



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 | ST0050_F0 |
| <i>Tipo di sistema</i> | STAZIONI - OPERE CIVILI | |
| <i>Raggruppamento di opere/attività</i> | STAZIONE EUROPA | |
| <i>Opera - tratto d'opera - parte d'opera</i> | GENERALE – OPERE CIVILI | |
| <i>Titolo del documento</i> | MURI DI SOSTEGNO PARCHEGGI - RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELLE OPERE | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| CODICE | C | G | 0 | 7 | 0 | 0 | P | R | G | D | S | C | S | 3 | S | G | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 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 TECNICO-DESCRITTIVA DELLE OPERE | | <i>Codice documento</i> ST0050_F0.doc | <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) | 7 |
| 4 DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA..... | 8 |
| 4.1 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E UBICAZIONE DELLA STRUTTURA..... | 8 |
| 4.2 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL LUOGO..... | 11 |
| 4.2.1 Descrizione delle litologie | 11 |
| 4.2.2 Indagini previste | 11 |
| 4.2.3 Caratterizzazioni geotecniche..... | 12 |
| 4.2.4 Parametri principali assunti..... | 22 |
| 4.3 CARATTERIZZAZIONE DELLA SISMICITA' DEL LUOGO | 23 |
| 4.4 CRITERI GENERALI DI PROGETTAZIONE | 24 |
| 4.4.1 Verifiche di resistenza..... | 25 |
| 4.4.1.1 Verifiche di resistenza agli stati limite ultimi..... | 25 |
| 4.4.2 Verifiche agli stati limite di esercizio..... | 25 |
| 4.4.2.1 Definizione degli stati limite di fessurazione | 25 |
| 4.4.2.2 Condizioni ambientali | 26 |
| 4.4.2.3 Sensibilità delle armature alla corrosione | 26 |
| 4.4.2.4 Scelta degli stati limite di fessurazione..... | 26 |
| 4.4.2.5 Verifiche allo stato limite di fessurazione..... | 27 |
| 4.4.2.6 Verifiche delle tensioni in esercizio..... | 27 |
| 4.4.3 Azioni sismiche..... | 29 |
| 4.4.3.1 Vita nominale | 29 |
| 4.4.3.2 Classe d'uso | 30 |
| 4.4.3.3 Periodo di riferimento per l'azione sismica | 30 |
| 5 ELABORATI DI RIFERIMENTO..... | 31 |

| | | | |
|---|---|---|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | |
| RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELLE OPERE | <i>Codice documento</i> ST0050_F0.doc | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20/06/2011 |

PREMESSA

La presente relazione tratta i muri di sostegno indicizzati con le lettere A, B e C, facenti parte delle opere di sostegno per la realizzazione dei parcheggi, a servizio della stazione ferroviaria Europa.

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 TECNICO-DESCRITTIVA DELLE OPERE | | <i>Codice documento</i> ST0050_F0.doc | <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 TECNICO-DESCRITTIVA DELLE OPERE | <i>Codice documento</i> ST0050_F0.doc | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20/06/2011 |

3 CARATTERISTICHE MATERIALI

3.1 Calcestruzzi (Secondo UNI 11104 - 2004)

Fondazioni

| | |
|---|-----------------------------------|
| classe di resistenza | C25/30 |
| modulo elastico | $E_c = 31.447 \text{ N/mm}^2$ |
| resistenza caratteristica a compressione cilindrica | $f_{ck} = 24,90 \text{ N/mm}^2$ |
| resistenza media a compressione cilindrica | $f_{cm} = 32,90 \text{ N/mm}^2$ |
| resistenza di calcolo a compressione | $f_{cd} = 14,11 \text{ N/mm}^2$ |
| 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 | $C = 40 \text{ mm}$ |
| classe di esposizione | XC2 |
| classe di consistenza slump | S4 |
| max dimensione aggregati | $D_{max} = 32 \text{ mm}$ |
| rapporto A/C massimo | 0,50 |

Elevazioni

| | |
|---|-----------------------------------|
| classe di resistenza | C32/40 |
| modulo elastico | $E_c = 36.050 \text{ N/mm}^2$ |
| resistenza caratteristica a compressione cilindrica | $f_{ck} = 33,20 \text{ N/mm}^2$ |
| resistenza media a compressione cilindrica | $f_{cm} = 39,84 \text{ N/mm}^2$ |
| resistenza di calcolo a compressione | $f_{cd} = 18,81 \text{ N/mm}^2$ |
| resistenza a trazione (valore medio) | $f_{ctm} = 3,16 \text{ N/mm}^2$ |
| resistenza caratteristica a trazione | $f_{ctk} = 2,21 \text{ N/mm}^2$ |
| resistenza caratteristica a trazione per flessione | $f_{ctk} = 2,65 \text{ N/mm}^2$ |
| tensione a SLE – combinazione rara | $\sigma_C = 19,92 \text{ N/mm}^2$ |
| tensione a SLE – combinazione quasi permanente | $\sigma_C = 14,94 \text{ N/mm}^2$ |

| | | | | |
|---|---|---|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELLE OPERE | | <i>Codice documento</i> ST0050_F0.doc | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20/06/2011 |



| | | | |
|-----------------------------|--------|------|-----|
| copriferro | C = | 40 | mm |
| classe di esposizione | XC4 | XS1 | XF2 |
| classe di consistenza slump | | S4 | |
| max dimensione aggregati | Dmax = | 32 | mm |
| rapporto A/C massimo | | 0,50 | |

Per il calcestruzzo ordinario armato si assume il seguente peso per unità di volume:

$$\rho'_{cls} = \boxed{25} \text{ kN/m}^3$$

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 | $\epsilon_{uk} =$ | 7,50 | % |
| deformazione di progetto | $\epsilon_{ud} =$ | 6,75 | % |
| coeff. resistenza a instabilità delle membrature | $\gamma_m =$ | 1,10 | |

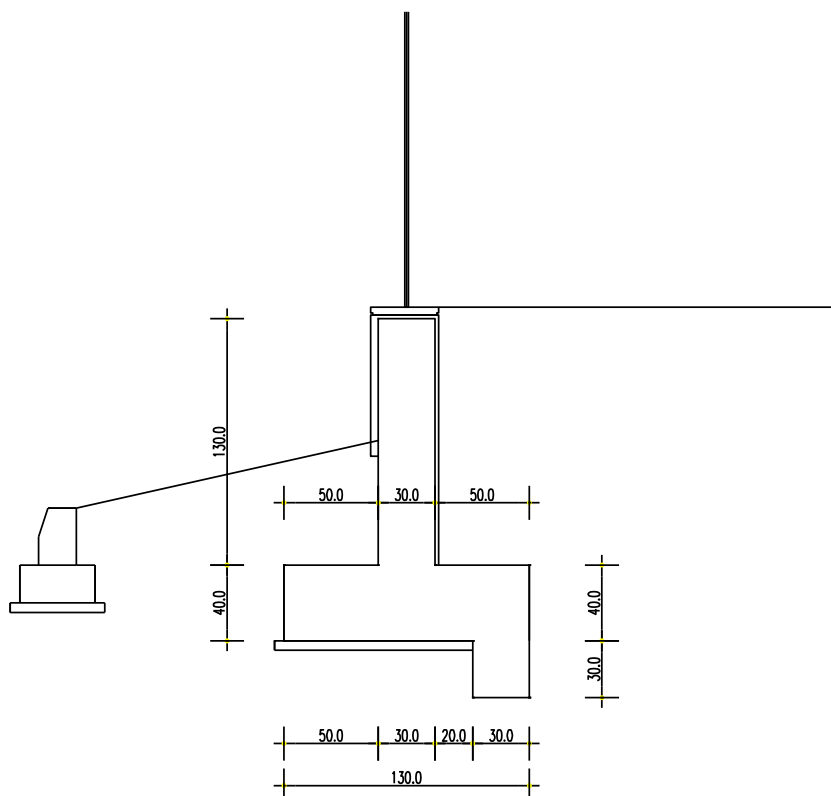
| | | | |
|---|---|---|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | |
| RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELLE OPERE | <i>Codice documento</i> ST0050_F0.doc | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20/06/2011 |



