



PONTE SULLO STRETTO DI MESSINA



PROGETTO DEFINITIVO

EUROLINK S.C.p.A.

IMPREGILO S.p.A. (MANDATARIA)
SOCIETÀ ITALIANA PER CONDOTTE D'ACQUA S.p.A. (MANDANTE)
COOPERATIVA MURATORI E CEMENTISTI - C.M.C. DI RAVENNA SOC. COOP. A.R.L. (MANDANTE)
SACYR S.A.U. (MANDANTE)
ISHIKAWAJIMA - HARIMA HEAVY INDUSTRIES CO. LTD (MANDANTE)
A.C.I. S.C.P.A. - CONSORZIO STABILE (MANDANTE)

| | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>IL PROGETTISTA Dott. Ing. F. Colla Ordine Ingegneri Milano n° 20355 Dott. Ing. E. Pagani Ordine Ingegneri Milano n° 15408</p>  | <p>IL CONTRAENTE GENERALE</p> <p>Project Manager (Ing. P.P. Marcheselli)</p> | <p>STRETTO DI MESSINA Direttore Generale e RUP Validazione (Ing. G. Fiammenghi)</p> | <p>STRETTO DI MESSINA Amministratore Delegato (Dott. P. Ciucci)</p> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|

| | | |
|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------|
| <i>Unità Funzionale</i> | COLLEGAMENTI SICILIA | ST0217_F0 |
| <i>Tipo di sistema</i> | STAZIONI - OPERE CIVILI | |
| <i>Raggruppamento di opere/attività</i> | STAZIONE ANNUNZIATA | |
| <i>Opera - tratto d'opera - parte d'opera</i> | GENERALE - PONTE STAZIONE FERROVIARIA ANNUNZIATA | |
| <i>Titolo del documento</i> | RELAZIONE GEOTECNICA | |

CODICE

C G 0 7 0 0 P R B D S C S 2 S G 0 0 0 0 0 0 0 1 F0

| REV | DATA | DESCRIZIONE | REDATTO | VERIFICATO | APPROVATO |
|-----|------------|------------------|------------|------------|-----------|
| F0 | 20-06-2011 | EMISSIONE FINALE | S. BIANCHI | G. SCIUTO | F. COLLA |
| | | | | | |
| | | | | | |

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

INDICE

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| INDICE..... | 3 |
| PREMESSA..... | 4 |
| 1 RIFERIMENTI NORMATIVI..... | 4 |
| 2 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI..... | 5 |
| 3 CARATTERISTICHE MATERIALI | 6 |
| 3.1 Calcestruzzi (Secondo UNI 11104 - 2004)..... | 6 |
| 3.2 Acciaio per armature di conglomerato cementizio armato (Secondo NTC 2008 – D.M. 14/01/2008) | 10 |
| 3.3 Acciaio per cemento armato precompresso (Secondo NTC 2008 – D.M. 14/01/2008) .. | 11 |
| 4 DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA | 12 |
| 4.1 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E UBICAZIONE DELLA STRUTTURA | 12 |
| 4.2 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL LUOGO | 16 |
| 4.2.1 Descrizione delle litologie..... | 16 |
| 4.2.2 Indagini previste | 17 |
| 4.2.3 Caratterizzazione geotecnica | 19 |
| 4.2.4 Parametri principali assunti | 43 |
| 4.3 CARATTERIZZAZIONE DELLA SISMICITA' DEL LUOGO | 44 |
| 4.3.1 Azioni sismiche..... | 45 |
| 4.3.1.1 Vita nominale..... | 46 |
| 4.3.1.2 Classe d'uso | 46 |
| 4.3.1.3 Periodo di riferimento per l'azione sismica | 47 |
| 4.3.1.4 Classificazione sismica del terreno | 47 |
| 5 ANALISI DELLE FONDAZIONI | 48 |
| 5.1 ANALISI DEL SISTEMA FONDAZIONALE DELLE SPALLE..... | 48 |
| 5.1.1 ANALISI DEI CARICHI..... | 48 |
| 5.1.2 MODELLO DI CALCOLO | 52 |
| 5.1.2.1 VERIFICHE SLE - CEDIMENTI..... | 85 |
| 5.1.2.2 VALUTAZIONE DEI RISULTATI | 104 |

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

PREMESSA

La presente relazione tratta il ponte pedonale di uscita dalla stazione Annunziata ubicata nel comprensorio dei collegamenti lato Sicilia del ponte sullo stretto di Messina ed inteso intrinsecamente come opera di scavalco di una fiamara.

1 RIFERIMENTI NORMATIVI

I calcoli delle strutture sono stati eseguiti in base alle seguenti disposizioni:

- Legge 5/11/1971 n° 1086: "Norme per le discipline delle opere di conglomerato cementizio armato normale e precompresso ed a struttura metallica".
- Legge 2 febbraio 1974, n. 64 "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche".
- D.M. del 14/01/2008 - "Norme Tecniche per le Costruzioni 2008"
- Istruzioni per l'applicazione delle norme tecniche per le costruzioni di cui al DM 14/01/2008 – Circolare 2 febbraio 2009 n. 617
- Norma UNI EN 206-1 : 2006 "Calcestruzzo. Parte 1 : specificazione, prestazione, produzione e conformità"
- Norma UNI EN 206-1 : 2006 "Calcestruzzo. Parte 1 : specificazione, prestazione, produzione e conformità"

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

2 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] SEAOC Blue Book "Conceptual Framework for Performance-Based Seismic Design", Appendix B (2000).
- [2] Gruppo di Lavoro (2004). Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici).
- [3] Priestley M.J.N., Seible F. e Calvi G.M. "Seismic Design and Retrofit of Bridges", J. Wiley & Sons, Inc. (1996).
- [4] Migliacci A. e Mola F., "Progetto agli stati limite delle strutture in c.a.". Parte prima e seconda, Ed. Masson. 1996.
- [5] FEMA 440 – "Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures", prepared by ATC, ATC-55 Project, Redwood City CA, June 2005.
- [6] FEMA 440 – "Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures", prepared by ATC, ATC-55 Project, Redwood City CA, June 2005.
- [7] M. W. O'Neill and L. C. Reese "Drilled shafts: construction procedures and design methods", prepared for U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration; printed by ADSC: The International Association of Foundation Drilling, pub. n. ADSC-TL 4, August 1999.
- [8] CALTRANS "Seismic Design Criteria" Version 1.1; California department of transportation, USA, July 1999.
- [9] ATC-32 "Improved Seismic Design Criteria for California Bridges: Provisional Recommendations" Version 1.1; California, USA, June 1996.
- [10] ATC-49 "Recommended LRFD guidelines for the seismic design of highway bridges. Part I: Specifications. Part II: Commentary and Appendices", ATC/MCEER Joint Venture, USA, June 2003.
- [11] Roesset J.M. [1969] "Fundamentals of soil amplification", Conference on Seismic Design for Nuclear Power Plants, MIT, Ed. by Robert J. Hansen, Vol 1, pp. 183-244.
- [12] Mylonakis G. [2001] "Simplified model for seismic pile bending at soil layer interfaces", The Japanese Geotechnical Society, Vol. 41, No. 4(20010815), pp. 47-58.
- [13] Joseph E. Bowles. [1988] "Fondazioni – progetto e analisi", McGraw-Hill.

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

3 CARATTERISTICHE MATERIALI

3.1 Calcestruzzi (Secondo UNI 11104 - 2004)

Per sottofondazioni

classe di resistenza

C12/15

classe di esposizione

X0

Per pali gettati in opera

classe di resistenza

C25/30

modulo elastico

$E_c = 31.476 \text{ N/mm}^2$

resistenza caratteristica a compressione cilindrica

$f_{ck} = 25,00 \text{ N/mm}^2$

resistenza media a compressione cilindrica

$f_{cm} = 33,00 \text{ N/mm}^2$

resistenza di calcolo a compressione

$f_{cd} = 14,17 \text{ N/mm}^2$

resistenza a trazione (valore medio)

$f_{ctm} = 2,56 \text{ N/mm}^2$

resistenza caratteristica a trazione

$f_{ctk} = 1,79 \text{ N/mm}^2$

resistenza caratteristica a trazione per flessione

$f_{ctk} = 2,15 \text{ N/mm}^2$

tensione a SLE – combinazione rara

$\sigma_C = 14,94 \text{ N/mm}^2$

tensione a SLE – combinazione quasi permanente

$\sigma_C = 11,20 \text{ N/mm}^2$

copriferro

$C = 60 \text{ mm}$

classe di esposizione

XC2

classe di consistenza slump

S4-S5

max dimensione aggregati

$D_{max} = 32 \text{ mm}$

rapporto A/C massimo

0,50

Fondazioni pila e spalle

classe di resistenza

C25/30

modulo elastico

$E_c = 31.476 \text{ N/mm}^2$

resistenza caratteristica a compressione cilindrica

$f_{ck} = 25,00 \text{ N/mm}^2$

resistenza media a compressione cilindrica

$f_{cm} = 33,00 \text{ N/mm}^2$

resistenza di calcolo a compressione

$f_{cd} = 14,17 \text{ N/mm}^2$

resistenza a trazione (valore medio)

$f_{ctm} = 2,56 \text{ N/mm}^2$

resistenza caratteristica a trazione

$f_{ctk} = 1,79 \text{ N/mm}^2$

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

| | | | |
|----------------------------------------------------|--------------|-------|-------------------|
| resistenza caratteristica a trazione per flessione | $f_{ctk} =$ | 2,15 | N/mm ² |
| tensione a SLE – combinazione rara | $\sigma_C =$ | 14,94 | N/mm ² |
| tensione a SLE – combinazione quasi permanente | $\sigma_C =$ | 11,20 | N/mm ² |
| copriferro | $C =$ | 40 | mm |
| classe di esposizione | | XC2 | |
| classe di consistenza slump | | S4 | |
| max dimensione aggregati | $D_{max} =$ | 32 | mm |
| rapporto A/C massimo | | 0,50 | |

Baggioli e ritegni sismici

| | | | |
|-----------------------------------------------------|--------------|---------------|-------------------|
| classe di resistenza | | C32/40 | |
| modulo elastico | $E_c =$ | 33.346 | N/mm ² |
| resistenza caratteristica a compressione cilindrica | $f_{ck} =$ | 32,00 | N/mm ² |
| resistenza media a compressione cilindrica | $f_{cm} =$ | 40,00 | N/mm ² |
| resistenza di calcolo a compressione | $f_{cd} =$ | 18,13 | N/mm ² |
| resistenza a trazione (valore medio) | $f_{ctm} =$ | 3,02 | N/mm ² |
| resistenza caratteristica a trazione | $f_{ctk} =$ | 2,11 | N/mm ² |
| resistenza caratteristica a trazione per flessione | $f_{ctk} =$ | 2,65 | N/mm ² |
| tensione a SLE – combinazione rara | $\sigma_C =$ | 19,92 | N/mm ² |
| tensione a SLE – combinazione quasi permanente | $\sigma_C =$ | 14,94 | N/mm ² |
| copriferro | $C =$ | 35 | mm |
| classe di esposizione | | XS1 | |
| classe di consistenza slump | | S4 | |
| max dimensione aggregati | $D_{max} =$ | 20 | mm |
| rapporto A/C massimo | | 0,50 | |

Elevazioni pila, spalle, muri, paragliaia

| | | | |
|-----------------------------------------------------|------------|---------------|-------------------|
| classe di resistenza | | C32/40 | |
| modulo elastico | $E_c =$ | 33.346 | N/mm ² |
| resistenza caratteristica a compressione cilindrica | $f_{ck} =$ | 32,00 | N/mm ² |
| resistenza media a compressione cilindrica | $f_{cm} =$ | 40,00 | N/mm ² |
| resistenza di calcolo a compressione | $f_{cd} =$ | 18,13 | N/mm ² |

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

| | | | |
|----------------------------------------------------|--------------|-------|-------------------|
| resistenza a trazione (valore medio) | $f_{ctm} =$ | 3,02 | N/mm ² |
| resistenza caratteristica a trazione | $f_{ctk} =$ | 2,11 | N/mm ² |
| resistenza caratteristica a trazione per flessione | $f_{cfk} =$ | 2,65 | N/mm ² |
| tensione a SLE – combinazione rara | $\sigma_C =$ | 19,92 | N/mm ² |
| tensione a SLE – combinazione quasi permanente | $\sigma_C =$ | 14,94 | N/mm ² |
| copriferro | $C =$ | 40 | mm |
| classe di esposizione | | XS1 | |
| classe di consistenza slump | | S4 | |
| max dimensione aggregati | $D_{max} =$ | 32 | mm |
| rapporto A/C massimo | | 0,50 | |

Soletta di impalcato

| | | | |
|-----------------------------------------------------|--------------|---------------|-------------------|
| classe di resistenza | | C32/40 | |
| modulo elastico | $E_c =$ | 33.346 | N/mm ² |
| resistenza caratteristica a compressione cilindrica | $f_{ck} =$ | 32,00 | N/mm ² |
| resistenza media a compressione cilindrica | $f_{cm} =$ | 40,00 | N/mm ² |
| resistenza di calcolo a compressione | $f_{cd} =$ | 18,13 | N/mm ² |
| resistenza a trazione (valore medio) | $f_{ctm} =$ | 3,02 | N/mm ² |
| resistenza caratteristica a trazione | $f_{ctk} =$ | 2,11 | N/mm ² |
| resistenza caratteristica a trazione per flessione | $f_{cfk} =$ | 2,65 | N/mm ² |
| tensione a SLE – combinazione rara | $\sigma_C =$ | 19,92 | N/mm ² |
| tensione a SLE – combinazione quasi permanente | $\sigma_C =$ | 14,94 | N/mm ² |
| copriferro estradosso | $C =$ | 35 | mm |
| classe di esposizione | | XF4 | |
| classe di consistenza slump | | S4 | |
| max dimensione aggregati | $D_{max} =$ | 20 | mm |
| rapporto A/C massimo | | 0,45 | |

Cordoli di impalcato

| | | | |
|-----------------------------------------------------|------------|---------------|-------------------|
| classe di resistenza | | C32/40 | |
| modulo elastico | $E_c =$ | 33.346 | N/mm ² |
| resistenza caratteristica a compressione cilindrica | $f_{ck} =$ | 32,00 | N/mm ² |
| resistenza media a compressione cilindrica | $f_{cm} =$ | 40,00 | N/mm ² |

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

| | | | |
|----------------------------------------------------|--------------|-------|-------------------|
| resistenza di calcolo a compressione | $f_{cd} =$ | 18,13 | N/mm ² |
| resistenza a trazione (valore medio) | $f_{ctm} =$ | 3,02 | N/mm ² |
| resistenza caratteristica a trazione | $f_{ctk} =$ | 2,11 | N/mm ² |
| resistenza caratteristica a trazione per flessione | $f_{cfk} =$ | 2,65 | N/mm ² |
| tensione a SLE – combinazione rara | $\sigma_C =$ | 19,92 | N/mm ² |
| tensione a SLE – combinazione quasi permanente | $\sigma_C =$ | 14,94 | N/mm ² |
| copriferro | C = | 35 | mm |
| classe di esposizione | | XF4 | |
| classe di consistenza slump | | S4 | |
| max dimensione aggregati | Dmax = | 20 | mm |
| rapporto A/C massimo | | 0,45 | |

Travi di impalcato

| | | | |
|-----------------------------------------------------|--------------|--------|-------------------|
| classe di resistenza | | C45/55 | |
| modulo elastico | $E_c =$ | 34.077 | N/mm ² |
| resistenza caratteristica a compressione cilindrica | $f_{ck} =$ | 35,00 | N/mm ² |
| resistenza media a compressione cilindrica | $f_{cm} =$ | 43,00 | N/mm ² |
| resistenza di calcolo a compressione | $f_{cd} =$ | 19,83 | N/mm ² |
| resistenza a trazione (valore medio) | $f_{ctm} =$ | 3,21 | N/mm ² |
| resistenza caratteristica a trazione | $f_{ctk} =$ | 2,24 | N/mm ² |
| resistenza caratteristica a trazione per flessione | $f_{cfk} =$ | 2,41 | N/mm ² |
| tensione a SLE – combinazione rara | $\sigma_C =$ | 21,00 | N/mm ² |
| tensione a SLE – combinazione quasi permanente | $\sigma_C =$ | 15,75 | N/mm ² |
| copriferro estradosso | C = | 35 | mm |
| classe di esposizione | | XF4 | |
| classe di consistenza slump | | S4 | |
| max dimensione aggregati | Dmax = | 20 | mm |
| rapporto A/C massimo | | 0,50 | |

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

3.2 Acciaio per armature di conglomerato cementizio armato (Secondo NTC 2008 – D.M. 14/01/2008)

| | | B450C | |
|--------------------------------------------------|----------------------|---------|-------------------|
| tensione caratteristica di snervamento | $f_{yk} =$ | 450 | N/mm ² |
| tensione caratteristica di rottura | $f_{tk} =$ | 540 | N/mm ² |
| resistenza di calcolo a trazione | $f_{yd} =$ | 391,30 | N/mm ² |
| modulo elastico | $E_s =$ | 206.000 | N/mm ² |
| deformazione caratteristica al carico massimo | $\varepsilon_{uk} =$ | 7,50 | % |
| deformazione di progetto | $\varepsilon_{ud} =$ | 6,75 | % |
| coeff. resistenza a instabilità delle membrature | $\gamma_m =$ | 1,10 | |

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

3.3 Acciaio per cemento armato precompresso (Secondo NTC 2008 – D.M. 14/01/2008)

Si adottano trefoli da 0,6" in acciaio controllato in stabilimento che presentano le seguenti caratteristiche:

| | | | |
|-----------------------------------------------------------|------------------|-------|-------------------|
| tensione caratteristica allo 0,1% di deformazione residua | $f_{p(0,1)_k} =$ | 1.600 | N/mm ² |
| tensione caratteristica allo 1% di deformazione totale | $f_{p(1)_k} =$ | 1.670 | N/mm ² |
| tensione caratteristica a rottura | $f_{tk} =$ | 1.860 | N/mm ² |
| Resistenza di calcolo | $f_{yd} =$ | 1.391 | N/mm ² |
| Deformazione caratteristica al carico massimo | ϵ_{uk} | 3,50 | % |
| Area nominale | A_{nom} | 139 | mm ² |

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

4 DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA

4.1 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E UBICAZIONE DELLA STRUTTURA

La presente relazione tratta le sottostrutture costituenti il ponte pedonale di accesso alla stazione ferroviaria Annunziata ed inteso intrinsecamente come opera di scavalco dell'omonima fiumara. Da un inquadramento infrastrutturale dell'opera è possibile desumerne la strutturazione fondamentale utilizzata nel corso delle analisi.

L'impalcato è caratterizzato da un asse rettilineo, con luce tra gli assi appoggi pari a 17,60 m, e da una larghezza trasversale, di 7,30 m. Nel particolare l'estensione trasversale del suddetto impalcato, può essere ripartita in 6,00 m di superficie bitumata e 0,59 m di cordoli. Allo scopo di sopperire a logiche necessità cinematiche e di servizio, viene conferita alla sovrastruttura, una pendenza trasversale del 2,5%.



Da un punto di vista prettamente strutturale, l'impalcato del ponte oggetto di studio, è realizzato attraverso travi accostate in c.a.p.

Nell'ambito dell'esecuzione delle analisi strutturali, atte a fornire le sollecitazioni di progetto agenti sulle sottostrutture, viene utilizzato in prima fase uno schema statico a telaio con collegamenti a cerniera, mentre in seconda fase uno schema a telaio con collegamenti monolitici, conseguente alla maturazione della soletta e del sovra cordolo con conseguente solidarizzazione con le travi.

Le spalle afferenti a tale opera ed oggetto di studio del seguente elaborato, sono costituite dal cordolo in c.a. gettato in opera, posizionato in testa pali. Entrambe le spalle risultano infatti sorrette da 1 fila da 6 pali del diametro di 1.000 mm.

L'analisi dei carichi e l'analisi sismica sono state effettuate in ottemperanza alla NTC del 14 Gennaio 2008; inoltre per il terreno sono state assunte le ipotesi di spinta a riposo in condizioni statiche e spinta attiva in condizioni sismiche.

Nel seguito si riportano il profilo dell'opera in esame, la sezione trasversale sulle spalle e la planimetria di inquadramento dell'opera in esame.

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

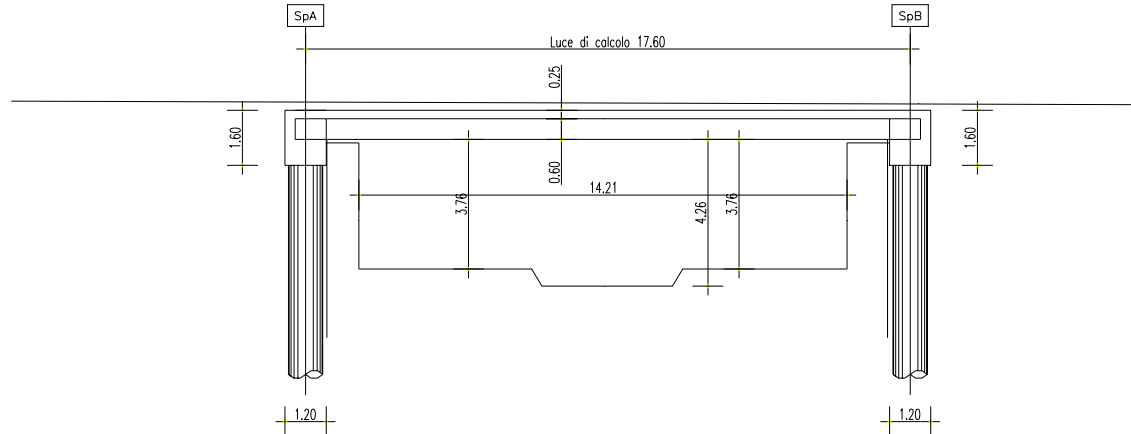


Figura 4.1 – Profilo longitudinale.

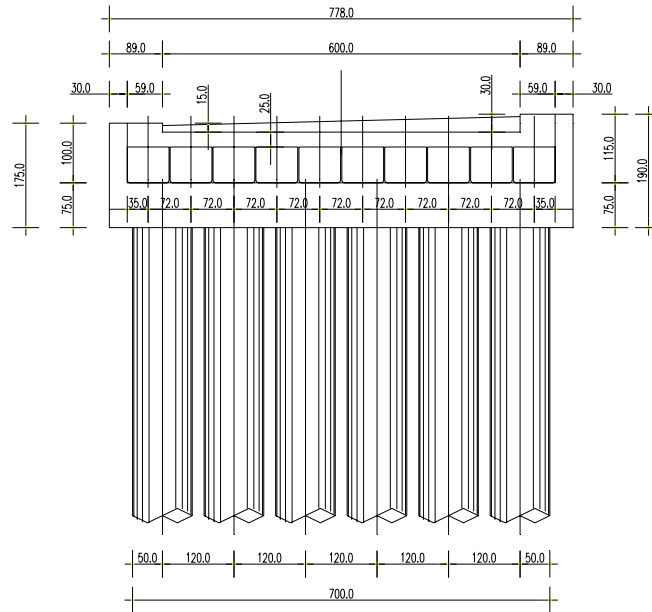
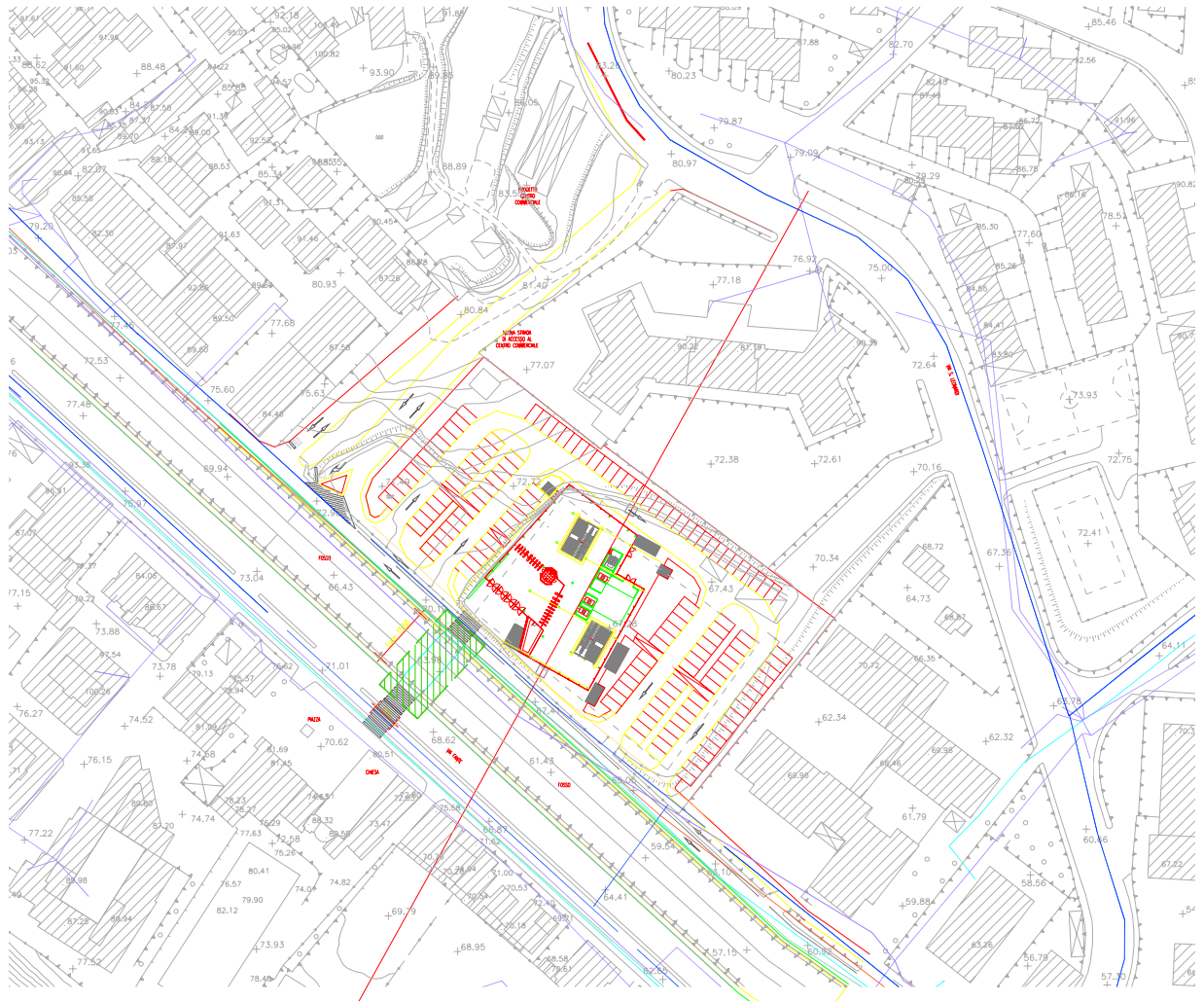


Figura 4.2 – Vista frontale spalla A.

L'impalcato ha le seguenti caratteristiche geometriche:

- Luce di calcolo 17,60 m
- Lunghezza totale 18,80 m
- Larghezza impalcato (media) 7,30 m
- Larghezza carreggiata (media) 6,00 m
- Larghezza cordolo sinistro 0,89 m
- Larghezza cordolo destro (medio) 0,89 m






Ponte sullo Stretto di Messina
PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE GEOTECNICA

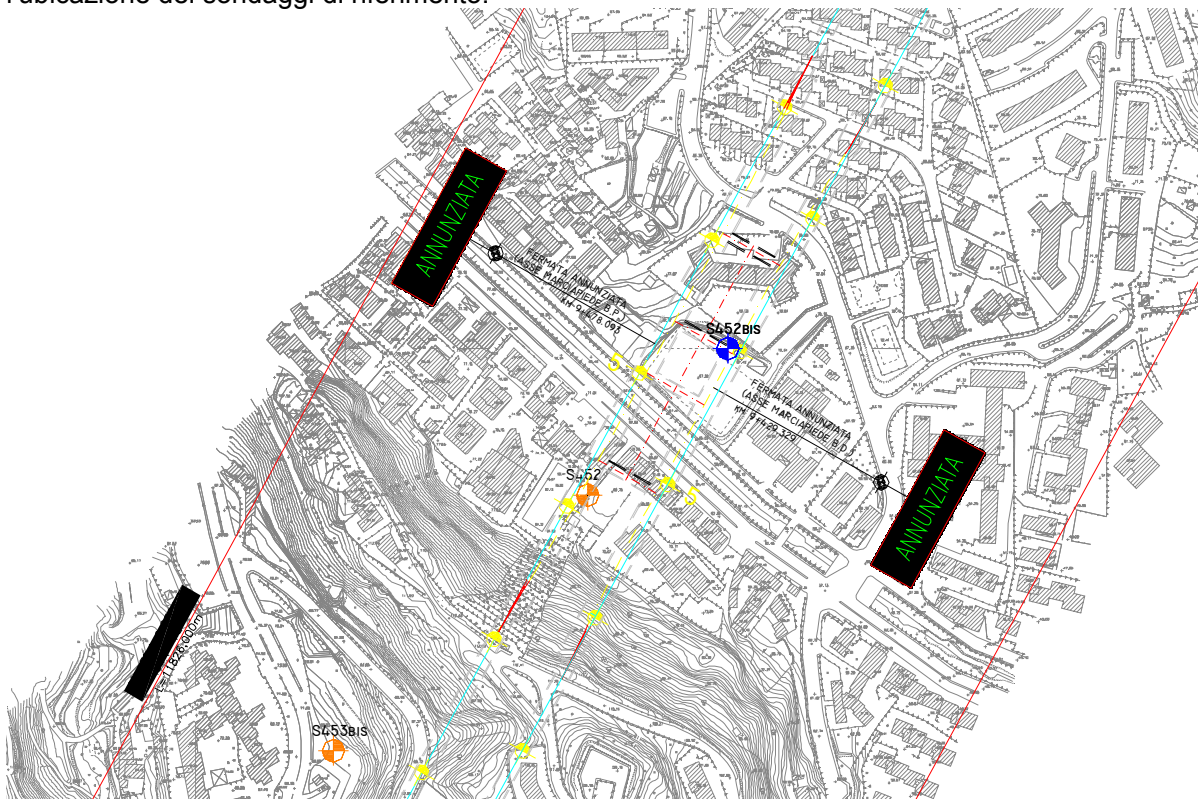
Codice documento
ST0217_F0

| <i>Rev</i> | <i>Data</i> |
|------------|-------------|
| F0 | 20-06-2011 |

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

5 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL LUOGO

Si riporta di seguito lo stralcio planimetrico della zona relativa all'opera in oggetto da cui si evince l'ubicazione dei sondaggi di riferimento.



