

LAVORI DI COLLEGAMENTO TRA LA S.S.11 A MAGENTA E LA TANGENZIALE OVEST DI MILANO

VARIANTE DI ABBIATEGRASSO E ADEGUAMENTO IN SEDE DEL TRATTO ABBIATEGRASSO-VIGEVANO FINO AL PONTE SUL FIUME TICINO

1° STRALCIO DA MAGENTA A VIGEVANO - TRATTA C

PROGETTO ESECUTIVO

| | | | | |
|--|---|---|--|--|
|  |  <p>Ing. Valerio Bajetti Ordine degli Ingg. di Roma e provincia n° A-26211</p> | <p>ING. RENATO DEL PRETE</p> <p>Ing. Renato Del Prete Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 5073</p> |  <p>Arch. Nicoletta Frattini Ordine degli Arch. di Torino e provincia n° A-8433</p> |  <p>Ing. Gabriele Inecchi Ordine degli Ingg. di Roma e provincia n° A-12102</p> |
| | <p>Ing. Renato Vaira (Ordine degli Ingg. di Torino e Provincia n° 4663 W)</p> |  <p>Società designata: GA&M</p> <p>Prof. Ing. Matteo Ranieri Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 1137</p> |  <p>Prof. Ing. Luigi Monterisi Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 1771</p> |  <p>Ing. Gioacchino Angarano Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 5970</p> |

VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO



Dott. Ing. Giuseppe Danilo MALGERI

INTEGRATORE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE



Ing. Valerio BAJETTI

GEOLOGO



Prof. Ing. Geol. Luigi MONTERISI

IL COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE



Ing. Gianluca CICIRIELLO

HG05

H - PROGETTO STRUTTURALE - OPERE PRINCIPALI

HG - CV17 - CAVALCAVIA SP. N. 183

RELAZIONE DI CALCOLO GEOTECNICA - PALI DI FONDAZIONE SPALLE

CODICE PROGETTO

PROGETTO

LIV. PROG.

N. PROG.

LO203

E

1801

NOME FILE

HG05_P03CV17STRRE04_B.PDF

REVISIONE

SCALA:

CODICE

ELAB.

P03CV17STRRE04

B

-

| | | | | | |
|------|---|----------------|------------------------|----------------------|----------------------|
| C | | | | | |
| B | EMISSIONE A SEGUITO DI RAPPORTO INTERMEDIO DI VERIFICA ITCF-C186001-01-ATF-RA-00001 | MARZO 2019 | ING. STEFANIA RUGGIERI | ING. GAETANO RANIERI | ING. VALERIO BAJETTI |
| A | EMISSIONE | SETTEMBRE 2018 | ING. STEFANIA RUGGIERI | ING. GAETANO RANIERI | ING. VALERIO BAJETTI |
| REV. | DESCRIZIONE | DATA | REDATTO | VERIFICATO | APPROVATO |

Sommario

| | |
|---|------------|
| 1. PREMESSA | 2 |
| 2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO | 5 |
| 3. MATERIALI | 6 |
| 3.1 CALCESTRUZZO | 6 |
| 3.2 ACCIAIO | 13 |
| 4. PARAMETRI GEOTECNICI | 14 |
| 4.1 SCAVI E RIEMPIMENTI | 17 |
| 5. AZIONE SISMICA | 18 |
| 6. SPALLA | 23 |
| 7. PALI | 24 |
| 7.1 AZIONI AGENTI SUI PALI DI FONDAZIONE | 24 |
| 7.1.1 GEOMETRIA DELLA PALIFICATA | 24 |
| 7.1.2 COMBINAZIONI SLU | 26 |
| 7.1.3 COMBINAZIONE SISMICA | 28 |
| 7.1.4 COMBINAZIONI SLE | 29 |
| 7.2 CRITERI DI VERIFICA | 34 |
| 7.3 CALCOLO DELLA CAPACITÀ PORTANTE LIMITE | 37 |
| 7.4 CALCOLO DEL CARICO LIMITE ORIZZONTALE | 41 |
| 7.5 CEDIMENTI | 47 |
| 7.6 SOLLECITAZIONI LUNGO IL PALO | 48 |
| 7.7 VERIFICA ARMATURA PALO | 55 |
| 7.7.1 VERIFICA IN TESTA AI PALI | 55 |
| 7.7.2 VERIFICA PER LA RIDUZIONE DI ARMATURA – TRATTO 1 | 59 |
| 7.7.3 VERIFICA PER LA RIDUZIONE DI ARMATURA – TRATTO 2 | 63 |
| 8. ALLEGATO: TABULATI MODELLO GROUP | 67 |
| 9. ANALISI E VALIDITA' VERIFICHE SVOLTE | 78 |
| 9.1 ALLEGATO 1 VALIDAZIONE RC-SEC | 79 |
| 9.2 PROGRAMMA GROUP | 102 |
| 9.2.1 INTRODUZIONE | 102 |
| 9.2.2 VALIDAZIONE DATI OUTPUT | 102 |
| 9.2.3 LETTERATURA E APPLICAZIONI | 103 |
| 10. SOTTOSCRIZIONE DELL'ELABORATO DA PARTE DEL R.T.P | 104 |

1. PREMESSA

Si considera un'opera di scavalco da realizzarsi nell'ambito dei lavori per il collegamento tra la S.S.11 a Magenta e la Tangenziale Ovest di Milano, tratto Albairate – Ozero. Il ponte copre una luce di calcolo uguale a 24.2m

La sede stradale della carreggiata ha una larghezza compresa tra 8.53 e 8.80 m; su entrambi i cigli sono presenti marciapiedi di servizio, realizzati con un ringrosso della soletta, della larghezza di 1.25 m; a questi marciapiedi sono ancorati, a mezzo di tirafondi, le barriere metalliche bordo ponte in acciaio e le reti metalliche di protezione.

L'impalcato è realizzato con 4 travi prefabbricate a cassone tipo V120, poste ad interasse 2.50 m. Le travi, calcolate in semplice appoggio, sono caratterizzate da un'altezza di 1.20 m e una luce di calcolo 24.20 m, vengono solidarizzate in opera con una soletta collaborante dello spessore di 0.25 m, traversi in testata e due in campata dello spessore di 0.40 m.

Il peso della soletta e dei sovraccarichi permanenti si suddivide tra le varie travi proporzionalmente alle rispettive larghezze di soletta collaborante.

I carichi accidentali sono quelli previsti dal regolamento per ponti stradali D.M. 17 gennaio 2018; essi si ripartiscono fra le travi mediante il metodo di Massonnet-Guyon, i cui parametri flessionale e torsionale sono calcolati facendo riferimento alle caratteristiche statico-geometriche della sezione di solo calcestruzzo di una trave interna, con la rispettiva soletta collaborante.

Le verifiche di stabilità si svolgono sulla trave che risulta complessivamente più sollecitata; le armature così determinate vengono estese a tutte le travi dell'impalcato.

Si tiene conto della diversa classe di calcestruzzo fra trave e soletta, tramite un coefficiente d'omogeneizzazione pari al rapporto tra i rispettivi moduli elastici convenzionali di regolamento.

Le cadute di tensione nell'armatura di precompressione si scontano in parte sulla trave isolata e in parte sulla sezione composta, nelle proporzioni indicate in seguito in sede di verifica tensionale.

Alla sezione d'appoggio, in mancanza di sufficiente lunghezza d'ancoraggio dei trefoli, la verifica a taglio viene condotta in regime di c.a. ordinario.

Si assumono positivi i momenti che tendono le fibre inferiori delle travi e della soletta e le forze di compressione; per quanto riguarda le tensioni sono positive le compressioni.

Le ascisse che individuano le varie sezioni verificate hanno origine nell'asse appoggi.

L'impalcato è sostenuto alle estremità da 2 spalle, costituite da elementi monolitici in c.a.. Le spalle sono costituite da una elevazione principale dello spessore 1.20 m e da una zattera di fondazione rettangolare delle dimensioni spessore di 1.50m.

Le strutture di fondazione del ponte saranno del tipo profondo realizzate mediante pali trivellati di grosso diametro, collegati alla zattera di fondazione.

Si consultino per maggior chiarezza gli elaborati grafici di progetto: planimetria e profilo longitudinale dell'opera.

Le azioni considerate nel calcolo sono quelle tipiche delle strutture da ponte stradale soggetto alle azioni da traffico come previsto dalle "Nuove Norme tecniche per le costruzioni – D.M. 17 gennaio 2018".

Nella presente relazione si riporta il calcolo di verifica dei pali di fondazione. Per la verifica della spalla si rimanda alla relazione specifica.

Dal punto di vista sismico l'opera ricade nel comune di Abbiategrasso (MI).

Il sistema strutturale scelto è quello delle travi continue in sezione in c.a.p., con traversi di collegamento in testata e in campata. Le travi sono appoggiate su spalle mediante dispositivi di vincolo tradizionali.

La costruzione del cavalcavia avverrà in linea di massima seguendo le fasi costruttive descritte nel seguito. Saranno in primo luogo fabbricate le sottostrutture a sostegno dell'impalcato. Le spalle

laterali a sostegno dell'impalcato sono gettate in opera, con paraghiaia spesso 30 cm e di altezza variabile a causa dell'inclinazione trasversale del profilo stradale. Le spalle sono completate dai muri andatori e dal plinto di fondazione, sostenuto da un gruppo di pali ϕ 1000. I pali sono situati ad interasse di 3.0 m. Si disporranno quindi gli apparecchi di appoggio in acciaio-teflon, per mezzo dei quali le travi sono appoggiate alle sottostrutture. La posizione degli appoggi consente di ottenere la pendenza trasversale della soletta. Le travi prefabbricate saranno disposte in sede con l'ausilio di gru; quindi sar  gettata una soletta di cemento armato ordinario, di spessore 25 cm, realizzata mediante getto su predalles tralicciate che fungono da cassero perso.

La costruzione   ultimata disponendo le opere di finitura stradali, tra cui la pavimentazione di spessore 10 cm, l'eventuale ricarica e le barriere di protezione e i cordoli.

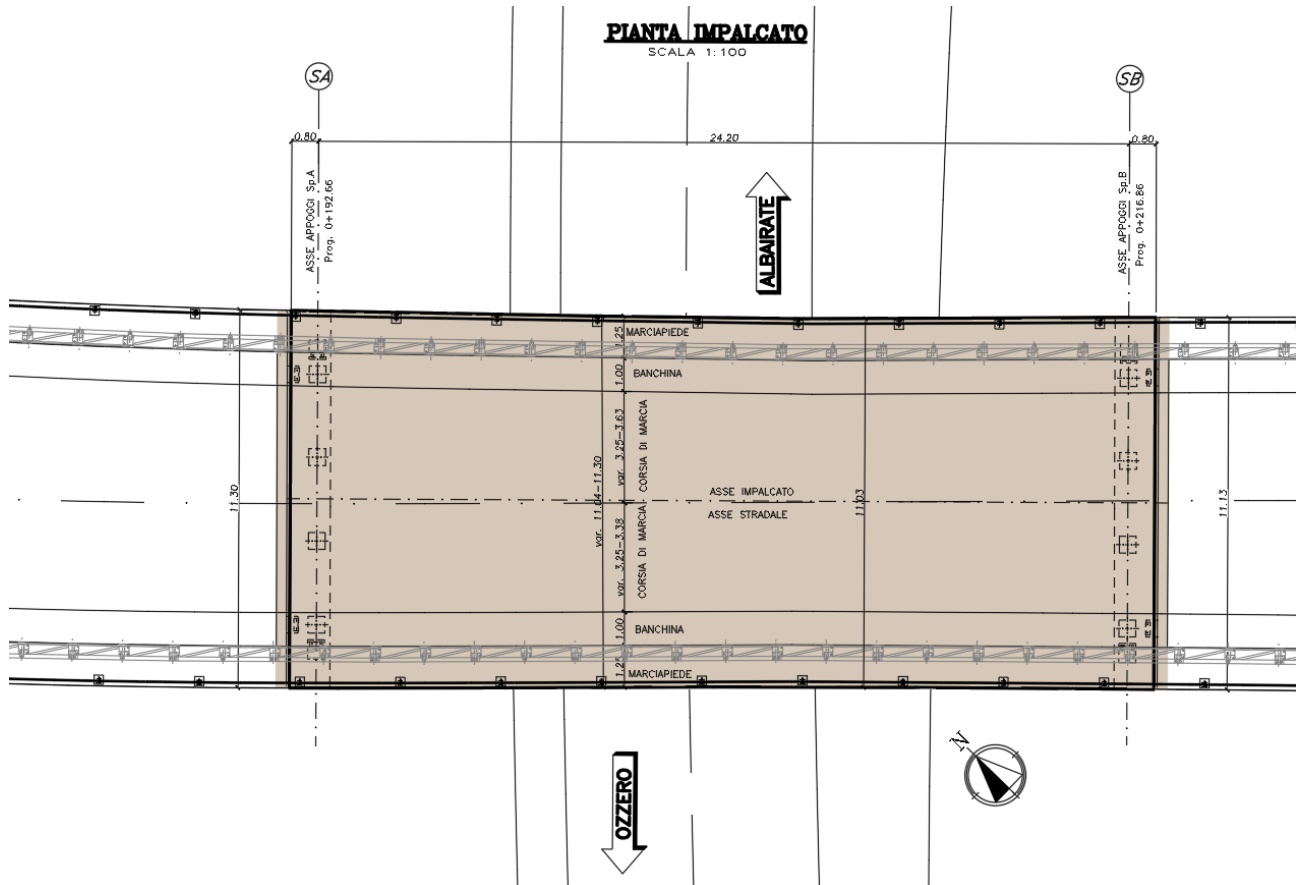


Figura 1: Pianta impalcato

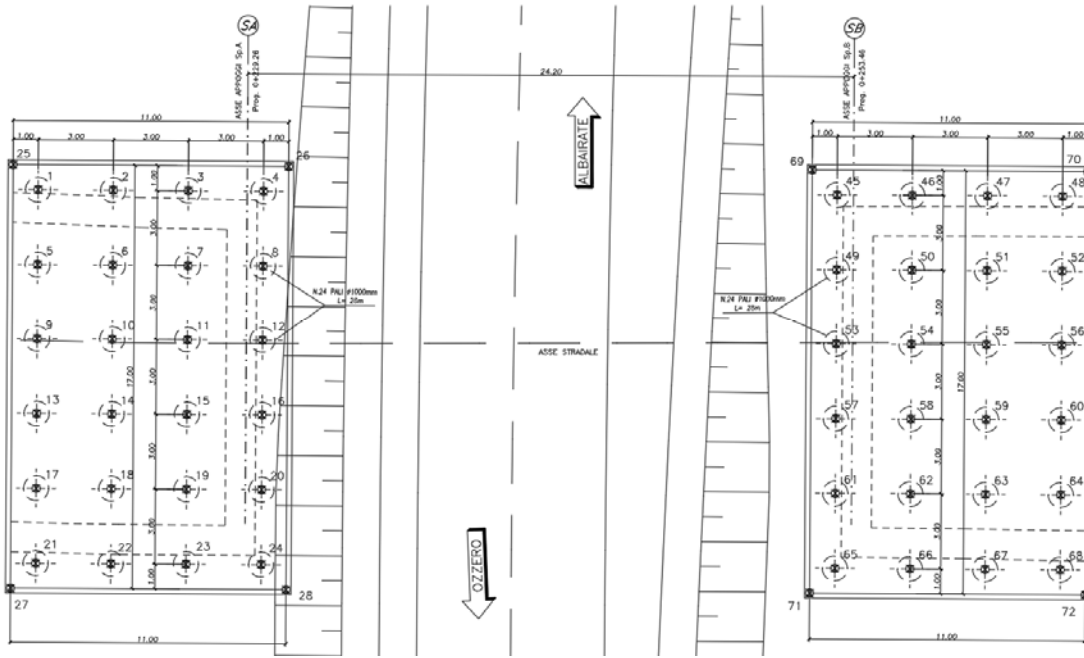


Figura 2: Pianta fondazioni

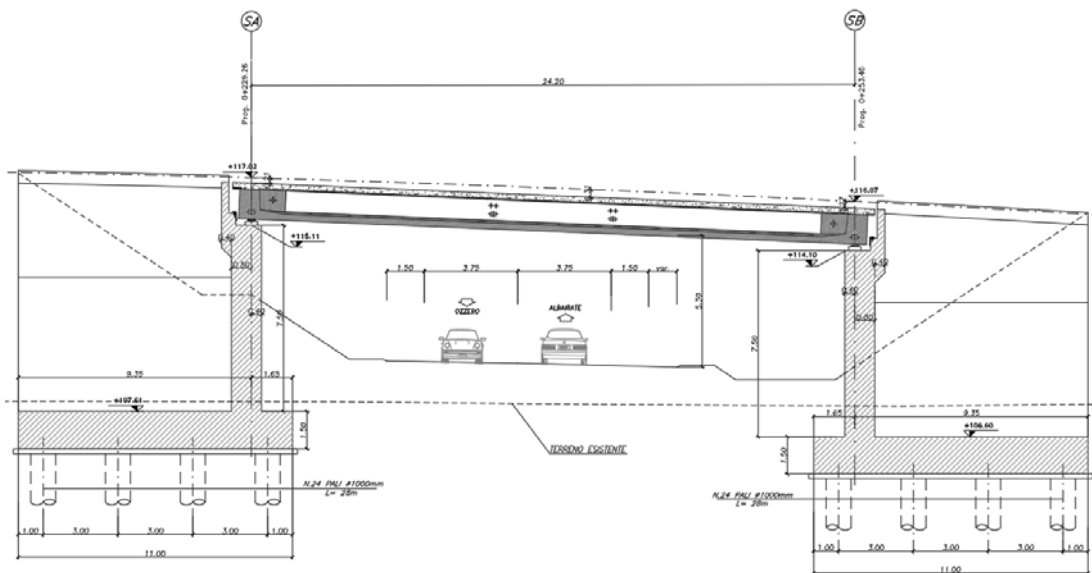


Figura 3: Profilo longitudinale

SEZIONE TRASVERSALE IMPALCATO

SCALA 1: 50

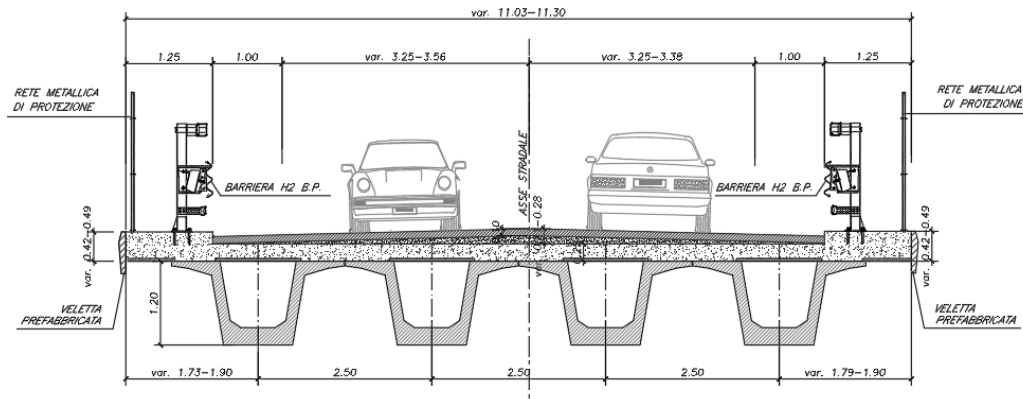


Figura 4: Sezione trasversale

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le verifiche sono state eseguite secondo i metodi classici della scienza delle costruzioni e nel rispetto della seguente normativa:

- Legge 5/11/1971 n° 1086: “Norme per le discipline delle opere di conglomerato cementizio armato normale e precompresso ed a struttura metallica”.
- D.M. 17/01/2018: “Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni”.
- UNI EN 206:2016: “Calcestruzzo – Specificazione, prestazione, produzione e conformità”.
- UNI ENV 197 Parte 1a: “Cemento. Composizione, specificazioni e criteri di conformità”.
- Linee guida sul calcestruzzo strutturale - Presidenza del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici - Servizio Tecnico Centrale.
- UNI EN 197-1 giugno 2011: “Cemento: composizione, specificazioni e criteri di conformità per cementi comuni”.
- UNI EN 11104:2016: “Calcestruzzo: specificazione, prestazione, produzione e conformità”, Istruzioni complementari per l’applicazione delle EN 206-1”.

Ulteriori riferimenti normativi

- UNI EN 1990 (Eurocodice 0) – Aprile 2006: “Criteri generali di progettazione strutturale”;
- UNI EN 1991-1-1 (Eurocodice 1) – Agosto 2004 – Azioni in generale- Parte 1-1: “Pesi per unità di volume, pesi propri e sovraccarichi per gli edifici”;
- UNI EN 1991-2 (Eurocodice 1) – Marzo 2005 – Azioni sulle strutture- Parte 2: “Carico da traffico sui ponti”;
- UNI EN 1992-1-1 (Eurocodice 2) – Novembre 2005: “Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 1-1: “Regole generali e regole per gli edifici”;
- UNI EN 1993-1-1 (Eurocodice 3) – Ottobre 1993: “Progettazione delle strutture in acciaio – Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici”;
- UNI EN 1998-1 (Eurocodice 8) – Marzo 2005: “Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 1: Regole generali – Azioni sismiche e regole per gli edifici”;
- UNI EN 1998-2 (Eurocodice 8) – Febbraio 2006: “Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 2: Ponti”.

3. MATERIALI

Il progetto sarà realizzato utilizzando i seguenti materiali:

3.1 CALCESTRUZZO

Magroni:

| Classe di resistenza: | C12/15 | | |
|---|------------|--------|--------------------|
| Resistenza a compressione cubica caratteristica | $R_{ck} =$ | 15 | N/mm ² |
| Resistenza a compressione cilindrica caratteristica | $f_{ck} =$ | 12.45 | N/mm ² |
| Classe di esposizione | | X0 | |
| Classe di consistenza slump: | | S3 | |
| Contenuto minimo di cemento: | | 150 | daN/m ³ |
| Rapporto A/C | | ≤ 0.60 | |

Pali di fondazione

| Classe di resistenza: | C25/30 | | |
|---|-------------------|-------|--------------------|
| Resistenza a compressione cubica caratteristica | $R_{ck} =$ | 30 | N/mm ² |
| Resistenza a compressione cilindrica caratteristica | $f_{ck} =$ | 24,9 | N/mm ² |
| Resistenza a compressione cilindrica media | $f_{cm} =$ | 32,9 | N/mm ² |
| Resistenza a trazione semplice | $f_{ctm} =$ | 2,56 | N/mm ² |
| Resistenza a trazione per flessione | $f_{ctm} =$ | 3,07 | N/mm ² |
| Modulo elastico secante medio | $E_{cm} =$ | 31447 | N/mm ² |
| Resistenza caratteristica a trazione semplice (5%) | $f_{ctk} =$ | 1,79 | N/mm ² |
| Resistenza caratteristica a trazione semplice (95%) | $f_{ctk} =$ | 3,33 | N/mm ² |
| Coefficiente di sicurezza SLU: | $\gamma_c =$ | 1,5 | |
| Resistenza di calcolo a compressione cilindrica SLU: | $f_{cd} =$ | 14,1 | N/mm ² |
| Resistenza di calcolo a trazione semplice (5%) - SLU: | $f_{ctd} =$ | 1,19 | N/mm ² |
| Coefficiente di sicurezza SLE: | $\gamma_c =$ | 1,0 | |
| Resistenza di calcolo a compressione cilindrica SLE: | $f_{cd} =$ | 24,9 | N/mm ² |
| Resistenza di calcolo a trazione semplice (5%) - SLE: | $f_{ctd} =$ | 1,79 | N/mm ² |
| Massime tensioni di compressione in esercizio: | | | |
| Combinazione rara | $\sigma_{c,ad} =$ | 14,94 | N/mm ² |
| Combinazione quasi permanente | $\sigma_{c,ad} =$ | 11,21 | N/mm ² |
| Classe di esposizione | | XC2 | |
| Classe di consistenza slump: | | S4 | |
| Contenuto minimo di cemento: | | 300 | daN/m ³ |
| Massima dimensione aggregato | | 32 | mm |
| Copriferro | | 60 | mm |
| Rapporto A/C | | 0,6 | |

Plinti di fondazione spalle e muri

| Classe di resistenza: | C28/35 | | |
|---|-------------------|-------|-----------|
| Resistenza a compressione cubica caratteristica | $R_{ck} =$ | 35 | N/mm^2 |
| Resistenza a compressione cilindrica caratteristica | $f_{ck} =$ | 29,05 | N/mm^2 |
| Resistenza a compressione cilindrica media | $f_{cm} =$ | 37,05 | N/mm^2 |
| Resistenza a trazione semplice | $f_{ctm} =$ | 2,83 | N/mm^2 |
| Resistenza a trazione per flessione | $f_{ctm} =$ | 3,40 | N/mm^2 |
| Modulo elastico secante medio | $E_{cm} =$ | 32588 | N/mm^2 |
| Resistenza caratteristica a trazione semplice (5%) | $f_{ctk} =$ | 1,98 | N/mm^2 |
| Resistenza caratteristica a trazione semplice (95%) | $f_{ctk} =$ | 3,69 | N/mm^2 |
| <i>Coefficiente di sicurezza SLU:</i> | $\gamma_c =$ | 1,5 | |
| Resistenza di calcolo a compressione cilindrica SLU: | $f_{cd} =$ | 16,5 | N/mm^2 |
| Resistenza di calcolo a trazione semplice (5%) - SLU: | $f_{ctd} =$ | 1,32 | N/mm^2 |
| <i>Coefficiente di sicurezza SLE:</i> | $\gamma_c =$ | 1,0 | |
| Resistenza di calcolo a compressione cilindrica SLE: | $f_{cd} =$ | 29,1 | N/mm^2 |
| Resistenza di calcolo a trazione semplice (5%) - SLE: | $f_{ctd} =$ | 1,98 | N/mm^2 |
| Massime tensioni di compressione in esercizio: | | | |
| Combinazione rara | $\sigma_{c,ad} =$ | 17,43 | N/mm^2 |
| Combinazione quasi permanente | $\sigma_{c,ad} =$ | 13,07 | N/mm^2 |
| Classe di esposizione | | XC2 | |
| Classe di consistenza slump: | | S4 | |
| Contenuto minimo di cemento: | | 320 | daN/m^3 |
| Massima dimensione aggregato | | 32 | mm |
| Copriferro | | 40 | mm |
| Rapporto A/C | | 0,55 | |

Predalles:

| Classe di resistenza: | C40/50 | | |
|---|-------------------|-------|----------|
| Resistenza a compressione cubica caratteristica | $R_{ck} =$ | 50 | N/mm^2 |
| Resistenza a compressione cilindrica caratteristica | $f_{ck} =$ | 41,5 | N/mm^2 |
| Resistenza a compressione cilindrica media | $f_{cm} =$ | 49,5 | N/mm^2 |
| Resistenza a trazione semplice | $f_{ctm} =$ | 3,60 | N/mm^2 |
| Resistenza a trazione per flessione | $f_{ctm} =$ | 4,32 | N/mm^2 |
| Modulo elastico secante medio | $E_{cm} =$ | 35547 | N/mm^2 |
| Resistenza caratteristica a trazione semplice (5%) | $f_{ctk} =$ | 2,52 | N/mm^2 |
| Resistenza caratteristica a trazione semplice (95%) | $f_{ctk} =$ | 4,67 | N/mm^2 |
| <i>Coefficiente di sicurezza SLU:</i> | $\gamma_c =$ | 1,5 | |
| Resistenza di calcolo a compressione cilindrica SLU: | $f_{cd} =$ | 23,5 | N/mm^2 |
| Resistenza di calcolo a trazione semplice (5%) - SLU: | $f_{ctd} =$ | 1,68 | N/mm^2 |
| <i>Coefficiente di sicurezza SLE:</i> | $\gamma_c =$ | 1,0 | |
| Resistenza di calcolo a compressione cilindrica SLE: | $f_{cd} =$ | 41,5 | N/mm^2 |
| Resistenza di calcolo a trazione semplice (5%) - SLE: | $f_{ctd} =$ | 2,52 | N/mm^2 |
| Massime tensioni di compressione in esercizio: | | | |
| Combinazione rara | $\sigma_{c,ad} =$ | 24,90 | N/mm^2 |
| Combinazione quasi permanente | $\sigma_{c,ad} =$ | 18,68 | N/mm^2 |
| Classe di esposizione | XC4+XD1 | | |
| Classe di consistenza slump: | S4 | | |
| Contenuto minimo di cemento: | 340 | | |
| Massima dimensione aggregato | 16 | | |
| Copriferro | 40 | | |
| Rapporto A/C | 0,5 | | |

Elevazioni spalle, muri, paragliaia

| Classe di resistenza: | C32/40 | | |
|---|-------------------|---------|--------------------|
| Resistenza a compressione cubica caratteristica | $R_{ck} =$ | 40 | N/mm ² |
| Resistenza a compressione cilindrica caratteristica | $f_{ck} =$ | 33,2 | N/mm ² |
| Resistenza a compressione cilindrica media | $f_{cm} =$ | 41,2 | N/mm ² |
| Resistenza a trazione semplice | $f_{ctm} =$ | 3,10 | N/mm ² |
| Resistenza a trazione per flessione | $f_{ctm} =$ | 3,72 | N/mm ² |
| Modulo elastico secante medio | $E_{cm} =$ | 33643 | N/mm ² |
| Resistenza caratteristica a trazione semplice (5%) | $f_{ctk} =$ | 2,17 | N/mm ² |
| Resistenza caratteristica a trazione semplice (95%) | $f_{ctk} =$ | 4,03 | N/mm ² |
| <i>Coefficiente di sicurezza SLU:</i> | $\gamma_c =$ | 1,5 | |
| Resistenza di calcolo a compressione cilindrica SLU: | $f_{cd} =$ | 18,8 | N/mm ² |
| Resistenza di calcolo a trazione semplice (5%) - SLU: | $f_{ctd} =$ | 1,45 | N/mm ² |
| <i>Coefficiente di sicurezza SLE:</i> | $\gamma_c =$ | 1,0 | |
| Resistenza di calcolo a compressione cilindrica SLE: | $f_{cd} =$ | 33,2 | N/mm ² |
| Resistenza di calcolo a trazione semplice (5%) - SLE: | $f_{ctd} =$ | 2,17 | N/mm ² |
| Massime tensioni di compressione in esercizio: | | | |
| Combinazione rara | $\sigma_{c,ad} =$ | 19,92 | N/mm ² |
| Combinazione quasi permanente | $\sigma_{c,ad} =$ | 14,94 | N/mm ² |
| Classe di esposizione | | XC4+XD1 | |
| Classe di consistenza slump: | | S4 | |
| Contenuto minimo di cemento: | | 360 | daN/m ³ |
| Massima dimensione aggregato | | 25 | mm |
| Copriferro | | 40 | mm |
| Rapporto A/C | | 0,45 | |

Soletta per impalcati:

| Classe di resistenza: | C32/40 | | |
|---|-------------------|-------|--------------------|
| Resistenza a compressione cubica caratteristica | $R_{ck} =$ | 40 | N/mm ² |
| Resistenza a compressione cilindrica caratteristica | $f_{ck} =$ | 33,2 | N/mm ² |
| Resistenza a compressione cilindrica media | $f_{cm} =$ | 41,2 | N/mm ² |
| Resistenza a trazione semplice | $f_{ctm} =$ | 3,10 | N/mm ² |
| Resistenza a trazione per flessione | $f_{ctm} =$ | 3,72 | N/mm ² |
| Modulo elastico secante medio | $E_{cm} =$ | 33643 | N/mm ² |
| Resistenza caratteristica a trazione semplice (5%) | $f_{ctk} =$ | 2,17 | N/mm ² |
| Resistenza caratteristica a trazione semplice (95%) | $f_{ctk} =$ | 4,03 | N/mm ² |
| <i>Coefficiente di sicurezza SLU:</i> | $\gamma_c =$ | 1,5 | |
| Resistenza di calcolo a compressione cilindrica SLU: | $f_{cd} =$ | 18,8 | N/mm ² |
| Resistenza di calcolo a trazione semplice (5%) - SLU: | $f_{ctd} =$ | 1,45 | N/mm ² |
| <i>Coefficiente di sicurezza SLE:</i> | $\gamma_c =$ | 1,0 | |
| Resistenza di calcolo a compressione cilindrica SLE: | $f_{cd} =$ | 33,2 | N/mm ² |
| Resistenza di calcolo a trazione semplice (5%) - SLE: | $f_{ctd} =$ | 2,17 | N/mm ² |
| Massime tensioni di compressione in esercizio: | | | |
| Combinazione rara | $\sigma_{c,ad} =$ | 19,92 | N/mm ² |
| Combinazione quasi permanente | $\sigma_{c,ad} =$ | 14,94 | N/mm ² |
| Classe di esposizione | XC4/XF2/XF4* | | |
| Classe di consistenza slump: | S4 | | |
| Contenuto minimo di cemento: | 360 | | daN/m ³ |
| Massima dimensione aggregato | 25 | | mm |
| Copriferro estradosso | 55 | | mm |
| Rapporto A/C | 0,45 | | |

Baggioli:

| Classe di resistenza: | C32/40 | |
|---|-------------------|-------------------------|
| Resistenza a compressione cubica caratteristica | $R_{ck} =$ | 40 N/mm ² |
| Resistenza a compressione cilindrica caratteristica | $f_{ck} =$ | 33,2 N/mm ² |
| Resistenza a compressione cilindrica media | $f_{cm} =$ | 41,2 N/mm ² |
| Resistenza a trazione semplice | $f_{ctm} =$ | 3,10 N/mm ² |
| Resistenza a trazione per flessione | $f_{ctm} =$ | 3,72 N/mm ² |
| Modulo elastico secante medio | $E_{cm} =$ | 33643 N/mm ² |
| Resistenza caratteristica a trazione semplice (5%) | $f_{ctk} =$ | 2,17 N/mm ² |
| Resistenza caratteristica a trazione semplice (95%) | $f_{ctk} =$ | 4,03 N/mm ² |
| <i>Coefficiente di sicurezza SLU:</i> | $\gamma_c =$ | 1,5 |
| Resistenza di calcolo a compressione cilindrica SLU: | $f_{cd} =$ | 18,8 N/mm ² |
| Resistenza di calcolo a trazione semplice (5%) - SLU: | $f_{ctd} =$ | 1,45 N/mm ² |
| <i>Coefficiente di sicurezza SLE:</i> | $\gamma_c =$ | 1,0 |
| Resistenza di calcolo a compressione cilindrica SLE: | $f_{cd} =$ | 33,2 N/mm ² |
| Resistenza di calcolo a trazione semplice (5%) - SLE: | $f_{ctd} =$ | 2,17 N/mm ² |
| Massime tensioni di compressione in esercizio: | | |
| Combinazione rara | $\sigma_{c,ad} =$ | 19,92 N/mm ² |
| Combinazione quasi permanente | $\sigma_{c,ad} =$ | 14,94 N/mm ² |
| Classe di esposizione | XC3/XF1 | |
| Classe di consistenza slump: | S4 | |
| Contenuto minimo di cemento: | 340 | daN/m ³ |
| Massima dimensione aggregato | 25 | mm |
| Copriferro | 40 | mm |
| Rapporto A/C | 0,5 | |

Calcestruzzo per travi in c.a.p.

| Classe di resistenza: | C45/55 | | |
|---|-------------------|---------|--------------------|
| Resistenza a compressione cubica caratteristica | $R_{ck} =$ | 55 | N/mm ² |
| Resistenza a compressione cilindrica caratteristica | $f_{ck} =$ | 45,65 | N/mm ² |
| Resistenza a compressione cilindrica media | $f_{cm} =$ | 53,65 | N/mm ² |
| Resistenza a trazione semplice | $f_{ctm} =$ | 3,83 | N/mm ² |
| Resistenza a trazione per flessione | $f_{ctm} =$ | 4,60 | N/mm ² |
| Modulo elastico secante medio | $E_{cm} =$ | 36416 | N/mm ² |
| Resistenza caratteristica a trazione semplice (5%) | $f_{ctk} =$ | 2,68 | N/mm ² |
| Resistenza caratteristica a trazione semplice (95%) | $f_{ctk} =$ | 4,98 | N/mm ² |
| <i>Coefficiente di sicurezza SLU:</i> | $\gamma_c =$ | 1,5 | |
| Resistenza di calcolo a compressione cilindrica SLU: | $f_{cd} =$ | 25,9 | N/mm ² |
| Resistenza di calcolo a trazione semplice (5%) - SLU: | $f_{ctd} =$ | 1,79 | N/mm ² |
| <i>Coefficiente di sicurezza SLE:</i> | $\gamma_c =$ | 1,0 | |
| Resistenza di calcolo a compressione cilindrica SLE: | $f_{cd} =$ | 45,7 | N/mm ² |
| Resistenza di calcolo a trazione semplice (5%) - SLE: | $f_{ctd} =$ | 2,68 | N/mm ² |
| Massime tensioni di compressione in esercizio: | | | |
| Combinazione rara | $\sigma_{c,ad} =$ | 27,39 | N/mm ² |
| Combinazione quasi permanente | $\sigma_{c,ad} =$ | 20,54 | N/mm ² |
| Classe di esposizione | | XC2/XA1 | |
| Classe di consistenza slump: | | S4 | |
| Contenuto minimo di cemento: | | 350 | daN/m ³ |
| Massima dimensione aggregato | | 20 | mm |
| Copriferro arm. Ord. | | 30 | mm |
| Copriferro arm. Pretesa | | 50 | mm |
| Rapporto A/C | | 0,5 | |

3.2 ACCIAIO

Acciaio per cemento armato:

Acciaio per cemento armato

Acciaio per cemento armato tipo B450C secondo D.M. 17.01.2018, avente le seguenti caratteristiche:

| | | | |
|--|-------------------|---------|-------------------|
| Tensione caratteristica di snervamento | $f_{yk} \geq$ | 450 | N/mm ² |
| Tensione caratteristica di rottura | $f_{tk} \geq$ | 540 | N/mm ² |
| Modulo elastico | $E_s =$ | 2.1E+05 | N/mm ² |
| Coefficiente di sicurezza SLU: | $\gamma_s =$ | 1.15 | |
| Resistenza di calcolo SLU: | $f_{sd} =$ | 391.30 | N/mm ² |
| Tensione di calcolo SLE: | $\sigma_{y,ad} =$ | 360 | N/mm ² |

Deve rispettare i requisiti indicati nella seguente tabella

| CARATTERISTICHE | REQUISITI | FRATTILE (%) |
|---|-------------------|--------------|
| Tensione caratteristica di snervamento f_{yk} | $\geq f_{v, nom}$ | 5.0 |
| Tensione caratteristica di rottura f_{tk} | $\geq f_{t, nom}$ | 5.0 |
| $(f_t/f_y)_k$ | ≥ 1.15 | 10.0 |
| $(f_v/f_{v, nom})_k$ | < 1.35 | 10.0 |
| Allungamento $(A_{gt})_k$: | $\geq 7.5 \%$ | 10.0 |
| Diametro del mandrino per prove di piegamento a 90 ° e successivo raddrizzamento senza cricche: | | |
| $\phi < 12$ mm | 4 ϕ | |
| 12 ≤ ϕ ≤ 16 mm | 5 ϕ | |
| per 16 < ϕ ≤ 25 mm | 8 ϕ | |
| per 25 < ϕ ≤ 40 mm | 10 ϕ | |

Acciaio per armatura da precompressione:

| | |
|------------------------------------|--------------------------------------|
| Tensione caratteristica di rottura | $f_{ptk} > 1860$ N/mm ² |
| Tensione caratteristica all'1% | $f_{p(1)k} > 1670$ N/mm ² |
| Tensione di tesatura trefoli | $ss_{pi} = 1425$ N/mm ² |

4. PARAMETRI GEOTECNICI

Sotto il profilo geotecnico non si osservano grandi differenze di comportamento fra gli strati sabbioso-ghiaiosi e quelli ghiaioso-sabbiosi, per cui si ritiene di poter raggruppare i terreni indagati in due sole unità geotecniche principali più una aggiuntiva occasionale:

UNITA' Ug1 – terreni a grana grossa (ghiaia e sabbia, sabbie ghiaiose, ecc.) (G3)

UNITA' Ug2 – terreni a grana medio-fine (limo sabbioso / sabbia limosa) (S1+S2)

UNITA' Ug3 – terreni a grana fine (limi argillosi) (L5)

Per quanto riguarda i parametri geotecnici generali, essi sono riportati nella tabella seguente:

| | DR | γ_t | Φ' | c' | LL | Cu | E |
|-----------|-------|----------------------|---------|-------|-------|-------|-------|
| | (%) | (kN/m ³) | | (kPa) | (%) | (kPa) | (MPa) |
| Unità Ug1 | 40-70 | 18.5-19.5 | 28°-38° | 0 | --- | 0 | 20-40 |
| Unità Ug2 | --- | 18-20 | 26°-35° | 0 | 26-36 | 0 | 20-40 |
| Unità Ug3 | | 18-19 | 20°-30° | 0 | 26-34 | 15-30 | 21-32 |

Rispetto alle due unità geotecniche principali (Ug1 e Ug2) è stata inserita anche l'Unità Ug3 (=L5), presente solo in alcune zone della tratta C, per un'estensione planimetrica ridotta e con spessori generalmente ridotti, intorno ad 1-2 m.