4 DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA

4.1 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E UBICAZIONE DELLA STRUTTURA

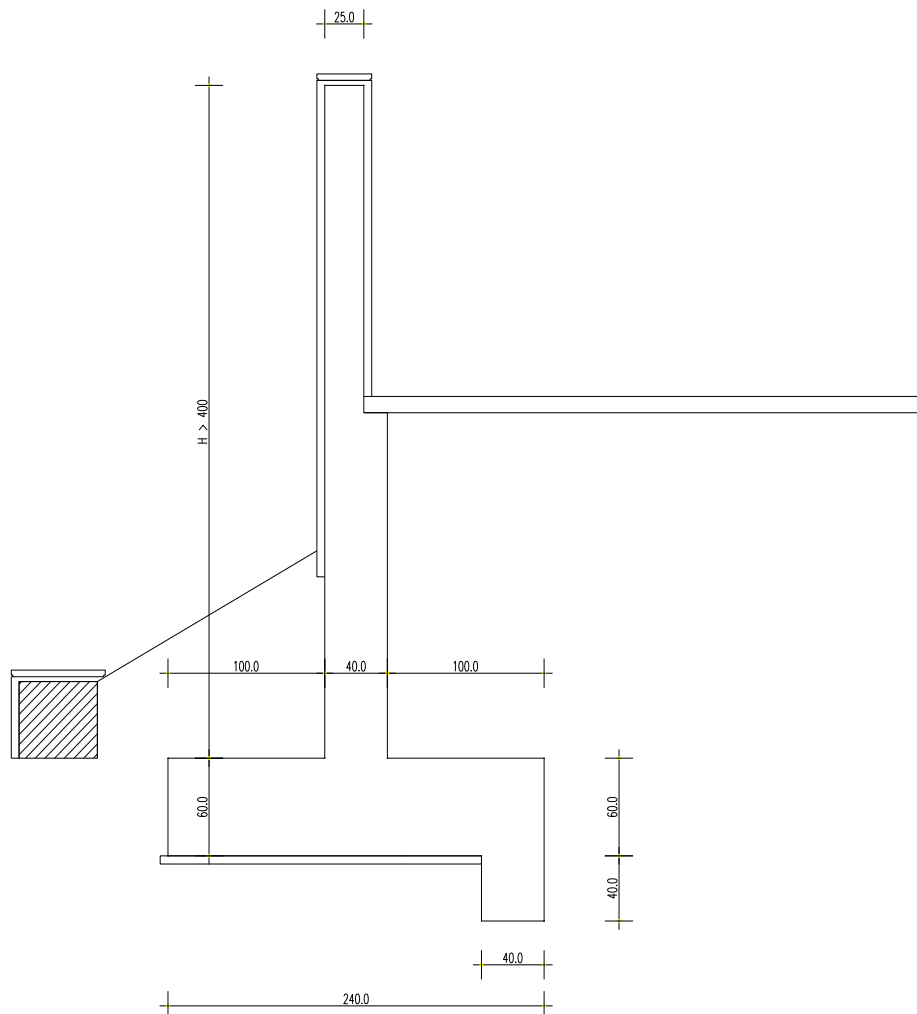
La presente relazione tratta i muri di sostegno indicizzati con le lettere A e B, facenti parte delle opere di sostegno per la realizzazione dei parcheggi, a servizio della stazione ferroviaria Europa. Il progetto prevede la realizzazione di due diverse tipologie di muri di sostegno in c.a. gettato in opera.

1) TIPOLOGIA A: il muro presenta un'altezza di 1,30 mt dallo spiccato di fondazione. La fondazione è di tipo diretto e realizzata tramite una soletta di spessore 0,40 mt dotata di un dente a monte profondo 0,30 mt. L'opera in c.a. è poi rivestita mediante utilizzo di lastre in pietra.





| | | | |
|---|---|---|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | |
| RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELLE OPERE | <i>Codice documento</i> ST0050_F0.doc | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20/06/2011 |

2) TIPOLOGIA B: il muro presenta un'altezza di 2,12 mt contro terra dallo spiccato di fondazione, ed un aggetto di altezza variabile fino ad un totale di 4,00 mt. La fondazione è di tipo diretto e realizzata tramite una soletta di spessore 0,40 mt dotata di un dente a monte profondo anch'esso 0,40 mt. L'opera in c.a. è poi rivestita mediante utilizzo di lastre in pietra.

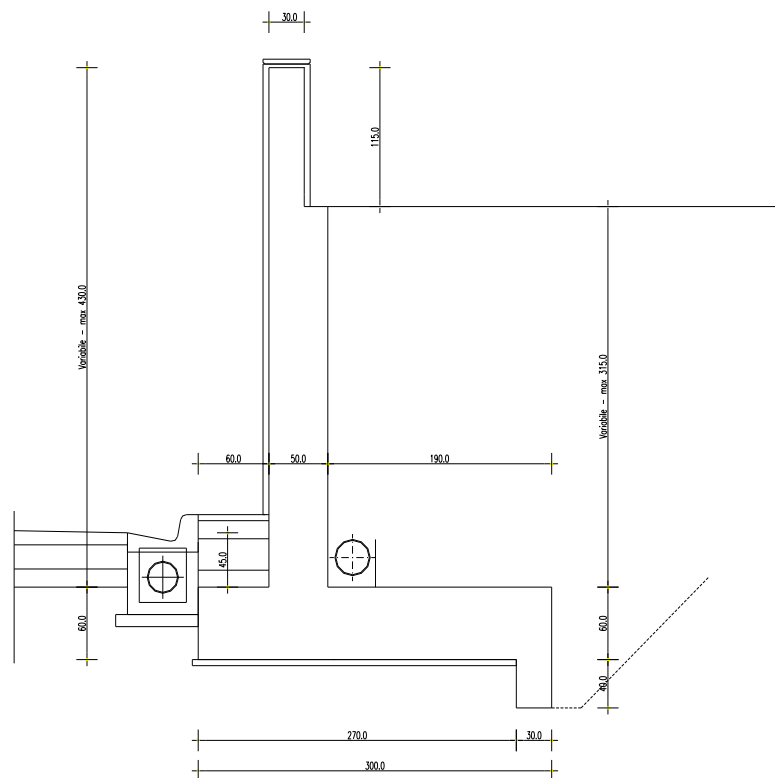


L'analisi statica dei muri in esercizio è stata effettuata considerando una profondità unitaria. Con tale ipotesi sono state pertanto trascurate, a favore di sicurezza, le effettive diffusioni dei carichi e delle sollecitazioni nella parete verticali con allargamento delle traiettorie di diffusione verso il basso e conseguente sensibile riduzione delle sollecitazioni al nodo inferiore, nella fondazione e sul terreno.

