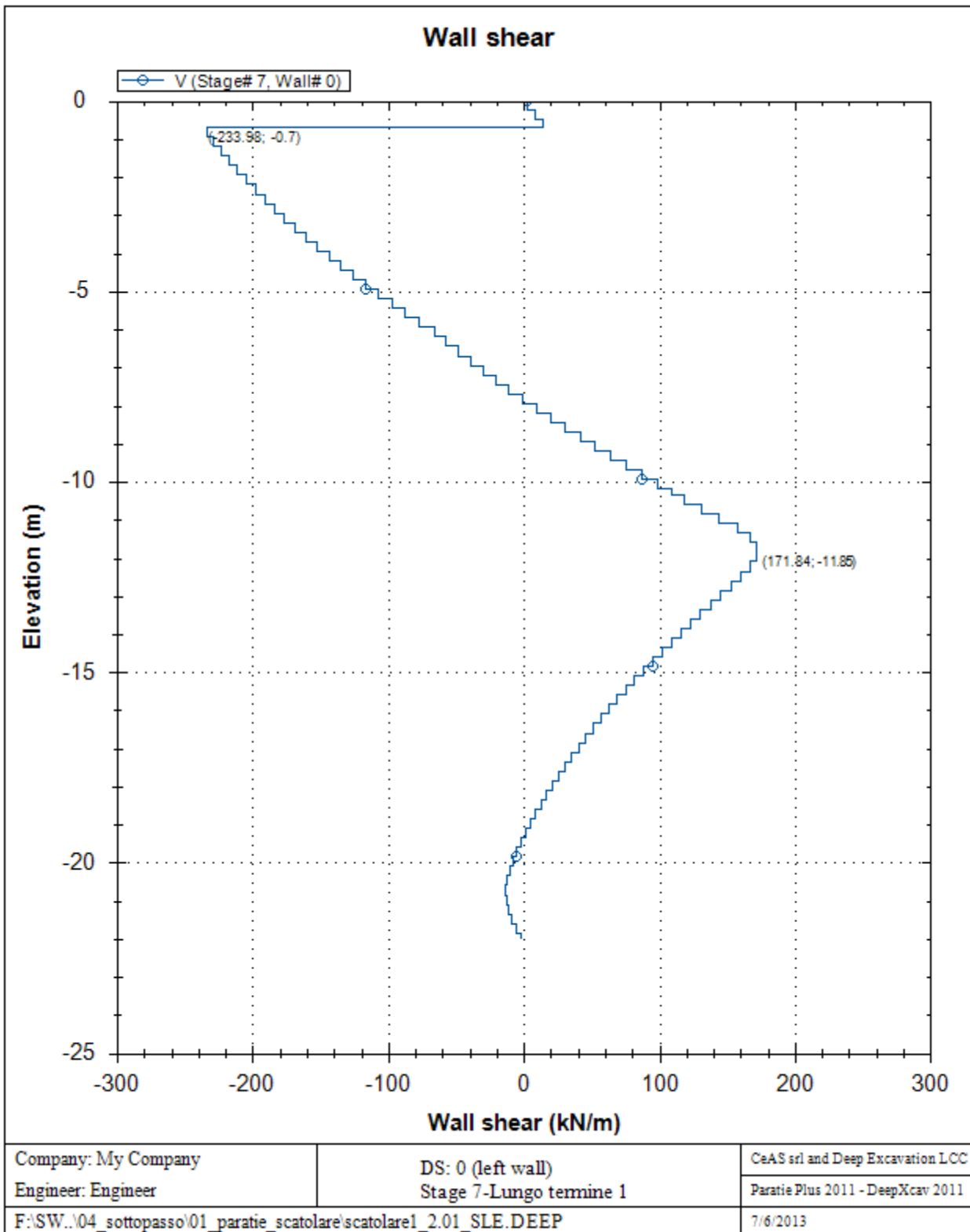
DS: 0 (right wall)  
 Stage 7-Lungo termine 1

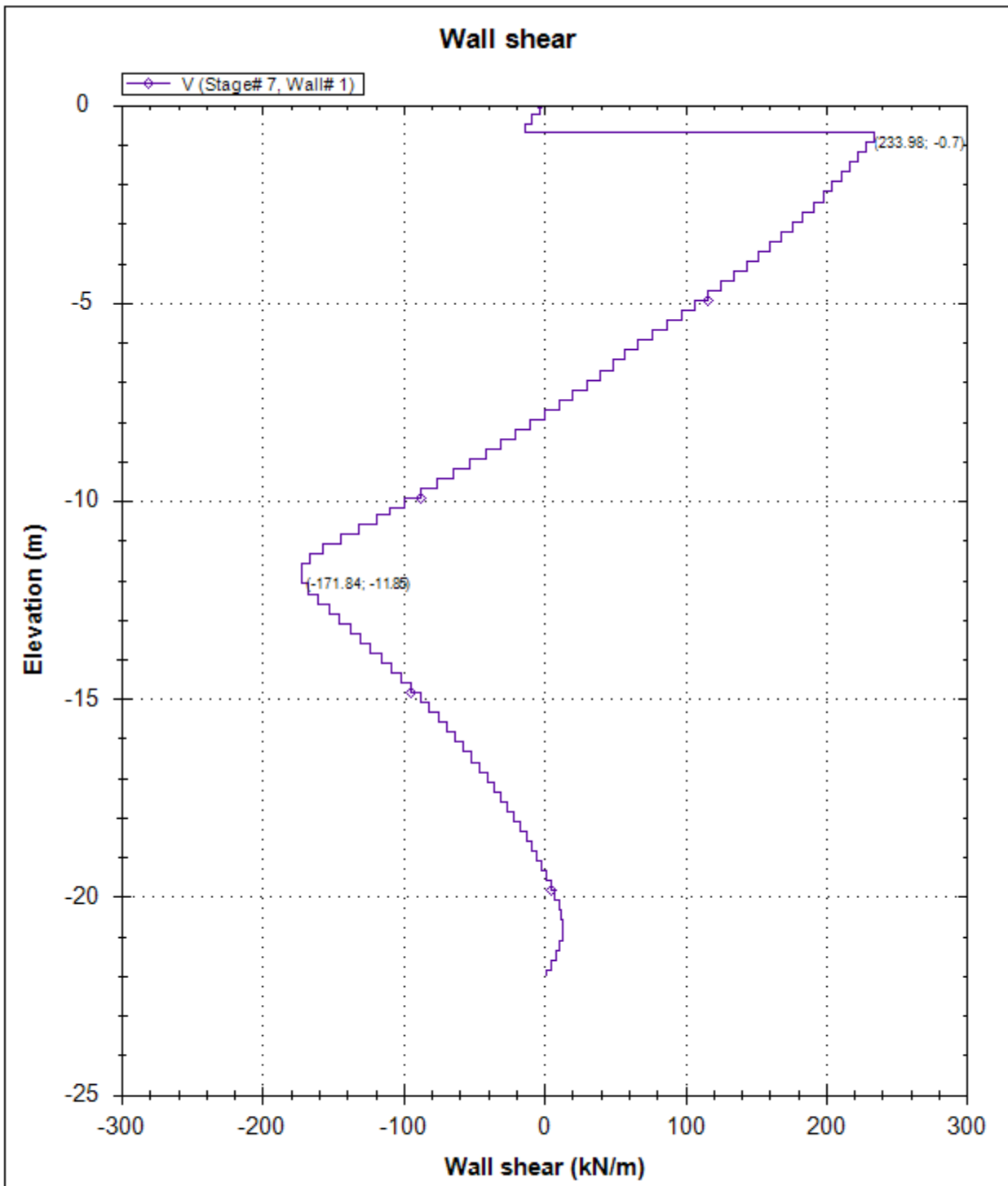
CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW..04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_2.01\_SLE.DEEP

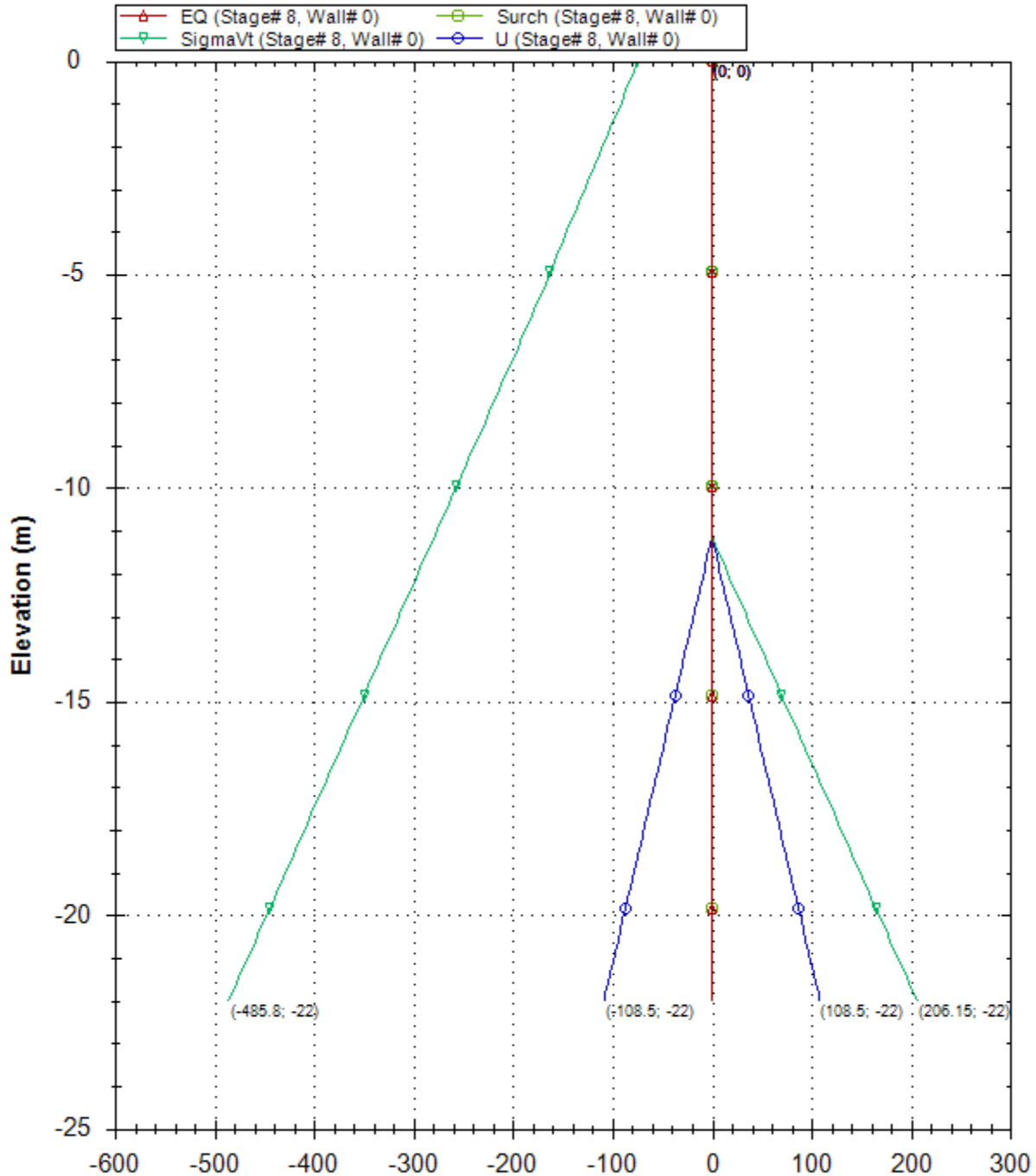
7/6/2013





Company: My Company	DS: 0 (right wall)	CeAS srl and Deep Excavation LCC
Engineer: Engineer	Stage 7-Lungo termine 1	Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011
F:\SW..04_sottopasso\01_paratie_scatolare\scatolare1_2.01_SLE.DEEP		7/6/2013

### Horizontal and vertical pressures (kPa)



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0 (left wall)  
Stage 8-Lungo Termine2

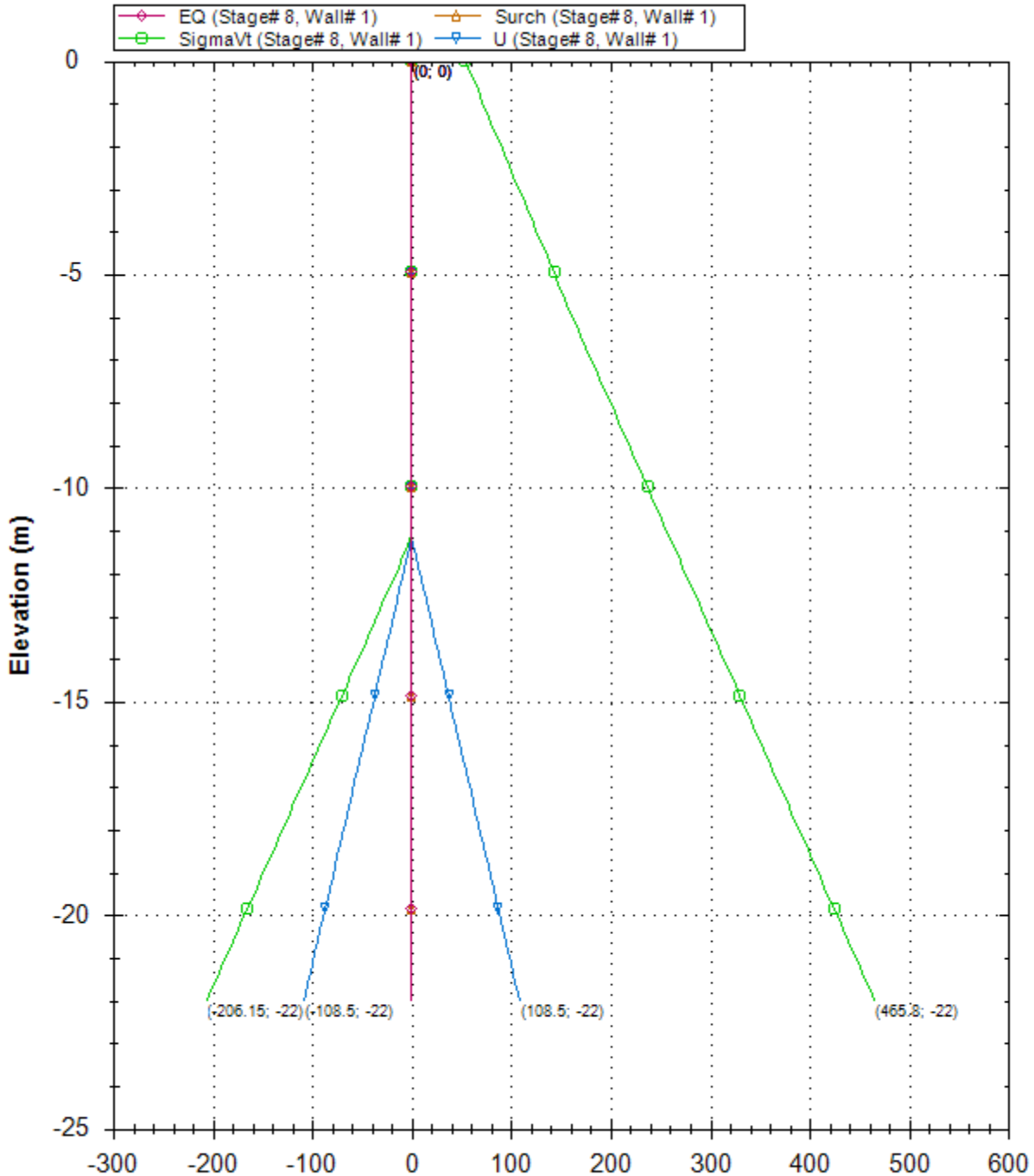
CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW...\04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_2.01\_SLE.DEEP

7/6/2013

### Horizontal and vertical pressures (kPa)



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0 (right wall)  
Stage 8-Lungo Termine2

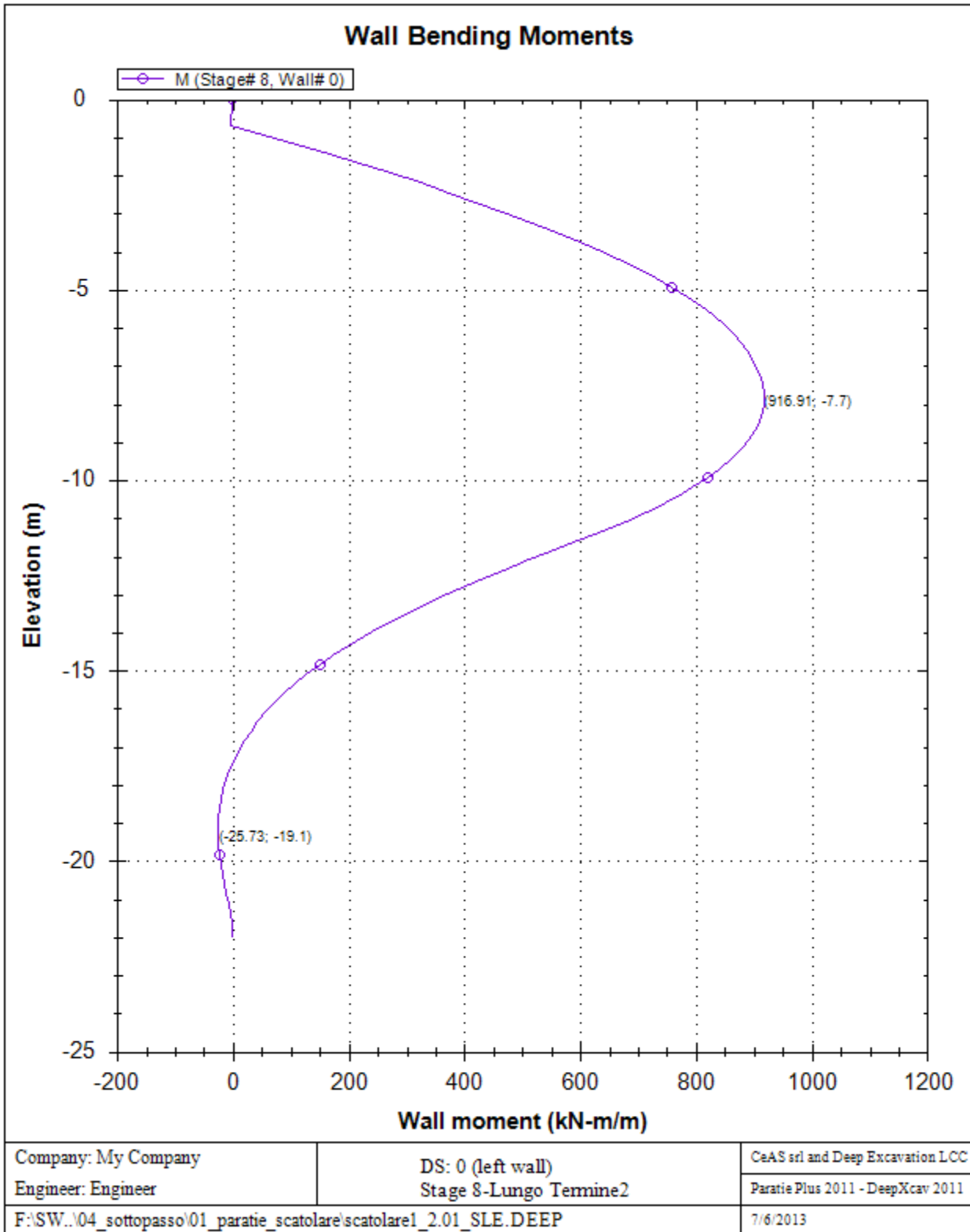
CeAS srl and Deep Excavation LCC

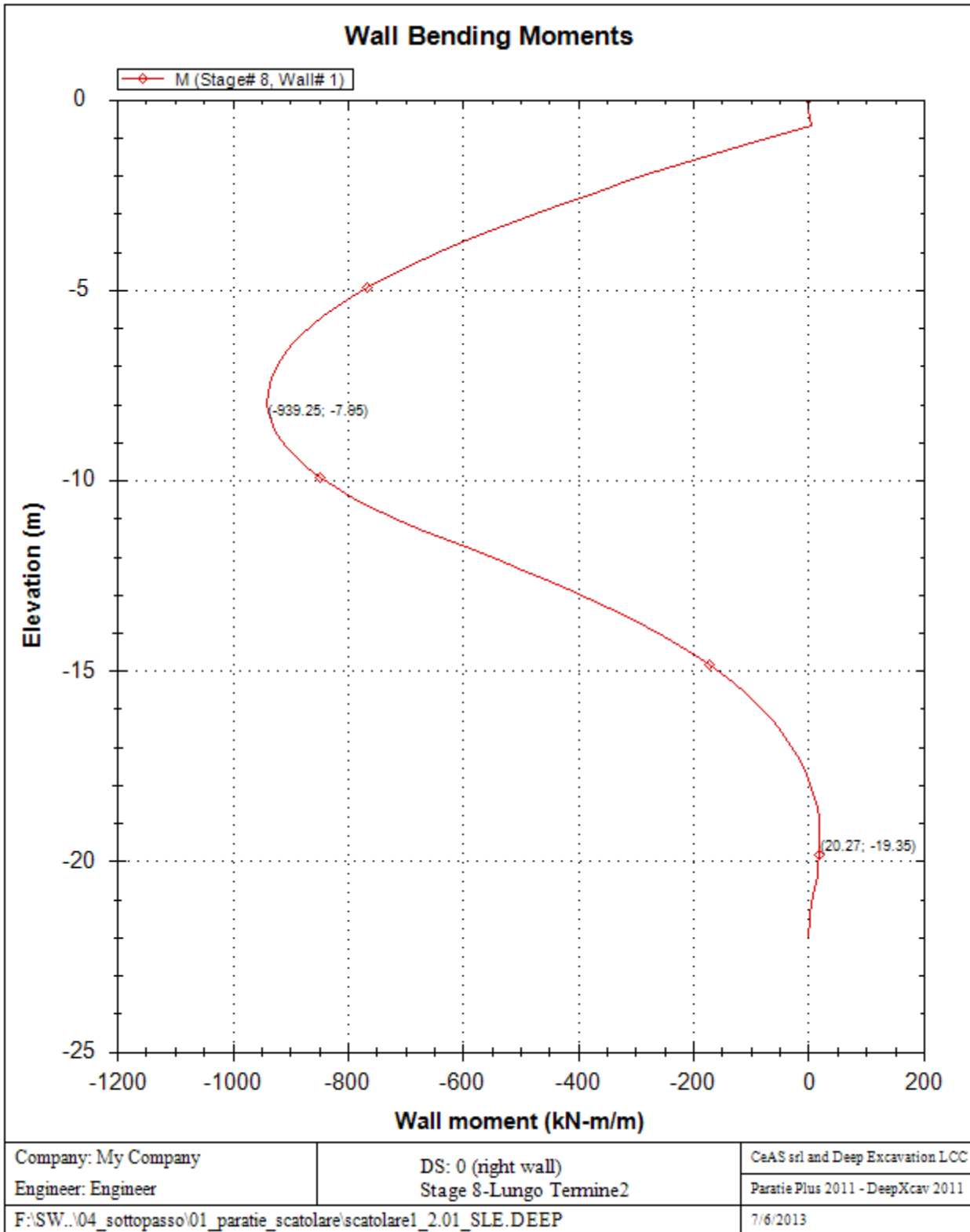
Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