5.1 Descrizione delle litologie

Le litologie prevalenti sono costituite dalla formazione dai Depositi alluvionali, dalla Serie gessoso solfifera (Calcari brecciati e argille gessose) e dal San Pier Niceto argilloso.

Depositi alluvionali: si tratta prevalentemente di depositi sabbioso-ghiaiosi olocenici di fondo alveo. L'incisione operata dai corsi d'acqua determina la diretta sovrapposizione di tali depositi sul substrato cristallino-metamorfico. Gli spessori massimi dedotti da affioramento e sondaggi non è superiore alla decina di metri.

Serie gessoso solfifera (Calcari brecciati e Argille gessose): si tratta delle evaporiti relative alla crisi di salinità che ha interessato il Bacino Mediterraneo durante il Messiniano.

La litofacies evaporitica è caratterizzata da gessi e argille gessose, prevalentemente alla base

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

della successione, e da calcari brecciati e vacuolari affioranti discontinuamente. L'appoggio della formazione è sempre sulle varie litofacies della Formazione di S. Pier Niceto.

La formazione del San Pier Niceto è costituita essenzialmente da due facies distinte, una basale conglomeratica ed arenacea e l'altra superiore di natura prevalentemente argillosa.

Alla base il conglomerato è costituito da grossi ciottoli poligenici arrotondati e ghiaie di colore marrone-avana in una matrice arenacea rossastra con sabbia sempre più fine man mano che ci si sposta verso l'alto. Nella parte superiore assume l'aspetto di un ammasso roccioso che affiora estesamente in banchi.

Superiormente la porzione arenacea lascia il posto a strati limo argillosi di potenza metrica.

La falda risulta interferente con le opere e localizzabile a profondità di circa 10m da p.c..

5.2 Indagini previste

I sondaggi di riferimento per la presente tratta sono S452 e S452bis.

Data l'esiguità delle prove, si è scelto di tenere conto anche delle indagini effettuate in altre tratte.

Localmente non ci sono indagini che raggiungono i primi 30 m di profondità per la caratterizzazione sismica del suolo.

Le simiche a rifrazione effettuate in località La Giostra (SR5-S454) in un contesto litostratigrafico simile forniscono una categoria di suolo variabile tra **B** ($V_{s30}=410\text{m/s}$) e **C** ($V_{s30}=300\text{m/s}$).

Le prove localmente utilizzate nella caratterizzazione sono:

Depositi alluvionali

Le prove localmente utilizzate nella caratterizzazione sono:

- prove SPT (S452, S452bis)
- prove sismiche a rifrazione (S454-SR5)
- prove di laboratorio per la determinazione delle granulometrie e delle caratteristiche fisiche (S452)

Calcari brecciati

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

Data l'esiguità dei sondaggi che caratterizzano la presente formazione nella tratta in esame, si fa riferimento alla caratterizzazione generale.

Le prove utilizzate nella caratterizzazione sono:

- prove pressiometriche (S451, S451bis)
- prove sismiche a rifrazione (SR5, SR10)

Argille gessose

Data l'esiguità dei sondaggi che caratterizzano la presente formazione nella tratta in esame, si fa riferimento alla caratterizzazione generale.

Le prove utilizzate nella caratterizzazione sono:

- prove pressiometriche (S432, S454)
- prove dilatometriche (S451, S452, S452bis, S455)
- prove sismiche a rifrazione (SR5, SR10)
- prove di laboratorio per la determinazione dei parametri di resistenza (I2, S434, SPP07, SPP08)
- prove di laboratorio per la determinazione dei parametri fisici.
- prove edometriche (SPP07, SPP08)

San Pier Niceto argilloso

Data l'esiguità dei sondaggi che caratterizzano la presente formazione nella tratta in esame, si fa riferimento alla caratterizzazione generale.

Le prove utilizzate nella caratterizzazione sono:

- prove pressiometriche (S432, S454)
- prove dilatometriche (S459bis, S453)
- prove sismiche a rifrazione (SR2, SR3, SR5)
- prove di laboratorio per la determinazione dei parametri di resistenza (S457, S465)
- prove di laboratorio per la determinazione dei parametri fisici.

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

5.3 Caratterizzazione geotecnica

Per i criteri e per gli aspetti generali di caratterizzazione si rimanda a quanto riportato nella relazione Elab. CG0800PRBDSSBC8G000000001A. Per la definizione delle categorie di suolo si rimanda al medesimo elaborato ed alla relazione sismica di riferimento.

Depositi alluvionali

L'andamento del fuso evidenzia che le caratteristiche granulometriche dei materiali in esame sono tipiche di materiali sia di materiali a grana grossa (ghiaie 39%), sia di materiali intermedi (sabbie 45%). Il contenuto di fino è mediamente del 14%.

Con riferimento al fuso medio:

- Il valore di D_{50} è pari a 0.8mm
- Il valore di D_{60} è pari a 2 mm
- Il valore di D_{10} è pari a 0.01 mm

Il peso di volume dei grani medio γ_s è risultato pari a circa 26.5 kN/m³.

Non si hanno a disposizione i valori di γ_{dmax} e γ_{dmin} .

Per quanto riguarda lo stato iniziale:

- **Dr:** I valori di N_{spt} sono stati corretti con il fattore correttivo $C_{sg}=0.75$ corrispondente al $d_{50}=0.8mm$,
- **e_o :** a partire dal d_{50} stimato si ottiene di $e_{max}-e_{min}$ pari a 0.305 stimando per e_{max} un valore pari a 0.7 a partire dai valori di Dr è stato possibile determinare i valori di e_o in sito. Il valore di e_o risulta pari a 0.5-0.6;
- **γ_d :** si ottiene un pari a 17-19 KN/m³.
- **K_0 :** si considera la relazione di Jaky.

| | | |
|------|--------------------------|-------|
| z(m) | Dr(%) Sabbie e ghiaie | K_0 |
|------|--------------------------|-------|

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

| | | |
|---------------|--------------|-----------------|
| 0-10 | 40-80 | 0.36-0.4 |
| >10 | 50-60 | 0.38 |

Per quanto riguarda i parametri di resistenza, sulla base delle prove SPT si è ottenuto:

| z(m) | ϕ'_p (pff=0-272KPa) (°) | ϕ'_p (pff=272-350KPa) (°) | ϕ'_{cv} (°) |
|----------------------------------------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------|
| 0-10 | 37-40 | 33-36 | 33-35 |
| Come style="text-align: center;"> >10 | 38 | 35 | 33-35 |

parametri operativi di picco si utilizzeranno:

$$c'=0$$

$$\phi' = 37^\circ - 39^\circ$$

Per i parametri di deformabilità, i valori di G_0 da prove SPT hanno un andamento che, stimato graficamente con una linea di tendenza, risulta pari a:

$$G_o = 39 \cdot (z)^{0.59}$$

$$E_o = 93 \cdot (z)^{0.59}$$

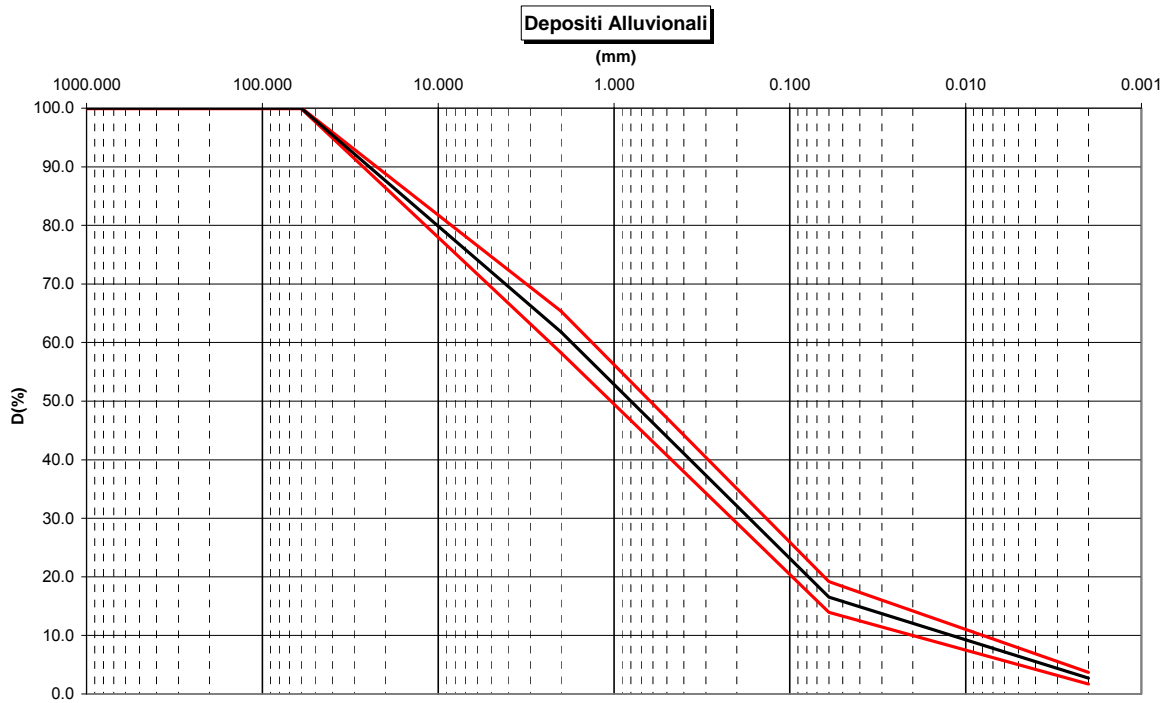
I moduli di Young “operativi” a medie deformazioni, valutati sulla base dei criteri descritti nei capitoli precedenti risulteranno pari a:

$$E = (12 \div 31) \cdot (z)^{0.59}$$

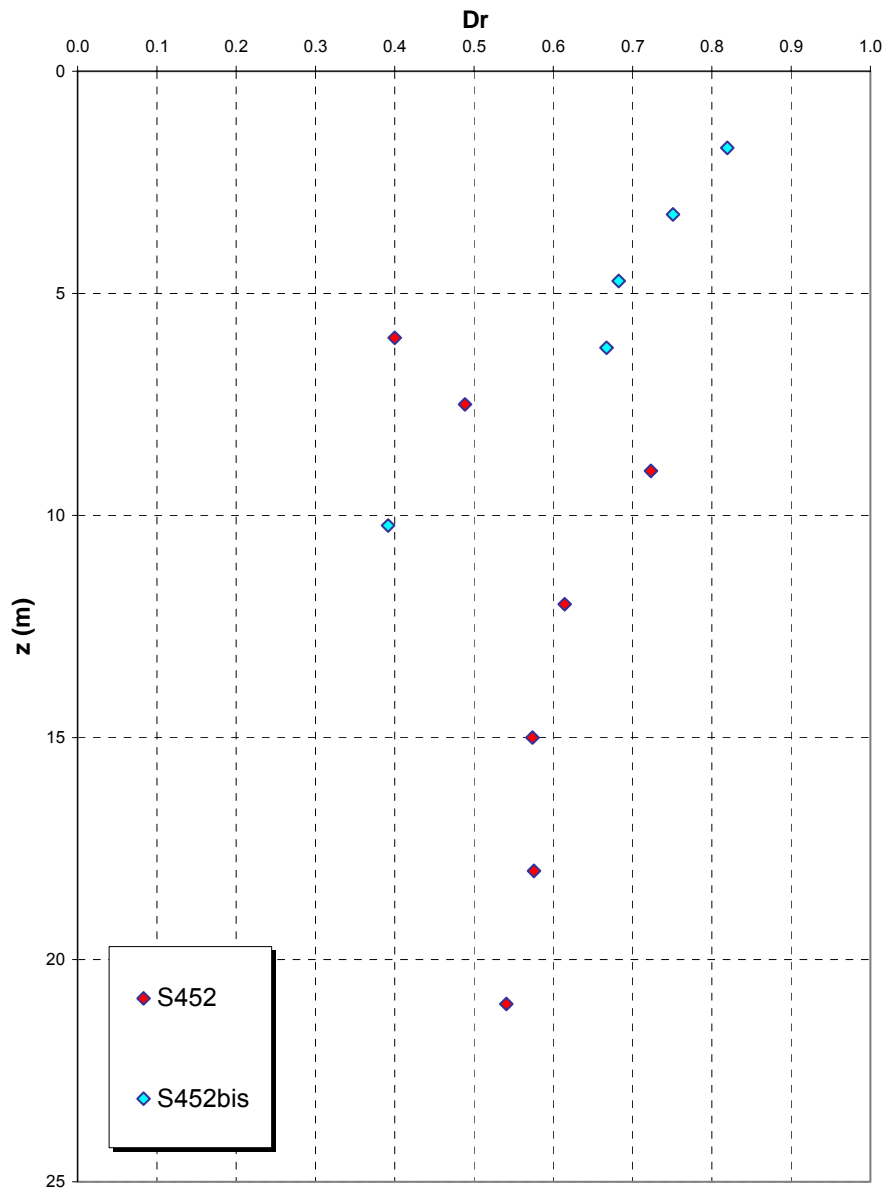
pari rispettivamente a circa 1/10÷1/5 (medie e grandi deformazioni) ed ad 1/3 (piccole

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

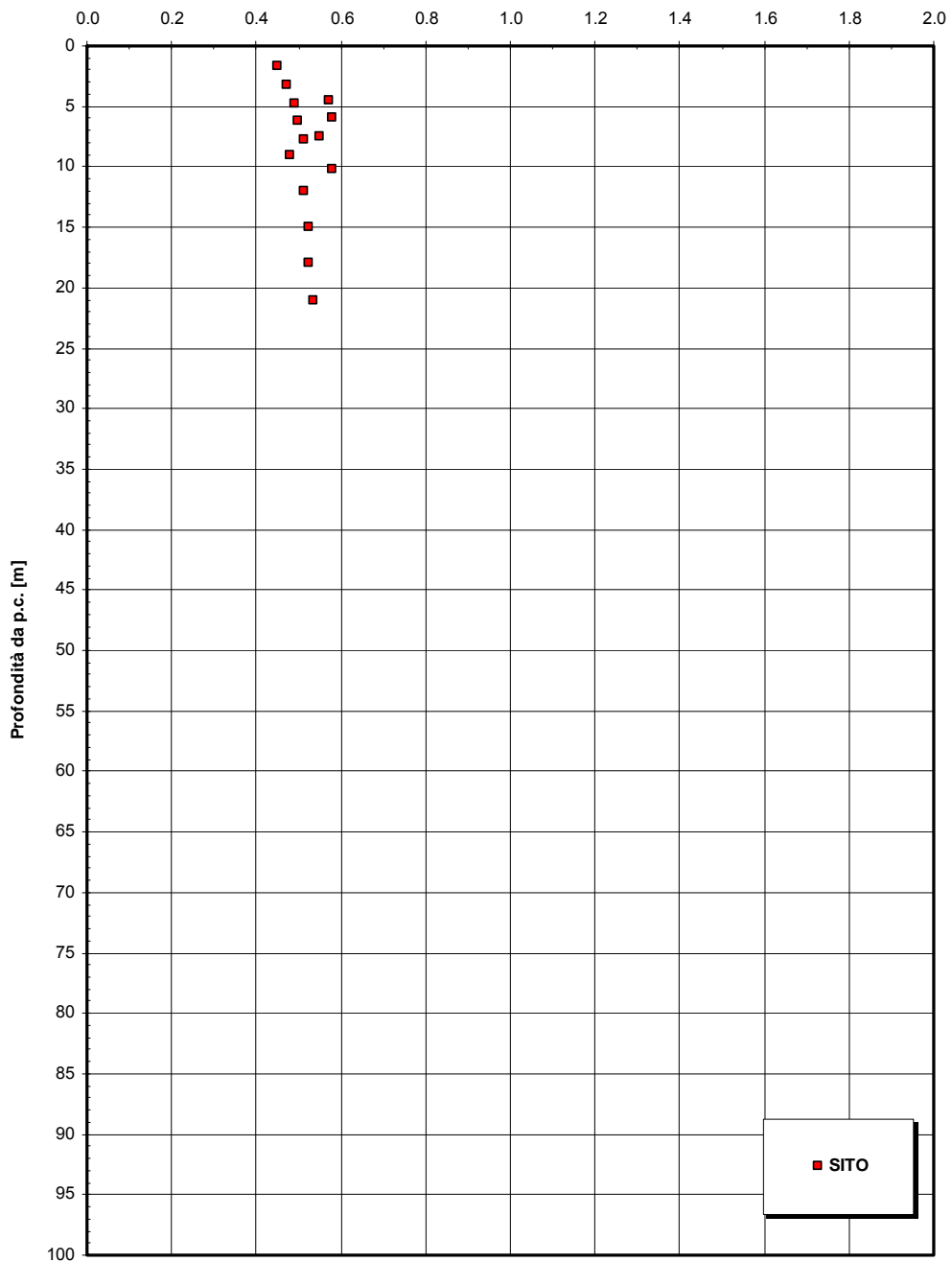
deformazioni) di quelli iniziali.



Dr Cubrinovski e Ishihahara (1999)
Componente ghiaiosa e sabbiosa
DEPOSITI ALLUVIONALI



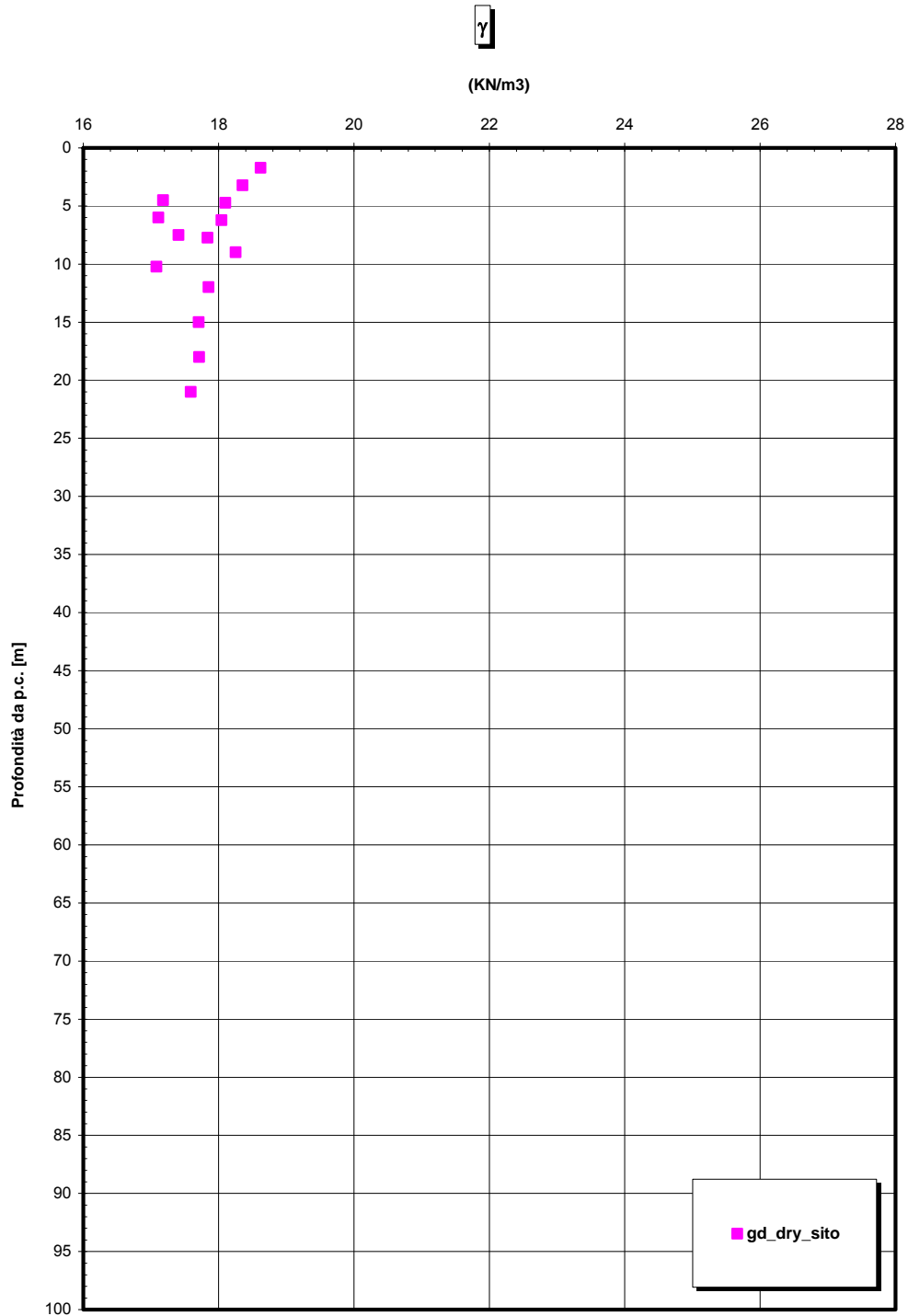
eo

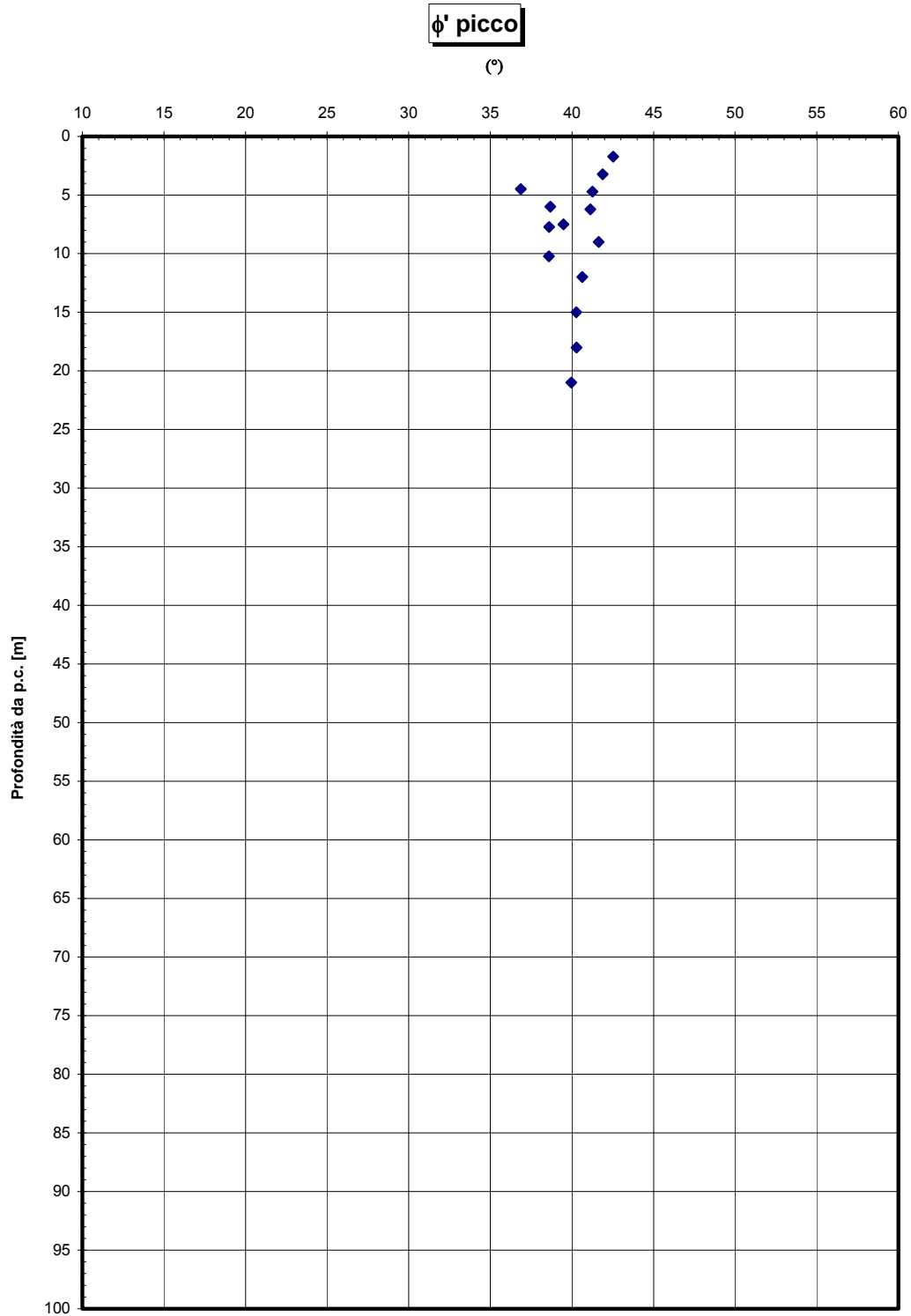


RELAZIONE GEOTECNICA

Codice documento
ST0217_F0

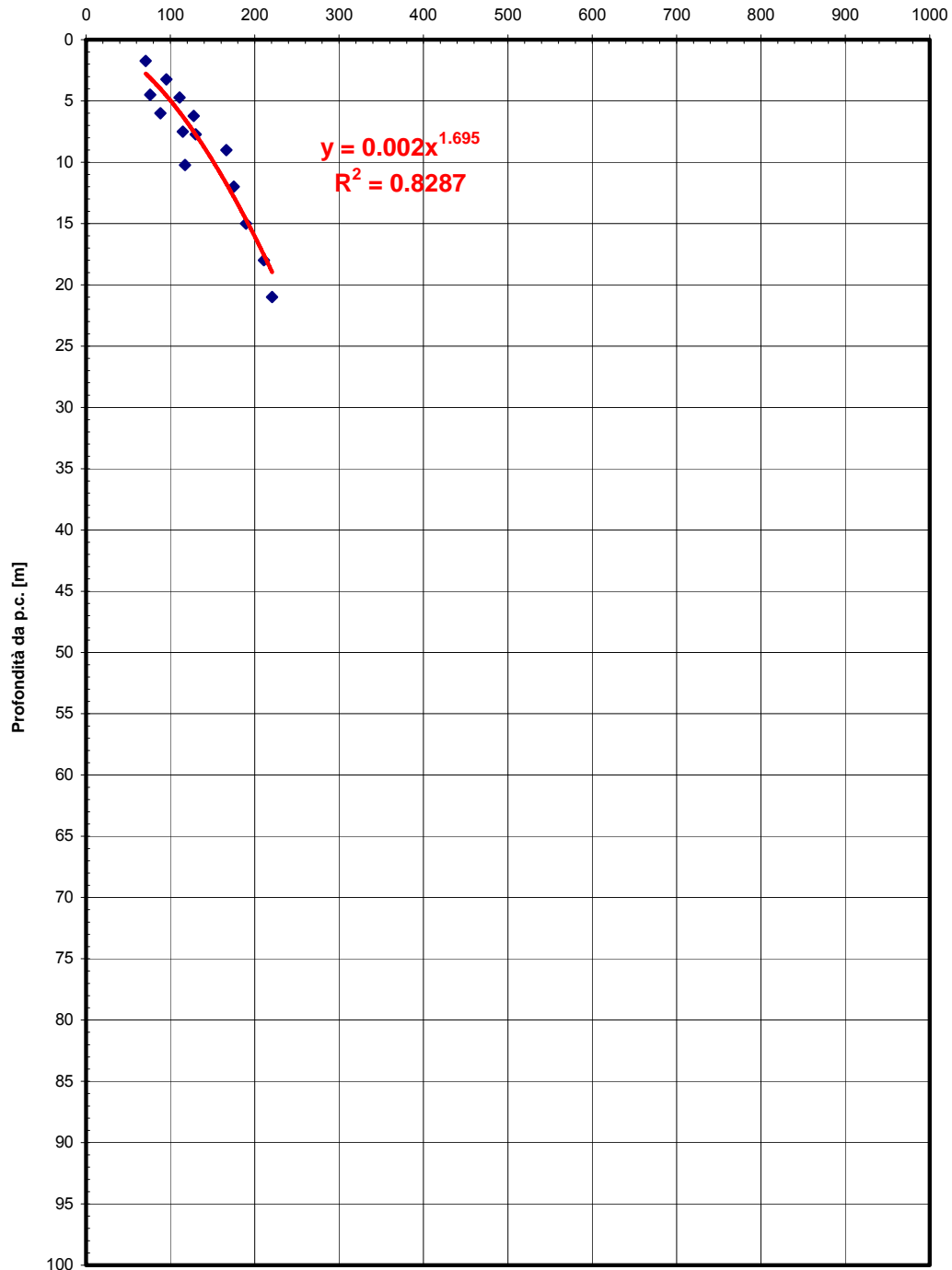
| Rev | Data |
|-----|------------|
| F0 | 20-06-2011 |





Go spt

(MPa)



| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

Calcri brecciati

Per le caratteristiche fisiche Non avendo a disposizione prove di laboratorio si può stimare un peso di volume γ pari a 19-21 KN/m³.

Per i parametri di resistenza al taglio in termini di sforzi efficaci in mancanza di rilievi su affioramenti, una stima del parametro RMR'89 risulta difficile a partire dalle informazioni ricavabili dalle stratigrafie e dalle foto delle cassette (es: RQD) anche a causa del disturbo causato dal carotaggio.

Cautelativamente quindi si pone:

$$c' = 0.020 \div 0.050 \text{ MPa}$$

$$\phi' = 25^\circ - 30^\circ$$

Per le caratteristiche di deformabilità i risultati dalle prove dilatometriche e pressiometriche effettuate negli strati più profondi (60-90m) nella nuova campagna di indagine 2010 (S451e S451bis) mostrano valori molto variabili di E' e pari a 800 ÷ 2500 MPa nel caso di scarico e ricarico e a 150 ÷ 400 MPa nel caso di primo carico. Ciò è da imputare alla struttura molto complessa della formazione costituita da calcari e brecce calcaree e da livelli di laminati marnosi.

Anche i risultati dalle prove sismiche a rifrazione risulterebbero fra loro variabili. Facendo riferimento alle stese sismiche in località Annunziata (SR10) ed in corrispondenza del sondaggio S454 (SR5) e riferendosi a profondità medie di 15-20m, si sono riscontrati velocità medie V_s rispettivamente pari a 300 (SR5) ÷ 400 m/s (SR10) circa, alle quali corrisponderebbe un modulo elastico iniziale medio G_0 pari a 250 MPa a cui corrisponde $E_0 = 600 \text{ MPa}$. In zona Annunziata la formazione si presenta già a basse profondità come una breccia calcarea; in corrispondenza del sondaggio S454 (località Giostra), invece, è descritto come una sabbia limosa con inclusi clasti eterometrici. Le sismiche forniscono per gli strati un valore medio del modulo elastico ($1/10 E_0$ ed $1/3 E_0$) pari a 60 e 200 MPa.