L'analisi dei carichi è stata effettuata in ottemperanza alla Normativa vigente.

| | | | |
|---|---|---|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | |
| RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELLE OPERE | <i>Codice documento</i> ST0050_F0.doc | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20/06/2011 |

3) TIPOLOGIA C: il muro presenta un'altezza massima di 4,30 mt contro terra dallo spiccato di fondazione, con altezza del terreno di spinta a monte avente quota inferiore di 1,15 m dalla sommità del muro stesso. La fondazione è di tipo diretto e realizzata tramite una soletta di spessore 0,60 mt dotata di un dente a monte profondo 0,40 mt. L'opera in c.a. è poi rivestita nei tratti fuori terra in affiancamento alle scale incluse dai muri.



L'analisi statica dei muri in esercizio è stata effettuata considerando una profondità unitaria. Con tale ipotesi sono state pertanto trascurate, a favore di sicurezza, le effettive diffusioni dei carichi e delle sollecitazioni nella parete verticali con allargamento delle traiettorie di diffusione verso il basso e conseguente sensibile riduzione delle sollecitazioni al nodo inferiore, nella fondazione e sul terreno.

L'analisi dei carichi è stata effettuata in ottemperanza alla Normativa vigente.

| | | | | |
|---|---|---|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELLE OPERE | | <i>Codice documento</i> ST0050_F0.doc | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20/06/2011 |

4.2 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL LUOGO

4.2.1 Descrizione delle litologie

Le litologie prevalenti sono costituite dalla formazione dei Depositi alluvionali e delle Metamorfiti. I Depositi alluvionali sono costituiti da ghiaie poligeniche ed eterometriche, giallastre o brune a clasti prevalentemente arrotondati di diametro da 2 a 30 cm, clasti sostenuti o a supporto di matrice argilloso-sabbiosa, alternate a rari sottili livelli di sabbie argillose rossastre; sabbie ciottolose a supporto di matrice argilloso-terrosa. L'età dei depositi alluvionali terrazzati è Pleistocene medio-superiore.

I depositi alluvionali recenti sono costituiti da limi e sabbie con livelli di ghiaie a supporto di matrice terroso-argillosa, talora terrazzati, localizzati in aree più elevate rispetto agli alvei fluviali attuali. La componente ruditica è rappresentata da ciottoli poligenici, prevalentemente cristallini, da spigolosi a subarrotondati di diametro tra 1 e 10 cm, mediamente di 4-5 cm. L'età dei depositi alluvionali recenti è l'Olocene.

Le Metamorfiti, parte di un complesso metamorfico intruso caratterizzante la zona dell'unità dell'Aspromonte, sono interessate da una tettonica responsabile di effetti da cataclastici e milonitici. La porzione geometricamente inferiore dell'unità è costituita da paragneiss biotitici passanti a micascisti, localmente associati a corpi di gneiss occhiadini e metagraniti, con intercalazioni di anfiboliti, quarziti e marmi.

La falda risulta circa a quota 10m da p.c.

4.2.2 Indagini previste

I sondaggi di riferimento per la presente tratta sono S115 (campagna del 1992), S458 (campagna del 2010).

La categoria di suolo sismico (secondo N.T.C. 2008) risulta di categoria **C** (S458 - $N_{SPT30} = 23$).

Le prove localmente utilizzate nella caratterizzazione sono:

Depositi alluvionali

- prove SPT (S115, S458)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|------------|-------------|----|------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | | | | |
| RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELLE OPERE | | <i>Codice documento</i> ST0050_F0.doc | <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </table> | <i>Rev</i> | <i>Data</i> | F0 | 20/06/2011 |
| <i>Rev</i> | <i>Data</i> | | | | | | |
| F0 | 20/06/2011 | | | | | | |

- prove di laboratorio per la determinazione dei parametri fisici (S458)

Metamorfiti

Data l'esiguità dei sondaggi che caratterizzano la presente formazione nella tratta in esame, si fa riferimento alla caratterizzazione generale, costituita da due rilievi geologici-strutturali (n° 15 e n°16).

4.2.3 Caratterizzazioni geotecniche

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 0.4-0.6;
- **γ_d :** si ottiene un pari a 17-18 KN/m³.
- **K_0 :** si considera la relazione di Jaky.

| | |
|----------|-------|
| $Dr(\%)$ | K_0 |
|----------|-------|

| | | | | |
|---|---|---|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELLE OPERE | | <i>Codice documento</i> ST0050_F0.doc | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20/06/2011 |

| | |
|--------------|------------------|
| 50-70 | 0.36-0.38 |
|--------------|------------------|

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

| | |
|---------------|------------------|
| ϕ'_p (°) | ϕ'_{cv} (°) |
| 39-41 | 35-37 |

I valori operativi dei parametri di resistenza di picco possono porsi uguali a:

$$c'=0$$

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

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:

$$G_o = 23 \cdot (z)^{0.65}$$

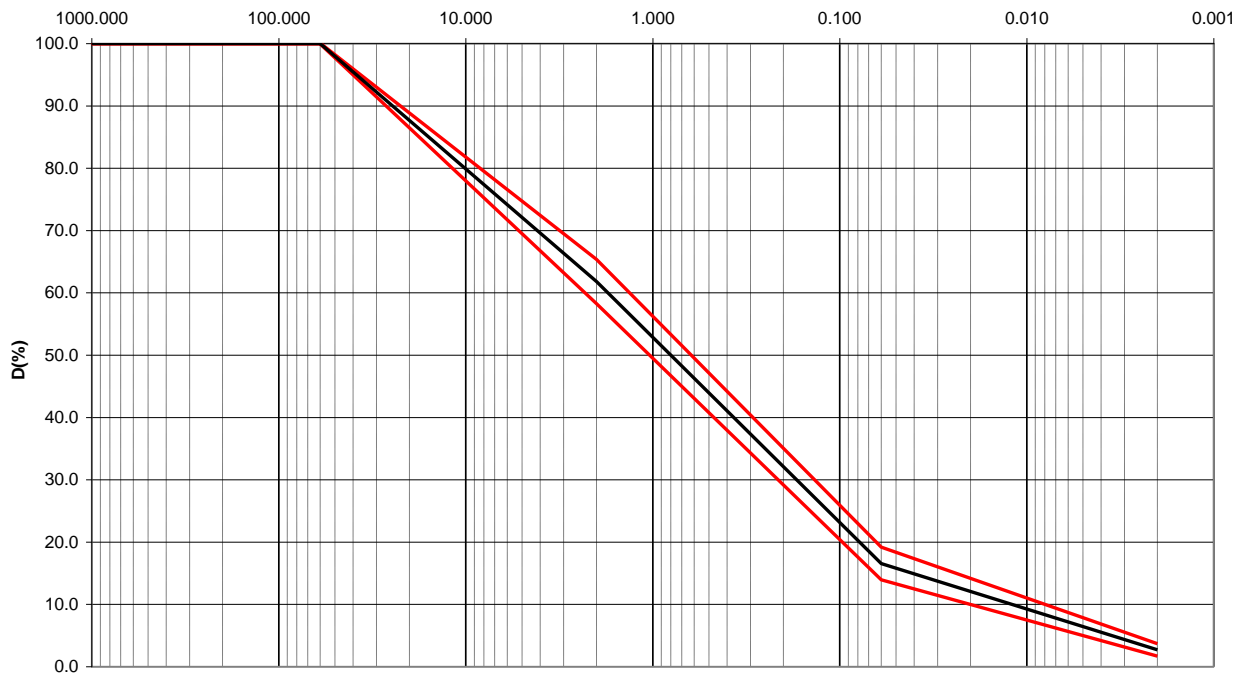
$$E_o = 55 \cdot (z)^{0.65}$$

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

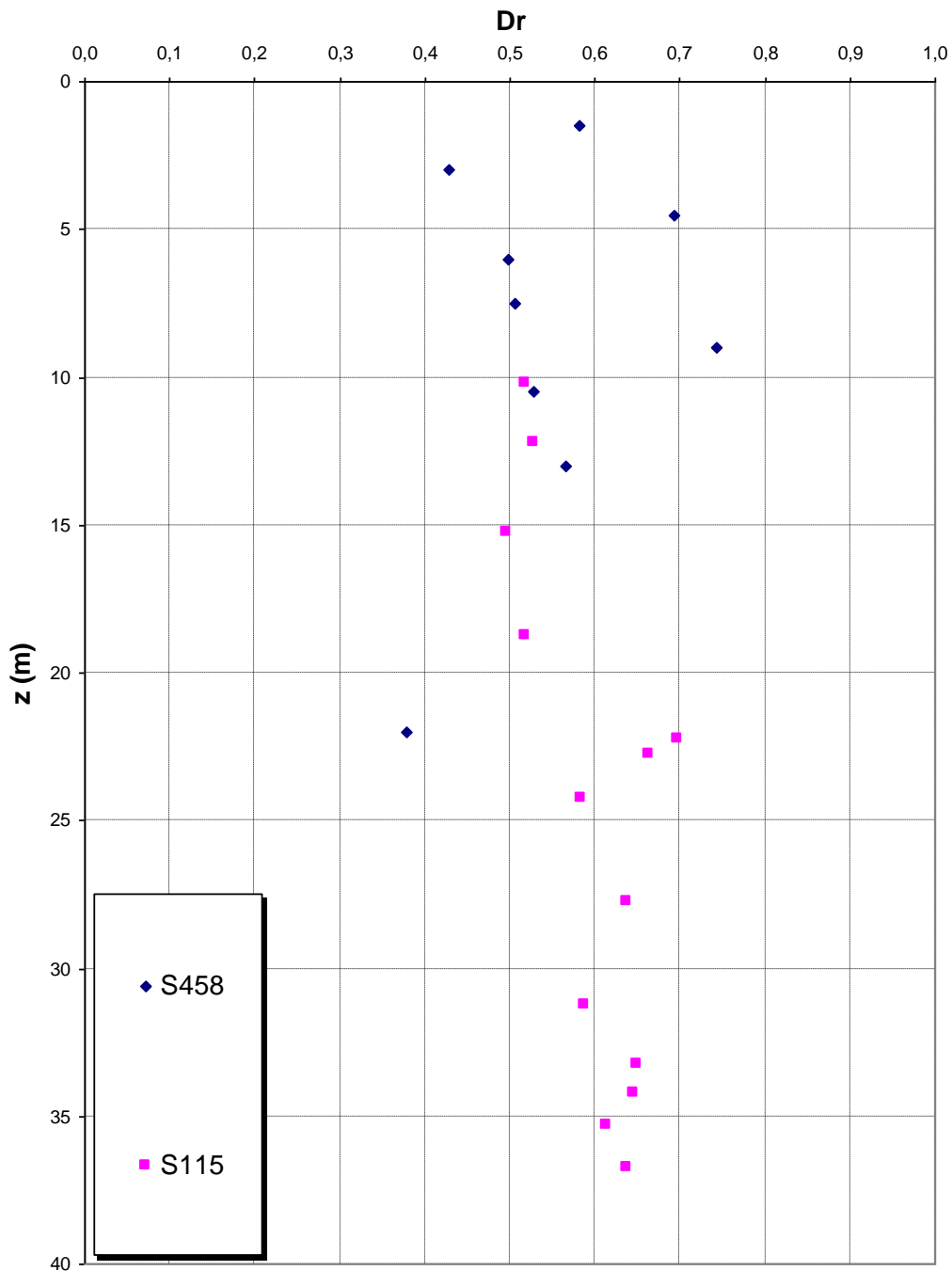
$$E = (7 \div 18) \cdot (z)^{0.65}$$

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

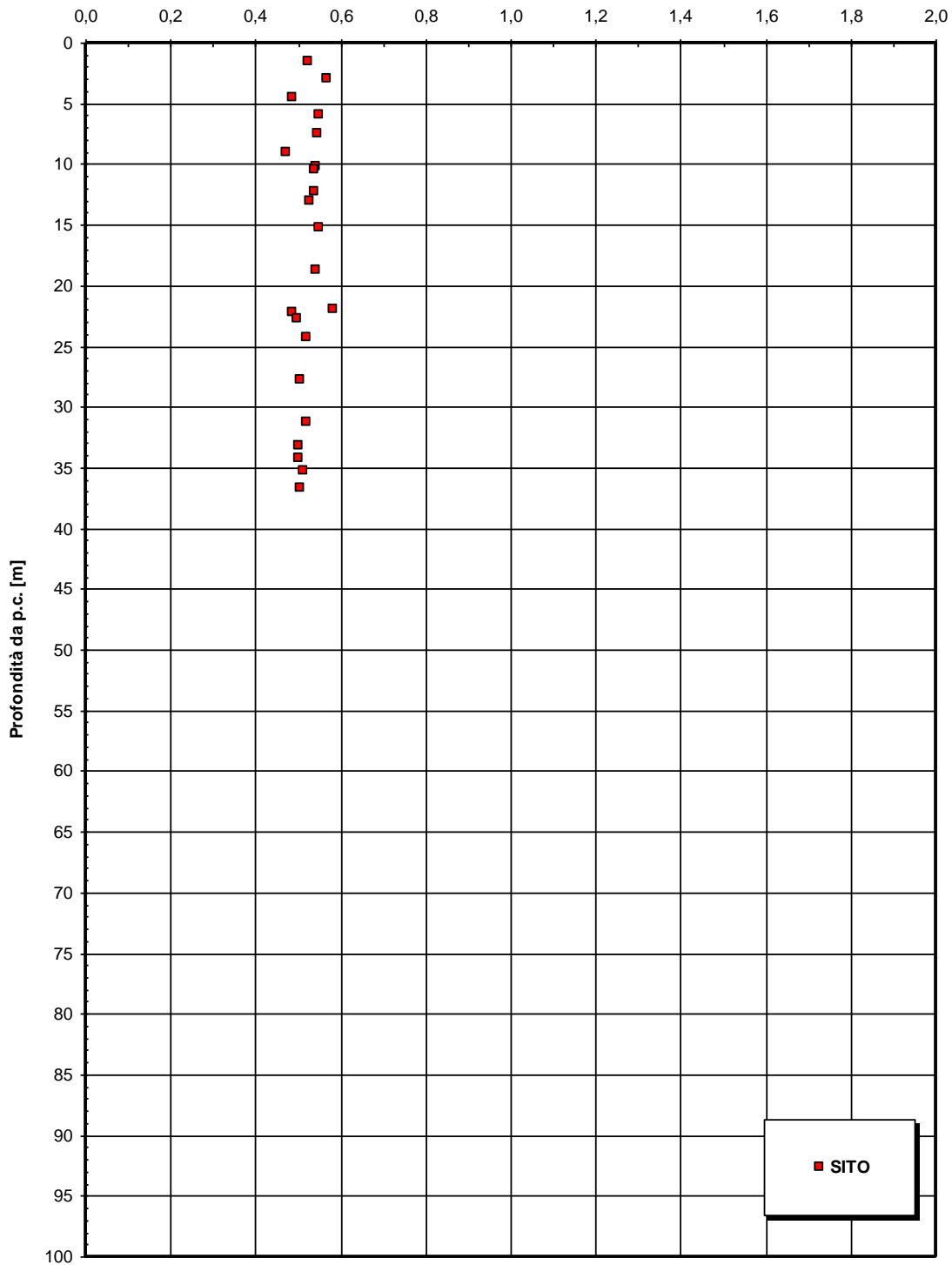
Depositi Alluvionali
(mm)