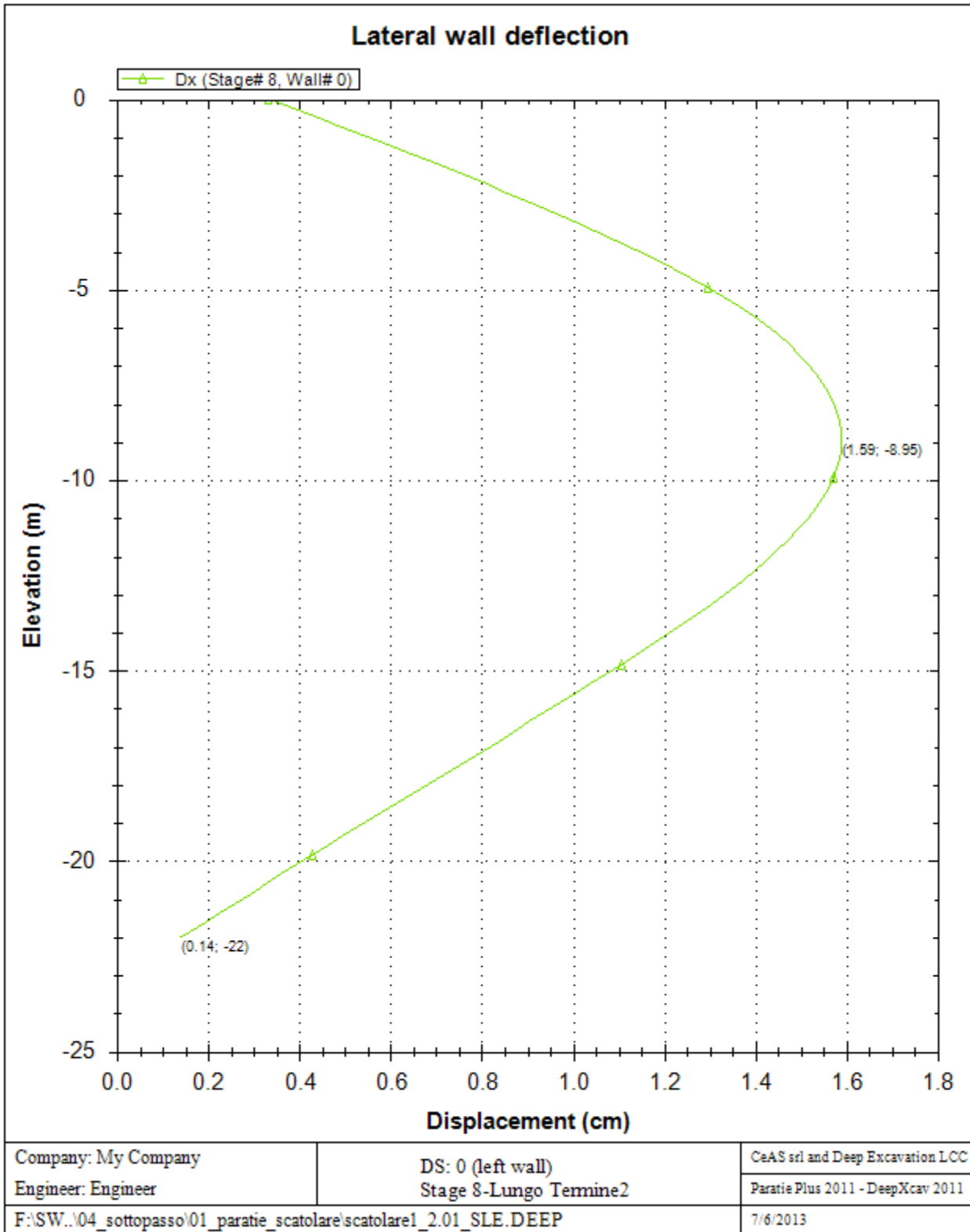
F:\SW..04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_2.01\_SLE.DEEP

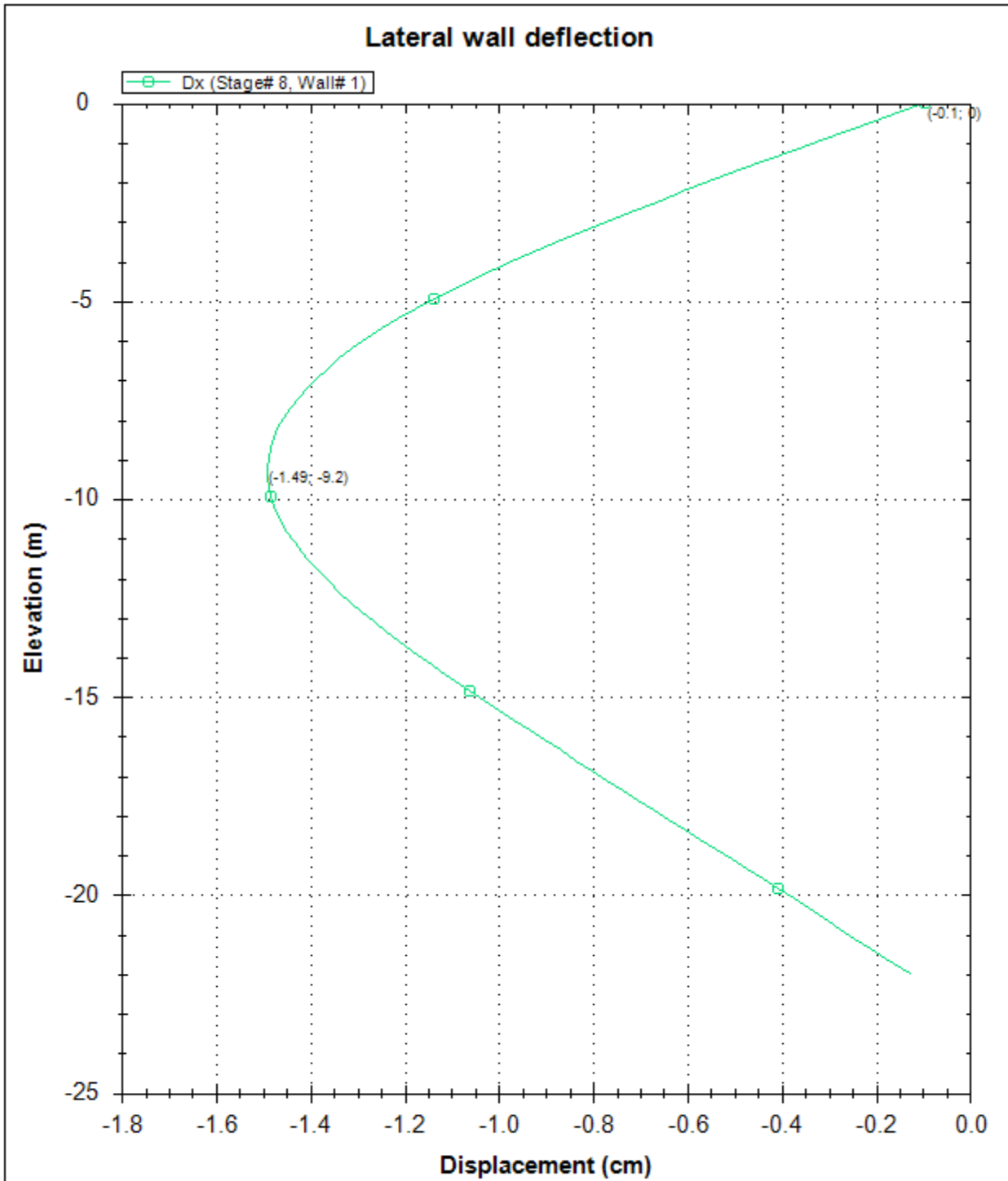
7/6/2013











Company: My Company

Engineer: Engineer

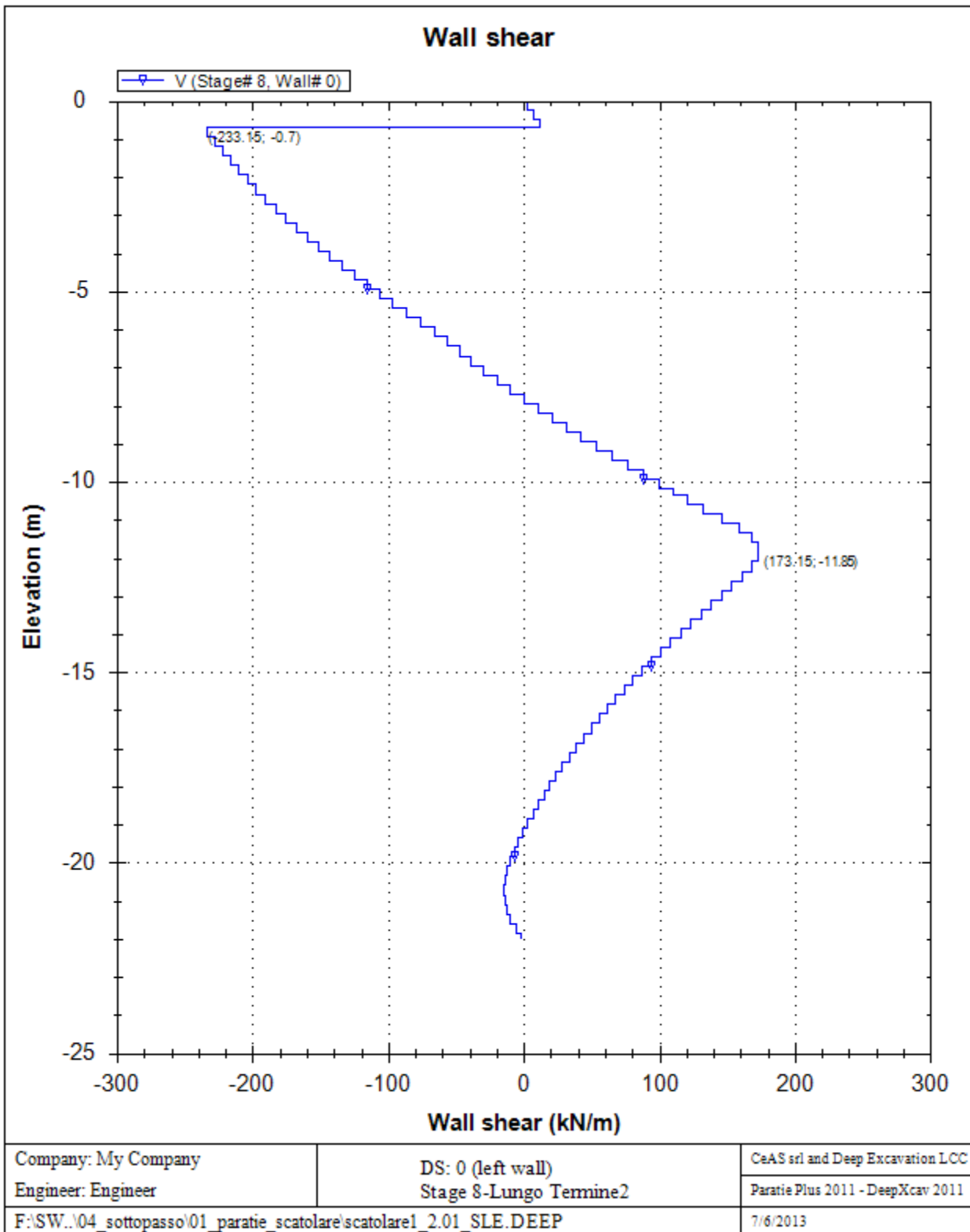
DS: 0 (right wall)  
Stage 8-Lungo Termine2

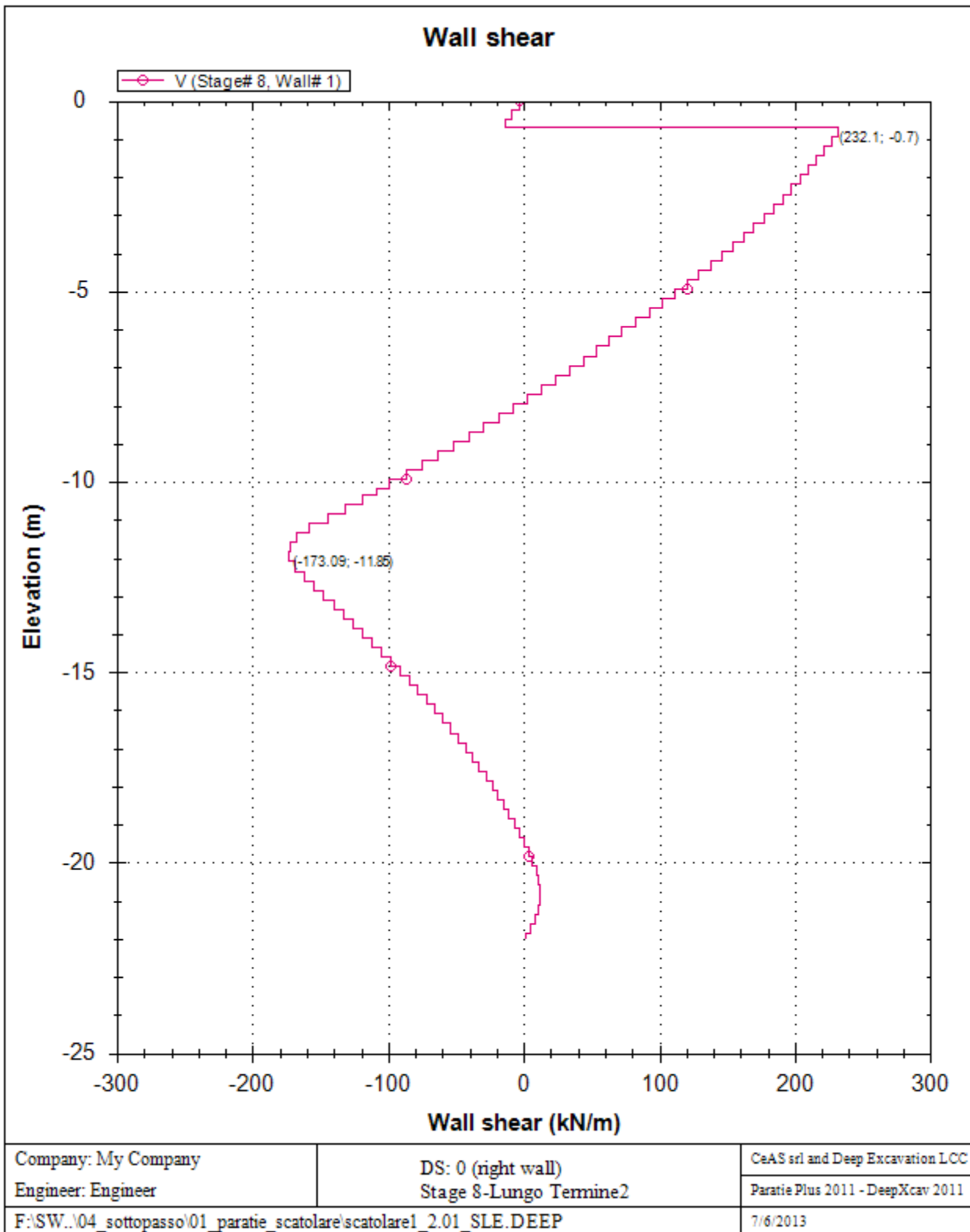
CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

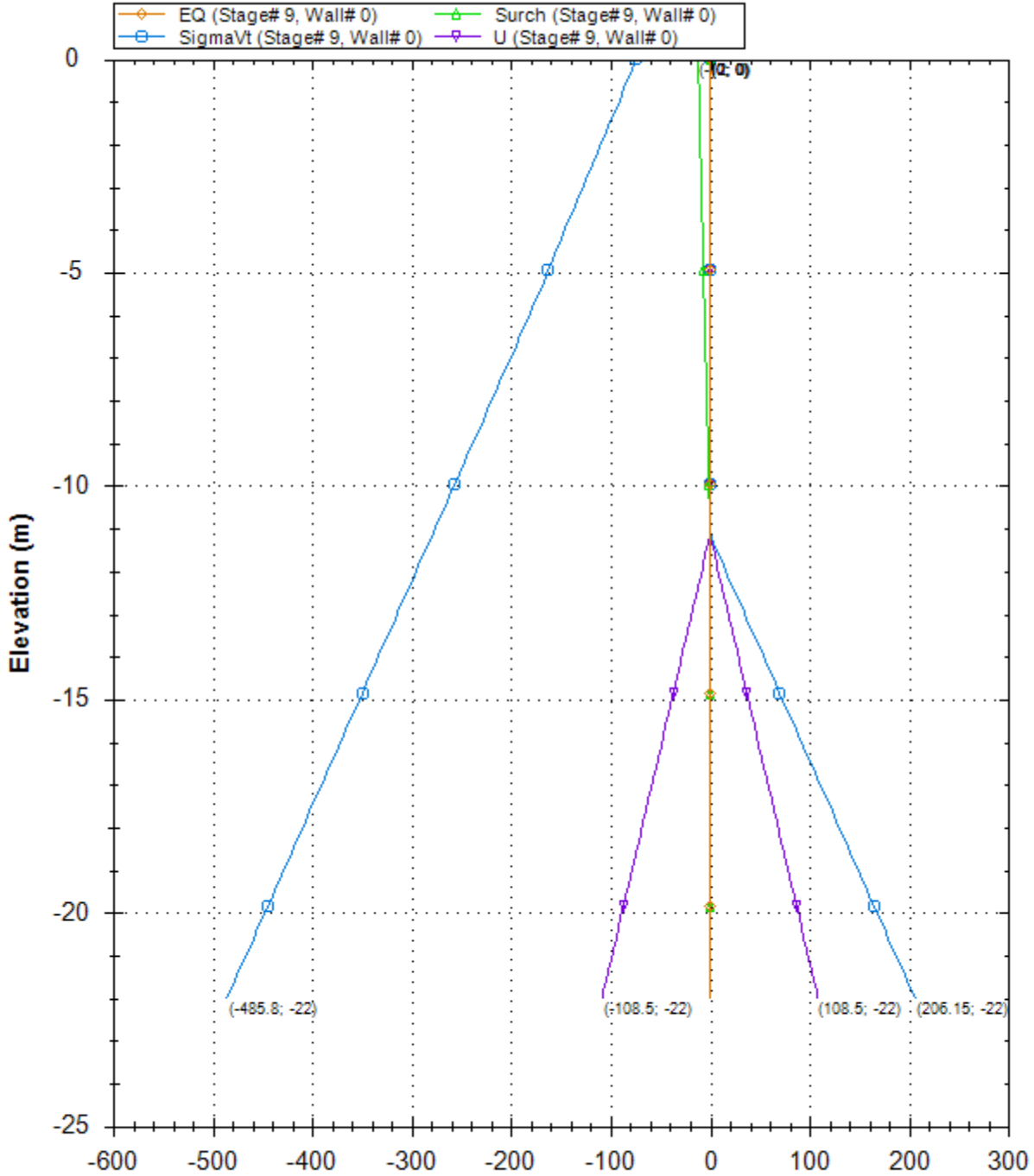
F:\SW..04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_2.01\_SLE.DEEP

7/6/2013





### Horizontal and vertical pressures (kPa)



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0 (left wall)

Stage 9-Sisma

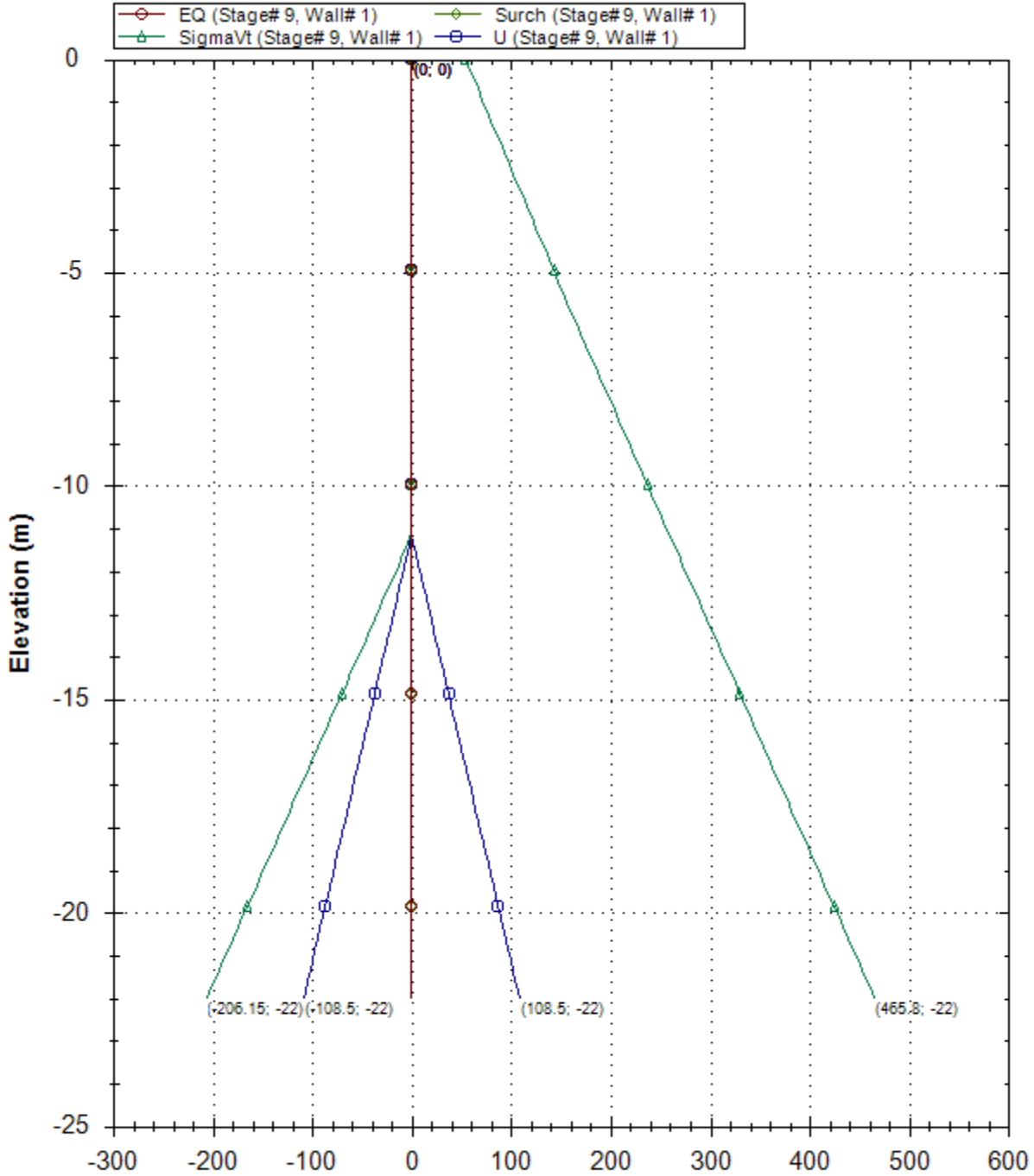
CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW...\04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_2.01\_SLE.DEEP

7/6/2013

### Horizontal and vertical pressures (kPa)



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0 (right wall)

