

COMUNE DI PALERMO



COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



IMPRESA ESECUTRICE:



## PROGETTO ESECUTIVO

**PRIMO LOTTO FUNZIONALE CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN  
SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO  
NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA**

STUDI, RILIEVI E INDAGINI

INTERFERENZE CON GLI EDIFICI

Relazione di calcolo dei cedimenti indotti dalle opere in  
sotterraneo

| COMMESSA       | LOTTO      | FASE     | ENTE       | TIPO DOC.  | OPERA/DISCIPLINA   | PROGR.       | REV.     |
|----------------|------------|----------|------------|------------|--------------------|--------------|----------|
| <b>R S 7 2</b> | <b>0 1</b> | <b>E</b> | <b>Z Z</b> | <b>R H</b> | <b>0 C 0 0 0 0</b> | <b>0 0 2</b> | <b>C</b> |

PROGETTAZIONE: ATI (Associazione Temporanea d'Imprese)

PROGETTAZIONE

GRANDI

INFRASTRUTTURE

PROGIN S.p.A.

PROGIN SPA (Capogruppo Mandataria)



Sab (Mandante)

| Revis. | Descrizione                                       | Redatto    | Data     | Verificato | Data     | Approvato/Data |
|--------|---------------------------------------------------|------------|----------|------------|----------|----------------|
| A      | Emissione                                         | Piccirillo | 05/11/10 | Piccirillo | 05/11/10 | S. Esposito    |
| B      | Aggiornate<br>prog.sezioni                        | Piccirillo | 11/05/11 | Piccirillo | 11/05/10 | S. Esposito    |
| C      | Emissione a seguito<br>istr. RS07-<br>1W01 11 298 | Piccirillo | 10/11/11 | Piccirillo | 10/11/11 | S. Esposito    |

Nole del file:

RS7201EZZRHOC0000002\_C

n: Elab.

|                                                                                                                                                            |                  |             |           |            |                                                                                                                                                                                                                         |                          |                   |          |                 |  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------|-----------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------|----------|-----------------|--|
| APPALTATORE                                                                                                                                                |                  |             |           |            | ATI DI PROGETTAZIONE                                                                                                                                                                                                    |                          |                   |          |                 |  |
|                                                                           |                  |             |           |            | <div>(Mandataria) Sab (Mandante)</div> <div></div> |                          |                   |          |                 |  |
| CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E<br>PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA |                  |             |           |            |                                                                                                                                                                                                                         |                          |                   |          |                 |  |
| Interferenze con gli edifici:<br>Relazione di calcolo dei cedimenti<br>indotti dalle opere in sotterraneo                                                  | COMMESSA<br>RS72 | LOTTO<br>01 | FASE<br>E | ENTE<br>ZZ | TIPO DOC.<br>RH                                                                                                                                                                                                         | OGGETTO DOC.<br>OC 00 00 | PROG. DOC.<br>002 | REV<br>C | Pag.<br>2 di 34 |  |

## I N D I C E

|                                                                       |           |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. PREMESSA</b>                                                    | <b>3</b>  |
| 1.1 ANALISI FEM PIANA                                                 | 3         |
| 1.2 ANALISI FEM MONODIMENSIONALE                                      | 4         |
| 1.3 CORRELAZIONE SEZIONI DI CALCOLO EDIFICI                           | 5         |
| <b>2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO</b>                                    | <b>6</b>  |
| 2.1 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO                                          | 6         |
| 2.2 NORMATIVA TECNICA                                                 | 6         |
| 2.3 LINEE GUIDA                                                       | 7         |
| <b>3. CONDIZIONI GEOTECNICHE</b>                                      | <b>8</b>  |
| 3.1 INDAGINI ESEGUITE                                                 | 8         |
| 3.2 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA                                      | 8         |
| <b>4. ANALISI FEM PIANA</b>                                           | <b>10</b> |
| 4.1 SEZIONE 28 ALLA PROGRESSIVA 4+200                                 | 10        |
| <b>5. ANALISI FEM MONODIMENSIONALE</b>                                | <b>17</b> |
| 5.1 DEFORMAZIONI INDOTTE IN FASE DI SCAVO – METODOLOGIA E RIFERIMENTI | 17        |
| 5.2 SEZIONE 28 ALLA PROGRESSIVA 4+200                                 | 21        |
| 5.3 SEZIONE 17 ALLA PROGRESSIVA 3+975                                 | 22        |
| 5.4 SEZIONE 24 ALLA PROGRESSIVA 4+125                                 | 24        |
| 5.5 SEZIONE 26 ALLA PROGRESSIVA 4+174                                 | 26        |
| 5.6 SEZIONE 42 ALLA PROGRESSIVA 4+530                                 | 27        |
| 5.7 SEZIONE 45 ALLA PROGRESSIVA 4+594                                 | 29        |
| 5.8 SEZIONE 50 ALLA PROGRESSIVA 4+700                                 | 30        |
| 5.9 SEZIONE 60 ALLA PROGRESSIVA 4+847                                 | 32        |
| 5.10 SEZIONE 71 ALLA PROGRESSIVA 5+000                                | 33        |

|                                                                                                                                                         |                  |             |           |            |                                                                                                                                                                                                       |                          |                   |          |                 |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------|-----------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------|----------|-----------------|--|
| APPALTATORE                                                                                                                                             |                  |             |           |            | ATI DI PROGETTAZIONE                                                                                                                                                                                  |                          |                   |          |                 |  |
|                                                                        |                  |             |           |            | (Mandataria) Sab (Mandante)<br>  |                          |                   |          |                 |  |
| CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA |                  |             |           |            |                                                                                                                                                                                                       |                          |                   |          |                 |  |
| Interferenze con gli edifici:<br>Relazione di calcolo dei cedimenti<br>indotti dalle opere in sotterraneo                                               | COMMESSA<br>RS72 | LOTTO<br>01 | FASE<br>E | ENTE<br>ZZ | TIPO DOC.<br>RH                                                                                                                                                                                       | OGGETTO DOC.<br>OC 00 00 | PROG. DOC.<br>002 | REV<br>C | Pag.<br>3 di 34 |  |

## 1. PREMESSA

Nel presente documento sono riportate le considerazioni di carattere geotecnico relative alla progettazione esecutiva per l'esecuzione dei lavori "Chiusura dell'anello ferroviario in sotterraneo, nel tratto di linea tra le stazioni di Palermo Notarbartolo e Giachery e proseguimento fino a Politeama".

In particolare, il ramo di nuova realizzazione compreso nella prima fase funzionale, in prosecuzione alla fermata Giachery, è costituito per il primo tratto da una trincea di lunghezza pari a circa 200 m, per poi proseguire tutto in sotterraneo, comprendendo in successione la Fermata Porto e la Fermata Politeama. È inoltre prevista la realizzazione di una fermata interrata sul ramo esistente Notarbartolo-Giachery (Fermata Libertà), ubicata in corrispondenza dell'incrocio tra via Sicilia e via Lazio.

Nel presente documento si affronteranno le problematiche progettuali relative ai cedimenti indotti sugli edifici esistenti dalle opere di sostegno definitive e provvisorie necessarie alla realizzazione della G.A. Crispi (GA01) a singolo binario, G.A. Crispi/Amari (GA02) a singolo binario e della stazione relativa alla fermata Porto, mentre in merito ai cedimenti indotti dalle opere provvisorie e definitive della Fermata Libertà (GA11) e della Stazione Politeama (GA13) si rimanda alle specifiche relazioni geotecniche e di calcolo. Tali opere sono realizzate per mezzo di diaframmi continui di pali con tecnologia CSP (Cased Secant Piles), contrastati dai solettoni in c.a. di copertura e di base. Lo scavo sarà eseguito quindi con il metodo "cut and cover". Per la descrizione delle soluzioni adottate per gli scavi, per i dettagli sulle condizioni litostratigrafiche lungo il tracciato, sui parametri geotecnici assunti e sui parametri di calcolo degli elementi strutturali implementati nelle analisi si rimanda alle apposite relazioni di calcolo.

Nel seguito si riportano i principali risultati di calcolo delle analisi effettuate in termini di cedimenti verticali a tergo delle opere di sostegno, con particolare interesse all'interazione delle stesse con gli edifici.

### 1.1 ANALISI FEM PIANA

Al fine di indagare gli effetti dello scavo sul terreno a tergo delle opere di sostegno, si è condotta un'apposita analisi FEM bidimensionale (codice Plaxis 3D Tunnel, versione 2.4), sulla sezione caratterizzata dalle condizioni litostratigrafiche più sfavorevoli e dal livello di falda più alto (che origina il massimo battente idraulico sulle paratie). Tale analisi consente:

- lo studio dell'interazione degli elementi strutturali durante le fasi esecutive e durante l'esercizio dell'opera al fine di ottenere le sollecitazioni interne degli elementi strutturali;
- lo studio dell'interazione struttura-terreno al fine di verificare la compatibilità delle operazioni di realizzazione della galleria con le strutture degli edifici esistenti.

Pertanto, con l'analisi FEM piana, si sono volute superare le limitazioni intrinseche delle analisi monodimensionali (utilizzate per il dimensionamento delle strutture di sostegno degli scavi delle GA). Infatti, nelle analisi monodimensionali:

- la geometria dei modelli è necessariamente molto semplificata;

|                                                                                                                                                         |                  |             |           |            |                                                                                                                                                                                                                         |                          |                   |          |                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------|-----------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------|----------|-----------------|
| APPALTATORE                                                                                                                                             |                  |             |           |            | ATI DI PROGETTAZIONE                                                                                                                                                                                                    |                          |                   |          |                 |
|                                                                        |                  |             |           |            | <div>(Mandataria) Sab (Mandante)</div> <div></div> |                          |                   |          |                 |
| CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA |                  |             |           |            |                                                                                                                                                                                                                         |                          |                   |          |                 |
| Interferenze con gli edifici:<br>Relazione di calcolo dei cedimenti<br>indotti dalle opere in sotterraneo                                               | COMMESSA<br>RS72 | LOTTO<br>01 | FASE<br>E | ENTE<br>ZZ | TIPO DOC.<br>RH                                                                                                                                                                                                         | OGGETTO DOC.<br>OC 00 00 | PROG. DOC.<br>002 | REV<br>C | Pag.<br>4 di 34 |

- l'interazione terreno struttura è modellata con molle elasto-plastiche, disaccoppiando la risposta meccanica del terreno lungo 2 direzioni ortogonali;
- lo studio dell'interazione terreno-struttura con molle elasto-plastiche non fornisce alcuna informazione sul campo di spostamenti causato dallo scavo.

Una analisi FEM in stato piano di deformazione consente invece:

- di tenere conto della complessa geometria del problema;
- di utilizzare leggi costitutive adeguate per l'interazione fra elementi strutturali e di considerare il terreno come mezzo continuo;
- di cogliere il campo di spostamenti generato dall'opera durante tutte le fasi esecutive.

La sezione di calcolo analizzata con l'analisi FEM piana è la seguente:

1. Sezione 28 alla progressiva 4+200

## 1.2 ANALISI FEM MONODIMENSIONALE

Per il dimensionamento delle strutture di sostegno lungo lo sviluppo dell'opera, sono state analizzate varie sezioni di calcolo con un codice FEM monodimensionale (Paratie, versione 7.0).

Tali analisi, che adottano un modello del terreno alla Winkler, consentono una simulazione del comportamento dell'interazione terreno-struttura adeguata agli scopi progettuali, poiché consentono di seguire il comportamento della struttura al variare delle fasi esecutive, superando le limitazioni dei più tradizionali metodi dell'equilibrio limite.

Eseguendo l'analisi in condizioni di lungo termine (parametri del terreno "efficaci"), nel caso di esecuzione di scavi (detensionamento del terreno), si ottengono risultati cautelativi sul dimensionamento delle opere di sostegno.

Tale analisi porta anche ad una stima degli spostamenti orizzontali del terreno a contatto con l'opera di sostegno, anche se per le ipotesi implicite del metodo utilizzato, tali spostamenti sono in genere sovrastimati rispetto ad una più realistica analisi in stato piano di deformazione. Sebbene il terreno non sia modellato come mezzo continuo, attraverso espressioni semplificate tratte dalla letteratura disponibile (cfr. § 5.1), è possibile valutare approssimativamente il cedimento massimo a tergo dello scavo e ipotizzando un andamento del cedimento al variare della distanza dall'opera di sostegno è possibile stimare approssimativamente la deformazione angolare media sugli edifici.

Al fine di verificare l'ammissibilità della deformazione angolare sugli edifici si sono considerate le seguenti sezioni di calcolo:

1. Sezione 17 alla progressiva 3+975
2. Sezione 24 alla progressiva 4+125
3. Sezione 26 alla progressiva 4+174
4. Sezione 28 alla progressiva 4+200

|                                                                                                                                                         |                  |             |           |            |                                                                                                                                                                                                       |                          |                   |          |                 |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------|-----------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------|----------|-----------------|--|
| APPALTATORE                                                                                                                                             |                  |             |           |            | ATI DI PROGETTAZIONE                                                                                                                                                                                  |                          |                   |          |                 |  |
|                                                                        |                  |             |           |            | (Mandataria) Sab (Mandante)<br>  |                          |                   |          |                 |  |
| CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA |                  |             |           |            |                                                                                                                                                                                                       |                          |                   |          |                 |  |
| Interferenze con gli edifici:<br>Relazione di calcolo dei cedimenti<br>indotti dalle opere in sotterraneo                                               | COMMESSA<br>RS72 | LOTTO<br>01 | FASE<br>E | ENTE<br>ZZ | TIPO DOC.<br>RH                                                                                                                                                                                       | OGGETTO DOC.<br>OC 00 00 | PROG. DOC.<br>002 | REV<br>C | Pag.<br>5 di 34 |  |

5. Sezione 42 alla progressiva 4+530
6. Sezione 45 alla progressiva 4+594
7. Sezione 50 alla progressiva 4+700
8. Sezione 60 alla progressiva 4+847
9. Sezione 71 alla progressiva 5+000

Si noti che la sezione 28 è stata analizzata sia con un modello FEM piano che con un modello FEM monodimensionale, consentendo perciò di confrontare i risultati ottenuti e di validare le valutazioni approssimative dei cedimenti differenziali effettuate tramite le espressioni semplificate con il più realistico campo di deformazioni piane ottenute modellando il continuo. In particolare, si nota come le distorsioni angolari ottenute dal modello FEM piano siano confrontabili con le distorsioni approssimate derivanti dall'analisi monodimensionale.

### 1.3 CORRELAZIONE SEZIONI DI CALCOLO EDIFICI

Le sezioni di calcolo utilizzate per la stima dei cedimenti sono sufficienti a coprire le varie casistiche che si presentano lungo lo sviluppo dell'opera, eccezion fatta per alcuni fabbricati per i quali si rimanda alle relazioni specifiche.