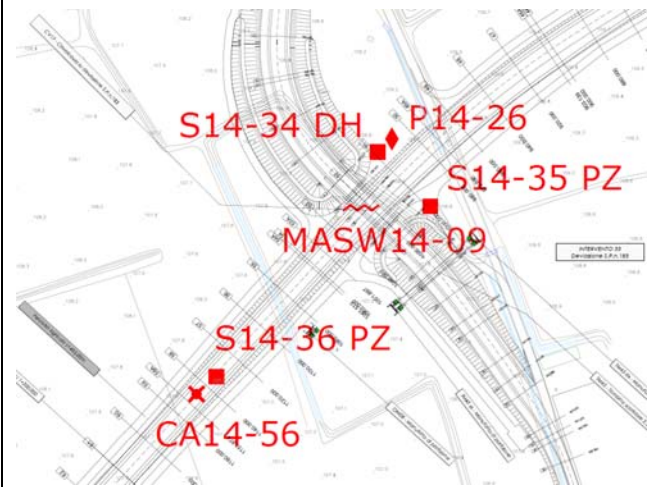
Per l'opera in esame, la stratigrafia di progetto è stata desunta dai sondaggi S14-34DH e S14-35PZ. Alla stratigrafia compresa tra il piano campagna e la profondità pari a 6.20 m è stata associata l'unità litostrafica Ug1(G3) corrispondente a terreni a grana grossa, mentre da 6.20 m a 26 m è stata assunta l'unità litostrafica Ug2(S2), corrispondente a terreni a grana medio-fine. Segue da 26 m in giù l'unità litostrafica Ug2(S1).

Nello stralcio planimetrico di seguito allegato si riportano, inoltre, tutte le indagini geognostiche effettuate nell'intorno dell'opera da cui è possibile ricavare indicazioni utili alla progettazione delle fondazioni.

| MT. | QUOTA DA P.C. | SIMBOLOGIA | CAMPIONI | | | DESCRIZIONE STRATIGRAFICA |
|-----|---------------|------------|----------|-----|------------|--|
| | | | tipo | num | PROF | |
| 1 | -0.30 | | | | | Terreno vegetale |
| 2 | | | | | | |
| 3 | | | | | | |
| 4 | | | | | | Sabbia da grossa a fine con ghiaia grigio marrone |
| 5 | | | | | | |
| 6 | 6.20 | | | | | |
| 7 | 7.10 | | | | | Sabbia medio fine limosa marrone |
| 8 | 8.50 | | RI | 1 | 8-8.40 | Limo con sabbia da grossa a fine marrone rossastro |
| 9 | | | | | | |
| 10 | | | | | | Sabbia medio fine limosa con sporadica ghiaia da grigio marrone a marrone giallastra |
| 11 | | | | | | |
| 12 | | | | | | Sabbia medio grossa marrone giallastra |
| 13 | 13.00 | | | | | |
| 14 | 15.00 | | | | | Sabbia medio fine limosa grigio marrone |
| 15 | | | | | | |
| 16 | | | | | | Sabbia da grossa a fine marrone giallastra |
| 17 | | | | | | |
| 18 | | | | | | Sabbia medio fine limosa grigio marrone |
| 19 | | | | | | |
| 20 | 20.00 | | RI | 2 | 19.6-20.00 | Sabbia da grossa a fine marrone giallastra |
| 21 | | | | | | |
| 22 | 22.60 | | | | | Sabbia medio fine limosa grigio marrone |
| 23 | | | | | | |
| 24 | 24.60 | | | | | Sabbia da grossa a fine marrone rossastra |
| 25 | | | | | | |
| 26 | 26.00 | | | | | |
| 27 | | | | | | Sabbia da grossa a fine limosa da grigio marrone a grigio verde |
| 28 | | | | | | |
| 29 | | | RI | 3 | 28.6-29.00 | |
| 30 | | | | | | |
| 31 | | | | | | |
| 32 | | | | | | |
| 33 | | | | | | |
| 34 | 35.00 | | | | | |

Ug1(G3): 0-6.2 m

Ug2(S2/S1): 6.2-35



CA 15-56

S14-34DH: 35 m

S14-35Pz: 35 m

S14-36 Pz: 20 m

P14-26: 15 m

MASW14-09: 30 m

In base ai dati disponibili, la profondità della falda si colloca a quota 5.29 m dal piano campagna.

Nelle verifiche si considererà la falda a -1m da p.c.

Ai fini delle verifiche dei pali si terrà conto che il numero delle verticali indagate fino alla profondità di lunghezza dei pali stessi è pari a 2 e che

$$N_{\text{sptmedio}} = 15\text{colpi}/30\text{cm}$$

Ai fini delle verifiche sismiche risulta:

- Categoria sottosuolo: C
- Categoria topografica: T1

Infine, nella tabella seguente si riportano gli intervalli di valori dei parametri geotecnici relativi alla zona in cui ricade l'opera.

| PARAMETRI GEOTECNICI GENERALI | | | | | | | | |
|-------------------------------|--------------------|------------------------|-----------|------|---------|----------|---------|-----|
| UNITA' | D _R (%) | γ _t (kN/mc) | Φ' | Φ'op | LL (%) | cu (kPa) | E (MPa) | Eop |
| Ug1 (G3) | 40 ÷ 70 | 18.50 ÷ 19.50 | 30° ÷ 38° | 35° | | | 26 ÷ 38 | 32 |
| Ug2 (S2/S1) | --- | 18.00 ÷ 20.00 | 32° ÷ 36° | 34° | 26 ÷ 36 | | 32 ÷ 38 | 34 |

I valori di progetto di Φ' e E sono indicati con Φ'op e Eop

Dato che la quota di imposta dei pali (q.i.p.) si trova a circa -2.0m da p.c. la stratigrafia di progetto deve essere impostata come segue:

STRATO 1 - sino a 4 m sotto la q.i.p.

Ghiaia con sabbia

Angolo di attrito interno: 35°

Peso specifico: 19.5 kN/m³.

STRATO 2 - sino a 35 m sotto la q.i.p.

Sabbia

Angolo di attrito interno: 34°

Peso specifico: 19.0 kN/m³.

Nelle verifiche si considererà la falda a -1m da p.c.

Ai fini delle verifiche dei pali si terrà conto che il numero delle verticali indagate fino alla profondità di lunghezza dei pali stessi è pari a 2 e che

$$N_{\text{sptmedio}} = 15\text{colpi}/30\text{cm}$$

4.1 SCAVI E RIEMPIMENTI

Lo scavo avviene a cielo aperto con pendenza 1:1.

Il terreno di ritombamento a tergo delle spalle dovrà avere un angolo d'attrito di 37° e un $\gamma=20\text{kN/mc}$.

5. AZIONE SISMICA

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti. 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 costruzione 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; la costruzione conserva invece una parte della esistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.

L'analisi viene condotta secondo il metodo pseudo statico.

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 si assume vita nominale $VN > 50$ anni.

Classi 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."

Periodo di riferimento per l'azione sismica

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento VR che si ricava, per ciascun tipo di costruzione. moltiplicandone la vita nominale VN per il coefficiente d'uso CU . Tale coefficiente è funzione della classe d'uso e nel caso specifico assume valore pari a **2** per la classe d'uso **IV**. $VR = VN \times CU = 50 \text{ anni} \times 2 = 100 \text{ anni}$

Azioni di progetto

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 da 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 l'espressione:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})} = -\frac{200}{\ln(1 - 0.1)} = 1898$$

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, in funzione di prefissati valori del periodo di ritorno T_R . L'accelerazione al sito a_g è espressa in $g/10$; F_0 è adimensionale. T_C^* è espresso in secondi. 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'opera in progetto ricade nel comune di Abbiategrasso.

Parametri per la determinazione dell'azione sismica dell'impalcato

Categoria di sottosuolo C
 Categoria topografica T1

Coeff. di combinazione sismica carichi da traffico $\psi_E = 0.2$

- q Coefficiente di struttura
- η 1/q
- a_g Accelerazione orizzontale massima al sito
- T_c^* Periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale
- F_0 Valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE:

LATITUDINE:

Ricerca per comune

REGIONE:

PROVINCIA:

COMUNE:

Elaborazioni grafiche

Grafici spettri di risposta

Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche

Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito

Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo

- Sito esterno al reticolo
- Interpolazione su 3 nodi
- Interpolazione corretta

Interpolazione

La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) - V_N info

Coefficiente d'uso della costruzione - c_U info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) - V_R info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) - T_R info

| | | |
|---------------------------------|-----------------------|------|
| Stati limite di esercizio - SLE | SLO - $P_{VR} = 81\%$ | 60 |
| | SLD - $P_{VR} = 63\%$ | 101 |
| Stati limite ultimi - SLU | SLV - $P_{VR} = 10\%$ | 949 |
| | SLC - $P_{VR} = 5\%$ | 1950 |

Elaborazioni

Grafici parametri azione

Grafici spettri di risposta

Tabella parametri azione

Strategia di progettazione

LEGENDA GRAFICO

---□--- Strategia per costruzioni ordinarie

---■--- Strategia scelta

FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

Stato Limite

Stato Limite considerato **SLV**

Risposta sismica locale

Categoria di sottosuolo **C**

$S_s = 1.500$

$C_c = 1.556$

Categoria topografica **T1**

$h/H = 1.000$
(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

$S_T = 1.000$

Compon. orizzontale

Spettro di progetto elastico (SLE)

Smorzamento ξ (%) **5**

$\eta = 1.000$

Spettro di progetto inelastico (SLU)

Fattore q_o **1**

Regol. in altezza **si**

Compon. verticale

Spettro di progetto

Fattore q **1.5**

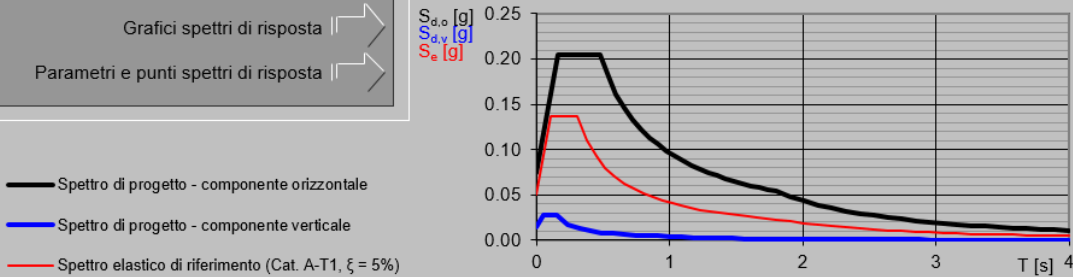
$\eta = 0.667$

Elaborazioni

Grafici spettri di risposta

Parametri e punti spettri di risposta

Spettri di risposta



Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limiSLV

Parametri indipendenti

| STATO LIMITE | SLV |
|--------------|---------|
| a_g | 0.050 g |
| F_a | 2.730 |
| T_c | 0.304 s |
| S_s | 1.500 |
| C_c | 1.556 |
| S_T | 1.000 |
| q | 1.000 |

Parametri dipendenti

| | |
|--------|---------|
| S | 1.500 |
| η | 1.000 |
| T_B | 0.157 s |
| T_C | 0.472 s |
| T_D | 1.800 s |

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10 / (S + 5)} \geq 0,55; \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_c \cdot T_c \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

| | T [s] | Se [g] |
|-------|-------|--------|
| | 0.000 | 0.075 |
| T_B | 0.157 | 0.205 |
| T_C | 0.472 | 0.205 |
| | 0.536 | 0.180 |
| | 0.599 | 0.161 |
| | 0.662 | 0.146 |
| | 0.725 | 0.133 |
| | 0.788 | 0.123 |
| | 0.852 | 0.113 |
| | 0.915 | 0.106 |
| | 0.978 | 0.099 |
| | 1.041 | 0.093 |
| | 1.105 | 0.088 |
| | 1.168 | 0.083 |
| | 1.231 | 0.079 |
| | 1.294 | 0.075 |
| | 1.357 | 0.071 |
| | 1.421 | 0.068 |
| | 1.484 | 0.065 |
| | 1.547 | 0.062 |
| | 1.610 | 0.060 |
| | 1.673 | 0.058 |
| | 1.737 | 0.056 |
| T_D | 1.800 | 0.054 |
| | 1.905 | 0.048 |
| | 2.009 | 0.043 |
| | 2.114 | 0.039 |
| | 2.219 | 0.035 |
| | 2.324 | 0.032 |
| | 2.428 | 0.030 |
| | 2.533 | 0.027 |
| | 2.638 | 0.025 |
| | 2.743 | 0.023 |
| | 2.848 | 0.021 |
| | 2.952 | 0.020 |
| | 3.057 | 0.019 |
| | 3.162 | 0.017 |
| | 3.267 | 0.016 |
| | 3.371 | 0.015 |
| | 3.476 | 0.014 |
| | 3.581 | 0.014 |
| | 3.686 | 0.013 |
| | 3.790 | 0.012 |
| | 3.895 | 0.011 |
| | 4.000 | 0.011 |

6. SPALLA

L'analisi delle sollecitazioni è stata effettuata tramite uno specifico modulo di calcolo, implementato tramite foglio elettronico, relativamente al quale vengono presentati i dati di input e le computazioni intermedie.

Le azioni elementari vengono combinate con i relativi coefficienti moltiplicativi in funzione della disposizione di carico e del gruppo di appartenenza, secondo le verifiche agli Stati Limite previste dal DM 17/01/2018. In seguito si riportano sia le tabelle di combinazione sia la tabella riepilogativa complessiva delle sollecitazioni.

In fase sismica si considera un contributo del carico accidentale pari al 20%, $q=1$ e l'analisi è del tipo statica equivalente.

Le azioni per il dimensionamento delle fondazioni, le sollecitazioni in fondazione sono state determinate mediante gli scarichi dell'impalcato, di cui alla relazione specifica.

Le verifiche vengono effettuate per le seguenti condizioni elementari di carico, dei quali si riportano, a fianco, i relativi coefficienti di combinazione e partecipazione.

Si verifica la spalla che per caratteristiche geometriche e di tipologia appoggi risulta più sollecitata, sull'altra spalla saranno applicate, a favore di sicurezza, le medesime considerazioni.

Per ulteriori dettagli e le verifiche in elevazione, si rimanda alla relazione P03CV17STRRE03.

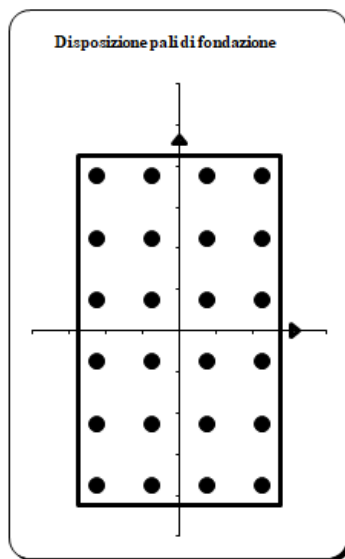
7. PALI

7.1 AZIONI AGENTI SUI PALI DI FONDAZIONE

In questo paragrafo è riportato il calcolo delle sollecitazioni di carico assiale, momento e taglio agenti lungo il fusto dei pali. Le azioni sui pali sono calcolate a partire dalle sollecitazioni trasmesse in fondazione dalla struttura. Le azioni globali sono relative al baricentro della fondazione della spalla e sono riferite all'intradosso della fondazione stessa.

Le verifiche dei pali di fondazione sono eseguite con riferimento alle combinazioni di carico più gravose caratterizzate da massimo sforzo assiale e massima azione tagliante sui pali.

7.1.1 GEOMETRIA DELLA PALIFICATA



| | | | |
|------------------|-------|----------------|--|
| f= | 1.00 | m | Diametro pali |
| A _p = | 0.79 | m ² | Area singolo palo |
| n _p = | 24.00 | | Numero totale pali |
| B _x = | 11.00 | m | Lunghezza zattera di fondazione dir. X |
| B _y = | 17.00 | m | Lunghezza zattera di fondazione dir. Y |

| COORD. CENTRO PALI RISPETTO BARICENTRO FONDAZIONE | | | | | | |
|---|-------|-------|----------------|----------------|----------------|-----------------------------|
| Palo | X | Y | r _i | X ² | Y ² | r _i ² |
| n° | m | m | m | m ² | m ² | m ² |
| 1 | -4.50 | 7.50 | 8.75 | 20.25 | 56.25 | 76.50 |
| 2 | -1.50 | 7.50 | 7.65 | 2.25 | 56.25 | 58.50 |
| 3 | 1.50 | 7.50 | 7.65 | 2.25 | 56.25 | 58.50 |
| 4 | 4.50 | 7.50 | 8.75 | 20.25 | 56.25 | 76.50 |
| 5 | -4.50 | 4.50 | 6.36 | 20.25 | 20.25 | 40.50 |
| 6 | -1.50 | 4.50 | 4.74 | 2.25 | 20.25 | 22.50 |
| 7 | 1.50 | 4.50 | 4.74 | 2.25 | 20.25 | 22.50 |
| 8 | 4.50 | 4.50 | 6.36 | 20.25 | 20.25 | 40.50 |
| 9 | -4.50 | 1.50 | 4.74 | 20.25 | 2.25 | 22.50 |
| 10 | -1.50 | 1.50 | 2.12 | 2.25 | 2.25 | 4.50 |
| 11 | 1.50 | 1.50 | 2.12 | 2.25 | 2.25 | 4.50 |
| 12 | 4.50 | 1.50 | 4.74 | 20.25 | 2.25 | 22.50 |
| 13 | -4.50 | -1.50 | 4.74 | 20.25 | 2.25 | 22.50 |
| 14 | -1.50 | -1.50 | 2.12 | 2.25 | 2.25 | 4.50 |
| 15 | 1.50 | -1.50 | 2.12 | 2.25 | 2.25 | 4.50 |
| 16 | 4.50 | -1.50 | 4.74 | 20.25 | 2.25 | 22.50 |
| 17 | -4.50 | -4.50 | 6.36 | 20.25 | 20.25 | 40.50 |
| 18 | -1.50 | -4.50 | 4.74 | 2.25 | 20.25 | 22.50 |
| 19 | 1.50 | -4.50 | 4.74 | 2.25 | 20.25 | 22.50 |
| 20 | 4.50 | -4.50 | 6.36 | 20.25 | 20.25 | 40.50 |
| 21 | -4.50 | -7.50 | 8.75 | 20.25 | 56.25 | 76.50 |
| 22 | -1.50 | -7.50 | 7.65 | 2.25 | 56.25 | 58.50 |
| 23 | 1.50 | -7.50 | 7.65 | 2.25 | 56.25 | 58.50 |
| 24 | 4.50 | -7.50 | 8.75 | 20.25 | 56.25 | 76.50 |

7.1.2 COMBINAZIONI SLU

SOLL. TOTALI NEL BARICENTRO DELLA PALIFICATA

| C.C. | N | T _x | T _y | M _x | M _y | N _{max/palo} | N _{min/palo} | T _{/palo} |
|-----------------------------------|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|
| n° | kN | kN | kN | kNm | kNm | kN | kN | kN |
| Vento a ponte scarico | 49169 | 9825 | 90 | -4925 | 48012 | 2908 | 1190 | 409 |
| Gruppo 1 centr. A _{max} | 57493 | 12652 | 81 | -15007 | 71147 | 3760 | 1031 | 527 |
| Gruppo 1 ecc. A _{max} | 57493 | 12652 | 81 | -15007 | 71147 | 3760 | 1031 | 527 |
| Gruppo 2a centr. A _{max} | 56871 | 13111 | 81 | -12482 | 70236 | 3689 | 1050 | 546 |
| Gruppo 2a ecc. A _{max} | 56871 | 13111 | 81 | -12482 | 70236 | 3689 | 1050 | 546 |
| Gruppo 2b centr. A _{max} | 56871 | 12652 | 81 | -12482 | 65067 | 3603 | 1137 | 527 |
| Gruppo 2b ecc. A _{max} | 56871 | 12652 | 81 | -12482 | 65067 | 3603 | 1137 | 527 |
| Gruppo 1 centr. A _{min} | 55004 | 12652 | 81 | -4909 | 46826 | 3131 | 1453 | 527 |
| Gruppo 1 ecc. A _{min} | 55004 | 12652 | 81 | -4909 | 46826 | 3131 | 1453 | 527 |
| Gruppo 2a centr. A _{min} | 55004 | 13111 | 81 | -4909 | 51995 | 3217 | 1367 | 546 |
| Gruppo 2a ecc. A _{min} | 55004 | 13111 | 81 | -4909 | 51995 | 3217 | 1367 | 546 |
| Gruppo 2b centr. A _{min} | 55004 | 12652 | 81 | -4909 | 46826 | 3131 | 1453 | 527 |
| Gruppo 2b ecc. A _{min} | 55004 | 12652 | 81 | -4909 | 46826 | 3131 | 1453 | 527 |
| Gruppo 1 centr. B _{max} | 55004 | 12652 | 81 | -4909 | 46826 | 3131 | 1453 | 527 |
| Gruppo 1 ecc. B _{max} | 55004 | 12652 | 81 | -4909 | 46826 | 3131 | 1453 | 527 |
| Gruppo 2a centr. B _{max} | 55004 | 13111 | 81 | -4909 | 51995 | 3217 | 1367 | 546 |
| Gruppo 2a ecc. B _{max} | 55004 | 13111 | 81 | -4909 | 51995 | 3217 | 1367 | 546 |
| Gruppo 2b centr. B _{max} | 55004 | 12652 | 81 | -4909 | 46826 | 3131 | 1453 | 527 |
| Gruppo 2b ecc. B _{max} | 55004 | 12652 | 81 | -4909 | 46826 | 3131 | 1453 | 527 |
| Gruppo 1 centr. B _{min} | 55004 | 12652 | 81 | -4909 | 46826 | 3131 | 1453 | 527 |
| Gruppo 1 ecc. B _{min} | 55004 | 12652 | 81 | -4909 | 46826 | 3131 | 1453 | 527 |
| Gruppo 2a centr. B _{min} | 55004 | 13111 | 81 | -4909 | 51995 | 3217 | 1367 | 546 |
| Gruppo 2a ecc. B _{min} | 55004 | 13111 | 81 | -4909 | 51995 | 3217 | 1367 | 546 |
| Gruppo 2b centr. B _{min} | 55004 | 12652 | 81 | -4909 | 46826 | 3131 | 1453 | 527 |
| Gruppo 2b ecc. B _{min} | 55004 | 12652 | 81 | -4909 | 46826 | 3131 | 1453 | 527 |

CV17 - RELAZIONE GEOTECNICA- PALI DI FONDAZIONE SPALLE

| | Vento a ponte scarico | Gruppo 1 centr. Amax | Gruppo 1 ecc. Amax | Gruppo 2a centr. Amax | Gruppo 2a ecc. Amax | Gruppo 2b centr. Amax | Gruppo 2b ecc. Amax | Gruppo 1 centr. Amin | Gruppo 1 ecc. Amin | Gruppo 2a centr. Amin | Gruppo 2a ecc. Amin | Gruppo 2b centr. Amin | Gruppo 2b ecc. Amin |
|--------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|
| Palo n° | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN |
| 1 | 1190 | 1031 | 1031 | 1050 | 1050 | 1137 | 1137 | 1453 | 1453 | 1367 | 1367 | 1453 | 1453 |
| 2 | 1723 | 1822 | 1822 | 1831 | 1831 | 1860 | 1860 | 1973 | 1973 | 1945 | 1945 | 1973 | 1973 |
| 3 | 2257 | 2612 | 2612 | 2611 | 2611 | 2582 | 2582 | 2494 | 2494 | 2522 | 2522 | 2494 | 2494 |
| 4 | 2790 | 3403 | 3403 | 3392 | 3392 | 3305 | 3305 | 3014 | 3014 | 3100 | 3100 | 3014 | 3014 |
| 5 | 1213 | 1103 | 1103 | 1110 | 1110 | 1196 | 1196 | 1476 | 1476 | 1390 | 1390 | 1476 | 1476 |
| 6 | 1747 | 1893 | 1893 | 1890 | 1890 | 1919 | 1919 | 1997 | 1997 | 1968 | 1968 | 1997 | 1997 |
| 7 | 2280 | 2684 | 2684 | 2671 | 2671 | 2642 | 2642 | 2517 | 2517 | 2546 | 2546 | 2517 | 2517 |
| 8 | 2814 | 3474 | 3474 | 3451 | 3451 | 3365 | 3365 | 3037 | 3037 | 3123 | 3123 | 3037 | 3037 |
| 9 | 1237 | 1174 | 1174 | 1169 | 1169 | 1255 | 1255 | 1500 | 1500 | 1414 | 1414 | 1500 | 1500 |
| 10 | 1770 | 1965 | 1965 | 1950 | 1950 | 1978 | 1978 | 2020 | 2020 | 1991 | 1991 | 2020 | 2020 |
| 11 | 2304 | 2755 | 2755 | 2730 | 2730 | 2701 | 2701 | 2540 | 2540 | 2569 | 2569 | 2540 | 2540 |
| 12 | 2837 | 3546 | 3546 | 3510 | 3510 | 3424 | 3424 | 3061 | 3061 | 3147 | 3147 | 3061 | 3061 |
| 13 | 1260 | 1245 | 1245 | 1229 | 1229 | 1315 | 1315 | 1523 | 1523 | 1437 | 1437 | 1523 | 1523 |
| 14 | 1794 | 2036 | 2036 | 2009 | 2009 | 2038 | 2038 | 2043 | 2043 | 2015 | 2015 | 2043 | 2043 |
| 15 | 2327 | 2827 | 2827 | 2790 | 2790 | 2761 | 2761 | 2564 | 2564 | 2592 | 2592 | 2564 | 2564 |
| 16 | 2861 | 3617 | 3617 | 3570 | 3570 | 3484 | 3484 | 3084 | 3084 | 3170 | 3170 | 3084 | 3084 |
| 17 | 1284 | 1317 | 1317 | 1288 | 1288 | 1374 | 1374 | 1546 | 1546 | 1460 | 1460 | 1546 | 1546 |
| 18 | 1817 | 2107 | 2107 | 2069 | 2069 | 2097 | 2097 | 2067 | 2067 | 2038 | 2038 | 2067 | 2067 |
| 19 | 2351 | 2898 | 2898 | 2849 | 2849 | 2820 | 2820 | 2587 | 2587 | 2616 | 2616 | 2587 | 2587 |
| 20 | 2884 | 3689 | 3689 | 3629 | 3629 | 3543 | 3543 | 3107 | 3107 | 3193 | 3193 | 3107 | 3107 |
| 21 | 1307 | 1388 | 1388 | 1348 | 1348 | 1434 | 1434 | 1570 | 1570 | 1484 | 1484 | 1570 | 1570 |
| 22 | 1841 | 2179 | 2179 | 2128 | 2128 | 2157 | 2157 | 2090 | 2090 | 2061 | 2061 | 2090 | 2090 |
| 23 | 2374 | 2969 | 2969 | 2908 | 2908 | 2880 | 2880 | 2610 | 2610 | 2639 | 2639 | 2610 | 2610 |
| 24 | 2908 | 3760 | 3760 | 3689 | 3689 | 3603 | 3603 | 3131 | 3131 | 3217 | 3217 | 3131 | 3131 |
| max n° palo | 2908 | 3760 | 3760 | 3689 | 3689 | 3603 | 3603 | 3131 | 3131 | 3217 | 3217 | 3131 | 3131 |
| min n° palo | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 |
| max n° palo | 1190 | 1031 | 1031 | 1050 | 1050 | 1137 | 1137 | 1453 | 1453 | 1367 | 1367 | 1453 | 1453 |
| min n° palo | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | Gruppo 1 centr. Bmax | Gruppo 1 ecc. Bmax | Gruppo 2a centr. Bmax | Gruppo 2a ecc. Bmax | Gruppo 2b centr. Bmax | Gruppo 2b ecc. Bmax | Gruppo 1 centr. Bmin | Gruppo 1 ecc. Bmin | Gruppo 2a centr. Bmin | Gruppo 2a ecc. Bmin | Gruppo 2b centr. Bmin | Gruppo 2b ecc. Bmin | |
| Palo n° | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN | |
| 1 | 1453 | 1453 | 1367 | 1367 | 1453 | 1453 | 1453 | 1453 | 1367 | 1367 | 1453 | 1453 | |
| 2 | 1973 | 1973 | 1945 | 1945 | 1973 | 1973 | 1973 | 1973 | 1945 | 1945 | 1973 | 1973 | |
| 3 | 2494 | 2494 | 2522 | 2522 | 2494 | 2494 | 2494 | 2494 | 2522 | 2522 | 2494 | 2494 | |
| 4 | 3014 | 3014 | 3100 | 3100 | 3014 | 3014 | 3014 | 3014 | 3100 | 3100 | 3014 | 3014 | |
| 5 | 1476 | 1476 | 1390 | 1390 | 1476 | 1476 | 1476 | 1476 | 1390 | 1390 | 1476 | 1476 | |
| 6 | 1997 | 1997 | 1968 | 1968 | 1997 | 1997 | 1997 | 1997 | 1968 | 1968 | 1997 | 1997 | |
| 7 | 2517 | 2517 | 2546 | 2546 | 2517 | 2517 | 2517 | 2517 | 2546 | 2546 | 2517 | 2517 | |
| 8 | 3037 | 3037 | 3123 | 3123 | 3037 | 3037 | 3037 | 3037 | 3123 | 3123 | 3037 | 3037 | |
| 9 | 1500 | 1500 | 1414 | 1414 | 1500 | 1500 | 1500 | 1500 | 1414 | 1414 | 1500 | 1500 | |
| 10 | 2020 | 2020 | 1991 | 1991 | 2020 | 2020 | 2020 | 2020 | 1991 | 1991 | 2020 | 2020 | |
| 11 | 2540 | 2540 | 2569 | 2569 | 2540 | 2540 | 2540 | 2540 | 2569 | 2569 | 2540 | 2540 | |
| 12 | 3061 | 3061 | 3147 | 3147 | 3061 | 3061 | 3061 | 3061 | 3147 | 3147 | 3061 | 3061 | |
| 13 | 1523 | 1523 | 1437 | 1437 | 1523 | 1523 | 1523 | 1523 | 1437 | 1437 | 1523 | 1523 | |
| 14 | 2043 | 2043 | 2015 | 2015 | 2043 | 2043 | 2043 | 2043 | 2015 | 2015 | 2043 | 2043 | |
| 15 | 2564 | 2564 | 2592 | 2592 | 2564 | 2564 | 2564 | 2564 | 2592 | 2592 | 2564 | 2564 | |
| 16 | 3084 | 3084 | 3170 | 3170 | 3084 | 3084 | 3084 | 3084 | 3170 | 3170 | 3084 | 3084 | |
| 17 | 1546 | 1546 | 1460 | 1460 | 1546 | 1546 | 1546 | 1546 | 1460 | 1460 | 1546 | 1546 | |
| 18 | 2067 | 2067 | 2038 | 2038 | 2067 | 2067 | 2067 | 2067 | 2038 | 2038 | 2067 | 2067 | |
| 19 | 2587 | 2587 | 2616 | 2616 | 2587 | 2587 | 2587 | 2587 | 2616 | 2616 | 2587 | 2587 | |
| 20 | 3107 | 3107 | 3193 | 3193 | 3107 | 3107 | 3107 | 3107 | 3193 | 3193 | 3107 | 3107 | |
| 21 | 1570 | 1570 | 1484 | 1484 | 1570 | 1570 | 1570 | 1570 | 1484 | 1484 | 1570 | 1570 | |
| 22 | 2090 | 2090 | 2061 | 2061 | 2090 | 2090 | 2090 | 2090 | 2061 | 2061 | 2090 | 2090 | |
| 23 | 2610 | 2610 | 2639 | 2639 | 2610 | 2610 | 2610 | 2610 | 2639 | 2639 | 2610 | 2610 | |
| 24 | 3131 | 3131 | 3217 | 3217 | 3131 | 3131 | 3131 | 3131 | 3217 | 3217 | 3131 | 3131 | |
| max n° palo | 3131 | 3131 | 3217 | 3217 | 3131 | 3131 | 3131 | 3131 | 3217 | 3217 | 3131 | 3131 | |
| min n° palo | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | |
| max n° palo | 1453 | 1453 | 1367 | 1367 | 1453 | 1453 | 1453 | 1453 | 1367 | 1367 | 1453 | 1453 | |
| min n° palo | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| max | 3760 | | | | | | | | | | | | |
| min | 1031 | | | | | | | | | | | | |

7.1.3 COMBINAZIONE SISMICA

SOLL. TOTALI NEL BARICENTRO DELLA PALIFICATA

| C.C. | N | T _x | T _y | M _x | M _y | N _{max/palo} | N _{min/palo} | T _{/palo} |
|---------------|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|
| n° | kN | kN | kN | kNm | kNm | kN | kN | kN |
| Sisma X Nmax+ | 38219 | 11653 | 979 | -801 | 59823 | 2599 | 586 | 487 |
| Sisma Z Nmax+ | 39184 | 3856 | 979 | -954 | 27105 | 2096 | 1170 | 166 |
| Sisma Y Nmax+ | 38219 | 3856 | 3265 | 11089 | 26863 | 2172 | 1013 | 211 |
| Sisma X Nmax- | 37391 | 11653 | 979 | -670 | 59616 | 2560 | 556 | 487 |
| Sisma Z Nmax- | 36425 | 3856 | 979 | -517 | 26414 | 1964 | 1071 | 166 |
| Sisma Y Nmax- | 37391 | 3856 | 3265 | 11220 | 26656 | 2136 | 980 | 211 |

| | Sisma X Nmax+ | Sisma Z Nmax+ | Sisma Y Nmax+ | Sisma X Nmax- | Sisma Z Nmax- | Sisma Y Nmax- |
|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Palo | N | N | N | N | N | N |
| n° | kN | kN | kN | kN | kN | kN |
| 1 | 586 | 1170 | 1277 | 556 | 1071 | 1247 |
| 2 | 1251 | 1471 | 1575 | 1219 | 1365 | 1543 |
| 3 | 1915 | 1772 | 1874 | 1881 | 1658 | 1840 |
| 4 | 2580 | 2073 | 2172 | 2544 | 1952 | 2136 |
| 5 | 590 | 1174 | 1224 | 560 | 1074 | 1194 |
| 6 | 1254 | 1475 | 1522 | 1222 | 1367 | 1490 |
| 7 | 1919 | 1776 | 1821 | 1884 | 1661 | 1786 |
| 8 | 2584 | 2078 | 2119 | 2547 | 1954 | 2082 |
| 9 | 593 | 1179 | 1171 | 563 | 1076 | 1140 |
| 10 | 1258 | 1480 | 1470 | 1225 | 1370 | 1437 |
| 11 | 1923 | 1781 | 1768 | 1888 | 1663 | 1733 |
| 12 | 2588 | 2082 | 2067 | 2550 | 1957 | 2029 |
| 13 | 597 | 1183 | 1118 | 566 | 1079 | 1087 |
| 14 | 1262 | 1484 | 1417 | 1228 | 1372 | 1383 |
| 15 | 1927 | 1786 | 1715 | 1891 | 1666 | 1679 |
| 16 | 2591 | 2087 | 2014 | 2553 | 1959 | 1975 |
| 17 | 601 | 1188 | 1066 | 569 | 1081 | 1034 |
| 18 | 1266 | 1489 | 1364 | 1232 | 1375 | 1330 |
| 19 | 1931 | 1790 | 1662 | 1894 | 1668 | 1626 |
| 20 | 2595 | 2091 | 1961 | 2556 | 1962 | 1922 |
| 21 | 605 | 1192 | 1013 | 572 | 1084 | 980 |
| 22 | 1270 | 1493 | 1311 | 1235 | 1377 | 1276 |
| 23 | 1934 | 1795 | 1610 | 1897 | 1671 | 1572 |
| 24 | 2599 | 2096 | 1908 | 2560 | 1964 | 1869 |
| max | 2599 | 2096 | 2172 | 2560 | 1964 | 2136 |
| n° palo | 24 | 24 | 4 | 24 | 24 | 4 |
| min | 586 | 1170 | 1013 | 556 | 1071 | 980 |
| n° palo | 1 | 1 | 21 | 1 | 1 | 21 |
| max | 2599 | | | | | |
| min | 556 | | | | | |