Nella porzione più superficiale ed alterata (10-20m), si pone:

$$E' = 60 \div 200 \text{ MPa}$$

Per problemi di grandi deformazioni e caratterizzate da condizioni di primo carico (fondazioni, rilevati) si farà riferimento ai valori minimi del range mentre per opere di sostegno si farà

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

riferimento a valori contenuti nel range.

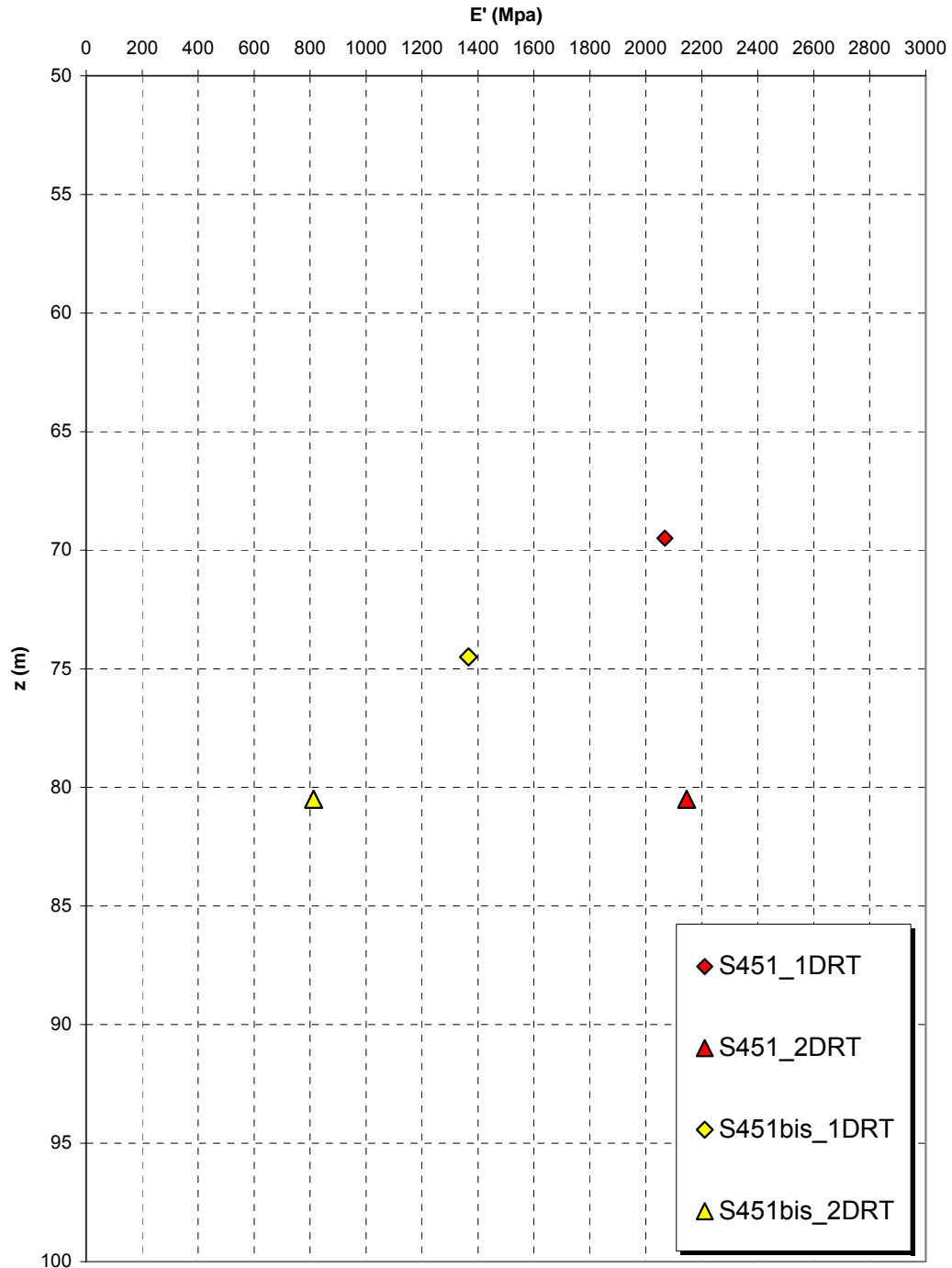
Nella parte più massiva e per problemi caratterizzati da piccole deformazioni in condizioni di scarico o scarico e ricarico (opere di sostegno) i valori operativi dei moduli potranno essere posti pari a:

$E' = 200 \div 800$ Mpa

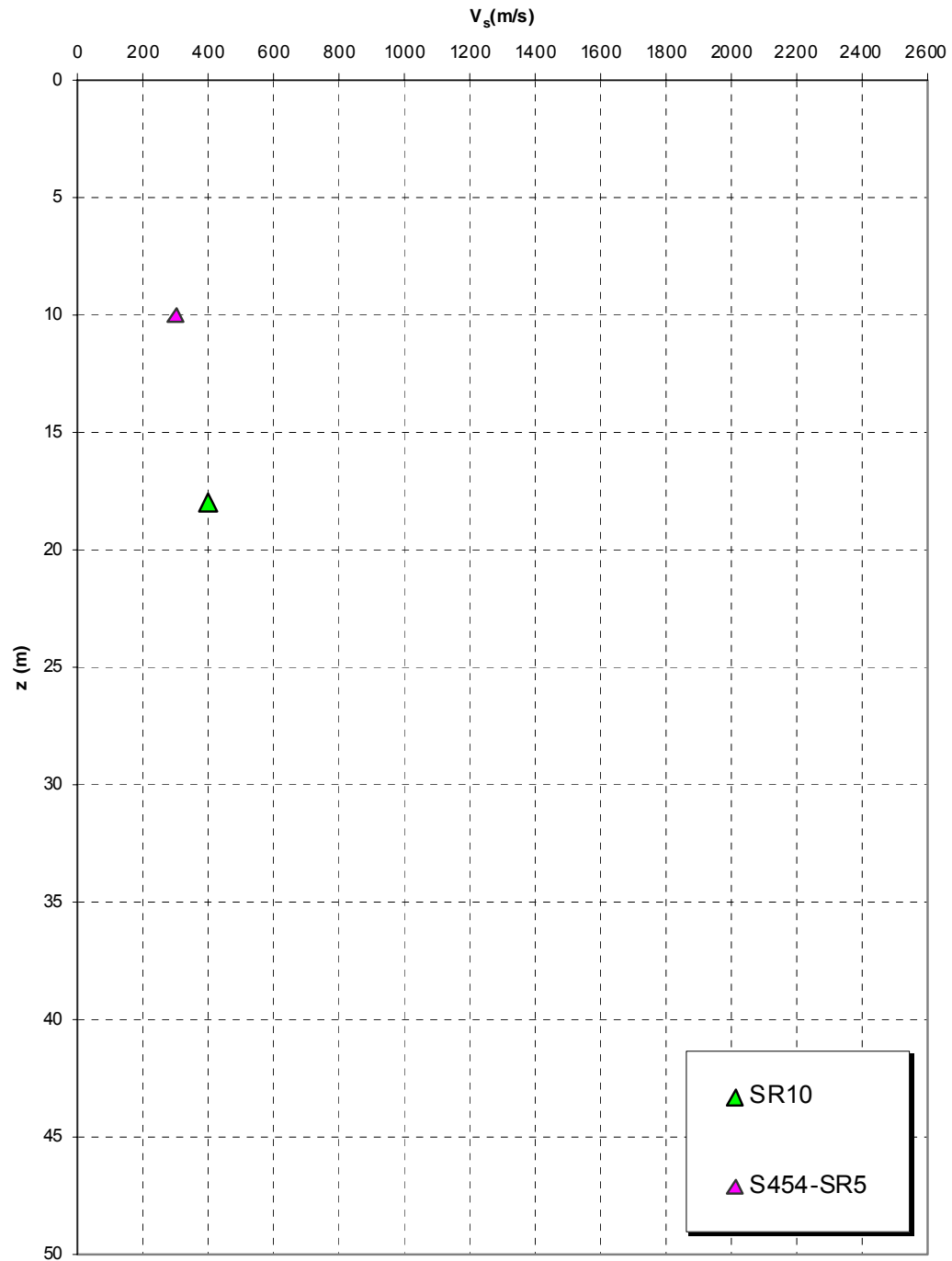
Il massimo valore è da riferire agli strati più profondi (60-90m).

Per la permeabilità le due prove Le Franc localmente previste danno un valore medio pari a circa 10^{-7} m/s.

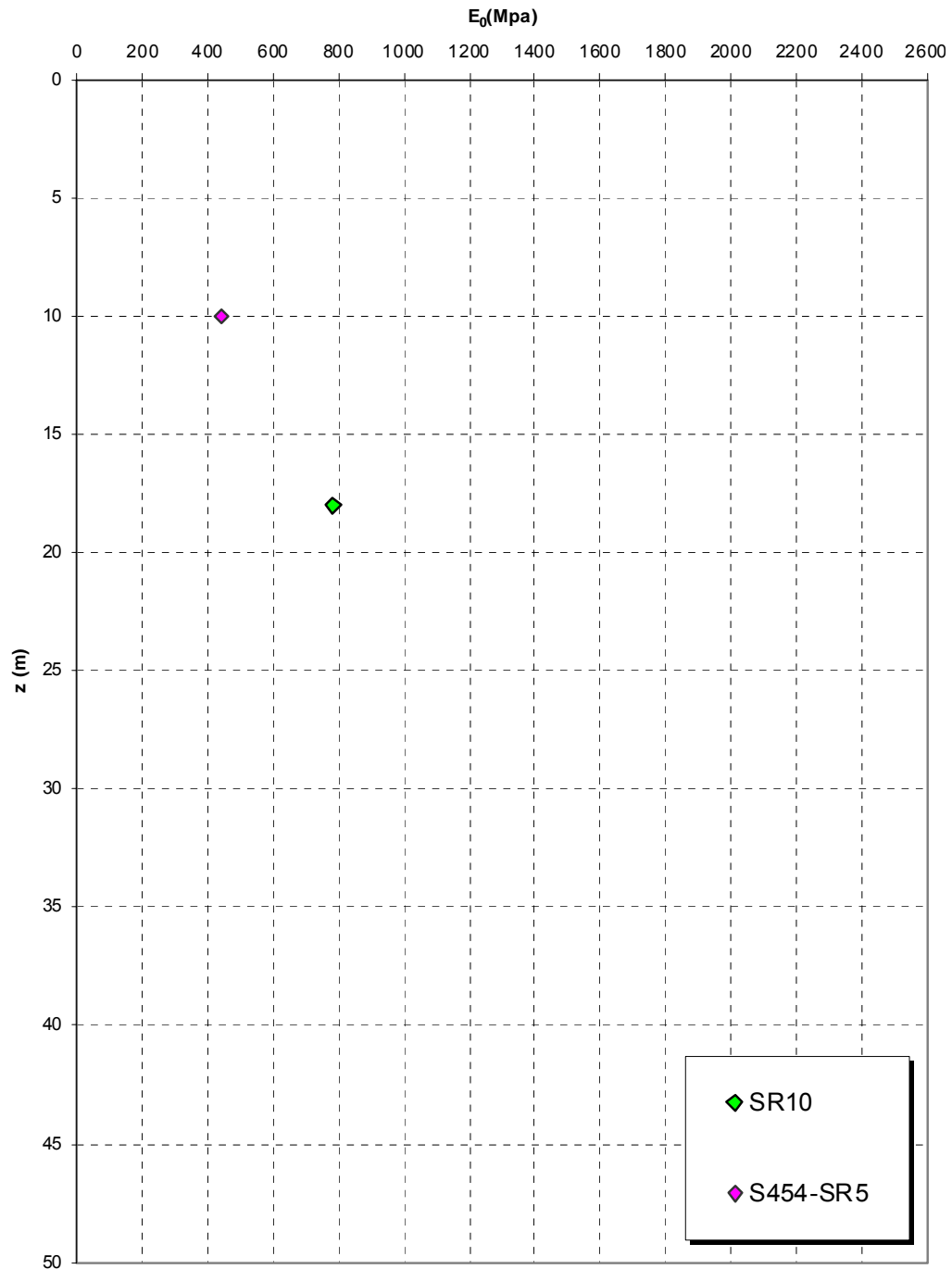
**Prove dilatometriche
CALCARI BRECCIATI**



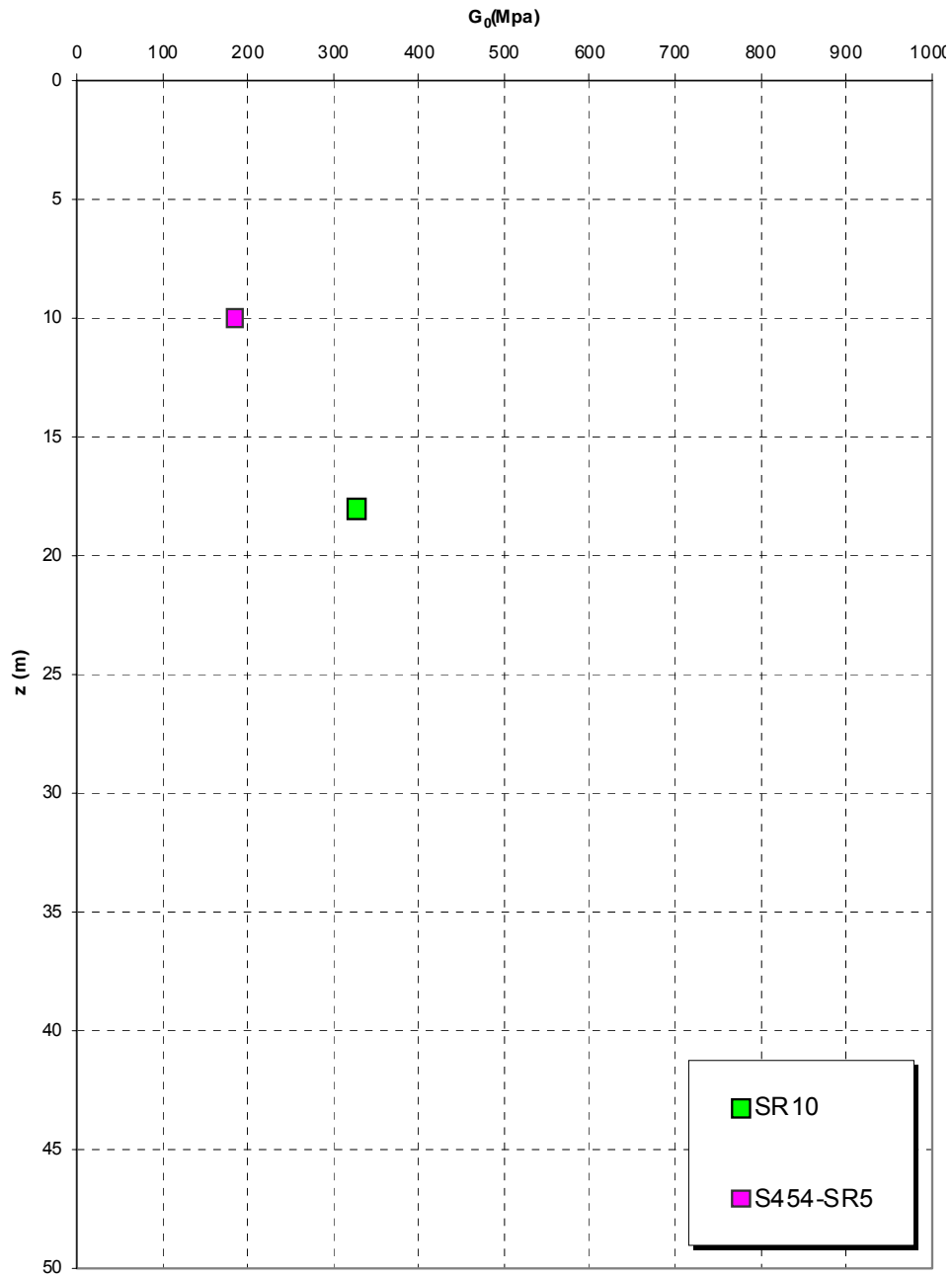
**Prove sismiche
CALCARI BRECCIATI**



**Prove sismiche
CALCARI BRECCIATI**



**Prove sismiche
CALCARI BRECCIATI**



| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

Argille gessose

Il fuso granulometrico mostra che le caratteristiche sono tipiche di materiali a grana fine con percentuale media di ghiaia al 14%, sabbia al 30%, limo al 43% ed argilla al 16%.

Inoltre $D_{50}=0.025\text{mm}$, $D_{60}=0.05\text{mm}$ e $D_{10}=0.001\text{mm}$

Per quanto riguarda i limiti di Atterberg si ha $W_n=33\%$, $W_l=46\%$, $W_p=24\%$, $IP=22\%$.

Dalla carta di Casagrande la posizione corrisponderebbe ad argille di medio-alta plasticità.

Per il peso di volume γ si è ottenuto un valore di $19\div 21\text{KN/m}^3$.

Per il peso di volume γ_s si è ottenuto un valore medio di 26.6KN/m^3 .

Per il peso di volume γ_d si è ottenuto un valore medio di 14.5KN/m^3 .

Per quanto riguarda la determinazione delle caratteristiche iniziali e per la determinazione delle pressioni verticali di consolidazione:

- **OCR:** è stato possibile stimare il grado di sovraconsolidazione a partire dai valori di C_u calcolati con le prove pressiometriche ottenendo un valore massimo pari a 3 tra 35 e 40m di profondità. A partire dalle prove SPT si ottiene che per $15\text{m} < z < 20\text{m}$ il materiale è caratterizzato da un $OCR=2.5\div 4$ sino a 35m, diminuendo in profondità ($OCR=6.8-0.174 z$) ad un valore di OCR prossimo ad 1 per $z > 35\text{m}$;
- e_0 è stato stimato dalle prove di laboratorio: si è ottenuto un valore compreso tra 0.7 e 0.8;
- k_0 è stimabile sulla base della seguente espressione:

$$k_0 = (1 - \sin \varphi') \cdot \sqrt{OCR}$$

essendo:

φ' = angolo di attrito.

Per quanto riguarda i parametri di resistenza, si hanno a disposizione 12 prove di laboratorio su campioni prelevati fra 8m e 50m; le condizioni di rottura delle prove sono caratterizzate sia da $\sigma'_2 \neq \sigma'_3$ che da $\sigma'_2 = \sigma'_3$.

Dall'interpretazione dei dati, nell'ambito delle pressioni di prova, si ottengono i seguenti range di valori di resistenza di picco:

| | | | | | | |
|--|-----------------------------------|---------------------------------|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| | c' piccolo [Mpa] | φ' piccolo [°] | c' cv [Mpa] | φ' cv [°] | c' r [Mpa] | φ' r [°] |
|--|-----------------------------------|---------------------------------|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|---------------------------|

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

| | | | | | | |
|------------------------------|-------------|-------|---|-------|---|----|
| $(\sigma'_2 \neq \sigma'_3)$ | 0.010-0.050 | 30-20 | 0 | 28-30 | 0 | 16 |
| $(\sigma'_2 = \sigma'_3)$ | 0.010-0.040 | 30-25 | 0 | 23 | 0 | 16 |

Il valore operativo è dato da:

$$c' = 0.010 \div 0.050 \text{ MPa}$$

$$\varphi' = 30^\circ \div 20^\circ$$

$$c'_{cv} = 0 \text{ MPa}$$

$$\varphi'_{cv} = 23^\circ \div 28^\circ$$

I valori più coesivi ed i corrispondenti angoli di attrito sono da associare allo strato superficiale più sovraconsolidato.

In mancanza di prove di laboratorio TXUU i valori di resistenza non drenata C_u sono stati determinati correlando i valori di N_{spt} ed i risultati delle prove pressiometriche.

In questo contesto dalle pressiometriche si ottengono valori di C_u molto alti e pari da 300-370 a 900 KPa a circa 40m di profondità, trascurando dei valori molto bassi ottenuti nella prove del sondaggio S455 effettuate in strati torbosi.

Invece dalle prove SPT si ottengono valori fra 250 e 400 KPa. Tale discrepanza con le pressiometriche può ricondursi alla elevata plasticità dell'argilla che dovrebbe suggerire l'utilizzo di un fattore moltiplicativo dei valori di N_{spt} maggiore di 5.

Comunque si può assumere:

$$C_u = 400 \text{ KPa per } z < 35\text{m}$$

$$C_u = 250 \text{ KPa per } z > 35\text{m}$$

Per quanto riguarda i parametri di deformabilità, dalle prove dilatometriche (S451, S452, S452bis) si evince un modulo medio variabile da circa 40 MPa a 100 MPa tra 17 e 53m di profondità, con valori ottenuti nel sondaggio S455 troppo bassi (15-30MPa) e da scartare perché effettuati su un livelletto torboso. I valori determinati dalle prove corrispondono al primo ciclo di carico.

Dalla prova sismica down hole effettuata nel sondaggio SPPS08 si ottengono valori di V_s molto elevati (1100 m/s) corrispondenti ad uno strato molto consistente. Il modulo G_0 corrispondente risulterebbe pari a 2300 MPa.

Dalla prove sismiche a rifrazione (S432-SR10, S454-SR5), ad una profondità media di 20-25m, si registra un valore medio di V_s pari a 400÷450m/s a cui corrisponde un valore di G_0 pari a circa

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

300÷400 Mpa e quindi $E_0 = 720 \div 960$ Mpa.

Vista la grande discrepanza fra i risultati e visto il numero esiguo di prove si ritiene cautelativo quindi assumere, un modulo operativo a medie - grandi deformazioni pari a:

$E' = 80 \div 160$ MPa

compatibile con

$E' = 200 C_u$ nel valore minimo

$E' = 400 C_u$ nel valore massimo

avendo posto un valore di $C_u = 400$ Kpa

Tale range corrisponde ad $1/10 \div 1/5$ del valore di E_0 determinato con le sismiche a rifrazione.

Le prove di laboratorio edometriche (SPP07, SPP08) per la determinazione delle caratteristiche di compressibilità e per la determinazione dei coefficienti di consolidazione non sono ritenute significative per il presunto disturbo dei campioni.

Il valore di E_{ed} medio si attesta infatti intorno a 14 Mpa.

Il valore di C_c medio è pari a 0.13

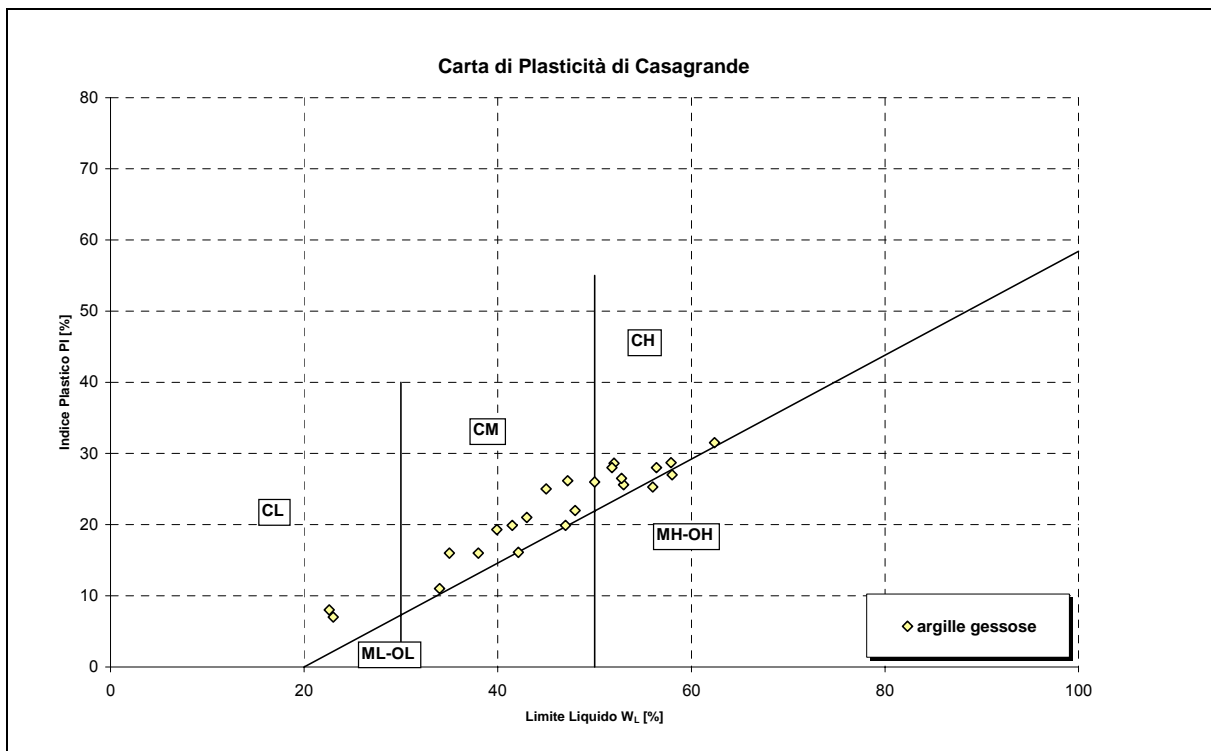
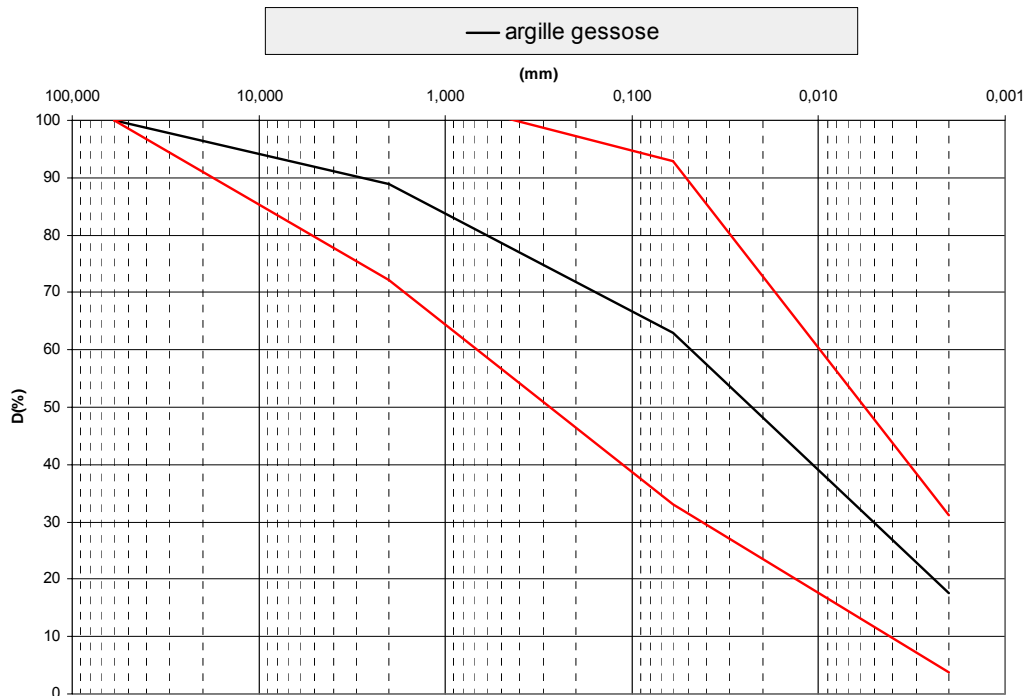
Il valore di c_s medio è pari a 0.034

Il valore di c_v medio è pari a 1.87×10^{-5} m²/s

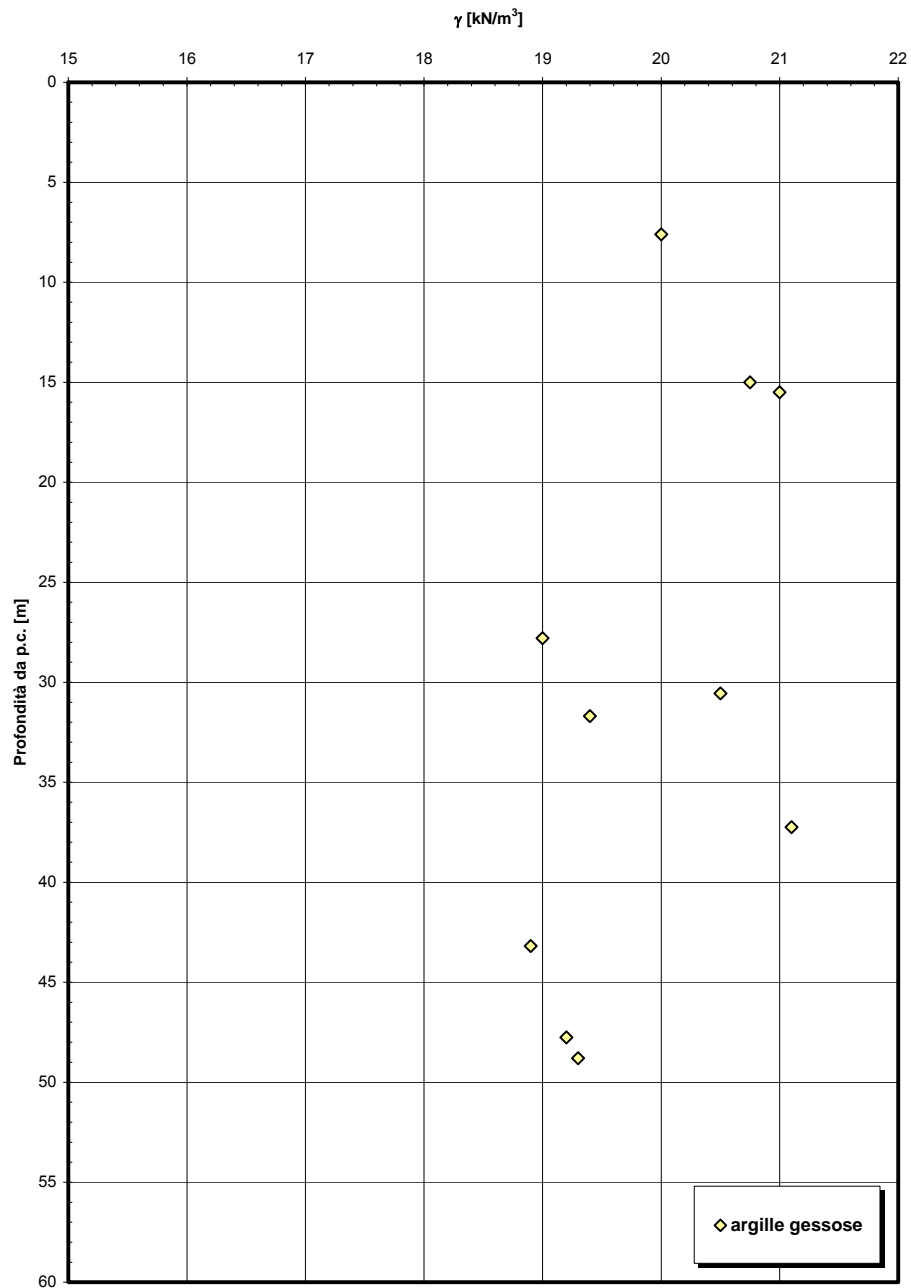
Il valore di c_α medio è pari a 1.4×10^{-3}

Per quanto concerne la permeabilità le prove edometriche non determinano il valore di K che quindi verrà stimato in base alla correlazione di Rocchi (2003): per e_L che assume un valore medio pari a 1.456 si ottiene un valore della permeabilità verticale di 1×10^{-8} m/sec.