Pertanto si riporta una tabella con l'indicazione per ciascuna interferenza, della relativa sezione di calcolo assunta a riferimento per il controllo dei cedimenti indotti e quindi la classe di appartenenza.

| Edificio n°                                    | Sezione di calcolo                                       |
|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| 104, 105, 112, 113, 114, 115                   | vedi elaborato RS72-01-E-ZZ-CL-GA110X-001-B              |
| 11                                             | Sez. 17 prog. 3+975                                      |
| 13, 14, 17, 18                                 | Sez. 24 prog. 4+125                                      |
| 19, 116                                        | Sez. 26 prog. 4+174                                      |
| 19,116,21,22                                   | Sez. 28 prog. 4+200 analisi piana+analisi bidimensionale |
| 25                                             | vedi elaborato RS7201EZZCLGA000X001A                     |
| 22, 23,24, 26                                  | Sez. 42 prog. 4+530                                      |
| 27,28, 29, 30, 31, 32, 33, 34                  | Sez. 45 prog. 4+594                                      |
| 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44 | Sez. 50 prog. 4+700                                      |
| 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50                 | Sez. 60 prog. 4+847                                      |
| 51, 52, 53, 54                                 | Sez. 71 prog. 5+000                                      |
| 55,57, 58, 59, 117, 118, 119, 120, 121, 122    | vedi elaborato RS72-01-E-ZZ-CL-GA1300-001-E              |

|                                                                                                                                                         |                  |             |           |            |                                                                                                                                                                                                       |                          |                   |          |                 |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------|-----------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------|----------|-----------------|--|
| APPALTATORE                                                                                                                                             |                  |             |           |            | ATI DI PROGETTAZIONE                                                                                                                                                                                  |                          |                   |          |                 |  |
|                                                                        |                  |             |           |            | (Mandataria) Sab (Mandante)<br>  |                          |                   |          |                 |  |
| CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA |                  |             |           |            |                                                                                                                                                                                                       |                          |                   |          |                 |  |
| Interferenze con gli edifici:<br>Relazione di calcolo dei cedimenti<br>indotti dalle opere in sotterraneo                                               | COMMESSA<br>RS72 | LOTTO<br>01 | FASE<br>E | ENTE<br>ZZ | TIPO DOC.<br>RH                                                                                                                                                                                       | OGGETTO DOC.<br>OC 00 00 | PROG. DOC.<br>002 | REV<br>C | Pag.<br>6 di 34 |  |

## 2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### 2.1 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

- [DR 1] RS1L 01 D 79 RH GE0001 00A A – “Relazione Geologica” - Progetto Definitivo; 2004.
- [DR 2] RS1L 01 D 79 F5 GE0005 00A A – “Profilo Geologico” - Progetto Definitivo; 2004.
- [DR 3] RS1L 01 D 11 RB OC0001 001 B – “Relazione geotecnica generale” - Progetto Definitivo; 2004.
- [DR 4] RS1L 01 D 11 CL GA010X 001 A– “G.A. Crispi a singolo binario (GA01) – Relazione di calcolo” - Progetto Definitivo; 2004.
- [DR 5] Relazione geotecnica di Progetto Esecutivo
- [DR 6] Relazione di calcolo “Stazione Porto”
- [DR 7] Relazione di calcolo “GA01”
- [DR 8] Relazione di calcolo “GA02”

### 2.2 NORMATIVA TECNICA

- [NT 1] D.M. LL.PP. del 2 agosto 1980 "Criteri Generali e Prescrizioni Tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo di ponti stradali"
- [NT 2] 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 e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”
- [NT 3] D.M. LL.PP. del 4 maggio 1990 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo di ponti stradali"
- [NT 4] D.M. 09.01.1996 “Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle opere in cemento normale e precompresso e per le strutture metalliche”
- [NT 5] D.M. 16.01.1996 “Norme Tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi”
- [NT 6] D.M. 16.01.1996 “Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche”.
- [NT 7] Circolare 156 del 04.07.1996 “Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi”.
- [NT 8] Circ. Min. LL.PP. del 15 ottobre 1996 n. 252 "Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per la disciplina ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche" di cui al decreto ministeriale del 9 gennaio 1996.

|                                                                                                                                                            |  |  |  |  |                                                                                                                                                                                                       |             |           |            |                 |                          |                   |          |                 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-----------|------------|-----------------|--------------------------|-------------------|----------|-----------------|
| APPALTATORE                                                                                                                                                |  |  |  |  | ATI DI PROGETTAZIONE                                                                                                                                                                                  |             |           |            |                 |                          |                   |          |                 |
|                                                                           |  |  |  |  | (Mandataria) Sab (Mandante)<br>  |             |           |            |                 |                          |                   |          |                 |
| CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E<br>PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA |  |  |  |  |                                                                                                                                                                                                       |             |           |            |                 |                          |                   |          |                 |
| Interferenze con gli edifici:<br>Relazione di calcolo dei cedimenti<br>indotti dalle opere in sotterraneo                                                  |  |  |  |  | COMMESSA<br>RS72                                                                                                                                                                                      | LOTTO<br>01 | FASE<br>E | ENTE<br>ZZ | TIPO DOC.<br>RH | OGGETTO DOC.<br>OC 00 00 | PROG. DOC.<br>002 | REV<br>C | Pag.<br>7 di 34 |

## 2.3 LINEE GUIDA

- [LG 1] AGI Associazione Geotecnica Italiana, "Linee Guida sugli aspetti geotecnici della progettazione antisismica" Edizione Provvisoria, 2005.
- [LG 2] AGI Associazione Geotecnica Italiana "Raccomandazioni sui pali di fondazione", 1984.
- [LG 3] AICAP, "Ancoraggi nei terreni e nelle rocce-Raccomandazioni", Maggio 1993.

|                                                                                                                                                         |                  |             |           |            |                                                                                                                                                                                                       |                          |                   |          |                 |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------|-----------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------|----------|-----------------|--|
| APPALTATORE                                                                                                                                             |                  |             |           |            | ATI DI PROGETTAZIONE                                                                                                                                                                                  |                          |                   |          |                 |  |
|                                                                        |                  |             |           |            | (Mandataria) Sab (Mandante)<br>  |                          |                   |          |                 |  |
| CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA |                  |             |           |            |                                                                                                                                                                                                       |                          |                   |          |                 |  |
| Interferenze con gli edifici:<br>Relazione di calcolo dei cedimenti<br>indotti dalle opere in sotterraneo                                               | COMMESSA<br>RS72 | LOTTO<br>01 | FASE<br>E | ENTE<br>ZZ | TIPO DOC.<br>RH                                                                                                                                                                                       | OGGETTO DOC.<br>OC 00 00 | PROG. DOC.<br>002 | REV<br>C | Pag.<br>8 di 34 |  |

### 3. CONDIZIONI GEOTECNICHE

#### 3.1 INDAGINI ESEGUITE

Lungo il tracciato in esame sono state eseguite diverse campagne geognostiche consistite da indagini in sito e di laboratorio al fine di caratterizzare le formazioni stratigrafiche presenti in sito.

In particolare le campagne geognostiche eseguite sono le seguenti:

- Campagna geognostica “Metrotram” del 2000:
  - o N.3 sondaggi a carotaggio continuo (denominati “S”) di lunghezza variabile da 10 a 22 m
- Campagna geognostica “Metroferrovia” del 2003:
  - o N.11 sondaggi a carotaggio continuo (denominati “SM”) di lunghezza variabile da 20 a 40 m;
  - o Installazione di n.7 piezometri a tubo aperto;
  - o N. 4 prove sismiche tipo Down-Hole;
  - o Indagini geofisiche georadar.
- Campagna geognostica del 2010, finalizzata alla redazione del Progetto Esecutivo:
  - o N. 14 sondaggi a carotaggio continuo (denominati “SE”) di lunghezza variabile da 15 a 35.5 m;
  - o Installazione piezometri a tubo aperto;
  - o Esecuzione di prove sismiche;
  - o Esecuzione di prove penetrometriche statiche.

Per i dettagli sulle indagini e sulle elaborazioni si rimanda alla relazione geotecnica generale (cfr. [DR 5]).

#### 3.2 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Per quanto sopra esposto, e per quanto mostrato dai risultati delle indagini geognostiche effettuate, lungo il tracciato le unità geotecniche che interagiscono con le opere sono le seguenti:

##### *Terreno di riporto*

- **Unità R:** terreno di riporto, suolo vegetale; si tratta di depositi molto eterogenei prevalentemente sabbiosi e sabbiosi-limosi con inclusi elementi lapidei di natura calcarenitica da centimetrici a decimetrici.

##### *Depositi eluviali (terre rosse)*

- **Unità LR:** si tratta di depositi eluviali costituiti prevalentemente da argille e limi con inclusi elementi più grossolani a spigoli vivi; sono stati intercettati solo localmente lungo il tracciato e presentano spessore modesto.

|                                                                                                                                                            |                  |             |           |            |                                                                                                                                                                                                       |                          |                   |          |                 |  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------|-----------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------|----------|-----------------|--|
| APPALTATORE                                                                                                                                                |                  |             |           |            | ATI DI PROGETTAZIONE                                                                                                                                                                                  |                          |                   |          |                 |  |
|                                                                           |                  |             |           |            | (Mandataria) Sab (Mandante)<br>  |                          |                   |          |                 |  |
| CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E<br>PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA |                  |             |           |            |                                                                                                                                                                                                       |                          |                   |          |                 |  |
| Interferenze con gli edifici:<br>Relazione di calcolo dei cedimenti<br>indotti dalle opere in sotterraneo                                                  | COMMESSA<br>RS72 | LOTTO<br>01 | FASE<br>E | ENTE<br>ZZ | TIPO DOC.<br>RH                                                                                                                                                                                       | OGGETTO DOC.<br>OC 00 00 | PROG. DOC.<br>002 | REV<br>C | Pag.<br>9 di 34 |  |

#### ***Depositi alluvionali recenti***

- **Unità ALF:** si tratta di depositi molto recenti costituiti prevalentemente da limi sabbiosi e sabbie limose con presenza di sostanza organica in decomposizione; costituiscono le alluvioni del Paleoalveo.

#### ***Complesso calcarenitico – sabbioso Pleistocenico***

- **Unità CL:** calcareniti prevalentemente cementate;
- **Unità SC:** sabbie calcarenitiche fini e grossolane di colore biancastro e ocra con inclusi elementi lapidei calcarenitici e calcareniti tenere; questo deposito è quello che predomina lungo il tracciato in esame;
- **Unità SCL:** sabbie fini limose e limi sabbiosi;
- **Unità SCG:** sabbie medio grossolane con ghiaia e ciottoli arrotondati di dimensioni centimetriche.

#### ***Complesso limo-sabbioso Pliocenico***

- **Unità LS:** limi, limi sabbiosi e sabbie Plioceniche con elevato contenuto in fossili.

#### ***Flysch Numidico***

- **Unità FNAIt:** rappresentano l'alterazione delle sottostanti argille integre; sono costituite da argille e argille sabbiose in genere abbastanza consistenti;
- **Unità FNA:** argilla grigia a tessitura brecciata o scagliata, spesso a consistenza marnosa, con intercalati subordinati livelli quarzarenitici. Sono frequenti livelli argillitici a consistenza litoide;
- **Unità FNQ:** si tratta di quarzareniti durissime, estremamente fratturate fino a minutamente frammentate;
- **Unità S/FNQ:** si tratta di sabbie fini debolmente limose con trovanti quarzarenitici.

Nelle seguenti immagini si riportano i dati geotecnici disponibili di maggiore rilevanza progettuale.

Per ulteriori dettagli sulla caratterizzazione geotecnica e sulle indagini si rimanda alla Relazione geotecnica generale (cfr. [DR 5])

|                                                                                                                                                            |                  |             |           |            |                                                                                                                                                                                                       |                          |                   |          |                  |  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------|-----------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------|----------|------------------|--|
| APPALTATORE                                                                                                                                                |                  |             |           |            | ATI DI PROGETTAZIONE                                                                                                                                                                                  |                          |                   |          |                  |  |
|                                                                           |                  |             |           |            | (Mandataria) Sab (Mandante)<br>  |                          |                   |          |                  |  |
| CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E<br>PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA |                  |             |           |            |                                                                                                                                                                                                       |                          |                   |          |                  |  |
| Interferenze con gli edifici:<br>Relazione di calcolo dei cedimenti<br>indotti dalle opere in sotterraneo                                                  | COMMESSA<br>RS72 | LOTTO<br>01 | FASE<br>E | ENTE<br>ZZ | TIPO DOC.<br>RH                                                                                                                                                                                       | OGGETTO DOC.<br>OC 00 00 | PROG. DOC.<br>002 | REV<br>C | Pag.<br>10 di 34 |  |

## 4. ANALISI FEM PIANA

Le analisi numeriche FEM sono state condotte con il codice di calcolo PLAXIS 3DT v 2.4, nell'ipotesi di stato piano di deformazione, adottando appropriati legami costitutivi per la modellazione del comportamento tenso-deformativo dei terreni e delle strutture.

Per quanto riguarda la scelta della stratigrafia e dei valori dei parametri geotecnici di calcolo, si fa riferimento alla relazione geotecnica generale ed al profilo geotecnico.

La geometria della sezione di calcolo, la mesh di discretizzazione del modello, i parametri di calcolo delle strutture e del terreno e le fasi esecutive implementate nel modello di calcolo sono ampiamente descritte nell'apposita relazione (cfr. [DR 6]). Nel seguito sono riportati i principali risultati in termini di spostamenti e deformazione angolare a p.c. relativamente alla fase più critica per la struttura, corrispondente al raggiungimento della massima profondità di scavo.

### 4.1 SEZIONE 28 ALLA PROGRESSIVA 4+200

Il modello FEM permette di ottenere una stima sugli spostamenti indotti dallo scavo a tergo delle paratie. L'analisi è stata condotta applicando cautelativamente un sovraccarico di 20 kPa su tutta l'area.

Nelle seguenti immagini sono riportati i principali risultati in termini di spostamenti a tergo della paratia, relativamente alla fase in cui si raggiunge lo scavo massimo, la più critica per l'opera in esame. Come evidenziato dalla Figura 3 lo spostamento totale massimo a p.c. è di  $s_{\max} = 4.4 \text{ mm}$ .

|                                                                                                                                                         |                  |             |           |            |                                                                                                                                                                                                                         |                          |                   |          |                  |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------|-----------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------|----------|------------------|--|
| APPALTATORE                                                                                                                                             |                  |             |           |            | ATI DI PROGETTAZIONE                                                                                                                                                                                                    |                          |                   |          |                  |  |
|                                                                        |                  |             |           |            | <div>(Mandataria) Sab (Mandante)</div> <div></div> |                          |                   |          |                  |  |
| CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA |                  |             |           |            |                                                                                                                                                                                                                         |                          |                   |          |                  |  |
| Interferenze con gli edifici:<br>Relazione di calcolo dei cedimenti<br>indotti dalle opere in sotterraneo                                               | COMMESSA<br>RS72 | LOTTO<br>01 | FASE<br>E | ENTE<br>ZZ | TIPO DOC.<br>RH                                                                                                                                                                                                         | OGGETTO DOC.<br>OC 00 00 | PROG. DOC.<br>002 | REV<br>C | Pag.<br>11 di 34 |  |