Stage 9-Sisma

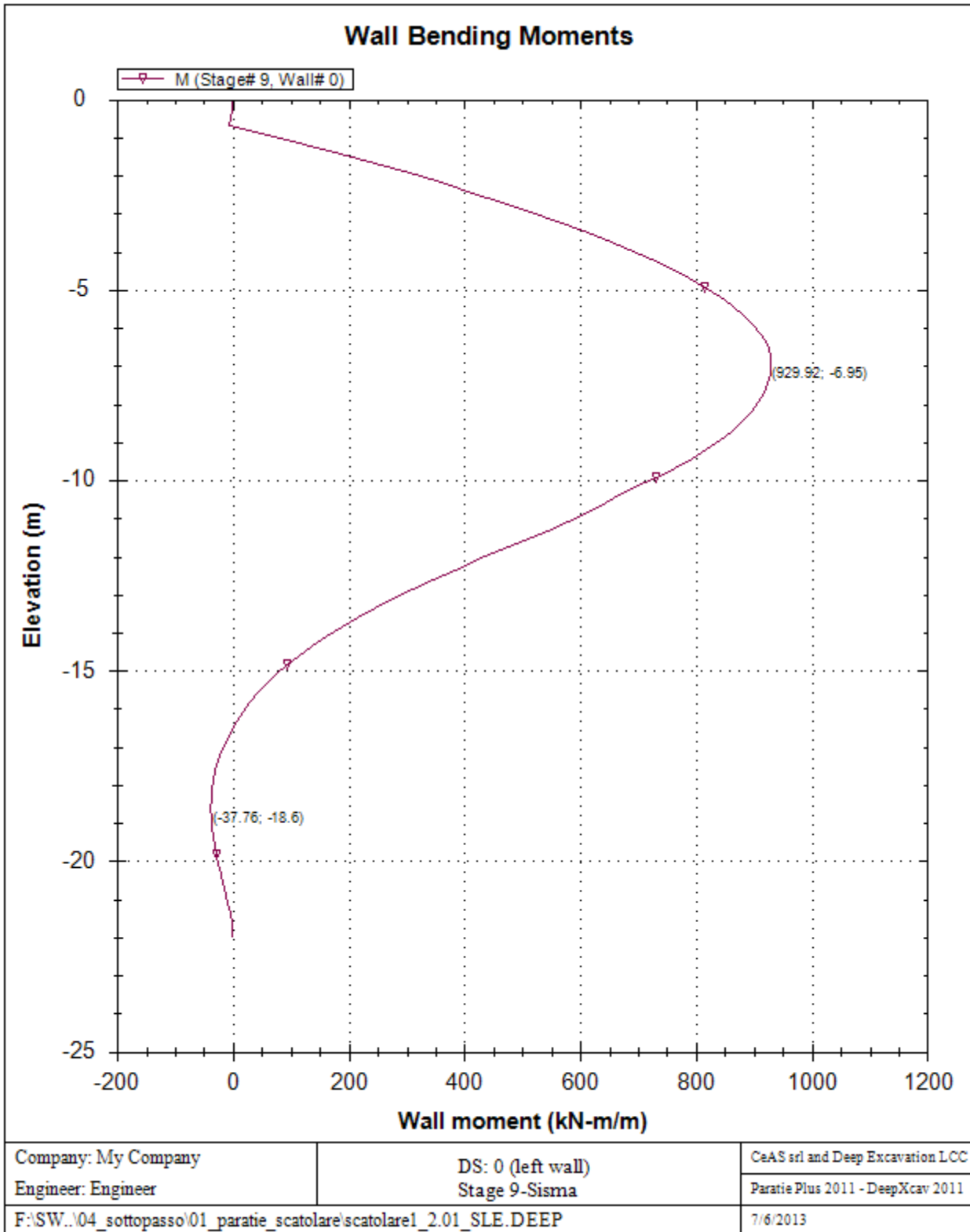
CeAS srl and Deep Excavation LCC

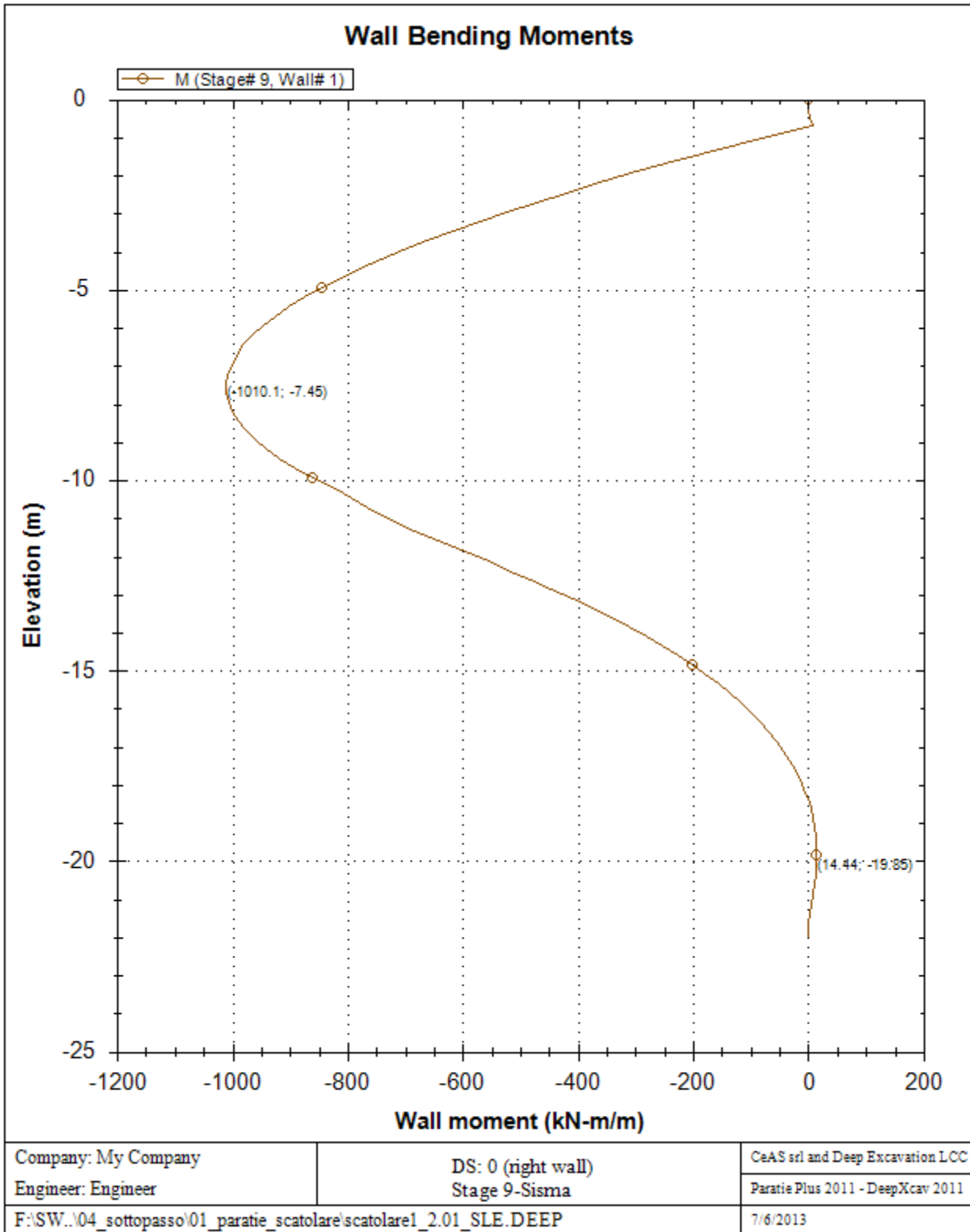
Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

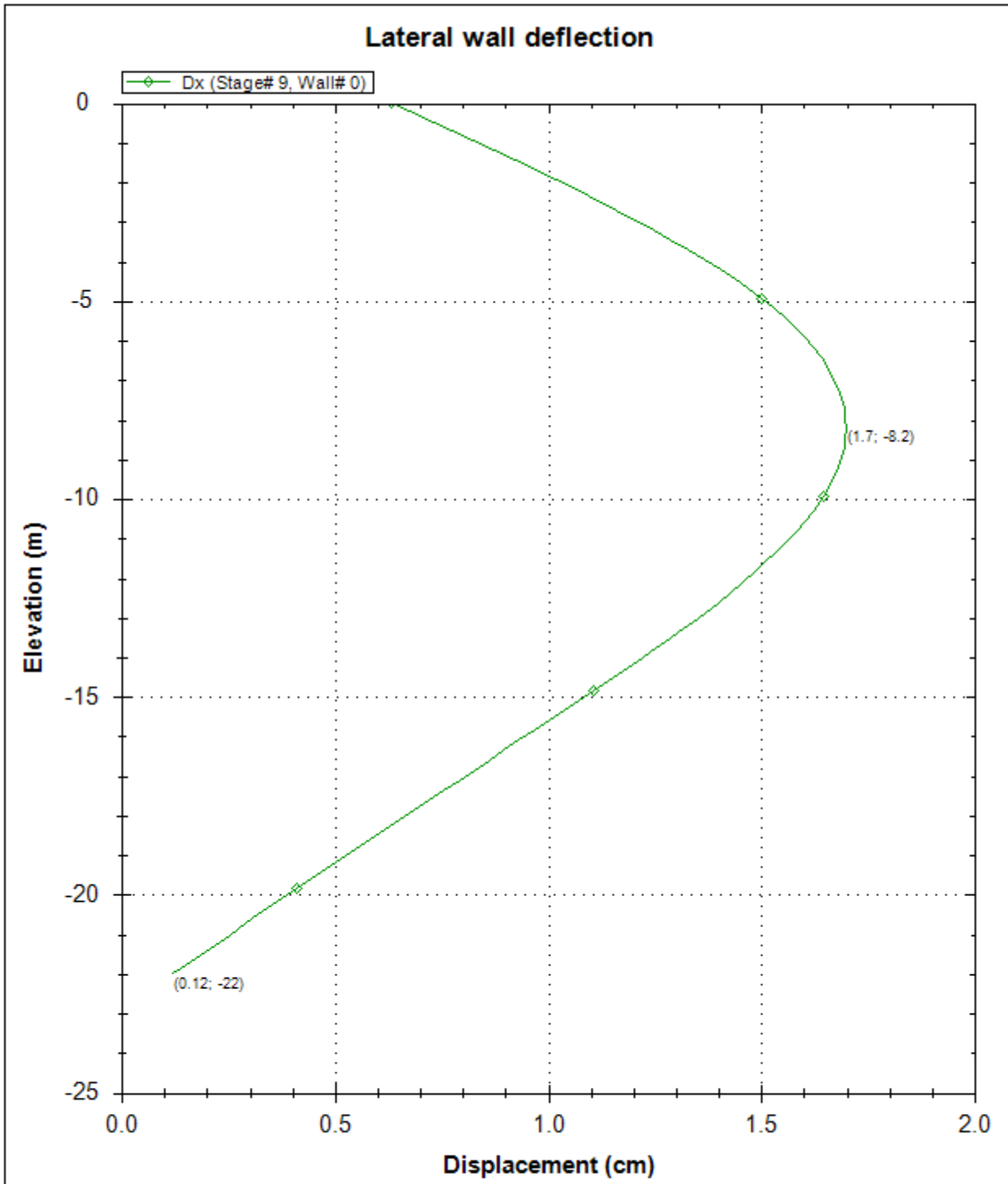
F:\SW..04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_2.01\_SLE.DEEP

7/6/2013

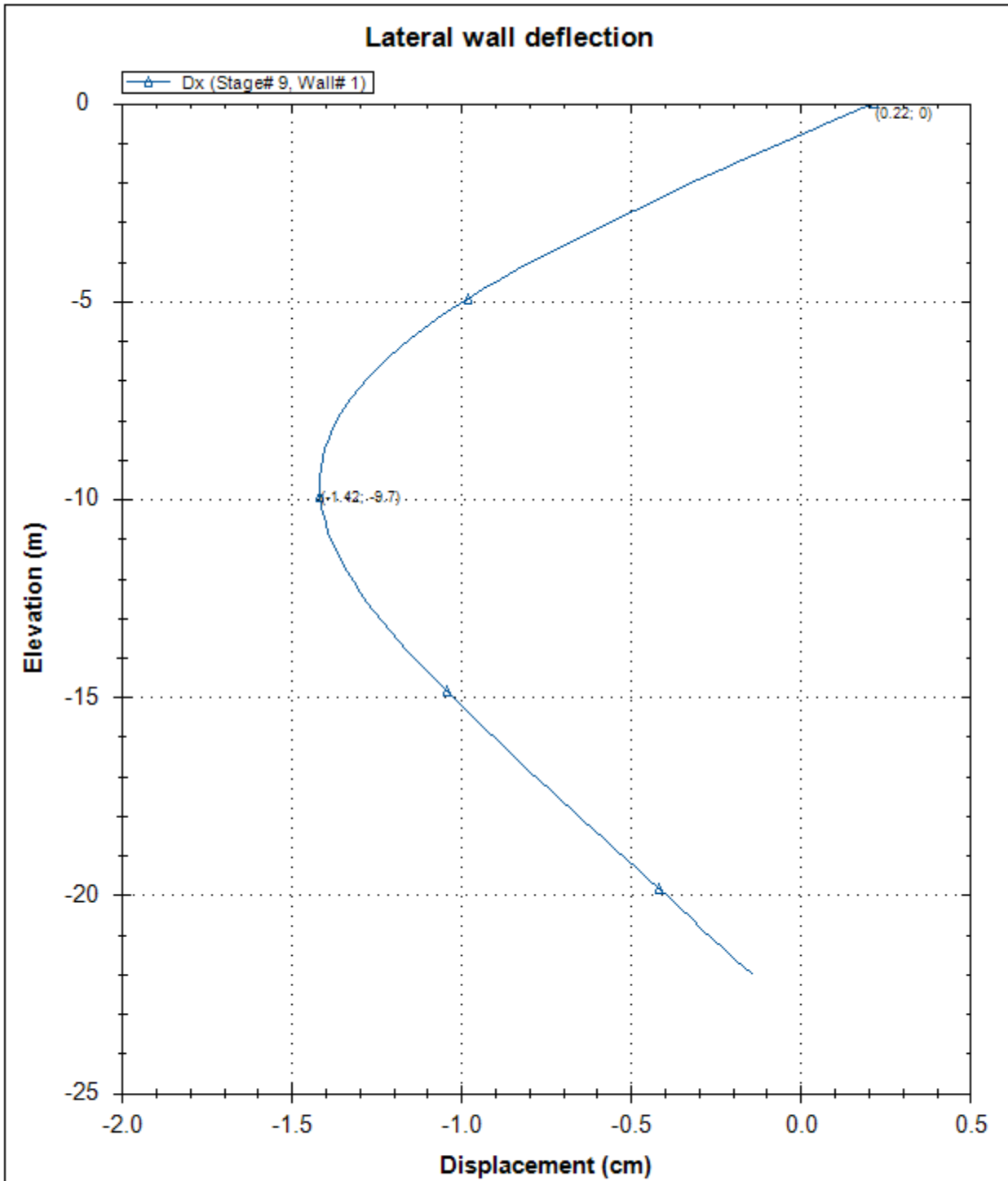








Company: My Company	DS: 0 (left wall)	CeAS srl and Deep Excavation LCC
Engineer: Engineer	Stage 9-Sisma	Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011
F:\SW...\04_sottopasso\01_paratie_scatolare\scatolare1_2.01_SLE.DEEP		7/6/2013



Company: My Company

Engineer: Engineer

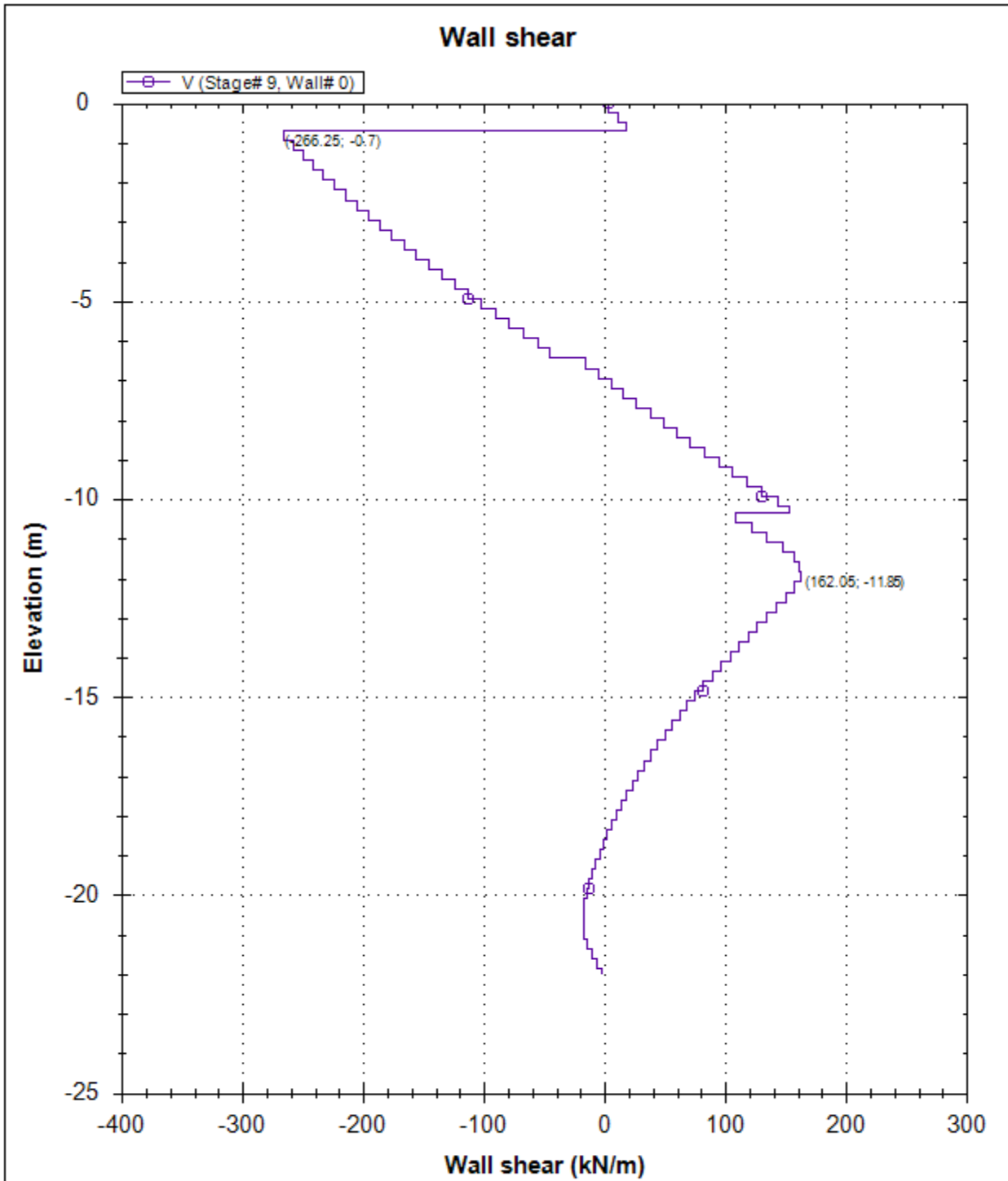
DS: 0 (right wall)  
Stage 9-Sisma

CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW...\04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_2.01\_SLE.DEEP

7/6/2013



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0 (left wall)

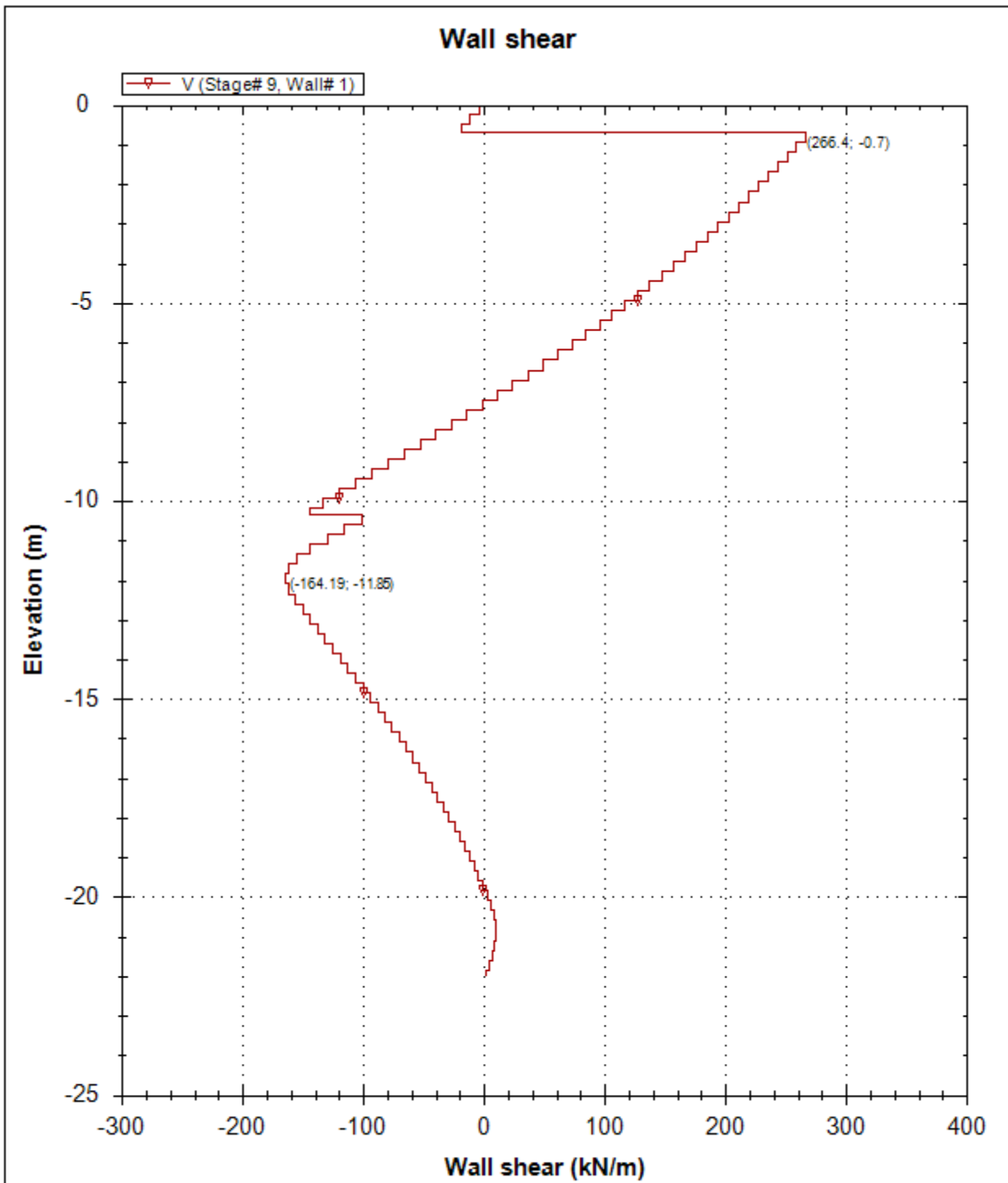
Stage 9-Sisma

CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW...\04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_2.01\_SLE.DEEP

7/6/2013



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0 (right wall)

Stage 9-Sisma

CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW...\04\_sottopasso\01\_paratie\_scatolare\scatolare1\_2.01\_SLE.DEEP

7/6/2013

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-CL-GA1N-0X-001-A00 Relazione di calcolo opera c.a sottopasso
	Foglio 327 di 366

## 14. ALLEGATO 3

### ANALISI PARATIE

### SEZIONE 2 – MODELLO 1

## *DeepXcav 2012: Report Output*

Copyright@2009 - 2012 Deep Excavation LLC: www.deepexcavation.com A program for the evaluation of deep excavations Deep Excavation LLC, Astoria, New York, www.deepexcavation.com Ce.A.S , Centro di Analisi Strutturale, viale Giustiniano 10, 20129 Milano . www.ceas.it.