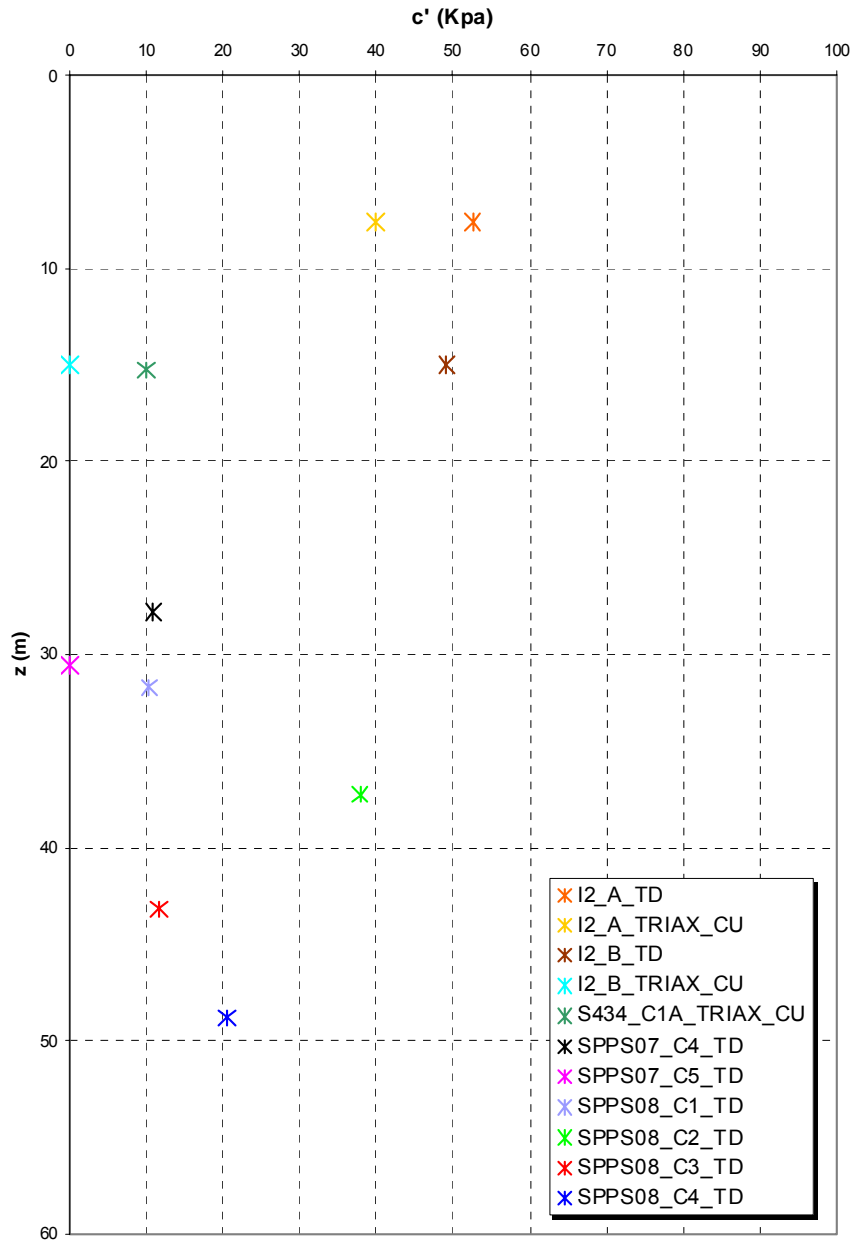
C'è da dire, però, che la permeabilità a grande scala di tale ammasso risente degli eventuali livelli più permeabili (sabbiosi, gessosi, etc,...) e quindi, considerando più rappresentativo l'esito delle prove in situ, si considerano invece valori della permeabilità (orizzontale) dell'ordine di 6×10^{-7} m/sec.



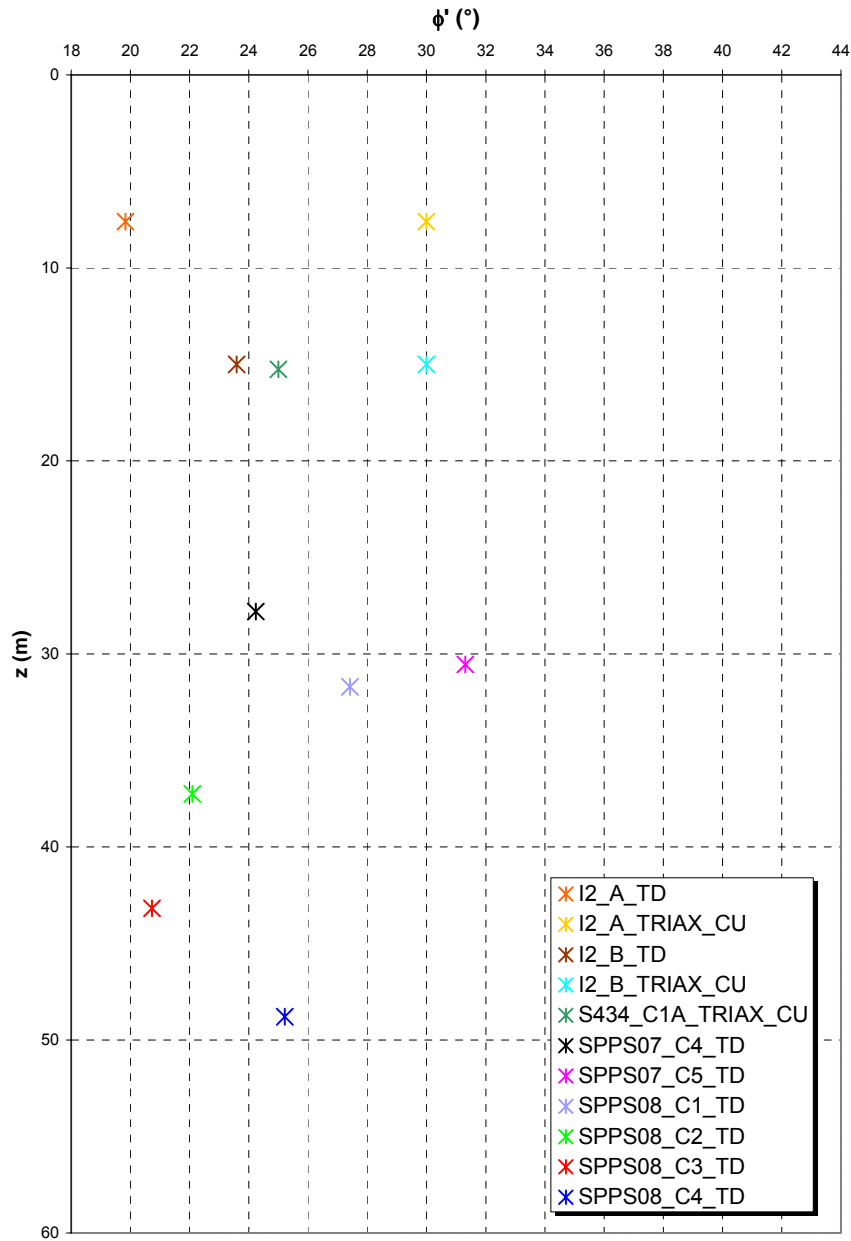
Peso di volume naturale



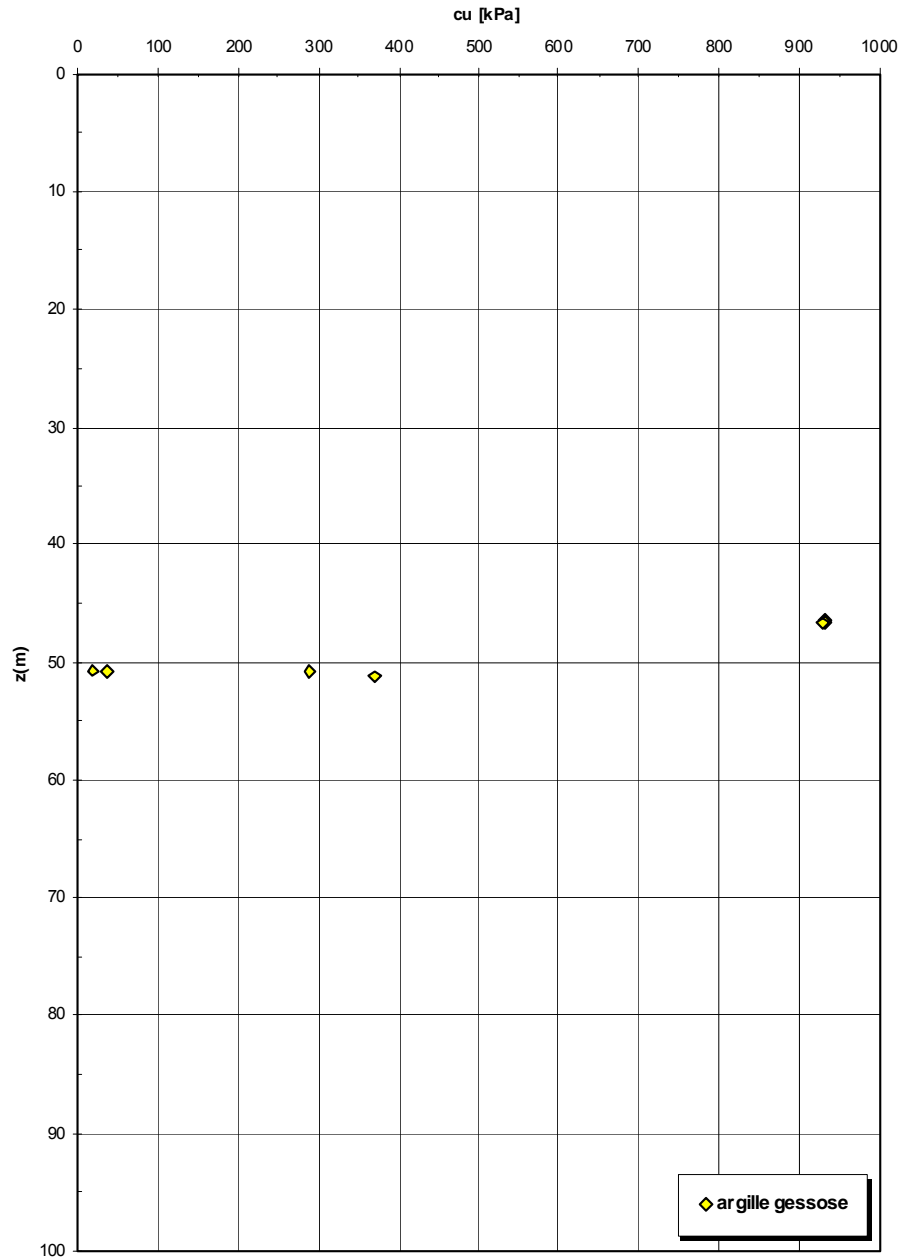
**Coesione
ARGILLE GESSOSE**



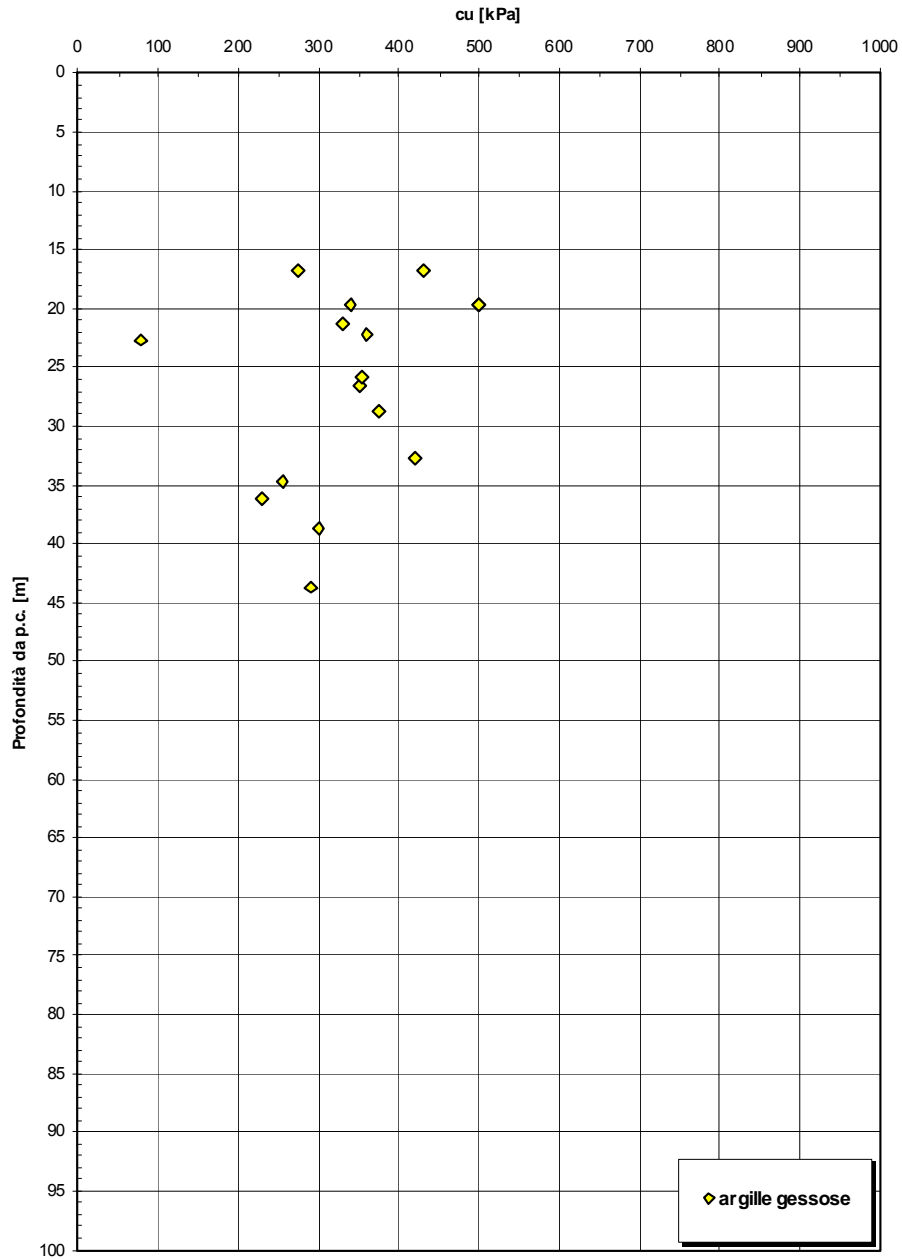
**Angolo di attrito
ARGILLE GESSOSE**



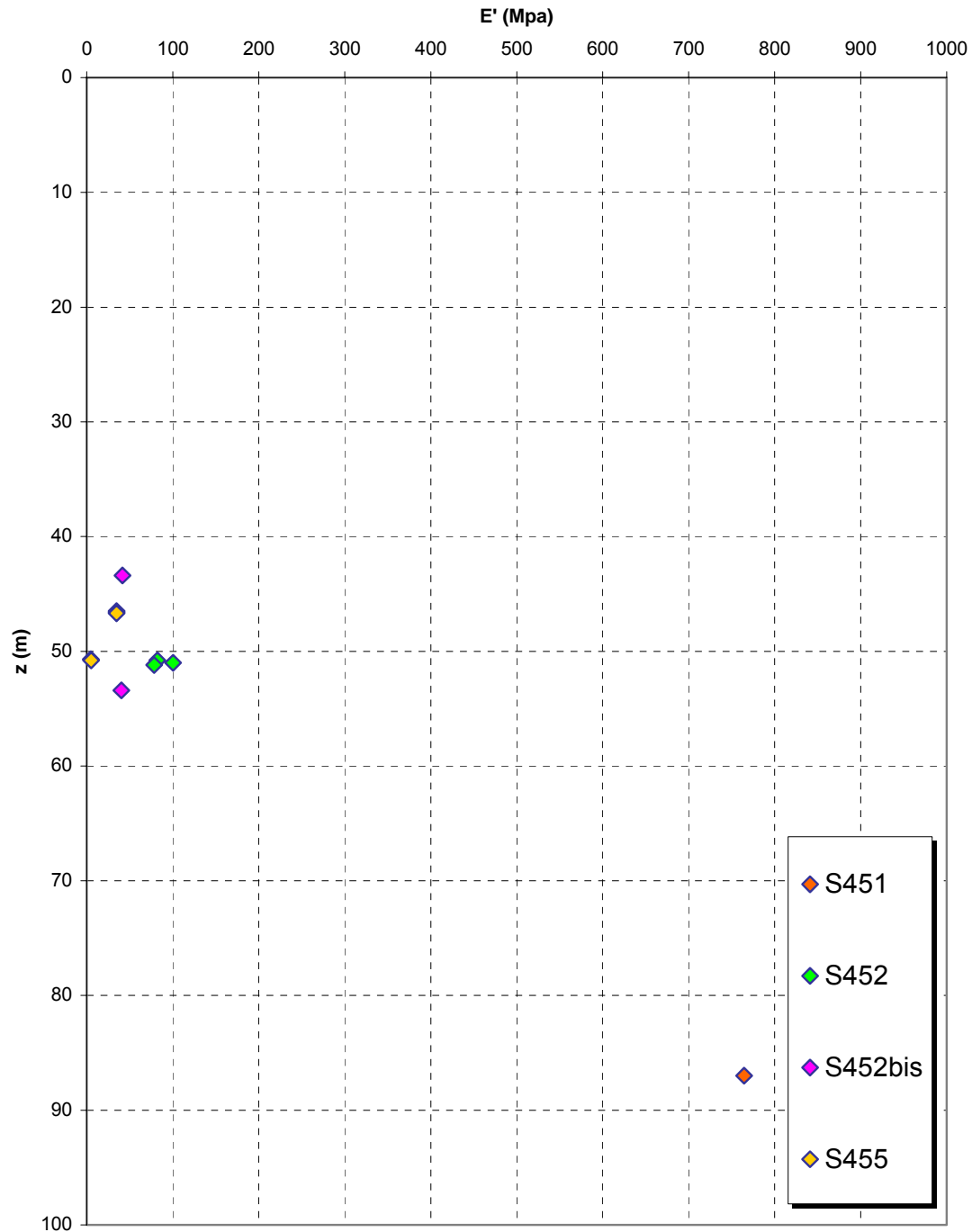
Coesione non drenata da prove pressiometriche



Coesione non drenata da prove SPT



**Prove dilatometriche
ARGILLE GESSOSE**



| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

5.4 Parametri principali assunti

La stratigrafia assunta per le verifiche geotecniche è estrapolata dal profilo geotecnico generale e così riassunto:

| | |
|----------------------|----------------------|
| da p.c a -14,00 m | depositi alluvionali |
| da -14,00 a -42,00 m | calcari brecciati |
| da -42,00 a -61,00 m | argille gessose |

Dalle indagini di riferimento S452 e S452bis si evince che la quota di falda si attesta intorno alla profondità dal piano campagna di circa -20,00 m, ossia a circa -15,00 m dalla quota del canale esistente coincidente con la quota di testa palo nelle modellazioni di verifica (trascurati i primi 3 m in adiacenza al muro esistente del canale); tale valore è riferito ad indagini datate giugno in cui la falda può essere più bassa rispetto al periodo autunnale – invernale, per cui la quota della falda è assunta prudenzialmente a -10,00 m dal piano del letto del canale esistente.

Parametri principali assunti – DEPOSITI ALLUVIONALI

| | |
|--------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Peso di volume | $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ |
| Peso di volume saturo | $\gamma_s = 26,5 \text{ kN/m}^3$ |
| Angolo di attrito interno | $\phi' = 38^\circ$ (prudenziale limite massimo) |
| Angolo di attrito terreno – palo | $\phi' = 38^\circ$ |
| Modulo deformazione elastico (z=6 m) | $E' = 50 \text{ MPa}$ |

Parametri principali assunti – CALCARI BRECCIATI

| | |
|----------------------------------|--------------------------------|
| Peso di volume | $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ |
| Peso di volume saturo | $\gamma_s = 27 \text{ kN/m}^3$ |
| Angolo di attrito interno | $\phi' = 27^\circ$ |
| Angolo di attrito terreno – palo | $\phi' = 27^\circ$ |
| Modulo deformazione elastico | $E' = 130 \text{ MPa}$ |

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

6 CARATTERIZZAZIONE DELLA SISMICITA' DEL LUOGO

Le azioni di progetto si ricavano, ai sensi delle NTC, dalle accelerazioni a_g e dalle relative forme spettrali.

Le forme spettrali previste dalle NTC sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei tre parametri:

- a_g accelerazione orizzontale massima del terreno;
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_C^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno T_R considerati dalla pericolosità sismica, i tre parametri si ricavano riferendosi ai valori corrispondenti al 50esimo percentile ed attribuendo ad:

a_g il valore previsto dalla pericolosità sismica;

F_0 e T_C^* i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento previste dalle NTC scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla pericolosità sismica.

Le forme spettrali previste dalle NTC sono caratterizzate da prescelte probabilità di superamento e vite di riferimento. A tal fine occorre fissare:

- la vita di riferimento V_R della costruzione;
- le probabilità di superamento nella vita di riferimento P_{VR} associate agli stati limite considerati, per individuare infine, a partire dai dati di pericolosità sismica disponibili, le corrispondenti azioni sismiche.

A tal fine è conveniente utilizzare, come parametro caratterizzante la pericolosità sismica, il periodo di ritorno dell'azione sismica T_R , espresso in anni. Fissata la vita di riferimento V_R , i due parametri T_R e P_{VR} sono immediatamente esprimibili, l'uno in funzione dell'altro, mediante

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| | | RELAZIONE GEOTECNICA | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 |

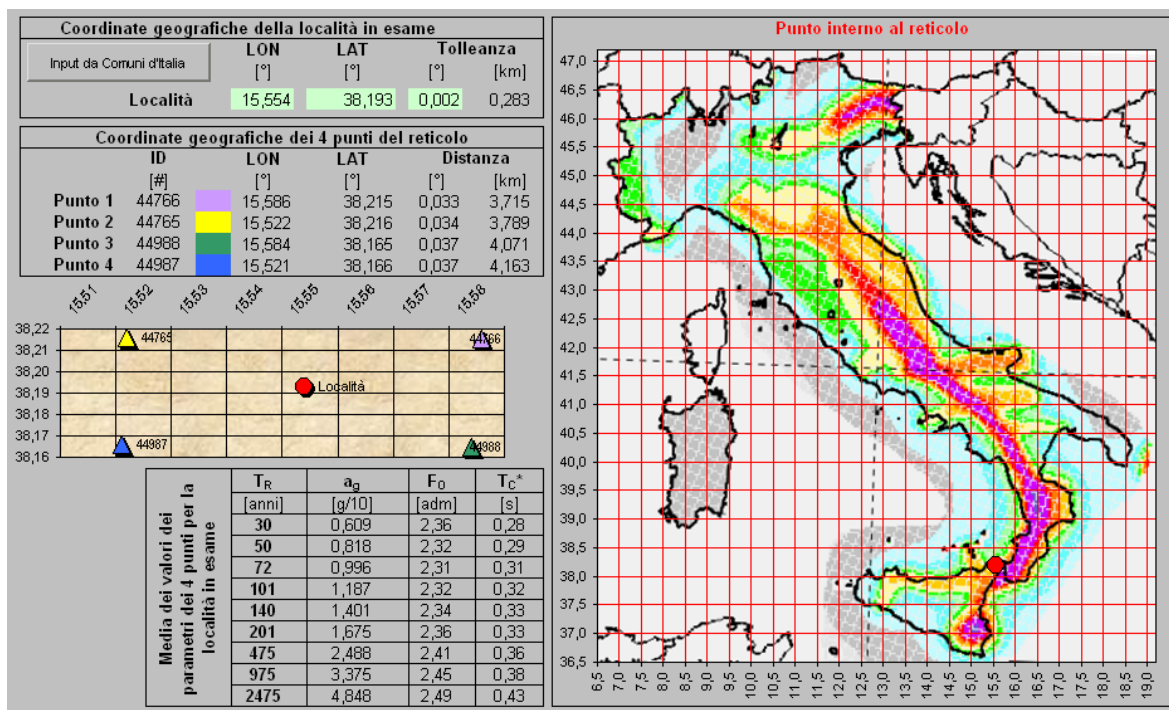
l'espressione:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})} = -\frac{200}{\ln(1 - 0.1)} = 1.898 \text{ anni}$$

I valori dei parametri a_g , F_0 e T_C^* relativi alla pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento sono forniti nelle tabelle riportate nell'ALLEGATO B delle NTC.

I punti del reticolo di riferimento sono definiti in termini di Latitudine e Longitudine ed ordinati a Latitudine e Longitudine crescenti, facendo variare prima la Longitudine e poi la Latitudine. L'accelerazione al sito a_g è espressa in g/10; F_0 è adimensionale, T_C^* è espresso in secondi.

Nel seguito si riporta una tabella riassuntiva dei parametri che caratterizzano il Comune di Messina:



6.1 Azioni sismiche

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione, che

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale di categoria A, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R .

Nel presente progetto è stata verificata la combinazione di carico sismica con riferimento allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV): a seguito del terremoto la struttura subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; mentre conserva invece una parte della esistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.

6.1.1 Vita nominale

La vita nominale di un'opera strutturale è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata. Nel caso in oggetto, l'opera ricade all'interno del tipo di costruzione: "Grandi opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica" (paragrafo 2.4 delle 'Nuove Norme tecniche per le costruzioni – D.M. 14 gennaio 2008').

La vita nominale si assume pertanto pari a $V_N = 100$ anni.

6.1.2 Classe d'uso

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un'eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso. Nel caso in oggetto si fa riferimento alla Classe IV: costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità..... Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico."

Il coefficiente d'uso si assume pertanto pari a $c_U = 2,0$.

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

6.1.3 Periodo di riferimento per l'azione sismica

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U . Tale coefficiente è funzione della classe d'uso.

$$V_R = V_N \times C_U = 100 \text{ anni} \times 2 = 200 \text{ anni}$$

Le probabilità di superamento P_{VR} nel periodo di riferimento V_R , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente, sono pari al 10% nel caso dello stato limite SLV.

6.1.4 Classificazione sismica del terreno

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, in accordo con le NTC, si fa riferimento all'approccio semplificato che si basa sulla individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento.

Le simiche a rifrazione effettuate in località La Giostra (SR5-S454) in un contesto litostratigrafico simile forniscono una categoria di suolo variabile tra **B** ($V_{s30}=410\text{m/s}$) e **C** ($V_{s30}=300\text{m/s}$).

Prudenzialmente si assume quindi una tipologia di terreno di categoria **C**.

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| | | RELAZIONE GEOTECNICA | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 |

7 ANALISI DELLE FONDAZIONI

7.1 ANALISI DEL SISTEMA FONDAZIONALE DELLE SPALLE

7.1.1 ANALISI DEI CARICHI

Si riportano in primis i valori di sollecitazione nel tratto di palo dalla quota del cordolo per i primi tre metri (frame 1), quindi quelli relativi al successivo sviluppo del palo per la lunghezza considerata nella modellazione (frame 2).