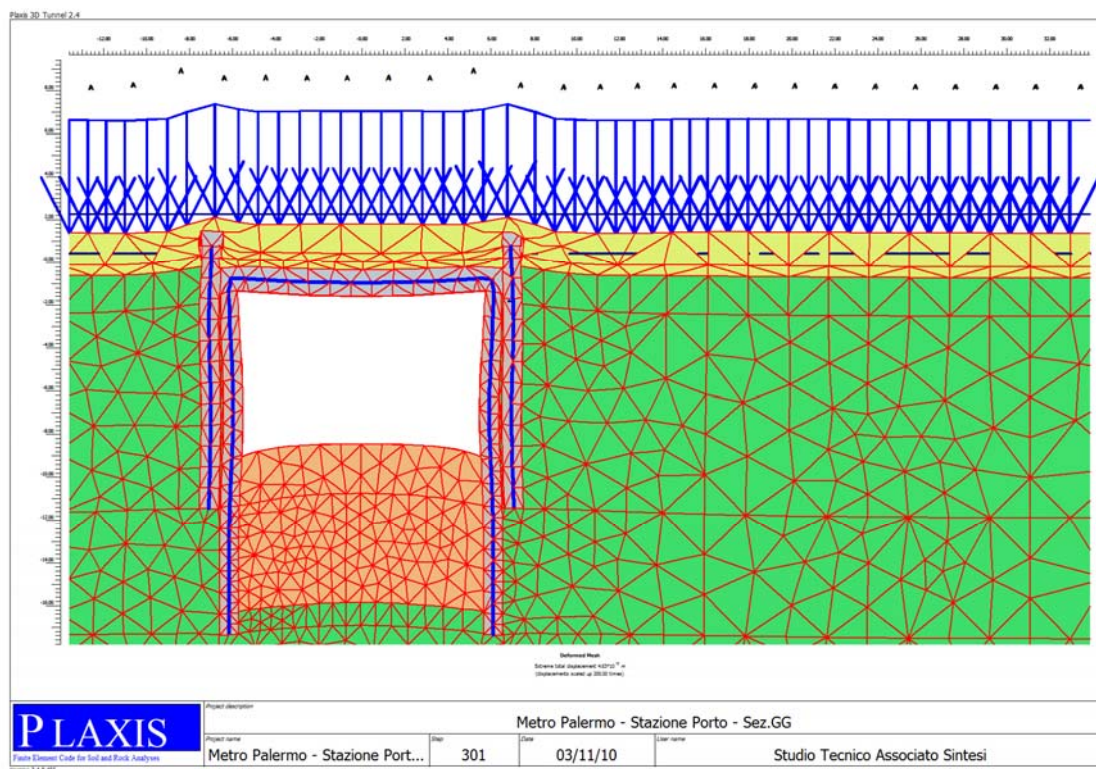


Figura 1 – Deformata nella fase di scavo massimo (spostamenti amplificati di 200 volte)

|                                                                                                                                                            |          |       |      |      |                                                                                                                                                                                                                         |              |            |     |          |  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-------|------|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|------------|-----|----------|--|
| APPALTATORE                                                                                                                                                |          |       |      |      | ATI DI PROGETTAZIONE                                                                                                                                                                                                    |              |            |     |          |  |
|                                                                           |          |       |      |      | <div>(Mandataria) Sab (Mandante)</div> <div></div> |              |            |     |          |  |
| CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E<br>PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA |          |       |      |      |                                                                                                                                                                                                                         |              |            |     |          |  |
| Interferenze con gli edifici:<br>Relazione di calcolo dei cedimenti<br>indotti dalle opere in sotterraneo                                                  | COMMESSA | LOTTO | FASE | ENTE | TIPO DOC.                                                                                                                                                                                                               | OGGETTO DOC. | PROG. DOC. | REV | Pag.     |  |
|                                                                                                                                                            | RS72     | 01    | E    | ZZ   | RH                                                                                                                                                                                                                      | OC 00 00     | 002        | C   | 12 di 34 |  |

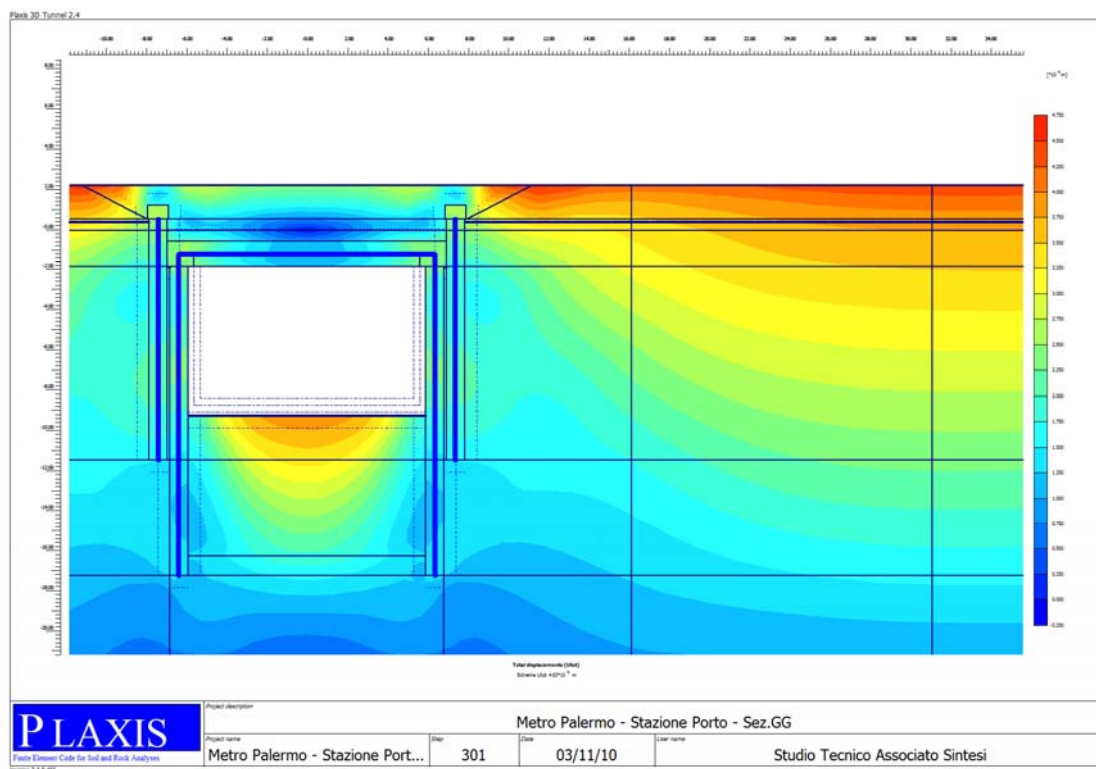


Figura 2 – Diagramma degli spostamenti totali nella fase di scavo massimo

|                                                                                                                                                            |                  |             |           |            |                                                                                                                                                                                                       |                          |                   |          |                  |  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------|-----------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------|----------|------------------|--|
| APPALTATORE                                                                                                                                                |                  |             |           |            | ATI DI PROGETTAZIONE                                                                                                                                                                                  |                          |                   |          |                  |  |
|                                                                           |                  |             |           |            | (Mandataria) Sab (Mandante)<br>  |                          |                   |          |                  |  |
| CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E<br>PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA |                  |             |           |            |                                                                                                                                                                                                       |                          |                   |          |                  |  |
| Interferenze con gli edifici:<br>Relazione di calcolo dei cedimenti<br>indotti dalle opere in sotterraneo                                                  | COMMESSA<br>RS72 | LOTTO<br>01 | FASE<br>E | ENTE<br>ZZ | TIPO DOC.<br>RH                                                                                                                                                                                       | OGGETTO DOC.<br>OC 00 00 | PROG. DOC.<br>002 | REV<br>C | Pag.<br>13 di 34 |  |

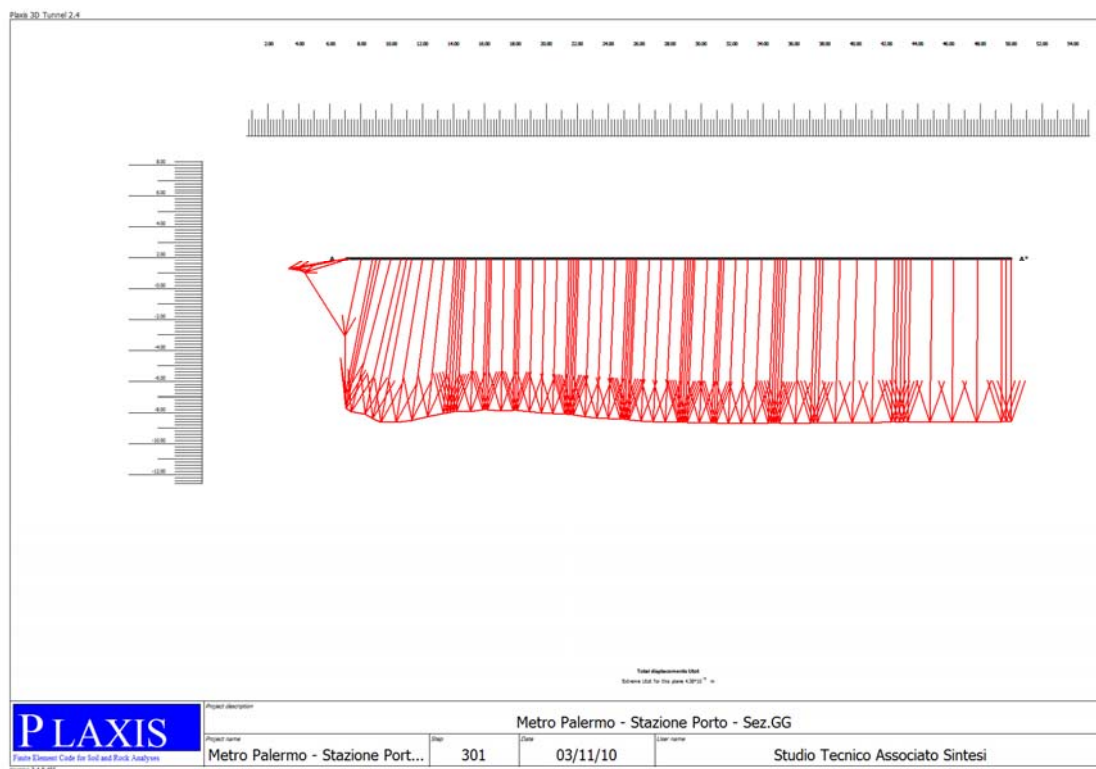
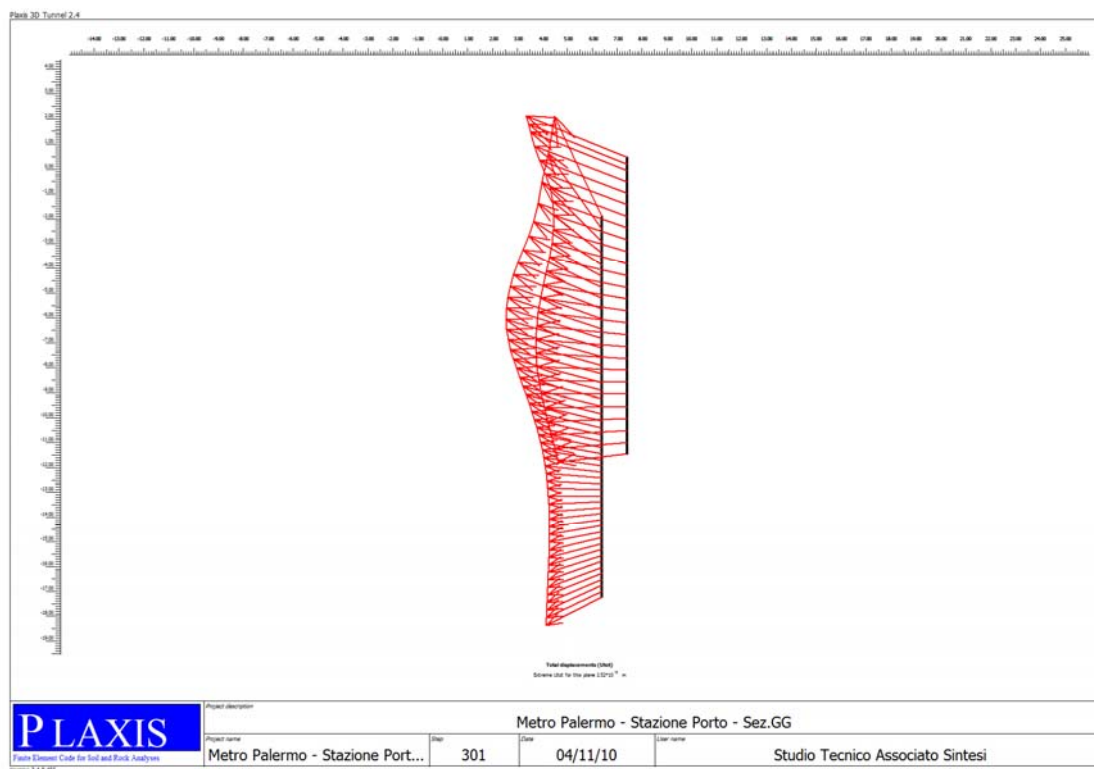


Figura 3 – Spostamenti totali di tutte le fasi fino alla fase di scavo massimo –  $s_{\max} = 4.4\text{ mm}$

|                                                                                                                                                         |                  |             |           |            |                                                                                                                                                                                                       |                          |                   |          |                  |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------|-----------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------|----------|------------------|--|
| APPALTATORE                                                                                                                                             |                  |             |           |            | ATI DI PROGETTAZIONE                                                                                                                                                                                  |                          |                   |          |                  |  |
|                                                                        |                  |             |           |            | (Mandataria) Sab (Mandante)<br>  |                          |                   |          |                  |  |
| CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA |                  |             |           |            |                                                                                                                                                                                                       |                          |                   |          |                  |  |
| Interferenze con gli edifici:<br>Relazione di calcolo dei cedimenti<br>indotti dalle opere in sotterraneo                                               | COMMESSA<br>RS72 | LOTTO<br>01 | FASE<br>E | ENTE<br>ZZ | TIPO DOC.<br>RH                                                                                                                                                                                       | OGGETTO DOC.<br>OC 00 00 | PROG. DOC.<br>002 | REV<br>C | Pag.<br>14 di 34 |  |



**Figura 4 – Spostamenti totali sulle paratie alla fase di scavo massimo –  $s_{\max} = 2.5 \text{ mm}$**

In Figura 5 è riportata la valutazione del rischio di danno secondo [Boscardin e Cording, 1989] per l'edificio che ricade nel bacino di subsidenza prodotto dallo scavo. Noto lo spostamento orizzontale  $S_h$  e quello verticale  $S_v$  in corrispondenza di alcuni punti sull'impronta della fondazione a quota piano campagna, sono stati calcolati la distorsione  $\beta$  e la deformazione assiale  $\varepsilon_h$  come:

$$\beta = \frac{\Delta S_v}{\Delta x}$$

$$\varepsilon_h = \frac{\Delta S_h}{\Delta x}$$

dove  $\Delta x$  è la differenza fra le ascisse dei punti considerati.

In Figura 6 è riportata un'altra valutazione del rischio di danno in funzione del cedimento massimo  $w_{\max}$  e della distorsione angolare massima  $\beta_{\max}$ , come proposto da [Grant et al., 1974].

Come si può osservare, entrambe le valutazioni permettono di concludere che il rischio di danno per gli

|                                                                                                                                                            |                  |             |           |            |                                                                                                                                                                                                                         |                          |                   |          |                  |  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------|-----------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------|----------|------------------|--|
| APPALTATORE                                                                                                                                                |                  |             |           |            | ATI DI PROGETTAZIONE                                                                                                                                                                                                    |                          |                   |          |                  |  |
|                                                                           |                  |             |           |            | <div>(Mandataria) Sab (Mandante)</div> <div></div> |                          |                   |          |                  |  |
| CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E<br>PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA |                  |             |           |            |                                                                                                                                                                                                                         |                          |                   |          |                  |  |
| Interferenze con gli edifici:<br>Relazione di calcolo dei cedimenti<br>indotti dalle opere in sotterraneo                                                  | COMMESSA<br>RS72 | LOTTO<br>01 | FASE<br>E | ENTE<br>ZZ | TIPO DOC.<br>RH                                                                                                                                                                                                         | OGGETTO DOC.<br>OC 00 00 | PROG. DOC.<br>002 | REV<br>C | Pag.<br>15 di 34 |  |

edifici è trascurabile.