7.1.4 COMBINAZIONI SLE

SLE RARE

| SOLL. TOTALI NEL BARICENTRO DELLA PALIFICATA | | | | | | | | |
|---|----------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| C.C. | N | T_x | T_y | M_x | M_y | N_{max/palo} | N_{min/palo} | T_{/palo} |
| n° | kN | kN | kN | kNm | kNm | kN | kN | kN |
| Vento a ponte scarico | 36421 | 7169 | 90 | 654 | 24159 | 1928 | 1107 | 299 |
| Gruppo 1 centr. A _{max} | 43339 | 9737 | 54 | -3176 | 41197 | 2530 | 1081 | 406 |
| Gruppo 1 ecc. A _{max} | 43339 | 9737 | 54 | -3176 | 41197 | 2530 | 1081 | 406 |
| Gruppo 2a centr. A _{max} | 42878 | 9822 | 114 | -1765 | 41124 | 2493 | 1080 | 409 |
| Gruppo 2a ecc. A _{max} | 42878 | 9822 | 114 | -1765 | 41124 | 2493 | 1080 | 409 |
| Gruppo 2b centr. A _{max} | 42878 | 9737 | 54 | -2323 | 39666 | 2475 | 1098 | 406 |
| Gruppo 2b ecc. A _{max} | 42878 | 9737 | 54 | -2323 | 39666 | 2475 | 1098 | 406 |
| Gruppo 1 centr. A _{min} | 41495 | 9737 | 54 | 234 | 35075 | 2316 | 1142 | 406 |
| Gruppo 1 ecc. A _{min} | 41495 | 9737 | 54 | 234 | 35075 | 2316 | 1142 | 406 |
| Gruppo 2a centr. A _{min} | 41495 | 9822 | 114 | 792 | 36533 | 2347 | 1111 | 409 |
| Gruppo 2a ecc. A _{min} | 41495 | 9822 | 114 | 792 | 36533 | 2347 | 1111 | 409 |
| Gruppo 2b centr. A _{min} | 41495 | 9737 | 54 | 234 | 35075 | 2316 | 1142 | 406 |
| Gruppo 2b ecc. A _{min} | 41495 | 9737 | 54 | 234 | 35075 | 2316 | 1142 | 406 |
| Gruppo 1 centr. B _{max} | 41495 | 9737 | 54 | 234 | 35075 | 2316 | 1142 | 406 |
| Gruppo 1 ecc. B _{max} | 41495 | 9737 | 54 | 234 | 35075 | 2316 | 1142 | 406 |
| Gruppo 2a centr. B _{max} | 41495 | 9822 | 114 | 792 | 36533 | 2347 | 1111 | 409 |
| Gruppo 2a ecc. B _{max} | 41495 | 9822 | 114 | 792 | 36533 | 2347 | 1111 | 409 |
| Gruppo 2b centr. B _{max} | 41495 | 9737 | 54 | 234 | 35075 | 2316 | 1142 | 406 |
| Gruppo 2b ecc. B _{max} | 41495 | 9737 | 54 | 234 | 35075 | 2316 | 1142 | 406 |
| Gruppo 1 centr. B _{min} | 41495 | 9737 | 54 | 234 | 35075 | 2316 | 1142 | 406 |
| Gruppo 1 ecc. B _{min} | 41495 | 9737 | 54 | 234 | 35075 | 2316 | 1142 | 406 |
| Gruppo 2a centr. B _{min} | 41495 | 9822 | 114 | 792 | 36533 | 2347 | 1111 | 409 |
| Gruppo 2a ecc. B _{min} | 41495 | 9822 | 114 | 792 | 36533 | 2347 | 1111 | 409 |
| Gruppo 2b centr. B _{min} | 41495 | 9737 | 54 | 234 | 35075 | 2316 | 1142 | 406 |
| Gruppo 2b ecc. B _{min} | 41495 | 9737 | 54 | 234 | 35075 | 2316 | 1142 | 406 |

CV17 - RELAZIONE GEOTECNICA- PALI DI FONDAZIONE SPALLE

| | Vento a ponte sovrario | Gruppo 1 centr. Amax | Gruppo 1 ecc. Amax | Gruppo 2a centr. Amax | Gruppo 2a ecc. Amax | Gruppo 2b centr. Amax | Gruppo 2b ecc. Amax | Gruppo 1 centr. Amin | Gruppo 1 ecc. Amin | Gruppo 2a centr. Amin | Gruppo 2a ecc. Amin | Gruppo 2b centr. Amin | Gruppo 2b ecc. Amin |
|--------------------|------------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|
| Palo n° | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN |
| 1 | 1123 | 1081 | 1081 | 1080 | 1080 | 1098 | 1098 | 1147 | 1147 | 1130 | 1130 | 1147 | 1147 |
| 2 | 1391 | 1539 | 1539 | 1537 | 1537 | 1539 | 1539 | 1537 | 1537 | 1535 | 1535 | 1537 | 1537 |
| 3 | 1660 | 1997 | 1997 | 1994 | 1994 | 1979 | 1979 | 1927 | 1927 | 1941 | 1941 | 1927 | 1927 |
| 4 | 1928 | 2455 | 2455 | 2451 | 2451 | 2420 | 2420 | 2316 | 2316 | 2347 | 2347 | 2316 | 2316 |
| 5 | 1120 | 1097 | 1097 | 1089 | 1089 | 1109 | 1109 | 1146 | 1146 | 1126 | 1126 | 1146 | 1146 |
| 6 | 1388 | 1554 | 1554 | 1546 | 1546 | 1550 | 1550 | 1536 | 1536 | 1532 | 1532 | 1536 | 1536 |
| 7 | 1656 | 2012 | 2012 | 2002 | 2002 | 1990 | 1990 | 1925 | 1925 | 1938 | 1938 | 1925 | 1925 |
| 8 | 1925 | 2470 | 2470 | 2459 | 2459 | 2431 | 2431 | 2315 | 2315 | 2344 | 2344 | 2315 | 2315 |
| 9 | 1116 | 1112 | 1112 | 1097 | 1097 | 1120 | 1120 | 1145 | 1145 | 1122 | 1122 | 1145 | 1145 |
| 10 | 1385 | 1569 | 1569 | 1554 | 1554 | 1561 | 1561 | 1535 | 1535 | 1528 | 1528 | 1535 | 1535 |
| 11 | 1653 | 2027 | 2027 | 2011 | 2011 | 2001 | 2001 | 1924 | 1924 | 1934 | 1934 | 1924 | 1924 |
| 12 | 1922 | 2485 | 2485 | 2468 | 2468 | 2442 | 2442 | 2314 | 2314 | 2340 | 2340 | 2314 | 2314 |
| 13 | 1113 | 1127 | 1127 | 1105 | 1105 | 1131 | 1131 | 1144 | 1144 | 1118 | 1118 | 1144 | 1144 |
| 14 | 1382 | 1584 | 1584 | 1562 | 1562 | 1572 | 1572 | 1534 | 1534 | 1524 | 1524 | 1534 | 1534 |
| 15 | 1650 | 2042 | 2042 | 2019 | 2019 | 2012 | 2012 | 1923 | 1923 | 1930 | 1930 | 1923 | 1923 |
| 16 | 1919 | 2500 | 2500 | 2476 | 2476 | 2453 | 2453 | 2313 | 2313 | 2336 | 2336 | 2313 | 2313 |
| 17 | 1110 | 1142 | 1142 | 1114 | 1114 | 1142 | 1142 | 1143 | 1143 | 1114 | 1114 | 1143 | 1143 |
| 18 | 1379 | 1600 | 1600 | 1571 | 1571 | 1583 | 1583 | 1532 | 1532 | 1520 | 1520 | 1532 | 1532 |
| 19 | 1647 | 2057 | 2057 | 2028 | 2028 | 2024 | 2024 | 1922 | 1922 | 1926 | 1926 | 1922 | 1922 |
| 20 | 1916 | 2515 | 2515 | 2485 | 2485 | 2464 | 2464 | 2312 | 2312 | 2332 | 2332 | 2312 | 2312 |
| 21 | 1107 | 1157 | 1157 | 1122 | 1122 | 1153 | 1153 | 1142 | 1142 | 1111 | 1111 | 1142 | 1142 |
| 22 | 1376 | 1615 | 1615 | 1579 | 1579 | 1594 | 1594 | 1531 | 1531 | 1517 | 1517 | 1531 | 1531 |
| 23 | 1644 | 2072 | 2072 | 2036 | 2036 | 2035 | 2035 | 1921 | 1921 | 1922 | 1922 | 1921 | 1921 |
| 24 | 1912 | 2530 | 2530 | 2493 | 2493 | 2475 | 2475 | 2311 | 2311 | 2328 | 2328 | 2311 | 2311 |
| max n° palo | 1928 | 2530 | 2530 | 2493 | 2493 | 2475 | 2475 | 2316 | 2316 | 2347 | 2347 | 2316 | 2316 |
| min n° palo | 4 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| max n° palo | 1107 | 1081 | 1081 | 1080 | 1080 | 1098 | 1098 | 1142 | 1142 | 1111 | 1111 | 1142 | 1142 |
| min n° palo | 21 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| | Gruppo 1 centr. Bmax | Gruppo 1 ecc. Bmax | Gruppo 2a centr. Bmax | Gruppo 2a ecc. Bmax | Gruppo 2b centr. Bmax | Gruppo 2b ecc. Bmax | Gruppo 1 centr. Bmin | Gruppo 1 ecc. Bmin | Gruppo 2a centr. Bmin | Gruppo 2a ecc. Bmin | Gruppo 2b centr. Bmin | Gruppo 2b ecc. Bmin | |
| Palo n° | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN | |
| 1 | 1147 | 1147 | 1130 | 1130 | 1147 | 1147 | 1147 | 1147 | 1130 | 1130 | 1147 | 1147 | |
| 2 | 1537 | 1537 | 1535 | 1535 | 1537 | 1537 | 1537 | 1537 | 1535 | 1535 | 1537 | 1537 | |
| 3 | 1927 | 1927 | 1941 | 1941 | 1927 | 1927 | 1927 | 1927 | 1941 | 1941 | 1927 | 1927 | |
| 4 | 2316 | 2316 | 2347 | 2347 | 2316 | 2316 | 2316 | 2316 | 2347 | 2347 | 2316 | 2316 | |
| 5 | 1146 | 1146 | 1126 | 1126 | 1146 | 1146 | 1146 | 1146 | 1126 | 1126 | 1146 | 1146 | |
| 6 | 1536 | 1536 | 1532 | 1532 | 1536 | 1536 | 1536 | 1536 | 1532 | 1532 | 1536 | 1536 | |
| 7 | 1925 | 1925 | 1938 | 1938 | 1925 | 1925 | 1925 | 1925 | 1938 | 1938 | 1925 | 1925 | |
| 8 | 2315 | 2315 | 2344 | 2344 | 2315 | 2315 | 2315 | 2315 | 2344 | 2344 | 2315 | 2315 | |
| 9 | 1145 | 1145 | 1122 | 1122 | 1145 | 1145 | 1145 | 1145 | 1122 | 1122 | 1145 | 1145 | |
| 10 | 1535 | 1535 | 1528 | 1528 | 1535 | 1535 | 1535 | 1535 | 1528 | 1528 | 1535 | 1535 | |
| 11 | 1924 | 1924 | 1934 | 1934 | 1924 | 1924 | 1924 | 1924 | 1934 | 1934 | 1924 | 1924 | |
| 12 | 2314 | 2314 | 2340 | 2340 | 2314 | 2314 | 2314 | 2314 | 2340 | 2340 | 2314 | 2314 | |
| 13 | 1144 | 1144 | 1118 | 1118 | 1144 | 1144 | 1144 | 1144 | 1118 | 1118 | 1144 | 1144 | |
| 14 | 1534 | 1534 | 1524 | 1524 | 1534 | 1534 | 1534 | 1534 | 1524 | 1524 | 1534 | 1534 | |
| 15 | 1923 | 1923 | 1930 | 1930 | 1923 | 1923 | 1923 | 1923 | 1930 | 1930 | 1923 | 1923 | |
| 16 | 2313 | 2313 | 2336 | 2336 | 2313 | 2313 | 2313 | 2313 | 2336 | 2336 | 2313 | 2313 | |
| 17 | 1143 | 1143 | 1114 | 1114 | 1143 | 1143 | 1143 | 1143 | 1114 | 1114 | 1143 | 1143 | |
| 18 | 1532 | 1532 | 1520 | 1520 | 1532 | 1532 | 1532 | 1532 | 1520 | 1520 | 1532 | 1532 | |
| 19 | 1922 | 1922 | 1926 | 1926 | 1922 | 1922 | 1922 | 1922 | 1926 | 1926 | 1922 | 1922 | |
| 20 | 2312 | 2312 | 2332 | 2332 | 2312 | 2312 | 2312 | 2312 | 2332 | 2332 | 2312 | 2312 | |
| 21 | 1142 | 1142 | 1111 | 1111 | 1142 | 1142 | 1142 | 1142 | 1111 | 1111 | 1142 | 1142 | |
| 22 | 1531 | 1531 | 1517 | 1517 | 1531 | 1531 | 1531 | 1531 | 1517 | 1517 | 1531 | 1531 | |
| 23 | 1921 | 1921 | 1922 | 1922 | 1921 | 1921 | 1921 | 1921 | 1922 | 1922 | 1921 | 1921 | |
| 24 | 2311 | 2311 | 2328 | 2328 | 2311 | 2311 | 2311 | 2311 | 2328 | 2328 | 2311 | 2311 | |
| max n° palo | 2316 | 2316 | 2347 | 2347 | 2316 | 2316 | 2316 | 2316 | 2347 | 2347 | 2316 | 2316 | |
| min n° palo | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | |
| max n° palo | 1142 | 1142 | 1111 | 1111 | 1142 | 1142 | 1142 | 1142 | 1111 | 1111 | 1142 | 1142 | |
| min n° palo | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | |
| max | 2530 | | | | | | | | | | | | |
| min | 1080 | | | | | | | | | | | | |

SLE frequenti

| SOLL. TOTALI NEL BARICENTRO DELLA PALIFICATA | | | | | | | | |
|---|----------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| C.C. | N | T_x | T_y | M_x | M_y | N_{max/palo} | N_{min/palo} | T_{palo} |
| n° | kN | kN | kN | kNm | kNm | kN | kN | kN |
| Vento a ponte scarico | 36421 | 7169 | 54 | 234 | 24159 | 1923 | 1112 | 299 |
| Gruppo 1 centr. A _{max} | 41610 | 9095 | 18 | -2743 | 36937 | 2382 | 1085 | 379 |
| Gruppo 1 ecc. A _{max} | 41610 | 9095 | 18 | -2743 | 36937 | 2382 | 1085 | 379 |
| Gruppo 2a centr. A _{max} | 41610 | 9159 | 63 | -2324 | 38031 | 2395 | 1072 | 382 |
| Gruppo 2a ecc. A _{max} | 41610 | 9159 | 63 | -2324 | 38031 | 2395 | 1072 | 382 |
| Gruppo 2b centr. A _{max} | 41610 | 9095 | 18 | -2743 | 36937 | 2382 | 1085 | 379 |
| Gruppo 2b ecc. A _{max} | 41610 | 9095 | 18 | -2743 | 36937 | 2382 | 1085 | 379 |
| Gruppo 1 centr. A _{min} | 40227 | 9095 | 18 | -185 | 32346 | 2217 | 1135 | 379 |
| Gruppo 1 ecc. A _{min} | 40227 | 9095 | 18 | -185 | 32346 | 2217 | 1135 | 379 |
| Gruppo 2a centr. A _{min} | 40227 | 9159 | 63 | 233 | 33439 | 2236 | 1116 | 382 |
| Gruppo 2a ecc. A _{min} | 40227 | 9159 | 63 | 233 | 33439 | 2236 | 1116 | 382 |
| Gruppo 2b centr. A _{min} | 40227 | 9095 | 18 | -185 | 32346 | 2217 | 1135 | 379 |
| Gruppo 2b ecc. A _{min} | 40227 | 9095 | 18 | -185 | 32346 | 2217 | 1135 | 379 |
| Gruppo 1 centr. B _{max} | 40227 | 9095 | 18 | -185 | 32346 | 2217 | 1135 | 379 |
| Gruppo 1 ecc. B _{max} | 40227 | 9095 | 18 | -185 | 32346 | 2217 | 1135 | 379 |
| Gruppo 2a centr. B _{max} | 40227 | 9159 | 63 | 233 | 33439 | 2236 | 1116 | 382 |
| Gruppo 2a ecc. B _{max} | 40227 | 9159 | 63 | 233 | 33439 | 2236 | 1116 | 382 |
| Gruppo 2b centr. B _{max} | 40227 | 9095 | 18 | -185 | 32346 | 2217 | 1135 | 379 |
| Gruppo 2b ecc. B _{max} | 40227 | 9095 | 18 | -185 | 32346 | 2217 | 1135 | 379 |
| Gruppo 1 centr. B _{min} | 40227 | 9095 | 18 | -185 | 32346 | 2217 | 1135 | 379 |
| Gruppo 1 ecc. B _{min} | 40227 | 9095 | 18 | -185 | 32346 | 2217 | 1135 | 379 |
| Gruppo 2a centr. B _{min} | 40227 | 9159 | 63 | 233 | 33439 | 2236 | 1116 | 382 |
| Gruppo 2a ecc. B _{min} | 40227 | 9159 | 63 | 233 | 33439 | 2236 | 1116 | 382 |
| Gruppo 2b centr. B _{min} | 40227 | 9095 | 18 | -185 | 32346 | 2217 | 1135 | 379 |
| Gruppo 2b ecc. B _{min} | 40227 | 9095 | 18 | -185 | 32346 | 2217 | 1135 | 379 |

CV17 - RELAZIONE GEOTECNICA- PALI DI FONDAZIONE SPALLE

| | Vento a ponte scarico | Gruppo 1 centr. Amax | Gruppo 1 ecc. Amax | Gruppo 2a centr. Amax | Gruppo 2a ecc. Amax | Gruppo 2b centr. Amax | Gruppo 2b ecc. Amax | Gruppo 1 centr. Amin | Gruppo 1 ecc. Amin | Gruppo 2a centr. Amin | Gruppo 2a ecc. Amin | Gruppo 2b centr. Amin | Gruppo 2b ecc. Amin |
|--------------------|-----------------------|----------------------|--------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|----------------------|--------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|
| Palo n° | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN |
| 1 | 1118 | 1085 | 1085 | 1072 | 1072 | 1085 | 1085 | 1135 | 1135 | 1122 | 1122 | 1135 | 1135 |
| 2 | 1386 | 1496 | 1496 | 1495 | 1495 | 1496 | 1496 | 1494 | 1494 | 1493 | 1493 | 1494 | 1494 |
| 3 | 1655 | 1906 | 1906 | 1917 | 1917 | 1906 | 1906 | 1854 | 1854 | 1865 | 1865 | 1854 | 1854 |
| 4 | 1923 | 2317 | 2317 | 2340 | 2340 | 2317 | 2317 | 2213 | 2213 | 2236 | 2236 | 2213 | 2213 |
| 5 | 1117 | 1099 | 1099 | 1083 | 1083 | 1099 | 1099 | 1136 | 1136 | 1120 | 1120 | 1136 | 1136 |
| 6 | 1385 | 1509 | 1509 | 1506 | 1506 | 1509 | 1509 | 1495 | 1495 | 1492 | 1492 | 1495 | 1495 |
| 7 | 1653 | 1919 | 1919 | 1928 | 1928 | 1919 | 1919 | 1854 | 1854 | 1864 | 1864 | 1854 | 1854 |
| 8 | 1922 | 2330 | 2330 | 2351 | 2351 | 2330 | 2330 | 2214 | 2214 | 2235 | 2235 | 2214 | 2214 |
| 9 | 1115 | 1112 | 1112 | 1094 | 1094 | 1112 | 1112 | 1137 | 1137 | 1119 | 1119 | 1137 | 1137 |
| 10 | 1384 | 1522 | 1522 | 1517 | 1517 | 1522 | 1522 | 1496 | 1496 | 1491 | 1491 | 1496 | 1496 |
| 11 | 1652 | 1932 | 1932 | 1939 | 1939 | 1932 | 1932 | 1855 | 1855 | 1862 | 1862 | 1855 | 1855 |
| 12 | 1921 | 2343 | 2343 | 2362 | 2362 | 2343 | 2343 | 2215 | 2215 | 2234 | 2234 | 2215 | 2215 |
| 13 | 1114 | 1125 | 1125 | 1105 | 1105 | 1125 | 1125 | 1137 | 1137 | 1118 | 1118 | 1137 | 1137 |
| 14 | 1383 | 1535 | 1535 | 1528 | 1528 | 1535 | 1535 | 1497 | 1497 | 1490 | 1490 | 1497 | 1497 |
| 15 | 1651 | 1945 | 1945 | 1951 | 1951 | 1945 | 1945 | 1856 | 1856 | 1861 | 1861 | 1856 | 1856 |
| 16 | 1920 | 2356 | 2356 | 2373 | 2373 | 2356 | 2356 | 2216 | 2216 | 2233 | 2233 | 2216 | 2216 |
| 17 | 1113 | 1138 | 1138 | 1116 | 1116 | 1138 | 1138 | 1138 | 1138 | 1117 | 1117 | 1138 | 1138 |
| 18 | 1382 | 1548 | 1548 | 1539 | 1539 | 1548 | 1548 | 1498 | 1498 | 1489 | 1489 | 1498 | 1498 |
| 19 | 1650 | 1959 | 1959 | 1962 | 1962 | 1959 | 1959 | 1857 | 1857 | 1860 | 1860 | 1857 | 1857 |
| 20 | 1919 | 2369 | 2369 | 2384 | 2384 | 2369 | 2369 | 2217 | 2217 | 2232 | 2232 | 2217 | 2217 |
| 21 | 1112 | 1151 | 1151 | 1128 | 1128 | 1151 | 1151 | 1139 | 1139 | 1116 | 1116 | 1139 | 1139 |
| 22 | 1381 | 1561 | 1561 | 1550 | 1550 | 1561 | 1561 | 1499 | 1499 | 1488 | 1488 | 1499 | 1499 |
| 23 | 1649 | 1972 | 1972 | 1973 | 1973 | 1972 | 1972 | 1858 | 1858 | 1859 | 1859 | 1858 | 1858 |
| 24 | 1917 | 2382 | 2382 | 2395 | 2395 | 2382 | 2382 | 2217 | 2217 | 2231 | 2231 | 2217 | 2217 |
| max n° palo | 1923 | 2382 | 2382 | 2395 | 2395 | 2382 | 2382 | 2217 | 2217 | 2236 | 2236 | 2217 | 2217 |
| min n° palo | 4 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 4 | 4 | 24 | 24 |
| max n° palo | 1112 | 1085 | 1085 | 1072 | 1072 | 1085 | 1085 | 1135 | 1135 | 1116 | 1116 | 1135 | 1135 |
| min n° palo | 21 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 21 | 21 | 1 | 1 |

| | Gruppo 1 centr. Bmax | Gruppo 1 ecc. Bmax | Gruppo 2a centr. Bmax | Gruppo 2a ecc. Bmax | Gruppo 2b centr. Bmax | Gruppo 2b ecc. Bmax | Gruppo 1 centr. Bmin | Gruppo 1 ecc. Bmin | Gruppo 2a centr. Bmin | Gruppo 2a ecc. Bmin | Gruppo 2b centr. Bmin | Gruppo 2b ecc. Bmin |
|--------------------|----------------------|--------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|----------------------|--------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|
| Palo n° | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN |
| 1 | 1135 | 1135 | 1122 | 1122 | 1135 | 1135 | 1135 | 1135 | 1122 | 1122 | 1135 | 1135 |
| 2 | 1494 | 1494 | 1493 | 1493 | 1494 | 1494 | 1494 | 1494 | 1493 | 1493 | 1494 | 1494 |
| 3 | 1854 | 1854 | 1865 | 1865 | 1854 | 1854 | 1854 | 1854 | 1865 | 1865 | 1854 | 1854 |
| 4 | 2213 | 2213 | 2236 | 2236 | 2213 | 2213 | 2213 | 2213 | 2236 | 2236 | 2213 | 2213 |
| 5 | 1136 | 1136 | 1120 | 1120 | 1136 | 1136 | 1136 | 1136 | 1120 | 1120 | 1136 | 1136 |
| 6 | 1495 | 1495 | 1492 | 1492 | 1495 | 1495 | 1495 | 1495 | 1492 | 1492 | 1495 | 1495 |
| 7 | 1854 | 1854 | 1864 | 1864 | 1854 | 1854 | 1854 | 1854 | 1864 | 1864 | 1854 | 1854 |
| 8 | 2214 | 2214 | 2235 | 2235 | 2214 | 2214 | 2214 | 2214 | 2235 | 2235 | 2214 | 2214 |
| 9 | 1137 | 1137 | 1119 | 1119 | 1137 | 1137 | 1137 | 1137 | 1119 | 1119 | 1137 | 1137 |
| 10 | 1496 | 1496 | 1491 | 1491 | 1496 | 1496 | 1496 | 1496 | 1491 | 1491 | 1496 | 1496 |
| 11 | 1855 | 1855 | 1862 | 1862 | 1855 | 1855 | 1855 | 1855 | 1862 | 1862 | 1855 | 1855 |
| 12 | 2215 | 2215 | 2234 | 2234 | 2215 | 2215 | 2215 | 2215 | 2234 | 2234 | 2215 | 2215 |
| 13 | 1137 | 1137 | 1118 | 1118 | 1137 | 1137 | 1137 | 1137 | 1118 | 1118 | 1137 | 1137 |
| 14 | 1497 | 1497 | 1490 | 1490 | 1497 | 1497 | 1497 | 1497 | 1490 | 1490 | 1497 | 1497 |
| 15 | 1856 | 1856 | 1861 | 1861 | 1856 | 1856 | 1856 | 1856 | 1861 | 1861 | 1856 | 1856 |
| 16 | 2216 | 2216 | 2233 | 2233 | 2216 | 2216 | 2216 | 2216 | 2233 | 2233 | 2216 | 2216 |
| 17 | 1138 | 1138 | 1117 | 1117 | 1138 | 1138 | 1138 | 1138 | 1117 | 1117 | 1138 | 1138 |
| 18 | 1498 | 1498 | 1489 | 1489 | 1498 | 1498 | 1498 | 1498 | 1489 | 1489 | 1498 | 1498 |
| 19 | 1857 | 1857 | 1860 | 1860 | 1857 | 1857 | 1857 | 1857 | 1860 | 1860 | 1857 | 1857 |
| 20 | 2217 | 2217 | 2232 | 2232 | 2217 | 2217 | 2217 | 2217 | 2232 | 2232 | 2217 | 2217 |
| 21 | 1139 | 1139 | 1116 | 1116 | 1139 | 1139 | 1139 | 1139 | 1116 | 1116 | 1139 | 1139 |
| 22 | 1499 | 1499 | 1488 | 1488 | 1499 | 1499 | 1499 | 1499 | 1488 | 1488 | 1499 | 1499 |
| 23 | 1858 | 1858 | 1859 | 1859 | 1858 | 1858 | 1858 | 1858 | 1859 | 1859 | 1858 | 1858 |
| 24 | 2217 | 2217 | 2231 | 2231 | 2217 | 2217 | 2217 | 2217 | 2231 | 2231 | 2217 | 2217 |
| max n° palo | 2217 | 2217 | 2236 | 2236 | 2217 | 2217 | 2217 | 2217 | 2236 | 2236 | 2217 | 2217 |
| min n° palo | 24 | 24 | 4 | 4 | 24 | 24 | 24 | 24 | 4 | 4 | 24 | 24 |
| max n° palo | 1135 | 1135 | 1116 | 1116 | 1135 | 1135 | 1135 | 1135 | 1116 | 1116 | 1135 | 1135 |
| min n° palo | 1 | 1 | 21 | 21 | 1 | 1 | 1 | 1 | 21 | 21 | 1 | 1 |

| | |
|------------|-------------|
| max | 2395 |
| min | 1072 |

SLE quasi permanenti

SOLL. TOTALI NEL BARICENTRO DELLA PALIFICATA

| C.C. n° | N kN | T _x kN | T _y kN | M _x kNm | M _y kNm | N _{max/palo} kN | N _{min/palo} kN | T _{/palo} kN |
|-----------------------------------|---------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| Vento a ponte scarico | 36421 | 7034 | 0 | -395 | 22905 | 1904 | 1131 | 293 |
| Gruppo 1 centr. A _{max} | 36421 | 7034 | 0 | -395 | 22905 | 1904 | 1131 | 293 |
| Gruppo 1 ecc. A _{max} | 36421 | 7034 | 0 | -395 | 22905 | 1904 | 1131 | 293 |
| Gruppo 2a centr. A _{max} | 36421 | 7034 | 0 | -395 | 22905 | 1904 | 1131 | 293 |
| Gruppo 2a ecc. A _{max} | 36421 | 7034 | 0 | -395 | 22905 | 1904 | 1131 | 293 |
| Gruppo 2b centr. A _{max} | 36421 | 7034 | 0 | -395 | 22905 | 1904 | 1131 | 293 |
| Gruppo 2b ecc. A _{max} | 36421 | 7034 | 0 | -395 | 22905 | 1904 | 1131 | 293 |
| Gruppo 1 centr. A _{min} | 36421 | 7034 | 0 | -395 | 22905 | 1904 | 1131 | 293 |
| Gruppo 1 ecc. A _{min} | 36421 | 7034 | 0 | -395 | 22905 | 1904 | 1131 | 293 |
| Gruppo 2a centr. A _{min} | 36421 | 7034 | 0 | -395 | 22905 | 1904 | 1131 | 293 |
| Gruppo 2a ecc. A _{min} | 36421 | 7034 | 0 | -395 | 22905 | 1904 | 1131 | 293 |
| Gruppo 2b centr. A _{min} | 36421 | 7034 | 0 | -395 | 22905 | 1904 | 1131 | 293 |
| Gruppo 2b ecc. A _{min} | 36421 | 7034 | 0 | -395 | 22905 | 1904 | 1131 | 293 |
| Gruppo 1 centr. B _{max} | 36421 | 7034 | 0 | -395 | 22905 | 1904 | 1131 | 293 |
| Gruppo 1 ecc. B _{max} | 36421 | 7034 | 0 | -395 | 22905 | 1904 | 1131 | 293 |
| Gruppo 2a centr. B _{max} | 36421 | 7034 | 0 | -395 | 22905 | 1904 | 1131 | 293 |
| Gruppo 2a ecc. B _{max} | 36421 | 7034 | 0 | -395 | 22905 | 1904 | 1131 | 293 |
| Gruppo 2b centr. B _{max} | 36421 | 7034 | 0 | -395 | 22905 | 1904 | 1131 | 293 |
| Gruppo 2b ecc. B _{max} | 36421 | 7034 | 0 | -395 | 22905 | 1904 | 1131 | 293 |
| Gruppo 1 centr. B _{min} | 36421 | 7034 | 0 | -395 | 22905 | 1904 | 1131 | 293 |
| Gruppo 1 ecc. B _{min} | 36421 | 7034 | 0 | -395 | 22905 | 1904 | 1131 | 293 |
| Gruppo 2a centr. B _{min} | 36421 | 7034 | 0 | -395 | 22905 | 1904 | 1131 | 293 |
| Gruppo 2a ecc. B _{min} | 36421 | 7034 | 0 | -395 | 22905 | 1904 | 1131 | 293 |
| Gruppo 2b centr. B _{min} | 36421 | 7034 | 0 | -395 | 22905 | 1904 | 1131 | 293 |
| Gruppo 2b ecc. B _{min} | 36421 | 7034 | 0 | -395 | 22905 | 1904 | 1131 | 293 |

| | Vento a ponte scarico | Gruppo 1 centr. Amax | Gruppo 1 ecc. Amax | Gruppo 2a centr. Amax | Gruppo 2a ecc. Amax | Gruppo 2b centr. Amax | Gruppo 2b ecc. Amax | Gruppo 1 centr. Amin | Gruppo 1 ecc. Amin | Gruppo 2a centr. Amin | Gruppo 2a ecc. Amin | Gruppo 2b centr. Amin | Gruppo 2b ecc. Amin |
|--------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|
| Palo n° | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN |
| 1 | 1131 | 1131 | 1131 | 1131 | 1131 | 1131 | 1131 | 1131 | 1131 | 1131 | 1131 | 1131 | 1131 |
| 2 | 1386 | 1386 | 1386 | 1386 | 1386 | 1386 | 1386 | 1386 | 1386 | 1386 | 1386 | 1386 | 1386 |
| 3 | 1640 | 1640 | 1640 | 1640 | 1640 | 1640 | 1640 | 1640 | 1640 | 1640 | 1640 | 1640 | 1640 |
| 4 | 1895 | 1895 | 1895 | 1895 | 1895 | 1895 | 1895 | 1895 | 1895 | 1895 | 1895 | 1895 | 1895 |
| 5 | 1133 | 1133 | 1133 | 1133 | 1133 | 1133 | 1133 | 1133 | 1133 | 1133 | 1133 | 1133 | 1133 |
| 6 | 1387 | 1387 | 1387 | 1387 | 1387 | 1387 | 1387 | 1387 | 1387 | 1387 | 1387 | 1387 | 1387 |
| 7 | 1642 | 1642 | 1642 | 1642 | 1642 | 1642 | 1642 | 1642 | 1642 | 1642 | 1642 | 1642 | 1642 |
| 8 | 1896 | 1896 | 1896 | 1896 | 1896 | 1896 | 1896 | 1896 | 1896 | 1896 | 1896 | 1896 | 1896 |
| 9 | 1135 | 1135 | 1135 | 1135 | 1135 | 1135 | 1135 | 1135 | 1135 | 1135 | 1135 | 1135 | 1135 |
| 10 | 1389 | 1389 | 1389 | 1389 | 1389 | 1389 | 1389 | 1389 | 1389 | 1389 | 1389 | 1389 | 1389 |
| 11 | 1644 | 1644 | 1644 | 1644 | 1644 | 1644 | 1644 | 1644 | 1644 | 1644 | 1644 | 1644 | 1644 |
| 12 | 1898 | 1898 | 1898 | 1898 | 1898 | 1898 | 1898 | 1898 | 1898 | 1898 | 1898 | 1898 | 1898 |
| 13 | 1137 | 1137 | 1137 | 1137 | 1137 | 1137 | 1137 | 1137 | 1137 | 1137 | 1137 | 1137 | 1137 |
| 14 | 1391 | 1391 | 1391 | 1391 | 1391 | 1391 | 1391 | 1391 | 1391 | 1391 | 1391 | 1391 | 1391 |
| 15 | 1646 | 1646 | 1646 | 1646 | 1646 | 1646 | 1646 | 1646 | 1646 | 1646 | 1646 | 1646 | 1646 |
| 16 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 |
| 17 | 1139 | 1139 | 1139 | 1139 | 1139 | 1139 | 1139 | 1139 | 1139 | 1139 | 1139 | 1139 | 1139 |
| 18 | 1393 | 1393 | 1393 | 1393 | 1393 | 1393 | 1393 | 1393 | 1393 | 1393 | 1393 | 1393 | 1393 |
| 19 | 1648 | 1648 | 1648 | 1648 | 1648 | 1648 | 1648 | 1648 | 1648 | 1648 | 1648 | 1648 | 1648 |
| 20 | 1902 | 1902 | 1902 | 1902 | 1902 | 1902 | 1902 | 1902 | 1902 | 1902 | 1902 | 1902 | 1902 |
| 21 | 1141 | 1141 | 1141 | 1141 | 1141 | 1141 | 1141 | 1141 | 1141 | 1141 | 1141 | 1141 | 1141 |
| 22 | 1395 | 1395 | 1395 | 1395 | 1395 | 1395 | 1395 | 1395 | 1395 | 1395 | 1395 | 1395 | 1395 |
| 23 | 1649 | 1649 | 1649 | 1649 | 1649 | 1649 | 1649 | 1649 | 1649 | 1649 | 1649 | 1649 | 1649 |
| 24 | 1904 | 1904 | 1904 | 1904 | 1904 | 1904 | 1904 | 1904 | 1904 | 1904 | 1904 | 1904 | 1904 |
| max n° palo | 1904 | 1904 | 1904 | 1904 | 1904 | 1904 | 1904 | 1904 | 1904 | 1904 | 1904 | 1904 | 1904 |
| min n° palo | 1131 | 1131 | 1131 | 1131 | 1131 | 1131 | 1131 | 1131 | 1131 | 1131 | 1131 | 1131 | 1131 |
| | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | Gruppo 1 centr. Bmax | Gruppo 1 ecc. Bmax | Gruppo 2a centr. Bmax | Gruppo 2a ecc. Bmax | Gruppo 2b centr. Bmin | Gruppo 2b ecc. Bmin | Gruppo 1 centr. Bmin | Gruppo 1 ecc. Bmin | Gruppo 2a centr. Bmin | Gruppo 2a ecc. Bmin | Gruppo 2b centr. Bmin | Gruppo 2b ecc. Bmin | |
| Palo n° | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN | N kN | |
| 1 | 1131 | 1131 | 1131 | 1131 | 1131 | 1131 | 1131 | 1131 | 1131 | 1131 | 1131 | 1131 | |
| 2 | 1386 | 1386 | 1386 | 1386 | 1386 | 1386 | 1386 | 1386 | 1386 | 1386 | 1386 | 1386 | |
| 3 | 1640 | 1640 | 1640 | 1640 | 1640 | 1640 | 1640 | 1640 | 1640 | 1640 | 1640 | 1640 | |
| 4 | 1895 | 1895 | 1895 | 1895 | 1895 | 1895 | 1895 | 1895 | 1895 | 1895 | 1895 | 1895 | |
| 5 | 1133 | 1133 | 1133 | 1133 | 1133 | 1133 | 1133 | 1133 | 1133 | 1133 | 1133 | 1133 | |
| 6 | 1387 | 1387 | 1387 | 1387 | 1387 | 1387 | 1387 | 1387 | 1387 | 1387 | 1387 | 1387 | |
| 7 | 1642 | 1642 | 1642 | 1642 | 1642 | 1642 | 1642 | 1642 | 1642 | 1642 | 1642 | 1642 | |
| 8 | 1896 | 1896 | 1896 | 1896 | 1896 | 1896 | 1896 | 1896 | 1896 | 1896 | 1896 | 1896 | |
| 9 | 1135 | 1135 | 1135 | 1135 | 1135 | 1135 | 1135 | 1135 | 1135 | 1135 | 1135 | 1135 | |
| 10 | 1389 | 1389 | 1389 | 1389 | 1389 | 1389 | 1389 | 1389 | 1389 | 1389 | 1389 | 1389 | |
| 11 | 1644 | 1644 | 1644 | 1644 | 1644 | 1644 | 1644 | 1644 | 1644 | 1644 | 1644 | 1644 | |
| 12 | 1898 | 1898 | 1898 | 1898 | 1898 | 1898 | 1898 | 1898 | 1898 | 1898 | 1898 | 1898 | |
| 13 | 1137 | 1137 | 1137 | 1137 | 1137 | 1137 | 1137 | 1137 | 1137 | 1137 | 1137 | 1137 | |
| 14 | 1391 | 1391 | 1391 | 1391 | 1391 | 1391 | 1391 | 1391 | 1391 | 1391 | 1391 | 1391 | |
| 15 | 1646 | 1646 | 1646 | 1646 | 1646 | 1646 | 1646 | 1646 | 1646 | 1646 | 1646 | 1646 | |
| 16 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | |
| 17 | 1139 | 1139 | 1139 | 1139 | 1139 | 1139 | 1139 | 1139 | 1139 | 1139 | 1139 | 1139 | |
| 18 | 1393 | 1393 | 1393 | 1393 | 1393 | 1393 | 1393 | 1393 | 1393 | 1393 | 1393 | 1393 | |
| 19 | 1648 | 1648 | 1648 | 1648 | 1648 | 1648 | 1648 | 1648 | 1648 | 1648 | 1648 | 1648 | |
| 20 | 1902 | 1902 | 1902 | 1902 | 1902 | 1902 | 1902 | 1902 | 1902 | 1902 | 1902 | 1902 | |
| 21 | 1141 | 1141 | 1141 | 1141 | 1141 | 1141 | 1141 | 1141 | 1141 | 1141 | 1141 | 1141 | |
| 22 | 1395 | 1395 | 1395 | 1395 | 1395 | 1395 | 1395 | 1395 | 1395 | 1395 | 1395 | 1395 | |
| 23 | 1649 | 1649 | 1649 | 1649 | 1649 | 1649 | 1649 | 1649 | 1649 | 1649 | 1649 | 1649 | |
| 24 | 1904 | 1904 | 1904 | 1904 | 1904 | 1904 | 1904 | 1904 | 1904 | 1904 | 1904 | 1904 | |
| max n° palo | 1904 | 1904 | 1904 | 1904 | 1904 | 1904 | 1904 | 1904 | 1904 | 1904 | 1904 | 1904 | |
| min n° palo | 1131 | 1131 | 1131 | 1131 | 1131 | 1131 | 1131 | 1131 | 1131 | 1131 | 1131 | 1131 | |
| | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| max | 1904 | | | | | | | | | | | | |
| min | 1131 | | | | | | | | | | | | |

7.2 CRITERI DI VERIFICA

Per quanto attiene alla verifica dei pali di fondazione, secondo le indicazioni contenute nelle "Norme Tecniche per le Costruzioni" 2018, le verifiche di sicurezza relative allo Stato Limite Ultimo e in condizioni sismiche, con riferimento alla combinazione di Salvaguardia della Vita (SLV) impongono che:

$$Ed \leq Rd$$

essendo E_d il valore di progetto dell'azione o degli effetti delle azioni ed R_d il valore di progetto della resistenza del terreno.