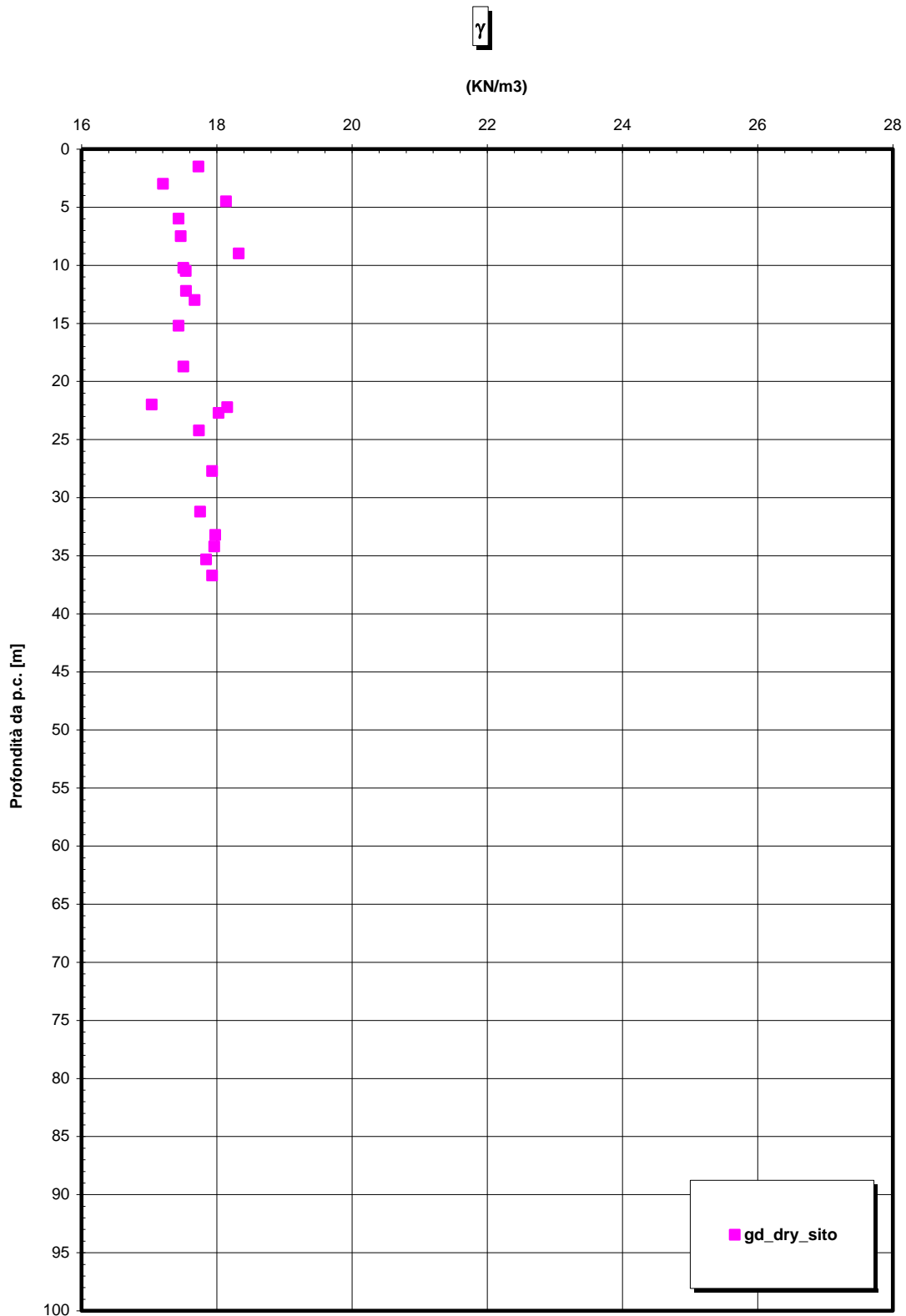


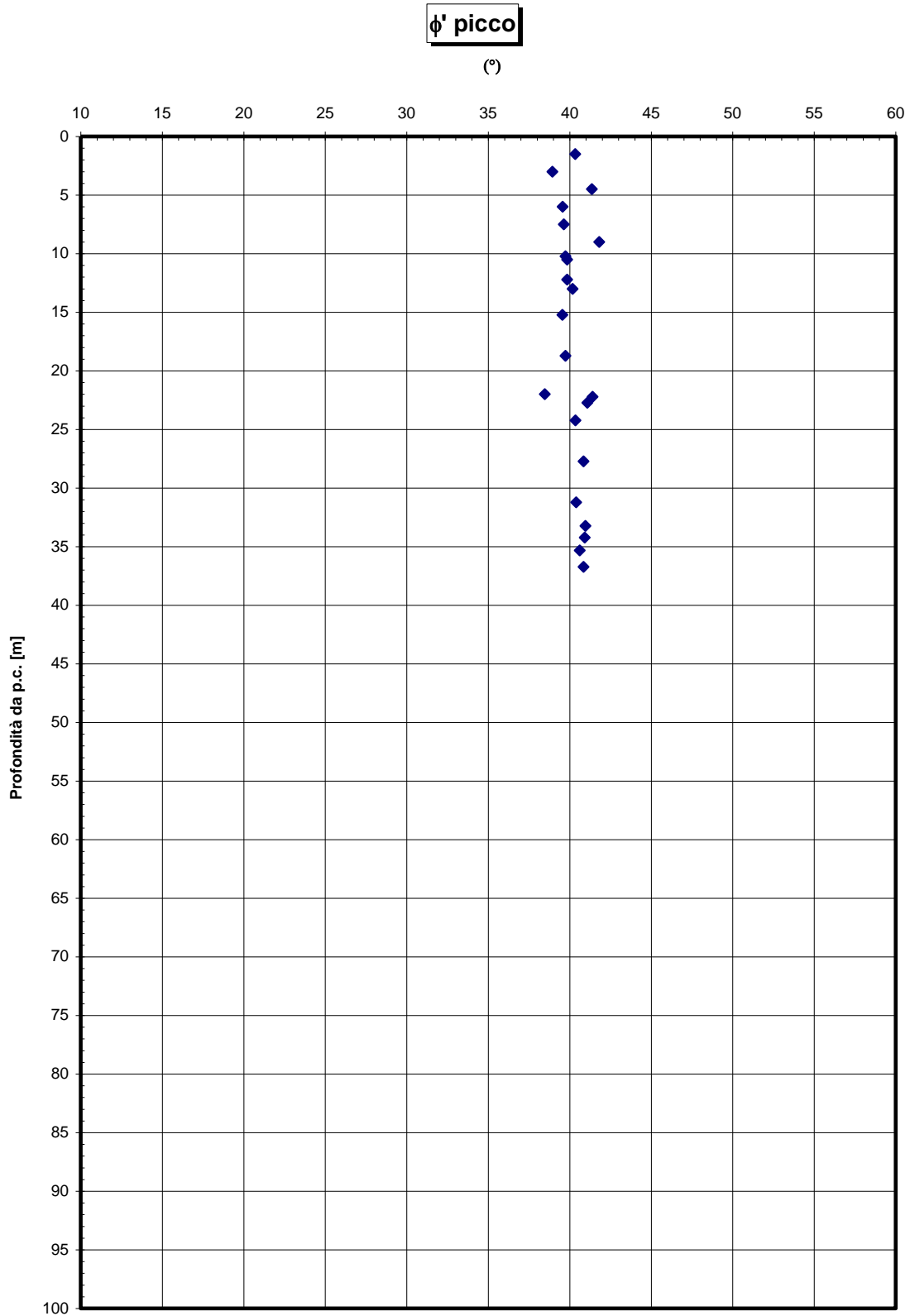
**Dr Cubrinovski e Ishihara (1999)
Componente ghiaiosa e sabbiosa
DEPOSITI ALLUVIONALI**



eo

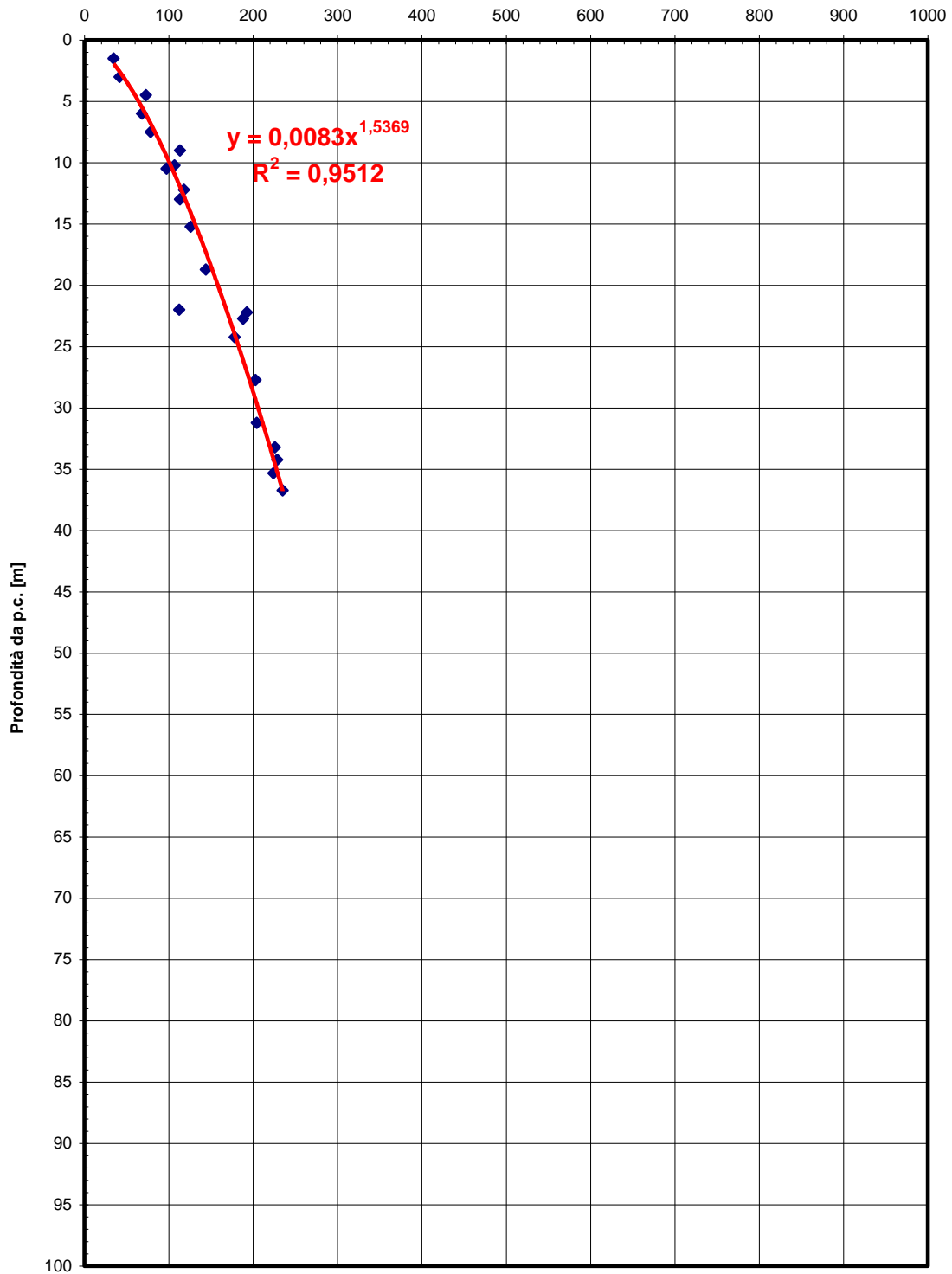






Go spt

(MPa)



| | | | | |
|---|---|---|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELLE OPERE | | <i>Codice documento</i> ST0050_F0.doc | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20/06/2011 |

Metamorfiti

In mancanza di prove specifiche, per la determinazione delle caratteristiche iniziali si rimanda alle informazioni di carattere geologico.

In mancanza di prove di laboratorio per il peso di volume γ assume un range di valori pari a 21-23 KN/m³.

Il modello utilizzato per la determinazione dei parametri di resistenza è un continuo equivalente.

L'interpretazione delle caratteristiche dell'ammasso parte dalla stima del parametro RMR_{89} che è stato valutato sulla base di due rilievi effettuati in corrispondenza delle gallerie Le Fosse e Santa Cecilia.

Il parametro RMR_{89} è risultato pari a 50. Il parametro GSI è quindi pari a 45.

Gli involuppi di rottura dell'ammasso roccioso sono stati determinati tenendo conto:

- del valore GSI di cui in precedenza;
- dei valori della resistenza alla compressione semplice σ_c stimata (25MPa) e del parametro m_i della roccia intatta pari a 33.