Project: My Project

Company: My Company  
 Prepared by engineer: Engineer  
 File number: 1  
 Time: 7/6/2013 11:42:25 AM

THIS PROGRAM IS PROTECTED BY U.S. COPYRIGHT LAWS AS DESCRIBED IN THE EULA. UNAUTHORIZED COPYING IS PROHIBITED. LICENSED TO: Deep Excavation LLC BY DEEP EXCAVATION LLC UNDER SPECIFIC LICENCE. This report has printed because the user has accepted responsibility as described in the disclaimer and EULA  
 File: F:\SWS\035\_Cociv\01\_lavoro\04\_sottopasso\02\_paratia\_temp\temporaneo1\_1.01\_SLE.DEEP

### STRUCTURAL MATERIALS DATA

---

#### Steel

Name	Strength Fy (MPa)	Fu (MPa)	Elastic E (MPa)	Density g (kN/m3)
Fe360	235.2	360	206000.2	77.0046
Fe510	355.2	509.7	206000.2	77.0046
A36	248.3	400	200100	77.0046
A50	344.8	500	200100	77.0046
New steel 4	241.4	413.8	206000.2	77.0046

#### Concrete

Name	Strength Fc'	Elastic E	Density g	Tension Strength Ft
------	--------------	-----------	-----------	---------------------

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-CL-GA1N-0X-001-A00 Relazione di calcolo opera c.a sottopasso
	Foglio 328 di 366

	(MPa)	(MPa)	(kN/m3)	(MPa)
C20/25	20	29961.9	25.0029	10
C25/30	24.8	31200	25.0029	10
C28/35	28	32308	25	10

#### Steel rebar

Name	Strength Fy (MPa)	Elastic E (MPa)
Grade 60	413.8	200100
Grade 75	517.2	200100
Grade 80	551.7	200100
Grade 150	1034.5	200100
Strands 270 ksi	1862.1	200100
S410	409.7	210000.1
S500	500	210000.1
B450C	449.7	210000.1

#### Wood

Name	Ultimate Bending Strength Fbu (MPa)	Ultimate Tensile Strength FtU (MPa)	Ultimate Shear Strength Fvu (MPa)	Density g (kN/m3)	Elastic E (MPa)
Construction Timber	11	9.7	5.5	7.8576	6900
Regular grade	6.9	6.9	4.1	7.8576	5520

#### STEEL

Name=material name

fy=fyk= characteristic resistance for steel (for all the codes)

Fu=fuk= ultimate resistance for steel (for all the codes)

Elastic E= Elastic modulus

Density g= specific weight

#### CONCRETE

Name=material name

f'c=fck= cylindrical resistance for concrete (for all the codes)

Elastic E= Elastic modulus

Density g= specific weight

Tension strength=ft=fctk= characteristic tension resistance for concrete

#### STEEL REBARS

Name=material name

fy=fyk= characteristic resistance for steel (for all the codes)

Fu=fuk= ultimate resistance for steel (for all the codes)

Elastic E= Elastic modulus

Density g= specific weight

#### WOOD

Name=material name

Fb=fbk= Ultimate bending strength

Ftu=ftuk= Ultimate tensile strength

Fvu=fvuk= Ultimate shear strength

Density g= specific weight

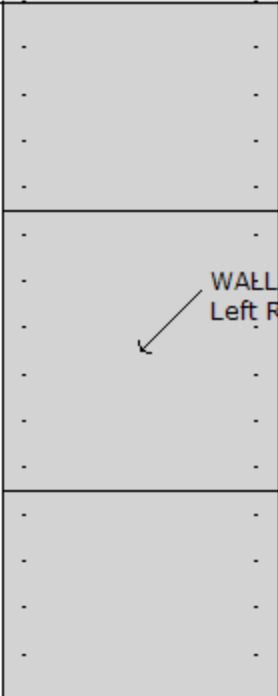
Elastic E= Elastic modulus



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-CL-GA1N-0X-001-A00 Relazione di calcolo opera c.a sottopasso
	Foglio 329 di 366

## WALL DATA

Wall section 0: Wall 1

		
Company: My Company Engineer: Engineer	Wall sketch	CeAS srl and Deep Excavation LCC Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011
F:\SW_voro\04_sottopasso\02_paratia_temp\temporaneo1_1.01_SLE.DEEP		7/6/2013

Wall type: Diaphragm wall (US: slurry wall)

Hor. wall spacing: 1 Wall thickness = 0.979439444

Passive width below exc: 1 Active width below exc: 1 Swater= 1

Concrete  $f_c' = 24.8$  Rebar  $F_y = 409.7$   $E_{conc} = 31200$  Concrete tension  $F_{cT} = 10\%$  of  $F_c'$

Diaphragm wall (US: slurry wall)

Table: Concrete Slab Data

Shape	$F_y$	$F_c'$	D	B	Bw	tf	Ctop	Cbot	AsTop	AsBot	A	Pmax	Mmax
	(MPa)	(MPa)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(kN)	(kN-m)
Rect	409.7	24.8	97.9	100	N/A	N/A	7.6	7.6	12.1	12.1	9794.4	0	0

### GENERAL WALL DATA

Hor wall spacing= Wall horizontal spacing

Passive width below exc= spacing for passive thrust pressure for classic analysis

$f_c' = f_{ck}$ = cylindrical concrete resistance

$f_y = f_y$ = steel rebar characteristic resistance

$E_{conc}$ = Concrete Elastic modulus

$f_{ctk}$ = characteristic Concrete tension

$E_{steel}$ = steel elastic modulus

TABULAR DATA (principal parameters)

1) Diaphragm wall (rectangular cross section)

N/A= data not available

$F_y = f_y$

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG51-02-E-CV-CL-GA1N-0X-001-A00 Relazione di calcolo opera c.a sottopasso</p>	<p>Foglio 330 di 366</p>

$F'c=fck$   
 $D$ =wall height  
 $B$ =wall width  
 2)Steel sheet pile  
 $DES$ =shape (Z or U)  
 $W$ =width per unit of length  
 $A$ =area  
 $h$ =height  
 $t$ =horizontal part thickness  
 $b$ =width of the single sheet pile part  
 $s$ =inclined part thickness  
 $I_{xx}$ =strong axis inertia (per unit of length)  
 $S_{xx}$ =strong axis section modulus (per unit of length)  
 3)Secant piles wall, Tangent piles wall, soldier piles, soldier piles and timber lagging  
 $W$ =weight per unit of length  
 $A$ =area  
 $D$ =diameter  
 $t_w$ =web thickness  
 $t_p$ = pipe thickness  
 $b_f$ =flange width  
 $t_f$ = flange thickness  
 $k$ = flange thickness+stem base height  
 $I_{xx}$ = strong axis inertia modulus (per unit of length)  
 $S_{xx}$ = strong axis section modulus (per unit of length)  
 $r_x$ =radius of gyration about X axis  
 $r_y$ =radius of gyration about Y axis  
 $I_{yy}$ =weak axis inertia modulus (per unit of length)  
 $S_{yy}$ =weak axis section modulus (per unit of length)  
 $r_T$ =radius of gyration for torsion  
 $C_w$ = warping constant

***Project: My Project***  
***Results for Design Section 0: Base model***

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-CL-GA1N-0X-001-A00 Relazione di calcolo opera c.a sottopasso
	Foglio 331 di 366

## SOIL DATA

Name	g tot (kN/m3)	g dry (kN/m3)	Frict (deg)	C' (kPa)	Su (kPa)	FRp (deg)	FRcv (deg)	Eload (kPa)	Eur (kPa)	kAp NL	kPp NL	kAcv NL	kPcv NL	Vary	Spring Model	Color
rilevato	18	18	35	0	N/A	N/A	N/A	15000	24000	0.24	5.94	N/A	N/A	True	Linear	
GS/GLA	19	19	40	0	N/A	N/A	N/A	40000	64000	0.19	8.38	N/A	N/A	True	Linear	

Name	Poisson v	Min Ka (clays)	Min sh (clays)	ko.NC -	nOCR -	aH.EXP (0 to 1)	aV.EXP (0 to 1)	qSkin (kPa)	qNails (kPa)	kS.nails (kN/m3)	PL (MPa)
rilevato	0.35	-	-	0.426	0.5	-	-	49.7	33.1	3143.04	-
GS/GLA	0.3	-	-	0.357	0.5	-	-	35.2	23.4	3143.04	-

gtot = total soil specific weight

gdry = dry weight of the soil

Frict = friction angle

C' = effective cohesion

Su = Undrained shear strength (only for CLAY soils in undrained conditions, used as a cutoff strength in NL analysis)

Evc = Virgin compression elastic modulus

Eur = unloading/reloading elastic modulus

kAp = Peak active thrust coefficient (initial value, may be modified on each stage according to analysis settings).

kPp = Peak passive thrust coefficient (initial value, may be modified on each stage according to analysis settings).

kAcv = Constant volume active thrust coeff (only for clays, initial value)

kPcv = Constant volume passive thrust coeff (only for clays, initial value).

Spring models= spring model (LIN= constant E over the soil layer height , EXP=exponential , SIMC=simplified winkler)

LIN= Linear-Elastic-Perfectly Plastic,

EXP: Exponential, SUB: Modulus of Subgrade Reaction

SIMC= Simplified Clay mode

## SOIL BORINGS

Top Elev= superior SOil level

Soil type= type of the soil (sand , clay , etc)

OCR= overconsolidation ratio

K0= at rest coefficient

Name: Boring 1, pos: (-20, 0)

Top elev.	Soil type	OCR	Ko
0	rilevato	1	0.43
-9	GS/GLA	1	0.36

## STRUCTURAL MATERIALS DATA

Steel

Name	Strength Fy	Fu	Elastic E	Density g
	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(kN/m3)
Fe360	235.2	360	206000.2	77.0046
Fe510	355.2	509.7	206000.2	77.0046
A36	248.3	400	200100	77.0046
A50	344.8	500	200100	77.0046
New steel 4	241.4	413.8	206000.2	77.0046

## Concrete

Name	Strength Fc'	Elastic E	Density g	Tension Strength Ft
	(MPa)	(MPa)	(kN/m3)	(MPa)
C20/25	20	29961.9	25.0029	10
C25/30	24.8	31200	25.0029	10
C28/35	28	32308	25	10

## Steel rebar

Name	Strength Fy	Elastic E
	(MPa)	(MPa)
Grade 60	413.8	200100
Grade 75	517.2	200100
Grade 80	551.7	200100
Grade 150	1034.5	200100
Strands 270 ksi	1862.1	200100
S410	409.7	210000.1
S500	500	210000.1
B450C	449.7	210000.1

## Wood

Name	Ultimate Bending Strength Fbu	Ultimate Tensile Strength FtU	Ultimate Shear Strength Fvu	Density g	Elastic E
	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(kN/m3)	(MPa)
Construction Timber	11	9.7	5.5	7.8576	6900
Regular grade	6.9	6.9	4.1	7.8576	5520

## STEEL

Name=material name

fy=fyk= characteristic resistance for steel (for all the codes)

Fu=fuk= ultimate resistance for steel (for all the codes)

Elastic E= Elastic modulus

Density g= specific weight

## CONCRETE

Name=material name

f'c=fck= cylindrical resistance for concrete (for all the codes)

Elastic E= Elastic modulus

Density g= specific weight

Tension strength=ft=fctk= characteristic tension resistance for concrete

## STEEL REBARS

Name=material name

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-CL-GA1N-0X-001-A00 Relazione di calcolo opera c.a sottopasso
	Foglio 333 di 366

fy=fyk= characteristic resistance for steel (for all the codes)

Fu=fuk= ultimate resistance for steel (for all the codes)

Elastic E= Elastic modulus

Density g= specific weight

WOOD

Name=material name

Fb=fbk= Ultimate bending strength

Ftu=ftuk= Ultimate tensile strength

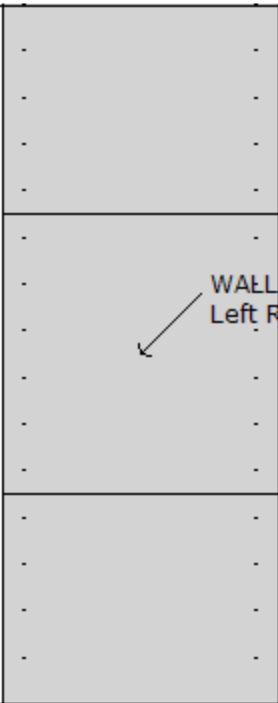
Fvu=fvuk= Ultimate shear strength

Density g= specific weight

Elastic E= Elastic modulus

## WALL DATA

Wall section 0: Wall 1

		
Company: My Company Engineer: Engineer	Wall sketch	CeAS srl and Deep Excavation LCC Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011
F:\SW.voro\04_sottopasso\02_paratia_temp\temporaneo1_1.01_SLE.DEEP		7/6/2013

Wall uses wall section 0: Wall 1

Wall type: Diaphragm wall (US: slurry wall)

Top wall El: 0 m Bottom wall El: -12 m

Hor. wall spacing: 1 Wall thickness = 0.979439444

Passive width below exc: 1 Active width below exc: 1 Swater= 1

Concrete fc' = 24.8 Rebar Fy = 409.7 Econc = 31200 Concrete tension FcT = 10% of Fc'

Wall friction: Ignored

Steel wall capacities are calculated with EC3 2005

Concrete capacities are calculated with EC2-2004

Note: With ultimate capacities you may have to use a structural safety factor.

Diaphragm wall (US: slurry wall)

Table: Concrete Slab Data

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-CL-GA1N-0X-001-A00 Relazione di calcolo opera c.a sottopasso

Foglio  
334 di  
366

Name	Shape	Fy	Fc'	D	B	Bw	tf	Ctop	Cbot	AsTop	AsBot	A	Pmax	Mmax
		(MPa)	(MPa)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(kN)	(kN-m)
Wall 1	Rect	409.7	24.8	97.9	100	N/A	N/A	7.6	7.6	12.1	12.1	9794.4	0	0

#### GENERAL WALL DATA

Hor wall spacing= Wall horizontal spacing

Passive width below exc= spacing for passive thrust pressure for classic analysis

f'c=fck= cylindrical concrete resistance

fyk=fy= steel rebar characteristic resistance

Econc= Concrete Elastic modulus

fctk= characteristic Concrete tension

Esteel= steel elastic modulus

TABULAR DATA (principal parameters)

1) Diaphragm wall (rectangular cross section)

N/A= data not available

Fy=fyk

F'c=fck

D=wall height

B=wall width

2) Steel sheet pile

DES=shape (Z or U)

W=width per unit of length

A=area

h=height

t=horizontal part thickness

b=width of the single sheet pile part

s=inclined part thickness

Ixx=strong axis inertia (per unit of length)

Sxx=strong axis section modulus (per unit of length)

3) Secant piles wall, Tangent piles wall, soldier piles, soldier piles and timber lagging

W=weight per unit of length

A=area

D=diameter

tw=web thickness

tp= pipe thickness

bf=flange width

tf= flange thickness

k= flange thickness+stem base height

Ixx= strong axis inertia modulus (per unit of length)

Sxx= strong axis section modulus (per unit of length)

rx=radius of gyration about X axis

ry=radius of gyration about Y axis

Iyy=weak axis inertia modulus (per unit of length)

Syy=weak axis section modulus (per unit of length)

rT=radius of gyration for torsion

Cw= warping constant

## SURFACE LOADS

Surcharge 0: X1 = -4.8, X2 = -2.8

Variable surcharge

Stage No	Active	X1	Z1	qX1	qZ1	X2	Z2	qX2	qZ2
	Yes/No	(m)	(m)	(kPa)	(kPa)	(m)	(m)	(kPa)	(kPa)
0	Yes	-4.8	0	0	137	-2.8	0	0	137
1	Yes	-4.8	0	0	137	-2.8	0	0	137
2	Yes	-4.8	0	0	30	-2.8	0	0	30
3	Yes	-4.8	0	0	30	-2.8	0	0	30
4	Yes	-4.8	0	0	30	-2.8	0	0	30
5	Yes	-4.8	0	0	30	-2.8	0	0	30
6	Yes	-4.8	0	0	30	-2.8	0	0	30
7	Yes	-4.8	0	0	30	-2.8	0	0	30
8	Yes	-4.8	0	0	30	-2.8	0	0	30

Surcharge 1: X1 = 0, X2 = 0

Variable surcharge

Surcharge applies to wall 0

Stage No	Active	X1	Z1	qX1	qZ1	X2	Z2	qX2	qZ2
	Yes/No	(m)	(m)	(kPa)	(kPa)	(m)	(m)	(kPa)	(kPa)
0	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
1	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
2	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
3	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
4	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
5	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
6	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
7	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
8	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0

Surcharge 2: X1 = 0, X2 = 0

Variable surcharge

Surcharge applies to wall 0

Stage No	Active	X1	Z1	qX1	qZ1	X2	Z2	qX2	qZ2
	Yes/No	(m)	(m)	(kPa)	(kPa)	(m)	(m)	(kPa)	(kPa)
0	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
1	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
2	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
3	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
4	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
5	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
6	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
7	Yes	0	0	40	0	0	-10.8	40	0
8	No	0	0	40	0	0	-10.8	40	0

Surcharge 3: X1 = -15, X2 = -4.8

Variable surcharge

Stage No	Active	X1	Z1	qX1	qZ1	X2	Z2	qX2	qZ2
----------	--------	----	----	-----	-----	----	----	-----	-----

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-02-E-CV-CL-GA1N-0X-001-A00 Relazione di calcolo opera c.a sottopasso

Foglio  
336 di  
366

	Yes/No	(m)	(m)	(kPa)	(kPa)	(m)	(m)	(kPa)	(kPa)
0	Yes	-15	0	0	20	-4.8	0	0	20
1	Yes	-15	0	0	20	-4.8	0	0	20

Surcharge 4: X1 = -2.8, X2 = -0.5

Variable surcharge

Stage No	Active	X1	Z1	qX1	qZ1	X2	Z2	qX2	qZ2
	Yes/No	(m)	(m)	(kPa)	(kPa)	(m)	(m)	(kPa)	(kPa)
0	Yes	-2.8	0	0	10	-0.5	0	0	10
1	Yes	-2.8	0	0	10	-0.5	0	0	10

#### LEGEND

Stage No=Excavation step number

Active=load status (Yes=active)

-----

X1=first X coordinate position of the load (left for surface loads)

Z1=first Z coordinate position of the load

qX1=first horizontal point load value

qZ1=first vertical point load value

-----

X2=second X coordinate position of the load (right for surface loads)