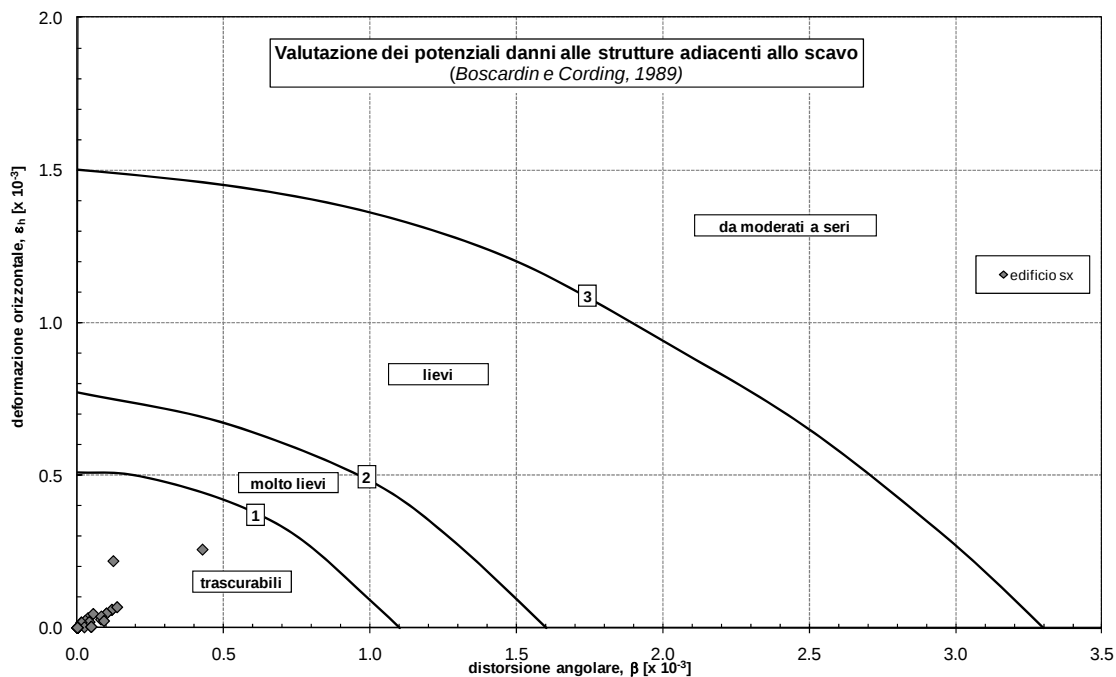


Figura 5 – Valutazione del rischio di danno per gli edifici [Boscardin e Cording, 1989]

|                                                                                                                                                            |                  |             |           |            |                                                                                                                                                                                                       |                          |                   |          |                  |  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------|-----------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------|----------|------------------|--|
| APPALTATORE                                                                                                                                                |                  |             |           |            | ATI DI PROGETTAZIONE                                                                                                                                                                                  |                          |                   |          |                  |  |
|                                                                           |                  |             |           |            | (Mandataria) Sab (Mandante)<br>  |                          |                   |          |                  |  |
| CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E<br>PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA |                  |             |           |            |                                                                                                                                                                                                       |                          |                   |          |                  |  |
| Interferenze con gli edifici:<br>Relazione di calcolo dei cedimenti<br>indotti dalle opere in sotterraneo                                                  | COMMESSA<br>RS72 | LOTTO<br>01 | FASE<br>E | ENTE<br>ZZ | TIPO DOC.<br>RH                                                                                                                                                                                       | OGGETTO DOC.<br>OC 00 00 | PROG. DOC.<br>002 | REV<br>C | Pag.<br>16 di 34 |  |

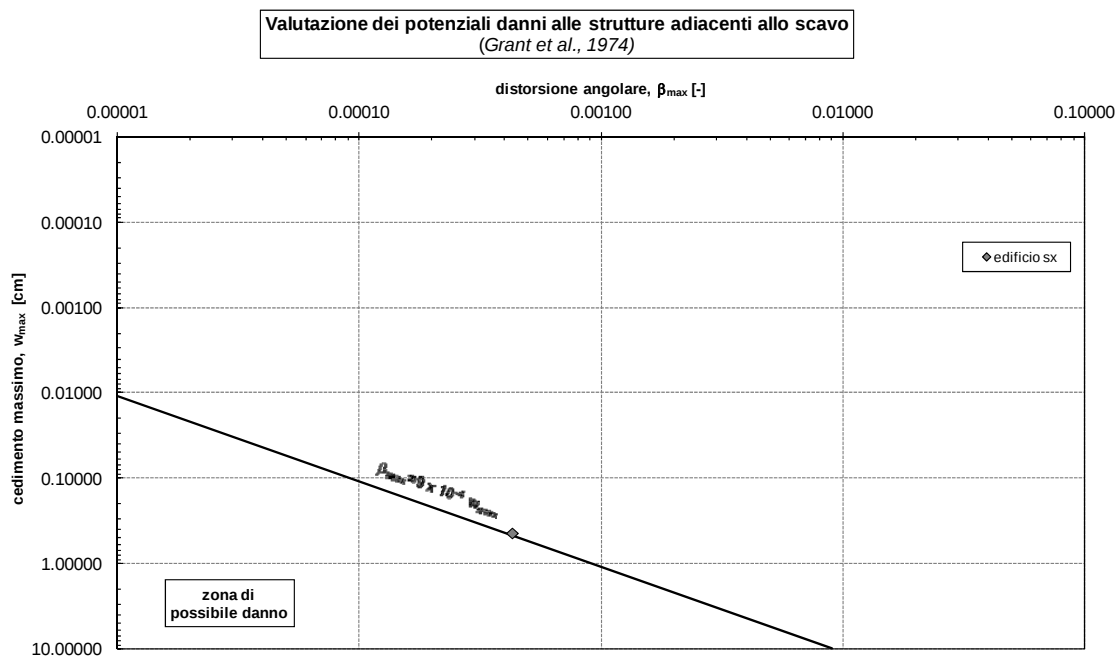


Figura 6 – Valutazione del rischio di danno per gli edifici [Grant et al., 1974]

|                                                                                                                                                         |                  |             |           |            |                                                                                                                   |                          |                   |          |                  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------|-----------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------|----------|------------------|
| APPALTATORE                                                                                                                                             |                  |             |           |            | ATI DI PROGETTAZIONE                                                                                              |                          |                   |          |                  |
|                                                                        |                  |             |           |            | (Mandataria) Sab (Mandante)<br> |                          |                   |          |                  |
| CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA |                  |             |           |            |                                                                                                                   |                          |                   |          |                  |
| Interferenze con gli edifici:<br>Relazione di calcolo dei cedimenti<br>indotti dalle opere in sotterraneo                                               | COMMESSA<br>RS72 | LOTTO<br>01 | FASE<br>E | ENTE<br>ZZ | TIPO DOC.<br>RH                                                                                                   | OGGETTO DOC.<br>OC 00 00 | PROG. DOC.<br>002 | REV<br>C | Pag.<br>17 di 34 |

## 5. ANALISI FEM MONODIMENSIONALE

Come riportato in premessa, l'analisi FEM monodimensionale ha lo scopo principale di dimensionare le strutture di sostegno del terreno, per via delle ipotesi semplificative intrinseche nel modello di calcolo, che simula l'interazione delle paratie con in terreno tramite molle orizzontali alla Winkler. Tale metodo, cautelativo in termini di sollecitazioni, non fornisce nessuna informazione sul campo di spostamenti a tergo, poiché non modella il terreno come un mezzo continuo. Una stima dei cedimenti a tergo della paratia può essere tuttavia ricavata in base a formulazioni semplificate pseudo-sperimentali disponibili in letteratura, come esposto nel seguente paragrafo.

### 5.1 DEFORMAZIONI INDOTTE IN FASE DI SCAVO – METODOLOGIA E RIFERIMENTI

I movimenti del terreno a tergo della paratia vengono generalmente interpretati mediante i seguenti due cinematismi elementari.

*Cinematismo tipo “a sbalzo” (Figura 7 - a)*

Nel caso di opere di sostegno non contrastate, ovvero nella fase iniziale degli scavi prima dell'installazione del primo livello di contrasti, la parete mostra la tipica deformata di strutture a sbalzo, con spostamenti orizzontali decrescenti all'aumentare della profondità. In tali condizioni il terreno a tergo subisce degli spostamenti che risultano circa proporzionali all'inverso della distanza dalla parete, con una distribuzione circa triangolare.

*Cinematismo tipo “profondo” (Figura 7 - b)*

Quando il movimento della parte superiore della struttura è impedito dalla presenza di uno o più livelli di supporti, la distribuzione degli spostamenti nel terreno è caratterizzata da movimenti profondi, al di sotto del piano di scavo. La deformata incrementale della parete presenta uno spanciamiento con spostamenti orizzontali massimi nell'intorno del fondo scavo (movimenti profondi). In tale circostanza i movimenti del piano campagna crescono con la distanza dalla parete fino ad un valore massimo per poi diminuire nuovamente ed annullarsi oltre una certa distanza limite.

La composizione di questi due cinematismi da luogo a cinematismi composti illustrato in Figura 7 - c.

I metodi empirici attualmente disponibili in letteratura tendono a correlare gli spostamenti verticali massimi del piano campagna ( $S_{v,max}$ ) con gli spostamenti orizzontali massimi della parete ( $S_{w,max}$ ), questi ultimi di più facile determinazione.

In Figura 8 si riporta la correlazione proposta da Mana & Clough (1981), successivamente modificata da Pane & Tamagnini (1997) sulla base di numerosi case-histories documentati in letteratura, con altezze di

|                                                                                                                                                            |  |  |  |  |                                                                                                                                                                                                                         |             |           |            |                 |                          |                   |          |                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-----------|------------|-----------------|--------------------------|-------------------|----------|------------------|
| APPALTATORE                                                                                                                                                |  |  |  |  | ATI DI PROGETTAZIONE                                                                                                                                                                                                    |             |           |            |                 |                          |                   |          |                  |
|                                                                           |  |  |  |  | <div>(Mandataria) Sab (Mandante)</div> <div></div> |             |           |            |                 |                          |                   |          |                  |
| CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E<br>PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA |  |  |  |  |                                                                                                                                                                                                                         |             |           |            |                 |                          |                   |          |                  |
| Interferenze con gli edifici:<br>Relazione di calcolo dei cedimenti<br>indotti dalle opere in sotterraneo                                                  |  |  |  |  | COMMESSA<br>RS72                                                                                                                                                                                                        | LOTTO<br>01 | FASE<br>E | ENTE<br>ZZ | TIPO DOC.<br>RH | OGGETTO DOC.<br>OC 00 00 | PROG. DOC.<br>002 | REV<br>C | Pag.<br>18 di 34 |

scavo comprese tra 6 m e 60 m, distinguendo le misure in base al cinematismo esibito dalla parete (tipo “a sbalzo” o “profondo”).

L'interpolazione lineare dei dati sperimentali disponibili fornisce una relazione:

$$\frac{S_{v,max}}{S_{w,max}} \approx 0.94 \div 0.64$$

Il limite superiore del rapporto si riferisce a strutture con cinematismo “profondo” e costituisce una correlazione molto soddisfacente dei risultati. Il valore inferiore fa riferimento a cinematismi di tipo “a sbalzo”, i cui dati sperimentali sono meno numerosi e più dispersi. In generale si assume in via cautelativa:

$$\frac{S_{v,max}}{S_{w,max}} \approx 1.0 \div 0.7$$

Noto lo spostamento verticale massimo una stima dei movimenti al piano campagna può essere fatta mediante i profili di subsidenza normalizzati, espressi in termini di distanza relativa X/H pari al rapporto tra la distanza dalla parete di sostegno (X) e la profondità di scavo (H).

Per le strutture di sostegno non contrastate in cui prevale un comportamento deformativo “a sbalzo”, il profilo di subsidenza può essere determinato con una forma circa triangolare che si estende fino ad una distanza pari a 2·H, ove H è la massima profondità di scavo (vedasi Figura 9). In questo caso, la distorsione angolare media a tergo della paratia sarà quindi la seguente:

$$\beta = \frac{S_{v,max}}{2H} = \frac{0.7 S_{w,max}}{2H}$$

In Figura 10 si riporta quello proposto sempre da Mana & Clough (1981), successivamente modificato da Pane & Tamagnini (1997) per strutture contrastate ovvero caratterizzate da cinematismi prevalentemente “profondi”. In questo caso le misure sperimentali sono ben approssimate da un inviluppo di forma trapezoidale che si estende fino ad una distanza pari a 2·H dalla parete e presenta un gradiente costante in corrispondenza della zona  $0.75 \cdot H < X < 2 \cdot H$ . Quindi la distorsione angolare media a tergo della paratia sarà la seguente:

$$\beta = \frac{S_{v,max}}{1.25H} = \frac{S_{w,max}}{1.25H}$$

Nel caso di edifici si dovrà quindi verificare che le distorsioni angolari non superino i valori ammissibili. In letteratura – criteri riportati da Lancellotta relativi agli studi effettuati da Skempton e McDonald (1956), da Polshin e Tokar (1957), da Burland e Worth (1974) – i valori di distorsioni angolari ammissibili per le strutture portanti sono indicati in  $1/300 \div 1/250$  ( $3.3 \div 4.0 \text{ ‰}$ ); mentre per le murature di tamponamento i valori scendono a  $1/500 \div 1/300$  ( $2.0 \div 3.0 \text{ ‰}$ ).

|                                                                                                                                                            |                  |             |           |            |                                                                                                                                                                                                                         |                          |                   |          |                  |  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------|-----------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------|----------|------------------|--|
| APPALTATORE                                                                                                                                                |                  |             |           |            | ATI DI PROGETTAZIONE                                                                                                                                                                                                    |                          |                   |          |                  |  |
|                                                                           |                  |             |           |            | <div>(Mandataria) Sab (Mandante)</div> <div></div> |                          |                   |          |                  |  |
| CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E<br>PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA |                  |             |           |            |                                                                                                                                                                                                                         |                          |                   |          |                  |  |
| Interferenze con gli edifici:<br>Relazione di calcolo dei cedimenti<br>indotti dalle opere in sotterraneo                                                  | COMMESSA<br>RS72 | LOTTO<br>01 | FASE<br>E | ENTE<br>ZZ | TIPO DOC.<br>RH                                                                                                                                                                                                         | OGGETTO DOC.<br>OC 00 00 | PROG. DOC.<br>002 | REV<br>C | Pag.<br>19 di 34 |  |

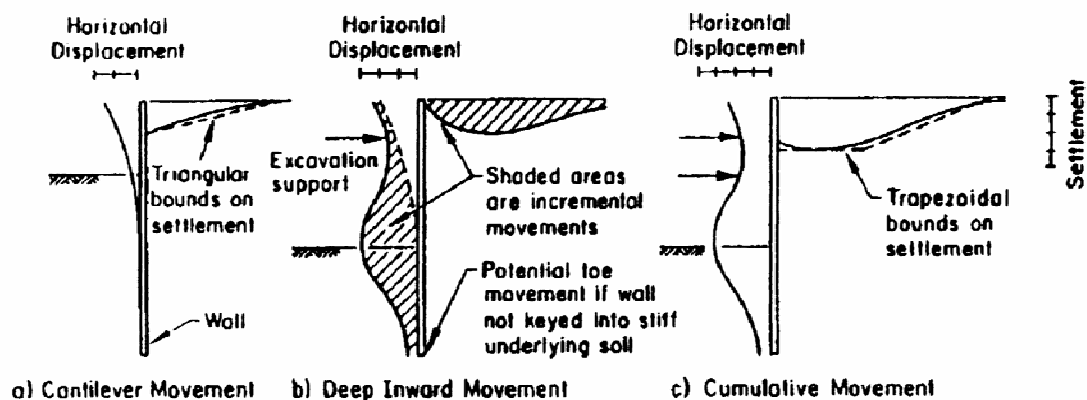


Figura 7 – cinematismi tipo (Clough & O'Rourke, 1990)