Rimandando al N.T.C. per i dettagli, le verifiche saranno svolte con la seguente combinazione:

Approccio 2

“A1+M1+R3”;

Nel seguente prospetto sono indicati i coefficienti parziali da applicare ai principali parametri fisico-meccanici del terreno:

Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

| Parametro | Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale | Coefficiente parziale γ_M | (M1) | (M2) |
|--|---|----------------------------------|------|------|
| Tangente dell'angolo di resistenza al taglio | $\tan \varphi'_k$ | $\gamma_{\varphi'}$ | 1,0 | 1,25 |
| Coesione efficace | c'_k | γ_c | 1,0 | 1,25 |
| Resistenza non drenata | c_{uk} | γ_{cu} | 1,0 | 1,4 |
| Peso dell'unità di volume | γ_γ | γ_γ | 1,0 | 1,0 |

I coefficienti parziali da applicare alle Resistenze per carichi assiali, risultano i seguenti:

Tab. 6.4.II – Coefficienti parziali γ_R da applicare alle resistenze caratteristiche a carico verticale dei pali

| Resistenza | Simbolo | Pali infissi | Pali trivellati | Pali ad elica continua |
|--------------------------|---------------|--------------|-----------------|------------------------|
| | γ_R | (R3) | (R3) | (R3) |
| Base | γ_b | 1,15 | 1,35 | 1,3 |
| Laterale in compressione | γ_s | 1,15 | 1,15 | 1,15 |
| Totale (*) | γ | 1,15 | 1,30 | 1,25 |
| Laterale in trazione | γ_{st} | 1,25 | 1,25 | 1,25 |

(*) da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

Il coefficiente parziali da applicare alle Resistenze per carichi trasversali invece, risulta il seguente:

Tab. 6.4.VI - Coefficiente parziale γ_T per le verifiche agli stati limite ultimi di pali soggetti a carichi trasversali

| Coefficiente parziale (R3) |
|----------------------------|
| $\gamma_T = 1,3$ |

La resistenza di progetto del palo soggetto a carichi assiali si ottiene mediante le seguenti relazioni:

$$R_d = \frac{R_{c,k}}{\gamma_R} : \text{resistenza a compressione}$$

$$R_d = \frac{R_{t,k}}{\gamma_R} : \text{resistenza a trazione}$$

con:

- $R_{c,k} = \min \left\{ \frac{(R_{c,cal})_{media}}{\xi_3}; \frac{(R_{c,cal})_{min}}{\xi_4} \right\}$: resistenza caratt. palo soggetto a carichi assiali di compressione;
- $R_{t,k} = \min \left\{ \frac{(R_{t,cal})_{media}}{\xi_3}; \frac{(R_{t,cal})_{min}}{\xi_4} \right\}$: resistenza caratt. del palo soggetto a carichi assiali di trazione;
- $R_{c,cal}$ ($R_{t,cal}$): resistenza di calcolo del palo soggetto a carichi assiali di compressione (di trazione);
- ξ_3 e ξ_4 : coefficienti che dipendono dal numero di verticali di indagini considerate per la singola opera, sulla base dell'affidabilità della caratterizzazione geotecnica nel volume significativo, i cui valori sono indicati nella Tabella 6.4.IV seguente tratta dal D.M. 17/01/2018.

Tabella 6.4.IV – Fattori di correlazione ξ per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate.

| Numero di verticali indagate | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 7 | ≥ 10 |
|------------------------------|------|------|------|------|------|------|-----------|
| ξ_3 | 1.70 | 1.65 | 1.60 | 1.55 | 1.50 | 1.45 | 1.40 |
| ξ_4 | 1.70 | 1.55 | 1.48 | 1.42 | 1.34 | 1.28 | 1.21 |

- γ_R : coefficiente parziale per le verifiche agli stati limite ultimi di pali soggetti a carichi assiali i cui valori sono riportati nella Tabella 6.4.II seguente tratta dal D.M. 17/01/2018.

Tab. 6.4.II – Coefficienti parziali γ_R da applicare alle resistenze caratteristiche a carico verticale dei pali

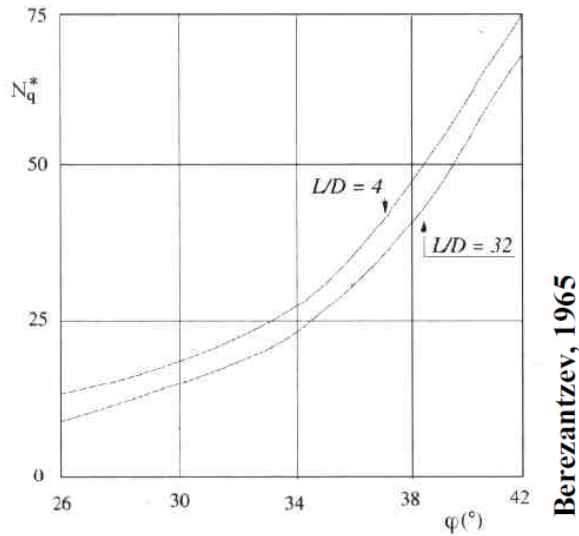
| Resistenza | Simbolo | Pali infissi | Pali trivellati | Pali ad elica continua |
|--------------------------|---------------|--------------|-----------------|------------------------|
| | γ_R | (R3) | (R3) | (R3) |
| Base | γ_b | 1,15 | 1,35 | 1,3 |
| Laterale in compressione | γ_s | 1,15 | 1,15 | 1,15 |
| Totale ^(*) | γ | 1,15 | 1,30 | 1,25 |
| Laterale in trazione | γ_{st} | 1,25 | 1,25 | 1,25 |

^(*) da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

7.3 CALCOLO DELLA CAPACITÀ PORTANTE LIMITE

Nel calcolo della resistenza della capacità portante limite per pali di grande diametro si considera il seguente grafico per il calcolo di N_q^* di Berezantzev, 1965.

CARICO LIMITE Pali di grande diametro



Berezantzev, 1965

CALCOLO DELLA CAPACITA' PORTANTE DI UN PALO TRIVELLATO DI GRANDE DIAMETRO

OPERA: CV17

DATI DI INPUT:

Diametro del Palo (D): 1.00 (m) Area del Palo (Ap): 0.785 (m²)
 Carico massimo sul palo Nd = 3760 (kN) Lpalo= 28.00 (m)
 (Comb. A1+M1+R3)

Fattori di correlazione in funzione delle verticali indagate:

ξ
 1.65

Coefficienti parziali γ_r da applicare alle resistenze caratteristiche a carico verticale dei pali

R3 Pali trivellati
 γ_b 1.35
 γ_s 1.15

Coefficiente parziale γ_t per le verifiche agli SLU di pali soggetti a carichi trasversali

R3
 γ_t 1.3

| n° strato | tipo terreno | ΔH_i [m] | H_f [m] | γ_n [kN/m ³] | γ' [kN/m ³] | N_{SPT} [-] | ϕ [°] | K [-] | c_u [kPa] | α [-] | c_a [kPa] |
|-----------|--------------|------------------|-----------|---------------------------------|--------------------------------|---------------|------------|-------|-------------|--------------|-------------|
| 1 | Ghiaia fald | 4.00 | 0.00 | 9.50 | 9.50 | 15.00 | 35.00 | 0.43 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | sabbia fald | 24.00 | 28.00 | 9.00 | 9.00 | 15.00 | 34.00 | 0.44 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

LEGENDA

- ΔH_i spessore dello strato
- H_f profondità dello strato dal p.c.
- γ_n peso specifico del terreno naturale
- γ' peso specifico efficace
- N_{SPT} Numero colpi al piede (solo granula)
- ϕ angolo di attrito (solo granulari)
- K rapporto tra σ_r/σ_v
- c_u coesione non drenata (solo coesivi)
- c_a adesione (solo coesivi)

(per il corretto funzionamento del foglio di calcolo si è indicato $\gamma_n=\gamma'$)

PORTATA ALLA BASE - protocollo di Berenzantzev

| n° strato | tipo terreno | ΔH_i [m] | H_f [m] | γ_n [kN/m ³] | γ' [kN/m ³] | N_{SPT} [-] | ϕ [°] | K [-] | c_u [kPa] | α [-] | c_a [kPa] |
|-----------|--------------|------------------|-----------|---------------------------------|--------------------------------|---------------|------------|---------|-------------|--------------|-------------|
| 2 | | 24.00 | 28.00 | 9.00 | 9.00 | 15.00 | 34.00 | 0.44 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

| | | | |
|-------------------------|--------------------------------|---------|-------------------|
| A_b | Area della base del palo | 0.79 | [m ²] |
| σ_{vL} | Pressione geostatica di base | 254 | [kPa] |
| $N_q = \sigma_{vL} B_k$ | Coeff. di pressione geostatica | 25.5 | |
| c | Coesione alla base | 0.00 | [kPa] |
| N_c | Coeff. di coesione | 0 | |
| $Q_{b,lim}$ | Portata limite di base | 5087.02 | [kN] |
| $Q_{b,amm}$ | Portata amm. di base | 2281.18 | [kN] |

PORTATA LATERALE - protocollo di Viggiani

| | | $\sigma_{v,i}$ | $\sigma_{v,(i+1)}$ | $\sigma_{v,med}$ | $\sigma_{n,med}$ | [kPa] | c_a | s |
|----------------|-----------------------------|----------------|--------------------|------------------|------------------|-------|-------|-------|
| $\sigma_{n,1}$ | tensione laterale strato 1° | 0 | 38 | 19 | 8.094 | [kPa] | 0.00 | 5.67 |
| $\sigma_{n,2}$ | tensione laterale strato 2° | 38 | 254 | 146 | 64.24 | [kPa] | 0.00 | 43.33 |
| $\sigma_{n,3}$ | tensione laterale strato 3° | 0 | 0 | 0 | 0 | [kPa] | 0.00 | 0.00 |
| $\sigma_{n,4}$ | tensione laterale strato 4° | 0 | 0 | 0 | 0 | [kPa] | 0.00 | 0.00 |
| $\sigma_{n,5}$ | tensione laterale strato 5° | 0 | 0 | 0 | 0 | [kPa] | 0.00 | 0.00 |
| $\sigma_{n,6}$ | tensione laterale strato 6° | 0 | 0 | 0 | 0 | [kPa] | 0.00 | 0.00 |
| $\sigma_{n,7}$ | tensione laterale strato 7° | 0 | 0 | 0 | 0 | [kPa] | 0.00 | 0.00 |
| $\sigma_{n,8}$ | tensione laterale strato 8° | 0 | 0 | 0 | 0 | [kPa] | 0.00 | 0.00 |
| $\sigma_{n,9}$ | tensione laterale strato 9° | 0 | 0 | 0 | 0 | [kPa] | 0.00 | 0.00 |

| | | | | | | |
|-------------|-------------------------|---------|------|--------------------------|--------|------|
| $Q_{l,lim}$ | Portata limite laterale | 3338.26 | [kN] | Peso proprio palo | 549.78 | [kN] |
| $Q_{l,amm}$ | Portata amm. laterale | 1756.98 | [kN] | | | |

Si considera il contributo del peso del palo considerando però che il volume dello stesso va a sostituire un egual volume di terreno:

| | |
|--------------------|----------|
| $\gamma_{terreno}$ | 19 kN/mc |
| γ_{cls} | 25 kN/mc |
| Peso palo = | 550 kN |
| Peso terreno = | 418 kN |
| $\Delta W =$ | 132 kN |

| | | | |
|-----------|------|-------------|------|
| N_{slu} | 3760 | Q_{punta} | 2281 |
| $W*1.35$ | 178 | Q_{lat} | 1757 |
| | 3938 | | 4038 |

VERIFICA SODDISFATTA

I pali sono ad interasse di 3 diametri e pertanto si assume un fattore di efficienza $E = 1$. Da qui la portata totale ammissibile di gruppo vale $(Q_{punta} + Q_{lat}) * n^{\circ}pali - W_{pila}$

| | | | |
|-----------------------------------|----|--------------|-----------------------------|
| n°pali | 24 | kN | |
| PORTATA TOTALE AMM. DI GRUPPO = | | 93749 | |
| CARICO MASSIMO SULLA PALIFICATA = | | 57493 | VERIFICA SODDISFATTA |

7.4 CALCOLO DEL CARICO LIMITE ORIZZONTALE

Metodo di Broms

Si assume che il comportamento dell'interfaccia palo/terreno sia di tipo rigido–perfettamente plastico, e cioè che la resistenza del terreno si mobiliti interamente per qualsiasi valore non nullo dello spostamento e rimanga costante al crescere dello spostamento stesso. Si assume inoltre che la forma della sezione del palo sia ininfluyente e che il valore della pressione p sia determinato solo dalla dimensione d della sezione del palo misurata normalmente alla direzione dello spostamento.

Per un terreno incoerente, si assume che la resistenza del terreno vari linearmente con la profondità z secondo la legge:

$$p = 3 k_p \gamma z d$$

dove:

- γ = peso di volume del terreno
- d = diametro del palo
- z = profondità
- $k_p = (1 + \sin \varphi) / (1 - \sin \varphi)$

I possibili meccanismi di rottura di pali vincolati in testa sono illustrati nelle figure seguenti relativamente al caso di palo “corto” e “lungo” insieme alle distribuzioni delle reazioni del terreno.

I pali “corti” sono quelli indicati in cui il carico limite dipende esclusivamente dalla resistenza del terreno, mentre il carico limite dei pali “lunghi” dipende principalmente dal momento di plasticizzazione del palo stesso.

Nel caso di palo “corto” l'equilibrio orizzontale fornisce:

- $H_u = 1.5 \gamma L^2 d k_p$

mentre il momento massimo è:

- $M_{max} = 2/3 H_u L$

Occorre comunque verificare la condizione $M_{max} < M_y$ (M_y : momento ultimo del palo).

Per il palo “lungo” il massimo momento lungo il fusto del palo, che si verifica alla profondità f , uguaglia il momento di plasticizzazione; si forma pertanto una seconda cerniera plastica.

L'equilibrio alla rotazione del tratto di palo compreso fra le due cerniere fornisce:

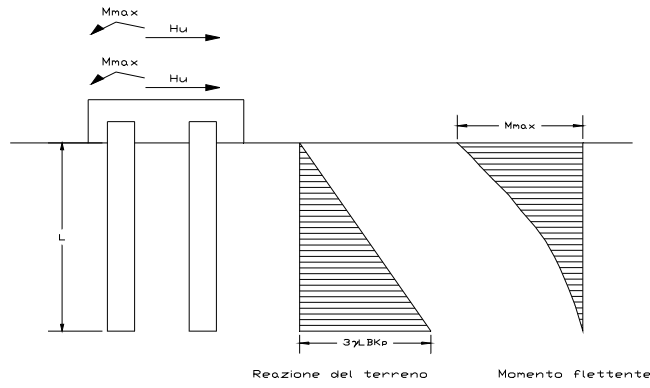
- $H_u (e+2/3f) = 2 M_y$

dove:

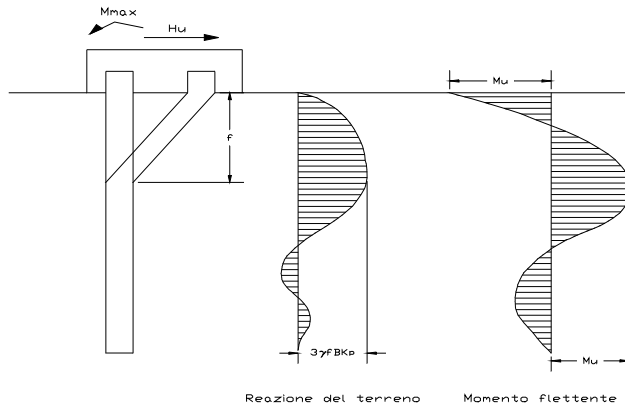
- $f = 0.82 [H_u / (\gamma d k_p)]^{0.5}$.

Schemi di rottura metodo di Broms:

Pali corti:



Pali lunghi:



Calcolo del momento di plasticizzazione considerando l'armatura nel primo tratto:

Calcolo del momento di plasticizzazione di una sezione circolare

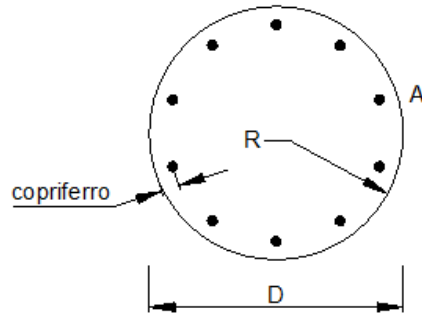
Diametro = 1000 (mm)
 Raggio = 500 (mm)
 Sforzo Normale = 556 (kN)

Caratteristiche dei Materiali

calcestruzzo

Rck = 30 (N/mm²)
 $\gamma_{m,c}$ = 2.1
 α = 0.8

fcd = Rck / γ_c = 14.29 (N/mm²)



Acciaio

tipo di acciaio

fyk = 450 (N/mm²)

γ_E = 1.00

γ_S = 1.15

fyd = fyk / γ_S / γ_E = 391.3 (N/mm²)

Es = 206000 (N/mm²)

ϵ_{ys} = 0.190%

ϵ_{uk} = 7.500%

ϵ_{ud} = 6.750%

α = 0.9

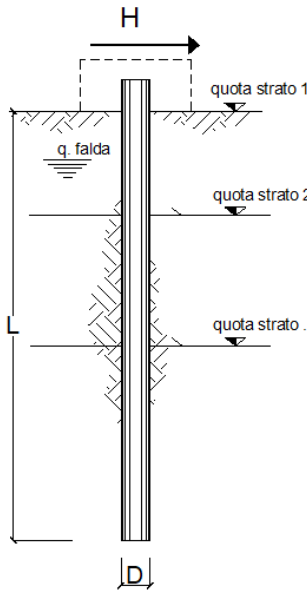
Armature

| numero | diametro (mm) | area (mm ²) | copriferro (mm) |
|--------|---------------|-------------------------|-----------------|
| 20 | 24 | 9047.79 | 60 |
| 16 | 20 | 5026.55 | 90 |
| 0 | 8 | 0.00 | 30 |

Momento di Plasticizzazione

My = 1989.7 (kN m)

opera **CV17**



| strati terreno | descrizione | quote (m) | γ (kN/m ³) | γ' (kN/m ³) | ϕ (°) | k_p | c_u (kPa) |
|--|-------------|-----------|-------------------------------|--------------------------------|------------|-------|-------------|
| p.c.=strato 1 | | 0.00 | 19.5 | 9.5 | 35 | 3.69 | 0 |
| <input checked="" type="checkbox"/> strato 2 | | -4.00 | 19 | 9 | 34 | 3.54 | 0 |
| <input type="checkbox"/> strato 3 | | | | | | 1.00 | |
| <input type="checkbox"/> strato 4 | | | | | | 1.00 | |
| <input type="checkbox"/> strato 5 | | | | | | 1.00 | |
| <input type="checkbox"/> strato 6 | | | | | | 1.00 | |

Quota falda **0** (m)
 Diametro del palo **D** **1.00** (m)
 Lunghezza del palo **L** **28.00** (m)
 Momento di plasticizzazione palo **My** **1990** (kNm)
 Step di calcolo **0.01** (m)

palo impedito di ruotare
 palo libero

Calcolo
(ctrl+r)

Palo lungo H = **1230.7** (kN)
 Palo intermedio H = **10078.1** (kN)
 Palo corto H = **38023.7** (kN)
Hlim = 1230.7 (kN) Palo lungo

Fattori di correlazione in funzione delle verticali indagate:

ξ
1.65

Coefficiente parziale γ_t per le verifiche agli SLU di pali soggetti a carichi trasversali

R3
 γ_t **1.3**

$R_t = H_{lim} / (\xi \cdot \gamma) = 1231 \text{ kN} / (1.65 \cdot 1.3) = 574 > T_{max} = 546 \text{ kN} \quad \text{OK}$

Calcolo del momento di plasticizzazione considerando l'armatura nel secondo tratto:

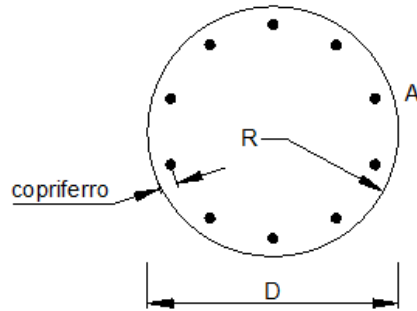
Calcolo del momento di plasticizzazione di una sezione circolare

Diametro = 1000 (mm)
 Raggio = 500 (mm)
 Sforzo Normale = 556 (kN)

Caratteristiche dei Materiali

calcestruzzo

Rck = 30 (N/mm²)
 $\gamma_{m,c}$ = 2.1
 α = 0.8
 $f_{cd} = R_{ck} / \gamma_c = 14.29$ (N/mm²)



Acciaio

tipo di acciaio: B450C
 $f_{yk} = 450$ (N/mm²)
 $\gamma_E = 1.00$
 $\gamma_S = 1.15$
 $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S / \gamma_E = 391.3$ (N/mm²)
 $E_s = 206000$ (N/mm²)
 $\epsilon_{ys} = 0.190\%$
 $\epsilon_{uk} = 7.500\%$
 $\epsilon_{ud} = 6.750\%$
 $\alpha = 0.9$

Armature

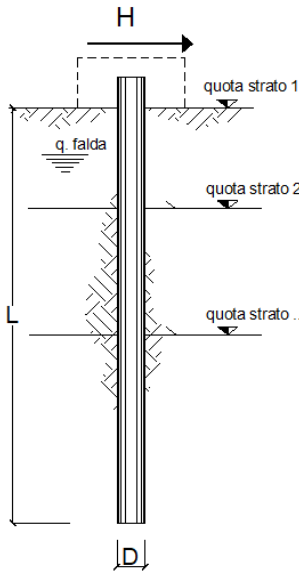
| numero | diametro (mm) | area (mm ²) | copriferro (mm) |
|--------|---------------|-------------------------|-----------------|
| 20 | 24 | 9047.79 | 60 |
| 0 | 0 | 0.00 | 90 |
| 0 | 0 | 0.00 | 30 |

calcolo

Momento di Plasticizzazione

$M_y = 1433.7$ (kN m)

opera **CV17**



| strati terreno | descrizione | quote (m) | γ (kN/m ³) | γ' (kN/m ³) | ϕ (°) | k_p | c_u (kPa) |
|--|-------------|-----------|-------------------------------|--------------------------------|------------|-------|-------------|
| p.c.=strato 1 | | 0.00 | 19.5 | 9.5 | 35 | 3.69 | 0 |
| <input checked="" type="checkbox"/> strato 2 | | -4.00 | 19 | 9 | 34 | 3.54 | 0 |
| <input type="checkbox"/> strato 3 | | | | | | 1.00 | |
| <input type="checkbox"/> strato 4 | | | | | | 1.00 | |
| <input type="checkbox"/> strato 5 | | | | | | 1.00 | |
| <input type="checkbox"/> strato 6 | | | | | | 1.00 | |

| | |
|--|------------|
| Quota falda | 0 (m) |
| Diametro del palo D | 1.00 (m) |
| Lunghezza del palo L | 28.00 (m) |
| Momento di plasticizzazione palo M_y | 1434 (kNm) |
| Step di calcolo | 0.01 (m) |

- palo impedito di ruotare
- palo libero

Calcolo
(cetri+r)

| | | | |
|-----------------|-----|-------------------|-------------------|
| Palo lungo | H = | 990.5 (kN) | |
| Palo intermedio | H = | 10035.2 (kN) | |
| Palo corto | H = | 38023.7 (kN) | |
| Hlim = | | 990.5 (kN) | Palo lungo |

$$R_t = H_{lim} / (\zeta^* \gamma) = 991 \text{ kN} / (1.65 * 1.3) = 461 > T \text{ al di sotto di 1.2m di profondità}$$

Considerando la lunghezza di sovrapposizione di armature e l'ancoraggio nel plinto di fondazione, a favore di sicurezza la seconda gabbia più interna sarà lunga 4m.

7.5 CEDIMENTI

Per l'analisi dei cedimenti si adotta il programma GROUP della Ensoft. Per ulteriori dettagli si rimanda al relativo allegato.

Il cedimento della palificata e del singolo palo maggiormente sollecitato di cui al tabulato del programma, risulta agli SLE (Carico $N_{\max\text{palo}} = 2530 \text{ kN}$):

Convenzione segni:

Asse X: verticale. Segno + verso il basso

Asse Y: orizzontale trasversale

Asse Z: orizzontale longitudinale

| Displacement of group pile foundation | | |
|---------------------------------------|--------|---------|
| X (m) | Y (m) | Z (m) |
| 0.0035 | 0.0095 | 0.00013 |

| Displacement of pile 24 | | |
|-------------------------|--------|---------|
| X (m) | Y (m) | Z (m) |
| 0.0065 | 0.0095 | 0.00013 |

7.6 SOLLECITAZIONI LUNGO IL PALO

Di seguito si ricavano i momenti agenti lungo il palo per la verifica strutturale:

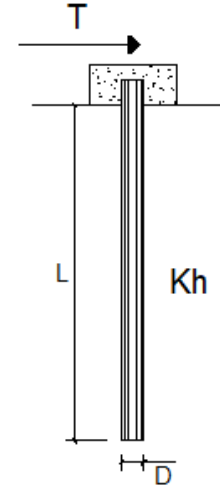
Comb. SLU

PALI IMPEDITI DI RUOTARE IN TESTA SOGGETTI A FORZE ORIZZONTALI

OPERA: CV17

DATI DI IMPUT:

| | | |
|---|---------|----------------------|
| Diametro del palo (D): | 1 | (m) |
| Lunghezza del palo (L) | 28 | (m) |
| Coefficiente di reazione laterale (k_h): | 15 | (N/cm ³) |
| Forza orizzontale agente (T): | 546 | (kN) |
| Rbk del calcestruzzo: | 30.0 | (MPa) |
| Ecls ($E = 5700(Rbk)^{1/2}$): | 31220 | (MPa) |
| J ($J = \pi \cdot D^4 / 64$): | 4908739 | (cm ⁴) |
| λ (lunghezza elastica $\lambda = (4 \cdot EJ / k_h \cdot D)^{1/4}$): | 449.62 | (cm) |



| z | y(z) | p(z) | $\alpha(z)$ | M(z) | T(z) |
|-------|--------|----------------------|-------------|-------------|----------|
| Prof. | Spost. | Press. Lat. | Rotaz. | Mom. Flett. | Taglio |
| (m) | (cm) | (N/cm ²) | (rad) | (kNm) | (kN) |
| 0.00 | 0.810 | 12.14 | 0.00000 | 1227.457 | -546.000 |
| 0.56 | 0.798 | 11.97 | -0.00039 | 940.691 | -478.326 |
| 1.12 | 0.767 | 11.51 | -0.00069 | 691.389 | -412.471 |
| 1.68 | 0.722 | 10.83 | -0.00090 | 478.119 | -349.839 |
| 2.24 | 0.667 | 10.01 | -0.00105 | 298.778 | -291.434 |
| 2.80 | 0.606 | 9.09 | -0.00113 | 150.797 | -237.925 |
| 3.36 | 0.542 | 8.13 | -0.00116 | 31.315 | -189.696 |
| 3.92 | 0.477 | 7.15 | -0.00115 | -62.679 | -146.906 |
| 4.48 | 0.413 | 6.20 | -0.00112 | -134.231 | -109.527 |
| 5.04 | 0.352 | 5.29 | -0.00106 | -186.329 | -77.390 |
| 5.60 | 0.295 | 4.43 | -0.00098 | -221.835 | -50.219 |
| 6.16 | 0.243 | 3.64 | -0.00090 | -243.436 | -27.664 |
| 6.72 | 0.195 | 2.92 | -0.00081 | -253.605 | -9.324 |
| 7.28 | 0.152 | 2.29 | -0.00071 | -254.586 | 5.227 |
| 7.84 | 0.115 | 1.73 | -0.00062 | -248.376 | 16.427 |
| 8.40 | 0.083 | 1.24 | -0.00053 | -236.732 | 24.707 |
| 8.96 | 0.055 | 0.83 | -0.00045 | -221.171 | 30.485 |
| 9.52 | 0.033 | 0.49 | -0.00037 | -202.983 | 34.153 |
| 10.08 | 0.014 | 0.21 | -0.00030 | -183.245 | 36.077 |
| 10.64 | -0.001 | -0.02 | -0.00024 | -162.840 | 36.589 |
| 11.20 | -0.013 | -0.19 | -0.00018 | -142.473 | 35.986 |
| 11.76 | -0.021 | -0.32 | -0.00013 | -122.695 | 34.529 |
| 12.32 | -0.028 | -0.42 | -0.00009 | -103.917 | 32.449 |
| 12.88 | -0.032 | -0.48 | -0.00006 | -86.433 | 29.938 |
| 13.44 | -0.034 | -0.51 | -0.00003 | -70.436 | 27.160 |
| 14.00 | -0.035 | -0.52 | 0.00000 | -56.037 | 24.251 |
| 14.56 | -0.035 | -0.52 | 0.00001 | -43.279 | 21.320 |
| 15.12 | -0.034 | -0.50 | 0.00003 | -32.148 | 18.450 |

| z | y(z) | p(z) | $\alpha(z)$ | M(z) | T(z) |
|--------------|---------------|---------------------------|-------------------------------|--------------------|---------------|
| Prof. | Spost. | Press. Lat. | Rotaz. | Mom. Flett. | Taglio |
| (m) | (cm) | (N/cm²) | (rad) | (kNm) | (kN) |
| 15.68 | -0.032 | -0.48 | 0.00004 | -22.590 | 15.708 |
| 16.24 | -0.029 | -0.44 | 0.00004 | -14.522 | 13.141 |
| 16.80 | -0.027 | -0.40 | 0.00005 | -7.834 | 10.779 |
| 17.36 | -0.024 | -0.36 | 0.00005 | -2.407 | 8.643 |
| 17.92 | -0.021 | -0.32 | 0.00005 | 1.890 | 6.741 |
| 18.48 | -0.018 | -0.28 | 0.00005 | 5.187 | 5.074 |
| 19.04 | -0.016 | -0.24 | 0.00005 | 7.615 | 3.636 |
| 19.60 | -0.013 | -0.20 | 0.00004 | 9.300 | 2.415 |
| 20.16 | -0.011 | -0.16 | 0.00004 | 10.358 | 1.397 |
| 20.72 | -0.009 | -0.13 | 0.00004 | 10.899 | 0.565 |
| 21.28 | -0.007 | -0.10 | 0.00003 | 11.022 | -0.099 |
| 21.84 | -0.005 | -0.08 | 0.00003 | 10.816 | -0.613 |
| 22.40 | -0.004 | -0.06 | 0.00002 | 10.359 | -0.998 |
| 22.96 | -0.003 | -0.04 | 0.00002 | 9.720 | -1.270 |
| 23.52 | -0.002 | -0.02 | 0.00002 | 8.955 | -1.448 |
| 24.08 | -0.001 | -0.01 | 0.00001 | 8.113 | -1.546 |
| 24.64 | 0.000 | 0.00 | 0.00001 | 7.235 | -1.581 |
| 25.20 | 0.000 | 0.01 | 0.00001 | 6.352 | -1.564 |
| 25.76 | 0.001 | 0.01 | 0.00001 | 5.490 | -1.509 |
| 26.32 | 0.001 | 0.02 | 0.00000 | 4.668 | -1.424 |
| 26.88 | 0.001 | 0.02 | 0.00000 | 3.899 | -1.319 |
| 27.44 | 0.001 | 0.02 | 0.00000 | 3.192 | -1.201 |
| 28.00 | 0.002 | 0.02 | 0.00000 | 2.555 | -1.076 |

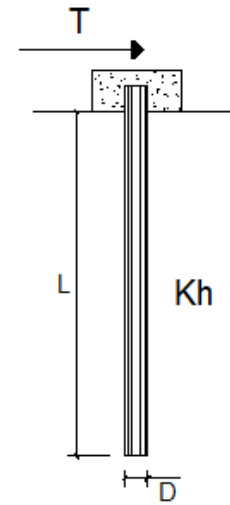
Comb. SLERare

PALI IMPEDITI DI RUOTARE IN TESTA SOGGETTI A FORZE ORIZZONTALI

OPERA: CV17

DATI DI IMPUT:

| | | |
|--|---------|----------------------|
| Diametro del palo (D): | 1 | (m) |
| Lunghezza del palo (L) | 28 | (m) |
| Coefficiente di reazione laterale (k_h): | 15 | (N/cm ³) |
| Forza orizzontale agente (T): | 409 | (kN) |
| Rbk del calcestruzzo: | 30.0 | (MPa) |
| Ecls ($E = 5700(Rbk)^{1/2}$): | 31220 | (MPa) |
| J ($J = \pi \cdot D^4 / 64$): | 4908739 | (cm ⁴) |
| λ (lunghezza elastica $\lambda = (4 \cdot E \cdot J / k_h \cdot D)^{1/4}$): | 449.62 | (cm) |



| z | y(z) | p(z) | $\alpha(z)$ | M(z) | T(z) |
|-----------|-------------|----------------------------------|--------------|-------------------|-------------|
| Prof. (m) | Spost. (cm) | Press. Lat. (N/cm ²) | Rotaz. (rad) | Mom. Flett. (kNm) | Taglio (kN) |
| 0.00 | 0.606 | 9.10 | 0.00000 | 919.468 | -409.000 |
| 0.56 | 0.598 | 8.97 | -0.00030 | 704.657 | -358.306 |
| 1.12 | 0.575 | 8.62 | -0.00052 | 517.909 | -308.976 |
| 1.68 | 0.541 | 8.11 | -0.00068 | 358.152 | -262.059 |
| 2.24 | 0.500 | 7.50 | -0.00078 | 223.810 | -218.309 |
| 2.80 | 0.454 | 6.81 | -0.00084 | 112.960 | -178.226 |
| 3.36 | 0.406 | 6.09 | -0.00087 | 23.458 | -142.099 |
| 3.92 | 0.357 | 5.36 | -0.00086 | -46.952 | -110.045 |
| 4.48 | 0.310 | 4.64 | -0.00084 | -100.550 | -82.045 |
| 5.04 | 0.264 | 3.96 | -0.00079 | -139.576 | -57.972 |
| 5.60 | 0.221 | 3.32 | -0.00074 | -166.173 | -37.618 |
| 6.16 | 0.182 | 2.73 | -0.00067 | -182.354 | -20.722 |
| 6.72 | 0.146 | 2.19 | -0.00060 | -189.972 | -6.984 |
| 7.28 | 0.114 | 1.71 | -0.00053 | -190.706 | 3.916 |
| 7.84 | 0.086 | 1.29 | -0.00046 | -186.055 | 12.305 |
| 8.40 | 0.062 | 0.93 | -0.00040 | -177.332 | 18.508 |
| 8.96 | 0.042 | 0.62 | -0.00034 | -165.676 | 22.836 |
| 9.52 | 0.024 | 0.37 | -0.00028 | -152.051 | 25.584 |
| 10.08 | 0.010 | 0.16 | -0.00022 | -137.266 | 27.025 |
| 10.64 | -0.001 | -0.01 | -0.00018 | -121.981 | 27.408 |
| 11.20 | -0.010 | -0.14 | -0.00014 | -106.724 | 26.956 |
| 11.76 | -0.016 | -0.24 | -0.00010 | -91.909 | 25.865 |
| 12.32 | -0.021 | -0.31 | -0.00007 | -77.842 | 24.307 |
| 12.88 | -0.024 | -0.36 | -0.00004 | -64.745 | 22.426 |
| 13.44 | -0.026 | -0.38 | -0.00002 | -52.763 | 20.345 |
| 14.00 | -0.026 | -0.39 | 0.00000 | -41.977 | 18.166 |
| 14.56 | -0.026 | -0.39 | 0.00001 | -32.419 | 15.970 |
| 15.12 | -0.025 | -0.38 | 0.00002 | -24.081 | 13.821 |

| z | y(z) | p(z) | $\alpha(z)$ | M(z) | T(z) |
|--------------|---------------|---------------------------|-------------------------------|--------------------|---------------|
| Prof. | Spost. | Press. Lat. | Rotaz. | Mom. Flett. | Taglio |
| (m) | (cm) | (N/cm²) | (rad) | (kNm) | (kN) |
| 15.68 | -0.024 | -0.36 | 0.00003 | -16.922 | 11.767 |
| 16.24 | -0.022 | -0.33 | 0.00003 | -10.878 | 9.843 |
| 16.80 | -0.020 | -0.30 | 0.00004 | -5.869 | 8.074 |
| 17.36 | -0.018 | -0.27 | 0.00004 | -1.803 | 6.474 |
| 17.92 | -0.016 | -0.24 | 0.00004 | 1.415 | 5.050 |
| 18.48 | -0.014 | -0.21 | 0.00004 | 3.886 | 3.801 |
| 19.04 | -0.012 | -0.18 | 0.00003 | 5.704 | 2.723 |
| 19.60 | -0.010 | -0.15 | 0.00003 | 6.966 | 1.809 |
| 20.16 | -0.008 | -0.12 | 0.00003 | 7.759 | 1.046 |
| 20.72 | -0.007 | -0.10 | 0.00003 | 8.164 | 0.423 |
| 21.28 | -0.005 | -0.08 | 0.00002 | 8.256 | -0.074 |
| 21.84 | -0.004 | -0.06 | 0.00002 | 8.102 | -0.459 |
| 22.40 | -0.003 | -0.04 | 0.00002 | 7.760 | -0.747 |
| 22.96 | -0.002 | -0.03 | 0.00002 | 7.281 | -0.951 |
| 23.52 | -0.001 | -0.02 | 0.00001 | 6.708 | -1.084 |
| 24.08 | -0.001 | -0.01 | 0.00001 | 6.077 | -1.158 |
| 24.64 | 0.000 | 0.00 | 0.00001 | 5.420 | -1.184 |
| 25.20 | 0.000 | 0.01 | 0.00001 | 4.758 | -1.172 |
| 25.76 | 0.001 | 0.01 | 0.00000 | 4.112 | -1.130 |
| 26.32 | 0.001 | 0.01 | 0.00000 | 3.496 | -1.067 |
| 26.88 | 0.001 | 0.02 | 0.00000 | 2.920 | -0.988 |
| 27.44 | 0.001 | 0.02 | 0.00000 | 2.391 | -0.900 |
| 28.00 | 0.001 | 0.02 | 0.00000 | 1.914 | -0.806 |

