



AUTOSTRADA REGIONALE CISPADANA DAL CASELLO DI REGGIOLO-ROLO SULLA A22 AL CASELLO DI FERRARA SUD SULLA A13

CODICE C.U.P. E81B08000060009

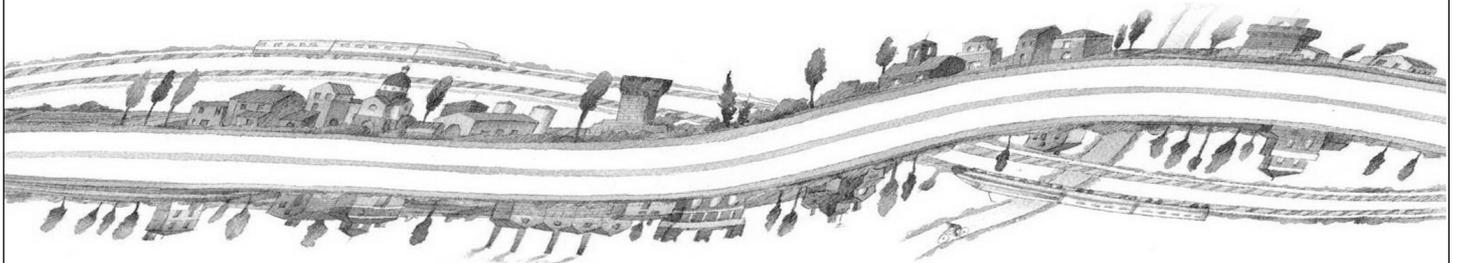
PROGETTO DEFINITIVO

D02 (EX 1RE) - VARIANTE ALLA S.P. N.41 IN CORRISPONDENZA DEL TRACCIATO CISPADANO - TRATTO TRA S.P. N. 60 E BRESCELLO

OPERE D'ARTE MAGGIORI - VIADOTTI E PONTI

RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO

DPO02 - PONTE TORRENTE ENZA



IL PROGETTISTA

Ing. Rodolfo Biondi
Albo Ing. Modena n° 1256



R. Biondi

RESPONSABILE INTEGRAZIONE
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

Ing. Emilio Salsi
Albo Ing. Reggio-Emilia n° 945



IL CONCESSIONARIO

Autostrada Regionale
Cispadana S.p.A.
IL PRESIDENTE
Graziano Pattuzzi

G. Pattuzzi

| | | | | | | | | | | |
|---------------------------|------------|-------------|--------|------------------|--------------|--------------|----------------|--------------|------|--------------------------|
| G | | | | | | | | | | |
| F | | | | | | | | | | |
| E | | | | | | | | | | |
| D | | | | | | | | | | |
| C | | | | | | | | | | |
| B | | | | | | | | | | |
| A | 17.04.2012 | EMISSIONE | | | | W. GIANAROLI | R. BIONDI | E. SALSI | | |
| REV. | DATA | DESCRIZIONE | | | | REDAZIONE | CONTROLLO | APPROVAZIONE | | |
| IDENTIFICAZIONE ELABORATO | | | | | | | | | | DATA: MAGGIO 2012 |
| NUM. PROGR. | FASE | LOTTO | GRUPPO | CODICE OPERA WBS | TRATTO OPERA | AMBITO | TIPO ELABORATO | PROGRESSIVO | REV. | SCALA: _ |
| 4933 | PD | 0 | D02 | DPO02 | 0 | OM | RC | 01 | A | |