Z2=second Z coordinate position of the load

qX2=second horizontal point load value

qZ2=second vertical point load value

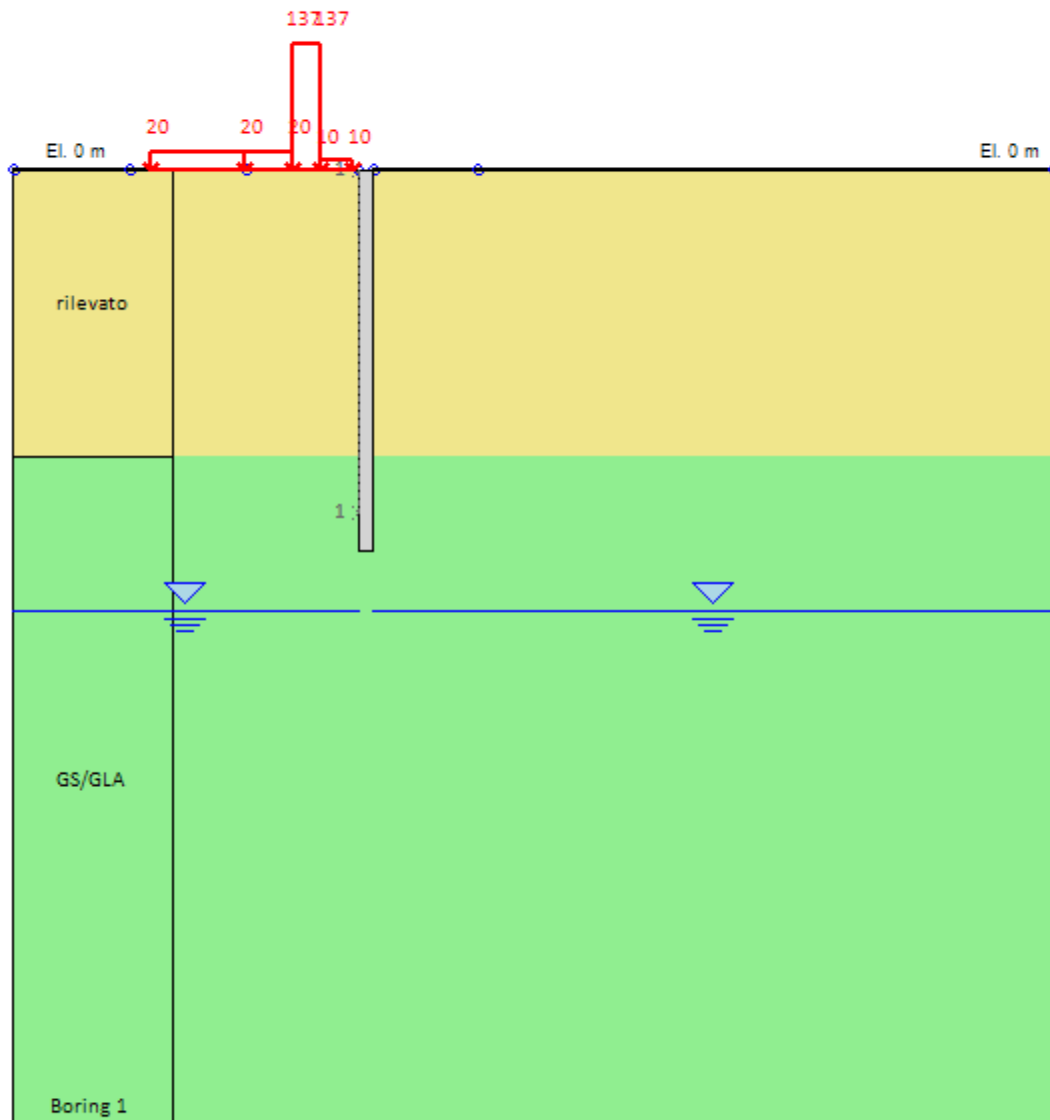
## EXCAVATION STAGES SKETCHES

---

A sequence of figures for each excavation stage is reported



Base model



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0, Stage 0

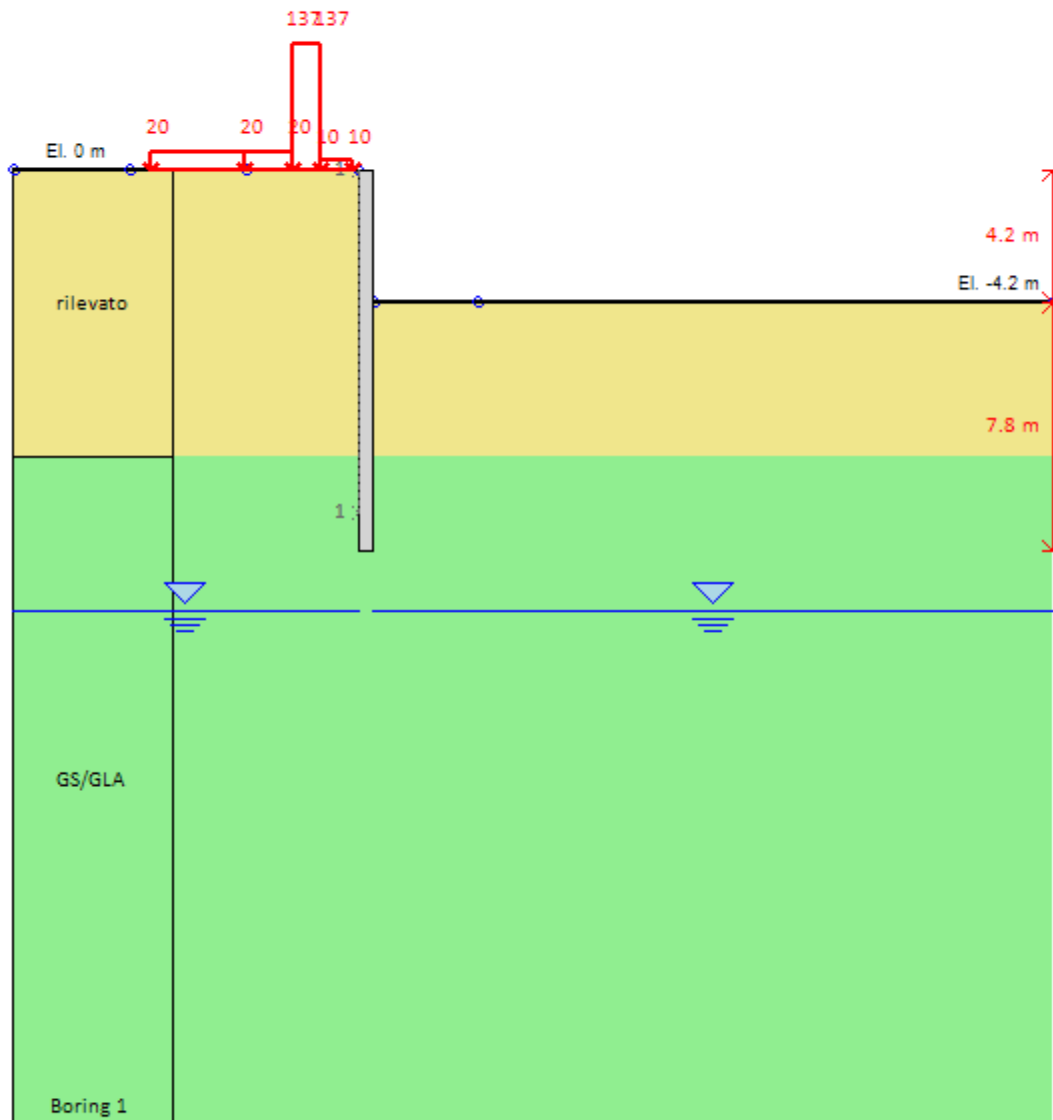
CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW.\voro\04\_sottopasso\02\_paratia\_temp\temporaneo1\_1.01\_SLE.DEEP

7/6/2013

Base model



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0, Stage 1-Scavo -4.20m

CeAS srl and Deep Excavation LCC

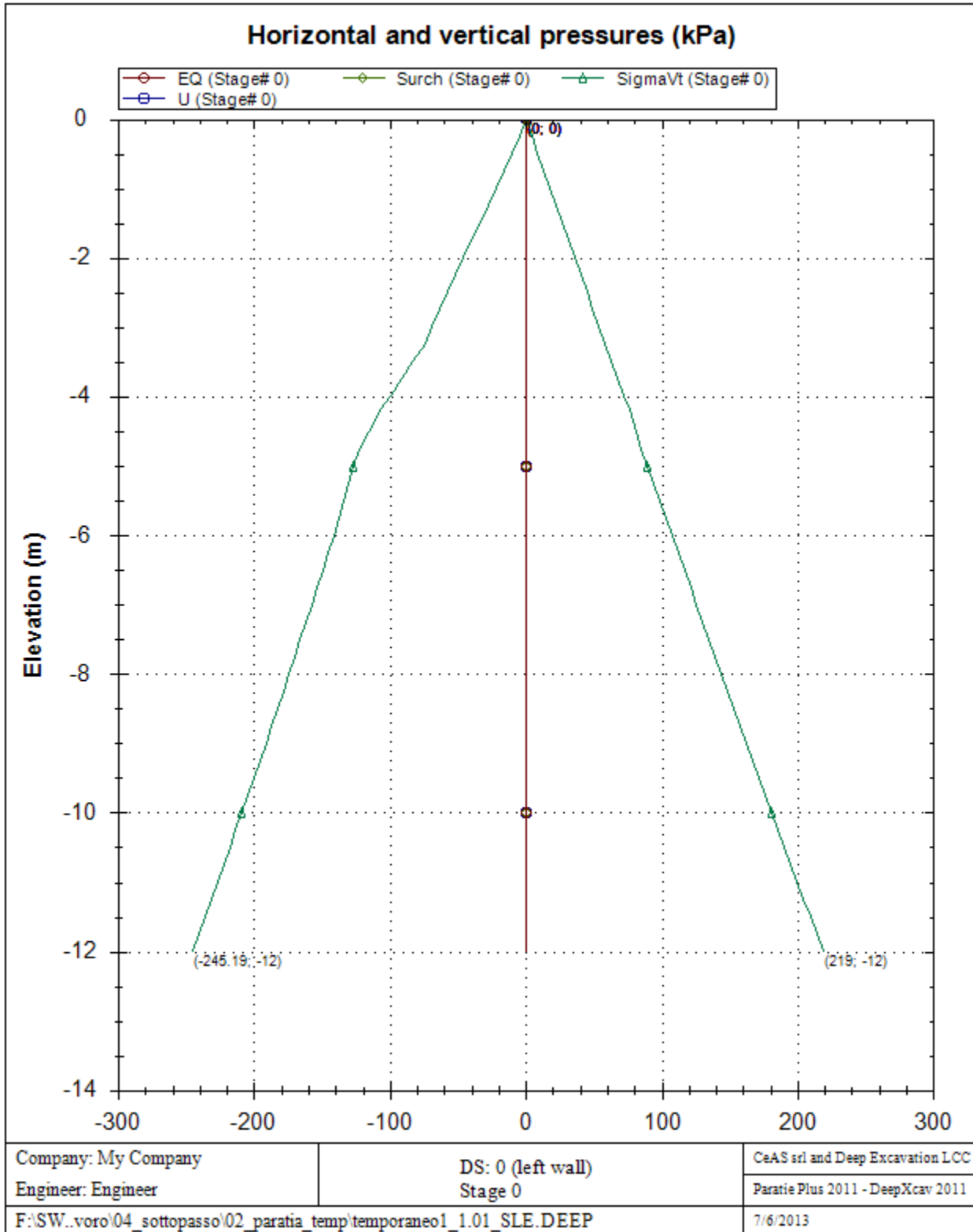
Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

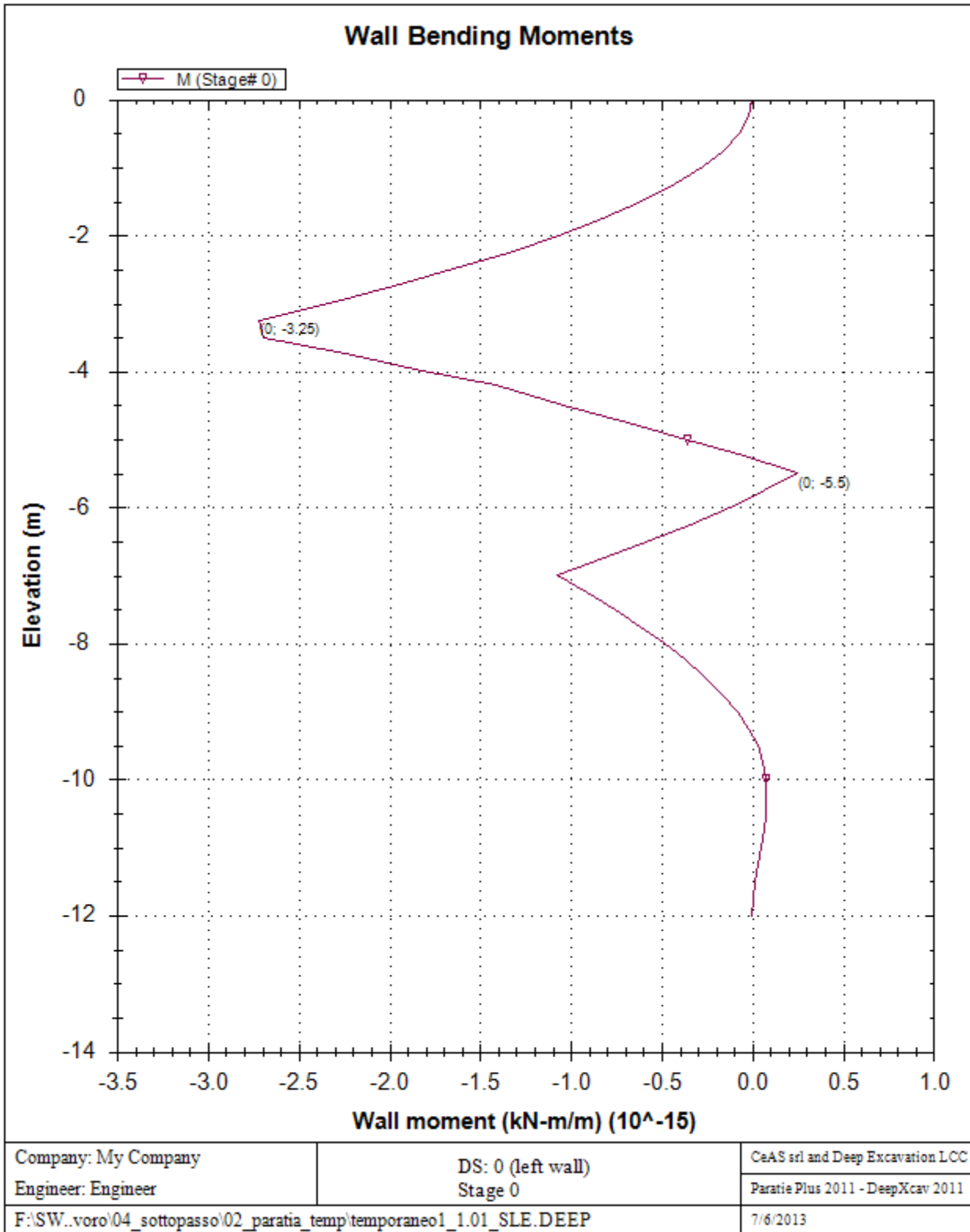
F:\SW..voro\04\_sottopasso\02\_paratia\_temp\temporaneo1\_1.01\_SLE.DEEP

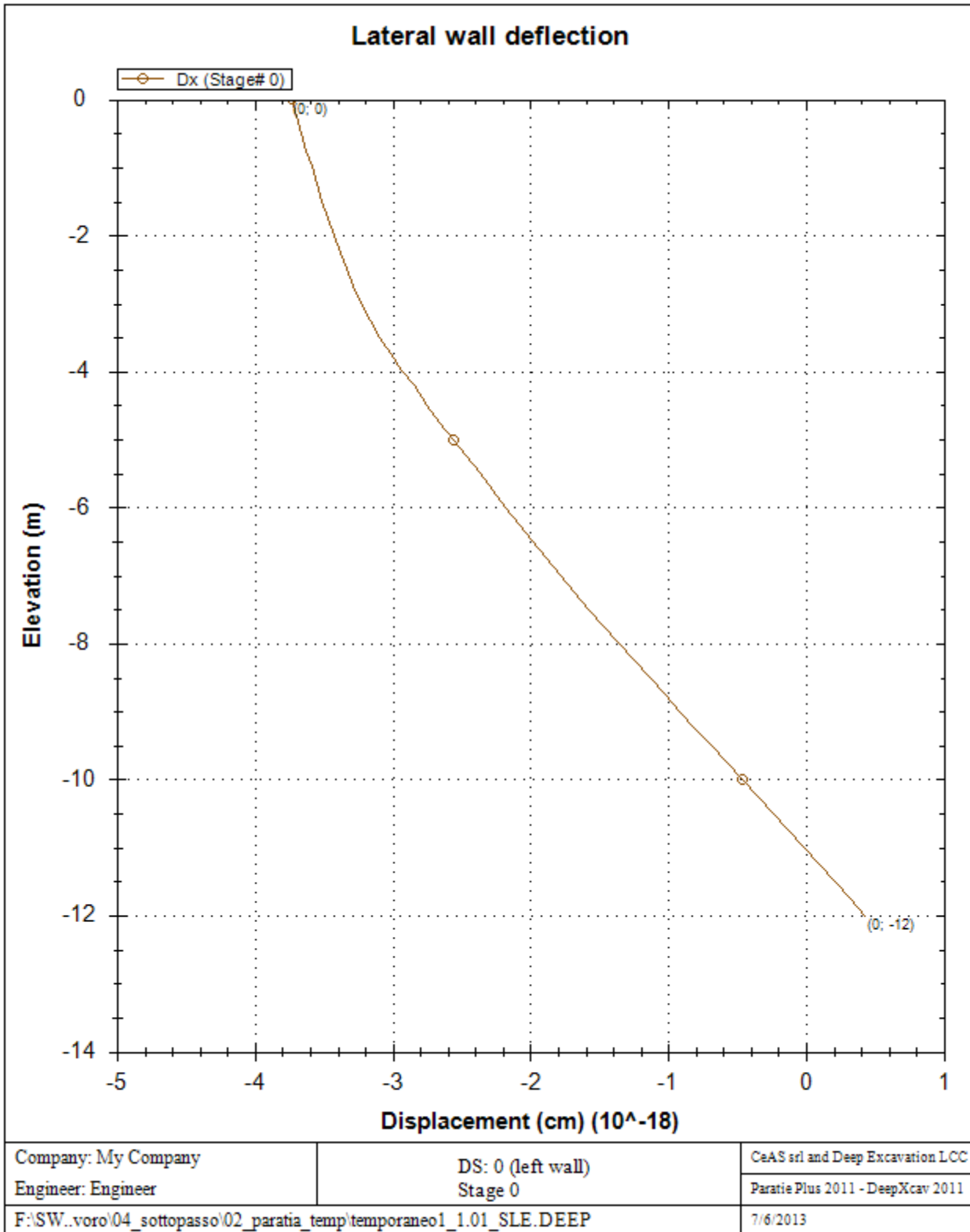
7/6/2013

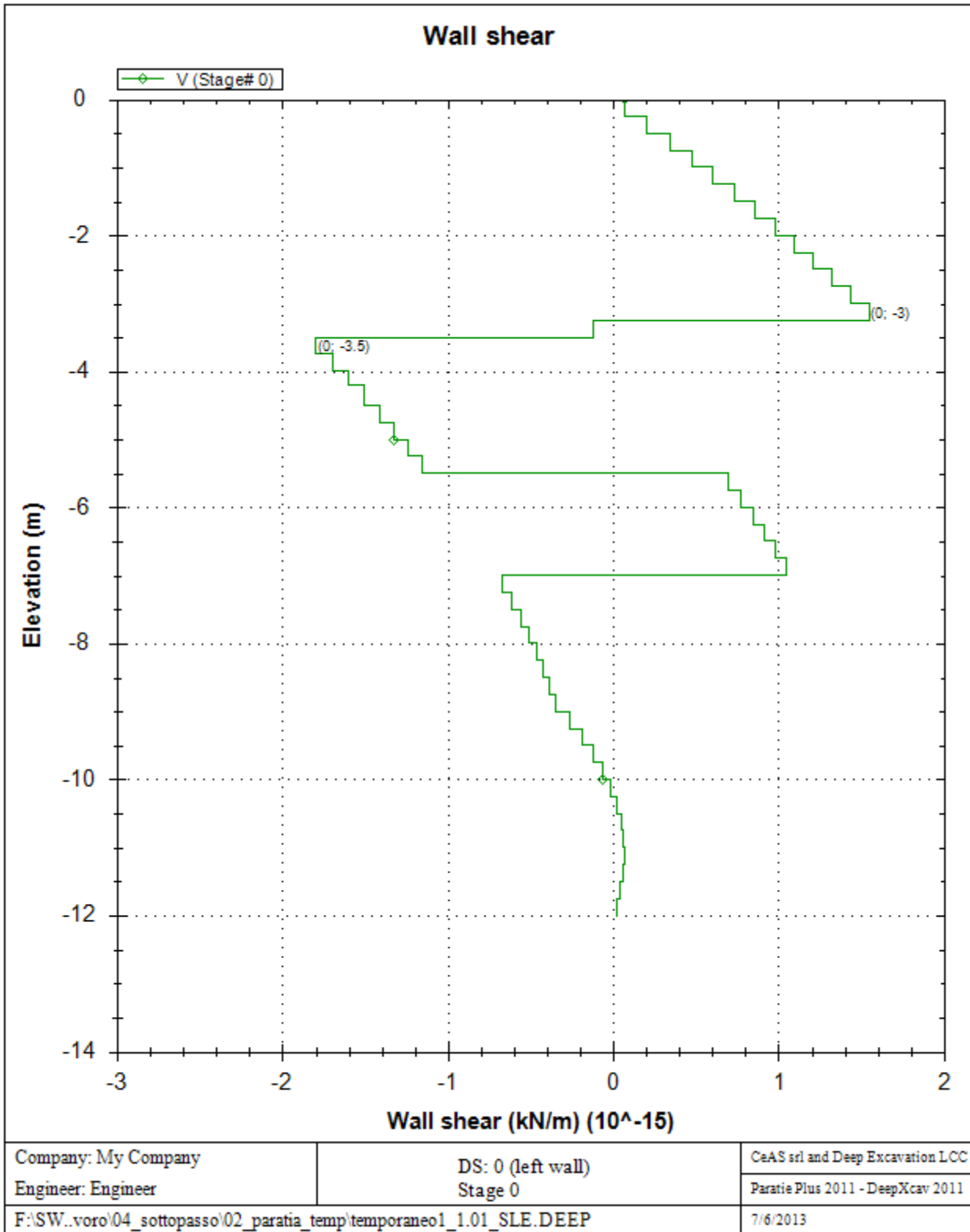
**Result diagrams (for walls)**

A sequence of result diagrams for each excavation stage is reported

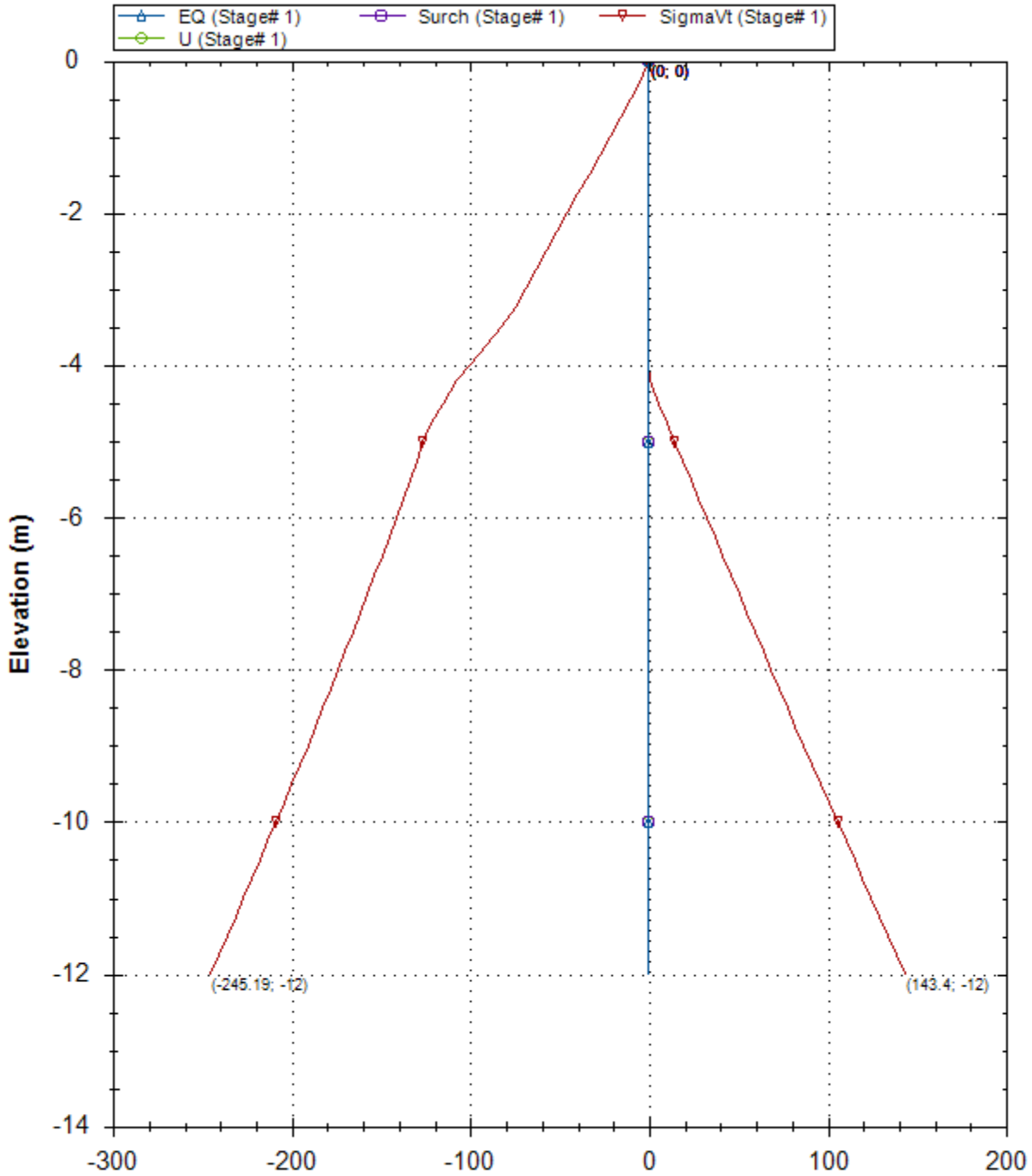








### Horizontal and vertical pressures (kPa)



Company: My Company

Engineer: Engineer

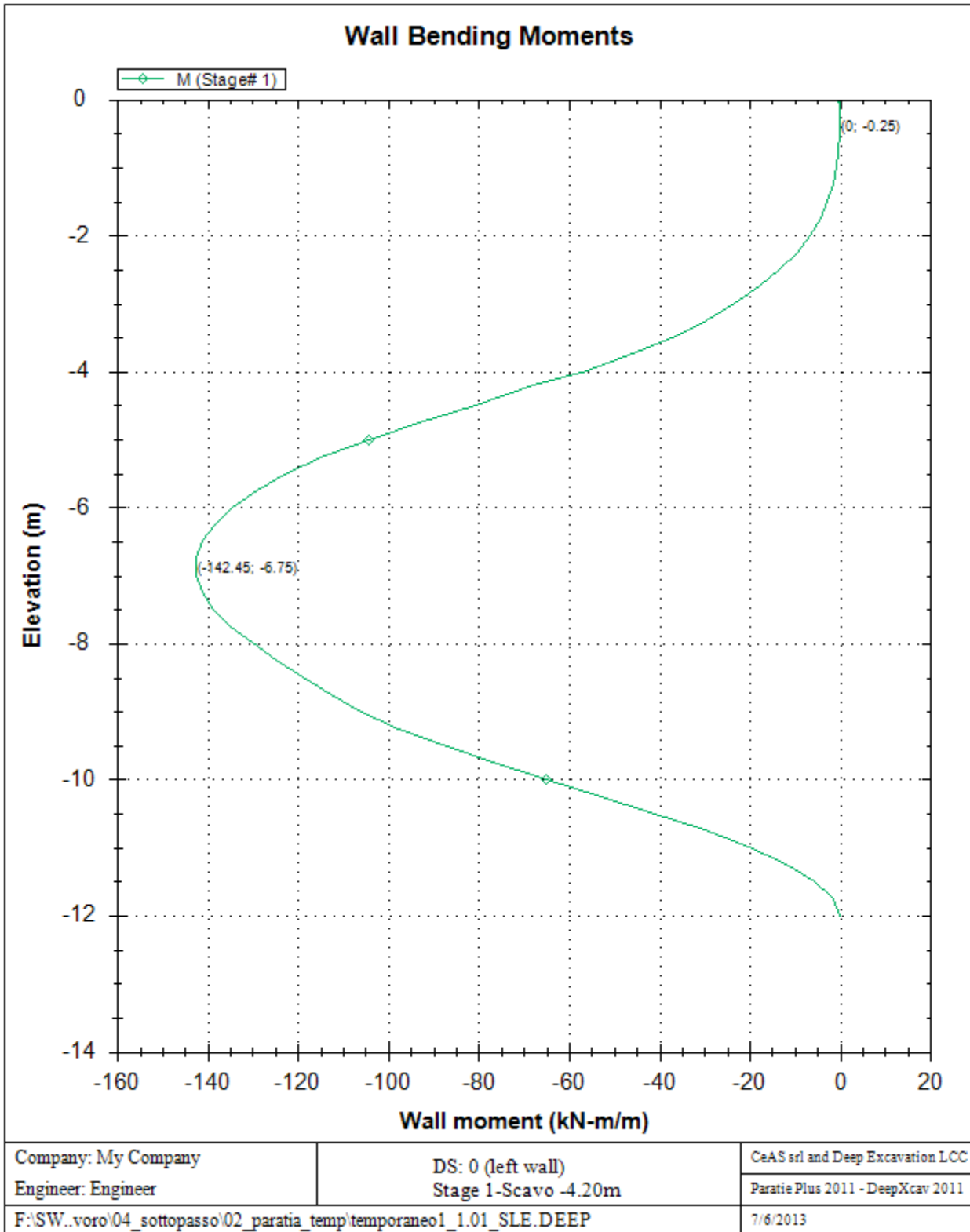
DS: 0 (left wall)  
Stage 1-Scavo -4.20m