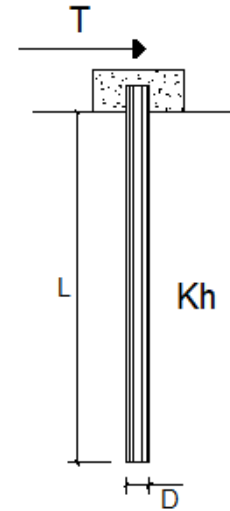
Comb. SLEfreq

PALI IMPEDITI DI RUOTARE IN TESTA SOGGETTI A FORZE ORIZZONTALI

OPERA: CV17

DATI DI IMPUT:

| | | |
|---|---------|----------------------|
| Diametro del palo (D): | 1 | (m) |
| Lunghezza del palo (L) | 28 | (m) |
| Coefficiente di reazione laterale (k_h): | 15 | (N/cm ³) |
| Forza orizzontale agente (T): | 382 | (kN) |
| Rbk del calcestruzzo: | 30.0 | (MPa) |
| Ecls ($E = 5700(Rbk)^{1/2}$): | 31220 | (MPa) |
| J ($J = \pi \cdot D^4 / 64$): | 4908739 | (cm ⁴) |
| λ (lunghezza elastica $\lambda = (4 \cdot EJ / k_h \cdot D)^{1/4}$): | 449.62 | (cm) |



| z | y(z) | p(z) | $\alpha(z)$ | M(z) | T(z) |
|-----------|-------------|----------------------------------|--------------|-------------------|-------------|
| Prof. (m) | Spost. (cm) | Press. Lat. (N/cm ²) | Rotaz. (rad) | Mom. Flett. (kNm) | Taglio (kN) |
| 0.00 | 0.566 | 8.50 | 0.00000 | 858.770 | -382.000 |
| 0.56 | 0.558 | 8.37 | -0.00028 | 658.139 | -334.653 |
| 1.12 | 0.537 | 8.05 | -0.00048 | 483.719 | -288.579 |
| 1.68 | 0.505 | 7.58 | -0.00063 | 334.508 | -244.759 |
| 2.24 | 0.467 | 7.00 | -0.00073 | 209.035 | -203.897 |
| 2.80 | 0.424 | 6.36 | -0.00079 | 105.503 | -166.460 |
| 3.36 | 0.379 | 5.69 | -0.00081 | 21.909 | -132.718 |
| 3.92 | 0.334 | 5.01 | -0.00081 | -43.852 | -102.781 |
| 4.48 | 0.289 | 4.34 | -0.00078 | -93.912 | -76.629 |
| 5.04 | 0.247 | 3.70 | -0.00074 | -130.362 | -54.145 |
| 5.60 | 0.207 | 3.10 | -0.00069 | -155.203 | -35.135 |
| 6.16 | 0.170 | 2.55 | -0.00063 | -170.316 | -19.354 |
| 6.72 | 0.136 | 2.05 | -0.00056 | -177.431 | -6.523 |
| 7.28 | 0.107 | 1.60 | -0.00050 | -178.117 | 3.657 |
| 7.84 | 0.081 | 1.21 | -0.00043 | -173.772 | 11.493 |
| 8.40 | 0.058 | 0.87 | -0.00037 | -165.626 | 17.286 |
| 8.96 | 0.039 | 0.58 | -0.00031 | -154.739 | 21.328 |
| 9.52 | 0.023 | 0.34 | -0.00026 | -142.014 | 23.895 |
| 10.08 | 0.010 | 0.15 | -0.00021 | -128.204 | 25.241 |
| 10.64 | -0.001 | -0.01 | -0.00017 | -113.928 | 25.599 |
| 11.20 | -0.009 | -0.13 | -0.00013 | -99.679 | 25.177 |
| 11.76 | -0.015 | -0.23 | -0.00009 | -85.841 | 24.158 |
| 12.32 | -0.019 | -0.29 | -0.00006 | -72.704 | 22.702 |
| 12.88 | -0.022 | -0.33 | -0.00004 | -60.471 | 20.945 |
| 13.44 | -0.024 | -0.36 | -0.00002 | -49.280 | 19.002 |
| 14.00 | -0.024 | -0.37 | 0.00000 | -39.206 | 16.967 |
| 14.56 | -0.024 | -0.36 | 0.00001 | -30.279 | 14.916 |
| 15.12 | -0.023 | -0.35 | 0.00002 | -22.492 | 12.908 |

| z | y(z) | p(z) | $\alpha(z)$ | M(z) | T(z) |
|--------------|---------------|---------------------------|-------------------------------|--------------------|---------------|
| Prof. | Spost. | Press. Lat. | Rotaz. | Mom. Flett. | Taglio |
| (m) | (cm) | (N/cm²) | (rad) | (kNm) | (kN) |
| 15.68 | -0.022 | -0.33 | 0.00003 | -15.805 | 10.990 |
| 16.24 | -0.021 | -0.31 | 0.00003 | -10.160 | 9.194 |
| 16.80 | -0.019 | -0.28 | 0.00003 | -5.481 | 7.541 |
| 17.36 | -0.017 | -0.25 | 0.00003 | -1.684 | 6.047 |
| 17.92 | -0.015 | -0.22 | 0.00003 | 1.322 | 4.716 |
| 18.48 | -0.013 | -0.19 | 0.00003 | 3.629 | 3.550 |
| 19.04 | -0.011 | -0.17 | 0.00003 | 5.328 | 2.544 |
| 19.60 | -0.009 | -0.14 | 0.00003 | 6.506 | 1.689 |
| 20.16 | -0.008 | -0.12 | 0.00003 | 7.247 | 0.977 |
| 20.72 | -0.006 | -0.09 | 0.00002 | 7.625 | 0.395 |
| 21.28 | -0.005 | -0.07 | 0.00002 | 7.711 | -0.069 |
| 21.84 | -0.004 | -0.06 | 0.00002 | 7.567 | -0.429 |
| 22.40 | -0.003 | -0.04 | 0.00002 | 7.248 | -0.698 |
| 22.96 | -0.002 | -0.03 | 0.00001 | 6.800 | -0.889 |
| 23.52 | -0.001 | -0.02 | 0.00001 | 6.265 | -1.013 |
| 24.08 | -0.001 | -0.01 | 0.00001 | 5.676 | -1.082 |
| 24.64 | 0.000 | 0.00 | 0.00001 | 5.062 | -1.106 |
| 25.20 | 0.000 | 0.00 | 0.00001 | 4.444 | -1.095 |
| 25.76 | 0.001 | 0.01 | 0.00000 | 3.841 | -1.056 |
| 26.32 | 0.001 | 0.01 | 0.00000 | 3.266 | -0.996 |
| 26.88 | 0.001 | 0.01 | 0.00000 | 2.728 | -0.923 |
| 27.44 | 0.001 | 0.02 | 0.00000 | 2.234 | -0.840 |
| 28.00 | 0.001 | 0.02 | 0.00000 | 1.787 | -0.753 |

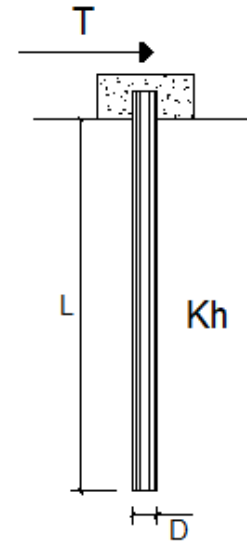
Comb. SLEqp

PALI IMPEDITI DI RUOTARE IN TESTA SOGGETTI A FORZE ORIZZONTALI

OPERA: CV17

DATI DI IMPUT:

| | | |
|---|---------|----------------------|
| Diametro del palo (D): | 1 | (m) |
| Lunghezza del palo (L) | 28 | (m) |
| Coefficiente di reazione laterale (k_h): | 15 | (N/cm ³) |
| Forza orizzontale agente (T): | 293 | (kN) |
| Rbk del calcestruzzo: | 30.0 | (MPa) |
| Ecls ($E = 5700(Rbk)^{1/2}$): | 31220 | (MPa) |
| J ($J = \pi \cdot D^4 / 64$): | 4908739 | (cm ⁴) |
| λ (lunghezza elastica $\lambda = (4 \cdot EJ / k_h \cdot D)^{1/4}$): | 449.62 | (cm) |



| z | y(z) | p(z) | $\alpha(z)$ | M(z) | T(z) |
|-----------|-------------|----------------------------------|--------------|-------------------|-------------|
| Prof. (m) | Spost. (cm) | Press. Lat. (N/cm ²) | Rotaz. (rad) | Mom. Flett. (kNm) | Taglio (kN) |
| 0.00 | 0.434 | 6.52 | 0.00000 | 658.690 | -293.000 |
| 0.56 | 0.428 | 6.42 | -0.00021 | 504.803 | -256.684 |
| 1.12 | 0.412 | 6.18 | -0.00037 | 371.020 | -221.345 |
| 1.68 | 0.387 | 5.81 | -0.00049 | 256.573 | -187.734 |
| 2.24 | 0.358 | 5.37 | -0.00056 | 160.333 | -156.392 |
| 2.80 | 0.325 | 4.88 | -0.00060 | 80.922 | -127.677 |
| 3.36 | 0.291 | 4.36 | -0.00062 | 16.805 | -101.797 |
| 3.92 | 0.256 | 3.84 | -0.00062 | -33.635 | -78.834 |
| 4.48 | 0.222 | 3.33 | -0.00060 | -72.032 | -58.776 |
| 5.04 | 0.189 | 2.84 | -0.00057 | -99.989 | -41.530 |
| 5.60 | 0.158 | 2.38 | -0.00053 | -119.043 | -26.949 |
| 6.16 | 0.130 | 1.95 | -0.00048 | -130.635 | -14.845 |
| 6.72 | 0.105 | 1.57 | -0.00043 | -136.092 | -5.003 |
| 7.28 | 0.082 | 1.23 | -0.00038 | -136.618 | 2.805 |
| 7.84 | 0.062 | 0.93 | -0.00033 | -133.286 | 8.815 |
| 8.40 | 0.044 | 0.67 | -0.00029 | -127.038 | 13.259 |
| 8.96 | 0.030 | 0.45 | -0.00024 | -118.687 | 16.359 |
| 9.52 | 0.017 | 0.26 | -0.00020 | -108.927 | 18.328 |
| 10.08 | 0.007 | 0.11 | -0.00016 | -98.335 | 19.360 |
| 10.64 | -0.001 | -0.01 | -0.00013 | -87.385 | 19.635 |
| 11.20 | -0.007 | -0.10 | -0.00010 | -76.455 | 19.311 |
| 11.76 | -0.012 | -0.17 | -0.00007 | -65.842 | 18.530 |
| 12.32 | -0.015 | -0.22 | -0.00005 | -55.765 | 17.413 |
| 12.88 | -0.017 | -0.26 | -0.00003 | -46.382 | 16.065 |
| 13.44 | -0.018 | -0.27 | -0.00001 | -37.798 | 14.575 |
| 14.00 | -0.019 | -0.28 | 0.00000 | -30.071 | 13.014 |
| 14.56 | -0.019 | -0.28 | 0.00001 | -23.225 | 11.441 |
| 15.12 | -0.018 | -0.27 | 0.00001 | -17.251 | 9.901 |

| z | y(z) | p(z) | $\alpha(z)$ | M(z) | T(z) |
|-------|--------|----------------------|-------------|-------------|--------|
| Prof. | Spost. | Press. Lat. | Rotaz. | Mom. Flett. | Taglio |
| (m) | (cm) | (N/cm ²) | (rad) | (kNm) | (kN) |
| 15.68 | -0.017 | -0.26 | 0.00002 | -12.123 | 8.430 |
| 16.24 | -0.016 | -0.24 | 0.00002 | -7.793 | 7.052 |
| 16.80 | -0.014 | -0.22 | 0.00003 | -4.204 | 5.784 |
| 17.36 | -0.013 | -0.19 | 0.00003 | -1.292 | 4.638 |
| 17.92 | -0.011 | -0.17 | 0.00003 | 1.014 | 3.618 |
| 18.48 | -0.010 | -0.15 | 0.00003 | 2.784 | 2.723 |
| 19.04 | -0.008 | -0.13 | 0.00002 | 4.087 | 1.951 |
| 19.60 | -0.007 | -0.11 | 0.00002 | 4.990 | 1.296 |
| 20.16 | -0.006 | -0.09 | 0.00002 | 5.558 | 0.750 |
| 20.72 | -0.005 | -0.07 | 0.00002 | 5.849 | 0.303 |
| 21.28 | -0.004 | -0.06 | 0.00002 | 5.915 | -0.053 |
| 21.84 | -0.003 | -0.04 | 0.00001 | 5.804 | -0.329 |
| 22.40 | -0.002 | -0.03 | 0.00001 | 5.559 | -0.535 |
| 22.96 | -0.001 | -0.02 | 0.00001 | 5.216 | -0.682 |
| 23.52 | -0.001 | -0.01 | 0.00001 | 4.805 | -0.777 |
| 24.08 | 0.000 | -0.01 | 0.00001 | 4.354 | -0.830 |
| 24.64 | 0.000 | 0.00 | 0.00001 | 3.882 | -0.848 |
| 25.20 | 0.000 | 0.00 | 0.00000 | 3.409 | -0.840 |
| 25.76 | 0.000 | 0.01 | 0.00000 | 2.946 | -0.810 |
| 26.32 | 0.001 | 0.01 | 0.00000 | 2.505 | -0.764 |
| 26.88 | 0.001 | 0.01 | 0.00000 | 2.092 | -0.708 |
| 27.44 | 0.001 | 0.01 | 0.00000 | 1.713 | -0.645 |
| 28.00 | 0.001 | 0.01 | 0.00000 | 1.371 | -0.578 |

7.7 VERIFICA ARMATURA PALO

Si verifica la sezione di armatura del palo con le sollecitazioni di cui ai par. 7.1 e 7.6:

7.7.1 VERIFICA IN TESTA AI PALI

Si dispone una doppia gabbia di 20 ϕ 24 esterna e 16 ϕ 20 interna:

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: palo1000

| | |
|-------------------------------|-------------------------------|
| Descrizione Sezione: | |
| Metodo di calcolo resistenza: | Stati Limite Ultimi |
| Tipologia sezione: | Sezione generica |
| Normativa di riferimento: | N.T.C. |
| Percorso sollecitazione: | A Sforzo Norm. costante |
| Condizioni Ambientali: | Poco aggressive |
| Riferimento Sforzi assegnati: | Assi x,y principali d'inerzia |
| Riferimento alla sismicit : | Zona non sismica |

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

| | | |
|----------------|-------------------------------|----------------------------|
| CALCESTRUZZO - | Classe: | C25/30 |
| | Resis. compr. di calcolo fcd: | 141.60 daN/cm ² |
| | Resis. compr. ridotta fcd': | 70.80 daN/cm ² |
| | Def.unit. max resistenza ec2: | 0.0020 |
| | Def.unit. ultima ecu: | 0.0035 |
| | Diagramma tensione-deformaz.: | Parabola-Rettangolo |

| | | |
|--|--------|---------------------|
| Modulo Elastico Normale Ec: | 314750 | daN/cm ² |
| Resis. media a trazione fctm: | 25.60 | daN/cm ² |
| Coeff. Omogen. S.L.E.: | 15.00 | |
| Sc limite S.L.E. comb. Rare: | 150.00 | daN/cm ² |
| Sc limite S.L.E. comb. Frequenti: | 150.00 | daN/cm ² |
| Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti: | 0.400 | mm |
| Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti: | 112.50 | daN/cm ² |
| Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Q.Permanenti: | 0.300 | mm |

| | | | |
|-----------|--|------------------|---------------------|
| ACCIAIO - | Tipo: | B450C | |
| | Resist. caratt. snervam. fyk: | 4500.0 | daN/cm ² |
| | Resist. caratt. rottura ftk: | 4500.0 | daN/cm ² |
| | Resist. snerv. di calcolo fyd: | 3913.0 | daN/cm ² |
| | Resist. ultima di calcolo ftd: | 3913.0 | daN/cm ² |
| | Deform. ultima di calcolo Epu: | 0.068 | |
| | Modulo Elastico Ef | 2000000 | daN/cm ² |
| | Diagramma tensione-deformaz.: | Bilineare finito | |
| | Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$: | 1.00 | |
| | Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$: | 0.50 | |
| | Sf limite S.L.E. Comb. Rare: | 3600.0 | daN/cm ² |

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

| | |
|----------------------|-----------|
| Forma del Dominio: | Circolare |
| Classe Conglomerato: | C25/30 |

| | |
|-----------------|---------|
| Raggio circ.: | 50.0 cm |
| X centro circ.: | 0.0 cm |
| Y centro circ.: | 0.0 cm |

DATI GENERAZIONI CIRCOLARI DI BARRE

| | | | | | |
|---------|--|--|--|--|--|
| N°Gen. | Numero assegnato alla singola generazione circolare di barre | | | | |
| Xcentro | Ascissa [cm] del centro della circonferenza lungo cui sono disposte le barre generate | | | | |
| Ycentro | Ordinata [cm] del centro della circonferenza lungo cui sono disposte le barre generate | | | | |
| Raggio | Raggio [cm] della circonferenza lungo cui sono disposte le barre generate | | | | |
| N°Barre | Numero di barre generate equidist. disposte lungo la circonferenza | | | | |
| Ø | Diametro [mm] della singola barra generata | | | | |

| N°Gen. | Xcentro | Ycentro | Raggio | N°Barre | Ø |
|--------|---------|---------|--------|---------|----|
| 1 | 0.0 | 0.0 | 39.0 | 20 | 24 |
| 2 | 0.0 | 0.0 | 34.0 | 16 | 20 |

ARMATURE A TAGLIO

| | | |
|------------------|------------------------------------|----|
| Diametro staffe: | 10 | mm |
| Passo staffe: | 15.0 | cm |
| Staffe: | Una sola staffa chiusa perimetrale | |

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

| | | | | | |
|----|--|--|--|--|--|
| N | Sforzo normale in daN applicato nel Baric. (+ se di compressione) | | | | |
| Mx | Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez. | | | | |
| My | Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez. | | | | |
| Vy | Componente del Taglio [daN] parallela all'asse princ.d'inerzia y | | | | |
| Vx | Componente del Taglio [daN] parallela all'asse princ.d'inerzia x | | | | |

| N°Comb. | N | Mx | My | Vy | Vx |
|---------|--------|--------|----|-------|----|
| 1 | 55600 | 122800 | 0 | 54600 | 0 |
| 2 | 376000 | 122800 | 0 | 0 | 0 |

COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

| | | | |
|---------|--|-------|----|
| N | Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione) | | |
| Mx | Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione | | |
| My | Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione | | |
| N°Comb. | N | Mx | My |
| 1 | 108000 | 92000 | 0 |
| 2 | 253000 | 92000 | 0 |

COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

| | | | |
|---------|--|---------------|-------|
| N | Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione) | | |
| Mx | Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione | | |
| My | Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione | | |
| N°Comb. | N | Mx | My |
| 1 | 107200 | 86000 (38845) | 0 (0) |
| 2 | 239500 | 86000 (50729) | 0 (0) |

COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

| | | | |
|---------|--|---------------|-------|
| N | Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione) | | |
| Mx | Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione | | |
| My | Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione | | |
| N°Comb. | N | Mx | My |
| 1 | 113100 | 66000 (41820) | 0 (0) |
| 2 | 190400 | 66000 (51757) | 0 (0) |

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

| | |
|--|--------|
| Copriferro netto minimo barre longitudinali: | 9.8 cm |
| Interferro netto minimo barre longitudinali: | 2.8 cm |
| Copriferro netto minimo staffe: | 8.8 cm |

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

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

| N°Comb | Ver | N | Mx | My | N ult | Mx ult | My ult | Mis.Sic. | As Tesa |
|--------|-----|--------|--------|----|--------|--------|--------|----------|---------|
| 1 | S | 55600 | 122800 | 0 | 55587 | 187057 | 0 | 1.523 | ----- |
| 2 | S | 376000 | 122800 | 0 | 376007 | 224259 | 0 | 1.826 | ----- |

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

| | |
|--------|--|
| ec max | Deform. unit. massima del conglomerato a compressione |
| ec 3/7 | Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace |
| Xc max | Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.) |
| Yc max | Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.) |
| es min | Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione) |
| Xs min | Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.) |
| Ys min | Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.) |
| es max | Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.) |
| Xs max | Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.) |
| Ys max | Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.) |

| N°Comb | ec max | ec 3/7 | Xc max | Yc max | es min | Xs min | Ys min | es max | Xs max | Ys max |
|--------|---------|----------|--------|--------|---------|--------|--------|----------|--------|--------|
| 1 | 0.00350 | -0.00105 | 0.0 | 50.0 | 0.00233 | 0.0 | 39.0 | -0.00596 | 0.0 | -39.0 |
| 2 | 0.00350 | 0.00037 | 0.0 | 50.0 | 0.00270 | 0.0 | 39.0 | -0.00301 | 0.0 | -39.0 |

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

| | |
|---------|--|
| a, b, c | Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen. |
| x/d | Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless. (travi) |
| C.Rid. | Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue |

| N°Comb | a | b | c | x/d | C.Rid. |
|--------|-------------|-------------|--------------|------|--------|
| 1 | 0.000000000 | 0.000106275 | -0.001813765 | ---- | ---- |
| 2 | 0.000000000 | 0.000073105 | -0.000155253 | ---- | ---- |

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - VERIFICHE A TAGLIO

Passo staffe: 15.0 cm

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

| N°Comb | Ver | Vsdu | Vcd | Vwd | Dmed | bw | Teta | Acw | Ast | A.Eff |
|--------|-----|-------|--------|-------|------|------|--------|-------|-----|-----------|
| 1 | S | 54600 | 164574 | 70045 | 79.4 | 89.8 | 21.80° | 1.050 | 7.8 | 10.0(0.0) |

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

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

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. | D barre | Beta12 |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|
| 1 | S | 118.4 | 0.0 | 0.0 | -1985 | 0.0 | -39.0 | 1277 | 32.0 | 5.0 | 1.00 |
| 2 | S | 116.6 | 0.0 | 0.0 | -1029 | 0.0 | -39.0 | 1277 | 32.0 | 5.0 | 1.00 |

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. | D barre | Beta12 |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|
| 1 | S | 110.6 | 0.0 | 0.0 | -1809 | 0.0 | -39.0 | 1277 | 32.0 | 5.0 | 0.50 |
| 2 | S | 109.0 | 0.0 | 0.0 | -945 | 0.0 | -39.0 | 1277 | 32.0 | 5.0 | 0.50 |

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE

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

| Comb. | Ver | S1 | S2 | k3 | Ø | Cf | Psi | e sm | srm | wk | Mx fess | My fess |
|-------|-----|-------|----|-------|----|------|-------|-------------------|-----|--------------|---------|---------|
| 1 | S | -56.7 | 0 | 0.125 | 23 | 53.0 | 0.898 | 0.00081 (0.00036) | 161 | 0.222 (0.40) | 38845 | 0 |
| 2 | S | -43.4 | 0 | 0.125 | 23 | 53.0 | 0.826 | 0.00039 (0.00019) | 161 | 0.107 (0.40) | 50729 | 0 |

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

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. | D barre | Beta12 |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|
| 1 | S | 84.5 | 0.0 | 0.0 | -1166 | 0.0 | -39.0 | 1277 | 32.0 | 5.0 | 0.50 |
| 2 | S | 83.6 | 0.0 | 0.0 | -690 | 0.0 | -39.0 | 1237 | 32.0 | 5.0 | 0.50 |

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE

| Comb. | Ver | S1 | S2 | k3 | Ø | Cf | Psi | e sm | srm | wk | Mx fess | My fess |
|-------|-----|-------|----|-------|----|------|-------|-------------------|-----|--------------|---------|---------|
| 1 | S | -40.4 | 0 | 0.125 | 23 | 53.0 | 0.799 | 0.00047 (0.00023) | 161 | 0.128 (0.30) | 41820 | 0 |
| 2 | S | -32.6 | 0 | 0.125 | 23 | 53.0 | 0.693 | 0.00024 (0.00014) | 160 | 0.065 (0.30) | 51757 | 0 |

7.7.2 VERIFICA PER LA RIDUZIONE DI ARMATURA – TRATTO 1

Le sollecitazioni massime di verifica oltre la quota di riduzione armatura (-3.0m da intradosso fondazione) sono le seguenti: (dal par. 7.6)

$N_{min} = 556 \text{ kN}$ $M_{SLU} = 255 \text{ kNm}$ $T_{SLU} = 250 \text{ kN}$

$N_{SLErare} = 1080 \text{ kN}$ $M_{SLErare} = 191 \text{ kNm}$

$N_{SLEfreq} = 1072 \text{ kN}$ $M_{SLEfreq} = 180 \text{ kNm}$

$N_{SLEqp} = 1131 \text{ kN}$ $M_{SLEqp} = 140 \text{ kNm}$

Si adotta una gabbia di 20φ24:

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.
NOME SEZIONE: palo1000-1gabbia

| | |
|-------------------------------|-------------------------------|
| Descrizione Sezione: | |
| Metodo di calcolo resistenza: | Stati Limite Ultimi |
| Tipologia sezione: | Sezione generica |
| Normativa di riferimento: | N.T.C. |
| Percorso sollecitazione: | A Sforzo Norm. costante |
| Condizioni Ambientali: | Poco aggressive |
| Riferimento Sforzi assegnati: | Assi x,y principali d'inerzia |
| Riferimento alla sismicità: | Zona non sismica |

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

| | | | |
|------------------------------|--|---------------------|---------------------|
| CALCESTRUZZO - | Classe: | C25/30 | |
| | Resis. compr. di calcolo fcd: | 141.60 | daN/cm ² |
| | Resis. compr. ridotta fcd': | 70.80 | daN/cm ² |
| | Def.unit. max resistenza ec2: | 0.0020 | |
| | Def.unit. ultima ecu: | 0.0035 | |
| | Diagramma tensione-deformaz.: | Parabola-Rettangolo | |
| | Modulo Elastico Normale Ec: | 314750 | daN/cm ² |
| | Resis. media a trazione fctm: | 25.60 | daN/cm ² |
| | Coeff. Omogen. S.L.E.: | 15.00 | |
| | Sc limite S.L.E. comb. Rare: | 150.00 | daN/cm ² |
| | Sc limite S.L.E. comb. Frequenti: | 150.00 | daN/cm ² |
| | Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti: | 0.400 | mm |
| | Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti: | 112.50 | daN/cm ² |
| | Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Q.Permanenti: | 0.300 | mm |
| ACCIAIO - | Tipo: | B450C | |
| | Resist. caratt. snervam. fyk: | 4500.0 | daN/cm ² |
| | Resist. caratt. rottura ftk: | 4500.0 | daN/cm ² |
| | Resist. snerv. di calcolo fyd: | 3913.0 | daN/cm ² |
| | Resist. ultima di calcolo ftd: | 3913.0 | daN/cm ² |
| | Deform. ultima di calcolo Epu: | 0.068 | |
| | Modulo Elastico Ef | 2000000 | daN/cm ² |
| | Diagramma tensione-deformaz.: | Bilineare finito | |
| | Coeff. Aderenza istantaneo β1*β2 : | 1.00 | |
| | Coeff. Aderenza differito β1*β2 : | 0.50 | |
| Sf limite S.L.E. Comb. Rare: | 3600.0 | daN/cm ² | |

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

| | |
|----------------------|-----------|
| Forma del Dominio: | Circolare |
| Classe Conglomerato: | C25/30 |
| Raggio circ.: | 50.0 cm |
| X centro circ.: | 0.0 cm |
| Y centro circ.: | 0.0 cm |

DATI GENERAZIONI CIRCOLARI DI BARRE

| | |
|---------|---|
| N°Gen. | Numero assegnato alla singola generazione circolare di barre |
| Xcentro | Ascissa [cm] del centro della circonfer. lungo cui sono disposte le barre generate |
| Ycentro | Ordinata [cm] del centro della circonfer. lungo cui sono disposte le barre generate |
| Raggio | Raggio [cm] della circonferenza lungo cui sono disposte le barre generate |
| N°Barre | Numero di barre generate equidist. disposte lungo la circonferenza |
| Ø | Diametro [mm] della singola barra generata |

| N°Gen. | Xcentro | Ycentro | Raggio | N°Barre | Ø |
|--------|---------|---------|--------|---------|----|
| 1 | 0.0 | 0.0 | 39.0 | 20 | 24 |

ARMATURE A TAGLIO

| | |
|------------------|---------|
| Diametro staffe: | 10 mm |
| Passo staffe: | 15.0 cm |

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

| | | | | | |
|---------|---|-------|----|-------|----|
| N | Sforzo normale in daN applicato nel Baric. (+ se di compressione) | | | | |
| Mx | Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez. | | | | |
| My | Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez. | | | | |
| Vy | Componente del Taglio [daN] parallela all'asse princ.d'inerzia y | | | | |
| Vx | Componente del Taglio [daN] parallela all'asse princ.d'inerzia x | | | | |
| N°Comb. | N | Mx | My | Vy | Vx |
| 1 | 55600 | 25500 | 0 | 25000 | 0 |

COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

| | | | |
|---------|--|-------|----|
| N | Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione) | | |
| Mx | Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione | | |
| My | Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione | | |
| N°Comb. | N | Mx | My |
| 1 | 108000 | 19100 | 0 |

COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

| | | | |
|---------|--|----------------|-------|
| N | Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione) | | |
| Mx | Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione | | |
| My | Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione | | |
| N°Comb. | N | Mx | My |
| 1 | 107200 | 18000 (131236) | 0 (0) |

COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

| | | | |
|---------|--|---------------|-------|
| N | Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione) | | |
| Mx | Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione | | |
| My | Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione | | |
| N°Comb. | N | Mx | My |
| 1 | 113100 | 14000 (41820) | 0 (0) |

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

| | |
|--|--------|
| Copriferro netto minimo barre longitudinali: | 9.8 cm |
| Interferro netto minimo barre longitudinali: | 9.8 cm |
| Copriferro netto minimo staffe: | 8.8 cm |

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

| | |
|----------|--|
| Ver | S = combinazione verificata / N = combin. non verificata |
| N | Sforzo normale assegnato [daN] nel baricentro sezione cls. (positivo se di compressione) |
| Mx | Momento flettente assegnato [daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia |
| My | Momento flettente assegnato [daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia |
| N ult | Sforzo normale ultimo [daN] baricentrico (positivo se di compress.) |
| Mx ult | Momento flettente ultimo [daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia |
| My ult | Momento flettente ultimo [daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia |
| My ult | Momento flettente ultimo [daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia |
| Mx ult | Momento flettente ultimo [daNm] intorno all'asse X di riferimento della sezione |
| Mis.Sic. | Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult,My ult) e (N,Mx,My) |

As Tesa Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000
 Area armature [cm²] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa

| N°Comb | Ver | N | Mx | My | N ult | Mx ult | My ult | Mis.Sic. | As Tesa |
|--------|-----|-------|-------|----|-------|--------|--------|----------|---------|
| 1 | S | 55600 | 25500 | 0 | 55612 | 138221 | 0 | 5.420 | ----- |

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
 ec 3/7 Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace
 Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
 Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
 es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
 Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
 Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
 es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
 Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
 Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

| N°Comb | ec max | ec 3/7 | Xc max | Yc max | es min | Xs min | Ys min | es max | Xs max | Ys max |
|--------|---------|----------|--------|--------|---------|--------|--------|----------|--------|--------|
| 1 | 0.00350 | -0.00179 | 0.0 | 50.0 | 0.00214 | 0.0 | 39.0 | -0.00748 | 0.0 | -39.0 |

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
 x/d Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless. (travi)
 C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

| N°Comb | a | b | c | x/d | C.Rid. |
|--------|-------------|-------------|--------------|------|--------|
| 1 | 0.000000000 | 0.000123326 | -0.002666299 | ---- | ---- |

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - VERIFICHE A TAGLIO

Passo staffe: 15.0 cm

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

| N°Comb | Ver | Vsdu | Vcd | Vwd | Dmed | bw | Teta | Acw | Ast | A.Eff |
|--------|-----|-------|--------|-------|------|------|--------|-------|-----|-----------|
| 1 | S | 25000 | 161385 | 75743 | 80.4 | 87.0 | 21.80° | 1.050 | 3.5 | 10.7(0.0) |

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

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

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. | D barre | Beta12 |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|
| 1 | S | 27.8 | 0.0 | 0.0 | -12 | 0.0 | -39.0 | ---- | ---- | ---- | ---- |

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. | D barre | Beta12 |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|
| 1 | S | 26.8 | 0.0 | 0.0 | -3 | 0.0 | -39.0 | ---- | ---- | ---- | ---- |

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE

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

| Comb. | Ver | S1 | S2 | k3 | Ø | Cf | Psi | e sm | srm | wk | Mx fess | My fess |
|-------|-----|------|----|------|------|------|------|------|------|------|---------|---------|
| 1 | S | -3.5 | 0 | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | 131236 | 0 |

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

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. | D barre | Beta12 |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|
| 1 | S | 24.1 | 0.0 | 0.0 | 46 | 0.0 | -39.0 | ---- | ---- | ---- | ---- |

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE

| Comb. | Ver | S1 | S2 | k3 | Ø | Cf | Psi | e sm | srm | wk | Mx fess | My fess |
|-------|-----|-----|----|------|------|------|------|------|------|------|---------|---------|
| 1 | S | 0.5 | 0 | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | 41820 | 0 |

7.7.3 VERIFICA PER LA RIDUZIONE DI ARMATURA – TRATTO 2

Le sollecitazioni di cui al paragrafo precedente si utilizzano per verificare le sezioni di armatura delle gabbie che si dispongono a profondità superiori a 12m. Si adotta una gabbia composta da 8φ20 corrispondente a un'area dello 0.32% della sezione di calcestruzzo.