INDICE

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1. DESCRIZIONE DELL'OPERA | 3 |
| 2. NORMATIVA TECNICA DI RIFERIMENTO | 5 |
| 3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI | 6 |
| 4. INCIDENZA | 7 |
| 5. DATI DI BASE | 8 |
| 5.1. DATI GENERALI | 8 |
| 5.2. APERTURA LIMITE DELLE FESSURE | 8 |
| 5.3. DATI SISMICI | 9 |
| 5.4. PARAMETRI GEOTECNICI | 9 |
| 6. DIMENSIONAMENTO DELL'OPERA: IMPALCATO LONGITUDINALE | 12 |
| 6.1. MODELLI DI CALCOLO | 12 |
| 6.2. ANALISI DEI CARICHI | 17 |
| 6.2.1. Peso proprio degli elementi strutturali (PP) | 17 |
| 6.2.2. Carichi permanenti portati (SP, SL, CR)..... | 17 |
| 6.2.3. Distorsioni - ritiro (RT) | 17 |
| 6.2.4. Distorsioni - variazioni termiche (TMP, TMN) | 18 |
| 6.2.5. Distorsioni - cedimenti vincolari (CSP, CPI) | 19 |
| 6.2.6. Azioni parassite dei vincoli (AP) | 21 |
| 6.2.7. Carichi mobili (ML)..... | 21 |
| 6.2.8. Azione sismica (SLD-X, SLD-Y, SLD -Z, SLV-X, SLV-Y, SLV-Z, SLC-X, SLC-Y, SLC-Z)..... | 24 |
| 6.3. COMBINAZIONE DEI CARICHI | 25 |
| 6.4. ANALISI DELLE SOLLECITAZIONI | 27 |
| 6.4.1. Diagrammi delle sollecitazioni | 27 |
| 6.5. CRITERIO DI DIMENSIONAMENTO DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI | 31 |
| 6.5.1. Dimensionamento cassone metallico | 31 |
| 6.5.1.1 Verifiche di Resistenza – SLU/SLV | 31 |
| 6.5.1.2 Verifiche di deformabilità – SLE | 58 |
| 6.5.2. SISTEMA DI VINCOLAMENTO | 59 |
| 7. DIMENSIONAMENTO DELL'OPERA: IMPALCATO TRASVERSALE | 61 |
| 7.1. DIMENSIONAMENTO CONTROVENTAMENTI TRASVERSALI E SOLETTA | 61 |
| 7.1.1. Modello di calcolo, analisi dei carichi e combinazioni di carico..... | 61 |
| 7.1.2. Verifiche di resistenza | 71 |
| 7.1.3. Verifiche di stabilità..... | 80 |
| 7.2. DIMENSIONAMENTO DELLE LASTRE PREDALLE | 81 |

| | | |
|------------|--------------------------------------------------------------|------------|
| 7.2.1. | Premessa, analisi dei carichi e combinazioni di carico | 81 |
| 7.2.2. | Verifiche sezione di sbalzo | 83 |
| 7.2.3. | Verifiche sezione di campata | 85 |
| 7.3. | DIMENSIONAMENTO DELLA TRAVE ROMPITRATTA | 87 |
| 8. | DIMENSIONAMENTO DELL'OPERA: SPALLA | 88 |
| 8.1. | ANALISI CON CODICE DI CALCOLO | 88 |
| 8.1.1. | Verifiche di Resistenza – SLU/SLV | 94 |
| 8.1.1.1 | PARAGHIAIA | 94 |
| 8.1.1.2 | PLATEA DI FONDAZIONE | 97 |
| 8.1.1.3 | PALI | 100 |
| 8.1.2. | Verifica a fessurazione – SLE | 104 |
| 8.1.2.1 | PARAGHIAIA | 105 |
| 8.1.2.2 | PLATEA DI FONDAZIONE | 106 |
| 8.1.2.3 | PALI | 107 |
| 8.1.3. | Verifica a capacità portante per carichi verticali | 108 |
| 8.1.4. | Verifica a capacità portante per carichi orizzontali | 110 |
| 9. | DIMENSIONAMENTO DELL'OPERA: PILA-DIAFRAMMA | 113 |
| 9.1. | ANALISI CON CODICE DI CALCOLO | 113 |
| 9.1.1. | Verifiche di Resistenza – SLU/SLV | 118 |
| 9.1.1.1 | FUSTO | 118 |
| 9.1.1.2 | PLATEA DI FONDAZIONE | 122 |
| 9.1.1.3 | DIAFRAMMI | 125 |
| 9.1.2. | Verifica a fessurazione – SLE | 129 |
| 9.1.2.1 | FUSTO | 129 |
| 9.1.2.2 | PLATEA DI FONDAZIONE | 130 |
| 9.1.2.3 | DIAFRAMMI | 131 |
| 9.1.3. | Verifica a capacità portante per carichi verticali | 132 |
| 9.1.4. | Verifica a capacità portante per carichi orizzontali | 135 |
| 10. | DIMENSIONAMENTO DELL'OPERA: DIAFRAMMI IDRAULICI | 137 |
| 10.1. | ANALISI CON CODICE DI CALCOLO | 137 |
| 10.1.1. | Sollecitazioni risultanti – SLU | 143 |
| 10.1.2. | Verifiche di Resistenza – SLU | 145 |