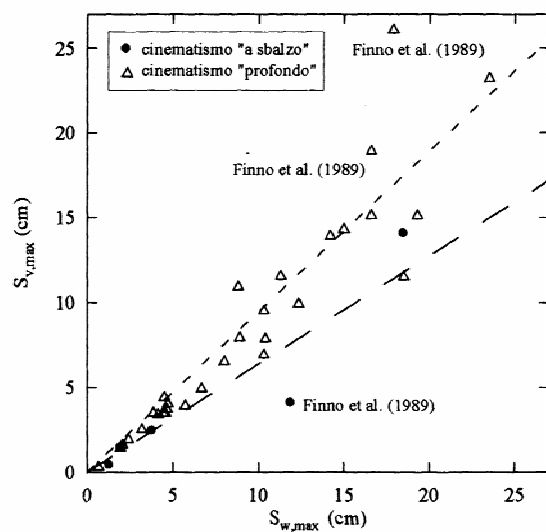


Figura 8 – correlazione tra cedimento massimo del piano campagna e spostamento max della parete (Pane e Tamagnini, 1997 dopo Mana & Clough, 1981)

|                                                                                                                                                         |                  |             |           |            |                                                                                                                                                                                                       |                          |                   |          |                  |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------|-----------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------|----------|------------------|--|
| APPALTATORE                                                                                                                                             |                  |             |           |            | ATI DI PROGETTAZIONE                                                                                                                                                                                  |                          |                   |          |                  |  |
|                                                                        |                  |             |           |            | (Mandataria) Sab (Mandante)<br>  |                          |                   |          |                  |  |
| CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA |                  |             |           |            |                                                                                                                                                                                                       |                          |                   |          |                  |  |
| Interferenze con gli edifici:<br>Relazione di calcolo dei cedimenti<br>indotti dalle opere in sotterraneo                                               | COMMESSA<br>RS72 | LOTTO<br>01 | FASE<br>E | ENTE<br>ZZ | TIPO DOC.<br>RH                                                                                                                                                                                       | OGGETTO DOC.<br>OC 00 00 | PROG. DOC.<br>002 | REV<br>C | Pag.<br>20 di 34 |  |

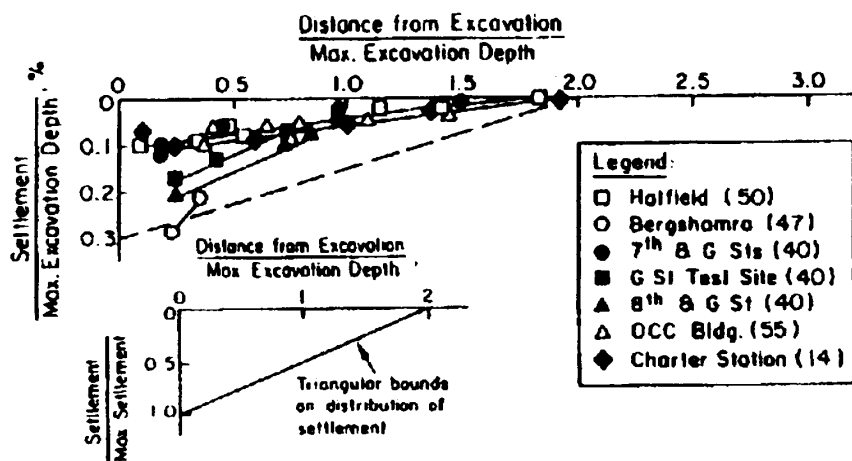


Figura 9 – spostamenti verticali misurati in funzione della distanza dalla parete (Clough & O'Rourke, 1990)

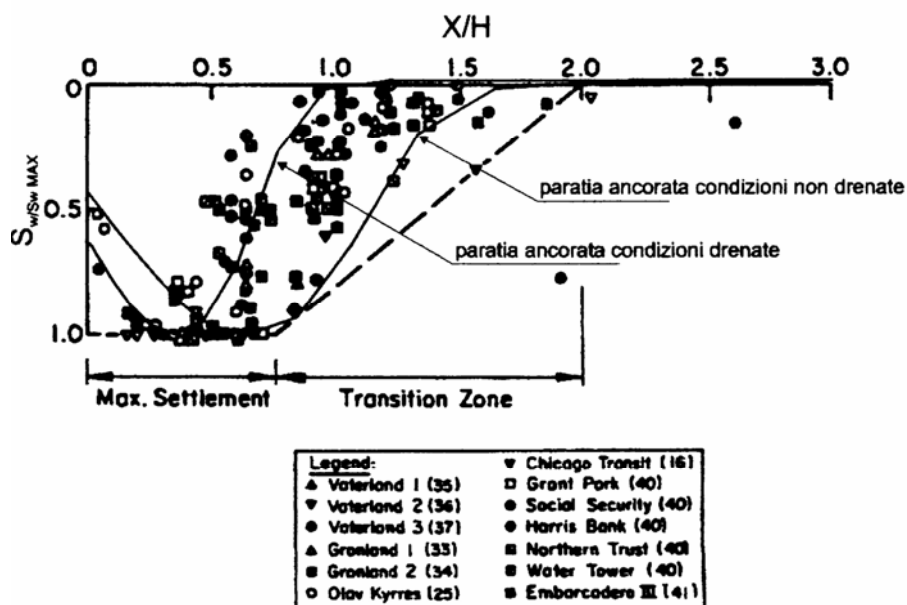


Figura 10 – profili di subsidenza normalizzati (Pane & Tamagnini, 1997 Mana & Clough, 1981)

|                                                                                                                                                         |                  |             |           |            |                                                                                                                                                                                                       |                          |                   |          |                  |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------|-----------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------|----------|------------------|--|
| APPALTATORE                                                                                                                                             |                  |             |           |            | ATI DI PROGETTAZIONE                                                                                                                                                                                  |                          |                   |          |                  |  |
|                                                                        |                  |             |           |            | (Mandataria) Sab (Mandante)<br>  |                          |                   |          |                  |  |
| CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA |                  |             |           |            |                                                                                                                                                                                                       |                          |                   |          |                  |  |
| Interferenze con gli edifici:<br>Relazione di calcolo dei cedimenti<br>indotti dalle opere in sotterraneo                                               | COMMESSA<br>RS72 | LOTTO<br>01 | FASE<br>E | ENTE<br>ZZ | TIPO DOC.<br>RH                                                                                                                                                                                       | OGGETTO DOC.<br>OC 00 00 | PROG. DOC.<br>002 | REV<br>C | Pag.<br>21 di 34 |  |

## 5.2 SEZIONE 28 ALLA PROGRESSIVA 4+200

Si riporta di seguito lo spostamento massimo sulla paratia analizzata nella presente sezione di calcolo, ed il relativo diagramma che rappresenta la deformata: come si evidenzia lo spostamento massimo si verifica in pancia.

I parametri di calcolo, le fasi esecutive, i risultati completi e gli altri dettagli dell'analisi sono riportati nell'apposita relazione di calcolo (cfr. [DR 6])

Tabella 1 – Spostamento massimo per la sezione di calcolo 28

|                                             |                |
|---------------------------------------------|----------------|
| spostamento massimo in esercizio, $S_{max}$ | 2 mm           |
| quota spostamento massimo, $Z_{Smax}$       | -9.5 m da p.c. |

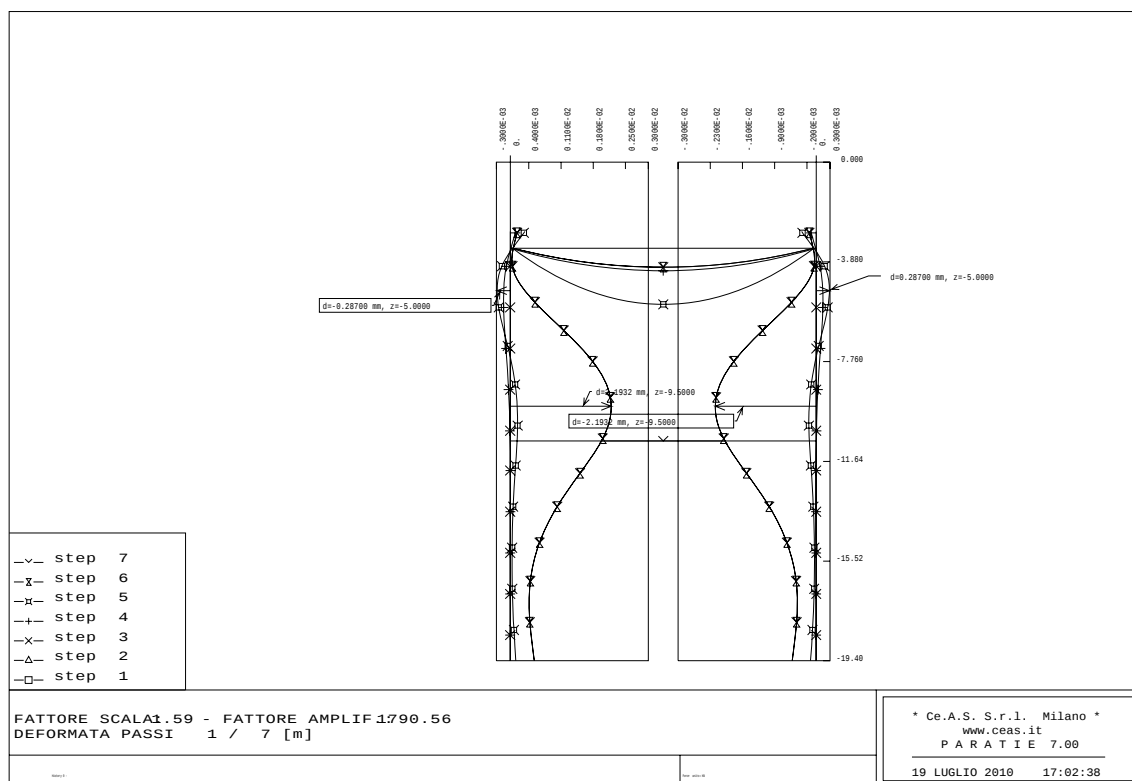


Figura 11 – spostamenti sezione 28

In base a quanto esposto nel paragrafo 5.1 ed agli spostamenti orizzontali  $S_{w,max}$  esposti nella precedente tabella, si possono determinare gli spostamenti verticali massimi  $S_{v,max}$  attesi a tergo della paratia e, in

|                                                                                                                                                         |                  |             |           |            |                                                                                                                                                                                                                         |                          |                   |          |                  |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------|-----------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------|----------|------------------|--|
| APPALTATORE                                                                                                                                             |                  |             |           |            | ATI DI PROGETTAZIONE                                                                                                                                                                                                    |                          |                   |          |                  |  |
|                                                                        |                  |             |           |            | <div>(Mandataria) Sab (Mandante)</div> <div></div> |                          |                   |          |                  |  |
| CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA |                  |             |           |            |                                                                                                                                                                                                                         |                          |                   |          |                  |  |
| <b>Interferenze con gli edifici:<br/>Relazione di calcolo dei cedimenti<br/>indotti dalle opere in sotterraneo</b>                                      | COMMESSA<br>RS72 | LOTTO<br>01 | FASE<br>E | ENTE<br>ZZ | TIPO DOC.<br>RH                                                                                                                                                                                                         | OGGETTO DOC.<br>OC 00 00 | PROG. DOC.<br>002 | REV<br>C | Pag.<br>22 di 34 |  |

funzione dell'altezza di scavo  $H$ , una stima della distorsione angolare media  $\beta$  sugli edifici. Tali risultati sono esposti nella seguente tabella, per un cinematismo di tipo "profondo".

**Tabella 2 – distorsione angolare sugli edifici**

| H    | $S_{v,max}/S_{w,max}$ | $S_{w,max}$ | $\beta$ |
|------|-----------------------|-------------|---------|
| mm   | -                     | mm          | -       |
| 8500 | 1                     | 2           | 0.19 ‰  |

In letteratura i valori di distorsioni angolari ammissibili per le strutture portanti sono indicati in  $1/300 \div 1/250$  ( $3.3 \div 4.0$  ‰); mentre per le murature di tamponamento i valori scendono a  $1/500 \div 1/300$  ( $2.0 \div 3.0$  ‰).

Si può quindi concludere che l'entità e la distribuzione dei cedimenti indotti sugli edifici esistenti non sono tali da provocare danni né alle strutture né alle tamponature.

La presente sezione di calcolo è stata oggetto anche di un'analisi FEM piana, in cui sono stati ottenuti risultati confrontabili in termini di spostamenti orizzontali e di deformazione angolare sul p.c., quindi si può affermare che per i casi in esame le valutazioni effettuate sono sufficienti per scongiurare danni agli edifici esistenti.

### 5.3 SEZIONE 17 ALLA PROGRESSIVA 3+975

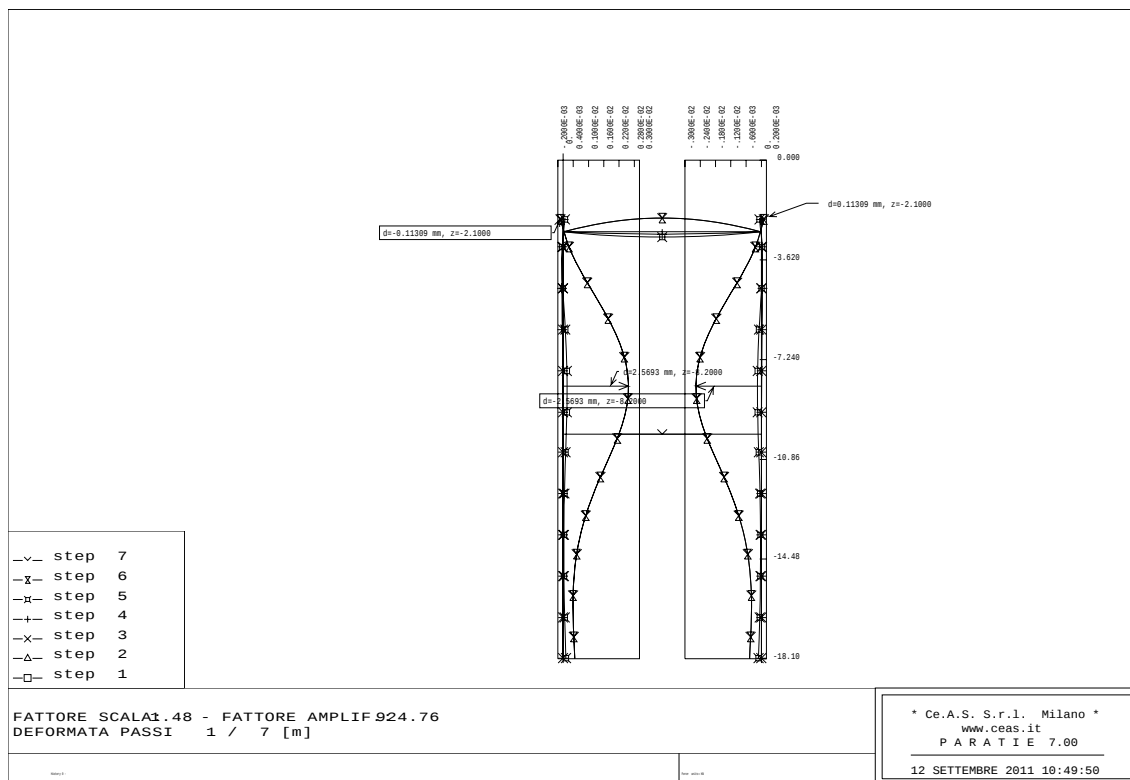
Si riporta di seguito lo spostamento massimo sulla paratia analizzata nella presente sezione di calcolo, ed il relativo diagramma che rappresenta la deformata: come si evidenzia lo spostamento massimo si verifica in pancia.