I risultati che si otterrebbero, per $GSI = 40$ sono riportati nella tabella, sia per le condizioni di resistenza di picco ("undisturbed rock mass") che per le condizioni di resistenza residua ("disturbed rock mass").

| | | Picco | | Residuo | |
|----------------------|-----------------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| copertura (m) | σ_n(Mpa) | c' (MPa) | ϕ' (°) | c' (MPa) | ϕ' (°) |
| 10.00 | 0.22 | 0.16 | 61 | 0.11 | 51 |
| 20.00 | 0.44 | 0.26 | 56 | 0.19 | 44 |
| 30.00 | 0.66 | 0.34 | 52 | 0.25 | 41 |
| 40.00 | 0.88 | 0.43 | 50 | 0.31 | 38 |
| 50.00 | 1.10 | 0.50 | 48 | 0.37 | 36 |

| | | | | | |
|---|---|---|--|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | | |
| RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELLE OPERE | | <i>Codice documento</i> ST0050_F0.doc | | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20/06/2011 |

| | | | | | |
|---------------|-------------|-------------|-----------|-------------|-----------|
| 60.00 | 1.32 | 0.58 | 46 | 0.43 | 34 |
| 70.00 | 1.54 | 0.65 | 45 | 0.48 | 33 |
| 80.00 | 1.76 | 0.72 | 44 | 0.53 | 31 |
| 90.00 | 1.98 | 0.78 | 43 | 0.58 | 30 |
| 100.00 | 2.20 | 0.85 | 42 | 0.63 | 29 |

In contesti non caratterizzati da rotture pregresse o in atto e per analisi convenzionali in cui non venga simulato il decadimento della resistenza si potranno considerare come valori operativi quelli rappresentati dai valori medi tra quelli “undisturbed” e “disturbed” oppure cautelativamente prossimi a quelli “disturbed”.

In contesti caratterizzati da rotture pregresse o in atto e per analisi convenzionali potranno considerarsi come valori operativi quelli rappresentati dai valori “disturbed”.

Per le zone tettonizzate si assume GSI=20 (classe IV-V RMR) e quindi si ottiene:

| | | Picco | | Residuo | |
|----------------------|-----------------------------------|-----------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|
| copertura (m) | σ_n(Mpa) | c' (MPa) | ϕ' (°) | c' (MPa) | ϕ' (°) |
| 10.00 | 0.22 | 0.11 | 52 | 0.07 | 34 |
| 20.00 | 0.44 | 0.19 | 46 | 0.12 | 28 |
| 30.00 | 0.66 | 0.25 | 42 | 0.16 | 24 |
| 40.00 | 0.88 | 0.32 | 39 | 0.20 | 22 |
| 50.00 | 1.10 | 0.38 | 37 | 0.24 | 20 |

| | | | | |
|---|---|---|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELLE OPERE | | <i>Codice documento</i> ST0050_F0.doc | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20/06/2011 |

| | | | | | |
|--------------|-------------|-------------|-----------|-------------|-----------|
| 60.00 | 1.32 | 0.43 | 35 | 0.27 | 18 |
| 70.00 | 1.54 | 0.49 | 34 | 0.30 | 17 |

Per le caratteristiche di deformabilità, considerando la relazione di [Serafim & Pereira, 1983](#) si ottiene:

$E' = 400 \div 650$ Mpa rispettivamente per $D=1$ e $D=0.5$ in ammassi di classe IV-V RMR (faglie)

$E' = 1800 \div 2800$ Mpa rispettivamente per $D=1$ e $D=0.5$ in ammassi di classe III-IV RMR

Dalle due prove dilatometriche in S461 (a 28 e 33m di profondità) si ottiene un modulo E' (valore di carico-scarico) pari a 225-250 MPa, in disaccordo con quanto calcolato precedentemente.

C'è da dire che si tratta della zona più superficiale e presumibilmente alterata dell'ammasso ed i valori sono comunque puntuali, non del tutto rappresentativi della deformabilità a grande scala.

4.2.4 Parametri principali assunti

Dai profili stratigrafici generale della tratta principale si evince che, per le ridotte profondità delle fondazioni dirette utilizzate, la sola litologia interessata risulta essere quella dei depositi alluvionali.

Parametri principali assunti – DEPOSITI ALLUVIONALI

| | |
|---|---|
| Peso di volume | $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ |
| Peso di volume saturo | $\gamma_s = 20 \text{ KN/m}^3$ |
| Angolo di attrito interno | $\phi' = 38^\circ$ |
| Angolo di attrito terreno – fondazione | $\delta = 25,33$ pari ai $2/3$ di ϕ' |
| Modulo deformazione elastico ($z=3$ m) | $E' = 45 \text{ MPa}$ |

| | | | | |
|---|---|---|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELLE OPERE | | <i>Codice documento</i> ST0050_F0.doc | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20/06/2011 |

4.3 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 TR 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 TECNICO-DESCRITTIVA DELLE OPERE | | <i>Codice documento</i> ST0050_F0.doc | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20/06/2011 |

4.4.1 Verifiche di resistenza

Le verifiche delle sezioni più sollecitate sono state condotte seguendo le prescrizioni del D.M.14/01/08 e seguendo le indicazioni della norma UNI EN 1992-2005.

Più specificatamente la verifica di resistenza delle sezioni nei vari elementi strutturali, viene condotta tenendo conto della verifica agli stati limite ultimi, e delle verifiche nei riguardi della fessurazione e delle tensioni di esercizio.

4.4.1.1 Verifiche di resistenza agli stati limite ultimi

Si è verificato che il valore di progetto degli effetti delle azioni, ovvero delle sollecitazioni flettenti M_d sia minore dei corrispondenti momenti resistenti M_r delle sezioni di progetto.

La verifica di resistenza delle sezioni nei vari elementi strutturali, viene condotta tenendo conto delle condizioni più gravose che si individuano dall'involuppo delle sollecitazioni agenti nelle diverse combinazioni di carico.

Le combinazioni e i coefficienti moltiplicativi delle singole azioni vengono definiti in base a quanto indicato nel D.M. 14 gennaio 2008.

Per quanto riguarda le verifiche a taglio ultimo, si è fatto riferimento al paragrafo 4.1.2.1.3 "Resistenza nei confronti di sollecitazioni taglianti" del D.M. 14 gennaio 2008.

4.4.2 Verifiche agli stati limite di esercizio

4.4.2.1 Definizione degli stati limite di fessurazione

In ordine di severità crescente si distinguono i seguenti stati limite:

- a) stato limite di decompressione nel quale, per la combinazione di azioni prescelta, la tensione normale è ovunque di compressione ed al più uguale a 0 ;
- b) stato limite di formazione delle fessure, nel quale, per la combinazione di azioni prescelta, la tensione normale di trazione nella fibra più sollecitata è:

$$\sigma_t = \frac{f_{ctm}}{1,2}$$

- c) stato limite di apertura delle fessure nel quale, per la combinazione di azioni prescelta, il valore limite di apertura della fessura calcolato al livello considerato è pari ad uno dei seguenti valori nominali:

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|------------|-------------|----|------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | | | | |
| RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELLE OPERE | | <i>Codice documento</i> ST0050_F0.doc | <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </table> | <i>Rev</i> | <i>Data</i> | F0 | 20/06/2011 |
| <i>Rev</i> | <i>Data</i> | | | | | | |
| F0 | 20/06/2011 | | | | | | |

$w_1 = 0,1 \text{ mm}$

$w_2 = 0,2 \text{ mm}$

$w_3 = 0,3 \text{ mm}$

Lo stato limite di fessurazione deve essere fissato in funzione delle condizioni ambientali e della sensibilità delle armature alla corrosione.