CeAS srl and Deep Excavation LCC

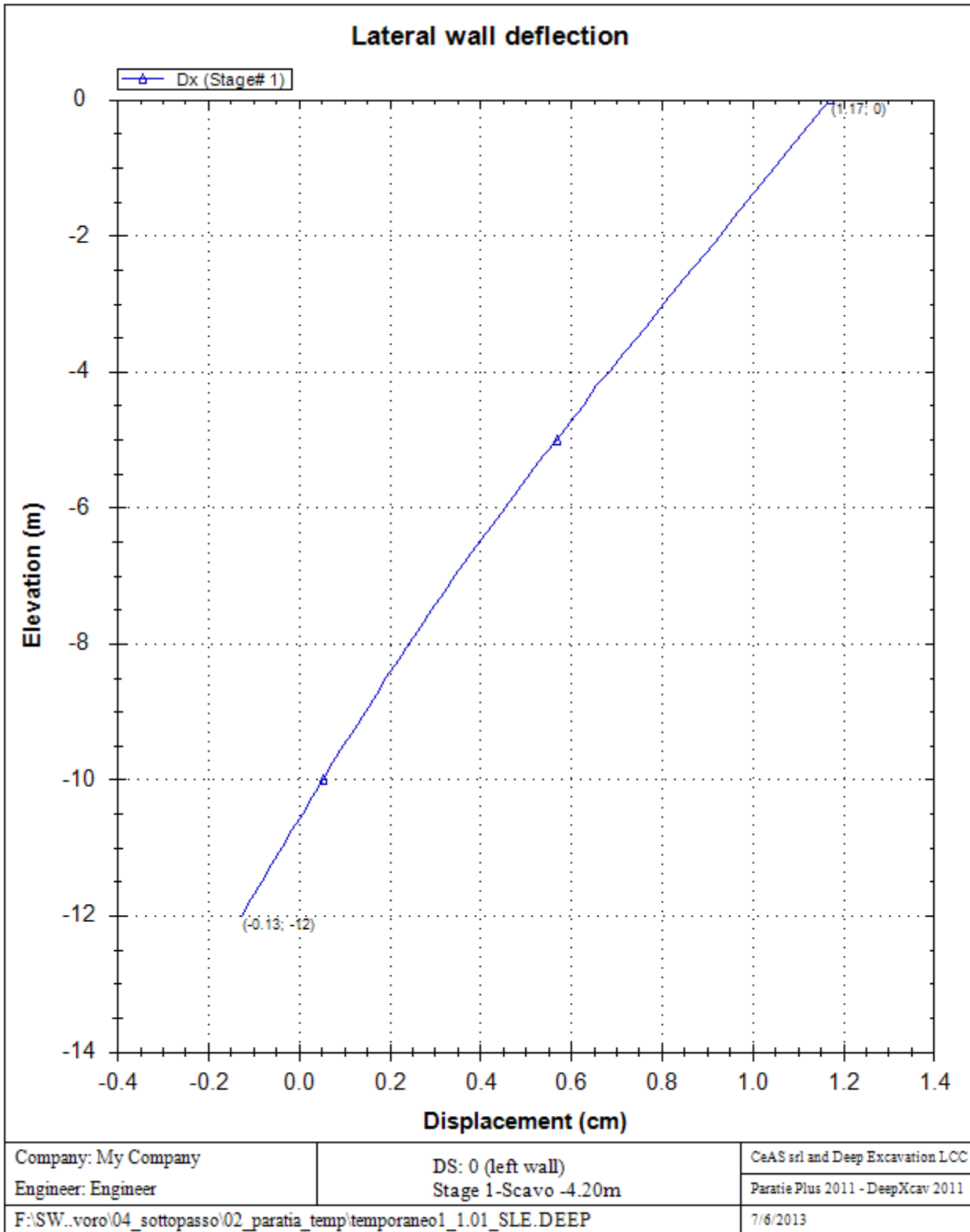
Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

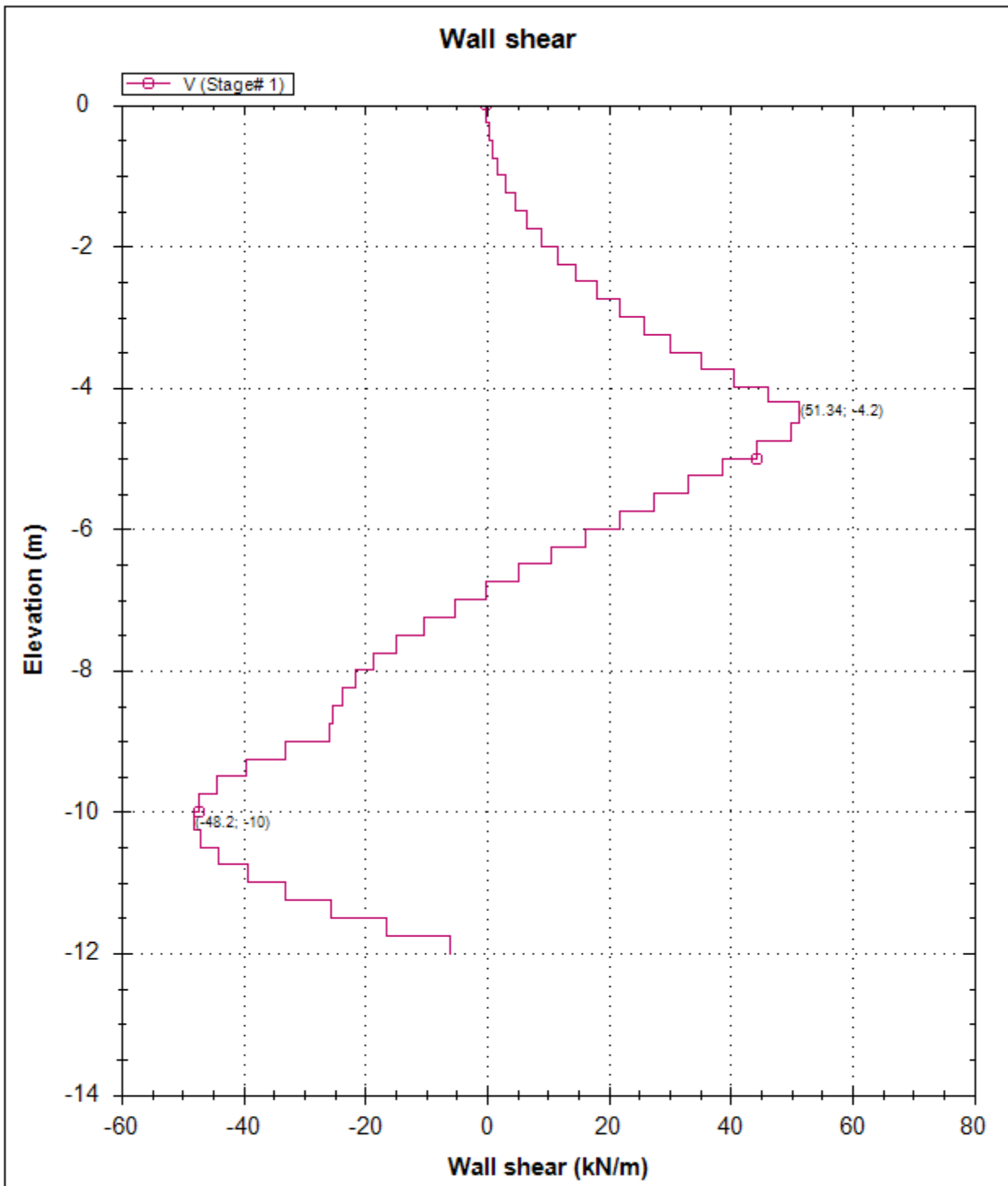
F:\SW\_voro\04\_sottopasso\02\_paratia\_temp\temporaneo1\_1.01\_SLE.DEEP

7/6/2013









Company: My Company	DS: 0 (left wall)	CeAS srl and Deep Excavation LCC
Engineer: Engineer	Stage 1-Scavo -4.20m	Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011
F:\SW_voro\04_sottopasso\02_paratia_temp\temporaneo1_1.01_SLE.DEEP		7/6/2013

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-CL-GA1N-0X-001-A00 Relazione di calcolo opera c.a sottopasso
	Foglio 347 di 366

## 15. ALLEGATO 4

### ANALISI PARATIE

### SEZIONE 2 – MODELLO AGGIUNTIVO

## *DeepXcav 2012: Report Output*

Copyright©2009 - 2012 Deep Excavation LLC: www.deepexcavation.com A program for the evaluation of deep excavations Deep Excavation LLC, Astoria, New York, www.deepexcavation.com Ce.A.S , Centro di Analisi Strutturale, viale Giustiniano 10, 20129 Milano . www.ceas.it.

Project: My Project

Company: My Company  
 Prepared by engineer: Engineer  
 File number: 1  
 Time: 7/6/2013 11:25:33 AM

THIS PROGRAM IS PROTECTED BY U.S. COPYRIGHT LAWS AS DESCRIBED IN THE EULA. UNAUTHORIZED COPYING IS PROHIBITED. LICENSED TO: Deep Excavation LLC BY DEEP EXCAVATION LLC UNDER SPECIFIC LICENCE. This report has printed because the user has accepted responsibility as described in the disclaimer and EULA  
 File: F:\SWS\035\_Cociv\01\_lavoro\04\_sottopasso\02\_paratia\_temp\temporaneo1\_2.01\_SLE.DEEP

### **STRUCTURAL MATERIALS DATA**

---

#### Steel

Name	Strength Fy	Fu	Elastic E	Density g
	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(kN/m3)
Fe360	235.2	360	206000.2	77.0046
Fe510	355.2	509.7	206000.2	77.0046
A36	248.3	400	200100	77.0046
A50	344.8	500	200100	77.0046
New steel 4	241.4	413.8	206000.2	77.0046

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-CL-GA1N-0X-001-A00 Relazione di calcolo opera c.a sottopasso

Foglio  
348 di  
366

### Concrete

Name	Strength Fc'	Elastic E	Density g	Tension Strength Ft
	(MPa)	(MPa)	(kN/m3)	(MPa)
C20/25	20	29961.9	25.0029	10
C25/30	24.8	31200	25.0029	10
C28/35	28	32308	25	10

### Steel rebar

Name	Strength Fy	Elastic E
	(MPa)	(MPa)
Grade 60	413.8	200100
Grade 75	517.2	200100
Grade 80	551.7	200100
Grade 150	1034.5	200100
Strands 270 ksi	1862.1	200100
S410	409.7	210000.1
S500	500	210000.1
B450C	449.7	210000.1

### Wood

Name	Ultimate Bending Srtength Fbu	Ultimate Tensile Strength FtU	Ultimate Shear Strength Fvu	Density g	Elastic E
	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(kN/m3)	(MPa)
Construction Timber	11	9.7	5.5	7.8576	6900
Regular grade	6.9	6.9	4.1	7.8576	5520

### STEEL

Name=material name

fy=fyk= characteristic resistance for steel (for all the codes)

Fu=fuk= ultimate resistance for steel (for all the codes)

Elastic E= Elastic modulus

Density g= specific weight

### CONCRETE

Name=material name

f'c=fck= cylindrical resistance for concrete (for all the codes)

Elastic E= Elastic modulus

Density g= specific weight

Tension strength=ft=fctk= characteristic tension resistance for concrete

### STEEL REBARS

Name=material name

fy=fyk= characteristic resistance for steel (for all the codes)

Fu=fuk= ultimate resistance for steel (for all the codes)

Elastic E= Elastic modulus

Density g= specific weight

### WOOD

Name=material name

Fb=fbk= Ultimate bending strength

Ftu=ftuk= Ultimate tensile strength

Fvu=fvuk= Ultimate shear strength

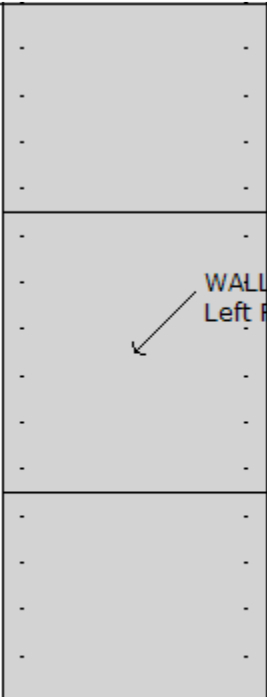
Density g= specific weight

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-CL-GA1N-0X-001-A00 Relazione di calcolo opera c.a sottopasso
	Foglio 349 di 366

Elastic E= Elastic modulus

## WALL DATA

Wall section 0: Wall 1

		
Company: My Company Engineer: Engineer	Wall sketch	CeAS srl and Deep Excavation LCC Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011
F:\SW_voro\04_sottopasso\02_paratia_temp\temporaneo1_2.01_SLE.DEEP		7/6/2013

Wall type: Diaphragm wall (US: slurry wall)

Hor. wall spacing: 1 Wall thickness = 0.946

Passive width below exc: 1 Active width below exc: 1 Swater= 1

Concrete  $f_c' = 24.8$  Rebar  $F_y = 409.7$   $E_{conc} = 31200$  Concrete tension  $F_{cT} = 10\%$  of  $F_c'$

Diaphragm wall (US: slurry wall)

Table: Concrete Slab Data

Shape	$F_y$	$F_c'$	D	B	Bw	tf	Ctop	Cbot	AsTop	AsBot	A	Pmax	Mmax
	(MPa)	(MPa)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(kN)	(kN-m)
Rect	409.7	24.8	94.6	100	N/A	N/A	7.6	7.6	12.1	12.1	9460	0	0

### GENERAL WALL DATA

Hor wall spacing= Wall horizontal spacing

Passive width below exc= spacing for passive thrust pressure for classic analysis

$f_c' = f_{ck}$ = cylindrical concrete resistance

$f_y = f_{yk}$ = steel rebar characteristic resistance

$E_{conc}$ = Concrete Elastic modulus

$f_{ctk}$ = characteristic Concrete tension

$E_{steel}$ = steel elastic modulus

TABULAR DATA (principal parameters)

1) Diaphragm wall (rectangular cross section)

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG51-02-E-CV-CL-GA1N-0X-001-A00 Relazione di calcolo opera c.a sottopasso</p>	<p>Foglio 350 di 366</p>

N/A= data not available

$F_y=f_{yk}$

$F'_c=f_{ck}$

D=wall height

B=wall width

2)Steel sheet pile

DES=shape (Z or U)

W=width per unit of length

A=area

h=height

t=horizontal part thickness

b=width of the single sheet pile part

s=inclined part thickness

$I_{xx}$ =strong axis inertia (per unit of length)

$S_{xx}$ =strong axis section modulus (per unit of length)

3)Secant piles wall, Tangent piles wall, soldier piles, soldier piles and timber lagging

W=weight per unit of length

A=area

D=diameter

$t_w$ =web thickness

$t_p$ = pipe thickness

$b_f$ =flange width

$t_f$ = flange thickness

k= flange thickness+stem base height

$I_{xx}$ = strong axis inertia modulus (per unit of length)

$S_{xx}$ = strong axis section modulus (per unit of length)

$r_x$ =radius of gyration about X axis

$r_y$ =radius of gyration about Y axis

$I_{yy}$ =weak axis inertia modulus (per unit of length)

$S_{yy}$ =weak axis section modulus (per unit of length)

$r_T$ =radius of gyration for torsion

$C_w$ = warping constant

***Project: My Project***

***Results for Design Section 0: Base model***

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-CL-GA1N-0X-001-A00 Relazione di calcolo opera c.a sottopasso

Foglio  
351 di  
366

## SOIL DATA

Name	g tot (kN/m3)	g dry (kN/m3)	Frict (deg)	C' (kPa)	Su (kPa)	FRp (deg)	FRcv (deg)	Eload (kPa)	Eur (kPa)	kAp NL	kPp NL	kAcv NL	kPcv NL	Vary	Spring Model	Color
rilevato	18	18	35	0	N/A	N/A	N/A	15000	24000	0.24	5.94	N/A	N/A	True	Linear	
LS	18	18	28	0	N/A	N/A	N/A	20000	32000	0.32	3.81	N/A	N/A	True	Linear	
GS/GLA	19	19	40	0	N/A	N/A	N/A	40000	64000	0.19	8.38	N/A	N/A	True	Linear	

Name	Poisson v	Min Ka (clays)	Min sh (clays)	ko.NC -	nOCR -	aH.EXP (0 to 1)	aV.EXP (0 to 1)	qSkin (kPa)	qNails (kPa)	kS.nails (kN/m3)	PL (MPa)
rilevato	0.35	-	-	0.426	0.5	-	-	49.7	33.1	3143.04	-
LS	0.35	-	-	0.531	0.5	-	-	89.7	60	3143.04	-
GS/GLA	0.3	-	-	0.357	0.5	-	-	35.2	23.4	3143.04	-

gtot = total soil specific weight

gdry = dry weight of the soil

Frict = friction angle

C' = effective cohesion

Su = Undrained shear strength (only for CLAY soils in undrained conditions, used as a cutoff strength in NL analysis)

Evc = Virgin compression elastic modulus

Eur = unloading/reloading elastic modulus

Kap = Peak active thrust coefficient (initial value, may be modified on each stage according to analysis settings).

Kpp = Peak passive thrust coefficient (initial value, may be modified on each stage according to analysis settings).

Kacv = Constant volume active thrust coeff (only for clays, initial value)

Kpcv = Constant volume passive thrust coeff (only for clays, initial value).