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: palo1000-1gabbia-2

| | |
|-------------------------------|-------------------------------|
| Descrizione Sezione: | |
| Metodo di calcolo resistenza: | Stati Limite Ultimi |
| Tipologia sezione: | Sezione generica |
| Normativa di riferimento: | N.T.C. |
| Percorso sollecitazione: | A Sforzo Norm. costante |
| Condizioni Ambientali: | Poco aggressive |
| Riferimento Sforzi assegnati: | Assi x,y principali d'inerzia |
| Riferimento alla sismicità: | Zona non sismica |

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

| | | |
|----------------|-------------------------------|----------------------------|
| CALCESTRUZZO - | Classe: | C25/30 |
| | Resis. compr. di calcolo fcd: | 141.60 daN/cm ² |
| | Resis. compr. ridotta fcd': | 70.80 daN/cm ² |

| | | |
|--|---------------------|---------------------|
| Def.unit. max resistenza ec2: | 0.0020 | |
| Def.unit. ultima ecu: | 0.0035 | |
| Diagramma tensione-deformaz.: | Parabola-Rettangolo | |
| Modulo Elastico Normale Ec: | 314750 | daN/cm ² |
| Resis. media a trazione fctm: | 25.60 | daN/cm ² |
| Coeff. Omogen. S.L.E.: | 15.00 | |
| Sc limite S.L.E. comb. Rare: | 150.00 | daN/cm ² |
| Sc limite S.L.E. comb. Frequenti: | 150.00 | daN/cm ² |
| Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti: | 0.400 | mm |
| Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti: | 112.50 | daN/cm ² |
| Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Q.Permanenti: | 0.300 | mm |

| | | | |
|-----------|--|------------------|---------------------|
| ACCIAIO - | Tipo: | B450C | |
| | Resist. caratt. snervam. fyk: | 4500.0 | daN/cm ² |
| | Resist. caratt. rottura ftk: | 4500.0 | daN/cm ² |
| | Resist. snerv. di calcolo fyd: | 3913.0 | daN/cm ² |
| | Resist. ultima di calcolo ftd: | 3913.0 | daN/cm ² |
| | Deform. ultima di calcolo Epu: | 0.068 | |
| | Modulo Elastico Ef | 2000000 | daN/cm ² |
| | Diagramma tensione-deformaz.: | Bilineare finito | |
| | Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$: | 1.00 | |
| | Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$: | 0.50 | |
| | Sf limite S.L.E. Comb. Rare: | 3600.0 | daN/cm ² |

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

| | |
|----------------------|-----------|
| Forma del Dominio: | Circolare |
| Classe Conglomerato: | C25/30 |

| | |
|-----------------|---------|
| Raggio circ.: | 50.0 cm |
| X centro circ.: | 0.0 cm |
| Y centro circ.: | 0.0 cm |

DATI GENERAZIONI CIRCOLARI DI BARRE

| | |
|---------|---|
| N°Gen. | Numero assegnato alla singola generazione circolare di barre |
| Xcentro | Ascissa [cm] del centro della circonfer. lungo cui sono disposte le barre generate |
| Ycentro | Ordinata [cm] del centro della circonfer. lungo cui sono disposte le barre generate |
| Raggio | Raggio [cm] della circonferenza lungo cui sono disposte le barre generate |
| N°Barre | Numero di barre generate equidist. disposte lungo la circonferenza |
| Ø | Diametro [mm] della singola barra generata |

| N°Gen. | Xcentro | Ycentro | Raggio | N°Barre | Ø |
|--------|---------|---------|--------|---------|----|
| 1 | 0.0 | 0.0 | 41.0 | 8 | 20 |

ARMATURE A TAGLIO

| | |
|------------------|---------|
| Diametro staffe: | 8 mm |
| Passo staffe: | 15.0 cm |

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

| | |
|----|--|
| N | Sforzo normale in daN applicato nel Baric. (+ se di compressione) |
| Mx | Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez. |
| My | Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez. |
| Vy | Componente del Taglio [daN] parallela all'asse princ.d'inerzia y |
| Vx | Componente del Taglio [daN] parallela all'asse princ.d'inerzia x |

| N°Comb. | N | Mx | My | Vy | Vx |
|---------|-------|-------|----|-------|----|
| 1 | 55600 | 25500 | 0 | 25000 | 0 |

COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
 My Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

| N°Comb. | N | Mx | My |
|---------|--------|-------|----|
| 1 | 108000 | 19100 | 0 |

COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
 My Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

| N°Comb. | N | Mx | My |
|---------|--------|----------------|-------|
| 1 | 107200 | 18000 (109742) | 0 (0) |

COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
 My Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

| N°Comb. | N | Mx | My |
|---------|--------|----------------|-------|
| 1 | 113100 | 14000 (195074) | 0 (0) |

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 8.0 cm
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 29.4 cm
 Copriferro netto minimo staffe: 7.2 cm

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

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

| N°Comb | Ver | N | Mx | My | N ult | Mx ult | My ult | Mis.Sic. | As Tesa |
|--------|-----|-------|-------|----|-------|--------|--------|----------|---------|
| 1 | S | 55600 | 25500 | 0 | 55607 | 60144 | 0 | 2.359 | ----- |

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
 ec 3/7 Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace
 Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
 Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
 es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
 Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)

| | Ys min | es max | Xs max | Ys max | | | | | | |
|--------|--|----------|--------|--------|---------|--------|--------|----------|--------|--------|
| | Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.) | | | | | | | | | |
| | Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.) | | | | | | | | | |
| | Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.) | | | | | | | | | |
| | Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.) | | | | | | | | | |
| N°Comb | ec max | ec 3/7 | Xc max | Yc max | es min | Xs min | Ys min | es max | Xs max | Ys max |
| 1 | 0.00350 | -0.00437 | 0.0 | 50.0 | 0.00185 | 0.0 | 41.0 | -0.01321 | 0.0 | -41.0 |

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

| | a, b, c | x/d | C.Rid. | | | |
|--------|--|-------------|--------------|------|--------|--|
| | Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen. | | | | | |
| | Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless.(travi) | | | | | |
| | Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue | | | | | |
| N°Comb | a | b | c | x/d | C.Rid. | |
| 1 | 0.000000000 | 0.000183644 | -0.005682185 | ---- | ---- | |

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - VERIFICHE A TAGLIO

Passo staffe: 15.0 cm

| | Ver | Vsdu | Vcd | Vwd | Dmed | bw | Teta | Acw | Ast | A.Eff |
|--------|--|-------|--------|-------|------|------|--------|-------|-----|----------|
| | S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata | | | | | | | | | |
| | Taglio di progetto [daN] = proiez. di Vx e Vy sulla normale all'asse neutro | | | | | | | | | |
| | Taglio resistente ultimo [daN] lato conglomerato compresso | | | | | | | | | |
| | Taglio resistente [daN] assorbito dalle staffe | | | | | | | | | |
| | Altezza utile media pesata [cm] valutata lungo strisce ortog. all'asse neutro. | | | | | | | | | |
| | Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso. | | | | | | | | | |
| | I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce. | | | | | | | | | |
| | Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro | | | | | | | | | |
| | E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed. | | | | | | | | | |
| | Angolo [gradi sessadec.] di inclinazione dei puntoni di conglomerato | | | | | | | | | |
| | Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione | | | | | | | | | |
| | Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm²/m] | | | | | | | | | |
| | Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm²/m] | | | | | | | | | |
| | Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature. | | | | | | | | | |
| | L'area della legatura è ridotta col fattore L/d_max con L=lungh.legat.proietta- ta sulla direz. del taglio e d_max= massima altezza utile nella direz.del taglio. | | | | | | | | | |
| N°Comb | Ver | Vsdu | Vcd | Vwd | Dmed | bw | Teta | Acw | Ast | A.Eff |
| 1 | S | 25000 | 147986 | 50075 | 83.4 | 76.9 | 21.80° | 1.050 | 3.4 | 6.8(0.0) |

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

| | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. | D barre | Beta12 |
|--------|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|
| | S = comb. verificata/ N = comb. non verificata | | | | | | | | | | |
| | Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [daN/cm²] | | | | | | | | | | |
| | Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O) | | | | | | | | | | |
| | Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [daN/cm²] | | | | | | | | | | |
| | Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O) | | | | | | | | | | |
| | Area di calcestruzzo [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre | | | | | | | | | | |
| | Area barre [cm²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure | | | | | | | | | | |
| | Distanza tra le barre tese [cm] ai fini del calcolo dell'apertura fessure | | | | | | | | | | |
| | Prodotto dei coeff. di aderenza delle barre $\beta_1 \cdot \beta_2$ | | | | | | | | | | |
| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. | D barre | Beta12 |
| 1 | S | 31.4 | 0.0 | 150.0 | -28 | 0.0 | -41.0 | ---- | ---- | ---- | ---- |

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. | D barre | Beta12 |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|
| 1 | S | 30.2 | 0.0 | 150.0 | -16 | 0.0 | -41.0 | ---- | ---- | ---- | ---- |

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE

Ver. La sezione viene assunta come fessurata solo se la trazione nel calcestruzzo supera f_{ctm} in almeno una combinazione
 Esito della verifica

| | |
|----------|--|
| S1 | Massima tensione [daN/cm ²] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione non fessurata |
| S2 | Minima tensione [daN/cm ²] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione fessurata |
| k2 | = 0.4 per barre ad aderenza migliorata |
| k3 | = 0.125 per flessione e presso-flessione; $=(e1 + e2)/(2 \cdot e1)$ per trazione eccentrica |
| Ø | Diametro [mm] medio delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff |
| Cf | Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa |
| Psi | $= 1 - \text{Beta}12 \cdot (Ssr/Ss)^2 = 1 - \text{Beta}12 \cdot (fctm/S2)^2 = 1 - \text{Beta}12 \cdot (Mfess/M)^2$ |
| e sm | Deformazione unitaria media tra le fessure Il valore limite = $0.4 \cdot Ss/Es$ è tra parentesi |
| srm | Distanza media tra le fessure [mm] |
| wk | Valore caratteristico [mm] dell'apertura fessure = $1.7 \cdot e \cdot sm \cdot srm$. Valore limite tra parentesi |
| MX fess. | Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [daNm] |
| MY fess. | Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [daNm] |

| Comb. | Ver | S1 | S2 | k3 | Ø | Cf | Psi | e sm | srm | wk | Mx fess | My fess |
|-------|-----|------|----|------|------|------|------|------|------|------|---------|---------|
| 1 | S | -4.2 | 0 | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | 109742 | 0 |

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

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. | D barre | Beta12 |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|
| 1 | S | 27.1 | 0.0 | 150.0 | 41 | 0.0 | -41.0 | ---- | ---- | ---- | ---- |

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE

| Comb. | Ver | S1 | S2 | k3 | Ø | Cf | Psi | e sm | srm | wk | Mx fess | My fess |
|-------|-----|-----|----|------|------|------|------|------|------|------|---------|---------|
| 1 | S | 0.3 | 0 | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | 195074 | 0 |

8. ALLEGATO: TABULATI MODELLO GROUP

=====

GROUP for Windows, Version 7.0.1

Analysis of A Group of Piles
 Subjected to Axial and Lateral Loading

(c) Copyright ENSOFT, Inc., 1987-2006
 All Rights Reserved

***** INPUT INFORMATION *****

* TABLE C * LOAD AND CONTROL PARAMETERS

UNITS--

VERT.LOAD, KN HOR.LOADy, KN HOR.LOADz, KN
 0.4120D+05 0.9822D+04 -0.1140D+03

MOMENT-V , KN- M MOMENT-Hy, KN- M MOMENT-Hz, KN- M
 0.0000D+00 -0.3176D+04 -0.4399D+05

* THE LOADING IS STATIC *

KPYOP = 0 (CODE TO GENERATE P-Y CURVES)

(KPYOP = 1 IF P-Y YES; = 0 IF P-Y NO; = -1 IF P-Y ONLY)

* CONTROL PARAMETERS *

TOLERANCE ON CONVERGENCE OF FOUNDATION REACTION, = 0.100D-04 M

TOLERANCE ON DETERMINATION OF DEFLECTIONS = 0.254D-06 M

MAX NO OF ITERATIONS ALLOWED FOR FOUNDATION ANALYSIS = 100

MAXIMUM NO. OF ITERATIONS ALLOWED FOR PILE ANALYSIS = 100

* TABLE D * ARRANGEMENT OF PILE GROUPS

| GROUP | CONNECT | NO OF PILE | PILE NO | L-S CURVE | P-Y CURVE |
|-------|---------|------------|---------|-----------|-----------|
| 1 | FIX | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 2 | FIX | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 3 | FIX | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 4 | FIX | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 5 | FIX | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 6 | FIX | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 7 | FIX | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 8 | FIX | 1 | 1 | 1 | 0 |

| | | | | | |
|----|-----|---|---|---|---|
| 9 | FIX | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 10 | FIX | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 11 | FIX | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 12 | FIX | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 13 | FIX | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 14 | FIX | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 15 | FIX | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 16 | FIX | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 17 | FIX | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 18 | FIX | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 19 | FIX | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 20 | FIX | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 21 | FIX | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 22 | FIX | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 23 | FIX | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 24 | FIX | 1 | 1 | 1 | 0 |

GROUP VERT, M HORY, M HORz, M
 1 0.0000D+00 -0.4500D+01 0.7500D+01

ALPHA ,DEG BETA ,DEG GROUND, M SPRING, KN- M
 0.0000 90.0000 0.00 0.00

GROUP VERT, M HORY, M HORz, M
 2 0.0000D+00 -0.1500D+01 0.7500D+01

ALPHA ,DEG BETA ,DEG GROUND, M SPRING, KN- M
 0.0000 90.0000 0.00 0.00

GROUP VERT, M HORY, M HORz, M
 3 0.0000D+00 0.1500D+01 0.7500D+01

ALPHA ,DEG BETA ,DEG GROUND, M SPRING, KN- M
 0.0000 90.0000 0.00 0.00

GROUP VERT, M HORY, M HORz, M
 4 0.0000D+00 0.4500D+01 0.7500D+01

ALPHA ,DEG BETA ,DEG GROUND, M SPRING, KN- M
 0.0000 90.0000 0.00 0.00

GROUP VERT, M HORY, M HORz, M
 5 0.0000D+00 -0.4500D+01 0.4500D+01

ALPHA ,DEG BETA ,DEG GROUND, M SPRING, KN- M
 0.0000 90.0000 0.00 0.00

GROUP VERT, M HORY, M HORz, M
 6 0.0000D+00 -.1500D+01 0.4500D+01

ALPHA ,DEG BETA ,DEG GROUND, M SPRING, KN- M
 0.0000 90.0000 0.00 0.00

GROUP VERT, M HORY, M HORz, M
 7 0.0000D+00 0.1500D+01 0.4500D+01

ALPHA ,DEG BETA ,DEG GROUND, M SPRING, KN- M
 0.0000 90.0000 0.00 0.00

GROUP VERT, M HORY, M HORz, M
 8 0.0000D+00 0.4500D+01 0.4500D+01

ALPHA ,DEG BETA ,DEG GROUND, M SPRING, KN- M
 0.0000 90.0000 0.00 0.00

GROUP VERT, M HORY, M HORz, M
 9 0.0000D+00 -.4500D+01 0.1500D+01

ALPHA ,DEG BETA ,DEG GROUND, M SPRING, KN- M
 0.0000 90.0000 0.00 0.00

GROUP VERT, M HORY, M HORz, M
 10 0.0000D+00 -.1500D+01 0.1500D+01

ALPHA ,DEG BETA ,DEG GROUND, M SPRING, KN- M
 0.0000 90.0000 0.00 0.00

GROUP VERT, M HORY, M HORz, M
 11 0.0000D+00 0.1500D+01 0.1500D+01

ALPHA ,DEG BETA ,DEG GROUND, M SPRING, KN- M
 0.0000 90.0000 0.00 0.00

GROUP VERT, M HORY, M HORz, M
 12 0.0000D+00 0.4500D+01 0.1500D+01

ALPHA ,DEG BETA ,DEG GROUND, M SPRING, KN- M
 0.0000 90.0000 0.00 0.00

GROUP VERT, M HORY, M HORz, M
 13 0.0000D+00 -.4500D+01 -.1500D+01

ALPHA ,DEG BETA ,DEG GROUND, M SPRING, KN- M
 0.0000 90.0000 0.00 0.00

GROUP VERT, M HORY, M HORz, M

14 0.0000D+00 -.1500D+01 -.1500D+01

ALPHA ,DEG BETA ,DEG GROUND, M SPRING, KN- M

0.0000 90.0000 0.00 0.00

GROUP VERT, M HORY, M HORz, M

15 0.0000D+00 0.1500D+01 -.1500D+01

ALPHA ,DEG BETA ,DEG GROUND, M SPRING, KN- M

0.0000 90.0000 0.00 0.00

GROUP VERT, M HORY, M HORz, M

16 0.0000D+00 0.4500D+01 -.1500D+01

ALPHA ,DEG BETA ,DEG GROUND, M SPRING, KN- M

0.0000 90.0000 0.00 0.00

GROUP VERT, M HORY, M HORz, M

17 0.0000D+00 -.4500D+01 -.4500D+01

ALPHA ,DEG BETA ,DEG GROUND, M SPRING, KN- M

0.0000 90.0000 0.00 0.00

GROUP VERT, M HORY, M HORz, M

18 0.0000D+00 -.1500D+01 -.4500D+01

ALPHA ,DEG BETA ,DEG GROUND, M SPRING, KN- M

0.0000 90.0000 0.00 0.00

GROUP VERT, M HORY, M HORz, M

19 0.0000D+00 0.1500D+01 -.4500D+01

ALPHA ,DEG BETA ,DEG GROUND, M SPRING, KN- M

0.0000 90.0000 0.00 0.00

GROUP VERT, M HORY, M HORz, M

20 0.0000D+00 0.4500D+01 -.4500D+01

ALPHA ,DEG BETA ,DEG GROUND, M SPRING, KN- M

0.0000 90.0000 0.00 0.00

GROUP VERT, M HORY, M HORz, M

21 0.0000D+00 -.4500D+01 -.7500D+01

ALPHA ,DEG BETA ,DEG GROUND, M SPRING, KN- M

0.0000 90.0000 0.00 0.00

GROUP VERT, M HORY, M HORZ, M
 22 0.0000D+00 -0.1500D+01 -0.7500D+01

ALPHA ,DEG BETA ,DEG GROUND, M SPRING, KN- M
 0.0000 90.0000 0.00 0.00

GROUP VERT, M HORY, M HORZ, M
 23 0.0000D+00 0.1500D+01 -0.7500D+01

ALPHA ,DEG BETA ,DEG GROUND, M SPRING, KN- M
 0.0000 90.0000 0.00 0.00

GROUP VERT, M HORY, M HORZ, M
 24 0.0000D+00 0.4500D+01 -0.7500D+01

ALPHA ,DEG BETA ,DEG GROUND, M SPRING, KN- M
 0.0000 90.0000 0.00 0.00

* TABLE E * PILE GEOMETRY AND PROPERTIES

PILE TYPE = 1 - DRIVEN PILE

= 2 - DRILLED SHAFT

PILE SEC INC LENGTH, M E , KN/ M**2 PILE TYPE
 1 1 100 0.3000D+02 0.2500D+08 2

PILE FROM, M TO, M DIAM, M AREA, M**2 I1, M**4 I2, M**4 GJ, M**2
 1 0.0000D+00 0.3000D+02 0.1000D+01 0.7850D+00 0.4910D-01 0.4910D-01 0.1276D+07

* TABLE F * AXIAL LOAD VS SETTLEMENT

(THE LOAD-SETTLEMENT CURVE OF SINGLE PILE IS GENERATED INTERNALLY)

NUM OF CURVES 1

CURVE 1 NUM OF POINTS 19

POINT AXIAL LOAD, KN SETTLEMENT, M
 1 -0.5679D+03 -0.5122D-01

| | | |
|----|-------------|-------------|
| 2 | -0.5696D+03 | -0.2582D-01 |
| 3 | -0.5725D+03 | -0.1312D-01 |
| 4 | -0.3968D+03 | -0.2830D-02 |
| 5 | -0.2463D+03 | -0.1449D-02 |
| 6 | -0.5296D+02 | -0.2923D-03 |
| 7 | -0.2652D+02 | -0.1462D-03 |
| 8 | -0.5329D+01 | -0.2927D-04 |
| 9 | -0.5598D+00 | -0.2962D-05 |
| 10 | 0.0000D+00 | 0.0000D+00 |
| 11 | 0.2489D+03 | 0.3292D-03 |
| 12 | 0.3759D+03 | 0.5160D-03 |
| 13 | 0.9384D+03 | 0.1346D-02 |
| 14 | 0.1195D+04 | 0.1802D-02 |
| 15 | 0.2102D+04 | 0.3985D-02 |
| 16 | 0.2647D+04 | 0.5976D-02 |
| 17 | 0.4247D+04 | 0.1837D-01 |
| 18 | 0.5092D+04 | 0.3227D-01 |
| 19 | 0.5961D+04 | 0.5891D-01 |

* TABLE T * TORS. MOM. VS ANGLE ROT.

(THE TORQUE-ROTATION CURVE OF SINGLE PILE IS GENERATED INTERNALLY)

NUM OF CURVES 1

CURVE 1 NUM OF POINTS 19

| POINT | TORS.MOMEN, KN- M | ROT. ANGLE,Rad. |
|-------|-------------------|-----------------|
| 1 | -0.2650D+03 | -0.1048D+00 |
| 2 | -0.2658D+03 | -0.5401D-01 |
| 3 | -0.2672D+03 | -0.2862D-01 |
| 4 | -0.1922D+03 | -0.7349D-02 |
| 5 | -0.1239D+03 | -0.3970D-02 |
| 6 | -0.2731D+02 | -0.8184D-03 |
| 7 | -0.1365D+02 | -0.4092D-03 |
| 8 | -0.2731D+01 | -0.8184D-04 |
| 9 | -0.2731D+00 | -0.8184D-05 |
| 10 | 0.0000D+00 | 0.0000D+00 |
| 11 | 0.2731D+00 | 0.8184D-05 |
| 12 | 0.2731D+01 | 0.8184D-04 |
| 13 | 0.1365D+02 | 0.4092D-03 |
| 14 | 0.2731D+02 | 0.8184D-03 |
| 15 | 0.1239D+03 | 0.3970D-02 |
| 16 | 0.1922D+03 | 0.7349D-02 |
| 17 | 0.2672D+03 | 0.2862D-01 |

| | | |
|----|------------|------------|
| 18 | 0.2658D+03 | 0.5401D-01 |
| 19 | 0.2650D+03 | 0.1048D+00 |

* TABLE H * SOIL DATA FOR AUTO P-Y CURVES

SOILS INFORMATION

AT THE GROUND SURFACE = 0.00 M

2 LAYER(S) OF SOIL

LAYER 1

THE SOIL IS A SAND

X AT THE TOP OF THE LAYER = 0.00 M

X AT THE BOTTOM OF THE LAYER = 4.00 M

MODULUS OF SUBGRADE REACTION = 0.150D+05 KN/ M**3

LAYER 2

THE SOIL IS A SAND

X AT THE TOP OF THE LAYER = 4.00 M

X AT THE BOTTOM OF THE LAYER = 32.00 M

MODULUS OF SUBGRADE REACTION = 0.150D+05 KN/ M**3

DISTRIBUTION OF EFFECTIVE UNIT WEIGHT WITH DEPTH

4 POINTS

| X, M | WEIGHT, KN/ M**3 |
|---------|------------------|
| 0.0000 | 0.9500D+01 |
| 4.0000 | 0.9500D+01 |
| 4.0000 | 0.9000D+01 |
| 32.0000 | 0.9000D+01 |

DISTRIBUTION OF STRENGTH PARAMETERS WITH DEPTH

4 POINTS

| X | C | PHI,DEGREES | E50 | FMAX | TIPMAX |
|-------|------------|-------------|------------|------------|------------|
| M | KN/ M**2 | | KN/ M**2 | KN/ M**2 | KN/ M**2 |
| 0.00 | 0.0000E+00 | 35.000 | 0.0000E+00 | 0.1000E+02 | 0.0000E+00 |
| 4.00 | 0.0000E+00 | 35.000 | 0.0000E+00 | 0.1000E+02 | 0.0000E+00 |
| 4.00 | 0.0000E+00 | 34.000 | 0.0000E+00 | 0.1000E+03 | 0.0000E+00 |
| 32.00 | 0.0000E+00 | 34.000 | 0.0000E+00 | 0.1000E+03 | 0.0000E+00 |

REDUCTION FACTORS FOR CLOSELY-SPACED PILE GROUPS ALONG Y-DIRECTION

ESTIMATED ASSUMING MOVEMENT IN THE DIRECTION OF Y-FORCE (+)

| GROUP NO | P-FACTOR | Y-FACTOR |
|----------|----------|----------|
| 1 | 0.58 | 1.00 |
| 2 | 0.54 | 1.00 |
| 3 | 0.58 | 1.00 |
| 4 | 0.87 | 1.00 |
| 5 | 0.50 | 1.00 |
| 6 | 0.46 | 1.00 |
| 7 | 0.50 | 1.00 |
| 8 | 0.81 | 1.00 |
| 9 | 0.49 | 1.00 |
| 10 | 0.46 | 1.00 |
| 11 | 0.49 | 1.00 |
| 12 | 0.81 | 1.00 |
| 13 | 0.49 | 1.00 |
| 14 | 0.46 | 1.00 |
| 15 | 0.49 | 1.00 |
| 16 | 0.81 | 1.00 |
| 17 | 0.50 | 1.00 |
| 18 | 0.46 | 1.00 |
| 19 | 0.50 | 1.00 |
| 20 | 0.81 | 1.00 |
| 21 | 0.58 | 1.00 |
| 22 | 0.54 | 1.00 |
| 23 | 0.58 | 1.00 |
| 24 | 0.87 | 1.00 |

REDUCTION FACTORS FOR CLOSELY-SPACED PILE GROUPS ALONG Z-DIRECTION
 ESTIMATED ASSUMING MOVEMENT IN THE DIRECTION OF Z-FORCE (-)

| GROUP NO | P-FACTOR | Y-FACTOR |
|----------|----------|----------|
| 1 | 0.58 | 1.00 |
| 2 | 0.50 | 1.00 |
| 3 | 0.50 | 1.00 |
| 4 | 0.58 | 1.00 |
| 5 | 0.54 | 1.00 |
| 6 | 0.46 | 1.00 |
| 7 | 0.46 | 1.00 |
| 8 | 0.54 | 1.00 |
| 9 | 0.54 | 1.00 |
| 10 | 0.46 | 1.00 |
| 11 | 0.46 | 1.00 |
| 12 | 0.54 | 1.00 |
| 13 | 0.54 | 1.00 |
| 14 | 0.46 | 1.00 |
| 15 | 0.46 | 1.00 |

| | | |
|----|------|------|
| 16 | 0.54 | 1.00 |
| 17 | 0.58 | 1.00 |
| 18 | 0.50 | 1.00 |
| 19 | 0.50 | 1.00 |
| 20 | 0.58 | 1.00 |
| 21 | 0.87 | 1.00 |
| 22 | 0.81 | 1.00 |
| 23 | 0.81 | 1.00 |
| 24 | 0.87 | 1.00 |

REDUCTION FACTORS FOR CLOSELY-SPACED PILE GROUPS, COMBINED Y AND Z DIRECTIONS
 ESTIMATED USING MOVEMENT IN THE DIRECTION OF PILE CAP DISPLACEMENTS

GROUP NO P-FACTOR Y-FACTOR

| | | |
|----|------|------|
| 1 | 0.58 | 1.00 |
| 2 | 0.54 | 1.00 |
| 3 | 0.58 | 1.00 |
| 4 | 0.87 | 1.00 |
| 5 | 0.50 | 1.00 |
| 6 | 0.46 | 1.00 |
| 7 | 0.50 | 1.00 |
| 8 | 0.81 | 1.00 |
| 9 | 0.49 | 1.00 |
| 10 | 0.46 | 1.00 |
| 11 | 0.49 | 1.00 |
| 12 | 0.81 | 1.00 |
| 13 | 0.49 | 1.00 |
| 14 | 0.46 | 1.00 |
| 15 | 0.49 | 1.00 |
| 16 | 0.81 | 1.00 |
| 17 | 0.50 | 1.00 |
| 18 | 0.46 | 1.00 |
| 19 | 0.50 | 1.00 |
| 20 | 0.81 | 1.00 |
| 21 | 0.58 | 1.00 |
| 22 | 0.54 | 1.00 |
| 23 | 0.58 | 1.00 |
| 24 | 0.87 | 1.00 |

***** COMPUTATION RESULTS *****

VERT. LOAD, KN HOR. LOAD_y, KN HOR. LOAD_z, KN
 0.4120D+05 0.9822D+04 -0.1140D+03

MOMENT-V, M- KN MOMENT-H_y, M- KN MOMENT-H_z, M- KN
 0.0000D+00 -0.3176D+04 -0.4399D+05

DISPLACEMENT OF GROUPED PILE FOUNDATION

VERTICAL, M HORIZONTAL_y, M HORIZONTAL_z, M
 0.3486D-02 0.9445D-02 -0.1295D-03

ANGLE ROT.x,RAD ANGLE ROT.y,RAD ANGLE ROT.z,RAD
 0.1285D-05 -0.1446D-04 -0.6373D-03

NUMBER OF ITERATIONS = 5

* PILE GROUP * 24
 PILE DISPLACEMENTS

THE GLOBAL STRUCTURAL COORDINATE SYSTEM

| VDISPL, M | HDISPL _y , M | HDISPL _z , M | ROT. V,RAD | ROT.H _y ,RAD | ROT.H _z ,RAD |
|-----------|-------------------------|-------------------------|------------|-------------------------|-------------------------|
| 0.646D-02 | 0.946D-02 | -0.124D-03 | 0.128D-05 | -0.145D-04 | -0.637D-03 |

9. ANALISI E VALIDITA' VERIFICHE SVOLTE

Si riportano le informazioni in ottemperanza a quanto disposto dal capitolo 10 della vigente normativa tecnica (DM2018).

- *Tipo di analisi svolta*

Il calcolo viene eseguito in ambito statico lineare. Per quanto riguarda l'analisi sismica, si adottano le procedure di verifica per struttura in zona 4, applicando un sistema di forze pseudo-statiche, calcolate in modo semplificato. L'analisi strutturale viene eseguita con il metodo degli spostamenti, mentre le verifiche delle sezioni sono state effettuate secondo metodi della tecnica delle costruzioni, come indicato dettagliatamente nel seguito della presente relazione. Le combinazioni di carico sono indicate nel seguito: esse sono in numero tale da coprire tutte le possibili casistiche.

- *Origine, caratteristiche e affidabilità dei codici di calcolo*

Le analisi strutturali, ove non siano effettuate per via analitica, sono eseguite con un codice di calcolo sviluppato dal progettista in un linguaggio di programmazione OpenSource (linguaggio Octave). Tale codice di calcolo è basato sul metodo degli spostamenti e consente la soluzione dei problemi di telai piani in ambito statico.

- *Validazione dei codici*

I risultati del codice sono stati validati dal progettista con riferimento a vari casi di studio. La cui soluzione esatta si può reperire nella letteratura specialistica. Le verifiche delle sezioni sono state eseguite con fogli di lavoro oppure con il software di libera distribuzione VcaSLU (Prof. Gelfi), anch'essi opportunamente validati con calcoli manuali.

- *Modalità di presentazione dei risultati*

Le modalità di applicazione dei carichi sono descritte nella relazione con riferimento alle varie parti di struttura. Considerando la semplicità dello stato di carico la rappresentazione grafica appare superflua. I risultati sono presentati sottoforma di diagrammi delle componenti di azione interna oppure come tabelle dei valori di azioni interne nei punti più significativi. In questo modo si può fare una valutazione immediata dello stato di sollecitazione nelle membrature strutturali.

- *Giudizio motivato di accettabilità dei risultati*

Per quanto riguarda la verifica dei risultati, sono stati effettuati confronti delle azioni interne con casi analoghi ma più semplici (travi semplicemente appoggiate o incastrate). Le reazioni vincolari sono state controllate in fase di progettazione. La rappresentazione delle configurazioni deformate, che sono state comunque esaminate in sede di progettazione per avere conferma della correttezza del calcolo, non forniscono informazioni utili alla verifica di sicurezza. Non si ritiene pertanto indispensabile il loro inserimento nella relazione.

9.1 ALLEGATO 1 VALIDAZIONE RC-SEC



Geostru Software – Validazione codice di calcolo RC-SEC

Validazione del codice di calcolo

Informativa sull'affidabilità dei codici di calcolo D.M. 14-01-2008 paragrafo 10.2.

Le fasi di progettazione e sviluppo dei software *GeoStru* sono sottoposti al controllo gestione di qualità aziendale ISO (*International Organization for Standardization*) 9001:2000 certificato da CVI ITALIA srl - **Certificato nr. 7007 1 04**.

Sono stati forniti degli esempi di calcolo, in allegato a questo documento, al fine di verificare la validità delle procedure di calcolo ed effettuare le procedure di controllo con altri strumenti di calcolo.

I software *GeoStru* sono dotati di sistemi di controllo dei dati di input e di output molto sofisticati i quali sono in grado di rilevare errori gravi tali da non consentire le corrette elaborazioni.

Bianco 15/09/2010

1



RC-SEC

Versione: 2011.4 Rev. 217

Validazione del codice di calcolo



PREMESSA

Nell'ambito delle verifiche di affidabilità previste per i codici di calcolo (punto 10.2 DM 14 Gennaio 2008) è richiesta la presente documentazione del produttore che illustri:

1. campi di impiego
2. basi teoriche ed algoritmi impiegati
3. casi di prova risolti e commentati con i relativi files di input.

1 CAMPI DI IMPIEGO

Il programma può essere utilizzato per la verifica ed il semiprogetto delle armature delle sezioni in c.a. ordinario agli stati limite ultimi e di esercizio secondo le nuove norme di cui al DM 14.01.2008 nonché secondo l'ultima versione dell'Eurocodice 2 (UNI EN 1992-1-1-2005). Sono presi in considerazione sia sollecitazioni rette che deviate (presso-tenso flessione deviata con la presenza contemporanea delle due componenti del taglio). E' altresì possibile eseguire le verifiche con il metodo delle tensioni ammissibili secondo il DM 14.02.1992. Per singoli elementi strutturali (travi o pilastri) è previsto il calcolo delle frecce in esercizio tenendo conto della fessurazione e della viscosità.

Per la verifica di pilastri rettangolari snelli è implementato il metodo della colonna modello.

2 BASI TEORICHE ED ALGORITMI IMPIEGATI

Sono illustrati in dettaglio nel manuale d'uso del programma in riferimento ai singoli problemi trattati. Vengono comunque di seguito illustrate particolari caratteristiche conseguenti alle novità introdotte dal DM 14.01.2008 d'ora in poi denominato NTC.

Come legame costitutivo del calcestruzzo il programma impiega sempre il diagramma parabola-rettangolo prevedendo valori differenti delle deformazioni unitarie caratteristiche (ϵ_{c2} , ϵ_{cu}) a seconda se la classe di resistenza è superiore o inferiore alla C50/60 (Punto 4.1.2.1.2.2 NTC). Il tratto curvilineo del diagramma è definito dall'espressione:

$$\sigma_c = f_{cd} \left[1 - \left(1 - \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c2}} \right)^n \right] \quad (1)$$

Nelle NTC l'esponente n vale sempre 2 (parabola). Nell'Eurocodice2 $n=2$ fino alla classe C50/60 mentre per classi superiori il tratto curvilineo diventa una curva esponenziale avente sempre la formulazione (1) ma con $n = 1,4 + 23,4 [(90-f_{ck}/10)/100]^4$ (f_{ck} in daN/cm²), formulazione prevista in programma se si è selezionata l'opzione di calcolo EC2).

Il tratto orizzontale del diagramma vale:

$$\sigma_c = f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c \quad \text{con } \alpha_{cc} = 0,85 \text{ e } \gamma_c = 1,5 \text{ (nel DM96 era } \gamma_c = 1,6).$$

Altra importante novità è costituita dal fatto che in Italia l'acciaio per cemento armato ordinario dovrà essere costituito in pratica dal solo tipo C450 caratterizzato da:

- resistenza a trazione caratteristica $f_{tk} \geq 540 \text{ N/mm}^2$



- resistenza a snervamento caratteristica $f_{yk} \geq 450 \text{ N/mm}^2$
 - allungamento unitario per carico massimo $\epsilon_{uk} \geq 0,075$.
- Sia per le NTC che per l'EC2 è possibile assumere come diagramma sforzi deformazioni:
- un diagramma bilineare con incrudimento e deformazione unitaria di calcolo ultima pari a $\epsilon_{ud} = 0,9 \epsilon_{uk}$. L'incrudimento (pendenza del tratto plastico del diagramma) è definito dal rapporto $k = (f_t/f_y)_k$ che deve essere compreso tra 1,15 e 1,35. Poiché all'aumentare di questo rapporto corrisponde un aumento delle caratteristiche di resistenza ultime della sezione riteniamo che, prudenzialmente, nei calcoli di progetto vada utilizzato il valore minimo di 1,15; come conseguenza il valore massimo della tensione ultima dell'acciaio da assumere in corrispondenza della deformazione ultima di calcolo ϵ_{ud} vale $1,15 \cdot f_{yd}$ essendo $f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s$ il valore della tensione di snervamento di calcolo ($\gamma_s = 1,15$ sia per NTC che per EC2).
 - Un diagramma bilineare con tratto plastico orizzontale ($f_s = f_{yd}$) senza limite di deformazione

Il programma consente l'adozione di entrambi i diagrammi ma, per quello elastico-perfettamente plastico indefinito, richiede comunque la definizione dei valori della deformazione ultima e di calcolo dell'acciaio; incrementando tali deformazioni rispetto a quelle prima definite per l'acciaio incrudito non si riscontrano apprezzabili differenze nei risultati.

La verifica a taglio viene eseguita col nuovo metodo proposto dalle NTC (e da EC2) che impiega la schematizzazione del traliccio con inclinazione θ dei puntoni di calcestruzzo (rispetto all'asse della trave) variabile tra i seguenti limiti:

$$1 \leq \text{ctg } \theta \leq 2,5$$

Il programma calcola (in semiprogetto o verifica) le resistenze a taglio lato compressione e trazione considerando l'angolo α di inclinazione trasversale delle staffe (rispetto all'asse della trave) sempre pari a 90° . In semiprogetto si parte assumendo per θ il suo minimo valore ($21^\circ, 8 \leq \theta \leq 45^\circ$) che soddisfa la relazione di resistenza a taglio compressione (ponendo $V_{Rcd} = V_{Ed}$); ottenuto così θ , dalla relazione di resistenza lato trazione si ricava l'area delle staffe. Si fa notare che le armature longitudinali della trave, dimensionate in base alle sollecitazioni flessionali, dovranno essere prolungate (regola della traslazione) di una misura pari a: $0,9 \cdot d \cdot \text{ctg} \theta / 2$ (al massimo uguale a $1,125 \cdot d$ per $\text{ctg} \theta = 2,5$).

Si noti che, a differenza di quanto previsto nel DM96, il valore di f_{cd} impiegato nel calcolo delle resistenze al taglio è uguale al valore massimo del tratto plastico del diagramma di progetto tensioni-deformazioni del conglomerato impiegato per la verifica per tensioni normali (nel DM96 era maggiore valendo $f_{cd} = f_{ck}/1,6 > 0,85 f_{ck}/1,5$).

Nel caso di contemporanea presenza di torsione e taglio l'angolo θ delle bielle compresse deve assumere un unico valore per entrambe le sollecitazioni e, pertanto, il programma prevede l'assegnazione preventiva di θ per torsione nelle 'opzioni armature e di calcolo' (nel menu Opzioni).

3 CASI DI PROVA

Gli esempi che seguono sono tutti presenti nella cartella "ESEMPI" della directory di installazione del programma. Essi verranno illustrati sia in relazione alla modalità di immissione dei dati, sia confrontando i risultati ottenuti sulla base degli algoritmi assunti nel calcolo con quelli riportati da altri autori e/o programmi.