TABLE: Element Forces - Frames

| Frame | Station | OutputCase | CaseType | StepType | P | V2 | M3 |
|-------|---------|------------|-------------|----------|----------|----------|------------|
| Text | m | Text | Text | Text | KN | KN | KN-m |
| 1 | 0 | INV_STR | Combination | Max | -113,199 | -69,069 | 640,9392 |
| 1 | 1,5 | INV_STR | Combination | Max | -113,199 | -129,042 | 1028,1414 |
| 1 | 3 | INV_STR | Combination | Max | -113,199 | -142,34 | 1445,9225 |
| 1 | 0 | INV_STR | Combination | Min | -561,517 | -249,331 | 181,6778 |
| 1 | 1,5 | INV_STR | Combination | Min | -561,517 | -285,985 | 344,2479 |
| 1 | 3 | INV_STR | Combination | Min | -561,517 | -321,8 | 572,5104 |
| 1 | 0 | INV_GEO | Combination | Max | -100,363 | -71,644 | 589,8046 |
| 1 | 1,5 | INV_GEO | Combination | Max | -100,363 | -123,621 | 940,4369 |
| 1 | 3 | INV_GEO | Combination | Max | -100,363 | -135,145 | 1317,571 |
| 1 | 0 | INV_GEO | Combination | Min | -482,352 | -226,101 | 183,5784 |
| 1 | 1,5 | INV_GEO | Combination | Min | -482,352 | -257,868 | 342,1487 |
| 1 | 3 | INV_GEO | Combination | Min | -482,352 | -288,907 | 557,6525 |
| 1 | 0 | INV_SLV | Combination | Max | -41,418 | 69,851 | -11,3193 |
| 1 | 1,5 | INV_SLV | Combination | Max | -41,418 | 1,796 | -34,4226 |
| 1 | 3 | INV_SLV | Combination | Max | -41,418 | -59,569 | 39,5392 |
| 1 | 0 | INV_SLV | Combination | Min | -106,947 | 49,746 | -56,1122 |
| 1 | 1,5 | INV_SLV | Combination | Min | -106,947 | -18,309 | -109,0109 |
| 1 | 3 | INV_SLV | Combination | Min | -106,947 | -79,674 | -64,8445 |
| 6 | 0 | INV_STR | Combination | Max | -119,196 | 263,19 | -181,6778 |
| 6 | 1,5 | INV_STR | Combination | Max | -119,196 | 291,874 | -360,5794 |
| 6 | 3 | INV_STR | Combination | Max | -119,196 | 321,8 | -613,5453 |
| 6 | 0 | INV_STR | Combination | Min | -567,514 | 85,538 | -652,0298 |
| 6 | 1,5 | INV_STR | Combination | Min | -567,514 | 135,155 | -1053,75 |
| 6 | 3 | INV_STR | Combination | Min | -567,514 | 143,996 | -1481,3669 |
| 6 | 0 | INV_GEO | Combination | Max | -105,56 | 238,112 | -183,5784 |
| 6 | 1,5 | INV_GEO | Combination | Max | -105,56 | 262,971 | -356,3027 |
| 6 | 3 | INV_GEO | Combination | Max | -105,56 | 288,907 | -593,2161 |
| 6 | 0 | INV_GEO | Combination | Min | -487,55 | 85,917 | -599,4164 |
| 6 | 1,5 | INV_GEO | Combination | Min | -487,55 | 130,72 | -962,631 |

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

| | | | | | | | |
|---|-----|---------|-------------|-----|----------|---------|------------|
| 6 | 3 | INV_GEO | Combination | Min | -487,55 | 136,581 | -1348,2895 |
| 6 | 0 | INV_SLV | Combination | Max | -71,75 | 52,113 | 34,4879 |
| 6 | 1,5 | INV_SLV | Combination | Max | -71,75 | 94,072 | -47,2538 |
| 6 | 3 | INV_SLV | Combination | Max | -71,75 | 117,948 | -178,3718 |
| 6 | 0 | INV_SLV | Combination | Min | -137,279 | 32,008 | -10,305 |
| 6 | 1,5 | INV_SLV | Combination | Min | -137,279 | 73,967 | -121,8421 |
| 6 | 3 | INV_SLV | Combination | Min | -137,279 | 97,843 | -282,7555 |

| | | |
|------|----------|-----|
| Nmin | -41,418 | KN |
| Nmax | -567,514 | KN |
| Mpos | 1445,923 | KNm |
| Mneg | -1481,37 | KNm |
| Vpos | 321,8 | KN |
| Vneg | -321,8 | KN |

Ora si riportano nello specifico i massimi valori di sollecitazione nel palo in corrispondenza del letto della fiamara

FASE 1

Vista la particolare condizione statica considerata in FASE 1, prenderemo in considerazione solo i carichi verticali dati dai pesi propri strutturali, agenti sui pali.

$$N = 307 \cdot 1.3 = 399 \text{ KN}$$

FASE 2

| | | |
|------|----------|-----|
| Nmin | -41,418 | KN |
| Nmax | -567,514 | KN |
| Mpos | 640,9392 | KNm |
| Mneg | -652,03 | KNm |
| Vpos | 263,19 | KN |
| Vneg | -249,331 | KN |

Si riportano inoltre i valori delle sollecitazioni derivanti dalle combinazioni SLE già descritte nei precedenti paragrafi della presente relazione:

RELAZIONE GEOTECNICA

Codice documento
ST0217_F0

| | |
|------------|-------------|
| <i>Rev</i> | <i>Data</i> |
| F0 | 20-06-2011 |

| TABLE: Element Forces - Frames | | | | | | | |
|--------------------------------|---------|------------|-------------|----------|----------|----------|-----------|
| Frame | Station | OutputCase | CaseType | StepType | P | V2 | M3 |
| Text | m | Text | Text | Text | KN | KN | KN-m |
| 1 | 0 | COMB34 | Combination | Max | -56,584 | -10,763 | 164,9021 |
| 1 | 1,5 | COMB34 | Combination | Max | -56,584 | -26,318 | 305,2814 |
| 1 | 3 | COMB34 | Combination | Max | -56,584 | -35,183 | 463,9756 |
| 1 | 0 | COMB34 | Combination | Min | -302,318 | -86,155 | -3,0713 |
| 1 | 1,5 | COMB34 | Combination | Min | -302,318 | -101,71 | 25,5753 |
| 1 | 3 | COMB34 | Combination | Min | -302,318 | -110,575 | 72,5368 |
| 1 | 0 | COMB35 | Combination | Max | -56,584 | -11,664 | 212,4481 |
| 1 | 1,5 | COMB35 | Combination | Max | -56,584 | -27,219 | 354,1788 |
| 1 | 3 | COMB35 | Combination | Max | -56,584 | -36,084 | 514,2245 |
| 1 | 0 | COMB35 | Combination | Min | -302,318 | -87,056 | 44,4747 |
| 1 | 1,5 | COMB35 | Combination | Min | -302,318 | -102,611 | 74,4727 |
| 1 | 3 | COMB35 | Combination | Min | -302,318 | -111,476 | 122,7857 |
| 1 | 0 | COMB36 | Combination | Max | -56,584 | 6,76 | 125,7615 |
| 1 | 1,5 | COMB36 | Combination | Max | -56,584 | -35,199 | 261,0839 |
| 1 | 3 | COMB36 | Combination | Max | -56,584 | -59,075 | 445,7826 |
| 1 | 0 | COMB36 | Combination | Min | -302,318 | -68,633 | -42,2119 |
| 1 | 1,5 | COMB36 | Combination | Min | -302,318 | -110,592 | -18,6222 |
| 1 | 3 | COMB36 | Combination | Min | -302,318 | -134,468 | 54,3438 |
| 1 | 0 | COMB37 | Combination | Max | -56,584 | 5,859 | 173,3075 |
| 1 | 1,5 | COMB37 | Combination | Max | -56,584 | -36,1 | 309,9814 |
| 1 | 3 | COMB37 | Combination | Max | -56,584 | -59,976 | 496,0315 |
| 1 | 0 | COMB37 | Combination | Min | -302,318 | -69,534 | 5,3341 |
| 1 | 1,5 | COMB37 | Combination | Min | -302,318 | -111,493 | 30,2753 |
| 1 | 3 | COMB37 | Combination | Min | -302,318 | -135,369 | 104,5927 |
| 6 | 0 | COMB34 | Combination | Max | -56,584 | 86,155 | 3,0713 |
| 6 | 1,5 | COMB34 | Combination | Max | -56,584 | 101,71 | -25,5753 |
| 6 | 3 | COMB34 | Combination | Max | -56,584 | 110,575 | -72,5368 |
| 6 | 0 | COMB34 | Combination | Min | -302,318 | 10,763 | -164,9021 |
| 6 | 1,5 | COMB34 | Combination | Min | -302,318 | 26,318 | -305,2814 |
| 6 | 3 | COMB34 | Combination | Min | -302,318 | 35,183 | -463,9756 |
| 6 | 0 | COMB35 | Combination | Max | -56,584 | 87,056 | -44,4747 |
| 6 | 1,5 | COMB35 | Combination | Max | -56,584 | 102,611 | -74,4727 |
| 6 | 3 | COMB35 | Combination | Max | -56,584 | 111,476 | -122,7857 |
| 6 | 0 | COMB35 | Combination | Min | -302,318 | 11,664 | -212,4481 |
| 6 | 1,5 | COMB35 | Combination | Min | -302,318 | 27,219 | -354,1788 |
| 6 | 3 | COMB35 | Combination | Min | -302,318 | 36,084 | -514,2245 |
| 6 | 0 | COMB36 | Combination | Max | -56,584 | 68,633 | 42,2119 |
| 6 | 1,5 | COMB36 | Combination | Max | -56,584 | 110,592 | 18,6222 |
| 6 | 3 | COMB36 | Combination | Max | -56,584 | 134,468 | -54,3438 |
| 6 | 0 | COMB36 | Combination | Min | -302,318 | -6,76 | -125,7615 |
| 6 | 1,5 | COMB36 | Combination | Min | -302,318 | 35,199 | -261,0839 |
| 6 | 3 | COMB36 | Combination | Min | -302,318 | 59,075 | -445,7826 |

RELAZIONE GEOTECNICA

Codice documento
ST0217_F0

| <i>Rev</i> | <i>Data</i> |
|------------|-------------|
| F0 | 20-06-2011 |

| | | | | | | | |
|---|-----|--------|-------------|-----|----------|---------|-----------|
| 6 | 0 | COMB37 | Combination | Max | -56,584 | 69,534 | -5,3341 |
| 6 | 1,5 | COMB37 | Combination | Max | -56,584 | 111,493 | -30,2753 |
| 6 | 3 | COMB37 | Combination | Max | -56,584 | 135,369 | -104,5927 |
| 6 | 0 | COMB37 | Combination | Min | -302,318 | -5,859 | -173,3075 |
| 6 | 1,5 | COMB37 | Combination | Min | -302,318 | 36,1 | -309,9814 |
| 6 | 3 | COMB37 | Combination | Min | -302,318 | 59,976 | -496,0315 |

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

7.1.2 MODELLO DI CALCOLO

Normative di riferimento

- Legge nr. 1086 del 05/11/1971.

Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica.

- Legge nr. 64 del 02/02/1974.

Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.

- D.M. LL.PP. del 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.

- D.M. LL.PP. del 14/02/1992.

Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.

- D.M. 9 Gennaio 1996

Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche

- D.M. 16 Gennaio 1996

Norme Tecniche relative ai 'Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi'

- D.M. 16 Gennaio 1996

Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche

- Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C.

Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996

- Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG.

Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996

- Norme Tecniche per le Costruzioni 2008 (D.M. 14 Gennaio 2008)

- Circolare 617 del 02/02/2009

Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

Determinazione della capacità portante

Il carico verticale che grava sul palo va confrontato con il valore di calcolo della resistenza verticale del palo stesso. Il problema che si pone, quindi, è quello di determinare la capacità portante del palo. Determinata la capacità portante, la resistenza di calcolo verticale del palo si ottiene applicando degli opportuni coefficienti di sicurezza.

La capacità portante di un palo viene valutata come somma di due contributi: portanza di base (o di punta) e portanza per attrito laterale lungo il fusto. Cioè si assume valida l'espressione:

$$Q_T = Q_P + Q_L - W_P$$

dove:

- Q_T Portanza totale del palo;
- Q_P Portanza di base del palo;
- Q_L Portanza per attrito laterale del palo;
- W_P Peso proprio del palo.

Le due componenti Q_P e Q_L sono calcolate in modo indipendente fra loro. Risulta molto difficoltoso, tranne che in poche situazioni, stabilire quanta parte del carico viene assorbita per attrito laterale e quanta per resistenza alla base.

Nel caso di pali soggetti a trazione la resistenza allo sfilamento vale:

$$Q_T = Q_L + W_P$$

Dalla capacità portante del palo si ricava il carico ammissibile del palo Q_A applicando degli opportuni coefficienti di sicurezza rispettivamente γ_b e γ_s .

I coefficienti γ_b e γ_s rappresentano rispettivamente i valori del coefficiente di sicurezza per la portanza di punta e quello per la portanza laterale.

Quindi nel caso di pali compressi abbiamo la seguente relazione:

$$Q_A = Q_P/\gamma_b + Q_L/\gamma_s - W_P \gamma_{G1}$$

Nel caso invece di pali soggetti a sforzi di trazione abbiamo la seguente relazione:

$$Q_A = Q_L/\gamma_s + W_P \gamma_{G1}$$

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

Capacità portante di punta

In generale la capacità portante di punta viene calcolata tramite l'espressione:

$$Q_P = A_P (c N_c + q_b N_q)$$

dove A_P è l'area portante efficace della punta del palo, c è la coesione, q_b è la pressione del terreno alla quota della punta del palo ed i coefficienti N_c e N_q sono i coefficienti delle formule della capacità portante corretti per tener conto degli effetti di profondità.

N_c ed N_q dipendono sia dalla geometria del palo che dalle caratteristiche del terreno angolo di attrito e coesione (ϕ e c).

In letteratura è possibile trovare diverse formule per il calcolo dei valori di N_c ed N_q .

Per pali in argilla in condizioni non drenate ($\phi=0$, $c=c_u$) si assume in genere per N_c il valore proposto da Skempton pari a 9 (valore in corrispondenza della punta del palo) mentre $N_q=1$. Diversi autori hanno proposto altri valori per il fattore N_c ma in generale le variazioni sono abbastanza contenute.

Diverso è il caso del fattore N_q per il quale diversi autori propongono dei valori spesso molto discordanti fra di loro.

In particolare da prove effettuati su pali realizzati in terreni non coesivi, si vede che la variazione della resistenza alla punta non cresce in modo lineare con la profondità, ma raggiunto un certo valore essa si mantiene pressochè costante. Questo fenomeno è stato spiegato da Vesic mettendo in conto un <<effetto arco>> che si manifesta nei dintorni del palo.

Un modo semplice per tener conto del fatto che la resistenza alla punta non può crescere indefinitamente è quello di considerare il diagramma delle pressioni verticali in corrispondenza del palo opportunamente modificato.

In particolare si assume che la pressione verticale σ_v cresca linearmente (pressione geostatica) fino ad una certa profondità z_c ($\sigma_v=\sigma_c$); superata tale profondità il valore della pressione verticale si mantiene costante e pari a σ_c : in pratica si assume un diagramma bilatero per l'andamento della pressione verticale in corrispondenza del palo.

Il valore di z_c (detta anche profondità critica) dipende dal diametro del palo, D , dalla tecnologia di realizzazione (palo infisso o trivellato) dall'angolo di attrito del terreno ϕ .

Nella determinazione di z_c il valore di ϕ da considerare è funzione del valore dell'angolo di attrito prima dell'installazione del palo, ϕ' , secondo le seguenti relazioni:

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

Per pali infissi $\phi = 3/4 \phi' + 10$

Per pali trivellati $\phi = \phi' - 3$

A parità di diametro influisce il grado di addensamento del terreno (densità relativa D_r) e la resistenza alla punta cresce con il crescere della densità.

Nella sezione successiva descriveremo le relazioni per la determinazione di N_c ed N_q .

Capacità portante per attrito laterale

La portanza laterale è data dall'integrale esteso a tutta la superficie laterale del palo delle tensioni tangenziali palo-terreno in condizioni limiti:

$$Q_L = \text{Int}(\tau_a) dS$$

dove τ_a è dato dalla nota relazione di Coulomb:

$$\tau_a = c_a + \sigma_h \text{tg } \delta$$

dove c_a è l'adesione palo-terreno, δ è l'angolo di attrito palo-terreno, e σ_h è la tensione orizzontale alla generica profondità z . La tensione orizzontale σ_h è legata alla pressione verticale σ_v tramite il coefficiente di spinta K_s

$$\sigma_h = K_s \sigma_v$$

Indicando con C il perimetro e con L la lunghezza del palo abbiamo:

$$\text{Int}^L(C(c_a + K_s \sigma_v \text{tg } \delta) dz)$$

Analisi del palo soggetto a forze orizzontali (Portanza trasversale)

La resistenza limite laterale di un palo è determinata dal minimo valore fra il carico orizzontale necessario per produrre il collasso del terreno lungo il fusto del palo ed il carico orizzontale necessario per produrre la plasticizzazione del palo. Il primo meccanismo (plasticizzazione del terreno) si verifica nel caso di pali molto rigidi in terreni poco resistenti (meccanismo di palo corto) mentre il secondo meccanismo si verifica nel caso di pali aventi rigidità non eccessive rispetto al

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

terreno di infissione (meccanismo di palo lungo o intermedio). Nel modello di terreno alla Winkler il terreno viene schematizzato come una serie di molle elastiche indipendenti fra di loro. Le molle che schematizzano il terreno vengono caratterizzate tramite una costante di rigidezza elastica, K_h , espressa in $\text{DaN/cm}^2/\text{cm}$ che rappresenta la pressione (in DaN/cm^2) che bisogna applicare per ottenere lo spostamento di 1 cm. La determinazione di questa costante può essere fatta o tramite prove di carico su piastra o mediante metodi analitici (convenzionali). La variazione della costante di Winkler con la profondità dipende dal tipo di terreno in cui il palo è immerso. Ad esempio nel caso di terreni coesivi in condizioni non drenate K_h assume un valore costante con la profondità mentre nel caso di terreni incoerenti la variazione di K_h è di tipo lineare (crescente con la profondità). In generale l'espressione di K_h assume una forma binomia del tipo:

$$K_h(z) = A + B z^n$$

Per l'analisi di pali caricati trasversalmente si utilizza il modello di Winkler. Il palo viene suddiviso in un determinato numero (100) di elementi tipo trave aventi area ed inerzia pari a quella della sezione trasversale del palo. In corrispondenza di ogni nodo di separazione fra i vari elementi viene inserita una molla orizzontale di opportuna rigidezza che schematizza il terreno. Il comportamento delle molle che schematizzano il terreno non è infinitamente elastico ma è di tipo elastoplastico. La singola molla reagisce fino ad un valore limite di spostamento o di reazione; una volta che è stato superato tale limite la molle non offre ulteriori incrementi di resistenza (diagramma tipo elastoplastico perfetto). Indicando con dy_e la lunghezza del tratto di influenza della molla, con D il diametro del palo la molla avrà una rigidezza pari a:

$$K_m = dy_e D K_k$$

La resistenza limite del terreno rappresenta il valore limite di resistenza che il terreno può esplicare quando il palo è soggetto ad un carico orizzontale. La resistenza limite $pu=pu(z)$ dipende dalle caratteristiche del terreno e dalla geometria del palo. In terreni puramente coesivi ($c=c_u$, $\phi=0$) la resistenza cresce dal valore 0 in sommità fino ad un valore limite in corrispondenza di una profondità pari a circa 3 diametri. Il valore limite in tal caso è variabile fra 8 e 12 c_u . Nel caso di terreni dotati di attrito e coesione la resistenza limite ad una generica profondità z è rappresentata dalla relazione (Brinch Hansen):

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

$$P_u = q K_{pq} + c K_{pc}$$

dove:

D diametro del palo

q pressione geostatica alla profondità z

c coesione alla profondità z

K_{pq} , K_{pc} coefficienti funzione dell'angolo di attrito del terreno ϕ e del rapporto z/D .

Broms ha eseguito l'analisi considerando il caso sia di palo vincolato in testa che di palo libero immerso in un mezzo omogeneo. Nel caso di terreni coesivi Broms assume in questo caso un diagramma di resistenza nullo fino ad una profondità pari a $1,5D$ e poi valore costante pari a $9c_u D$.

Nel caso di terreni incoerenti Broms assume che la resistenza laterale sia variabile con la profondità dal valore 0 (in testa) fino al valore $3\sigma_v K_p D$ (alla base) essendo K_p il coefficiente di resistenza passiva espresso da $K_p = \tan^2(45^\circ + \phi/2)$.

Geometria della fondazione

Simbologia adottata

| | |
|--------------------|--------------------------------------------------|
| <i>Descrizione</i> | Descrizione del palo |
| <i>Forma</i> | Forma del palo ((C)=Costante, (R)=Rastremato) |
| <i>X</i> | Ascissa del baricentro del palo espressa in [m] |
| <i>Y</i> | Ordinata del baricentro del palo espressa in [m] |
| <i>D</i> | Diametro del palo espresso in [cm] |
| <i>L</i> | Lunghezza del palo espressa in [m] |

| Descrizione | Forma | X | Y | D | L |
|--------------------|--------------|----------|----------|----------|----------|
| Palo 60 | (C) | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 12,00 |

Materiali palo

Calcestruzzo

| | | |
|---------------------------------------------------|--------|----------------------|
| Tipo | C25/30 | |
| Resistenza caratteristica a compressione R_{ck} | 3000,0 | [N/cm ²] |

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

| | | |
|----------------------------------------|---------|----------------------|
| Peso specifico | 24,5170 | [kN/mc] |
| Coeff. di omogeneizzazione | 15,00 | |
| <i>Acciaio</i> | | |
| Tipo | B450C | |
| Tensione caratteristica di snervamento | 45000,0 | [N/cm ²] |

Coefficienti di sicurezza sui materiali

| | |
|-----------------------------------------------------|------|
| Coefficiente di sicurezza calcestruzzo | 1.50 |
| Fattore riduzione da resistenza cubica a cilindrica | 0.83 |
| Fattore di riduzione per carichi di lungo periodo | 0.85 |
| Coefficiente di sicurezza acciaio | 0.85 |
| | |
| Coefficiente di sicurezza sezione | 1.50 |

Caratteristiche pali

Pali in c.a.

Armatura con ferri longitudinali e staffe

Vincolo in testa di tipo INCASTRO

Tipo di palo TRIVELLATO

Contributo sia della portanza laterale sia della portanza di punta

Descrizione terreni e falda

Simbologia adottata

| <i>Descrizione</i> | Descrizione terreno |
|--------------------|---------------------------------------------------------|
| γ | Peso di volume del terreno espresso in [kN/mc] |
| γ_{sat} | Peso di volume saturo del terreno espresso in [kN/mc] |
| ϕ | Angolo di attrito interno del terreno espresso in gradi |
| δ | Angolo di attrito palo-terreno espresso in gradi |
| c | Coesione del terreno espressa in [N/cm ²] |

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

| | |
|------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| c_a | Adesione del terreno espressa in [N/cm ²] |
| ϕ_{min}, ϕ_{med} | Angolo di attrito interno del terreno minimo e medio espresso in gradi |
| $\delta_{min}, \delta_{med}$ | Angolo di attrito palo-terreno minimo e medio espresso in gradi |
| c_{min}, c_{med} | Coesione del terreno minima e media espressa in [N/cm ²] |
| ca_{min}, ca_{med} | Adesione del terreno minima e media espressa in [N/cm ²] |

Parametri caratteristici

| Descrizione | γ | γ_{sat} | ϕ | δ | c | ca |
|----------------------|----------|----------------|--------|----------|----------|-----------|
| Depositi alluvionali | 18,000 | 26,500 | 38,00 | 38,00 | 0,00 | 0,00 |
| Calcari brecciati | 20,000 | 27,000 | 27,00 | 27,00 | 0,00 | 0,00 |

Parametri minimi

| Descrizione | ϕ_{min} | δ_{min} | c_{min} | ca_{min} |
|----------------------|--------------|----------------|------------------------|-------------------------|
| Depositi alluvionali | 38,00 | 38,00 | 0,00 | 0,00 |
| Calcari brecciati | 27,00 | 27,00 | 0,00 | 0,00 |

Parametri medi

| Descrizione | ϕ_{med} | δ_{med} | c_{med} | ca_{med} |
|----------------------|--------------|----------------|------------------------|-------------------------|
| Depositi alluvionali | 38,00 | 38,00 | 0,00 | 0,00 |
| Calcari brecciati | 27,00 | 27,00 | 0,00 | 0,00 |

Falda

Profondità dal piano di posa 10,00 [m]

Descrizione stratigrafia

Simbologia adottata

| | |
|----------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| <i>N</i> | Identificativo strato |
| <i>Z1</i> | Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°1 espressa in [m] |
| <i>Z2</i> | Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°2 espressa in [m] |
| <i>Z3</i> | Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°3 espressa in [m] |
| <i>Terreno</i> | Terreno dello strato |

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

K_w Costante di Winkler espressa in $\text{DaN/cm}^2/\text{cm}$

K_s Coefficiente di spinta

α Coefficiente di espansione laterale

| n° | Z1 | Z2 | Z3 | Terreno | K_w | K_s | α |
|----|---------------|-------|-------|----------------------|-------|-------|----------|
| 1 | -14,0 1,00 | -14,0 | -10,0 | Depositi alluvionali | 10,00 | 0,50 | |
| 2 | -30,0 1,00 | -30,0 | -30,0 | Calcari brecciati | 10,00 | 0,50 | |

Normativa

N.T.C. 2008

Calcolo secondo: Approccio 1

Simbologia adottata

| | |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| γ_{Gsfav} | Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni permanenti |
| γ_{Gfav} | Coefficiente parziale favorevole sulle azioni permanenti |
| γ_{Qsfav} | Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni variabili |
| γ_{Qfav} | Coefficiente parziale favorevole sulle azioni variabili |
| $\gamma_{\tan\phi'}$ | Coefficiente parziale di riduzione dell'angolo di attrito drenato |
| γ_c | Coefficiente parziale di riduzione della coesione drenata |
| γ_{cu} | Coefficiente parziale di riduzione della coesione non drenata |
| γ_{qu} | Coefficiente parziale di riduzione del carico ultimo |
| γ_γ | Coefficiente parziale di riduzione della resistenza a compressione uniassiale delle rocce |

Coefficienti parziali combinazioni statiche

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

| Carichi | Effetto | | A1 | A2 |
|------------|-------------|------------------|------|------|
| Permanenti | Favorevole | γ_{Gfav} | 1,00 | 1,00 |
| Permanenti | Sfavorevole | γ_{Gsfav} | 1,30 | 1,00 |

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

| | | | | |
|-----------|-------------|------------------|------|------|
| Variabili | Favorevole | γ_{Qfav} | 0,00 | 0,00 |
| Variabili | Sfavorevole | γ_{Qsfav} | 1,50 | 1,30 |

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

| <i>Parametri</i> | | | <i>M1</i> | <i>M2</i> |
|--------------------------------------|--|----------------------|-----------|-----------|
| Tangente dell'angolo di attrito | | $\gamma_{\tan\phi'}$ | 1,00 | 1,25 |
| Coesione efficace | | $\gamma_{c'}$ | 1,00 | 1,25 |
| Resistenza non drenata | | γ_{cu} | 1,00 | 1,40 |
| Resistenza a compressione uniassiale | | γ_{qu} | 1,00 | 1,60 |
| Peso dell'unità di volume | | γ_{γ} | 1,00 | 1,00 |

Coefficienti parziali combinazioni sismiche

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

| <i>Carichi</i> | <i>Effetto</i> | | <i>A1</i> | <i>A2</i> |
|----------------|----------------|------------------|-----------|-----------|
| Permanenti | Favorevole | γ_{Gfav} | 1,00 | 1,00 |
| Permanenti | Sfavorevole | γ_{Gsfav} | 1,00 | 1,00 |
| Variabili | Favorevole | γ_{Qfav} | 0,00 | 0,00 |
| Variabili | Sfavorevole | γ_{Qsfav} | 1,00 | 1,00 |

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

| <i>Parametri</i> | | | <i>M1</i> | <i>M2</i> |
|--------------------------------------|--|----------------------|-----------|-----------|
| Tangente dell'angolo di attrito | | $\gamma_{\tan\phi'}$ | 1,00 | 1,25 |
| Coesione efficace | | $\gamma_{c'}$ | 1,00 | 1,25 |
| Resistenza non drenata | | γ_{cu} | 1,00 | 1,40 |
| Resistenza a compressione uniassiale | | γ_{qu} | 1,00 | 1,60 |
| Peso dell'unità di volume | | γ_{γ} | 1,00 | 1,00 |

PALI DI FONDAZIONE

CARICHI VERTICALI. Coefficienti parziali γ_R per le verifiche dei pali

Pali trivellati

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

| | | R1 | R2 | R3 |
|-----------------------|---------------|------|------|------|
| Punta | γ_b | 1,00 | 1,70 | 1,35 |
| Laterale compressione | γ_s | 1,00 | 1,45 | 1,15 |
| Totale compressione | γ_t | 1,00 | 1,60 | 1,30 |
| Laterale trazione | γ_{st} | 1,00 | 1,60 | 1,25 |

CARICHI TRASVERSALI. Coefficienti parziali γ_T per le verifiche dei pali.

| | R1 | R2 | R3 |
|------------|------|------|------|
| γ_T | 1,00 | 1,60 | 1,30 |

Coefficienti di riduzione ξ per la determinazione della resistenza caratteristica dei pali

Numero di verticali indagate 1 $\xi_3=1,70$ $\xi_4=1,70$

Coeff. di combinazione $\Psi_0=0,70$ $\Psi_1=0,50$ $\Psi_2=0,20$

Condizioni di carico

Simbologia e convenzioni di segno adottate

Carichi verticali positivi verso il basso.

Carichi orizzontali positivi verso sinistra.

Momento positivo senso antiorario.

Fondazione

N_{TOT} Sforzo normale totale espressa in [kN]

$M_{X_{TOT}}$ Momento in direzione X espressa in [kNm]

$M_{Y_{TOT}}$ Momento in direzione Y espresso in [kNm]

e_x Eccentricità del carico lungo X espressa in [m]

e_y Eccentricità del carico lungo Y espressa in [m]

β Inclinazione del taglio nel piano espressa in [°]

T_{TOT} Forza di taglio espressa in [kN]

Condizione n° 1 (Condizione n° 1)

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

| Fondazione | N_{TOT} | Mx_{TOT} | My_{TOT} | ex | ey | β | T_{TOT} |
|------------------------------------------|-----------|------------|------------|------|------|---------|-----------|
| Palo 60 | 440,000 | 0,000 | -652,000 | -1,5 | 0,0 | 90,0 | 249,000 |
| <u>Condizione n° 2 (Condizione n° 2)</u> | | | | | | | |

Descrizione combinazioni di carico

Simbologia adottata

- γ Coefficiente di partecipazione della condizione
- Ψ Coefficiente di combinazione della condizione
- C Coefficiente totale di partecipazione della condizione

Combinazione n° 1 SLU - Caso A1-M1

| | γ | Ψ | C |
|-----------------|----------|--------|------|
| Condizione n° 1 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |

Analisi in condizioni drenate

Verifica della portanza assiale

Il metodo utilizzato per il calcolo della portanza verticale è: Berezantzev ridotto.
 E' stato richiesto di correggere l'angolo di attrito in funzione del tipo di palo (Trivellato/Infisso).
 L'andamento della pressione verticale σ_v con la profondità, per il calcolo della portanza di punta, è stata definita come: Pressione geostatica.