4.4.2.2 Condizioni ambientali

Le condizioni ambientali, ai fini della protezione contro la corrosione delle armature metalliche, possono essere suddivise in ordinarie, aggressive e molto aggressive in relazione a quanto indicato nella tabella seguente:

| CONDIZIONI AMBIENTALI | CLASSE DI ESPOSIZIONE |
|-----------------------|-----------------------------------|
| Ordinarie | X0, XC1, XC2, XC3, XF1 |
| Aggressive | XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3 |
| Molto aggressive | XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4 |

Nel caso in esame si considera l'opera sottoposta a condizioni ordinarie.

4.4.2.3 Sensibilità delle armature alla corrosione

Le armature si distinguono in due gruppi:

- armature sensibili;
- armature poco sensibili.

Appartengono al primo gruppo gli acciai da precompresso. Appartengono al secondo gruppo gli acciai ordinari. Per gli acciai zincati e per quelli inossidabili si può tener conto della loro minor sensibilità alla corrosione.

4.4.2.4 Scelta degli stati limite di fessurazione

Nella tabella sottostante sono indicati i criteri di scelta dello stato limite di fessurazione con riferimento alle esigenze sopra riportate.

| | | | | |
|---|---|---|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELLE OPERE | | <i>Codice documento</i> ST0050_F0.doc | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20/06/2011 |

| Gruppi di esigenze | Condizioni ambientali | Combinazione di azioni | Armatura | | | |
|--------------------|-----------------------|------------------------|--------------------|------------------|----------------|------------------|
| | | | Sensibile | | Poco sensibile | |
| | | | Stato limite | w _d | Stato limite | w _d |
| a | Ordinarie | frequente | ap. fessure | ≤ w ₂ | ap. fessure | ≤ w ₃ |
| | | quasi permanente | ap. fessure | ≤ w ₁ | ap. fessure | ≤ w ₂ |
| b | Aggressive | frequente | ap. fessure | ≤ w ₁ | ap. fessure | ≤ w ₂ |
| | | quasi permanente | decompressione | - | ap. fessure | ≤ w ₁ |
| c | Molto aggressive | frequente | formazione fessure | - | ap. fessure | ≤ w ₁ |
| | | quasi permanente | decompressione | - | ap. fessure | ≤ w ₁ |

4.4.2.5 Verifiche allo stato limite di fessurazione

Stato limite di decompressione e di formazione delle fessure

Le tensioni sono calcolate in base alle caratteristiche geometriche e meccaniche della sezione omogeneizzata non fessurata.

Stato limite di apertura delle fessure

Il valore caratteristico di calcolo di apertura delle fessure (w_d) non deve superare i valori nominali w_1 , w_2 , w_3 secondo quanto riportato nella Tabella sopra riportata.

Il valore caratteristico di calcolo è dato da:

$$w_d = 1,7 \cdot w_m$$

dove w_m rappresenta l'ampiezza media delle fessure.

L'ampiezza media delle fessure w_m è calcolata come prodotto della deformazione media delle barre d'armatura ε_{sm} per la distanza media tra le fessure Δ_{sm} :

$$w_m = \varepsilon_{sm} \cdot \Delta_{sm}$$



Per il calcolo di ε_{sm} e Δ_{sm} vanno utilizzati criteri consolidati riportati nella letteratura tecnica. ε_{sm} può essere calcolato tenendo conto dell'effetto del "tension stiffening" nel rispetto della limitazione:

$$\varepsilon_{sm} \geq 0,6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$$

con σ_s tensione nell'acciaio dell'armatura tesa (per sezione fessurata) nelle condizioni di carico considerate ed E_s è il modulo elastico dell'acciaio.

4.4.2.6 Verifiche delle tensioni in esercizio

Valutate le azioni interne nelle varie parti della struttura, dovute alle combinazioni caratteristica e quasi permanente delle azioni, si calcolano le massime tensioni sia nel calcestruzzo sia nelle

| | | | | |
|---|---|---|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELLE OPERE | | <i>Codice documento</i> ST0050_F0.doc | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20/06/2011 |

armature; si deve verificare che tali tensioni siano inferiori ai massimi valori consentiti di seguito riportati.

Tensione massima di compressione del calcestruzzo nelle condizioni di esercizio

La massima tensione di compressione del calcestruzzo σ_c , deve rispettare la limitazione seguente:

$\sigma_c < 0.6 \cdot f_{ck}$ per la combinazione caratteristica (rara);

$\sigma_c < 0.45 \cdot f_{ck}$ per la combinazione caratteristica quasi permanente.

Nel caso di elementi piani (solette, pareti, ...) gettati in opera con calcestruzzi ordinari e con spessori di calcestruzzo minori di 50 mm i valori limite sopra scritti vanno ridotti del 20%.

| | | | | |
|---|---|---|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELLE OPERE | | <i>Codice documento</i> ST0050_F0.doc | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20/06/2011 |

Tensione massima dell'acciaio in condizioni di esercizio

Per l'acciaio la tensione massima, σ_s , per effetto delle azioni dovute alla combinazione caratteristica deve rispettare la limitazione seguente:

$$\sigma_s < 0.8 \cdot f_{yk}$$

4.4.3 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 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.

4.4.3.1 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, secondo quanto prescritto al paragrafo 2.4 delle "Nuove Norme tecniche per le costruzioni – D.M. 14 gennaio 2008", la vita nominale si assume pertanto pari a **$V_N = 50$ anni**.

| | | | | |
|---|---|---|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELLE OPERE | | <i>Codice documento</i> ST0050_F0.doc | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20/06/2011 |

4.4.3.2 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 importante, 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 $c_u = 1,0$ anni.

4.4.3.3 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.

$$V_R = V_N \times C_U = 50 \text{ anni} \times 1 = 50 \text{ anni}$$

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

| | | | | |
|---|---|---|------------------|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELLE OPERE | | <i>Codice documento</i> ST0050_F0.doc | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 20/06/2011 |

5 ELABORATI DI RIFERIMENTO

Nell'eseguire le verifiche relative all'opera di cui alla presente relazione si fa riferimento ai seguenti elaborati:

| | | | | | | | | | | | | |
|--------|---|----|---|---|----|----|----|----|----|----|----|---|
| CG0700 | P | RG | D | S | CS | 3S | G0 | 00 | 00 | 00 | 02 | B |
| CG0700 | P | SH | D | S | CS | 3S | G0 | 00 | 00 | 00 | 01 | B |
| CG0700 | P | CL | D | S | CS | 3S | G0 | 00 | 00 | 00 | 01 | B |
| CG0700 | P | P8 | D | S | CS | 3S | G0 | 00 | 00 | 00 | 03 | B |
| CG0700 | P | PA | D | S | CS | 3S | G0 | 00 | 00 | 00 | 15 | B |
| CG0700 | P | SZ | D | S | CS | 3S | G0 | 00 | 00 | 00 | 04 | B |