I parametri di calcolo, le fasi esecutive, i risultati completi e gli altri dettagli dell'analisi sono riportati nell'apposita relazione di calcolo (cfr. [DR 7])

**Tabella 3 – Spostamento massimo per la sezione di calcolo 17**

|                                             |                |
|---------------------------------------------|----------------|
| spostamento massimo in esercizio, $S_{max}$ | 3 mm           |
| quota spostamento massimo, $Z_{Smax}$       | -8.2 m da p.c. |

|                                                                                                                                                            |                  |             |           |            |                                                                                                                                                                                                                         |                          |                   |          |                  |  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------|-----------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------|----------|------------------|--|
| APPALTATORE                                                                                                                                                |                  |             |           |            | ATI DI PROGETTAZIONE                                                                                                                                                                                                    |                          |                   |          |                  |  |
|                                                                           |                  |             |           |            | <div>(Mandataria) Sab (Mandante)</div> <div></div> |                          |                   |          |                  |  |
| CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E<br>PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA |                  |             |           |            |                                                                                                                                                                                                                         |                          |                   |          |                  |  |
| Interferenze con gli edifici:<br>Relazione di calcolo dei cedimenti<br>indotti dalle opere in sotterraneo                                                  | COMMESSA<br>RS72 | LOTTO<br>01 | FASE<br>E | ENTE<br>ZZ | TIPO DOC.<br>RH                                                                                                                                                                                                         | OGGETTO DOC.<br>OC 00 00 | PROG. DOC.<br>002 | REV<br>C | Pag.<br>23 di 34 |  |



**Figura 12 – spostamenti sezione 17**

In base a quanto esposto nel paragrafo 5.1 ed agli spostamenti orizzontali  $S_{w,max}$  esposti nella precedente tabella, si possono determinare gli spostamenti verticali massimi  $S_{v,max}$  attesi a tergo della paratia e, in funzione dell'altezza di scavo  $H$ , una stima della distorsione angolare media  $\beta$  sugli edifici. Tali risultati sono esposti nella seguente tabella, per un cinematismo di tipo “profondo”.

|                                                                                                                                                         |                  |             |           |            |                                                                                                                                                                                                       |                          |                   |          |                  |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------|-----------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------|----------|------------------|--|
| APPALTATORE                                                                                                                                             |                  |             |           |            | ATI DI PROGETTAZIONE                                                                                                                                                                                  |                          |                   |          |                  |  |
|                                                                        |                  |             |           |            | (Mandataria) Sab (Mandante)<br>  |                          |                   |          |                  |  |
| CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA |                  |             |           |            |                                                                                                                                                                                                       |                          |                   |          |                  |  |
| Interferenze con gli edifici:<br>Relazione di calcolo dei cedimenti<br>indotti dalle opere in sotterraneo                                               | COMMESSA<br>RS72 | LOTTO<br>01 | FASE<br>E | ENTE<br>ZZ | TIPO DOC.<br>RH                                                                                                                                                                                       | OGGETTO DOC.<br>OC 00 00 | PROG. DOC.<br>002 | REV<br>C | Pag.<br>24 di 34 |  |

**Tabella 4 – distorsione angolare sugli edifici**

| H    | $S_{v,max}/S_{w,max}$ | $S_{w,max}$ | $\beta$ |
|------|-----------------------|-------------|---------|
| mm   | -                     | mm          | -       |
| 8500 | 1                     | 9           | 0.3 ‰   |

In letteratura i valori di distorsioni angolari ammissibili per le strutture portanti sono indicati in  $1/300 \div 1/250$  ( $3.3 \div 4.0$  ‰); mentre per le murature di tamponamento i valori scendono a  $1/500 \div 1/300$  ( $2.0 \div 3.0$  ‰).

Si può quindi concludere che l'entità e la distribuzione dei cedimenti indotti sugli edifici esistenti non sono tali da provocare danni né alle strutture né alle tamponature.

#### **5.4 SEZIONE 24 ALLA PROGRESSIVA 4+125**

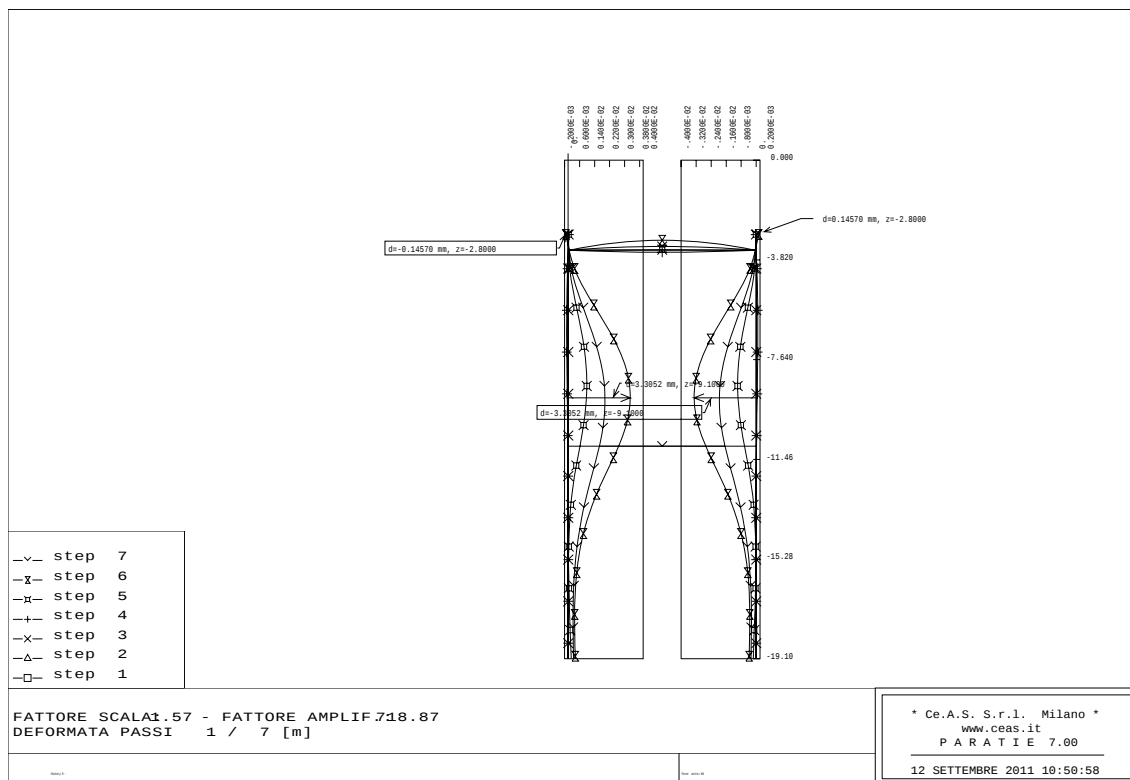
Si riporta di seguito lo spostamento massimo sulla paratia analizzata nella presente sezione di calcolo, ed il relativo diagramma che rappresenta la deformata: come si evidenzia lo spostamento massimo si verifica in pancia.

I parametri di calcolo, le fasi esecutive, i risultati completi e gli altri dettagli dell'analisi sono riportati nell'apposita relazione di calcolo (cfr. [DR 7])

**Tabella 5 – Spostamento massimo per la sezione di calcolo 24**

|                                             |                |
|---------------------------------------------|----------------|
| spostamento massimo in esercizio, $S_{max}$ | 3 mm           |
| quota spostamento massimo, $Z_{Smax}$       | -9.1 m da p.c. |

|                                                                                                                                                         |                  |             |           |            |                                                                                                                                                                                                                         |                          |                   |          |                  |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------|-----------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------|----------|------------------|--|
| APPALTATORE                                                                                                                                             |                  |             |           |            | ATI DI PROGETTAZIONE                                                                                                                                                                                                    |                          |                   |          |                  |  |
|                                                                        |                  |             |           |            | <div>(Mandataria) Sab (Mandante)</div> <div></div> |                          |                   |          |                  |  |
| CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA |                  |             |           |            |                                                                                                                                                                                                                         |                          |                   |          |                  |  |
| Interferenze con gli edifici:<br>Relazione di calcolo dei cedimenti<br>indotti dalle opere in sotterraneo                                               | COMMESSA<br>RS72 | LOTTO<br>01 | FASE<br>E | ENTE<br>ZZ | TIPO DOC.<br>RH                                                                                                                                                                                                         | OGGETTO DOC.<br>OC 00 00 | PROG. DOC.<br>002 | REV<br>C | Pag.<br>25 di 34 |  |



**Figura 13 – spostamenti sezione 24**

In base a quanto esposto nel paragrafo 5.1 ed agli spostamenti orizzontali  $S_{w,max}$  esposti nella precedente tabella, si possono determinare gli spostamenti verticali massimi  $S_{v,max}$  attesi a tergo della paratia e, in funzione dell'altezza di scavo  $H$ , una stima della distorsione angolare media  $\beta$  sugli edifici. Tali risultati sono esposti nella seguente tabella, per un cinematismo di tipo "profondo".

**Tabella 6 – distorsione angolare sugli edifici**

| H    | $S_{v,max}/S_{w,max}$ | $S_{w,max}$ | $\beta$ |
|------|-----------------------|-------------|---------|
| mm   | -                     | mm          | -       |
| 8500 | 1                     | 3           | 0.28 ‰  |

In letteratura i valori di distorsioni angolari ammissibili per le strutture portanti sono indicati in  $1/300 \div 1/250$  ( $3.3 \div 4.0$  ‰); mentre per le murature di tamponamento i valori scendono a  $1/500 \div 1/300$  ( $2.0 \div 3.0$  ‰).

Si può quindi concludere che l'entità e la distribuzione dei cedimenti indotti sugli edifici esistenti non sono tali da provocare danni né alle strutture né alle tamponature.

|                                                                                                                                                         |                  |             |           |            |                                                                                                                                                                                                       |                          |                   |          |                  |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------|-----------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------|----------|------------------|--|
| APPALTATORE                                                                                                                                             |                  |             |           |            | ATI DI PROGETTAZIONE                                                                                                                                                                                  |                          |                   |          |                  |  |
|                                                                        |                  |             |           |            | (Mandataria) Sab (Mandante)<br>  |                          |                   |          |                  |  |
| CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA |                  |             |           |            |                                                                                                                                                                                                       |                          |                   |          |                  |  |
| Interferenze con gli edifici:<br>Relazione di calcolo dei cedimenti<br>indotti dalle opere in sotterraneo                                               | COMMESSA<br>RS72 | LOTTO<br>01 | FASE<br>E | ENTE<br>ZZ | TIPO DOC.<br>RH                                                                                                                                                                                       | OGGETTO DOC.<br>OC 00 00 | PROG. DOC.<br>002 | REV<br>C | Pag.<br>26 di 34 |  |

## 5.5 SEZIONE 26 ALLA PROGRESSIVA 4+174

Si riporta di seguito lo spostamento massimo sulla paratia analizzata nella presente sezione di calcolo, ed il relativo diagramma che rappresenta la deformata: come si evidenzia lo spostamento massimo si verifica in pancia.

I parametri di calcolo, le fasi esecutive, i risultati completi e gli altri dettagli dell'analisi sono riportati nell'apposita relazione di calcolo (cfr. [DR 6])

Tabella 7 – Spostamento massimo per la sezione di calcolo 26

|                                             |                |
|---------------------------------------------|----------------|
| spostamento massimo in esercizio, $S_{max}$ | 2 mm           |
| quota spostamento massimo, $Z_{Smax}$       | -9.2 m da p.c. |

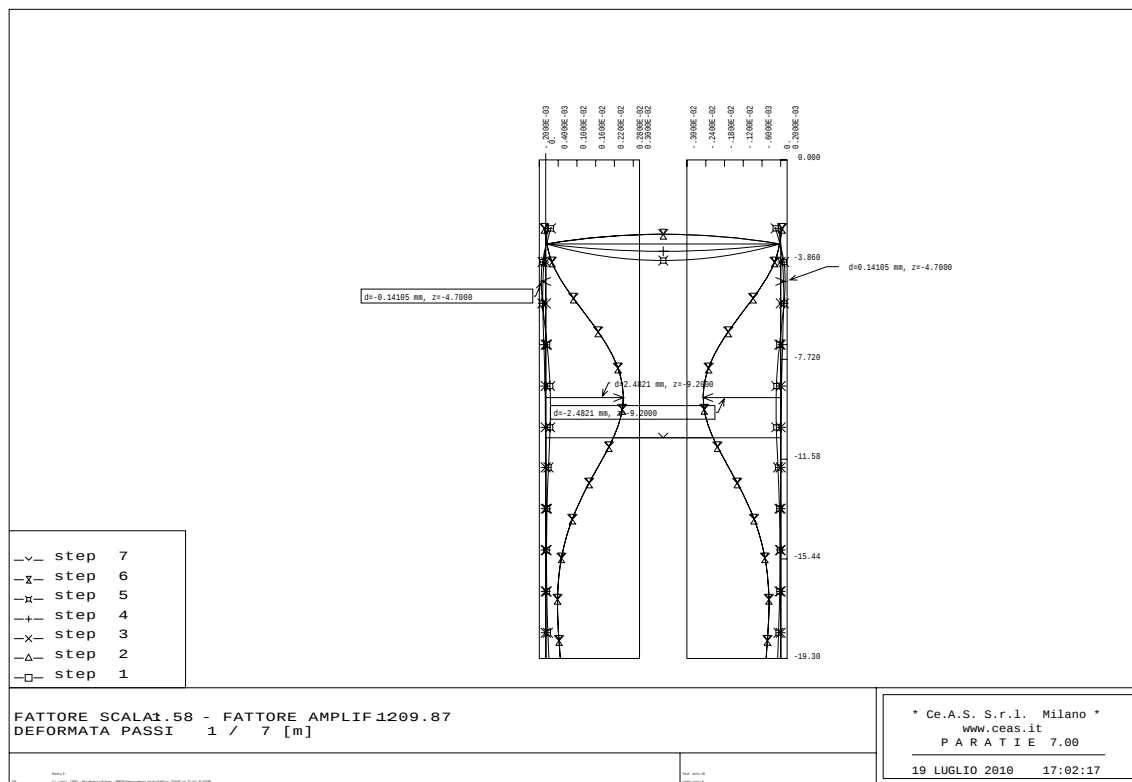


Figura 14 – spostamenti sezione 26

In base a quanto esposto nel paragrafo 5.1 ed agli spostamenti orizzontali  $S_{w,max}$  esposti nella precedente tabella, si possono determinare gli spostamenti verticali massimi  $S_{v,max}$  attesi a tergo della paratia e, in funzione dell'altezza di scavo  $H$ , una stima della distorsione angolare media  $\beta$  sugli edifici. Tali risultati

|                                                                                                                                                         |                  |             |           |            |                                                                                                                   |                          |                   |          |                  |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------|-----------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------|----------|------------------|--|
| APPALTATORE                                                                                                                                             |                  |             |           |            | ATI DI PROGETTAZIONE                                                                                              |                          |                   |          |                  |  |
|                                                                        |                  |             |           |            | (Mandataria) Sab (Mandante)<br> |                          |                   |          |                  |  |
| CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA |                  |             |           |            |                                                                                                                   |                          |                   |          |                  |  |
| Interferenze con gli edifici:<br>Relazione di calcolo dei cedimenti<br>indotti dalle opere in sotterraneo                                               | COMMESSA<br>RS72 | LOTTO<br>01 | FASE<br>E | ENTE<br>ZZ | TIPO DOC.<br>RH                                                                                                   | OGGETTO DOC.<br>OC 00 00 | PROG. DOC.<br>002 | REV<br>C | Pag.<br>27 di 34 |  |

sono esposti nella seguente tabella, per un cinematismo di tipo "profondo".