Simbologia adottata

- Comb Identificativo della combinazione
- N_c, N_q Fattori di capacità portante
- Pl_{min}, Pl_{med} Portanza laterale minima e media espressa in [kN]
- Pp_{min}, Pp_{med} Portanza di punta minima e media espressa in [kN]
- Pd Portanza di progetto espressa in [kN]
- N Scarico verticale in testa al palo espresso in [kN]
- η Coeff. di sicurezza per carichi verticali

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

| Comb | Nc | Nq |
|------|-------|-------|
| 1 | 41,16 | 29,82 |

| Comb | PI _{med} | Pp _{med} | PI _{min} | Pp _{min} | Pd | N | η |
|------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------|--------|------|
| 1 | 1587,30 | 4998,14 | 1587,30 | 4998,14 | 3642,72 | 440,00 | 8,28 |

Il valore di η ricavato dall'analisi deve risultare comunque maggiore di un coefficiente derivante dalla riduzione per pali in gruppo, ricavabile dalla formula empirica di Converse – Labarre,:

$$\eta_{rid} = 1 - \xi \cdot \left[\frac{(n-1) \cdot m + (m-1) \cdot n}{m \cdot n} \right] \cdot \frac{1}{90}$$

m = 1 numero di linee di pali nel gruppo

n = 6 numero di pali in una linea (approssimazione)

d = 100 diametro del singolo palo

s = 120 distanza tra gli assi di due pali contigui

ξ = arctan (d/s) = arctan (100/120) = 39,81°

$$\eta_{rid} = 1 - 39,81 \cdot \left[\frac{(6-1) \cdot 1 + (1-1) \cdot 100}{1 \cdot 6} \right] \cdot \frac{1}{90} = 0,631$$

La capacità portante di un palo all'interno del gruppo risulta così ridotta tramite il coefficiente d'efficienza η_{rid}; deve quindi risultare:

$$\eta \geq \frac{1}{\eta_{rid}} = \frac{1}{0,631} = 1,59$$

Verifica della portanza trasversale

Costante di Winkler orizzontale definita da STRATO

Criterio di rottura palo-terreno: Pressione limite (Pressione passiva con moltiplicatore = 3,00)

Simbologia adottata

Comb Identificativo della combinazione

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

Tu Taglio resistente ultimo in testa al palo, espresso in [kN]

Mu Momento resistente ultimo in testa al palo, espresso in [kNm]

Tx Taglio agente in testa al palo, espresso in [kN]

$\eta = Tu/Tx$ Coeff. di sicurezza per carichi orizzontali

| Comb | Tu | Mu | Tx | η |
|------|----------|-----------|-----------|--------|
| 1 | 730,0392 | 1254,9812 | -249,0000 | 2,93 |

Momento ultimo della sezione

| A_{f1} | A_{f2} | M_{usez1} | M_{usez2} |
|----------|----------|-------------|-------------|
| 83,63 | 83,63 | 1254,9812 | 1254,9812 |

Sollecitazioni in esercizio

Simbologia adottata

Nr. Identificativo sezione

Y ordinata della sezione a partire dalla testa positiva verso il basso (in [m])

N sforzo normale espresso in [kN]

T taglio espresso in [kN]

M momento espresso in [kNm]

Combinazione n° 1

| Nr. | Y | M | T | N |
|-----|------|----------|----------|----------|
| 1 | 0,00 | 376,5239 | 249,0000 | 440,0000 |
| 2 | 0,12 | 346,6439 | 245,7312 | 442,2945 |
| 3 | 0,24 | 317,1562 | 239,1935 | 444,5565 |
| 4 | 0,36 | 288,4530 | 229,3870 | 446,7862 |
| 5 | 0,48 | 260,9265 | 218,2126 | 448,9834 |
| 6 | 0,60 | 234,7410 | 207,1916 | 451,1482 |
| 7 | 0,72 | 209,8780 | 196,3497 | 453,2806 |
| 8 | 0,84 | 186,3161 | 185,7101 | 455,3806 |
| 9 | 0,96 | 164,0308 | 175,2932 | 457,4481 |

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

| | | | | |
|----|------|----------|----------|----------|
| 10 | 1,08 | 142,9957 | 165,1170 | 459,4833 |
| 11 | 1,20 | 123,1816 | 155,1973 | 461,4860 |
| 12 | 1,32 | 104,5579 | 145,5476 | 463,4563 |
| 13 | 1,44 | 87,0922 | 136,1794 | 465,3942 |
| 14 | 1,56 | 70,7507 | 127,1022 | 467,2997 |
| 15 | 1,68 | 55,4984 | 118,3239 | 469,1728 |
| 16 | 1,80 | 41,2996 | 109,8506 | 471,0134 |
| 17 | 1,92 | 28,1175 | 101,6869 | 472,8217 |
| 18 | 2,04 | 15,9151 | 93,8358 | 474,5975 |
| 19 | 2,16 | 4,6548 | 86,2990 | 476,3409 |
| 20 | 2,28 | -5,7011 | 79,0773 | 478,0519 |
| 21 | 2,40 | -15,1904 | 72,1698 | 479,7305 |
| 22 | 2,52 | -23,8508 | 65,5750 | 481,3766 |
| 23 | 2,64 | -31,7197 | 59,2902 | 482,9904 |
| 24 | 2,76 | -38,8346 | 53,3121 | 484,5717 |
| 25 | 2,88 | -45,2320 | 47,6363 | 486,1207 |
| 26 | 3,00 | -50,9484 | 42,2579 | 487,6372 |
| 27 | 3,12 | -56,0193 | 37,1713 | 489,1212 |
| 28 | 3,24 | -60,4799 | 32,3704 | 490,5729 |
| 29 | 3,36 | -64,3643 | 27,8485 | 491,9922 |
| 30 | 3,48 | -67,7061 | 23,5986 | 493,3790 |
| 31 | 3,60 | -70,5380 | 19,6132 | 494,7335 |
| 32 | 3,72 | -72,8916 | 15,8847 | 496,0555 |
| 33 | 3,84 | -74,7977 | 12,4051 | 497,3451 |
| 34 | 3,96 | -76,2863 | 9,1660 | 498,6023 |
| 35 | 4,08 | -77,3863 | 6,1593 | 499,8270 |
| 36 | 4,20 | -78,1254 | 3,3763 | 501,0194 |
| 37 | 4,32 | -78,5305 | 0,8085 | 502,1793 |
| 38 | 4,44 | -78,6275 | -1,5527 | 503,3069 |
| 39 | 4,56 | -78,4412 | -3,7160 | 504,4020 |
| 40 | 4,68 | -77,9953 | -5,6899 | 505,4647 |
| 41 | 4,80 | -77,3125 | -7,4830 | 506,4949 |
| 42 | 4,92 | -76,4145 | -9,1037 | 507,4928 |

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

| | | | | |
|----|------|----------|----------|----------|
| 43 | 5,04 | -75,3221 | -10,5606 | 508,4583 |
| 44 | 5,16 | -74,0548 | -11,8618 | 509,3913 |
| 45 | 5,28 | -72,6314 | -13,0154 | 510,2919 |
| 46 | 5,40 | -71,0696 | -14,0295 | 511,1601 |
| 47 | 5,52 | -69,3860 | -14,9118 | 511,9959 |
| 48 | 5,64 | -67,5966 | -15,6700 | 512,7993 |
| 49 | 5,76 | -65,7162 | -16,3114 | 513,5702 |
| 50 | 5,88 | -63,7588 | -16,8433 | 514,3088 |
| 51 | 6,00 | -61,7376 | -17,2727 | 515,0149 |
| 52 | 6,12 | -59,6649 | -17,6064 | 515,6886 |
| 53 | 6,24 | -57,5522 | -17,8508 | 516,3299 |
| 54 | 6,36 | -55,4101 | -18,0124 | 516,9388 |
| 55 | 6,48 | -53,2486 | -18,0972 | 517,5153 |
| 56 | 6,60 | -51,0769 | -18,1110 | 518,0593 |
| 57 | 6,72 | -48,9036 | -18,0595 | 518,5710 |
| 58 | 6,84 | -46,7365 | -17,9480 | 519,0502 |
| 59 | 6,96 | -44,5827 | -17,7817 | 519,4970 |
| 60 | 7,08 | -42,4489 | -17,5654 | 519,9114 |
| 61 | 7,20 | -40,3411 | -17,3038 | 520,2934 |
| 62 | 7,32 | -38,2646 | -17,0014 | 520,6430 |
| 63 | 7,44 | -36,2244 | -16,6623 | 520,9601 |
| 64 | 7,56 | -34,2250 | -16,2905 | 521,2448 |
| 65 | 7,68 | -32,2701 | -15,8899 | 521,4972 |
| 66 | 7,80 | -30,3633 | -15,4638 | 521,7171 |
| 67 | 7,92 | -28,5076 | -15,0157 | 521,9046 |
| 68 | 8,04 | -26,7058 | -14,5487 | 522,0596 |
| 69 | 8,16 | -24,9599 | -14,0657 | 522,1823 |
| 70 | 8,28 | -23,2720 | -13,5694 | 522,2725 |
| 71 | 8,40 | -21,6437 | -13,0625 | 522,3304 |
| 72 | 8,52 | -20,0762 | -12,5473 | 522,3558 |
| 73 | 8,64 | -18,5705 | -12,0260 | 522,3488 |
| 74 | 8,76 | -17,1274 | -11,5006 | 522,3094 |
| 75 | 8,88 | -15,7473 | -10,9730 | 522,2375 |

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

| | | | | |
|-----|-------|----------|----------|----------|
| 76 | 9,00 | -14,4306 | -10,4450 | 522,1333 |
| 77 | 9,12 | -13,1772 | -9,9181 | 521,9966 |
| 78 | 9,24 | -11,9870 | -9,3938 | 521,8275 |
| 79 | 9,36 | -10,8597 | -8,8734 | 521,6261 |
| 80 | 9,48 | -9,7949 | -8,3581 | 521,3922 |
| 81 | 9,60 | -8,7920 | -7,8490 | 521,1258 |
| 82 | 9,72 | -7,8501 | -7,3470 | 520,8271 |
| 83 | 9,84 | -6,9685 | -6,8530 | 520,4959 |
| 84 | 9,96 | -6,1461 | -6,3677 | 520,1324 |
| 85 | 10,08 | -5,3820 | -5,8919 | 519,7369 |
| 86 | 10,20 | -4,6749 | -5,4262 | 519,3113 |
| 87 | 10,32 | -4,0238 | -4,9709 | 518,8556 |
| 88 | 10,44 | -3,4273 | -4,5267 | 518,3698 |
| 89 | 10,56 | -2,8841 | -4,0938 | 517,8539 |
| 90 | 10,68 | -2,3928 | -3,6727 | 517,3080 |
| 91 | 10,80 | -1,9521 | -3,2634 | 516,7321 |
| 92 | 10,92 | -1,5605 | -2,8664 | 516,1261 |
| 93 | 11,04 | -1,2165 | -2,4816 | 515,4900 |
| 94 | 11,16 | -0,9187 | -2,1094 | 514,8238 |
| 95 | 11,28 | -0,6656 | -1,7497 | 514,1276 |
| 96 | 11,40 | -0,4557 | -1,4026 | 513,4014 |
| 97 | 11,52 | -0,2873 | -1,0683 | 512,6450 |
| 98 | 11,64 | -0,1591 | -0,7467 | 511,8586 |
| 99 | 11,76 | -0,0695 | -0,4378 | 511,0422 |
| 100 | 11,88 | -0,0170 | -0,1417 | 510,1957 |
| 101 | 12,00 | 0,0000 | -0,1417 | 509,3191 |

Sollecitazioni limiti

Simbologia adottata

- Nr. Identificativo sezione
 Y ordinata della sezione a partire dalla testa positiva verso il basso (in [m])

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

Nr sforzo normale espresso in [kN]

Tr taglio espresso in [kN]

Mr momento espresso in [kNm]

Combinazione n° 1

| Nr. | Y | Mr | Tr | Nr |
|-----|------|-----------|----------|-----------|
| 1 | 0,00 | 1254,9812 | 730,0392 | 6585,4319 |
| 2 | 0,12 | 1167,4045 | 726,7704 | 6585,1138 |
| 3 | 0,24 | 1080,1920 | 720,2327 | 6584,4776 |
| 4 | 0,36 | 993,7641 | 710,4262 | 6583,5233 |
| 5 | 0,48 | 908,5129 | 697,3509 | 6582,2509 |
| 6 | 0,60 | 824,8308 | 681,0067 | 6580,6604 |
| 7 | 0,72 | 743,1100 | 661,3938 | 6578,7518 |
| 8 | 0,84 | 663,7428 | 638,5119 | 6576,5251 |
| 9 | 0,96 | 587,1213 | 612,3613 | 6573,9803 |
| 10 | 1,08 | 513,6380 | 582,9418 | 6571,1174 |
| 11 | 1,20 | 443,6850 | 550,2535 | 6567,9364 |
| 12 | 1,32 | 377,6546 | 516,2418 | 6564,4373 |
| 13 | 1,44 | 315,7055 | 483,2111 | 6560,6201 |
| 14 | 1,56 | 257,7202 | 451,1959 | 6556,4848 |
| 15 | 1,68 | 203,5767 | 420,2247 | 6552,0313 |
| 16 | 1,80 | 153,1497 | 390,3199 | 6547,2598 |
| 17 | 1,92 | 106,3113 | 361,4984 | 6542,1702 |
| 18 | 2,04 | 62,9315 | 333,7719 | 6536,7625 |
| 19 | 2,16 | 22,8789 | 307,1473 | 6531,0367 |
| 20 | 2,28 | -13,9788 | 281,6273 | 6524,9928 |
| 21 | 2,40 | -47,7740 | 257,2103 | 6518,6308 |
| 22 | 2,52 | -78,6393 | 233,8912 | 6511,9506 |
| 23 | 2,64 | -106,7062 | 211,6614 | 6504,9524 |
| 24 | 2,76 | -132,1056 | 190,5092 | 6497,6361 |
| 25 | 2,88 | -154,9667 | 170,4202 | 6490,0017 |
| 26 | 3,00 | -175,4171 | 151,3774 | 6482,0492 |
| 27 | 3,12 | -193,5824 | 133,3615 | 6473,7786 |

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

| | | | | |
|----|------|-----------|----------|-----------|
| 28 | 3,24 | -209,5858 | 116,3515 | 6465,1898 |
| 29 | 3,36 | -223,5480 | 100,3242 | 6456,2830 |
| 30 | 3,48 | -235,5869 | 85,2552 | 6447,0581 |
| 31 | 3,60 | -245,8175 | 71,1187 | 6437,5151 |
| 32 | 3,72 | -254,3517 | 57,8877 | 6427,6539 |
| 33 | 3,84 | -261,2983 | 45,5343 | 6417,4747 |
| 34 | 3,96 | -266,7624 | 34,0299 | 6406,9774 |
| 35 | 4,08 | -270,8460 | 23,3452 | 6396,1620 |
| 36 | 4,20 | -273,6474 | 13,4505 | 6385,0284 |
| 37 | 4,32 | -275,2615 | 4,3157 | 6373,5768 |
| 38 | 4,44 | -275,7793 | -4,0893 | 6361,8071 |
| 39 | 4,56 | -275,2886 | -11,7948 | 6349,7193 |
| 40 | 4,68 | -273,8732 | -18,8310 | 6337,3133 |
| 41 | 4,80 | -271,6135 | -25,2279 | 6324,5893 |
| 42 | 4,92 | -268,5862 | -31,0153 | 6311,5472 |
| 43 | 5,04 | -264,8644 | -36,2228 | 6298,1869 |
| 44 | 5,16 | -260,5176 | -40,8793 | 6284,5086 |
| 45 | 5,28 | -255,6121 | -45,0136 | 6270,5122 |
| 46 | 5,40 | -250,2105 | -48,6535 | 6256,1976 |
| 47 | 5,52 | -244,3721 | -51,8266 | 6241,5650 |
| 48 | 5,64 | -238,1529 | -54,5597 | 6226,6142 |
| 49 | 5,76 | -231,6057 | -56,8790 | 6211,3454 |
| 50 | 5,88 | -224,7802 | -58,8098 | 6195,7585 |
| 51 | 6,00 | -217,7230 | -60,3769 | 6179,8534 |
| 52 | 6,12 | -210,4778 | -61,6041 | 6163,6303 |
| 53 | 6,24 | -203,0853 | -62,5145 | 6147,0890 |
| 54 | 6,36 | -195,5836 | -63,1304 | 6130,2297 |
| 55 | 6,48 | -188,0079 | -63,4734 | 6113,0523 |
| 56 | 6,60 | -180,3911 | -63,5640 | 6095,5567 |
| 57 | 6,72 | -172,7634 | -63,4220 | 6077,7431 |
| 58 | 6,84 | -165,1528 | -63,0664 | 6059,6113 |
| 59 | 6,96 | -157,5848 | -62,5154 | 6041,1615 |
| 60 | 7,08 | -150,0830 | -61,7862 | 6022,3935 |

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

| | | | | |
|----|-------|-----------|----------|-----------|
| 61 | 7,20 | -142,6686 | -60,8953 | 6003,3075 |
| 62 | 7,32 | -135,3612 | -59,8584 | 5983,9033 |
| 63 | 7,44 | -128,1782 | -58,6903 | 5964,1811 |
| 64 | 7,56 | -121,1353 | -57,4052 | 5944,1407 |
| 65 | 7,68 | -114,2467 | -56,0162 | 5923,7823 |
| 66 | 7,80 | -107,5248 | -54,5361 | 5903,1057 |
| 67 | 7,92 | -100,9804 | -52,9765 | 5882,1111 |
| 68 | 8,04 | -94,6233 | -51,3485 | 5860,7983 |
| 69 | 8,16 | -88,4615 | -49,6626 | 5839,1675 |
| 70 | 8,28 | -82,5019 | -47,9285 | 5817,2185 |
| 71 | 8,40 | -76,7505 | -46,1551 | 5794,9515 |
| 72 | 8,52 | -71,2119 | -44,3511 | 5772,3663 |
| 73 | 8,64 | -65,8898 | -42,5241 | 5749,4631 |
| 74 | 8,76 | -60,7869 | -40,6814 | 5726,2417 |
| 75 | 8,88 | -55,9051 | -38,8297 | 5702,7022 |
| 76 | 9,00 | -51,2455 | -36,9752 | 5678,8447 |
| 77 | 9,12 | -46,8085 | -35,1234 | 5654,6690 |
| 78 | 9,24 | -42,5937 | -33,2795 | 5630,1752 |
| 79 | 9,36 | -38,6002 | -31,4482 | 5605,3634 |
| 80 | 9,48 | -34,8264 | -29,6337 | 5580,2334 |
| 81 | 9,60 | -31,2704 | -27,8399 | 5554,7854 |
| 82 | 9,72 | -27,9296 | -26,0701 | 5529,0192 |
| 83 | 9,84 | -24,8012 | -24,3276 | 5502,9349 |
| 84 | 9,96 | -21,8818 | -22,6149 | 5476,5326 |
| 85 | 10,08 | -19,1681 | -20,9344 | 5449,8275 |
| 86 | 10,20 | -16,6559 | -19,2884 | 5422,8274 |
| 87 | 10,32 | -14,3413 | -17,6787 | 5395,5323 |
| 88 | 10,44 | -12,2199 | -16,1067 | 5367,9422 |
| 89 | 10,56 | -10,2871 | -14,5739 | 5340,0571 |
| 90 | 10,68 | -8,5382 | -13,0814 | 5311,8770 |
| 91 | 10,80 | -6,9684 | -11,6301 | 5283,4019 |
| 92 | 10,92 | -5,5728 | -10,2208 | 5254,6318 |
| 93 | 11,04 | -4,3463 | -8,8541 | 5225,5667 |

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

| | | | | |
|-----|-------|---------|---------|-----------|
| 94 | 11,16 | -3,2839 | -7,5305 | 5196,2065 |
| 95 | 11,28 | -2,3802 | -6,2503 | 5166,5514 |
| 96 | 11,40 | -1,6302 | -5,0139 | 5136,6013 |
| 97 | 11,52 | -1,0285 | -3,8214 | 5106,3561 |
| 98 | 11,64 | -0,5699 | -2,6729 | 5075,8159 |
| 99 | 11,76 | -0,2492 | -1,5684 | 5044,9808 |
| 100 | 11,88 | -0,0610 | -0,5081 | 5013,8506 |
| 101 | 12,00 | 0,0000 | -0,5081 | 0,0000 |

Descrizione armature

Il progetto e la verifica delle armature sono stati effettuati con il metodo degli stati limite ultimi.

L'armatura longitudinale è costituita da 22 $\phi 22$ mentre l'armatura trasversale è costituita da staffe $\phi 10 / 25$ [cm].

Verifica armature pali

Simbologia adottata

Y ordinata della sezione a partire dalla testa positiva verso il basso espressa in [m]

CS coefficiente di sicurezza

M_u momento ultimo espresso in [kNm]

N_u sforzo normale espresso in [kN]

T_u taglio ultimo espresso in [kN]

Combinazione 1

| Y | A _f | M _u | N _u | T _u | CS |
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|------|
| 0,00 | 83,63 | 1684,23 | 1968,17 | 517,99 | 4,47 |
| 0,12 | 83,63 | 1728,46 | 2205,40 | 517,99 | 4,99 |
| 0,24 | 83,63 | 1762,30 | 2470,20 | 517,99 | 5,56 |
| 0,36 | 83,63 | 1801,61 | 2790,52 | 517,99 | 6,25 |
| 0,48 | 83,63 | 1849,77 | 3182,95 | 517,99 | 7,09 |

| | | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|--|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 | |

| | | | | | |
|------|-------|---------|----------|--------|-------|
| 0,60 | 83,63 | 1882,08 | 3617,16 | 517,99 | 8,02 |
| 0,72 | 83,63 | 1915,00 | 4135,89 | 517,99 | 9,12 |
| 0,84 | 83,63 | 1927,60 | 4711,31 | 517,99 | 10,35 |
| 0,96 | 83,63 | 1927,38 | 5375,08 | 517,99 | 11,75 |
| 1,08 | 83,63 | 1875,80 | 6027,45 | 517,99 | 13,12 |
| 1,20 | 83,63 | 1805,07 | 6762,48 | 517,99 | 14,65 |
| 1,32 | 83,63 | 1703,91 | 7552,63 | 517,99 | 16,30 |
| 1,44 | 83,63 | 1574,44 | 8413,33 | 517,99 | 18,08 |
| 1,56 | 83,63 | 1412,19 | 9327,36 | 517,99 | 19,96 |
| 1,68 | 83,63 | 1213,36 | 10257,51 | 517,99 | 21,86 |
| 1,80 | 83,63 | 980,30 | 11180,12 | 517,99 | 23,74 |
| 1,92 | 83,63 | 718,44 | 12081,17 | 517,99 | 25,55 |
| 2,04 | 83,63 | 405,13 | 12081,17 | 517,99 | 25,46 |
| 2,16 | 83,63 | 118,06 | 12081,17 | 517,99 | 25,36 |
| 2,28 | 83,63 | 144,08 | 12081,17 | 517,99 | 25,27 |
| 2,40 | 83,63 | 382,54 | 12081,17 | 517,99 | 25,18 |
| 2,52 | 83,63 | 598,59 | 12081,17 | 517,99 | 25,10 |
| 2,64 | 83,63 | 780,86 | 11889,93 | 517,99 | 24,62 |
| 2,76 | 83,63 | 915,42 | 11422,42 | 517,99 | 23,57 |
| 2,88 | 83,63 | 1024,74 | 11013,19 | 517,99 | 22,66 |
| 3,00 | 83,63 | 1115,17 | 10673,56 | 517,99 | 21,89 |
| 3,12 | 83,63 | 1187,51 | 10368,49 | 517,99 | 21,20 |
| 3,24 | 83,63 | 1246,86 | 10113,70 | 517,99 | 20,62 |
| 3,36 | 83,63 | 1295,69 | 9904,07 | 517,99 | 20,13 |
| 3,48 | 83,63 | 1334,96 | 9727,94 | 517,99 | 19,72 |
| 3,60 | 83,63 | 1364,87 | 9572,81 | 517,99 | 19,35 |
| 3,72 | 83,63 | 1388,58 | 9449,83 | 517,99 | 19,05 |
| 3,84 | 83,63 | 1406,90 | 9354,79 | 517,99 | 18,81 |
| 3,96 | 83,63 | 1420,50 | 9284,28 | 517,99 | 18,62 |
| 4,08 | 83,63 | 1429,90 | 9235,52 | 517,99 | 18,48 |
| 4,20 | 83,63 | 1435,55 | 9206,21 | 517,99 | 18,37 |
| 4,32 | 83,63 | 1437,82 | 9194,43 | 517,99 | 18,31 |
| 4,44 | 83,63 | 1437,02 | 9198,58 | 517,99 | 18,28 |

| | | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|--|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 | |

| | | | | | |
|------|-------|---------|----------|--------|-------|
| 4,56 | 83,63 | 1433,41 | 9217,30 | 517,99 | 18,27 |
| 4,68 | 83,63 | 1427,22 | 9249,40 | 517,99 | 18,30 |
| 4,80 | 83,63 | 1418,64 | 9293,90 | 517,99 | 18,35 |
| 4,92 | 83,63 | 1407,84 | 9349,92 | 517,99 | 18,42 |
| 5,04 | 83,63 | 1394,97 | 9416,68 | 517,99 | 18,52 |
| 5,16 | 83,63 | 1380,16 | 9493,51 | 517,99 | 18,64 |
| 5,28 | 83,63 | 1363,52 | 9579,80 | 517,99 | 18,77 |
| 5,40 | 83,63 | 1345,17 | 9674,99 | 517,99 | 18,93 |
| 5,52 | 83,63 | 1325,10 | 9777,82 | 517,99 | 19,10 |
| 5,64 | 83,63 | 1301,98 | 9877,05 | 517,99 | 19,26 |
| 5,76 | 83,63 | 1277,38 | 9982,68 | 517,99 | 19,44 |
| 5,88 | 83,63 | 1251,39 | 10094,26 | 517,99 | 19,63 |
| 6,00 | 83,63 | 1224,10 | 10211,41 | 517,99 | 19,83 |
| 6,12 | 83,63 | 1195,61 | 10333,73 | 517,99 | 20,04 |
| 6,24 | 83,63 | 1166,00 | 10460,81 | 517,99 | 20,26 |
| 6,36 | 83,63 | 1135,38 | 10592,30 | 517,99 | 20,49 |
| 6,48 | 83,63 | 1102,95 | 10719,46 | 517,99 | 20,71 |
| 6,60 | 83,63 | 1069,32 | 10845,79 | 517,99 | 20,94 |
| 6,72 | 83,63 | 1034,97 | 10974,78 | 517,99 | 21,16 |
| 6,84 | 83,63 | 1000,02 | 11106,07 | 517,99 | 21,40 |
| 6,96 | 83,63 | 964,54 | 11239,29 | 517,99 | 21,63 |
| 7,08 | 83,63 | 928,65 | 11374,09 | 517,99 | 21,88 |
| 7,20 | 83,63 | 891,96 | 11503,92 | 517,99 | 22,11 |
| 7,32 | 83,63 | 854,93 | 11632,56 | 517,99 | 22,34 |
| 7,44 | 83,63 | 817,82 | 11761,49 | 517,99 | 22,58 |
| 7,56 | 83,63 | 780,72 | 11890,39 | 517,99 | 22,81 |
| 7,68 | 83,63 | 743,73 | 12018,93 | 517,99 | 23,05 |
| 7,80 | 83,63 | 703,11 | 12081,17 | 517,99 | 23,16 |
| 7,92 | 83,63 | 659,90 | 12081,17 | 517,99 | 23,15 |
| 8,04 | 83,63 | 618,01 | 12081,17 | 517,99 | 23,14 |
| 8,16 | 83,63 | 577,47 | 12081,17 | 517,99 | 23,14 |
| 8,28 | 83,63 | 538,33 | 12081,17 | 517,99 | 23,13 |
| 8,40 | 83,63 | 500,60 | 12081,17 | 517,99 | 23,13 |

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

| | | | | | |
|-------|-------|--------|----------|--------|-------|
| 8,52 | 83,63 | 464,33 | 12081,17 | 517,99 | 23,13 |
| 8,64 | 83,63 | 429,51 | 12081,17 | 517,99 | 23,13 |
| 8,76 | 83,63 | 396,16 | 12081,17 | 517,99 | 23,13 |
| 8,88 | 83,63 | 364,29 | 12081,17 | 517,99 | 23,13 |
| 9,00 | 83,63 | 333,90 | 12081,17 | 517,99 | 23,14 |
| 9,12 | 83,63 | 304,97 | 12081,17 | 517,99 | 23,14 |
| 9,24 | 83,63 | 277,52 | 12081,17 | 517,99 | 23,15 |
| 9,36 | 83,63 | 251,52 | 12081,17 | 517,99 | 23,16 |
| 9,48 | 83,63 | 226,96 | 12081,17 | 517,99 | 23,17 |
| 9,60 | 83,63 | 203,82 | 12081,17 | 517,99 | 23,18 |
| 9,72 | 83,63 | 182,09 | 12081,17 | 517,99 | 23,20 |
| 9,84 | 83,63 | 161,74 | 12081,17 | 517,99 | 23,21 |
| 9,96 | 83,63 | 142,76 | 12081,17 | 517,99 | 23,23 |
| 10,08 | 83,63 | 125,10 | 12081,17 | 517,99 | 23,24 |
| 10,20 | 83,63 | 108,76 | 12081,17 | 517,99 | 23,26 |
| 10,32 | 83,63 | 93,69 | 12081,17 | 517,99 | 23,28 |
| 10,44 | 83,63 | 79,88 | 12081,17 | 517,99 | 23,31 |
| 10,56 | 83,63 | 67,28 | 12081,17 | 517,99 | 23,33 |
| 10,68 | 83,63 | 55,88 | 12081,17 | 517,99 | 23,35 |
| 10,80 | 83,63 | 45,64 | 12081,17 | 517,99 | 23,38 |
| 10,92 | 83,63 | 36,53 | 12081,17 | 517,99 | 23,41 |
| 11,04 | 83,63 | 28,51 | 12081,17 | 517,99 | 23,44 |
| 11,16 | 83,63 | 21,56 | 12081,17 | 517,99 | 23,47 |
| 11,28 | 83,63 | 15,64 | 12081,17 | 517,99 | 23,50 |
| 11,40 | 83,63 | 10,72 | 12081,17 | 517,99 | 23,53 |
| 11,52 | 83,63 | 6,77 | 12081,17 | 517,99 | 23,57 |
| 11,64 | 83,63 | 3,76 | 12081,17 | 517,99 | 23,60 |
| 11,76 | 83,63 | 1,64 | 12081,17 | 517,99 | 23,64 |
| 11,88 | 83,63 | 0,40 | 12081,17 | 517,99 | 23,68 |
| 12,00 | 83,63 | 0,00 | 12081,17 | 517,99 | 23,72 |

Inviluppo

Y A_f M_u N_u T_u CS

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

| | | | | | |
|------|-------|---------|----------|--------|-------|
| 0,00 | 83,63 | 1684,23 | 1968,17 | 517,99 | 4,47 |
| 0,12 | 83,63 | 1728,46 | 2205,40 | 517,99 | 4,99 |
| 0,24 | 83,63 | 1762,30 | 2470,20 | 517,99 | 5,56 |
| 0,36 | 83,63 | 1801,61 | 2790,52 | 517,99 | 6,25 |
| 0,48 | 83,63 | 1849,77 | 3182,95 | 517,99 | 7,09 |
| 0,60 | 83,63 | 1882,08 | 3617,16 | 517,99 | 8,02 |
| 0,72 | 83,63 | 1915,00 | 4135,89 | 517,99 | 9,12 |
| 0,84 | 83,63 | 1927,60 | 4711,31 | 517,99 | 10,35 |
| 0,96 | 83,63 | 1927,38 | 5375,08 | 517,99 | 11,75 |
| 1,08 | 83,63 | 1875,80 | 6027,45 | 517,99 | 13,12 |
| 1,20 | 83,63 | 1805,07 | 6762,48 | 517,99 | 14,65 |
| 1,32 | 83,63 | 1703,91 | 7552,63 | 517,99 | 16,30 |
| 1,44 | 83,63 | 1574,44 | 8413,33 | 517,99 | 18,08 |
| 1,56 | 83,63 | 1412,19 | 9327,36 | 517,99 | 19,96 |
| 1,68 | 83,63 | 1213,36 | 10257,51 | 517,99 | 21,86 |
| 1,80 | 83,63 | 980,30 | 11180,12 | 517,99 | 23,74 |
| 1,92 | 83,63 | 718,44 | 12081,17 | 517,99 | 25,55 |
| 2,04 | 83,63 | 405,13 | 12081,17 | 517,99 | 25,46 |
| 2,16 | 83,63 | 118,06 | 12081,17 | 517,99 | 25,36 |
| 2,28 | 83,63 | 144,08 | 12081,17 | 517,99 | 25,27 |
| 2,40 | 83,63 | 382,54 | 12081,17 | 517,99 | 25,18 |
| 2,52 | 83,63 | 598,59 | 12081,17 | 517,99 | 25,10 |
| 2,64 | 83,63 | 780,86 | 11889,93 | 517,99 | 24,62 |
| 2,76 | 83,63 | 915,42 | 11422,42 | 517,99 | 23,57 |
| 2,88 | 83,63 | 1024,74 | 11013,19 | 517,99 | 22,66 |
| 3,00 | 83,63 | 1115,17 | 10673,56 | 517,99 | 21,89 |
| 3,12 | 83,63 | 1187,51 | 10368,49 | 517,99 | 21,20 |
| 3,24 | 83,63 | 1246,86 | 10113,70 | 517,99 | 20,62 |
| 3,36 | 83,63 | 1295,69 | 9904,07 | 517,99 | 20,13 |
| 3,48 | 83,63 | 1334,96 | 9727,94 | 517,99 | 19,72 |
| 3,60 | 83,63 | 1364,87 | 9572,81 | 517,99 | 19,35 |
| 3,72 | 83,63 | 1388,58 | 9449,83 | 517,99 | 19,05 |
| 3,84 | 83,63 | 1406,90 | 9354,79 | 517,99 | 18,81 |