1. DESCRIZIONE DELL'OPERA

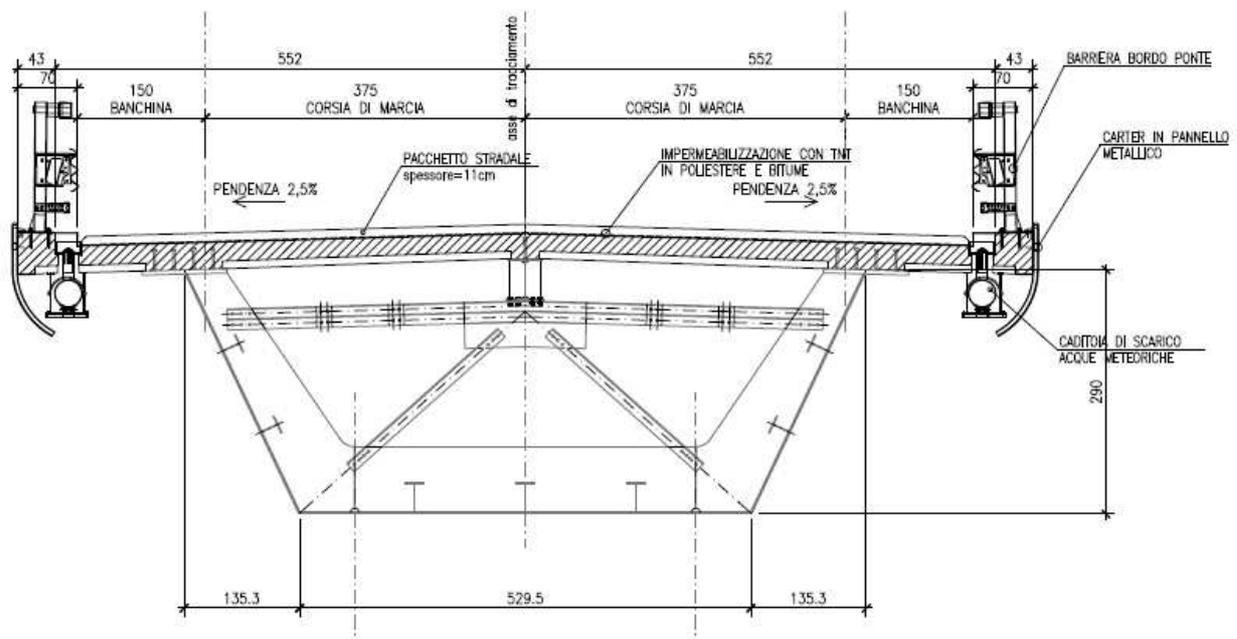
L'opera in oggetto è un ponte costituito da 3 campate di luci di calcolo pari rispettivamente a 33 m, 67 m e 33 m, per una lunghezza totale di 133 m (misurata da asse appoggi delle spalle). L'impalcato è costituito da un cassone metallico ad altezza costante pari a 2.9 m avente le anime inclinate su cui appoggia una soletta collaborante in c.a. avente funzionamento principale lungo la direzione trasversale. La sezione è completata da una trave centrale avente funzione di rompitratta per la soletta, dai cordoli in c.a. di posizionamento dei guard-rail e da tutti gli elementi di arredo del ponte (veletta laterale in c.a., strutture leggere reggi-impianti, impianti, elementi di scolo e di raccolta delle acque meteoriche, ecc...).