Spring models= spring model (LIN= constant E over the soil layer height , EXP=exponential , SIMC=simplified winkler)

LIN= Linear-Elastic-Perfectly Plastic,

EXP: Exponential, SUB: Modulus of Subgrade Reaction

SIMC= Simplified Clay mode

## SOIL BORINGS

Top Elev= superior Soil level

Soil type= type of the soil (sand , clay , etc)

OCR= overconsolidation ratio

K0= at rest coefficient

Name: Boring 1, pos: (-20, 0)

Top elev.	Soil type	OCR	Ko
0	rilevato	1	0.43
-9	LS	1	0.53
-11		1	0.36

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-CL-GA1N-0X-001-A00 Relazione di calcolo opera c.a sottopasso
	Foglio 352 di 366

## STRUCTURAL MATERIALS DATA

### Steel

Name	Strength Fy	Fu	Elastic E	Density g
	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(kN/m3)
Fe360	235.2	360	206000.2	77.0046
Fe510	355.2	509.7	206000.2	77.0046
A36	248.3	400	200100	77.0046
A50	344.8	500	200100	77.0046
New steel 4	241.4	413.8	206000.2	77.0046

### Concrete

Name	Strength Fc'	Elastic E	Density g	Tension Strength Ft
	(MPa)	(MPa)	(kN/m3)	(MPa)
C20/25	20	29961.9	25.0029	10
C25/30	24.8	31200	25.0029	10
C28/35	28	32308	25	10

### Steel rebar

Name	Strength Fy	Elastic E
	(MPa)	(MPa)
Grade 60	413.8	200100
Grade 75	517.2	200100
Grade 80	551.7	200100
Grade 150	1034.5	200100
Strands 270 ksi	1862.1	200100
S410	409.7	210000.1
S500	500	210000.1
B450C	449.7	210000.1

### Wood

Name	Ultimate Bending Srtength Fbu	Ultimate Tensile Strength FtU	Ultimate Shear Strength Fvu	Density g	Elastic E
	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(kN/m3)	(MPa)
Construction Timber	11	9.7	5.5	7.8576	6900
Regular grade	6.9	6.9	4.1	7.8576	5520

### STEEL

Name=material name

fy=fyk= characteristic resistance for steel (for all the codes)

Fu=fuk= ultimate resistance for steel (for all the codes)

Elastic E= Elastic modulus

Density g= specific weight

### CONCRETE

Name=material name

f'c=fck= cylindrical resistance for concrete (for all the codes)

Elastic E= Elastic modulus



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-CL-GA1N-0X-001-A00 Relazione di calcolo opera c.a sottopasso
	Foglio 353 di 366

Density  $g$ = specific weight  
 Tension strength= $f_t=f_{ctk}$ = characteristic tension resistance for concrete

**STEEL REBARS**

Name=material name  
 $f_y=f_{yk}$ = characteristic resistance for steel (for all the codes)  
 $F_u=f_{uk}$ = ultimate resistance for steel (for all the codes)

Elastic  $E$ = Elastic modulus

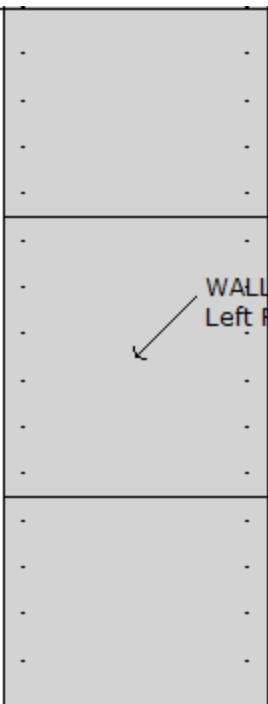
Density  $g$ = specific weight

**WOOD**

Name=material name  
 $F_b=f_{bk}$ = Ultimate bending strength  
 $F_{tu}=f_{tuk}$ = Ultimate tensile strength  
 $F_{vu}=f_{vuk}$ = Ultimate shear strength  
 Density  $g$ = specific weight  
 Elastic  $E$ = Elastic modulus

**WALL DATA**

Wall section 0: Wall 1

		
Company: My Company Engineer: Engineer	Wall sketch	CeAS srl and Deep Excavation LCC Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011
F:\SW_voro\04_sottopasso\02_paratia_temp\temporaneo1_2.01_SLE.DEEP		7/6/2013

Wall uses wall section 0: Wall 1  
 Wall type: Diaphragm wall (US: slurry wall)  
 Top wall El: 0 m Bottom wall El: -12 m  
 Hor. wall spacing: 1 Wall thickness = 0.946  
 Passive width below exc: 1 Active width below exc: 1  $S_{water} = 1$   
 Concrete  $f_c' = 24.8$  Rebar  $F_y = 409.7$   $E_{conc} = 31200$  Concrete tension  $F_{cT} = 10\%$  of  $F_c'$   
 Wall friction: Ignored  
 Steel wall capacities are calculated with EC3 2005

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-02-E-CV-CL-GA1N-0X-001-A00 Relazione di calcolo opera c.a sottopasso
	Foglio 354 di 366

Concrete capacities are calculated with EC2-2004

Note: With ultimate capacities you may have to use a structural safety factor.

Diaphragm wall (US: slurry wall)

Table: Concrete Slab Data

Name	Shape	Fy	Fc'	D	B	Bw	tf	Ctop	Cbot	AsTop	AsBot	A	Pmax	Mmax
		(MPa)	(MPa)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(kN)	(kN-m)
Wall 1	Rect	409.7	24.8	94.6	100	N/A	N/A	7.6	7.6	12.1	12.1	9460	0	0

#### GENERAL WALL DATA

Hor wall spacing= Wall horizontal spacing

Passive width below exc= spacing for passive thrust pressure for classic analysis

f'c=fck= cylindrical concrete resistance

fy=fyk= steel rebar characteristic resistance

Econc= Concrete Elastic modulus

fctk= characteristic Concrete tension

Esteel= steel elastic modulus

TABULAR DATA (principal parameters)

1) Diaphragm wall (rectangular cross section)

N/A= data not available

Fy=fyk

F'c=fck

D=wall height

B=wall width

2) Steel sheet pile

DES=shape (Z or U)

W=width per unit of length

A=area

h=height

t=horizontal part thickness

b=width of the single sheet pile part

s=inclined part thickness

Ixx=strong axis inertia (per unit of length)

Sxx=strong axis section modulus (per unit of length)

3) Secant piles wall, Tangent piles wall, soldier piles, soldier piles and timber lagging

W=weight per unit of length

A=area

D=diameter

tw=web thickness

tp= pipe thickness

bf=flange width

tf= flange thickness

k= flange thickness+stem base height

Ixx= strong axis inertia modulus (per unit of length)

Sxx= strong axis section modulus (per unit of length)

rx=radius of gyration about X axis

ry=radius of gyration about Y axis

Iyy=weak axis inertia modulus (per unit of length)

Syy=weak axis section modulus (per unit of length)

rT=radius of gyration for torsion

Cw= warping constant

## SURFACE LOADS

Surcharge 0:  $X1 = -4.8$ ,  $X2 = -2.8$

Variable surcharge

Stage No	Active	X1	Z1	qX1	qZ1	X2	Z2	qX2	qZ2
	Yes/No	(m)	(m)	(kPa)	(kPa)	(m)	(m)	(kPa)	(kPa)
0	Yes	-4.8	0	0	137	-2.8	0	0	137
1	Yes	-4.8	0	0	137	-2.8	0	0	137
2	Yes	-4.8	0	0	30	-2.8	0	0	30
3	Yes	-4.8	0	0	30	-2.8	0	0	30
4	Yes	-4.8	0	0	30	-2.8	0	0	30
5	Yes	-4.8	0	0	30	-2.8	0	0	30
6	Yes	-4.8	0	0	30	-2.8	0	0	30
7	Yes	-4.8	0	0	30	-2.8	0	0	30
8	Yes	-4.8	0	0	30	-2.8	0	0	30

Surcharge 1:  $X1 = 0$ ,  $X2 = 0$

Variable surcharge

Surcharge applies to wall 0

Stage No	Active	X1	Z1	qX1	qZ1	X2	Z2	qX2	qZ2
	Yes/No	(m)	(m)	(kPa)	(kPa)	(m)	(m)	(kPa)	(kPa)
0	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
1	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
2	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
3	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
4	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
5	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
6	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
7	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
8	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0

Surcharge 2:  $X1 = 0$ ,  $X2 = 0$

Variable surcharge

Surcharge applies to wall 0

Stage No	Active	X1	Z1	qX1	qZ1	X2	Z2	qX2	qZ2
	Yes/No	(m)	(m)	(kPa)	(kPa)	(m)	(m)	(kPa)	(kPa)
0	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
1	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
2	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
3	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
4	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
5	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
6	No	0	0	1	0	0	-10.8	1	0
7	Yes	0	0	40	0	0	-10.8	40	0
8	No	0	0	40	0	0	-10.8	40	0

Surcharge 3: X1 = -15, X2 = -4.8

Variable surcharge

Stage No	Active	X1	Z1	qX1	qZ1	X2	Z2	qX2	qZ2
	Yes/No	(m)	(m)	(kPa)	(kPa)	(m)	(m)	(kPa)	(kPa)
0	Yes	-15	0	0	20	-4.8	0	0	20
1	Yes	-15	0	0	20	-4.8	0	0	20

Surcharge 4: X1 = -2.8, X2 = -0.5

Variable surcharge

Stage No	Active	X1	Z1	qX1	qZ1	X2	Z2	qX2	qZ2
	Yes/No	(m)	(m)	(kPa)	(kPa)	(m)	(m)	(kPa)	(kPa)
0	Yes	-2.8	0	0	10	-0.5	0	0	10
1	Yes	-2.8	0	0	10	-0.5	0	0	10

#### LEGEND

Stage No=Excavation step number

Active=load status (Yes=active)

-----

X1=first X coordinate position of the load (left for surface loads)

Z1=first Z coordinate position of the load

qX1=first horizontal point load value

qZ1=first vertical point load value

-----

X2=second X coordinate position of the load (right for surface loads)

Z2=second Z coordinate position of the load

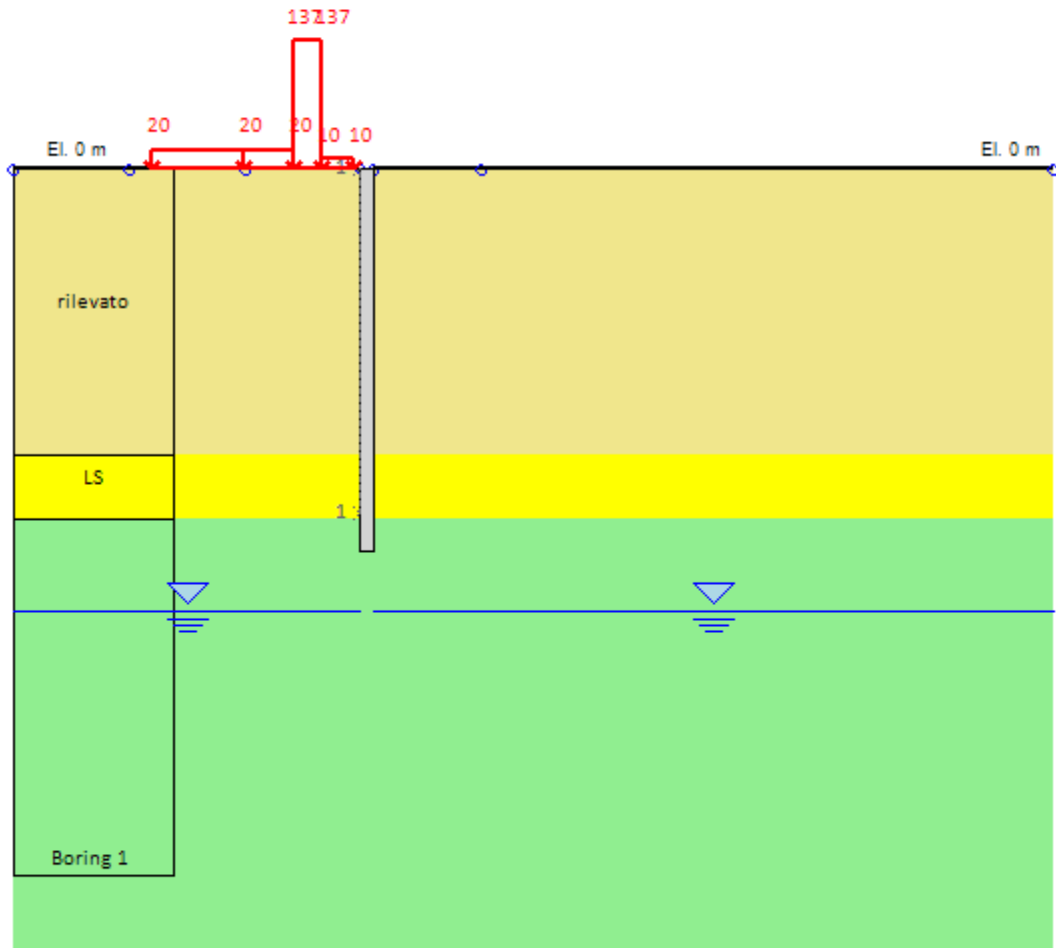
qX2=second horizontal point load value

qZ2=second vertical point load value

## EXCAVATION STAGES SKETCHES

A sequence of figures for each excavation stage is reported

Base model



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0, Stage 0

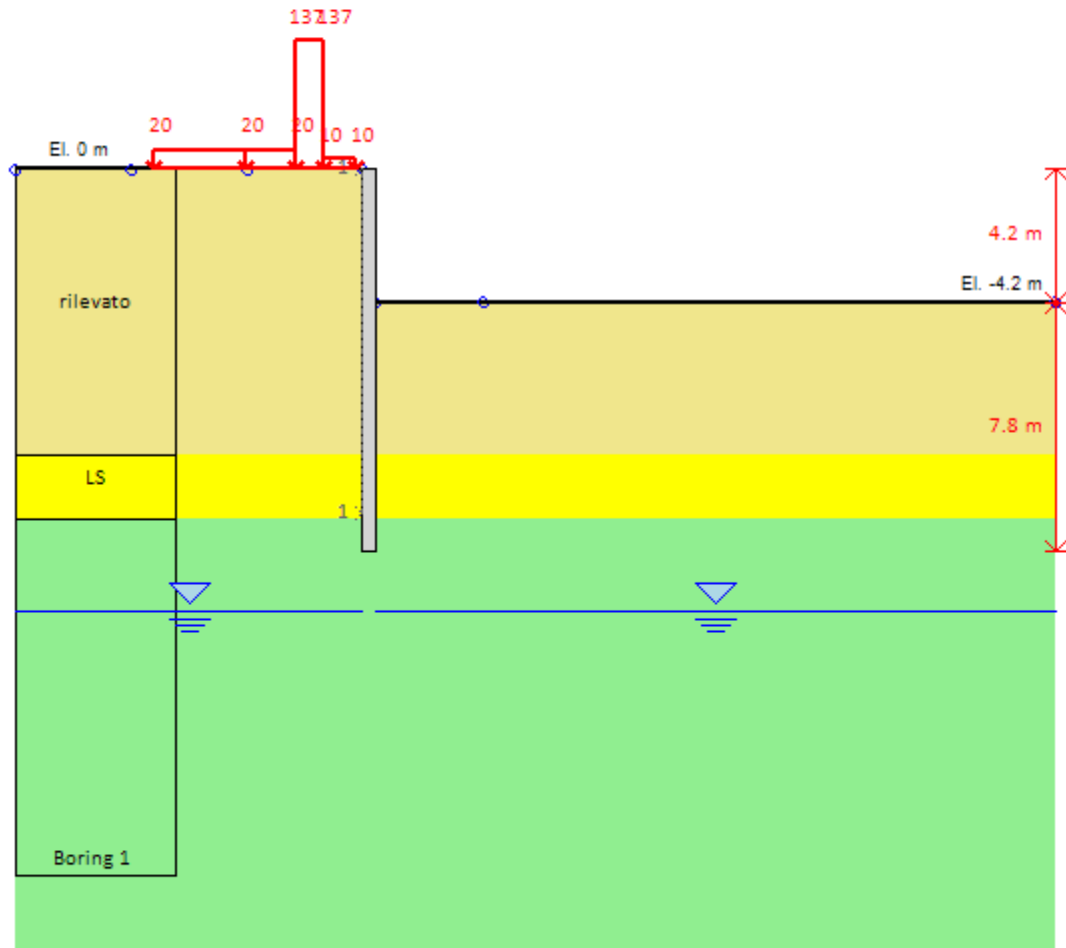
CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW..voro\04\_sottopasso\02\_paratia\_temp\temporaneo1\_2.01\_SLE.DEEP

7/6/2013

Base model



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0, Stage 1-Scavo -4.20m

CeAS srl and Deep Excavation LCC

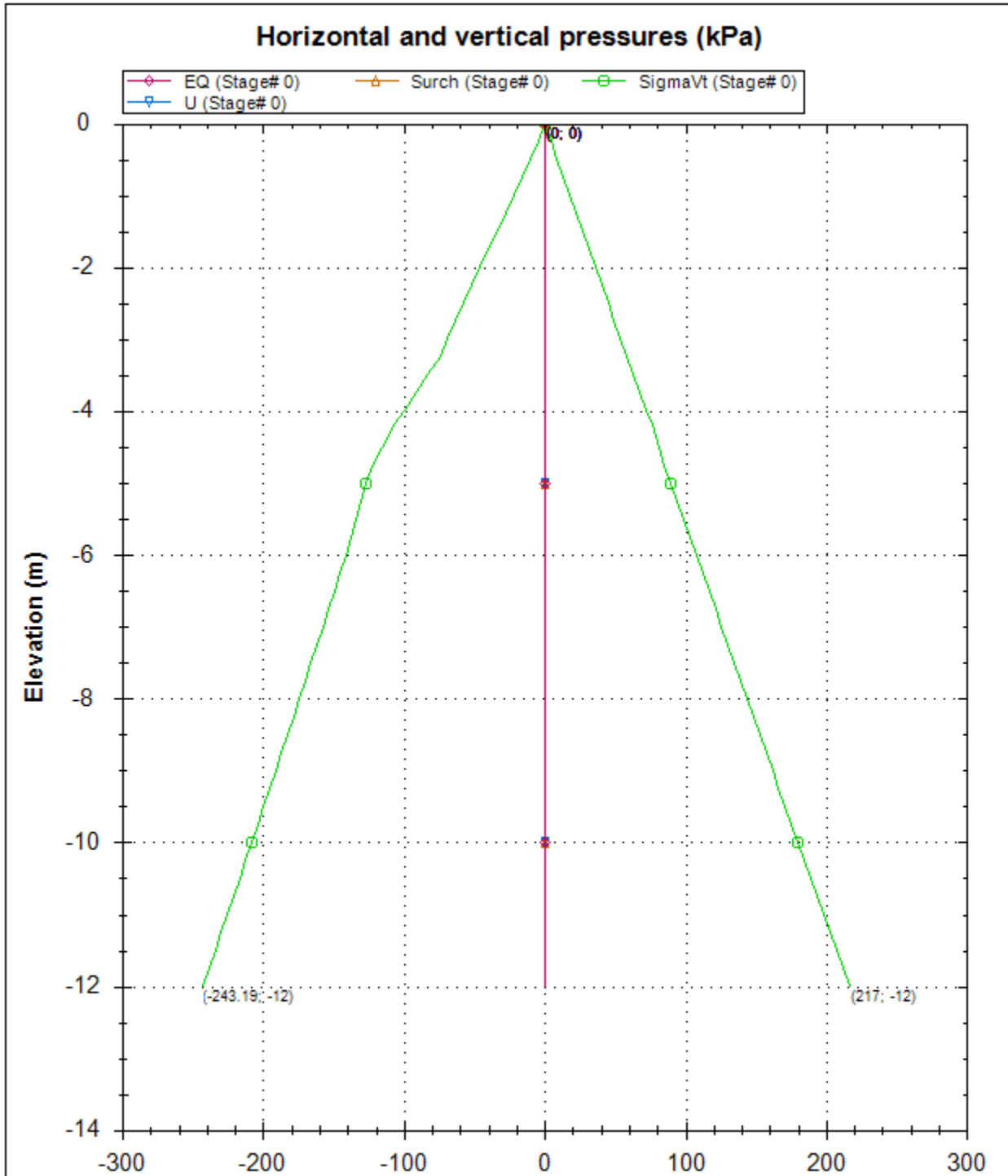
Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW..voro\04\_sottopasso\02\_paratia\_temp\temporaneo1\_2.01\_SLE.DEEP

7/6/2013

**Result diagrams (for walls)**

A sequence of result diagrams for each excavation stage is reported



Company: My Company

Engineer: Engineer

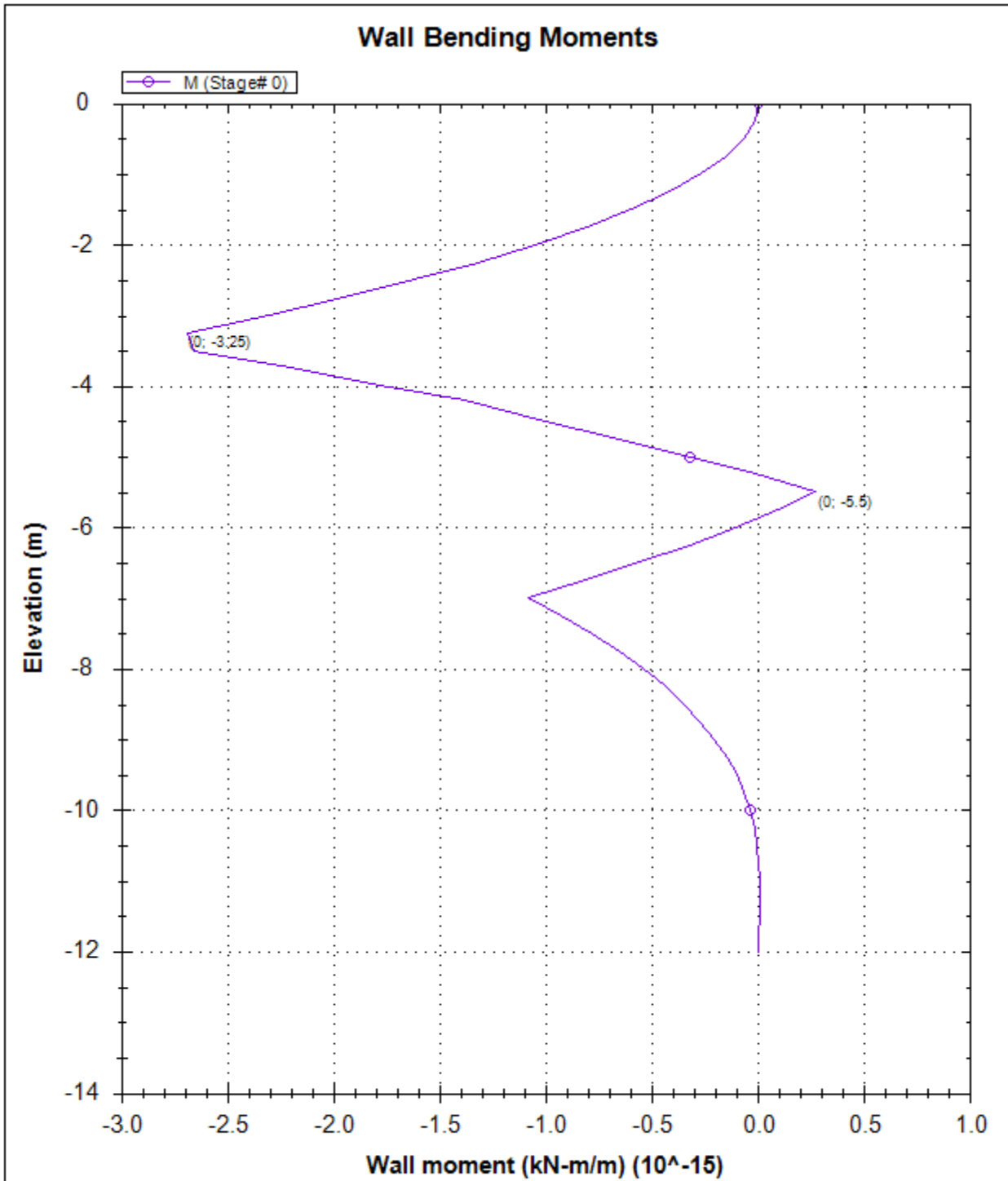
DS: 0 (left wall)  
Stage 0

CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW\_voro\04\_sottopasso\02\_paratia\_temp\temporaneo1\_2.01\_SLE.DEEP

7/6/2013



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0 (left wall)