**Tabella 8 – distorsione angolare sugli edifici**

| H    | $S_{v,max}/S_{w,max}$ | $S_{w,max}$ | $\beta$ |
|------|-----------------------|-------------|---------|
| mm   | -                     | mm          | -       |
| 8500 | 1                     | 2           | 0.19 ‰  |

In letteratura i valori di distorsioni angolari ammissibili per le strutture portanti sono indicati in  $1/300 \div 1/250$  ( $3.3 \div 4.0$  ‰); mentre per le murature di tamponamento i valori scendono a  $1/500 \div 1/300$  ( $2.0 \div 3.0$  ‰).

Si può quindi concludere che l'entità e la distribuzione dei cedimenti indotti sugli edifici esistenti non sono tali da provocare danni né alle strutture né alle tamponature.

## 5.6 SEZIONE 42 ALLA PROGRESSIVA 4+530

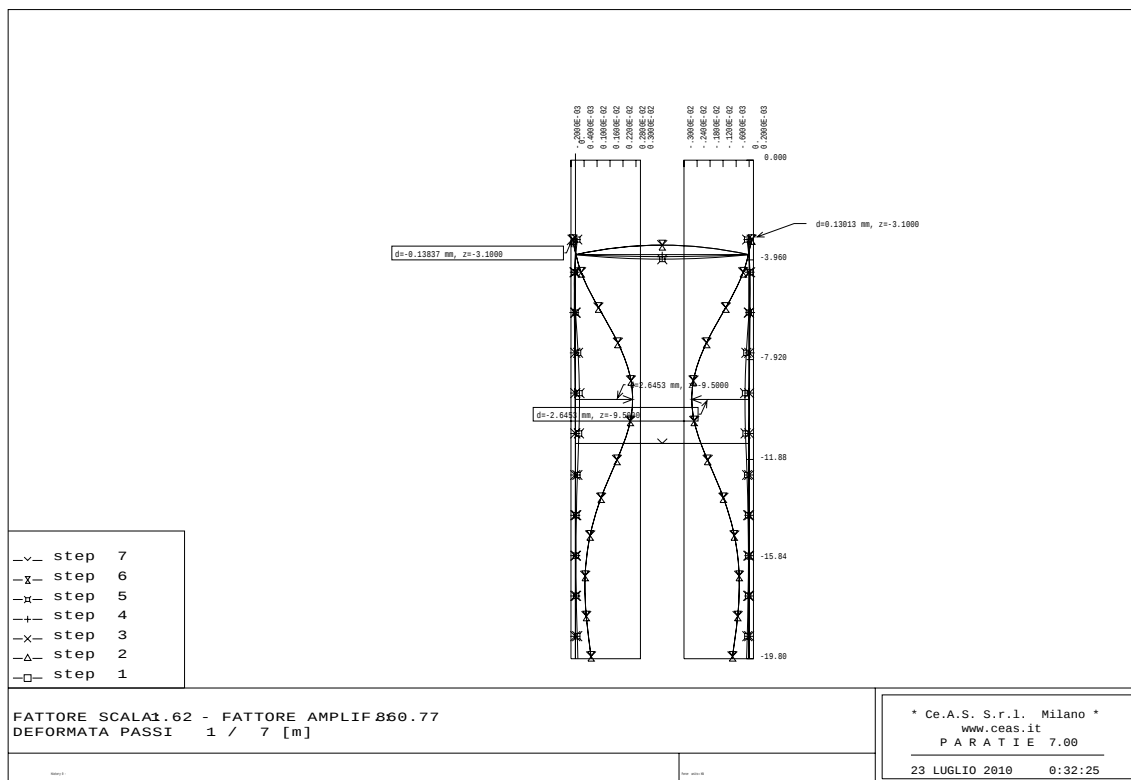
Si riporta di seguito lo spostamento massimo sulla paratia analizzata nella presente sezione di calcolo, ed il relativo diagramma che rappresenta la deformata: come si evidenzia lo spostamento massimo si verifica in pancia.

I parametri di calcolo, le fasi esecutive, i risultati completi e gli altri dettagli dell'analisi sono riportati nell'apposita relazione di calcolo (cfr. [DR 8])

**Tabella 9 – Spostamento massimo per la sezione di calcolo 42**

|                                             |                |
|---------------------------------------------|----------------|
| spostamento massimo in esercizio, $S_{max}$ | 3 mm           |
| quota spostamento massimo, $Z_{Smax}$       | -9.5 m da p.c. |

|                                                                                                                                                         |                  |             |           |            |                                                                                                                                                                                                       |                          |                   |          |                  |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------|-----------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------|----------|------------------|--|
| APPALTATORE                                                                                                                                             |                  |             |           |            | ATI DI PROGETTAZIONE                                                                                                                                                                                  |                          |                   |          |                  |  |
|                                                                        |                  |             |           |            | (Mandataria) Sab (Mandante)<br>  |                          |                   |          |                  |  |
| CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA |                  |             |           |            |                                                                                                                                                                                                       |                          |                   |          |                  |  |
| Interferenze con gli edifici:<br>Relazione di calcolo dei cedimenti<br>indotti dalle opere in sotterraneo                                               | COMMESSA<br>RS72 | LOTTO<br>01 | FASE<br>E | ENTE<br>ZZ | TIPO DOC.<br>RH                                                                                                                                                                                       | OGGETTO DOC.<br>OC 00 00 | PROG. DOC.<br>002 | REV<br>C | Pag.<br>28 di 34 |  |



**Figura 15 – spostamenti sezione 42**

In base a quanto esposto nel paragrafo 5.1 ed agli spostamenti orizzontali  $S_{w,max}$  esposti nella precedente tabella, si possono determinare gli spostamenti verticali massimi  $S_{v,max}$  attesi a tergo della paratia e, in funzione dell'altezza di scavo  $H$ , una stima della distorsione angolare media  $\beta$  sugli edifici. Tali risultati sono esposti nella seguente tabella, per un cinematismo di tipo "profondo".

**Tabella 10 – distorsione angolare sugli edifici**

| H    | $S_{v,max}/S_{w,max}$ | $S_{w,max}$ | $\beta$ |
|------|-----------------------|-------------|---------|
| mm   | -                     | mm          | -       |
| 8500 | 1                     | 3           | 0.28 ‰  |

In letteratura i valori di distorsioni angolari ammissibili per le strutture portanti sono indicati in  $1/300 \div 1/250$  ( $3.3 \div 4.0$  ‰); mentre per le murature di tamponamento i valori scendono a  $1/500 \div 1/300$  ( $2.0 \div 3.0$  ‰).

Si può quindi concludere che l'entità e la distribuzione dei cedimenti indotti sugli edifici esistenti non sono tali da provocare danni né alle strutture né alle tamponature.

|                                                                                                                                                         |                  |             |           |            |                                                                                                                                                                                                                         |                          |                   |          |                  |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------|-----------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------|----------|------------------|--|
| APPALTATORE                                                                                                                                             |                  |             |           |            | ATI DI PROGETTAZIONE                                                                                                                                                                                                    |                          |                   |          |                  |  |
|                                                                        |                  |             |           |            | <div>(Mandataria) Sab (Mandante)</div> <div></div> |                          |                   |          |                  |  |
| CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA |                  |             |           |            |                                                                                                                                                                                                                         |                          |                   |          |                  |  |
| Interferenze con gli edifici:<br>Relazione di calcolo dei cedimenti<br>indotti dalle opere in sotterraneo                                               | COMMESSA<br>RS72 | LOTTO<br>01 | FASE<br>E | ENTE<br>ZZ | TIPO DOC.<br>RH                                                                                                                                                                                                         | OGGETTO DOC.<br>OC 00 00 | PROG. DOC.<br>002 | REV<br>C | Pag.<br>29 di 34 |  |

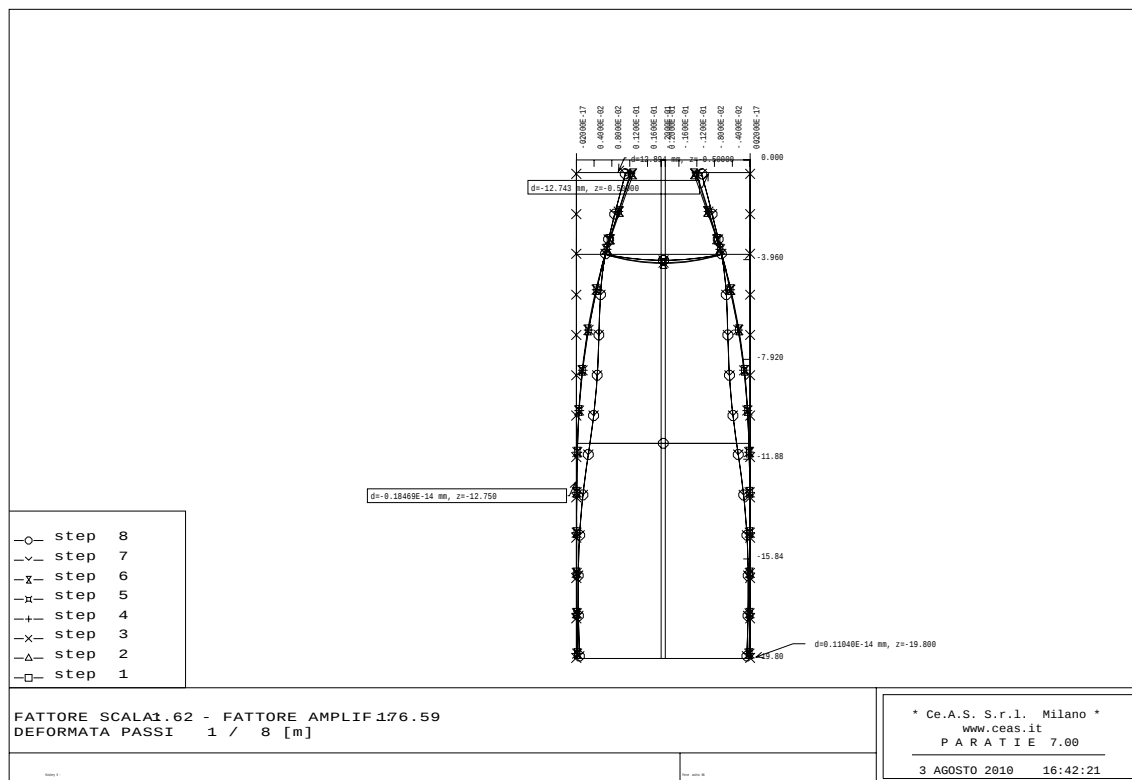
## 5.7 SEZIONE 45 ALLA PROGRESSIVA 4+594

Si riporta di seguito lo spostamento massimo sulla paratia analizzata nella presente sezione di calcolo, ed il relativo diagramma che rappresenta la deformata: come si evidenzia lo spostamento massimo si verifica in pancia.

I parametri di calcolo, le fasi esecutive, i risultati completi e gli altri dettagli dell'analisi sono riportati nell'apposita relazione di calcolo (cfr. [DR 8])

**Tabella 11 – Spostamento massimo per la sezione di calcolo 45**

|                                             |                |
|---------------------------------------------|----------------|
| spostamento massimo in esercizio, $S_{max}$ | 13 mm          |
| quota spostamento massimo, $Z_{Smax}$       | -0.5 m da p.c. |



**Figura 16 – spostamenti sezione 45**

In base a quanto esposto nel paragrafo 5.1 ed agli spostamenti orizzontali  $S_{w,max}$  esposti nella precedente tabella, si possono determinare gli spostamenti verticali massimi  $S_{v,max}$  attesi a tergo della paratia e, in funzione dell'altezza di scavo  $H$ , una stima della distorsione angolare media  $\beta$  sugli edifici. Tali risultati

|                                                                                                                                                         |                  |             |           |            |                                                                                                                                                                                                                         |                          |                   |          |                  |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------|-----------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------|----------|------------------|--|
| APPALTATORE                                                                                                                                             |                  |             |           |            | ATI DI PROGETTAZIONE                                                                                                                                                                                                    |                          |                   |          |                  |  |
|                                                                        |                  |             |           |            | <div>(Mandataria) Sab (Mandante)</div> <div></div> |                          |                   |          |                  |  |
| CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA |                  |             |           |            |                                                                                                                                                                                                                         |                          |                   |          |                  |  |
| Interferenze con gli edifici:<br>Relazione di calcolo dei cedimenti<br>indotti dalle opere in sotterraneo                                               | COMMESSA<br>RS72 | LOTTO<br>01 | FASE<br>E | ENTE<br>ZZ | TIPO DOC.<br>RH                                                                                                                                                                                                         | OGGETTO DOC.<br>OC 00 00 | PROG. DOC.<br>002 | REV<br>C | Pag.<br>30 di 34 |  |

sono esposti nella seguente tabella, per un cinematismo di tipo "profondo".

**Tabella 12 – distorsione angolare sugli edifici**

| H     | $S_{v,max}/S_{w,max}$ | $S_{w,max}$ | $\beta$ |
|-------|-----------------------|-------------|---------|
| mm    | -                     | mm          | -       |
| 11500 | 1                     | 11          | 0.77 ‰  |

In letteratura i valori di distorsioni angolari ammissibili per le strutture portanti sono indicati in  $1/300 \div 1/250$  ( $3.3 \div 4.0$  ‰); mentre per le murature di tamponamento i valori scendono a  $1/500 \div 1/300$  ( $2.0 \div 3.0$  ‰).

Si può quindi concludere che l'entità e la distribuzione dei cedimenti indotti sugli edifici esistenti non sono tali da provocare danni né alle strutture né alle tamponature.

## 5.8 SEZIONE 50 ALLA PROGRESSIVA 4+700

Si riporta di seguito lo spostamento massimo sulla paratia analizzata nella presente sezione di calcolo, ed il relativo diagramma che rappresenta la deformata: come si evidenzia lo spostamento massimo si verifica in pancia.