Ad interasse pari a 3.50 m sono previsti dei controventamenti trasversali realizzati con profilati ad L per i correnti superiori e per i diagonali, mentre per l'irrigidimento delle anime e della piattabanda inferiore si prevedono delle normali costole metalliche a loro volta irrigidite da elementi longitudinali poste ad un interasse opportuno. I correnti superiori dei traversi sono poi collegati longitudinalmente tra loro tramite le crociere di piano superiore che svolgono un'importante funzione di stabilizzazione della sezione durante le fasi di getto della soletta superiore. In corrispondenza di spalle e pile i controventamenti trasversali sono previsti in lamiera piena opportunamente irrigidita. Le caratteristiche principali della sezione trasversale tipo sono riportate nella figura seguente.

CARPENTERIA IMPALCATO

SEZIONE TRASVERSALE TIPO

SCALA 1:50



Come sarà descritto in seguito l'impalcato si prevede diviso in un totale di 13 conci: 2 conci "di pila", 4 conci "intermedi" adiacenti ai conci di pila, e 7 conci di "campata". I collegamenti tra i vari conci (aventi tutti lunghezza inferiore ai 13.3 m per garantire la trasportabilità standard) sono previsti tramite saldature a completa penetrazione.

Il sistema di vincolamento del ponte è pensato per garantire l'isolamento sismico del ponte in entrambe le direzioni longitudinale\trasversale (secondo la tipologia di "Isolatori elastomerici" descritta al punto 11.9.7 delle NTC08).

Più in dettaglio, saranno disposti:

- 2 appoggi tipo Vasoflon multidirezionali, su ciascuna spalla
- 2 isolatori elastomerici a disco confinato, su ciascuna pila

Tutti i dispositivi di isolamento sono progettati affinché resistano all'azione di progetto allo stato limite ultimo e risultino idonei:

- a trasmettere le forze conseguenti alle azioni sismiche;
- ad evitare sconnessioni tra gli elementi componenti il dispositivo di vincolo;
- ad evitare la fuoriuscita dei vincoli dalle loro sedi.

Gli elementi di sostegno ai quali sono trasmesse le azioni longitudinali e le azioni trasversali sono progettati affinché si mantengano in campo elastico anche sotto l'azione sismica allo stato limite ultimo.

Sono presenti inoltre ritegni sismici di emergenza in direzione trasversale (realizzati in cemento armato), i quali non possono però essere considerati come dispositivi di ritenuta adatti a fenomeni ciclici perché durante un evento sismico sono elementi soggetti a fenomeni di martellamento.

Le pile sono previste a fusto unico aventi sezione di forma ellittica di altezza totale pari a 14.0 m. Queste sono collegate a plinti di fondazione che presentano forma planimetrica rettangolare di dimensioni 5.0x12.4 mq e spessore pari a 1.0 m. Ogni plinto funge da "chiusura di testa" della fondazione a cassone costituita da 14 diaframmi in c.a. di dimensioni 80x250 cmq.

Le spalle si prevedono come strutture di contenimento del rilevato stradale aventi altezza pari a 3.0 m dallo spiccatto della platea di fondazione e fondate su 8 pali in c.a. trivellati realizzati in opera ad elica continua aventi diametro pari a 1.0 m.

2. NORMATIVA TECNICA DI RIFERIMENTO

Si veda in proposito l'elaborato PD_0_0000_0000_0_GE_KT_01_A - Elenco delle Normative di riferimento.