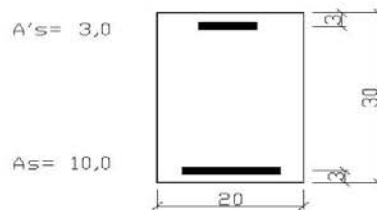
Le stampe complete di input ed output relative a tutti gli esempi sono naturalmente riproducibili caricando detti files di esempio e mandando in esecuzione il programma.



I primi esempi sono quasi tutti tratti dal volume “Progettazione di strutture in calcestruzzo armato” realizzato per AICAP da Pubblicamento s.r.l. in quanto è uno dei pochi testi aggiornato alle NTC ed all’ultima versione dell’Eurocodice 2.

3.1 ESEMPIO 1

Si fa riferimento alla sezione rettangolare 20x30 in figura di cui al punto 7.3.2.1 del citato volume. Si cerca il momento resistente ultimo M_{Rd} per $N_{Rd}=0$ (flessione semplice) avendo assunto un conglomerato con $f_{ck} = 300 \text{ daN/cm}^2$ ($f_{cd} = 300 \cdot 0,85/1,5 = 170 \text{ daN/cm}^2$) ed armature con $f_{yk} = 4500 \text{ daN/cm}^2$ ($f_{yk} = 4500 \text{ daN/cm}^2$). Per prima cosa occorre accertarsi che nell’archivio materiali siano presenti i dati relativi al conglomerato ed all’acciaio indicati. In particolare per l’acciaio B450C ponendo $f_{td} = 3910$ si



assume orizzontale (come nel volume) il pianocrotolo plastico del diagramma sforzi deformazioni. Per ottenere le esatte aree di acciaio indicate si prevedono opportuni diametri delle barre (non esistenti in commercio). Si assegna inoltre allo sforzo normale il valore 0 (flessione semplice) mentre al momento M_x un qualsiasi valore positivo. Il programma fornisce per il momento resistente il valore $M_{Rd} = 9071 \text{ daNm}$ di poco inferiore al valore 9100 indicato nel testo che peraltro utilizza il blocco rettangolare per il diagramma sforzi deformazioni del calcestruzzo.

3.2 ESEMPIO 2

Al punto 7.5.1 del citato volume viene calcolata a pressoflessione retta una sezione rettangolare 50x100 con armature simmetriche di area pari a 50cm² e copriferro di 5 cm. Calcestruzzo ed acciaio sono gli stessi dell’esempio precedente. Questa volta viene utilizzato il diagramma parabola-rettangolo. Nel testo vengono calcolati i momenti resistenti ultimi (M_{Rd}) in corrispondenza a prefissati differenti valori assegnati allo sforzo normale che di seguito vengono confrontati con quelli ottenuti dal programma (M^*_{Rd}):

| | | |
|----------|----------|------------|
| N_{Ed} | M_{Rd} | M^*_{Rd} |
|----------|----------|------------|



| (daN) | (daNm) | (daNm) |
|---------|--------|--------|
| 60000 | 20330 | 20350 |
| 200000 | 25170 | 25190 |
| 500000 | 25850 | 25860 |
| 1000000 | 9770 | 9910 |

I risultati appaiono ben concordanti per i primi tre valori (ottenuti dal testo a partire da valori tabellari per il l'integrazione del diagramma parabolico del calcestruzzo). La maggiore differenza si ha per l'ultimo caso con $N_{Ed}=1000000$ daN che in realtà non viene ottenuto, nel testo citato, dal calcolo ma da interpolazione tra i due assetti di rottura che comprendono il punto di rottura cercato. Il programma non considera inoltre verificata a taglio la sezione (anche con taglio assegnato nullo) in quanto la resistenza a taglio lato calcestruzzo va a zero col termine (presente nella relazione 4.1.19 NTC) $\alpha_e = 2,5(1-\sigma_{cp}/f_{cd}) = 0$ essendo $\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c = 1000000/(50 \times 100) = 200 > f_{cd}$.

3.3 ESEMPIO 3

Allo stesso punto 7.5.1 del citato volume viene calcolata a pressoflessione retta la sezione rettangolare 50×100 con armature simmetriche di area pari a 70cm^2 e copriferro di 5 cm. Il calcestruzzo questa volta è di classe $f_{ck}=700$ daN/cm²: nel caso di calcolo secondo EC2 va assunto il diagramma con curva esponenziale risultando $f_{ctk} > 500$.

I momenti resistenti a confronto sono i seguenti (valori dello sforzo normale prefissati):

| N_{Ed} (daN) | M_{Rd} (daNm) | M'_{Rd} EC2 (daNm) | M'_{Rd} NTC (daNm) |
|-------------------|--------------------|-------------------------|-------------------------|
| 150000 | 31370 | 31360 | 31360 |
| 500000 | 42460 | 42400 | 42740 |
| 1000000 | 40520 | 40020 | 42640 |
| 1900000 | 6950 | 18340 | 20730 |

Nell'ultima colonna sono riportati i momenti ultimi ottenuti selezionando l'opzione di calcolo secondo le NTC (diagramma parabola rettangolo). All'aumentare dello sforzo normale si nota che i momenti resistenti ottenuti con le NTC sono meno conservativi di quelli che con l'EC2 si ottengono dal diagramma esponenziale rettangolo. L'ultimo valore del momento resistente riportato nel citato testo appare troppo approssimato rispetto a quelli ottenuti dal programma.

3.4 ESEMPIO 4



Calcolo delle staffe verticali (di diametro pari a 12mm) per una sezione rettangolare 20x80 copriferro 50cm e taglio di progetto $V_{Ed} = 50000$ daN. Conglomerato $f_{ck}=300$; Acciaio C450B. (Punto 8.1.4.1.3.2 vol.citato)

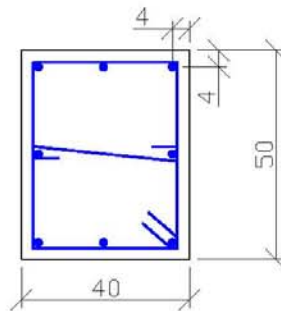
Assunti momento flettente M_x ed armature longitudinali arbitrarie, si è eseguito il calcolo di progetto della sezione avendo preventivamente assegnato il valore di 12 al diametro delle staffe nella finestra delle opzioni armature e di calcolo.

Il calcolo fornisce un passo di 20,3 cm alle staffe $\phi 12$ assunte in perfetto accordo col passo di cm 20 indicato dal testo.

3.5 ESEMPIO 5

Nel caso di pressoflessione deviata non si è trovato alcun esempio numerico in letteratura trattato con le nuove norme. Si considera pertanto un caso di calcolo trattato solo col presente programma.

Si è considerata la sezione in figura relativa ad un pilastro rettangolare 40x60 armata con 8 $\phi 16$ (Calcestruzzo C28/35. Acciaio C450B).



Il calcolo è stato effettuato per le seguenti 3 combinazioni allo stato limite ultimo:

| N_{Ed} (daN) | M_{xEd} (daNm) | M_{yEd} (daNm) | V_{yEd} (daN) | V_{xEd} (daN) |
|-------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
| 50000 | 14000 | 11000 | 14000 | 11000 |
| 50000 | 20000 | 0 | 20000 | 0 |
| 50000 | 0 | 15714 | 0 | 15714 |

Le nuove NTC al punto 7.4.4.2.2.1 consentono che la verifica a presso-flessione deviata (prima combinazione in tabella) possa essere sostituita da due verifiche a presso-flessione retta in cui la resistenza sia ridotta al 70% di quella effettiva: ciò che equivale ad incrementare gli sforzi di progetto di $1/0,7 = 1,4286$. Si sono così ricavati gli sforzi retti "equivalenti" riportati nella seconda e terza combinazione. Nella citato punto normativo si fa riferimento ai soli momenti flettenti (lo sforzo normale non va incrementato in quanto la



misura della sicurezza va sempre effettuata a sforzo normale costante). Nulla si dice circa la verifica a taglio in presenza delle due componenti V_x, V_y . Anche per il taglio, a scopo di controllo, la verifica a taglio deviato di cui alla prima combinazione è stata separata in due verifiche separate di tipo retto incrementando gli sforzi col coefficiente 1,4286.

Il tabulato di verifica di seguito riportato mostra che nelle verifiche a pressoflessione retta (seconda e terza combinazione) le misure della sicurezza (1,149 e 1,146) risultano entrambe maggiori di quella a pressoflessione deviate (1,062). Non così per quanto riguarda le verifiche a taglio in cui si può notare che l'armatura trasversale strettamente necessaria per la prima combinazione (deviata) risulta superiore a quella della seconda e terza combinazione (rette).

Da ciò si deduce che per il taglio a due componenti non ci sono sufficienti indicazioni normative per la sua sostituzione con due tagli equivalenti in sollecitazione retta (manca cioè un diagramma di interazione semplificato e conservativo).

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: ESEMPIO_5

Descrizione Sezione:
 Metodo di calcolo resistenza: Stati Limite Ultimi
 Normativa di riferimento: N.T.C.
 Tipologia sezione: Pilastro rettangolare ad armatura simm.
 Percorso sollecitazione: A Sforzo Norm. costante
 Riferimento Sforzi assegnati: Assi x,y principali d'inerzia
 Riferimento alla sismicità: Zona non sismica
 Posizione sezione nell'asta: In zona critica

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CONGLOMERATO - Classe: C28/35
 Resis. compr. di calcolo f_{cd} : 158.60 daN/cm²
 Resis. compr. ridotta f_{cd}' : 79.30 daN/cm²
 Def.unit. max resistenza $ec2$: 0.0020
 Def.unit. ultima ecu : 0.0035
 Diagramma tensione-deformaz. : Parabola-Rettangolo
 Modulo Elastico Normale E_c : 323080 daN/cm²
 Coeff. di Poisson : 0.20
 Resis. media a trazione f_{ctm} : 28.80 daN/cm²

ACCIAIO - Tipo: B450C
 Resist. caratt. snervam. f_{yk} : 4500.0 daN/cm²
 Resist. caratt. rottura f_{tk} : 5400.0 daN/cm²
 Resist. snerv. di calcolo f_{yd} : 3913.0 daN/cm²
 Resist. ultima di calcolo f_{td} : 4500.0 daN/cm²
 Deform. ultima di calcolo E_{pu} : 0.068
 Modulo Elastico E_f : 2000000 daN/cm²
 Diagramma tensione-deformaz. : Bilineare finito

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Base: 40.0 cm
 Altezza: 50.0 cm

N. totale barre : 8
 Diametro barre : 16 mm
 Copriferro (dal baric. barre) : 4.0 cm
 Coordinate Barre nei vertici :

| N.Barra | Ascissa X, cm | Ordinata Y, cm |
|---------|---------------|----------------|
| 1 | -16.0 | -21.0 |
| 2 | -16.0 | 21.0 |
| 3 | 16.0 | 21.0 |
| 4 | 16.0 | -21.0 |

Generazioni di barre lungo i lati:



Geostru Software - Validazione codice di calcolo RC-SEC

N.Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre
 N.Barra In. Numero della barra iniziale (di vertice) cui si riferisce la generazione
 N.Barra Fin. Numero della barra finale (vertice) cui si riferisce la generazione
 N.Barre Numero di barre generate equidist. comprese tra la barra iniz. e la fin.

| N.Gen. | N.Barra In. | N.Barra Fin. | N.Barre |
|--------|-------------|--------------|---------|
| 1 | 1 | 4 | 1 |
| 2 | 2 | 3 | 1 |
| 3 | 1 | 2 | 1 |
| 4 | 4 | 3 | 1 |

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (positivo se di compress.)
 Mx Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x princ. d'inerzia della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
 My Coppia concentrata in daNm applicata all'asse y princ. d'inerzia della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione
 Vy Componente del Taglio [daN] nella direzione dell'asse princ. y della sezione
 Vx Componente del Taglio [daN] nella direzione dell'asse princ. x della sezione

| N.Comb. | N | Mx | My | Vy | Vx |
|---------|-------|-------|--------|-------|-------|
| 1 | 50000 | 14000 | -11000 | 14000 | 11000 |
| 2 | 50000 | 20000 | 0 | 20000 | 0 |
| 3 | 50000 | 0 | -15714 | 0 | 15714 |

RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 3.2 cm
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 14.4 cm
 Copriferro netto minimo staffe: 2.4 cm

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
 N Sforzo normale assegnato [in daN] (positivo se di compressione)
 Mx Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
 My Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
 N ult Sforzo normale ultimo [in daN] nella sezione (positivo se di compress.)
 Mx ult Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
 My ult Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
 Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult, Mx ult, My ult) e (N, Mx, My)
 Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000

| N.Comb. | Ver | N | Mx | My | N ult | Mx ult | My ult | Mis.Sic. |
|---------|-----|-------|-------|-------|-------|--------|--------|----------|
| 1 | S | 50000 | 14000 | 11000 | 49983 | 14828 | 11729 | 1.062 |
| 2 | S | 50000 | 20000 | 0 | 49995 | 22988 | 0 | 1.149 |
| 3 | S | 50000 | 0 | 15714 | 49988 | 0 | 18004 | 1.146 |

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
 ec 3/7 Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace
 Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,0 sez.)
 Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,0 sez.)
 ef min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
 Xf min Ascissa in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,0 sez.)
 Yf min Ordinata in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,0 sez.)
 ef max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
 Xf max Ascissa in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,0 sez.)
 Yf max Ordinata in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,0 sez.)

| N.Comb. | ec max | ec 3/7 | Xc max | Yc max | ef min | Xf min | Yf min | ef max | Xf max | Yf max |
|---------|---------|----------|--------|--------|---------|--------|--------|----------|--------|--------|
| 1 | 0.00350 | -0.00031 | 20.0 | 25.0 | 0.00270 | 16.0 | 21.0 | -0.00459 | -16.0 | -21.0 |
| 2 | 0.00350 | -0.00232 | -20.0 | 25.0 | 0.00241 | -16.0 | 21.0 | -0.00900 | -16.0 | -21.0 |
| 3 | 0.00350 | -0.00232 | 20.0 | 25.0 | 0.00214 | 16.0 | 21.0 | -0.00873 | -16.0 | -21.0 |



POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a Coeff. a nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
 b Coeff. b nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
 c Coeff. c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
 x/d Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless.(travi)
 C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

| N.Comb. | a | b | c | x/d | C.Rid. |
|---------|-------------|-------------|--------------|-----|--------|
| 1 | 0.000112833 | 0.000087460 | -0.000943178 | | |
| 2 | 0.000000000 | 0.000271812 | -0.003295296 | | |
| 3 | 0.000339655 | 0.000000000 | -0.003293104 | | |

ARMATURE A TAGLIO DI INVILUPPO PER TUTTE LE COMBINAZIONI ASSEGNATE

Diametro staffe: 8 mm
 Passo staffe: 18.0 cm [Passo massimo di normativa = 19.2]
 N.Bracci staffe: 2
 Area staffe/m : 5.6 cm²/m [Area Staffe Minima normativa = 2.9]

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - VERIFICHE A TAGLIO

Ver S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
 Vsdu Taglio agente [daN] = proiez. di Vx e Vy sulla normale all'asse neutro
 Vru Taglio resistente ultimo [daN] lato conglomerato compresso
 Vcd Taglio [daN] assorbito dal conglomerato nel calcolo delle staffe
 Vwd Taglio resistente [daN] assorbito dalle staffe
 Dmed Altezza utile media pesata [cm] valutata lungo strisce ortog. all'asse neutro.
 Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso.
 I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.
 bw Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro.
 E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.
 Teta Angolo [gradi sessadec.] di inclinazione dei puntoni di conglomerato
 Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
 Afst Area staffe strettamente necessarie a taglio per metro di trave [cm²/m]

| N.Comb. | Ver | Vsdu | Vcd | Vwd | Dmed | bw | Teta | Acw | Afst |
|---------|-----|-------|-------|-------|------|------|--------|-------|------|
| 1 | S | 17271 | 49148 | 18497 | 37.6 | 45.9 | 21.80° | 1.158 | 5.2 |
| 2 | S | 20000 | 52421 | 22619 | 46.0 | 40.0 | 21.80° | 1.158 | 4.9 |
| 3 | S | 15714 | 51281 | 17702 | 36.0 | 50.0 | 21.80° | 1.158 | 5.0 |



Geostru Software – Validazione codice di calcolo

RC-SEC

3.6 ESEMPIO 6

Si fa riferimento alla stessa sezione rettangolare di pilastro trattata nell'esempio precedente allo scopo di valutare con calcolo diretto la duttilità di curvatura posseduta dalla sezione per ognuna delle tre combinazioni assegnate. Nel caso di calcolo sismico il punto 7.4.4 NTC prescrive, per le sezioni ricadenti in zona critica, che il valore della duttilità di curvatura μ_{ϕ} risulti non minore di prefissati valori. Al punto 7.3.6.2 le NTC comunque consentono di omettere tale controllo purché si rispettino le regole di progetto e di gerarchia delle resistenze.

Il calcolo della duttilità di curvatura viene svolto dal programma tramite la costruzione di diagrammi momenti-curvature in cui il rapporto tra i momenti M_x e M_y viene mantenuto costante. Tra i vari tipi di diagrammi previsti in programma si utilizza, per il presente esempio, quello che tiene conto automaticamente del confinamento sulla base delle staffe effettivamente disposte. Viene pertanto utilizzato per il nucleo confinato della sezione un diagramma tensione-deformazione costruito secondo il punto 3.1.9 di EC2 che fornisce le espressioni da cui trarre il valore di resistenza $f_{ck,c}$ del calcestruzzo confinato, la deformazione ultima $\varepsilon_{cu2,c}$ e quella al limite del tratto parabolico $\varepsilon_{e2,c}$. Il tratto plastico del diagramma tensioni-deformazioni si ottiene però collegando il punto $f_{ck,c}$ di massimo della parabola con il valore di $0,85 f_{ck}$ in corrispondenza di $\varepsilon_{cu2,c}$. Le precedenti quantità $f_{ck,c}$, $\varepsilon_{e2,c}$, $\varepsilon_{cu2,c}$ sono maggiorate rispetto a quelle impiegate per il calcolo di resistenza in quanto funzioni della tensione trasversale di confinamento σ_2 il cui valore, però, non viene esplicitato nell'EC2. Occorre a questo scopo far ricorso all'autorevole "Model Code '90" che pone (per sezioni rettangolari):

$$\sigma_2 = 0,5 \alpha_n \alpha_s \omega_w \quad \text{in cui}$$

$$\alpha_n = 1 - 8 / (3 n) \quad \text{con } n = \text{numero di barre collegate da staffe e legature}$$

$$\alpha_s = 1 - s / (2 b_0) \quad \text{con } s = \text{passo staffe e } b_0 = \text{lato minore nucleo confinato}$$

$$\omega_w = (\text{Volume staffe} / \text{Volume nucleo confinato}) (f_{yd} / f_{cd})$$

Al conglomerato esterno al nucleo confinato viene invece assegnato il diagramma tensione-deformazione utilizzato per il calcolo di resistenza.

Si riporta di seguito sia l'output a video del diagramma Momenti-Curvature, sia il tabulato di stampa dello stesso con riferimento alla prima combinazione di carico in presso-flessione deviata. Il valore della duttilità di curvatura μ_{ϕ} risulta pari a 5,299. Il calcolo di duttilità per la seconda combinazione di carico (in presso flessione retta) conduce invece ad una duttilità notevolmente superiore e pari a 10,169.



Geostru Software – Validazione codice di calcolo

RC-SEC

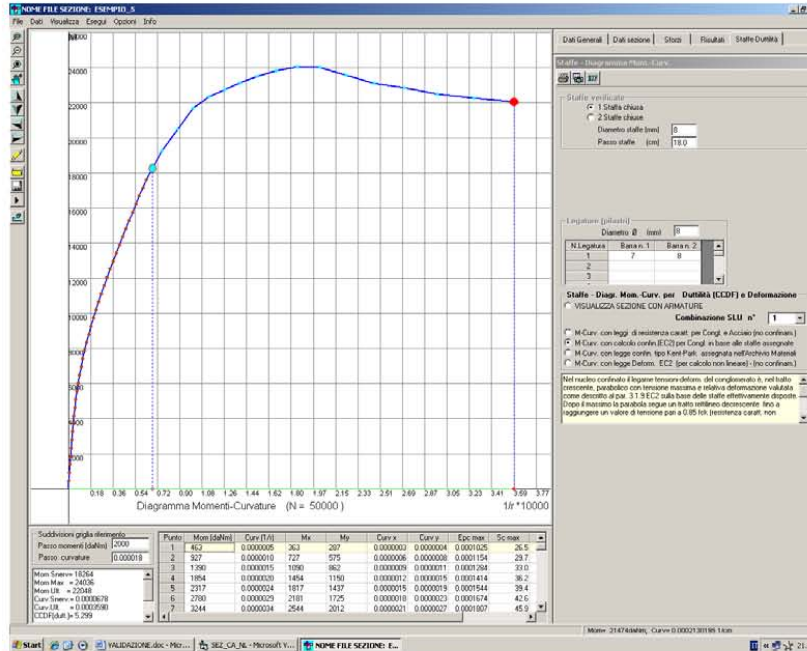


DIAGRAMMA MOMENTI-CURVATURE Comb. N° 1 (N = 50000 daN)
NO ME SEZIONE: ESEMPIO_5

Descrizione Sezione:
Tipologia sezione: Pilastro rettangolare ad armatura simm.
Percorso sollecitazione: A Sforzo Norm. costante
Riferimento alla sismicità: Zona non sismica
Posizione sezione nell'asta: In zona critica

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CONGLOMERATO - Classe: C28/35
Diagramma coprif. non confinato: Parabola con max=Fc_k
Resis. caratt. di calcolo fck: 280.00 daN/cm²
Def.unit. max resistenza ec2: 0.0020
Def.unit. ultima ecu: 0.0035
Diagramma congl. confinato sez. : Parabol.+retta decresc. in base alle staffe
Resist. massima per confinamento : 296.41 daN/cm²
Resist. a rottura (0.85 Fck) : 238.00 daN/cm²
Tens. laterale di confinam.efficace: 3.28 daN/cm²
Def. unit. per la max resistenza : 0.0022
Def. unit. ultima (par.3.1.9 EC2) : 0.0058

ACCIAIO - Tipo: B450C
Diagramma tensione-deformaz. : Bilineare finito
Resist. caratt. snervam. fyk: 4500.0 daN/cm²
Resist. caratt. rottura ftk: 5400.0 daN/cm²
Deform. ultima di calcolo Epu: 0.0675
Modulo Elastico Ef: 2000000 daN/cm²

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Base: 40.0 cm
Altezza: 50.0 cm
N. totale barre : 8



Diametro barre : 16 mm
 Copriferro (dal baric. barre) : 4.0 cm
 Coordinate Barre nei vertici :

| N.Barra | Ascissa X, cm | Ordinata Y, cm |
|---------|---------------|----------------|
| 1 | -16.0 | -21.0 |
| 2 | -16.0 | 21.0 |
| 3 | 16.0 | 21.0 |
| 4 | 16.0 | -21.0 |

Generazioni di barre lungo i lati:

N.Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre
 N.Barra In. Numero della barra iniziale (di vertice) cui si riferisce la generazione
 N.Barra Fin. Numero della barra finale (vertice) cui si riferisce la generazione
 N.Barre Numero di barre generate equidist. comprese tra la barra iniz. e la fin.

| N.Gen. | N.Barra In. | N.Barra Fin. | N.Barre |
|--------|-------------|--------------|---------|
| 1 | 1 | 4 | 1 |
| 2 | 2 | 3 | 1 |
| 3 | 1 | 2 | 1 |
| 4 | 4 | 3 | 1 |

ARMATURE A TAGLIO E/O TORSIONE DI INVILUPPO

Diametro staffe: 8 mm
 Passo staffe: 18.0 cm [Passo massimo di normativa= 19.2]
 N.Bracci staffe: 2
 Area staffe/m : 5.6 cm²/m

RISULTATI DEL CALCOLO

Sforzo normale costante di calcolo N 50000 daN
 Momento di snervamento 18264 daNm
 Momento massimo 24036 daNm
 Momento a rottura 22048 daNm
 Duttilità di curvatura CCDF (punto 7.4.4 NTC) 5.299

PUNTI CALCOLATI DEL DIAGRAMMA MOMENTI-CURVATURE

N.Punto Numero d'ordine assegnato al punto calcolato del diagramma
 M Momento vettoriale [daNm]
 Curv. Curvatura [1000/cm] vettoriale corrisp. al momento vettoriale
 Mx Componente del momento totale relativa all'asse x princ.inerzia
 My Componente del momento totale relativa all'asse y princ.inerzia
 Curv x Componente della curvatura [1000/cm] relativa all'asse x
 Curv y Componente della curvatura [1000/cm] relativa all'asse y
 epc max Deformazione unit. massima congl. (positiva se di compressione)
 Sc max Tensione congl. [daN/cm²] in corrisp. di epc max
 epf min Deformazione unit. minima acciaio (negativa se di trazione)
 Sf min Tensione acciaio [daN/cm²] in corrisp. di eps min

| Punto | M | Curv | Mx | My | Curv x | Curv y | epc max | Scmax | eps min | Scmin |
|-------|------|---------|------|------|---------|---------|---------|-------|---------|-------|
| 1 | 463 | 0.00049 | 363 | 287 | 0.00031 | 0.00038 | 0.0001 | 26 | 0.0001 | 154 |
| 2 | 927 | 0.00098 | 727 | 575 | 0.00061 | 0.00076 | 0.0001 | 30 | 0.0001 | 129 |
| 3 | 1390 | 0.00146 | 1090 | 862 | 0.00092 | 0.00114 | 0.0001 | 33 | 0.0001 | 104 |
| 4 | 1854 | 0.00195 | 1454 | 1150 | 0.00122 | 0.00152 | 0.0001 | 36 | 0.0000 | 79 |
| 5 | 2317 | 0.00244 | 1817 | 1437 | 0.00153 | 0.00190 | 0.0002 | 39 | 0.0000 | 55 |
| 6 | 2780 | 0.00293 | 2181 | 1725 | 0.00183 | 0.00228 | 0.0002 | 43 | 0.0000 | 30 |
| 7 | 3244 | 0.00343 | 2544 | 2012 | 0.00215 | 0.00267 | 0.0002 | 46 | 0.0000 | 4 |
| 8 | 3707 | 0.00397 | 2908 | 2300 | 0.00249 | 0.00309 | 0.0002 | 49 | 0.0000 | -24 |
| 9 | 4171 | 0.00459 | 3271 | 2587 | 0.00287 | 0.00357 | 0.0002 | 53 | 0.0000 | -57 |
| 10 | 4634 | 0.00528 | 3634 | 2875 | 0.00330 | 0.00411 | 0.0002 | 57 | 0.0000 | -95 |
| 11 | 5097 | 0.00606 | 3998 | 3162 | 0.00379 | 0.00472 | 0.0002 | 62 | -0.0001 | -139 |
| 12 | 5561 | 0.00694 | 4361 | 3450 | 0.00435 | 0.00542 | 0.0003 | 66 | -0.0001 | -190 |
| 13 | 6024 | 0.00794 | 4725 | 3737 | 0.00497 | 0.00619 | 0.0003 | 71 | -0.0001 | -249 |
| 14 | 6487 | 0.00905 | 5088 | 4025 | 0.00566 | 0.00706 | 0.0003 | 77 | -0.0002 | -317 |
| 15 | 6951 | 0.01028 | 5452 | 4312 | 0.00643 | 0.00802 | 0.0003 | 83 | -0.0002 | -394 |
| 16 | 7414 | 0.01163 | 5815 | 4600 | 0.00727 | 0.00908 | 0.0004 | 89 | -0.0002 | -480 |

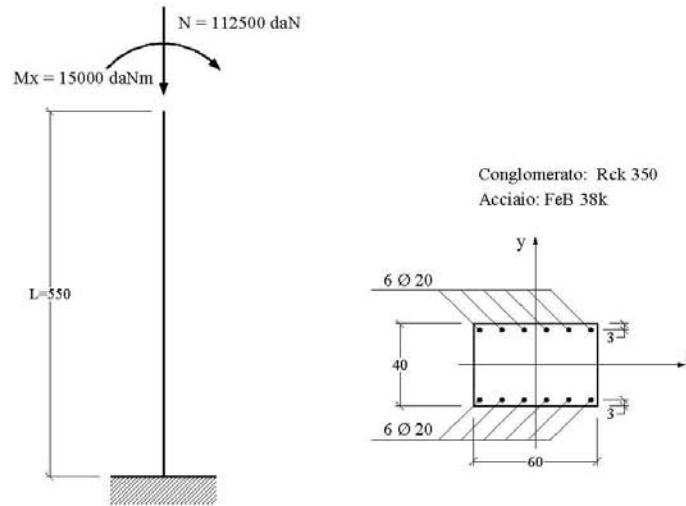


Geostru Software – Validazione codice di calcolo RC-SEC

| | | | | | | | | | | |
|----|-------|---------|-------|-------|---------|---------|--------|-----|---------|-------|
| 17 | 7878 | 0.01311 | 6179 | 4887 | 0.00819 | 0.01023 | 0.0004 | 95 | -0.0003 | -575 |
| 18 | 8341 | 0.01470 | 6542 | 5175 | 0.00918 | 0.01148 | 0.0004 | 102 | -0.0003 | -681 |
| 19 | 8804 | 0.01642 | 6905 | 5462 | 0.01025 | 0.01283 | 0.0005 | 109 | -0.0004 | -796 |
| 20 | 9268 | 0.01825 | 7269 | 5749 | 0.01138 | 0.01426 | 0.0005 | 116 | -0.0005 | -919 |
| 21 | 9731 | 0.02019 | 7632 | 6037 | 0.01258 | 0.01578 | 0.0005 | 123 | -0.0005 | -1052 |
| 22 | 10195 | 0.02222 | 7996 | 6324 | 0.01385 | 0.01738 | 0.0006 | 130 | -0.0006 | -1194 |
| 23 | 10658 | 0.02436 | 8359 | 6612 | 0.01517 | 0.01906 | 0.0006 | 137 | -0.0007 | -1344 |
| 24 | 11121 | 0.02657 | 8723 | 6899 | 0.01653 | 0.02081 | 0.0006 | 144 | -0.0008 | -1500 |
| 25 | 11585 | 0.02886 | 9086 | 7187 | 0.01794 | 0.02261 | 0.0007 | 151 | -0.0008 | -1663 |
| 26 | 12048 | 0.03121 | 9449 | 7474 | 0.01939 | 0.02446 | 0.0007 | 158 | -0.0009 | -1831 |
| 27 | 12512 | 0.03362 | 9813 | 7762 | 0.02087 | 0.02636 | 0.0007 | 165 | -0.0010 | -2004 |
| 28 | 12975 | 0.03608 | 10176 | 8049 | 0.02238 | 0.02830 | 0.0008 | 171 | -0.0011 | -2182 |
| 29 | 13438 | 0.03859 | 10540 | 8337 | 0.02392 | 0.03028 | 0.0008 | 178 | -0.0012 | -2364 |
| 30 | 13902 | 0.04114 | 10903 | 8624 | 0.02548 | 0.03229 | 0.0009 | 185 | -0.0013 | -2549 |
| 31 | 14365 | 0.04372 | 11267 | 8912 | 0.02707 | 0.03434 | 0.0009 | 191 | -0.0014 | -2738 |
| 32 | 14828 | 0.04635 | 11630 | 9199 | 0.02868 | 0.03641 | 0.0009 | 197 | -0.0015 | -2929 |
| 33 | 15292 | 0.04900 | 11994 | 9487 | 0.03030 | 0.03851 | 0.0010 | 203 | -0.0016 | -3123 |
| 34 | 15755 | 0.05170 | 12357 | 9774 | 0.03195 | 0.04064 | 0.0010 | 209 | -0.0017 | -3320 |
| 35 | 16219 | 0.05441 | 12720 | 10062 | 0.03360 | 0.04279 | 0.0011 | 215 | -0.0018 | -3518 |
| 36 | 16682 | 0.05716 | 13084 | 10349 | 0.03529 | 0.04497 | 0.0011 | 221 | -0.0019 | -3720 |
| 37 | 17145 | 0.05994 | 13447 | 10636 | 0.03698 | 0.04717 | 0.0012 | 227 | -0.0020 | -3923 |
| 38 | 17609 | 0.06274 | 13811 | 10924 | 0.03869 | 0.04939 | 0.0012 | 232 | -0.0021 | -4128 |
| 39 | 19260 | 0.07537 | 15106 | 11948 | 0.04640 | 0.05939 | 0.0014 | 253 | -0.0025 | -4566 |
| 40 | 20501 | 0.08800 | 16079 | 12718 | 0.05412 | 0.06939 | 0.0016 | 269 | -0.0030 | -4572 |
| 41 | 21680 | 0.10061 | 17004 | 13450 | 0.06180 | 0.07939 | 0.0017 | 282 | -0.0035 | -4579 |
| 42 | 22329 | 0.11329 | 17512 | 13852 | 0.06959 | 0.08939 | 0.0019 | 290 | -0.0040 | -4586 |
| 43 | 22743 | 0.12591 | 17837 | 14109 | 0.07729 | 0.09939 | 0.0021 | 295 | -0.0045 | -4593 |
| 44 | 23128 | 0.13852 | 18140 | 14348 | 0.08498 | 0.10939 | 0.0022 | 296 | -0.0049 | -4599 |
| 45 | 23509 | 0.15233 | 18438 | 14584 | 0.09340 | 0.12033 | 0.0024 | 296 | -0.0055 | -4607 |
| 46 | 23926 | 0.16753 | 18687 | 14781 | 0.10270 | 0.13237 | 0.0026 | 296 | -0.0061 | -4615 |
| 47 | 24036 | 0.18424 | 18852 | 14911 | 0.11289 | 0.14560 | 0.0029 | 296 | -0.0067 | -4623 |
| 48 | 24025 | 0.20264 | 18843 | 14905 | 0.12413 | 0.16016 | 0.0032 | 296 | -0.0074 | -4632 |
| 49 | 23564 | 0.22399 | 18482 | 14619 | 0.13833 | 0.17618 | 0.0035 | 296 | -0.0081 | -4643 |
| 50 | 23122 | 0.24624 | 18135 | 14344 | 0.15192 | 0.19380 | 0.0039 | 296 | -0.0089 | -4654 |
| 51 | 22863 | 0.27067 | 17932 | 14184 | 0.16679 | 0.21318 | 0.0043 | 296 | -0.0098 | -4666 |
| 52 | 22482 | 0.29740 | 17633 | 13947 | 0.18292 | 0.23449 | 0.0047 | 296 | -0.0107 | -4679 |
| 53 | 22259 | 0.32677 | 17458 | 13809 | 0.20061 | 0.25794 | 0.0052 | 296 | -0.0117 | -4693 |
| 54 | 22048 | 0.35904 | 17292 | 13678 | 0.22001 | 0.28374 | 0.0057 | 296 | -0.0129 | -4709 |



3.7 ESEMPIO 7



L'esempio, tratto dal volume di R.Calzona, C.Cestelli Guidi – Il calcolo del cemento armato (Hoepli) – si riferisce al calcolo allo stato limite ultimo di instabilità di un pilastro snello a sezione rettangolare i cui dati sono riportati in figura.

Si utilizza il metodo semplificato detto della “colonna modello” con riferimento alle sollecitazioni rette contenute nel piano verticale la cui traccia nel piano della sezione coincide con l'asse y. I valori indicati per N ed Mx sono quelli del primo ordine già amplificati con gli opportuni coefficienti stabiliti per la combinazione ultima che si intende verificare.

Le sollecitazioni da calcolo vanno sempre incrementate del momento flettente causato dall'eccentricità non intenzionale e_{ni} da porre non minore di $L_0/300 = 3.67$ cm essendo L_0 la lunghezza di libera inflessione del pilastro in questo caso (schema a mensola) pari a $2L = 1100$ cm.:

$$N_d = 112500 \text{ daN}$$

$$M_d = 15000 + 112500 \times 0.0367 = 19129 \text{ daNm}$$

All'avvio del calcolo occorre inserire preliminarmente (nell'*archivio materiali*) i dati relativi sia al conglomerato Rck350 che all'acciaio FeB38k per renderli identici a quelli riportati nel testo citato:

$$f_{ck} = 0,83 R_{ck} = 290,5 \text{ daN/cm}^2$$

$$f_{cd} = 0,85 f_{ck} / 1,6 = 154,3 \text{ daN/cm}^2$$

$$E_s = 2100000 \text{ daN/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_{td} = f_{yk} / 1,15 = 3304 \text{ daN/cm}^2;$$

$$\epsilon_{ud,ult} = 0,01$$

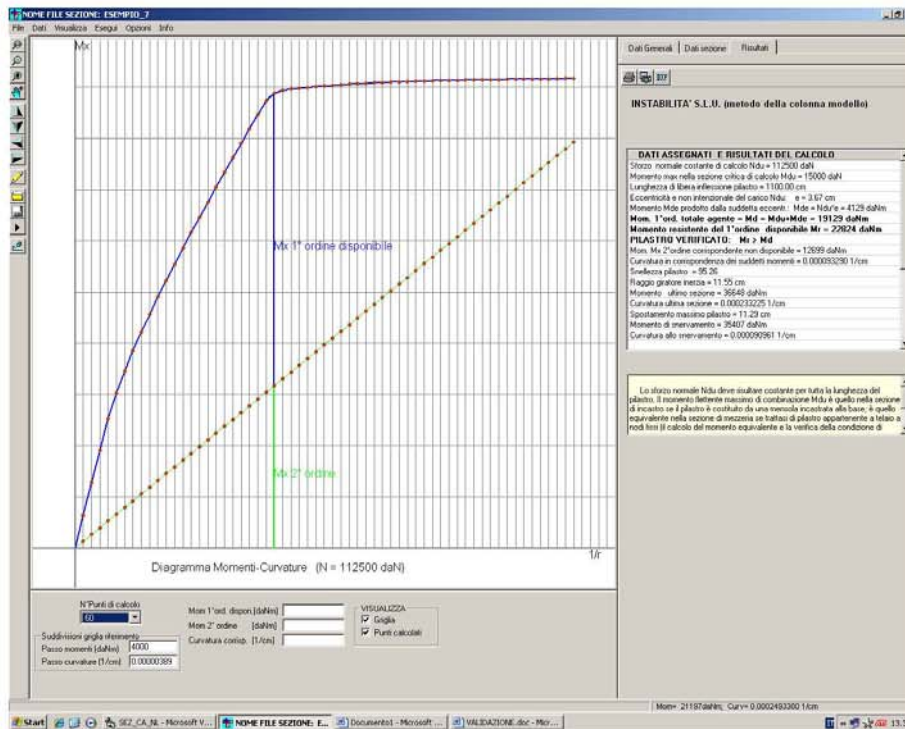
In particolare i dati relativi agli sforzi agenti richiesti dal programma sono i seguenti:

| | |
|--|------------|
| Sforzo normale di calcolo N_d costante = | 112500 daN |
| Momento max di calcolo M_d nella sezione critica = | 15000 daNm |
| Lunghezza di libera inflessione = | 1100 cm |



Geostru Software – Validazione codice di calcolo RC-SEC

Eccentricità non intenzionale = 3.67 cm
 Si noti come il momento M_d richiesto sia al netto di quello prodotto dall'eccentricità non intenzionale in quanto il programma provvederà automaticamente ad effettuare la somma tra i due momenti agenti.
 Gli output a video ed a stampa, di seguito riportati, indicano che la sezione risulta verificata in quanto il momento resistente effettivamente disponibile (al netto di quello del secondo ordine) pari a 22824 daNm è maggiore di quello di calcolo di 19129 daNm. I risultati sono in pratica coincidenti con quelli esposti nel citato testo.