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |



| | | | | | |
|------|-------|---------|----------|--------|-------|
| 3,96 | 83,63 | 1420,50 | 9284,28 | 517,99 | 18,62 |
| 4,08 | 83,63 | 1429,90 | 9235,52 | 517,99 | 18,48 |
| 4,20 | 83,63 | 1435,55 | 9206,21 | 517,99 | 18,37 |
| 4,32 | 83,63 | 1437,82 | 9194,43 | 517,99 | 18,31 |
| 4,44 | 83,63 | 1437,02 | 9198,58 | 517,99 | 18,28 |
| 4,56 | 83,63 | 1433,41 | 9217,30 | 517,99 | 18,27 |
| 4,68 | 83,63 | 1427,22 | 9249,40 | 517,99 | 18,30 |
| 4,80 | 83,63 | 1418,64 | 9293,90 | 517,99 | 18,35 |
| 4,92 | 83,63 | 1407,84 | 9349,92 | 517,99 | 18,42 |
| 5,04 | 83,63 | 1394,97 | 9416,68 | 517,99 | 18,52 |
| 5,16 | 83,63 | 1380,16 | 9493,51 | 517,99 | 18,64 |
| 5,28 | 83,63 | 1363,52 | 9579,80 | 517,99 | 18,77 |
| 5,40 | 83,63 | 1345,17 | 9674,99 | 517,99 | 18,93 |
| 5,52 | 83,63 | 1325,10 | 9777,82 | 517,99 | 19,10 |
| 5,64 | 83,63 | 1301,98 | 9877,05 | 517,99 | 19,26 |
| 5,76 | 83,63 | 1277,38 | 9982,68 | 517,99 | 19,44 |
| 5,88 | 83,63 | 1251,39 | 10094,26 | 517,99 | 19,63 |
| 6,00 | 83,63 | 1224,10 | 10211,41 | 517,99 | 19,83 |
| 6,12 | 83,63 | 1195,61 | 10333,73 | 517,99 | 20,04 |
| 6,24 | 83,63 | 1166,00 | 10460,81 | 517,99 | 20,26 |
| 6,36 | 83,63 | 1135,38 | 10592,30 | 517,99 | 20,49 |
| 6,48 | 83,63 | 1102,95 | 10719,46 | 517,99 | 20,71 |
| 6,60 | 83,63 | 1069,32 | 10845,79 | 517,99 | 20,94 |
| 6,72 | 83,63 | 1034,97 | 10974,78 | 517,99 | 21,16 |
| 6,84 | 83,63 | 1000,02 | 11106,07 | 517,99 | 21,40 |
| 6,96 | 83,63 | 964,54 | 11239,29 | 517,99 | 21,63 |
| 7,08 | 83,63 | 928,65 | 11374,09 | 517,99 | 21,88 |
| 7,20 | 83,63 | 891,96 | 11503,92 | 517,99 | 22,11 |
| 7,32 | 83,63 | 854,93 | 11632,56 | 517,99 | 22,34 |
| 7,44 | 83,63 | 817,82 | 11761,49 | 517,99 | 22,58 |
| 7,56 | 83,63 | 780,72 | 11890,39 | 517,99 | 22,81 |
| 7,68 | 83,63 | 743,73 | 12018,93 | 517,99 | 23,05 |
| 7,80 | 83,63 | 703,11 | 12081,17 | 517,99 | 23,16 |

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

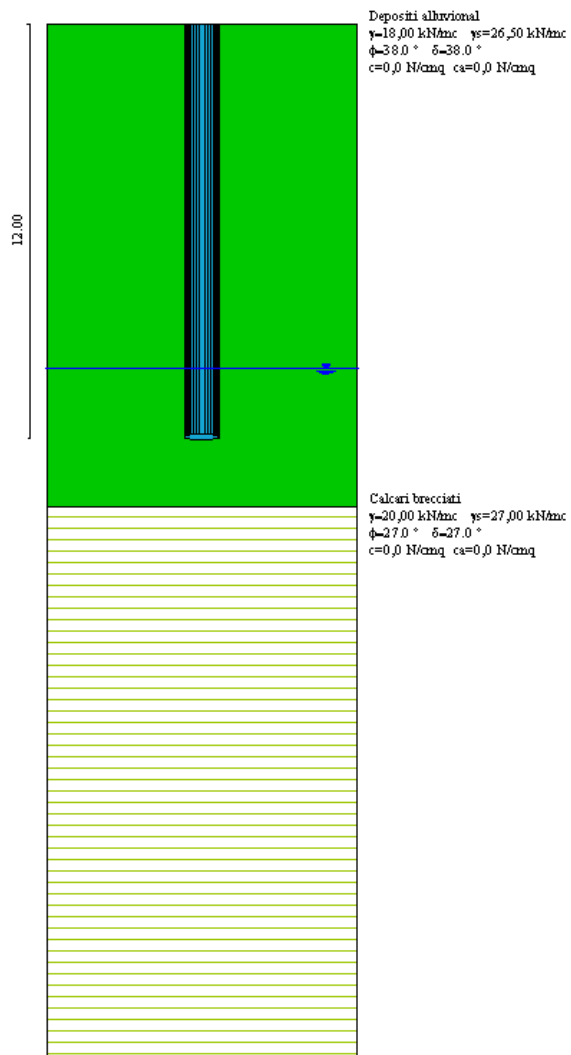
| | | | | | |
|-------|-------|--------|----------|--------|-------|
| 7,92 | 83,63 | 659,90 | 12081,17 | 517,99 | 23,15 |
| 8,04 | 83,63 | 618,01 | 12081,17 | 517,99 | 23,14 |
| 8,16 | 83,63 | 577,47 | 12081,17 | 517,99 | 23,14 |
| 8,28 | 83,63 | 538,33 | 12081,17 | 517,99 | 23,13 |
| 8,40 | 83,63 | 500,60 | 12081,17 | 517,99 | 23,13 |
| 8,52 | 83,63 | 464,33 | 12081,17 | 517,99 | 23,13 |
| 8,64 | 83,63 | 429,51 | 12081,17 | 517,99 | 23,13 |
| 8,76 | 83,63 | 396,16 | 12081,17 | 517,99 | 23,13 |
| 8,88 | 83,63 | 364,29 | 12081,17 | 517,99 | 23,13 |
| 9,00 | 83,63 | 333,90 | 12081,17 | 517,99 | 23,14 |
| 9,12 | 83,63 | 304,97 | 12081,17 | 517,99 | 23,14 |
| 9,24 | 83,63 | 277,52 | 12081,17 | 517,99 | 23,15 |
| 9,36 | 83,63 | 251,52 | 12081,17 | 517,99 | 23,16 |
| 9,48 | 83,63 | 226,96 | 12081,17 | 517,99 | 23,17 |
| 9,60 | 83,63 | 203,82 | 12081,17 | 517,99 | 23,18 |
| 9,72 | 83,63 | 182,09 | 12081,17 | 517,99 | 23,20 |
| 9,84 | 83,63 | 161,74 | 12081,17 | 517,99 | 23,21 |
| 9,96 | 83,63 | 142,76 | 12081,17 | 517,99 | 23,23 |
| 10,08 | 83,63 | 125,10 | 12081,17 | 517,99 | 23,24 |
| 10,20 | 83,63 | 108,76 | 12081,17 | 517,99 | 23,26 |
| 10,32 | 83,63 | 93,69 | 12081,17 | 517,99 | 23,28 |
| 10,44 | 83,63 | 79,88 | 12081,17 | 517,99 | 23,31 |
| 10,56 | 83,63 | 67,28 | 12081,17 | 517,99 | 23,33 |
| 10,68 | 83,63 | 55,88 | 12081,17 | 517,99 | 23,35 |
| 10,80 | 83,63 | 45,64 | 12081,17 | 517,99 | 23,38 |
| 10,92 | 83,63 | 36,53 | 12081,17 | 517,99 | 23,41 |
| 11,04 | 83,63 | 28,51 | 12081,17 | 517,99 | 23,44 |
| 11,16 | 83,63 | 21,56 | 12081,17 | 517,99 | 23,47 |
| 11,28 | 83,63 | 15,64 | 12081,17 | 517,99 | 23,50 |
| 11,40 | 83,63 | 10,72 | 12081,17 | 517,99 | 23,53 |
| 11,52 | 83,63 | 6,77 | 12081,17 | 517,99 | 23,57 |
| 11,64 | 83,63 | 3,76 | 12081,17 | 517,99 | 23,60 |
| 11,76 | 83,63 | 1,64 | 12081,17 | 517,99 | 23,64 |

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

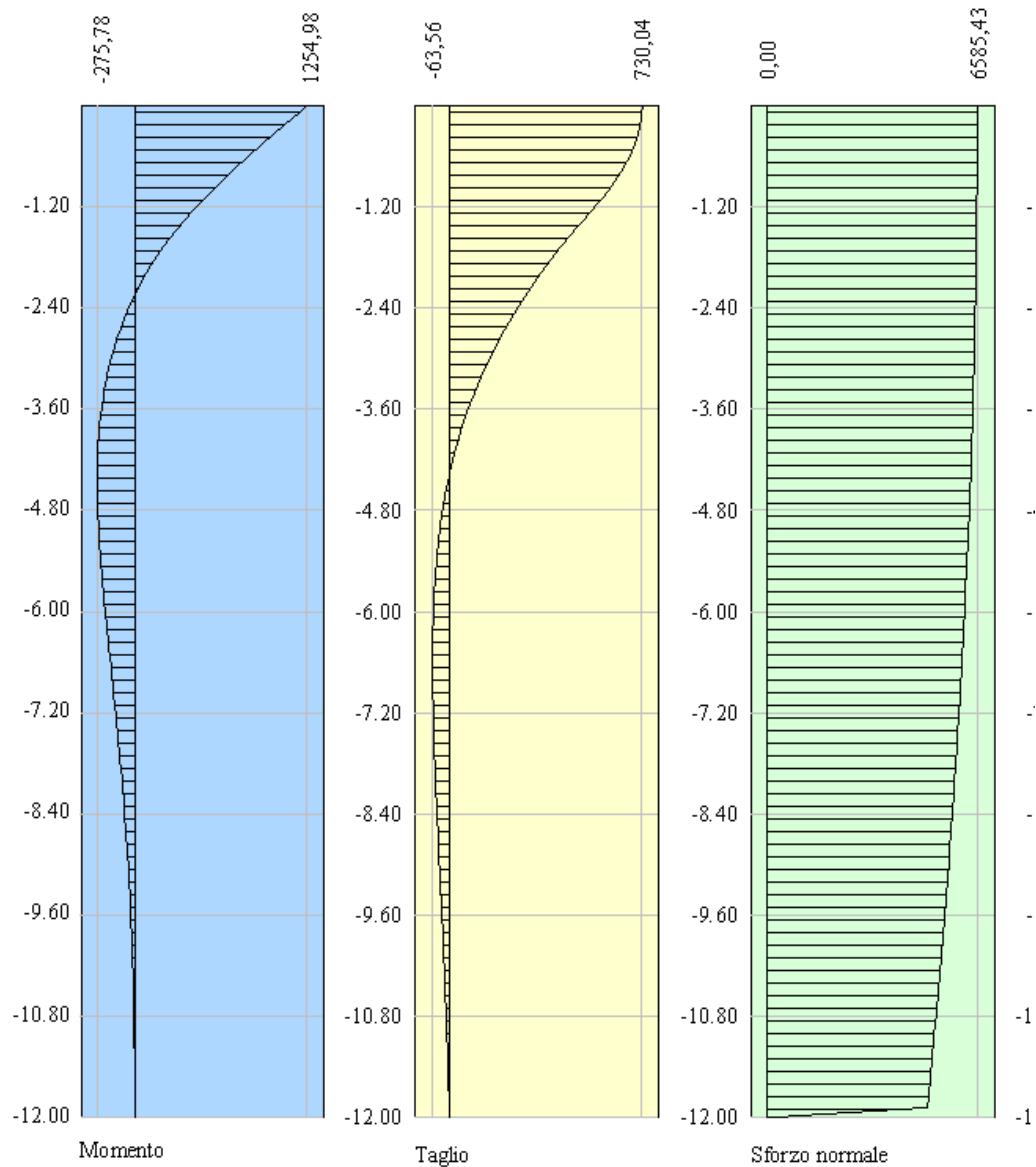
| | | | | | |
|-------|-------|------|----------|--------|-------|
| 11,88 | 83,63 | 0,40 | 12081,17 | 517,99 | 23,68 |
| 12,00 | 83,63 | 0,00 | 12081,17 | 517,99 | 23,72 |

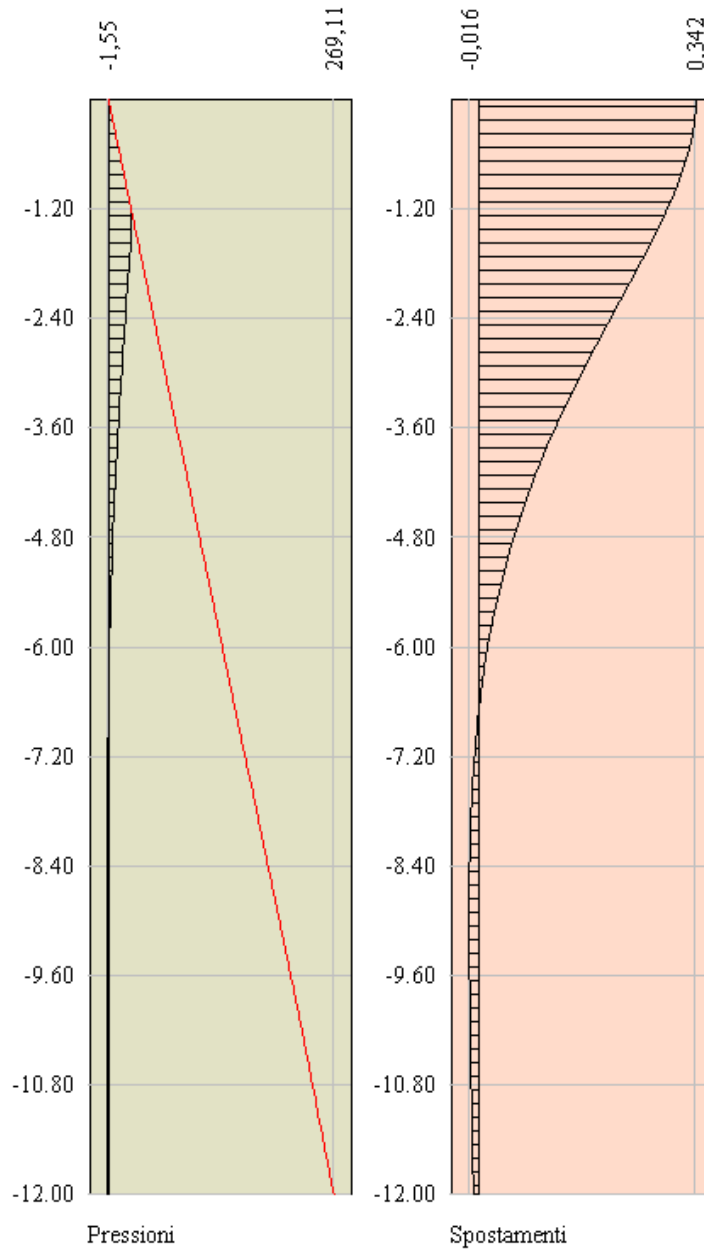
| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

Si riportano di seguito alcuni diagrammi riassuntivi delle analisi sopra esposte.

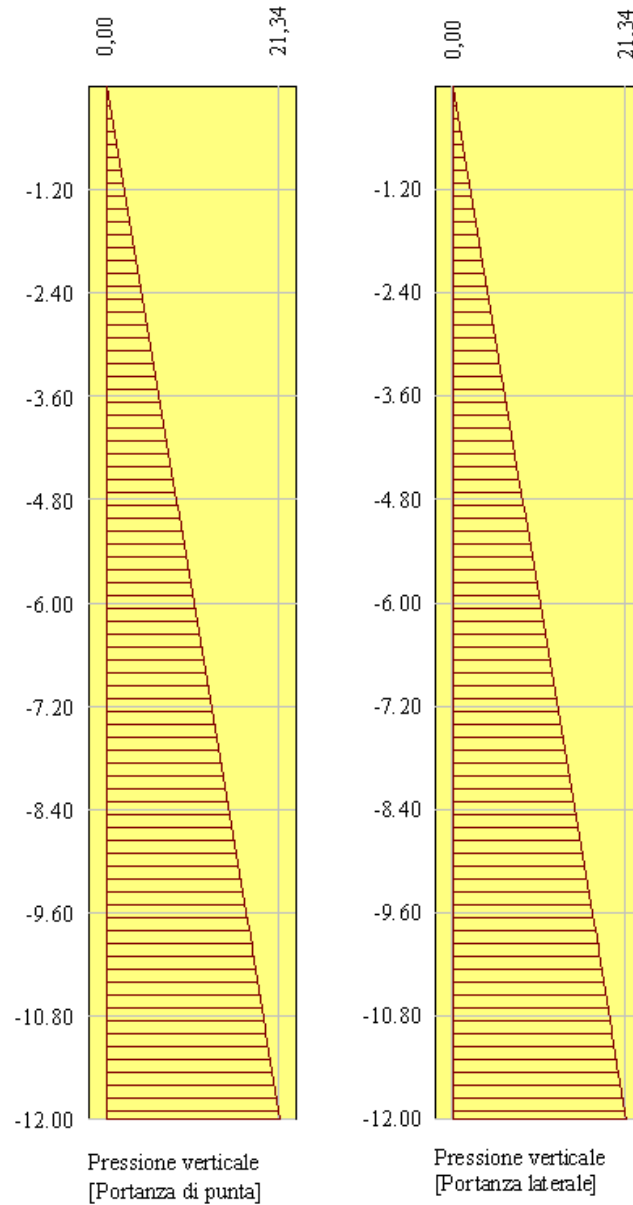


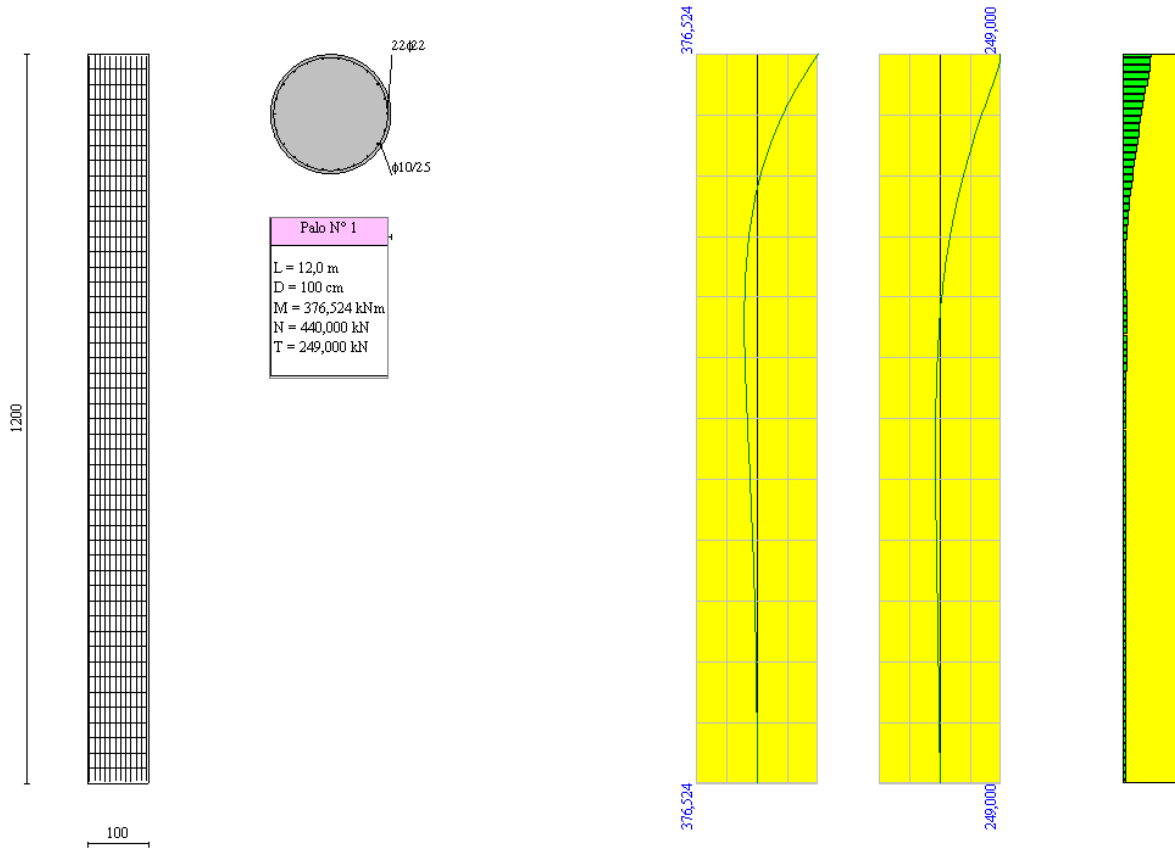
Diagrammi limiti palo n° 1





Diagrammi pressione verticale





| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

7.1.2.1 VERIFICHE SLE - CEDIMENTI

Con riferimento alla tabella riassuntiva delle sollecitazioni SL, si effettuano le verifiche agli SLE per i cedimenti verticali ed orizzontali per la combinazione 37, che risulta essere la peggiorativa per carico assiale ed orizzontale.

Calcolo dei cedimenti verticali dei pali

Il cedimento del singolo palo viene calcolato tramite la relazione di Meyerhof.

$$\delta = \frac{N D}{30 Q_t}$$

dove N è il carico gravante sul palo, D il diametro, e Q_t è la portanza totale del palo.

PALI DI FONDAZIONE

CARICHI VERTICALI. Coefficienti parziali γ_R per le verifiche dei pali

Pali trivellati

| | | R1 | R2 | R3 |
|-----------------------|---------------|------|------|------|
| Punta | γ_b | 1,00 | 1,70 | 1,35 |
| Laterale compressione | γ_s | 1,00 | 1,45 | 1,15 |
| Totale compressione | γ_t | 1,00 | 1,60 | 1,30 |
| Laterale trazione | γ_{st} | 1,00 | 1,60 | 1,25 |

CARICHI TRASVERSALI. Coefficienti parziali γ_T per le verifiche dei pali.

| | R1 | R2 | R3 |
|------------|------|------|------|
| γ_T | 1,00 | 1,60 | 1,30 |

Coefficienti di riduzione ξ per la determinazione della resistenza caratteristica dei pali

| | | | |
|------------------------------|---|--------------|--------------|
| Numero di verticali indagate | 1 | $\xi_3=1,70$ | $\xi_4=1,70$ |
|------------------------------|---|--------------|--------------|

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

Coeff. di combinazione $\Psi_0 = 0,70$ $\Psi_1 = 0,50$ $\Psi_2 = 0,20$

Condizioni di carico

Simbologia e convenzioni di segno adottate

Carichi verticali positivi verso il basso.

Carichi orizzontali positivi verso sinistra.

Momento positivo senso antiorario.

Fondazione

N_{TOT} Sforzo normale totale espressa in [kN]

$M_{X_{TOT}}$ Momento in direzione X espressa in [kNm]

$M_{Y_{TOT}}$ Momento in direzione Y espresso in [kNm]

e_x Eccentricità del carico lungo X espressa in [m]

e_y Eccentricità del carico lungo Y espressa in [m]

β Inclinazione del taglio nel piano espressa in [°]

T_{TOT} Forza di taglio espressa in [kN]

Condizione n° 1 (Condizione n° 1)

| Fondazione | N_{TOT} | $M_{X_{TOT}}$ | $M_{Y_{TOT}}$ | e_x | e_y | β | T_{TOT} |
|-------------------|-----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| Palo 60 | 302,000 | 0,000 | 105,000 | 0,3 | 0,0 | 90,0 | 135,000 |

Descrizione combinazioni di carico

Simbologia adottata

γ Coefficiente di partecipazione della condizione

Ψ Coefficiente di combinazione della condizione

C Coefficiente totale di partecipazione della condizione

Combinazione n° 1 SLE

γ Ψ **C**

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

Condizione n° 1 1.00 1.00 1.00

Analisi in condizioni drenate

Momento ultimo della sezione

| | | | |
|-----------------------|-----------------------|--------------------------|--------------------------|
| A_{f1} | A_{f2} | M_{usez1} | M_{usez2} |
| 80,42 | 80,42 | 1212,1242 | 1212,1242 |

Cedimento verticale in testa ai pali

Per il calcolo dei cedimenti è stato utilizzato il metodo di Meyerhof.

Simbologia adottata

Comb Identificativo della combinazione

w Cedimento in testa al palo, espresso in [cm]

| | |
|---------------------|----------|
| Combinazione | w |
| 1 | 0,0481 |

Il cedimento del palo isolato così calcolato deve essere incrementato per l'effetto dei pali in gruppo; a tal proposito si fa riferimento alle "AGI – Raccomandazioni sui pali di fondazione" al paragrafo 5.2.3 "Cedimenti del singolo palo e del gruppo di pali", nell'ipotesi veritiera in cui il terreno interessato dalla palificata sia relativamente omogeneo. Il valore del cedimento w della palificata in oggetto può essere determinata, per pali trivellati, con la seguente formula:

$$w = w_1 \cdot \left(\frac{0,60 \cdot B}{0,30 \cdot B + 0,30} \right)^2 = 0,0481 \cdot \left(\frac{0,60 \cdot 1,20}{0,30 \cdot 1,20 + 0,30} \right) = 0,048 \cdot 1,20 = 0,058 \text{ cm}$$

dove B rappresenta la dimensione minima in pianta della palificata, assunta pari a 1,20 m.

I valori del cedimento della palificata, pur risultando maggiorati del 20% rispetto a quelli massimi del palo isolato, si attestano su valori minori di 1 mm, ampiamente accettabili.