I parametri di calcolo, le fasi esecutive, i risultati completi e gli altri dettagli dell'analisi sono riportati nell'apposita relazione di calcolo (cfr. [DR 8])

**Tabella 13 – Spostamento massimo per la sezione di calcolo 50**

|                                             |                |
|---------------------------------------------|----------------|
| spostamento massimo in esercizio, $S_{max}$ | 9 mm           |
| quota spostamento massimo, $Z_{Smax}$       | -0.5 m da p.c. |

|                                                                                                                                                         |                  |             |           |            |                                                                                                                                                                                                                         |                          |                   |          |                  |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------|-----------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------|----------|------------------|--|
| APPALTATORE                                                                                                                                             |                  |             |           |            | ATI DI PROGETTAZIONE                                                                                                                                                                                                    |                          |                   |          |                  |  |
|                                                                        |                  |             |           |            | <div>(Mandataria) Sab (Mandante)</div> <div></div> |                          |                   |          |                  |  |
| CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA |                  |             |           |            |                                                                                                                                                                                                                         |                          |                   |          |                  |  |
| Interferenze con gli edifici:<br>Relazione di calcolo dei cedimenti<br>indotti dalle opere in sotterraneo                                               | COMMESSA<br>RS72 | LOTTO<br>01 | FASE<br>E | ENTE<br>ZZ | TIPO DOC.<br>RH                                                                                                                                                                                                         | OGGETTO DOC.<br>OC 00 00 | PROG. DOC.<br>002 | REV<br>C | Pag.<br>31 di 34 |  |

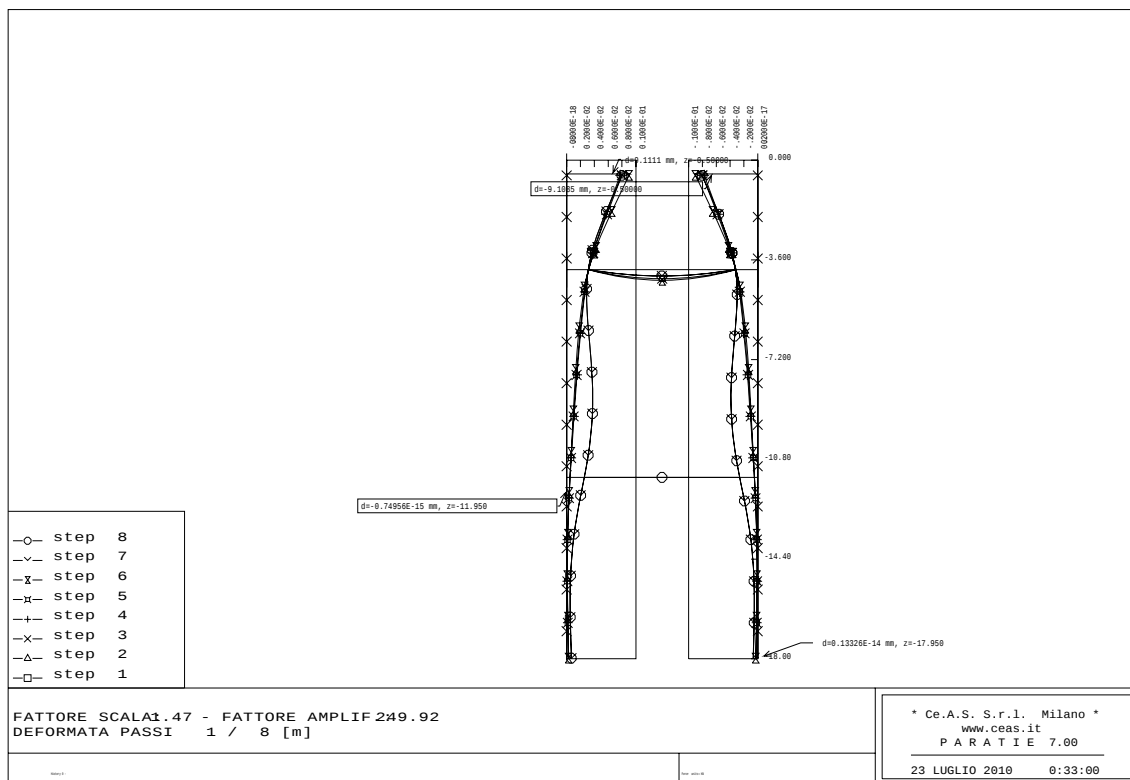


Figura 17 – spostamenti sezione 50

In base a quanto esposto nel paragrafo 5.1 ed agli spostamenti orizzontali  $S_{w,max}$  esposti nella precedente tabella, si possono determinare gli spostamenti verticali massimi  $S_{v,max}$  attesi a tergo della paratia e, in funzione dell'altezza di scavo  $H$ , una stima della distorsione angolare media  $\beta$  sugli edifici. Tali risultati sono esposti nella seguente tabella, per un cinematismo di tipo “profondo”.

Tabella 14 – distorsione angolare sugli edifici

| H     | $S_{v,max}/S_{w,max}$ | $S_{w,max}$ | $\beta$ |
|-------|-----------------------|-------------|---------|
| mm    | -                     | mm          | -       |
| 11000 | 1                     | 9           | 0.65 ‰  |

In letteratura i valori di distorsioni angolari ammissibili per le strutture portanti sono indicati in  $1/300 \div 1/250$  ( $3.3 \div 4.0$  ‰); mentre per le murature di tamponamento i valori scendono a  $1/500 \div 1/300$  ( $2.0 \div 3.0$  ‰).

Si può quindi concludere che l'entità e la distribuzione dei cedimenti indotti sugli edifici esistenti non sono tali da provocare danni né alle strutture né alle tamponature.

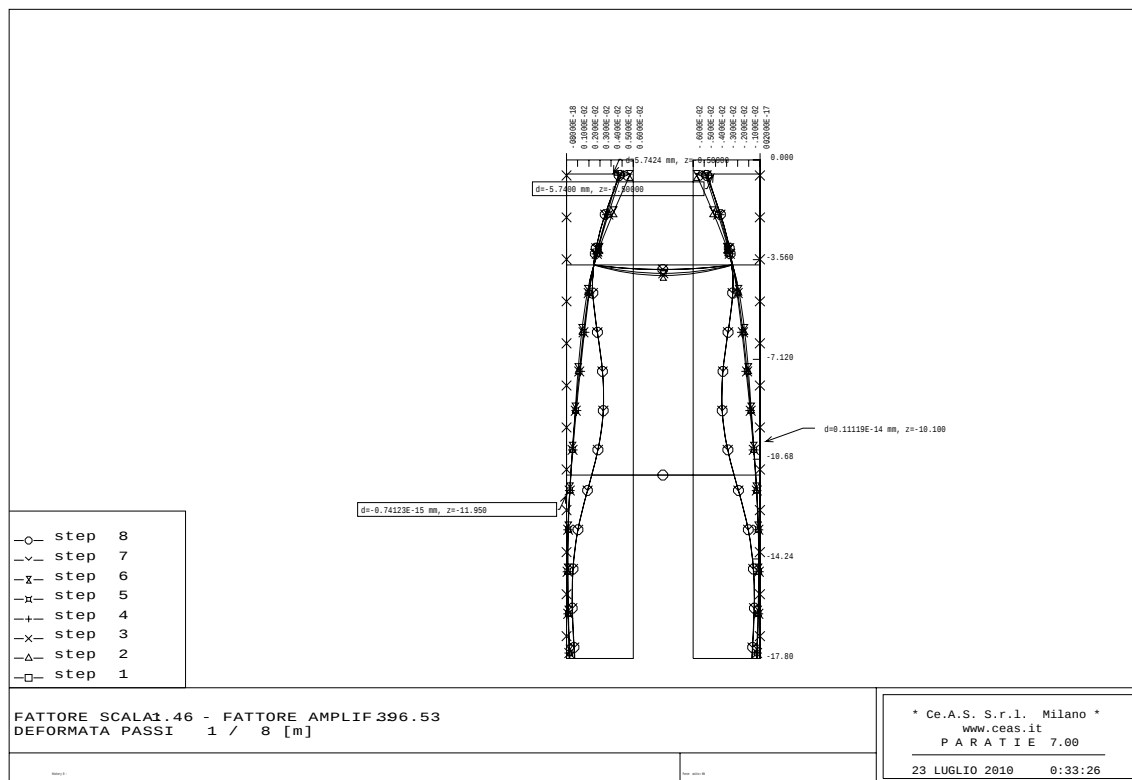
## 5.9 SEZIONE 60 ALLA PROGRESSIVA 4+847

Si riporta di seguito lo spostamento massimo sulla paratia analizzata nella presente sezione di calcolo, ed il relativo diagramma che rappresenta la deformata: come si evidenzia lo spostamento massimo si verifica in pancia.

I parametri di calcolo, le fasi esecutive, i risultati completi e gli altri dettagli dell'analisi sono riportati nell'apposita relazione di calcolo (cfr. [DR 8])

**Tabella 15 – Spostamento massimo per la sezione di calcolo 60**

|                                             |                |
|---------------------------------------------|----------------|
| spostamento massimo in esercizio, $S_{max}$ | 6 mm           |
| quota spostamento massimo, $z_{Smax}$       | -0.5 m da p.c. |



**Figura 18 – spostamenti sezione 60**

In base a quanto esposto nel paragrafo 5.1 ed agli spostamenti orizzontali  $S_{w,max}$  esposti nella precedente tabella, si possono determinare gli spostamenti verticali massimi  $S_{v,max}$  attesi a tergo della paratia e, in funzione dell'altezza di scavo  $H$ , una stima della distorsione angolare media  $\beta$  sugli edifici. Tali risultati

|                                                                                                                                                         |                  |             |           |            |                                                                                                                                                                                                                         |                          |                   |          |                  |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------|-----------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------|----------|------------------|--|
| APPALTATORE                                                                                                                                             |                  |             |           |            | ATI DI PROGETTAZIONE                                                                                                                                                                                                    |                          |                   |          |                  |  |
|                                                                        |                  |             |           |            | <div>(Mandataria) Sab (Mandante)</div> <div></div> |                          |                   |          |                  |  |
| CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA |                  |             |           |            |                                                                                                                                                                                                                         |                          |                   |          |                  |  |
| Interferenze con gli edifici:<br>Relazione di calcolo dei cedimenti<br>indotti dalle opere in sotterraneo                                               | COMMESSA<br>RS72 | LOTTO<br>01 | FASE<br>E | ENTE<br>ZZ | TIPO DOC.<br>RH                                                                                                                                                                                                         | OGGETTO DOC.<br>OC 00 00 | PROG. DOC.<br>002 | REV<br>C | Pag.<br>33 di 34 |  |

sono esposti nella seguente tabella, per un cinematismo di tipo "profondo".

**Tabella 16 – distorsione angolare sugli edifici**

| H     | $S_{v,max}/S_{w,max}$ | $S_{w,max}$ | $\beta$ |
|-------|-----------------------|-------------|---------|
| mm    | -                     | mm          | -       |
| 11000 | 1                     | 6           | 0.44 ‰  |

In letteratura i valori di distorsioni angolari ammissibili per le strutture portanti sono indicati in  $1/300 \div 1/250$  ( $3.3 \div 4.0$  ‰); mentre per le murature di tamponamento i valori scendono a  $1/500 \div 1/300$  ( $2.0 \div 3.0$  ‰).

Si può quindi concludere che l'entità e la distribuzione dei cedimenti indotti sugli edifici esistenti non sono tali da provocare danni né alle strutture né alle tamponature.

### 5.10 SEZIONE 71 ALLA PROGRESSIVA 5+000

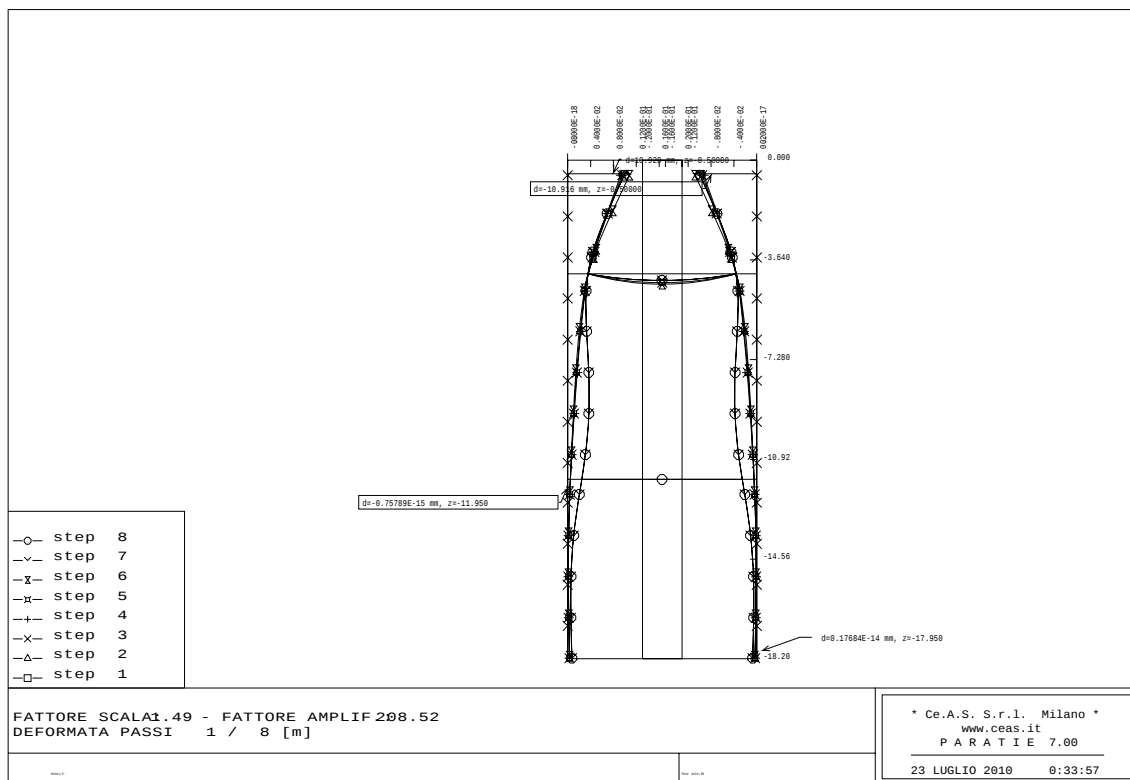
Si riporta di seguito lo spostamento massimo sulla paratia analizzata nella presente sezione di calcolo, ed il relativo diagramma che rappresenta la deformata: come si evidenzia lo spostamento massimo si verifica in pancia.

I parametri di calcolo, le fasi esecutive, i risultati completi e gli altri dettagli dell'analisi sono riportati nell'apposita relazione di calcolo (cfr. [DR 8])

**Tabella 17 – Spostamento massimo per la sezione di calcolo 71**

|                                             |                |
|---------------------------------------------|----------------|
| spostamento massimo in esercizio, $S_{max}$ | 11 mm          |
| quota spostamento massimo, $Z_{Smax}$       | -0.5 m da p.c. |

|                                                                                                                                                         |                  |             |           |            |                                                                                                                                                                                                       |                          |                   |          |                  |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------|-----------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------|----------|------------------|--|
| APPALTATORE                                                                                                                                             |                  |             |           |            | ATI DI PROGETTAZIONE                                                                                                                                                                                  |                          |                   |          |                  |  |
|                                                                        |                  |             |           |            | (Mandataria) Sab (Mandante)<br>  |                          |                   |          |                  |  |
| CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA |                  |             |           |            |                                                                                                                                                                                                       |                          |                   |          |                  |  |
| Interferenze con gli edifici:<br>Relazione di calcolo dei cedimenti<br>indotti dalle opere in sotterraneo                                               | COMMESSA<br>RS72 | LOTTO<br>01 | FASE<br>E | ENTE<br>ZZ | TIPO DOC.<br>RH                                                                                                                                                                                       | OGGETTO DOC.<br>OC 00 00 | PROG. DOC.<br>002 | REV<br>C | Pag.<br>34 di 34 |  |



**Figura 19 – spostamenti sezione 71**

In base a quanto esposto nel paragrafo 5.1 ed agli spostamenti orizzontali  $S_{w,max}$  esposti nella precedente tabella, si possono determinare gli spostamenti verticali massimi  $S_{v,max}$  attesi a tergo della paratia e, in funzione dell'altezza di scavo  $H$ , una stima della distorsione angolare media  $\beta$  sugli edifici. Tali risultati sono esposti nella seguente tabella, per un cinematismo di tipo “profondo”.

**Tabella 18 – distorsione angolare sugli edifici**

| H     | $S_{v,max}/S_{w,max}$ | $S_{w,max}$ | $\beta$ |
|-------|-----------------------|-------------|---------|
| mm    | -                     | mm          | -       |
| 11500 | 1                     | 11          | 0.77 ‰  |

In letteratura i valori di distorsioni angolari ammissibili per le strutture portanti sono indicati in  $1/300 \div 1/250$  ( $3.3 \div 4.0$  ‰); mentre per le murature di tamponamento i valori scendono a  $1/500 \div 1/300$  ( $2.0 \div 3.0$  ‰).

Si può quindi concludere che l'entità e la distribuzione dei cedimenti indotti sugli edifici esistenti non sono tali da provocare danni né alle strutture né alle tamponature.