Stage 0

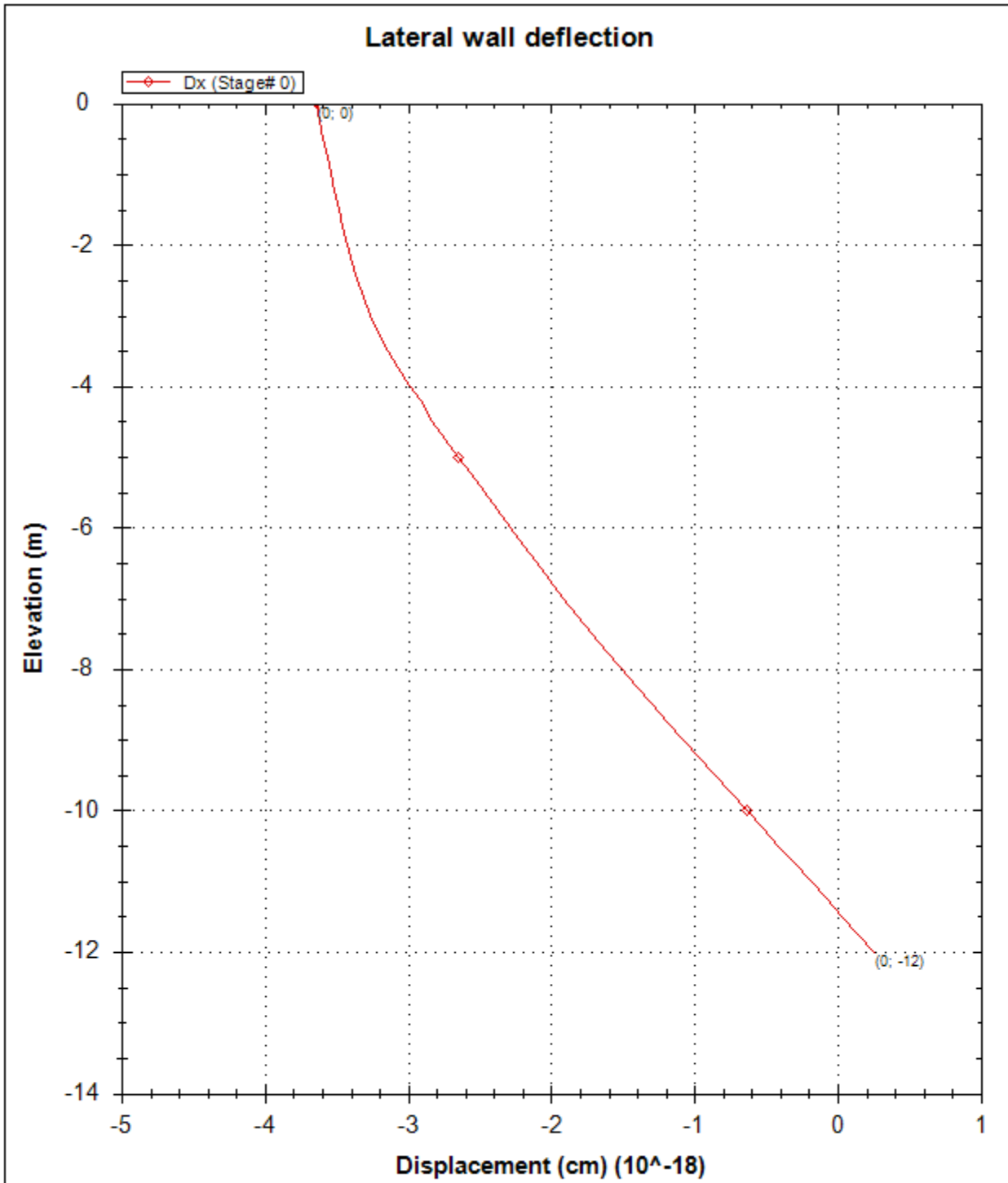
CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

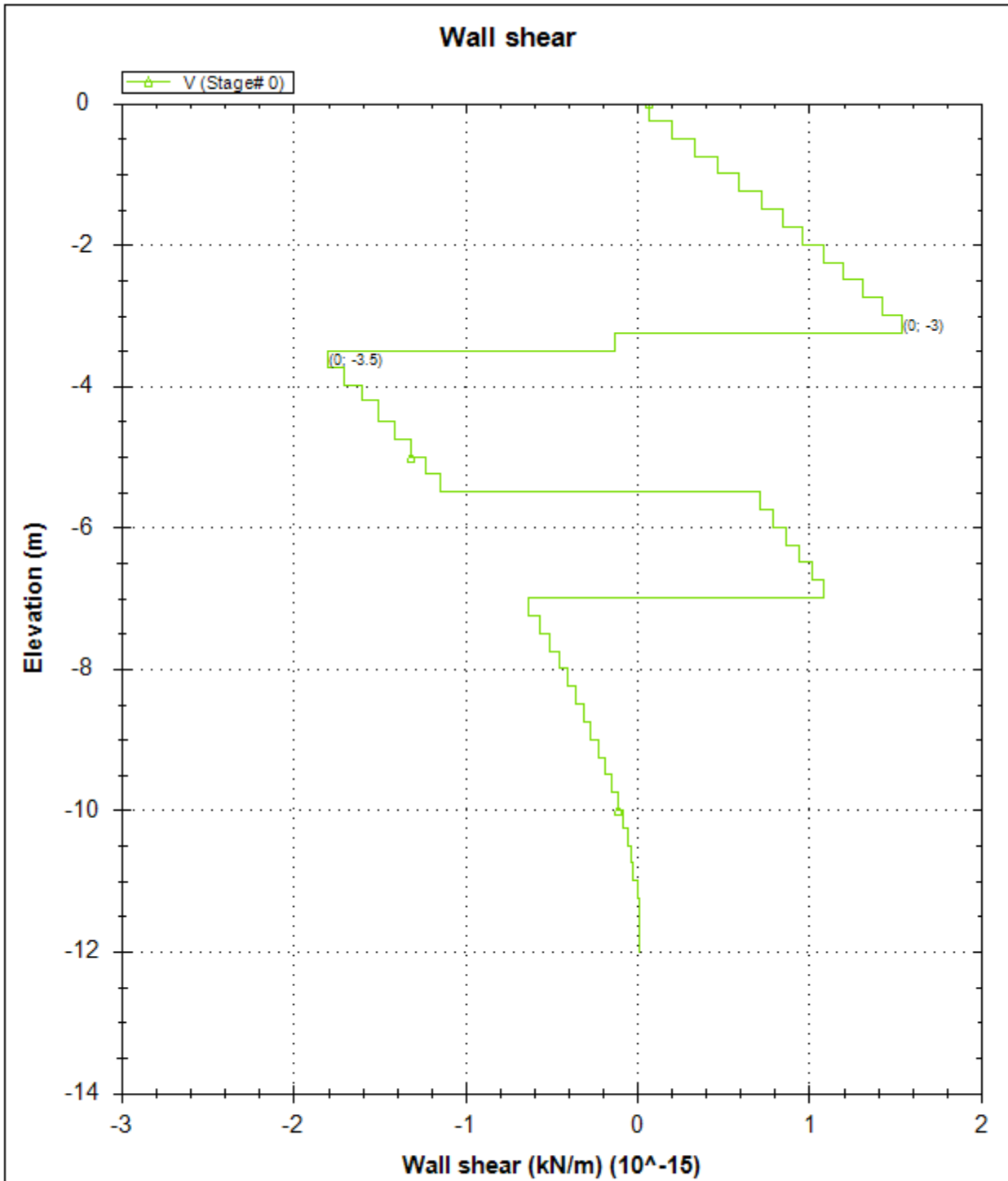
F:\SW\_voro\04\_sottopasso\02\_paratia\_temp\temporaneo1\_2.01\_SLE.DEEP

7/6/2013



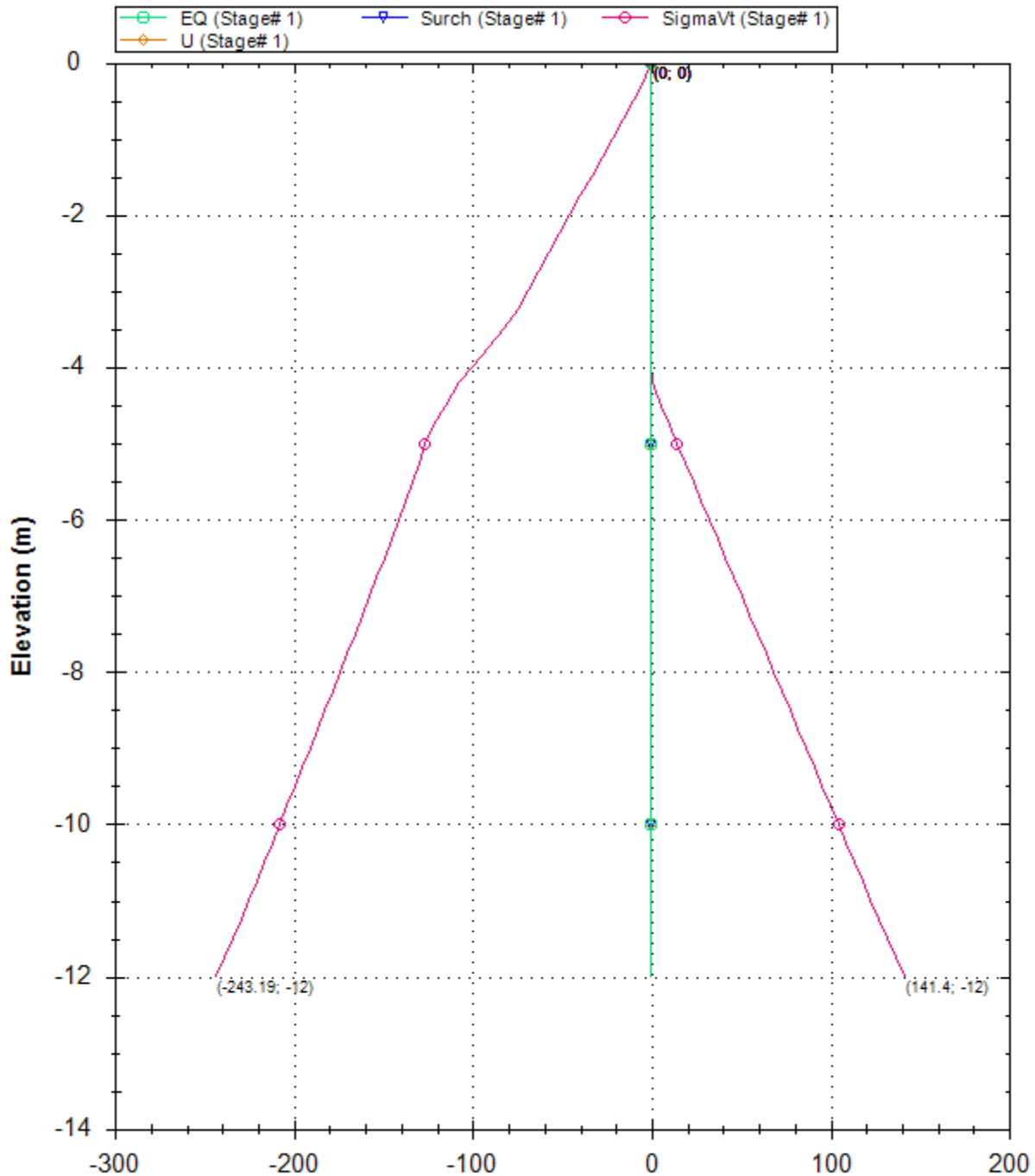


Company: My Company	DS: 0 (left wall)	CeAS srl and Deep Excavation LCC
Engineer: Engineer	Stage 0	Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011
F:\SW_voro\04_sottopasso\02_paratia_temp\temporaneo1_2.01_SLE.DEEP		7/6/2013



Company: My Company	DS: 0 (left wall)	CeAS srl and Deep Excavation LCC
Engineer: Engineer	Stage 0	Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011
F:\SW..voro\04_sottopasso\02_paratia_temp\temporaneo1_2.01_SLE.DEEP		7/6/2013

### Horizontal and vertical pressures (kPa)



Company: My Company

Engineer: Engineer

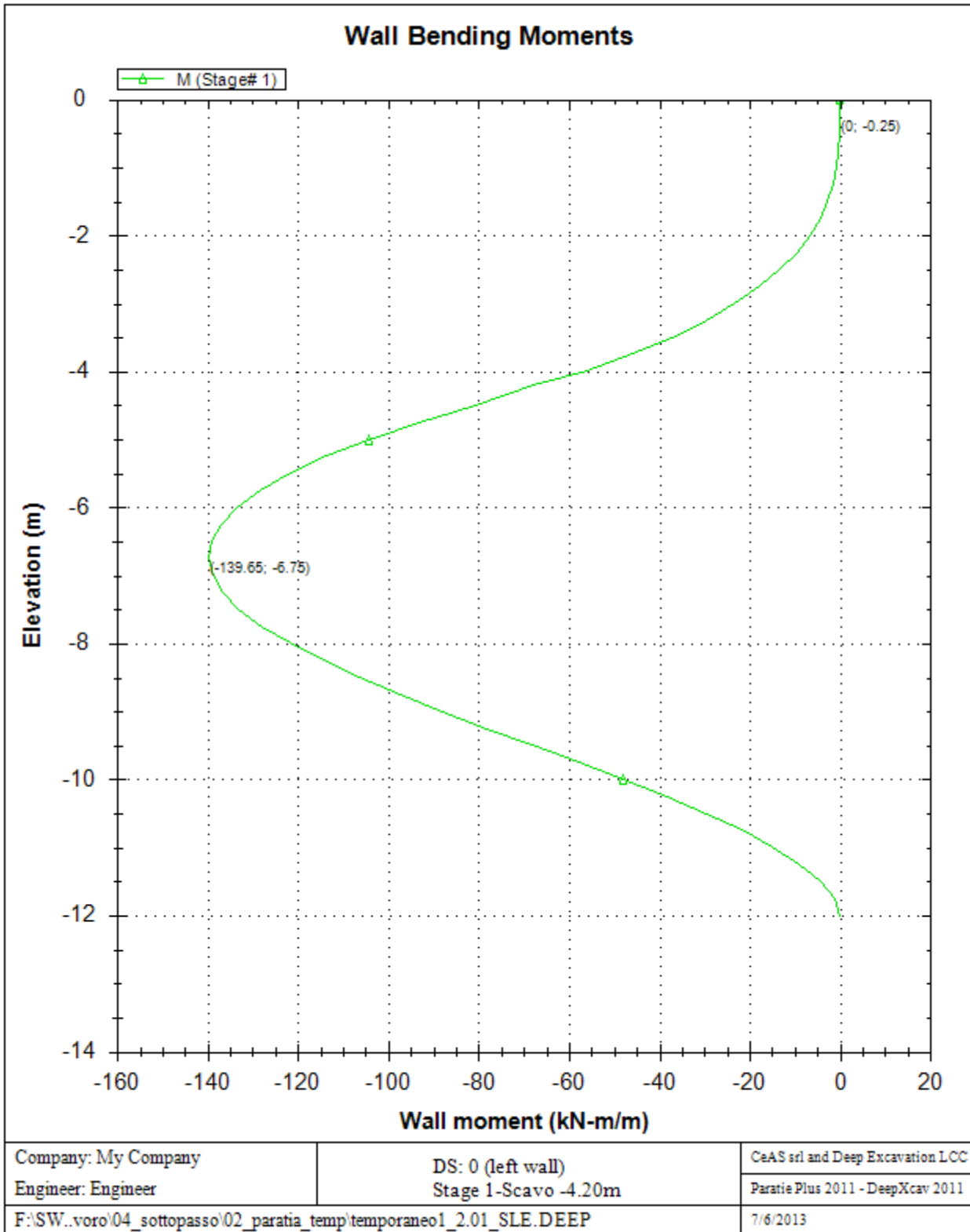
DS: 0 (left wall)  
Stage 1-Scavo -4.20m

CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

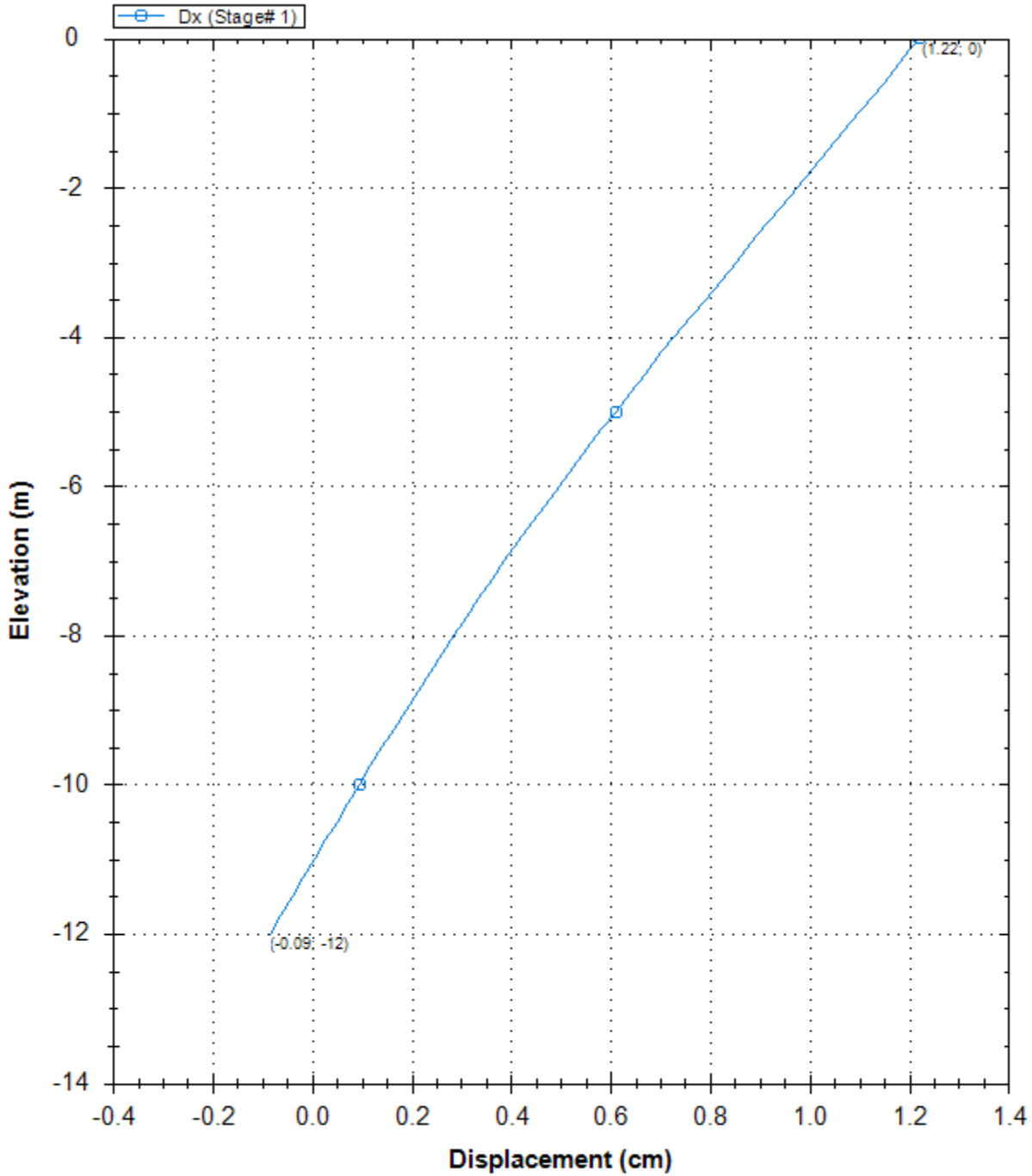
F:\SW\_voro\04\_sottopasso\02\_paratia\_temp\temporaneo1\_2.01\_SLE.DEEP

7/6/2013





### Lateral wall deflection



Company: My Company

Engineer: Engineer

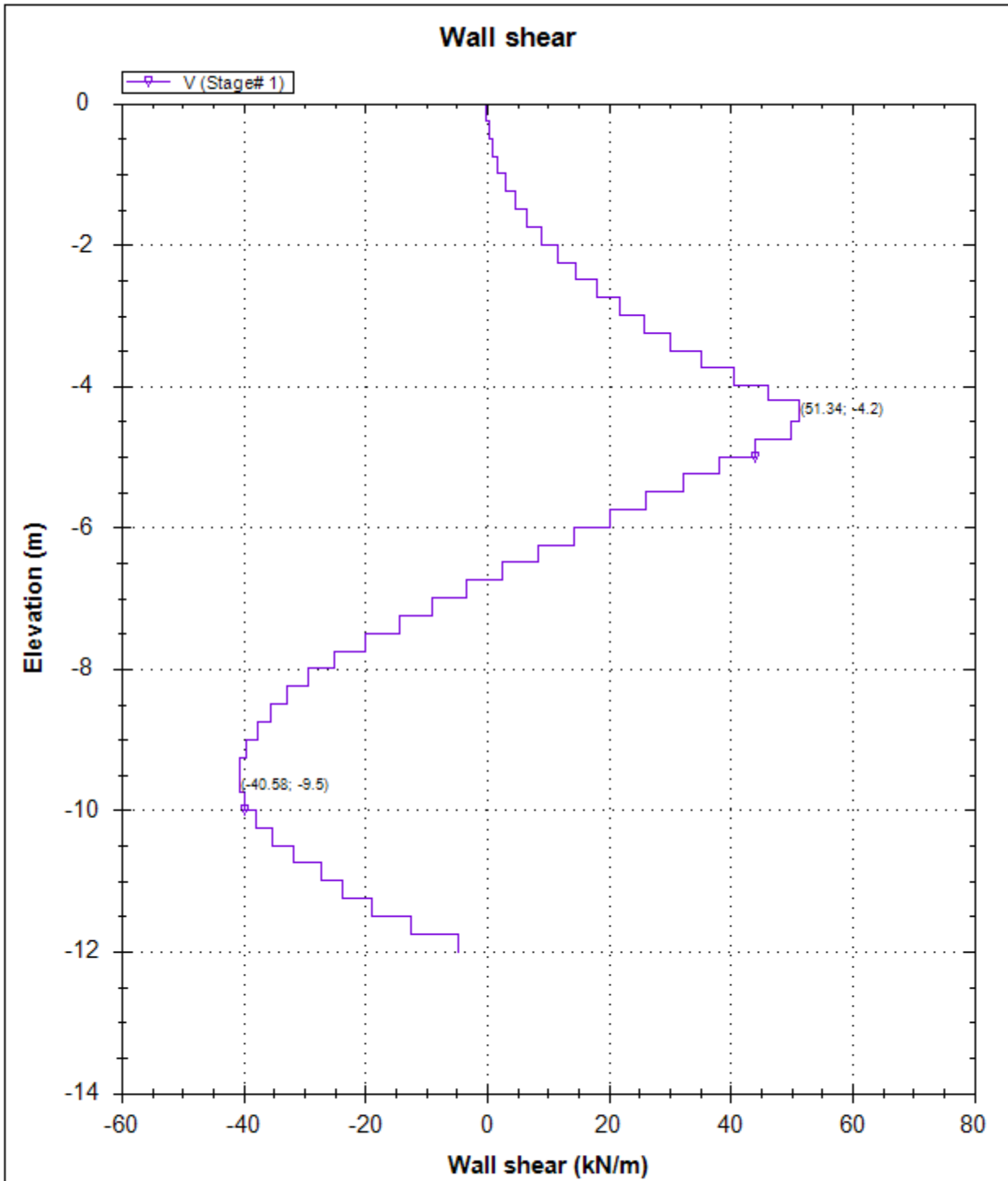
DS: 0 (left wall)  
 Stage 1-Scavo -4.20m

CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW\_voro\04\_sottopasso\02\_paratia\_temp\temporaneo1\_2.01\_SLE.DEEP

7/6/2013



Company: My Company

Engineer: Engineer

DS: 0 (left wall)  
Stage 1-Scavo -4.20m

CeAS srl and Deep Excavation LCC

Paratie Plus 2011 - DeepXcav 2011

F:\SW\_voro\04\_sottopasso\02\_paratia\_temp\temporaneo1\_2.01\_SLE.DEEP

7/6/2013