Spostamenti e pressioni in esercizio

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

Simbologia adottata

- Nr. Identificativo sezione palo
 Y ordinata palo espressa in [cm]
 Ue spostamento in esercizio espresso in [cm]
 Pe pressione in esercizio espressa in [N/cm²]

Combinazione n° 1

| Nr. | Y | Ue | Pe |
|------------|----------|-----------|-----------|
| 1 | 0,00 | 0,0509 | 0,00 |
| 2 | 0,12 | 0,0509 | 2,72 |
| 3 | 0,24 | 0,0506 | 4,96 |
| 4 | 0,36 | 0,0502 | 4,92 |
| 5 | 0,48 | 0,0496 | 4,87 |
| 6 | 0,60 | 0,0489 | 4,80 |
| 7 | 0,72 | 0,0482 | 4,72 |
| 8 | 0,84 | 0,0473 | 4,63 |
| 9 | 0,96 | 0,0463 | 4,54 |
| 10 | 1,08 | 0,0452 | 4,43 |
| 11 | 1,20 | 0,0441 | 4,32 |
| 12 | 1,32 | 0,0429 | 4,20 |
| 13 | 1,44 | 0,0416 | 4,08 |
| 14 | 1,56 | 0,0403 | 3,95 |
| 15 | 1,68 | 0,0390 | 3,82 |
| 16 | 1,80 | 0,0376 | 3,69 |
| 17 | 1,92 | 0,0363 | 3,56 |
| 18 | 2,04 | 0,0349 | 3,42 |
| 19 | 2,16 | 0,0335 | 3,28 |
| 20 | 2,28 | 0,0321 | 3,15 |
| 21 | 2,40 | 0,0307 | 3,01 |
| 22 | 2,52 | 0,0293 | 2,87 |
| 23 | 2,64 | 0,0279 | 2,74 |
| 24 | 2,76 | 0,0265 | 2,60 |
| 25 | 2,88 | 0,0252 | 2,47 |

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

| | | | |
|----|------|---------|-------|
| 26 | 3,00 | 0,0239 | 2,34 |
| 27 | 3,12 | 0,0226 | 2,21 |
| 28 | 3,24 | 0,0213 | 2,09 |
| 29 | 3,36 | 0,0201 | 1,97 |
| 30 | 3,48 | 0,0189 | 1,85 |
| 31 | 3,60 | 0,0177 | 1,74 |
| 32 | 3,72 | 0,0166 | 1,62 |
| 33 | 3,84 | 0,0154 | 1,52 |
| 34 | 3,96 | 0,0144 | 1,41 |
| 35 | 4,08 | 0,0133 | 1,31 |
| 36 | 4,20 | 0,0124 | 1,21 |
| 37 | 4,32 | 0,0114 | 1,12 |
| 38 | 4,44 | 0,0105 | 1,03 |
| 39 | 4,56 | 0,0096 | 0,94 |
| 40 | 4,68 | 0,0088 | 0,86 |
| 41 | 4,80 | 0,0080 | 0,78 |
| 42 | 4,92 | 0,0072 | 0,71 |
| 43 | 5,04 | 0,0065 | 0,63 |
| 44 | 5,16 | 0,0058 | 0,57 |
| 45 | 5,28 | 0,0051 | 0,50 |
| 46 | 5,40 | 0,0045 | 0,44 |
| 47 | 5,52 | 0,0039 | 0,38 |
| 48 | 5,64 | 0,0034 | 0,33 |
| 49 | 5,76 | 0,0028 | 0,28 |
| 50 | 5,88 | 0,0024 | 0,23 |
| 51 | 6,00 | 0,0019 | 0,19 |
| 52 | 6,12 | 0,0015 | 0,15 |
| 53 | 6,24 | 0,0011 | 0,11 |
| 54 | 6,36 | 0,0007 | 0,07 |
| 55 | 6,48 | 0,0004 | 0,04 |
| 56 | 6,60 | 0,0001 | 0,01 |
| 57 | 6,72 | -0,0002 | -0,02 |
| 58 | 6,84 | -0,0005 | -0,05 |

RELAZIONE GEOTECNICA

Codice documento
ST0217_F0*Rev*
F0
Data
20-06-2011

| | | | |
|----|-------|---------|-------|
| 59 | 6,96 | -0,0007 | -0,07 |
| 60 | 7,08 | -0,0010 | -0,09 |
| 61 | 7,20 | -0,0012 | -0,11 |
| 62 | 7,32 | -0,0013 | -0,13 |
| 63 | 7,44 | -0,0015 | -0,15 |
| 64 | 7,56 | -0,0017 | -0,16 |
| 65 | 7,68 | -0,0018 | -0,17 |
| 66 | 7,80 | -0,0019 | -0,19 |
| 67 | 7,92 | -0,0020 | -0,20 |
| 68 | 8,04 | -0,0021 | -0,20 |
| 69 | 8,16 | -0,0021 | -0,21 |
| 70 | 8,28 | -0,0022 | -0,22 |
| 71 | 8,40 | -0,0023 | -0,22 |
| 72 | 8,52 | -0,0023 | -0,22 |
| 73 | 8,64 | -0,0023 | -0,23 |
| 74 | 8,76 | -0,0023 | -0,23 |
| 75 | 8,88 | -0,0023 | -0,23 |
| 76 | 9,00 | -0,0023 | -0,23 |
| 77 | 9,12 | -0,0023 | -0,23 |
| 78 | 9,24 | -0,0023 | -0,23 |
| 79 | 9,36 | -0,0023 | -0,23 |
| 80 | 9,48 | -0,0023 | -0,22 |
| 81 | 9,60 | -0,0023 | -0,22 |
| 82 | 9,72 | -0,0022 | -0,22 |
| 83 | 9,84 | -0,0022 | -0,22 |
| 84 | 9,96 | -0,0022 | -0,21 |
| 85 | 10,08 | -0,0021 | -0,21 |
| 86 | 10,20 | -0,0021 | -0,20 |
| 87 | 10,32 | -0,0020 | -0,20 |
| 88 | 10,44 | -0,0020 | -0,19 |
| 89 | 10,56 | -0,0019 | -0,19 |
| 90 | 10,68 | -0,0019 | -0,18 |
| 91 | 10,80 | -0,0018 | -0,18 |

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

| | | | |
|-----|-------|---------|-------|
| 92 | 10,92 | -0,0018 | -0,17 |
| 93 | 11,04 | -0,0017 | -0,17 |
| 94 | 11,16 | -0,0017 | -0,16 |
| 95 | 11,28 | -0,0016 | -0,16 |
| 96 | 11,40 | -0,0015 | -0,15 |
| 97 | 11,52 | -0,0015 | -0,15 |
| 98 | 11,64 | -0,0014 | -0,14 |
| 99 | 11,76 | -0,0014 | -0,13 |
| 100 | 11,88 | -0,0013 | -0,13 |
| 101 | 12,00 | -0,0013 | -0,12 |

Spostamenti e pressioni limiti

Simbologia adottata

| | |
|-----|---------------------------------------------------|
| Nr. | Identificativo sezione palo |
| Y | ordinata palo espressa in [cm] |
| Ur | spostamento limite espresso in [cm] |
| Pr | pressione limite espressa in [N/cm ²] |

Combinazione n° 1

| Nr. | Y | Ur | Pr |
|------------|----------|-----------|-----------|
| 1 | 0,00 | 0,3294 | 0,00 |
| 2 | 0,12 | 0,3289 | 2,72 |
| 3 | 0,24 | 0,3273 | 5,45 |
| 4 | 0,36 | 0,3247 | 8,17 |
| 5 | 0,48 | 0,3212 | 10,90 |
| 6 | 0,60 | 0,3169 | 13,62 |
| 7 | 0,72 | 0,3119 | 16,34 |
| 8 | 0,84 | 0,3062 | 19,07 |
| 9 | 0,96 | 0,2999 | 21,79 |
| 10 | 1,08 | 0,2930 | 24,52 |
| 11 | 1,20 | 0,2857 | 27,24 |
| 12 | 1,32 | 0,2781 | 27,27 |

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

| | | | |
|----|------|--------|-------|
| 13 | 1,44 | 0,2700 | 26,48 |
| 14 | 1,56 | 0,2617 | 25,67 |
| 15 | 1,68 | 0,2532 | 24,83 |
| 16 | 1,80 | 0,2445 | 23,97 |
| 17 | 1,92 | 0,2356 | 23,10 |
| 18 | 2,04 | 0,2266 | 22,23 |
| 19 | 2,16 | 0,2176 | 21,34 |
| 20 | 2,28 | 0,2086 | 20,46 |
| 21 | 2,40 | 0,1996 | 19,57 |
| 22 | 2,52 | 0,1906 | 18,69 |
| 23 | 2,64 | 0,1817 | 17,82 |
| 24 | 2,76 | 0,1729 | 16,95 |
| 25 | 2,88 | 0,1642 | 16,10 |
| 26 | 3,00 | 0,1556 | 15,26 |
| 27 | 3,12 | 0,1472 | 14,44 |
| 28 | 3,24 | 0,1390 | 13,63 |
| 29 | 3,36 | 0,1310 | 12,84 |
| 30 | 3,48 | 0,1231 | 12,08 |
| 31 | 3,60 | 0,1155 | 11,33 |
| 32 | 3,72 | 0,1081 | 10,60 |
| 33 | 3,84 | 0,1009 | 9,90 |
| 34 | 3,96 | 0,0940 | 9,22 |
| 35 | 4,08 | 0,0873 | 8,56 |
| 36 | 4,20 | 0,0808 | 7,93 |
| 37 | 4,32 | 0,0746 | 7,32 |
| 38 | 4,44 | 0,0687 | 6,73 |
| 39 | 4,56 | 0,0629 | 6,17 |
| 40 | 4,68 | 0,0575 | 5,64 |
| 41 | 4,80 | 0,0522 | 5,12 |
| 42 | 4,92 | 0,0473 | 4,64 |
| 43 | 5,04 | 0,0425 | 4,17 |
| 44 | 5,16 | 0,0380 | 3,73 |
| 45 | 5,28 | 0,0338 | 3,31 |

RELAZIONE GEOTECNICA

Codice documento
ST0217_F0*Rev*
F0
Data
20-06-2011

| | | | |
|----|------|---------|-------|
| 46 | 5,40 | 0,0297 | 2,91 |
| 47 | 5,52 | 0,0259 | 2,54 |
| 48 | 5,64 | 0,0223 | 2,19 |
| 49 | 5,76 | 0,0189 | 1,86 |
| 50 | 5,88 | 0,0157 | 1,54 |
| 51 | 6,00 | 0,0128 | 1,25 |
| 52 | 6,12 | 0,0100 | 0,98 |
| 53 | 6,24 | 0,0074 | 0,73 |
| 54 | 6,36 | 0,0050 | 0,49 |
| 55 | 6,48 | 0,0028 | 0,27 |
| 56 | 6,60 | 0,0007 | 0,07 |
| 57 | 6,72 | -0,0012 | -0,12 |
| 58 | 6,84 | -0,0029 | -0,29 |
| 59 | 6,96 | -0,0045 | -0,44 |
| 60 | 7,08 | -0,0060 | -0,59 |
| 61 | 7,20 | -0,0073 | -0,72 |
| 62 | 7,32 | -0,0085 | -0,83 |
| 63 | 7,44 | -0,0096 | -0,94 |
| 64 | 7,56 | -0,0105 | -1,03 |
| 65 | 7,68 | -0,0114 | -1,12 |
| 66 | 7,80 | -0,0121 | -1,19 |
| 67 | 7,92 | -0,0128 | -1,25 |
| 68 | 8,04 | -0,0133 | -1,31 |
| 69 | 8,16 | -0,0138 | -1,35 |
| 70 | 8,28 | -0,0142 | -1,39 |
| 71 | 8,40 | -0,0145 | -1,42 |
| 72 | 8,52 | -0,0148 | -1,45 |
| 73 | 8,64 | -0,0149 | -1,47 |
| 74 | 8,76 | -0,0151 | -1,48 |
| 75 | 8,88 | -0,0151 | -1,49 |
| 76 | 9,00 | -0,0152 | -1,49 |
| 77 | 9,12 | -0,0151 | -1,49 |
| 78 | 9,24 | -0,0151 | -1,48 |

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

| | | | |
|-----|-------|---------|-------|
| 79 | 9,36 | -0,0150 | -1,47 |
| 80 | 9,48 | -0,0148 | -1,45 |
| 81 | 9,60 | -0,0147 | -1,44 |
| 82 | 9,72 | -0,0145 | -1,42 |
| 83 | 9,84 | -0,0142 | -1,40 |
| 84 | 9,96 | -0,0140 | -1,37 |
| 85 | 10,08 | -0,0137 | -1,35 |
| 86 | 10,20 | -0,0135 | -1,32 |
| 87 | 10,32 | -0,0132 | -1,29 |
| 88 | 10,44 | -0,0128 | -1,26 |
| 89 | 10,56 | -0,0125 | -1,23 |
| 90 | 10,68 | -0,0122 | -1,20 |
| 91 | 10,80 | -0,0119 | -1,16 |
| 92 | 10,92 | -0,0115 | -1,13 |
| 93 | 11,04 | -0,0112 | -1,10 |
| 94 | 11,16 | -0,0108 | -1,06 |
| 95 | 11,28 | -0,0105 | -1,03 |
| 96 | 11,40 | -0,0101 | -0,99 |
| 97 | 11,52 | -0,0097 | -0,96 |
| 98 | 11,64 | -0,0094 | -0,92 |
| 99 | 11,76 | -0,0090 | -0,88 |
| 100 | 11,88 | -0,0087 | -0,85 |
| 101 | 12,00 | -0,0083 | -0,81 |

Sollecitazioni in esercizio

Simbologia adottata

| | |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------|
| Nr. | Identificativo sezione |
| Y | ordinata della sezione a partire dalla testa positiva verso il basso (in [m]) |
| N | sforzo normale espresso in [kN] |
| T | taglio espresso in [kN] |
| M | momento espresso in [kNm] |

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

Combinazione n° 1

| Nr. | Y | M | T | N |
|------------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | 0,00 | 197,7961 | 135,0000 | 302,0000 |
| 2 | 0,12 | 181,5961 | 131,7312 | 304,2978 |
| 3 | 0,24 | 165,7884 | 125,7766 | 306,5699 |
| 4 | 0,36 | 150,6952 | 119,8707 | 308,8162 |
| 5 | 0,48 | 136,3107 | 114,0301 | 311,0367 |
| 6 | 0,60 | 122,6271 | 108,2697 | 313,2315 |
| 7 | 0,72 | 109,6347 | 102,6031 | 315,4006 |
| 8 | 0,84 | 97,3223 | 97,0423 | 317,5439 |
| 9 | 0,96 | 85,6773 | 91,5979 | 319,6614 |
| 10 | 1,08 | 74,6855 | 86,2794 | 321,7532 |
| 11 | 1,20 | 64,3320 | 81,0950 | 323,8193 |
| 12 | 1,32 | 54,6006 | 76,0517 | 325,8596 |
| 13 | 1,44 | 45,4744 | 71,1557 | 327,8742 |
| 14 | 1,56 | 36,9357 | 66,4118 | 329,8630 |
| 15 | 1,68 | 28,9663 | 61,8241 | 331,8260 |
| 16 | 1,80 | 21,5474 | 57,3959 | 333,7633 |
| 17 | 1,92 | 14,6599 | 53,1295 | 335,6749 |
| 18 | 2,04 | 8,2843 | 49,0266 | 337,5607 |
| 19 | 2,16 | 2,4012 | 45,0880 | 339,4208 |
| 20 | 2,28 | -3,0094 | 41,3140 | 341,2551 |
| 21 | 2,40 | -7,9671 | 37,7042 | 343,0637 |
| 22 | 2,52 | -12,4916 | 34,2580 | 344,8465 |
| 23 | 2,64 | -16,6025 | 30,9738 | 346,6035 |
| 24 | 2,76 | -20,3194 | 27,8498 | 348,3349 |
| 25 | 2,88 | -23,6614 | 24,8839 | 350,0404 |
| 26 | 3,00 | -26,6474 | 22,0734 | 351,7203 |
| 27 | 3,12 | -29,2962 | 19,4154 | 353,3743 |
| 28 | 3,24 | -31,6261 | 16,9067 | 355,0026 |
| 29 | 3,36 | -33,6549 | 14,5439 | 356,6052 |
| 30 | 3,48 | -35,4001 | 12,3232 | 358,1820 |

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

| | | | | |
|----|------|----------|---------|----------|
| 31 | 3,60 | -36,8789 | 10,2408 | 359,7331 |
| 32 | 3,72 | -38,1078 | 8,2926 | 361,2584 |
| 33 | 3,84 | -39,1029 | 6,4744 | 362,7580 |
| 34 | 3,96 | -39,8799 | 4,7820 | 364,2319 |
| 35 | 4,08 | -40,4537 | 3,2110 | 365,6799 |
| 36 | 4,20 | -40,8390 | 1,7570 | 367,1023 |
| 37 | 4,32 | -41,0499 | 0,4154 | 368,4988 |
| 38 | 4,44 | -41,0997 | -0,8183 | 369,8697 |
| 39 | 4,56 | -41,0015 | -1,9484 | 371,2148 |
| 40 | 4,68 | -40,7677 | -2,9797 | 372,5341 |
| 41 | 4,80 | -40,4101 | -3,9164 | 373,8277 |
| 42 | 4,92 | -39,9402 | -4,7631 | 375,0955 |
| 43 | 5,04 | -39,3686 | -5,5242 | 376,3376 |
| 44 | 5,16 | -38,7057 | -6,2039 | 377,5539 |
| 45 | 5,28 | -37,9612 | -6,8064 | 378,7445 |
| 46 | 5,40 | -37,1445 | -7,3361 | 379,9094 |
| 47 | 5,52 | -36,2641 | -7,7969 | 381,0484 |
| 48 | 5,64 | -35,3285 | -8,1929 | 382,1618 |
| 49 | 5,76 | -34,3454 | -8,5278 | 383,2494 |
| 50 | 5,88 | -33,3220 | -8,8055 | 384,3112 |
| 51 | 6,00 | -32,2654 | -9,0297 | 385,3473 |
| 52 | 6,12 | -31,1818 | -9,2038 | 386,3576 |
| 53 | 6,24 | -30,0773 | -9,3313 | 387,3422 |
| 54 | 6,36 | -28,9576 | -9,4155 | 388,3011 |
| 55 | 6,48 | -27,8277 | -9,4596 | 389,2342 |
| 56 | 6,60 | -26,6925 | -9,4667 | 390,1415 |
| 57 | 6,72 | -25,5565 | -9,4395 | 391,0231 |
| 58 | 6,84 | -24,4238 | -9,3811 | 391,8790 |
| 59 | 6,96 | -23,2981 | -9,2940 | 392,7091 |
| 60 | 7,08 | -22,1828 | -9,1808 | 393,5134 |
| 61 | 7,20 | -21,0811 | -9,0439 | 394,2920 |
| 62 | 7,32 | -19,9958 | -8,8858 | 395,0449 |
| 63 | 7,44 | -18,9295 | -8,7084 | 395,7720 |

RELAZIONE GEOTECNICA

Codice documento
ST0217_F0*Rev*
F0
Data
20-06-2011

| | | | | |
|----|-------|----------|---------|----------|
| 64 | 7,56 | -17,8845 | -8,5140 | 396,4733 |
| 65 | 7,68 | -16,8628 | -8,3045 | 397,1489 |
| 66 | 7,80 | -15,8663 | -8,0817 | 397,7988 |
| 67 | 7,92 | -14,8965 | -7,8474 | 398,4229 |
| 68 | 8,04 | -13,9548 | -7,6032 | 399,0213 |
| 69 | 8,16 | -13,0424 | -7,3507 | 399,5939 |
| 70 | 8,28 | -12,1603 | -7,0913 | 400,1407 |
| 71 | 8,40 | -11,3094 | -6,8263 | 400,6618 |
| 72 | 8,52 | -10,4902 | -6,5570 | 401,1572 |
| 73 | 8,64 | -9,7034 | -6,2845 | 401,6268 |
| 74 | 8,76 | -8,9493 | -6,0098 | 402,0707 |
| 75 | 8,88 | -8,2281 | -5,7341 | 402,4888 |
| 76 | 9,00 | -7,5400 | -5,4581 | 402,8812 |
| 77 | 9,12 | -6,8850 | -5,1827 | 403,2478 |
| 78 | 9,24 | -6,2631 | -4,9087 | 403,5886 |
| 79 | 9,36 | -5,6741 | -4,6367 | 403,9038 |
| 80 | 9,48 | -5,1177 | -4,3673 | 404,1931 |
| 81 | 9,60 | -4,5936 | -4,1012 | 404,4567 |
| 82 | 9,72 | -4,1014 | -3,8389 | 404,6946 |
| 83 | 9,84 | -3,6408 | -3,5807 | 404,9067 |
| 84 | 9,96 | -3,2111 | -3,3271 | 405,0931 |
| 85 | 10,08 | -2,8118 | -3,0785 | 405,2541 |
| 86 | 10,20 | -2,4424 | -2,8351 | 405,3912 |
| 87 | 10,32 | -2,1022 | -2,5972 | 405,5044 |
| 88 | 10,44 | -1,7905 | -2,3651 | 405,5937 |
| 89 | 10,56 | -1,5067 | -2,1389 | 405,6591 |
| 90 | 10,68 | -1,2501 | -1,9188 | 405,7006 |
| 91 | 10,80 | -1,0198 | -1,7049 | 405,7183 |
| 92 | 10,92 | -0,8152 | -1,4975 | 405,7120 |
| 93 | 11,04 | -0,6355 | -1,2965 | 405,6819 |
| 94 | 11,16 | -0,4799 | -1,1020 | 405,6280 |
| 95 | 11,28 | -0,3477 | -0,9140 | 405,5501 |
| 96 | 11,40 | -0,2380 | -0,7327 | 405,4484 |

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

| | | | | |
|-----|-------|---------|---------|----------|
| 97 | 11,52 | -0,1501 | -0,5580 | 405,3227 |
| 98 | 11,64 | -0,0831 | -0,3900 | 405,1732 |
| 99 | 11,76 | -0,0363 | -0,2287 | 404,9998 |
| 100 | 11,88 | -0,0089 | -0,0740 | 404,8026 |
| 101 | 12,00 | 0,0000 | -0,0740 | 404,5814 |

Sollecitazioni limiti

Simbologia adottata

- Nr. Identificativo sezione
 Y ordinata della sezione a partire dalla testa positiva verso il basso (in [m])
 Nr sforzo normale espresso in [kN]
 Tr taglio espresso in [kN]
 Mr momento espresso in [kNm]

Combinazione n° 1

| Nr. | Y | Mr | Tr | Nr |
|-----|------|-----------|----------|-----------|
| 1 | 0,00 | 1212,1242 | 708,9361 | 6585,4319 |
| 2 | 0,12 | 1127,0667 | 705,6673 | 6585,1138 |
| 3 | 0,24 | 1042,3866 | 699,1297 | 6584,4776 |
| 4 | 0,36 | 958,4910 | 689,3232 | 6583,5233 |
| 5 | 0,48 | 875,7723 | 676,2478 | 6582,2509 |
| 6 | 0,60 | 794,6225 | 659,9037 | 6580,6604 |
| 7 | 0,72 | 715,4341 | 640,2907 | 6578,7518 |
| 8 | 0,84 | 638,5992 | 617,4088 | 6576,5251 |
| 9 | 0,96 | 564,5101 | 591,2582 | 6573,9803 |
| 10 | 1,08 | 493,5592 | 561,8387 | 6571,1174 |
| 11 | 1,20 | 426,1385 | 529,1504 | 6567,9364 |
| 12 | 1,32 | 362,6405 | 496,4277 | 6564,4373 |
| 13 | 1,44 | 303,0691 | 464,6497 | 6560,6201 |
| 14 | 1,56 | 247,3112 | 433,8495 | 6556,4848 |
| 15 | 1,68 | 195,2492 | 404,0545 | 6552,0313 |

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

| | | | | |
|----|------|-----------|----------|-----------|
| 16 | 1,80 | 146,7627 | 375,2861 | 6547,2598 |
| 17 | 1,92 | 101,7284 | 347,5605 | 6542,1702 |
| 18 | 2,04 | 60,0211 | 320,8890 | 6536,7625 |
| 19 | 2,16 | 21,5144 | 295,2781 | 6531,0367 |
| 20 | 2,28 | -13,9189 | 270,7303 | 6524,9928 |
| 21 | 2,40 | -46,4066 | 247,2441 | 6518,6308 |
| 22 | 2,52 | -76,0759 | 224,8146 | 6511,9506 |
| 23 | 2,64 | -103,0536 | 203,4333 | 6504,9524 |
| 24 | 2,76 | -127,4656 | 183,0890 | 6497,6361 |
| 25 | 2,88 | -149,4363 | 163,7678 | 6490,0017 |
| 26 | 3,00 | -169,0884 | 145,4533 | 6482,0492 |
| 27 | 3,12 | -186,5428 | 128,1269 | 6473,7786 |
| 28 | 3,24 | -201,9181 | 111,7683 | 6465,1898 |
| 29 | 3,36 | -215,3303 | 96,3554 | 6456,2830 |
| 30 | 3,48 | -226,8929 | 81,8644 | 6447,0581 |
| 31 | 3,60 | -236,7166 | 68,2705 | 6437,5151 |
| 32 | 3,72 | -244,9091 | 55,5478 | 6427,6539 |
| 33 | 3,84 | -251,5748 | 43,6695 | 6417,4747 |
| 34 | 3,96 | -256,8152 | 32,6078 | 6406,9774 |
| 35 | 4,08 | -260,7281 | 22,3347 | 6396,1620 |
| 36 | 4,20 | -263,4083 | 12,8216 | 6385,0284 |
| 37 | 4,32 | -264,9468 | 4,0395 | 6373,5768 |
| 38 | 4,44 | -265,4316 | -4,0406 | 6361,8071 |
| 39 | 4,56 | -264,9467 | -11,4479 | 6349,7193 |
| 40 | 4,68 | -263,5730 | -18,2113 | 6337,3133 |
| 41 | 4,80 | -261,3876 | -24,3599 | 6324,5893 |
| 42 | 4,92 | -258,4644 | -29,9222 | 6311,5472 |
| 43 | 5,04 | -254,8737 | -34,9268 | 6298,1869 |
| 44 | 5,16 | -250,6825 | -39,4014 | 6284,5086 |
| 45 | 5,28 | -245,9544 | -43,3737 | 6270,5122 |
| 46 | 5,40 | -240,7495 | -46,8707 | 6256,1976 |
| 47 | 5,52 | -235,1250 | -49,9187 | 6241,5650 |
| 48 | 5,64 | -229,1348 | -52,5435 | 6226,6142 |

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

| | | | | |
|----|------|-----------|----------|-----------|
| 49 | 5,76 | -222,8296 | -54,7704 | 6211,3454 |
| 50 | 5,88 | -216,2571 | -56,6238 | 6195,7585 |
| 51 | 6,00 | -209,4623 | -58,1273 | 6179,8534 |
| 52 | 6,12 | -202,4870 | -59,3041 | 6163,6303 |
| 53 | 6,24 | -195,3705 | -60,1762 | 6147,0890 |
| 54 | 6,36 | -188,1493 | -60,7653 | 6130,2297 |
| 55 | 6,48 | -180,8575 | -61,0918 | 6113,0523 |
| 56 | 6,60 | -173,5265 | -61,1758 | 6095,5567 |
| 57 | 6,72 | -166,1854 | -61,0361 | 6077,7431 |
| 58 | 6,84 | -158,8611 | -60,6911 | 6059,6113 |
| 59 | 6,96 | -151,5781 | -60,1583 | 6041,1615 |
| 60 | 7,08 | -144,3591 | -59,4542 | 6022,3935 |
| 61 | 7,20 | -137,2246 | -58,5947 | 6003,3075 |
| 62 | 7,32 | -130,1933 | -57,5948 | 5983,9033 |
| 63 | 7,44 | -123,2819 | -56,4690 | 5964,1811 |
| 64 | 7,56 | -116,5056 | -55,2306 | 5944,1407 |
| 65 | 7,68 | -109,8780 | -53,8925 | 5923,7823 |
| 66 | 7,80 | -103,4109 | -52,4668 | 5903,1057 |
| 67 | 7,92 | -97,1148 | -50,9647 | 5882,1111 |
| 68 | 8,04 | -90,9991 | -49,3971 | 5860,7983 |
| 69 | 8,16 | -85,0714 | -47,7738 | 5839,1675 |
| 70 | 8,28 | -79,3386 | -46,1042 | 5817,2185 |
| 71 | 8,40 | -73,8061 | -44,3971 | 5794,9515 |
| 72 | 8,52 | -68,4784 | -42,6605 | 5772,3663 |
| 73 | 8,64 | -63,3591 | -40,9019 | 5749,4631 |
| 74 | 8,76 | -58,4509 | -39,1284 | 5726,2417 |
| 75 | 8,88 | -53,7555 | -37,3463 | 5702,7022 |
| 76 | 9,00 | -49,2740 | -35,5615 | 5678,8447 |
| 77 | 9,12 | -45,0066 | -33,7795 | 5654,6690 |
| 78 | 9,24 | -40,9530 | -32,0052 | 5630,1752 |
| 79 | 9,36 | -37,1124 | -30,2431 | 5605,3634 |
| 80 | 9,48 | -33,4832 | -28,4972 | 5580,2334 |
| 81 | 9,60 | -30,0636 | -26,7713 | 5554,7854 |

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

| | | | | |
|-----|-------|----------|----------|-----------|
| 82 | 9,72 | -26,8510 | -25,0687 | 5529,0192 |
| 83 | 9,84 | -23,8428 | -23,3922 | 5502,9349 |
| 84 | 9,96 | -21,0357 | -21,7446 | 5476,5326 |
| 85 | 10,08 | -18,4264 | -20,1282 | 5449,8275 |
| 86 | 10,20 | -16,0110 | -18,5449 | 5422,8274 |
| 87 | 10,32 | -13,7856 | -16,9965 | 5395,5323 |
| 88 | 10,44 | -11,7460 | -15,4846 | 5367,9422 |
| 89 | 10,56 | -9,8878 | -14,0104 | 5340,0571 |
| 90 | 10,68 | -8,2066 | -12,5751 | 5311,8770 |
| 91 | 10,80 | -6,6976 | -11,1795 | 5283,4019 |
| 92 | 10,92 | -5,3560 | -9,8243 | 5254,6318 |
| 93 | 11,04 | -4,1771 | -8,5103 | 5225,5667 |
| 94 | 11,16 | -3,1559 | -7,2377 | 5196,2065 |
| 95 | 11,28 | -2,2874 | -6,0070 | 5166,5514 |
| 96 | 11,40 | -1,5665 | -4,8185 | 5136,6013 |
| 97 | 11,52 | -0,9883 | -3,6722 | 5106,3561 |
| 98 | 11,64 | -0,5476 | -2,5684 | 5075,8159 |
| 99 | 11,76 | -0,2394 | -1,5070 | 5044,9808 |
| 100 | 11,88 | -0,0586 | -0,4882 | 5013,8506 |
| 101 | 12,00 | 0,0000 | -0,4882 | 5013,8506 |

Diagramma Carico-Cedimento verticale

Simbologia adottata

N Carico sul palo espressa in [kN]

w Cedimento del palo espresso in [cm]

Combinazione n° 1

| N | w |
|---------|-------|
| 673,36 | 0,107 |
| 1658,71 | 0,264 |
| 3136,72 | 0,499 |
| 4812,63 | 0,852 |

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

6321,98 1,226

6585,43 1,291

Diagramma Carico-Cedimento orizzontale

Simbologia adottata

N Carico sul palo espressa in [kN]

u Cedimento del palo espresso in [cm]

Combinazione n° 1

| N | u |
|----------|----------|
| 135,02 | 0,051 |
| 135,04 | 0,051 |
| 135,13 | 0,051 |
| 135,88 | 0,051 |
| 141,90 | 0,054 |
| 188,13 | 0,072 |
| 514,07 | 0,221 |
| 537,38 | 0,233 |
| 549,03 | 0,239 |
| 637,44 | 0,288 |
| 645,85 | 0,292 |
| 650,06 | 0,295 |
| 683,70 | 0,314 |
| 687,54 | 0,317 |
| 689,45 | 0,318 |
| 704,24 | 0,326 |
| 705,60 | 0,327 |
| 706,28 | 0,328 |
| 706,39 | 0,328 |
| 706,44 | 0,328 |
| 706,87 | 0,328 |
| 706,95 | 0,328 |

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

| | |
|--------|-------|
| 706,98 | 0,328 |
| 707,28 | 0,328 |
| 707,34 | 0,328 |
| 707,36 | 0,328 |
| 707,58 | 0,328 |
| 707,62 | 0,329 |
| 707,65 | 0,329 |
| 707,81 | 0,329 |
| 708,94 | 0,329 |

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE GEOTECNICA | | <i>Codice documento</i> ST0217_F0 | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20-06-2011 |

7.1.2.2 VALUTAZIONE DEI RISULTATI

I fattori di sicurezza ottenuti per verifica di portanza verticale della sottostruttura in oggetto risultano per le combinazioni statiche spesso ampiamente superiori al valore richiesto dalla normativa vigente; la lunghezza dei pali è infatti richiesta in maniera principale per la fase iniziale, in cui i pali formano una berlinese di sostegno a protezione del muro esistente della fiamara.

I valori dei cedimenti risultano molto contenuti, nell'ordine dei decimi di cm; questi valori sono del tutto giustificati, in relazione al fatto che il carico assiale sul singolo palo risulta piuttosto esiguo a causa della luce ridotta del ponte ed al numero elevato di pali dovuto al già citato utilizzo di fase iniziale.

Un'ultima considerazione riguardo gli spostamenti previsti in testa ai pali, sia in direzione verticale che trasversale, per la compatibilità con il muro esistente antistante: l'esecuzione dei pali trivellati comporta necessariamente un degrado del muro esistente e probabili crolli parziali; sarà quindi necessario ripristinare tali muri con intervento mirato, compatibilmente con gli spostamenti previsti.