STATO LIMITE DI INSTABILITA' (Metodo della Colonna Modello)
DATI SEZIONE CRITICA PILASTRO
NOME SEZIONE: ESEMPIO_7

Descrizione Sezione:
 Metodo di calcolo resistenza: Stati Limite Ultimi
 Normativa di riferimento: N.T.C.
 Tipologia sezione: Pilastro rettangolare ad armatura simm.
 Percorso sollecitazione: A Sforzo Norm. costante
 Riferimento Sforzi assegnati: Assi x,y principali d'inerzia

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CONGLOMERATO - Classe: Rck350
 Resis. compr. di calcolo fcd : 154.30 daN/cm²
 Def.unit. max resistenza ec2 : 0.0020
 Def.unit. ultima ecu : 0.0035
 Diagramma tensione-deformaz. : Parabola-Rettangolo
 Modulo Elastico Normale Ec : 337216 daN/cm²



Geostru Software - Validazione codice di calcolo RC-SEC

ACCIAIO - Tipo: FeB38k
 Resist. caratt. snervam. fyk: 3800.0 daN/cm²
 Resist. caratt. rottura ftk: 3800.0 daN/cm²
 Resist. snerv. di calcolo fyd: 3304.0 daN/cm²
 Resist. ultima di calcolo ftd: 3304.0 daN/cm²
 Deform. ultima di calcolo Epu: 0.010
 Modulo Elastico Ef: 2100000 daN/cm²
 Diagramma tensione-deformaz.: Bilineare finito

SFORZI ASSEGNATI E RISULTATI DEL CALCOLO

Sforzo normale costante di calcolo Ndu = 112500 daN
 Sforzo normale costante di calcolo Ndu = 15000 daNm
 Lunghezza di libera inflessione pilastro = 1100.00 cm
 Eccentricità e non intenzionale del carico Ndu: e = 3.67 cm
 Momento Mde prodotto dalla suddetta eccentricità: Mde = Ndu*e = 4129 daNm
 Raggio giratore d'inerzia riferito all'asse x di inflessione = 11.55 cm
 Snellezza pilastro = Lungh.libera infless./raggio giratore = 95.26
Momento del 1°ordine totale agente = Md = Mdu+Mde = 19129 daNm
Momento resistente del 1°ordine disponibile Mr = 22824 daNm
PILASTRO VERIFICATO: Mr > Md
 Mom. Mx 2°ordine corrispondente al massimo momento disponibile = 12699 daNm
 Curvatura corrispondente ai suddetti momenti = .000093290 1/cm
 Momento resistente ultimo sezione critica = 36648 daNm
 Curvatura ultima sezione (in corrisp. del Mom.resist.Ultimo)=.000233225 1/cm
 Spostamento massimo pilastro = 11.29 cm
 Momento di snervamento sezione critica = 35407 daNm
 Curvatura allo snervamento = .000090961 1/cm

PUNTI CALCOLATI DEL DIAGRAMMA MOMENTI-CURVATURE

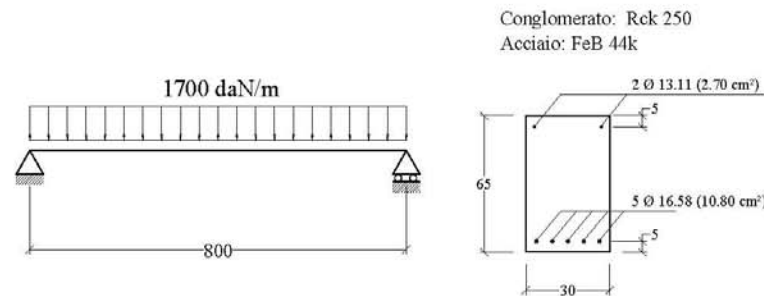
| N.Punto | Curvat. | Mx | Mx_1° | Mx_2° |
|-----------|---|--------------|--------------|--------------|
| N.Punto | Numero d'ordine assegnato al punto calcolato del diagramma | | | |
| Curvat. | Curvatura [1/cm] del punto calcolato | | | |
| Mx | Momento totale [daNm] per la curv. data riferito all'asse x | | | |
| Mx_1° | Quota disponibile del 1° ordine del momento totale Mx | | | |
| Mx_2° | Quota non disponibile del 2° ordine del momento totale Mx | | | |
| N.Punto | Curvat. | Mx | Mx_1° | Mx_2° |
| 1 | 0.000003887 | 2554 | 2025 | 529 |
| 2 | 0.000007774 | 5105 | 4047 | 1058 |
| 3 | 0.000011661 | 7651 | 6064 | 1587 |
| 4 | 0.000015548 | 10102 | 7985 | 2117 |
| 5 | 0.000019435 | 12119 | 9473 | 2646 |
| 6 | 0.000023322 | 13857 | 10682 | 3175 |
| 7 | 0.000027210 | 15429 | 11725 | 3704 |
| 8 | 0.000031097 | 16896 | 12663 | 4233 |
| 9 | 0.000034984 | 18288 | 13526 | 4762 |
| 10 | 0.000038871 | 19629 | 14338 | 5291 |
| 11 | 0.000042758 | 20929 | 15108 | 5820 |
| 12 | 0.000046645 | 22198 | 15848 | 6350 |
| 13 | 0.000050532 | 23440 | 16561 | 6879 |
| 14 | 0.000054419 | 24659 | 17252 | 7408 |
| 15 | 0.000058306 | 25861 | 17924 | 7937 |
| 16 | 0.000062193 | 27047 | 18581 | 8466 |
| 17 | 0.000066080 | 28220 | 19225 | 8995 |
| 18 | 0.000069967 | 29374 | 19850 | 9524 |
| 19 | 0.000073855 | 30520 | 20466 | 10053 |
| 20 | 0.000077742 | 31651 | 21068 | 10583 |
| 21 | 0.000081629 | 32770 | 21658 | 11112 |
| 22 | 0.000085516 | 33875 | 22234 | 11641 |
| 23 | 0.000089403 | 34973 | 22803 | 12170 |
| 24 | 0.000093290 | 35523 | 22824 | 12699 |
| 25 | 0.000097177 | 35707 | 22478 | 13228 |
| 26 | 0.000101064 | 35835 | 22078 | 13757 |
| 27 | 0.000104951 | 35906 | 21620 | 14286 |
| 28 | 0.000108838 | 35970 | 21154 | 14816 |
| 29 | 0.000112725 | 36030 | 20685 | 15345 |
| 30 | 0.000116612 | 36083 | 20209 | 15874 |
| 31 | 0.000120500 | 36133 | 19730 | 16403 |
| 32 | 0.000124387 | 36174 | 19242 | 16932 |



Geostru Software – Validazione codice di calcolo RC-SEC

| | | | | |
|----|-------------|-------|-------|-------|
| 33 | 0.000128274 | 36212 | 18751 | 17461 |
| 34 | 0.000132161 | 36248 | 18258 | 17990 |
| 35 | 0.000136048 | 36283 | 17763 | 18520 |
| 36 | 0.000139935 | 36314 | 17266 | 19049 |
| 37 | 0.000143822 | 36343 | 16765 | 19578 |
| 38 | 0.000147709 | 36366 | 16259 | 20107 |
| 39 | 0.000151596 | 36391 | 15755 | 20636 |
| 40 | 0.000155483 | 36414 | 15249 | 21165 |
| 41 | 0.000159370 | 36434 | 14740 | 21694 |
| 42 | 0.000163257 | 36455 | 14232 | 22223 |
| 43 | 0.000167145 | 36472 | 13719 | 22753 |
| 44 | 0.000171032 | 36485 | 13204 | 23282 |
| 45 | 0.000174919 | 36499 | 12689 | 23811 |
| 46 | 0.000178806 | 36517 | 12177 | 24340 |
| 47 | 0.000182693 | 36531 | 11662 | 24869 |
| 48 | 0.000186580 | 36545 | 11147 | 25398 |
| 49 | 0.000190467 | 36557 | 10630 | 25927 |
| 50 | 0.000194354 | 36568 | 10111 | 26456 |
| 51 | 0.000198241 | 36577 | 9592 | 26986 |
| 52 | 0.000202128 | 36585 | 9070 | 27515 |
| 53 | 0.000206015 | 36596 | 8552 | 28044 |
| 54 | 0.000209902 | 36604 | 8031 | 28573 |
| 55 | 0.000213789 | 36614 | 7512 | 29102 |
| 56 | 0.000217677 | 36623 | 6991 | 29631 |
| 57 | 0.000221564 | 36628 | 6468 | 30160 |
| 58 | 0.000225451 | 36634 | 5945 | 30689 |
| 59 | 0.000229338 | 36644 | 5425 | 31219 |
| 60 | 0.000233225 | 36648 | 4901 | 31748 |

3.8 ESEMPIO 8



La trave in c.a. su due appoggi in figura è tratta dall'Example 7.4 del volume di A.Ghali, R.Favre "Concrete Structures - stresses and deformations" (E & FN SPON) è costituita per la sua intera lunghezza dalla sezione costante, per geometria e materiali, denominata ESEMPIO_8_GHALI_SEZ.sez pure presente tra i files di esempio del programma.

Al tempo t_0 viene applicato un carico uniforme di 1700 daN/m che rappresenta il carico risultante di una combinazione *quasi permanente* di esercizio. Si chiede il valore della freccia massima della trave a lungo termine ($t = \text{infinito}$) posto che i dati meccanici e reologici siano i seguenti:

$$E_s = 2000000 \text{ daN/cm}^2$$

$$E_c(t_0) = 300000 \text{ daN/cm}^2 = \text{modulo elastico al tempo } t_0 \text{ di applicazione del carico}$$

$$f_{ctm} = 25 \text{ daN/cm}^2 = \text{resistenza media a trazione del conglomerato}$$

$$\phi(t, t_0) = 2.5 = \text{coeff. di viscosità valutato da } t_0 \text{ al tempo finale } t$$

$$\epsilon_{cs}(t, t_0) = 0.00025 = \text{deformazione per ritiro nello stesso intervallo di tempo}$$

$$\chi(t, t_0) = 0.8 = \text{coeff. di invecchiamento}$$

Prima di poter assegnare i dati della trave è stato necessario creare il file della sezione corrente della trave denominato ESEMPIO_8_GHALI.sez. Nel corso dell'input di questa sezione vanno inseriti i dati geometrici, meccanici e reologici finora elencati (nonché un momento fittizio qualsiasi). Una volta salvato il file della sezione è stato creato un nuovo file di calcolo, qui denominato ESEMPIO_8.sez, in



Geostru Software – Validazione codice di calcolo

RC-SEC

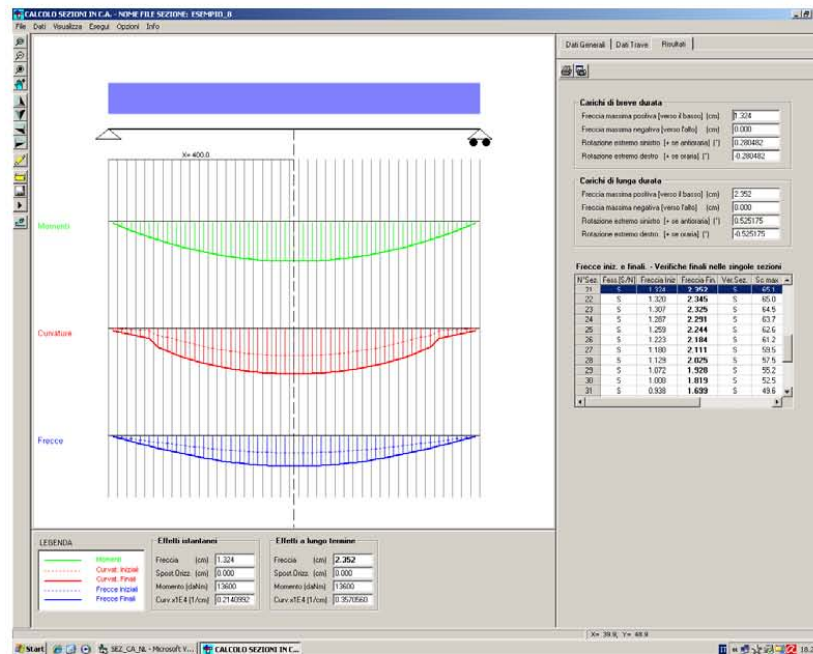
cui una volta assegnata la tipologia del calcolo delle frecce in campata singola vanno effettuate le seguenti scelte:

- Tipologia della combinazione di carico di esercizio: quasi permanente
- Tipo di campata: trave su due appoggi
- N° tronchi a sezione costante: 1 (la geometria e l'armatura sono costanti per tutta la lunghezza della trave)
- Passo medio della discretizzazione: 20 cm
- Coppie agli estremi appoggiati della trave: 0 daNm
- Caratteristiche dei singoli tronchi della trave:
 - Nome Sezione: ESEMPIO_8_GHALI.sez
 - Lunghezza tronco: 800 cm
 - $P_y = 1700$ daN/m
 - $N = 0$ daN.

Negli output a video ed a stampa sotto riportati viene indicata, fra l'altro, la freccia massima (in corrispondenza del concio centrale) pari a 2.35 cm identica a quella calcolata testo citato. Si noti come la freccia istantanea pari a 1,32 cm sia circa la metà della freccia differita (quest'ultima calcolata col metodo AAEM).

Oltre a calcolare le frecce nei singoli conci per integrazione delle curvatures il programma ne verifica l'apertura delle fessure e le tensioni normali.

Con questo stesso programma possono essere studiate (con piccolo errore) campate di travi iperstatiche (appartenenti a generici impalcati di edifici) a condizione di assegnare le coppie iperstatiche di estremità. Essendo inoltre possibile assegnare uno sforzo normale costante può essere studiata la deformazione (in un solo piano di inflessione) anche dei pilastri.





Geostru Software - Validazione codice di calcolo

RC-SEC

CALCOLO FRECCHE E VERIFICA SEZIONI DI UNA TRAVE IN C.A.
NOME DEL FILE: ESEMPIO_8

Descrizione Calcolo:
 Tipologia della trave: Trave su due appoggi di estremità
 Numero tronchi a sez. costante: 1
 Passo medio discretizz. trave: 20 cm
 Tipologia combinazione carico: Quasi Permanente
 Condizioni Ambientali: Poco aggressive

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CONGLOM. N. 1 - Classe: C20/25
 Modulo Elastico Normale Ec: 300000 daN/cm²
 Coeff. di Poisson: 0.20
 Resis. media a trazione fctm: 25.00 daN/cm²
 Coeff. Viscosità: 2.50
 Coeff. Ritiro: 0.25 /1000
 Coeff. Invecchiamento: 0.800
 Tensione normale Limite: 90.00 daN/cm²
 Apert.Fess.Limite: 0.300 mm

ACCIAIO N. 1 - Tipo: B450C
 Modulo Elastico Ef: 2000000 daN/cm²
 Coeff. Aderenza ist. B1*B2: 1.00
 Coeff. Aderenza diff. B1*B2: 0.50
 Tensione normale Sf Limite: 3150.0 daN/cm²

CARATTERISTICHE DEI SINGOLI TRONCHI DELLA TRAVE

N.Tronco Numero progressivo assegnato ai tronchi da sinistra a destra
 Nome Sez. Nome del file della sezione assegnata al tronco
 Lunghezza Lunghezza del tronco [cm]
 Carico un. Carico verticale uniformemente ripartito [daN/m] sul tronco
 [positivo se diretto verso il basso]

| N.Tronco | Nome Sezione | Lunghezza | Carico un. |
|----------|---------------|-----------|------------|
| 1 | ESEMPIO_8_GHA | 800.0 | 1700 |

FRECCHE - CURVATURE - SPOST. ASSIALI DELLE SINGOLE SEZIONI DELLA TRAVE

N.sez Numero progressivo assegnato alle sezioni da sinistra a destra
 X sez Ascissa progressiva delle sezioni con l'origine nel vincolo di sinistra
 Nome Sez. Nome del file della sezione all'ascissa X sez
 Ver S/N = sezione verificata o meno alle tensioni limite ed a fessurazione
 Fess. S/N = sezione fessurata o con conglomerato interamente reagente
 Fr.Ini Freccia istantanea [cm] all'applicazione del carico [positiva se verso il basso]
 Cur.Ini Curvatura istantanea [1/cm] della sezione all'applicazione del carico
 S.O.Ini Spostamento assiale istantaneo [cm] della sezione all'applicazione del carico
 [positivo se opposto al verso crescente delle ascisse]
 Fr.Fin Freccia [cm] a fenomeni reologici esauriti [positiva se verso il basso]
 Cur.Fin Curvatura [1/cm] della sezione a fenomeni reologici esauriti
 S.O.Fin Spostamento assiale [cm] della sezione a fenomeni reologici esauriti

| N.Sez | X sez | Nome Sezione | Ver | Fess. | Fr.Ini | Cur.Ini | S.O.Ini | Fr.Fin | Cur.Fin | S.O.Fin |
|-------|-------|---------------|-----|-------|--------|-----------|---------|--------------|-----------|---------|
| 1 | 9.8 | ESEMPIO_8_GHA | S | N | 0.048 | 0.0000003 | 0.000 | 0.089 | 0.0000020 | 0.000 |
| 2 | 29.3 | ESEMPIO_8_GHA | S | N | 0.143 | 0.0000008 | 0.000 | 0.268 | 0.0000036 | 0.000 |
| 3 | 48.8 | ESEMPIO_8_GHA | S | N | 0.238 | 0.0000014 | 0.000 | 0.444 | 0.0000052 | 0.000 |
| 4 | 68.3 | ESEMPIO_8_GHA | S | N | 0.333 | 0.0000019 | 0.000 | 0.619 | 0.0000067 | 0.000 |
| 5 | 87.8 | ESEMPIO_8_GHA | S | N | 0.427 | 0.0000024 | 0.000 | 0.791 | 0.0000081 | 0.000 |
| 6 | 107.3 | ESEMPIO_8_GHA | S | S | 0.520 | 0.0000063 | 0.000 | 0.960 | 0.0000151 | 0.000 |
| 7 | 126.8 | ESEMPIO_8_GHA | S | S | 0.610 | 0.0000073 | 0.000 | 1.124 | 0.0000181 | 0.000 |
| 8 | 146.3 | ESEMPIO_8_GHA | S | S | 0.698 | 0.0000089 | 0.000 | 1.280 | 0.0000208 | 0.000 |
| 9 | 165.9 | ESEMPIO_8_GHA | S | S | 0.782 | 0.0000110 | 0.000 | 1.429 | 0.0000231 | 0.000 |
| 10 | 185.4 | ESEMPIO_8_GHA | S | S | 0.863 | 0.0000127 | 0.000 | 1.569 | 0.0000252 | 0.000 |
| 11 | 204.9 | ESEMPIO_8_GHA | S | S | 0.938 | 0.0000143 | 0.000 | 1.699 | 0.0000271 | 0.000 |
| 12 | 224.4 | ESEMPIO_8_GHA | S | S | 1.008 | 0.0000157 | 0.000 | 1.819 | 0.0000288 | 0.000 |



Geostru Software - Validazione codice di calcolo RC-SEC

| | | | | | | | | | | |
|----|-------|---------------|---|---|-------|-----------|-------|--------------|-----------|-------|
| 13 | 243.9 | ESEMPIO_8_GHA | S | S | 1.072 | 0.0000170 | 0.000 | 1.928 | 0.0000302 | 0.000 |
| 14 | 263.4 | ESEMPIO_8_GHA | S | S | 1.129 | 0.0000180 | 0.000 | 2.025 | 0.0000315 | 0.000 |
| 15 | 282.9 | ESEMPIO_8_GHA | S | S | 1.180 | 0.0000189 | 0.000 | 2.111 | 0.0000326 | 0.000 |
| 16 | 302.4 | ESEMPIO_8_GHA | S | S | 1.223 | 0.0000197 | 0.000 | 2.184 | 0.0000336 | 0.000 |
| 17 | 322.0 | ESEMPIO_8_GHA | S | S | 1.259 | 0.0000203 | 0.000 | 2.244 | 0.0000344 | 0.000 |
| 18 | 341.5 | ESEMPIO_8_GHA | S | S | 1.287 | 0.0000208 | 0.000 | 2.291 | 0.0000349 | 0.000 |
| 19 | 361.0 | ESEMPIO_8_GHA | S | S | 1.307 | 0.0000211 | 0.000 | 2.325 | 0.0000354 | 0.000 |
| 20 | 380.5 | ESEMPIO_8_GHA | S | S | 1.320 | 0.0000213 | 0.000 | 2.345 | 0.0000356 | 0.000 |
| 21 | 400.0 | ESEMPIO_8_GHA | S | S | 1.324 | 0.0000214 | 0.000 | 2.352 | 0.0000357 | 0.000 |
| 22 | 419.5 | ESEMPIO_8_GHA | S | S | 1.320 | 0.0000213 | 0.000 | 2.345 | 0.0000356 | 0.000 |
| 23 | 439.0 | ESEMPIO_8_GHA | S | S | 1.307 | 0.0000211 | 0.000 | 2.325 | 0.0000354 | 0.000 |
| 24 | 458.5 | ESEMPIO_8_GHA | S | S | 1.287 | 0.0000208 | 0.000 | 2.291 | 0.0000349 | 0.000 |
| 25 | 478.0 | ESEMPIO_8_GHA | S | S | 1.259 | 0.0000203 | 0.000 | 2.244 | 0.0000344 | 0.000 |
| 26 | 497.6 | ESEMPIO_8_GHA | S | S | 1.223 | 0.0000197 | 0.000 | 2.184 | 0.0000336 | 0.000 |
| 27 | 517.1 | ESEMPIO_8_GHA | S | S | 1.180 | 0.0000189 | 0.000 | 2.111 | 0.0000326 | 0.000 |
| 28 | 536.6 | ESEMPIO_8_GHA | S | S | 1.129 | 0.0000180 | 0.000 | 2.025 | 0.0000315 | 0.000 |
| 29 | 556.1 | ESEMPIO_8_GHA | S | S | 1.072 | 0.0000170 | 0.000 | 1.928 | 0.0000302 | 0.000 |
| 30 | 575.6 | ESEMPIO_8_GHA | S | S | 1.008 | 0.0000157 | 0.000 | 1.819 | 0.0000288 | 0.000 |
| 31 | 595.1 | ESEMPIO_8_GHA | S | S | 0.938 | 0.0000143 | 0.000 | 1.699 | 0.0000271 | 0.000 |
| 32 | 614.6 | ESEMPIO_8_GHA | S | S | 0.863 | 0.0000127 | 0.000 | 1.569 | 0.0000252 | 0.000 |
| 33 | 634.1 | ESEMPIO_8_GHA | S | S | 0.782 | 0.0000110 | 0.000 | 1.429 | 0.0000231 | 0.000 |
| 34 | 653.7 | ESEMPIO_8_GHA | S | S | 0.698 | 0.0000089 | 0.000 | 1.280 | 0.0000208 | 0.000 |
| 35 | 673.2 | ESEMPIO_8_GHA | S | S | 0.610 | 0.0000073 | 0.000 | 1.124 | 0.0000181 | 0.000 |
| 36 | 692.7 | ESEMPIO_8_GHA | S | S | 0.520 | 0.0000063 | 0.000 | 0.960 | 0.0000151 | 0.000 |
| 37 | 712.2 | ESEMPIO_8_GHA | S | N | 0.427 | 0.0000024 | 0.000 | 0.791 | 0.0000081 | 0.000 |
| 38 | 731.7 | ESEMPIO_8_GHA | S | N | 0.333 | 0.0000019 | 0.000 | 0.619 | 0.0000067 | 0.000 |
| 39 | 751.2 | ESEMPIO_8_GHA | S | N | 0.238 | 0.0000014 | 0.000 | 0.444 | 0.0000052 | 0.000 |
| 40 | 770.7 | ESEMPIO_8_GHA | S | N | 0.143 | 0.0000008 | 0.000 | 0.268 | 0.0000036 | 0.000 |
| 41 | 790.2 | ESEMPIO_8_GHA | S | N | 0.048 | 0.0000003 | 0.000 | 0.089 | 0.0000020 | 0.000 |

VERIFICA SEZIONI PER TENSIONI NORMALI ED APERTURA DELLE FESSURE

| | | | | | | | | | |
|-----------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| N.sez | Numero progressivo assegnato alle sezioni da sinistra a destra | | | | | | | | |
| X sez | Ascissa progressiva delle sezioni con l'origine nel vincolo di sinistra | | | | | | | | |
| Nome Sez. | Nome del file della sezione all'ascissa X sez | | | | | | | | |
| Ver | S/N = sezione verificata o meno alle tensioni limite ed a fessurazione | | | | | | | | |
| Momento | Momento flettente nella sezione considerata | | | | | | | | |
| Sf.Ass. | Sforzo normale baricentrico[daN] assegnato [+ se di compressione] | | | | | | | | |
| Sc max | Massima tensione [daN/cm ²] di compressione nel conglomerato | | | | | | | | |
| Sf min | Massima trazione [daN/cm ²] nell'acciaio | | | | | | | | |
| Ap.Fess. | Apertura fessure finale massima [mm] nella sezione | | | | | | | | |

| N.Sez | X sez | Nome Sezione | Ver | Momento | Sf.Ass. | Sc max | Sf min | Ap.Fess. |
|-------|-------|---------------|-----|---------|---------|--------|---------|----------|
| 1 | 9.8 | ESEMPIO_8_GHA | S | 655 | 0 | 3.27 | 339.1 | 0.000 |
| 2 | 29.3 | ESEMPIO_8_GHA | S | 1917 | 0 | 8.05 | 255.4 | 0.000 |
| 3 | 48.8 | ESEMPIO_8_GHA | S | 3115 | 0 | 12.59 | 175.9 | 0.000 |
| 4 | 68.3 | ESEMPIO_8_GHA | S | 4247 | 0 | 16.88 | 100.8 | 0.000 |
| 5 | 87.8 | ESEMPIO_8_GHA | S | 5315 | 0 | 20.93 | 29.9 | 0.000 |
| 6 | 107.3 | ESEMPIO_8_GHA | S | 6319 | 0 | 30.16 | -1078.8 | 0.067 |
| 7 | 126.8 | ESEMPIO_8_GHA | S | 7257 | 0 | 34.67 | -1240.6 | 0.092 |
| 8 | 146.3 | ESEMPIO_8_GHA | S | 8131 | 0 | 38.86 | -1391.1 | 0.114 |
| 9 | 165.9 | ESEMPIO_8_GHA | S | 8940 | 0 | 42.75 | -1530.6 | 0.133 |
| 10 | 185.4 | ESEMPIO_8_GHA | S | 9684 | 0 | 46.32 | -1658.8 | 0.150 |
| 11 | 204.9 | ESEMPIO_8_GHA | S | 10364 | 0 | 49.59 | -1776.0 | 0.166 |
| 12 | 224.4 | ESEMPIO_8_GHA | S | 10979 | 0 | 52.54 | -1881.9 | 0.179 |
| 13 | 243.9 | ESEMPIO_8_GHA | S | 11529 | 0 | 55.18 | -1976.7 | 0.191 |
| 14 | 263.4 | ESEMPIO_8_GHA | S | 12014 | 0 | 57.51 | -2060.4 | 0.202 |
| 15 | 282.9 | ESEMPIO_8_GHA | S | 12435 | 0 | 59.53 | -2132.9 | 0.211 |
| 16 | 302.4 | ESEMPIO_8_GHA | S | 12791 | 0 | 61.24 | -2194.2 | 0.218 |
| 17 | 322.0 | ESEMPIO_8_GHA | S | 13082 | 0 | 62.64 | -2244.4 | 0.225 |
| 18 | 341.5 | ESEMPIO_8_GHA | S | 13309 | 0 | 63.73 | -2283.5 | 0.229 |
| 19 | 361.0 | ESEMPIO_8_GHA | S | 13471 | 0 | 64.50 | -2311.4 | 0.233 |
| 20 | 380.5 | ESEMPIO_8_GHA | S | 13568 | 0 | 64.97 | -2328.1 | 0.235 |
| 21 | 400.0 | ESEMPIO_8_GHA | S | 13600 | 0 | 65.13 | -2333.7 | 0.236 |
| 22 | 419.5 | ESEMPIO_8_GHA | S | 13568 | 0 | 64.97 | -2328.1 | 0.235 |
| 23 | 439.0 | ESEMPIO_8_GHA | S | 13471 | 0 | 64.50 | -2311.4 | 0.233 |
| 24 | 458.5 | ESEMPIO_8_GHA | S | 13309 | 0 | 63.73 | -2283.5 | 0.229 |
| 25 | 478.0 | ESEMPIO_8_GHA | S | 13082 | 0 | 62.64 | -2244.4 | 0.225 |
| 26 | 497.6 | ESEMPIO_8_GHA | S | 12791 | 0 | 61.24 | -2194.2 | 0.218 |
| 27 | 517.1 | ESEMPIO_8_GHA | S | 12435 | 0 | 59.53 | -2132.9 | 0.211 |
| 28 | 536.6 | ESEMPIO_8_GHA | S | 12014 | 0 | 57.51 | -2060.4 | 0.202 |
| 29 | 556.1 | ESEMPIO_8_GHA | S | 11529 | 0 | 55.18 | -1976.7 | 0.191 |



GeoSTRU Software – Validazione codice di calcolo RC-SEC

| | | | | | | | | |
|----|-------|---------------|---|-------|---|-------|---------|-------|
| 30 | 575.6 | ESEMPIO_8_GHA | S | 10979 | 0 | 52.54 | -1881.9 | 0.179 |
| 31 | 595.1 | ESEMPIO_8_GHA | S | 10364 | 0 | 49.59 | -1776.0 | 0.166 |
| 32 | 614.6 | ESEMPIO_8_GHA | S | 9684 | 0 | 46.32 | -1658.8 | 0.150 |
| 33 | 634.1 | ESEMPIO_8_GHA | S | 8940 | 0 | 42.75 | -1530.6 | 0.133 |
| 34 | 653.7 | ESEMPIO_8_GHA | S | 8131 | 0 | 38.86 | -1391.1 | 0.114 |
| 35 | 673.2 | ESEMPIO_8_GHA | S | 7257 | 0 | 34.67 | -1240.6 | 0.092 |
| 36 | 692.7 | ESEMPIO_8_GHA | S | 6319 | 0 | 30.16 | -1078.8 | 0.067 |
| 37 | 712.2 | ESEMPIO_8_GHA | S | 5315 | 0 | 20.93 | 29.9 | 0.000 |
| 38 | 731.7 | ESEMPIO_8_GHA | S | 4247 | 0 | 16.88 | 100.8 | 0.000 |
| 39 | 751.2 | ESEMPIO_8_GHA | S | 3115 | 0 | 12.59 | 175.9 | 0.000 |
| 40 | 770.7 | ESEMPIO_8_GHA | S | 1917 | 0 | 8.05 | 255.4 | 0.000 |
| 41 | 790.2 | ESEMPIO_8_GHA | S | 655 | 0 | 3.27 | 339.1 | 0.000 |

9.2 PROGRAMMA GROUP



ENSOFT, Inc.

Engineering Software

www.ensoftinc.com

E-mail: ensoft@ensoftinc.com

3003 W. Howard Lane

Austin, Texas 78728

Fax: (512) 244-6067

Phone: (512) 244-6464

9.2.1 INTRODUZIONE

Il software GROUP è stato riconosciuto come utile strumento di progettazione per analizzare il comportamento di paratie di pali soggette sia a carichi assiali che laterali. Il software è stato sviluppato per calcolare la distribuzione dei carichi (verticali, laterali e momenti) dal cordolo a un gruppo di pali. I pali possono essere infissi verticalmente o battuti nel terreno e le teste dei pali fissate, o bloccate elasticamente al cordolo di testa. La trave di testa può abbassarsi, traslare, e ruotare, e si assume come corpo rigido.

Il programma calcolerà la risposta non lineare del terreno, sotto forma di curve $t-z$ e $q-w$ per il carico assiale, $t-r$ per il carico torsionale, e $p-y$ per la spinta laterale. Tramite un procedimento di iterazione, si ottiene la risposta non lineare di ogni singolo palo. Per la risoluzione del problema devono essere soddisfatte le equazioni di equilibrio. Il programma permette di valutare la compatibilità tra lo spostamento del palo e la risposta del terreno, e tra lo spostamento della trave e lo spostamento della testa del palo. GROUP v7.0 permette all'utente di analizzare il comportamento della paratia di pali utilizzando sia il modello bidimensionale per i pali nel caso di paratia simmetrica o il modello tridimensionale per pali in posizione non simmetrica.

I software GROUP Versione 1(1987), Versione 2 (1990), Versione 3 (1994), Versione 4 (1996), Versione 5 (2000), Versione 6 (2003) e Versione 7 (2006) sono stati sviluppati da *Ensoft, Inc. in Austin, Texas, United States of America*. *Ensoft* ha applicato tecnologia avanzata, la maggior parte basata sulle ultime ricerche, nella scrittura del software per la risoluzione di problemi matematici complessi che si presentano nell'ingegneria geotecnica e strutturale. Migliaia di aziende private, agenzie governative e università degli Stati Uniti e altri 40 paesi hanno scelto il software sviluppato da *Ensoft, Inc.* per i loro progetti di ingegneria.

9.2.2 VALIDAZIONE DATI OUTPUT

Sono stati considerati dalla *Ensoft, Inc.* diversi passi per verificare i dati di output ottenuti dal software GROUP. L'utente, se lo desidera, può facilmente verificare alcuni calcoli elementari qui descritti.

1. GROUP fornisce i carichi assiali, laterali e i momenti alla testa di ogni palo, lungo le rispettive direzioni. Group mostra inoltre le forze e i momenti applicati alla testa della trave o alla fondazione. Il progettista può facilmente verificare l'equilibrio statico del cordolo di testa. Gli stessi calcoli sono stati fatti a mano e mostrano come l'equilibrio statico è raggiunto con successo dai dati ottenuti tramite il software Group.
2. Con riferimento all'equilibrio statico dei pali sotto il carico assiale, i singoli carichi assiali indicati per i pali possono essere prontamente confrontati con la portata stessa dei pali. Attraverso l'utilizzo di calcoli indipendenti, si può confrontare il carico assiale sui singoli pali con la relativa portata.
3. Con riferimento all'equilibrio statico dei singoli pali, si possono calcolare i valori di resistenza del terreno lungo tutto il singolo palo e per ognuno dei pali del gruppo. Con i carichi calcolati alla testa di ogni singolo palo, può essere effettuata una verifica dell'equilibrio delle forze laterali. Una verifica soddisfacente può essere fatta

attraverso un rapido calcolo; una verifica più approfondita può essere svolta integrando il carico distribuito. In questo modo, le verifiche mostrano come i singoli pali siano in equilibrio con le forze.

4. Utilizzando le forze concentrate calcolate, insieme al carico laterale e al momento alla testa del palo, può essere verificato l'equilibrio dei momenti. I risultati del software Group mostrano che l'equilibrio dei momenti è sempre soddisfatto pur con piccole e insignificanti discrepanze per effetto di approssimazioni numeriche.
5. L'ultima verifica interna è relativa agli spostamenti calcolati del sistema. Nel passato sono state intraprese diverse verifiche. (a) Con riferimento al carico assiale, il carico e lo spostamento alla testa dei pali può essere valutato confrontando le curve $t-z$ e $q-w$ inserite come dati di input. Il tutto trascurando il taglio elastico nel palo, effetto del secondo ordine. Alcuni semplici calcoli possono dimostrare che i carichi assiali e gli spostamenti alla testa del palo sono considerevoli. (b) Con riferimento ai carichi laterali, il primo step è quello di confrontarli con i dati di output ottenuti per confermare che il carico distribuito (portata del terreno), e gli spostamenti distribuiti lungo la lunghezza del palo sono coerenti con la curva $p-y$ che è stata inserita. Se sono state utilizzate le equazioni per calcolare i valori di p e y , è necessario applicare (verificare) le equazioni in un numero sufficiente di punti per mostrare che le caratteristiche del terreno per i carichi laterali sono state seguite correttamente. Il secondo step circa il carico laterale è quello di impiegare il diagramma dello punto 4, e usare i principi della meccanica per accertarsi che l'abbassamento dei singoli pali è stato calcolato correttamente.

9.2.3 LETTERATURA E APPLICAZIONI

Prove sperimentali su pali in situ hanno confermato la validità del software GROUP. Il libro di Reese & Van Impe (2001) presenta una discussione sullo sviluppo dei metodi utilizzati dal programma GROUP e applica i metodi in diversi casi studio: Matlock, et al, (1980); Brown, et al, (1987); Brown, et al, (1988); Rollins, et al, (1985); Ruesta & Townsend, 1997, and Awoshika (1971). In aggiunta ai confronti fra analisi ed esperimenti, Reese & Van Impe presentano applicazioni del metodo ai calcoli di una struttura offshore e ad una paratia di pali in fondazione. Il libro include inoltre una lista di riferimenti pubblicati che stabiliscono diverse verifiche con risultati da test strumentali effettuati.

Con riferimenti ai calcoli verificati a mano, si rimanda alla seguente pubblicazione: *Analysis and Design of Shallow and Deep Foundations*, di L. C. Reese, W. M. Isenhowe & S. T. Wang (Wiley, Nov. 2005).

Le due pubblicazioni descritte in questa relazione possono essere acquistate direttamente dagli editori e sono inoltre disponibili dalla compagnia Ensoft, Inc.

10. SOTTOSCRIZIONE DELL'ELABORATO DA PARTE DEL R.T.P

STUDIO CORONA S.r.l.

I.T. S.r.l.

CONSORZIO UNING

SETAC S.r.l.

DOTT. DANILO GALLO

ECOPLAN S.r.l.

E&G S.r.l.

ARKE' INGEGNERIA S.r.l.

ING. RENATO DEL PRETE