3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Si veda in proposito gli elaborati:

- PD_0_0000_0000_0_GE_TB_01_A - Tabella materiali e classi di esposizione calcestruzzo
- PD_0_0000_0000_0_GE_KT_02_A - Vita Utile e Classi d'Uso delle opere

4. INCIDENZA

Si forniscono qui di seguito le incidenze d'armatura relative ai singoli elementi costituenti l'opera.

| Cod Wbs | Descrizione Opera | Parte d'opera | Incidenza kg/mc | | | | | | | | | | | | Incidenza kg/mq |
|----------|--------------------------|-------------------------------------|-----------------|-----------|---------------------|---------------------------------------|------------|------------|---------|--------------------|------------------------|-------------------------------|-----------------------------|----------|-----------------|
| | | | Pali | Diaframmi | Diaframmi Idraulici | Trave di coronamento Diafr. Idraulici | Fondazione | Elevazione | Pulvino | Baggioli e ritegni | Soletta di transizione | Soletta Marciapiede su Spalla | Soletta (escluso predalles) | Traverso | |
| A | PONTI ACCIAIO/CLS | | | | | | | | | | | | | | |
| DPO02 | Ponte Enza | SPALLA PASSANTE (su 2 file di pali) | 140 | | | | 70 | 100 | | 200 | 80 | | | | |
| DPO02 | Ponte Enza | PILA su Diaframmi | | 85 | | 80 | 90 | 75 | | 200 | | | | | |
| DPO02 | Ponte Enza | IMPALCATO ACCIAIO | | | | | | | | | | | 190 | | 350 |

5. DATI DI BASE

5.1. DATI GENERALI

Si rimanda alle informazioni fornite al punto **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**

5.2. APERTURA LIMITE DELLE FESSURE

Secondo quanto riportato nell'elaborato PD_0_0000_0000_0_GE_TB_01_A, viene determinata per ogni tipologia di getto in conglomerato cementizio armato la classe di esposizione: ciò, ai sensi della Tab. 4.1.III delle NTC08, qualifica automaticamente la "Condizione ambientale".

| Condizioni ambientali | Classe di esposizione |
|-----------------------|-----------------------------------|
| Ordinarie | X0, XC1, XC2, XC3, XF1 |
| Aggressive | XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3 |
| Molto aggressive | XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4 |

Nella tabella seguente sono indicati i criteri di scelta dello stato limite di fessurazione con riferimento alle condizioni ambientale e al tipo di armatura.

| Gruppi di esigenze | Condizioni ambientali | Combinazione di azioni | Armatura | | | |
|--------------------|-----------------------|------------------------|--------------------|------------|----------------|------------|
| | | | Sensibile | | Poco sensibile | |
| | | | Stato limite | w_d | Stato limite | w_d |
| a | Ordinarie | frequente | ap. fessure | $\leq w_2$ | ap. fessure | $\leq w_3$ |
| | | quasi permanente | ap. fessure | $\leq w_1$ | ap. fessure | $\leq w_2$ |
| b | Aggressive | frequente | ap. fessure | $\leq w_1$ | ap. fessure | $\leq w_2$ |
| | | quasi permanente | decompressione | - | ap. fessure | $\leq w_1$ |
| c | Molto aggressive | frequente | formazione fessure | - | ap. fessure | $\leq w_1$ |
| | | quasi permanente | decompressione | - | ap. fessure | $\leq w_1$ |

In sintesi, tenuto conto di quanto al par. 4.1.2.2.4.1 della Norma, l'apertura limite delle fessure risulta:

- Pali e Diaframmi, Fondazioni (armatura ordinaria)
Comb. frequente: 0,3 mm; Comb. quasi permanente: 0,2 mm
- Pila, Spalla, Predalles
Comb. frequente: 0,4 mm; Comb. quasi permanente: 0,3 mm
- Soletta
Comb. frequente: 0,3 mm; Comb. quasi permanente: 0,2 mm

5.3. DATI SISMICI

La determinazione dell'azione sismica è stata eseguita assumendo i seguenti parametri:

- Longitudine: 10.460764°;
- Latitudine: 44.889021°
- Vita nominale: 50 anni;
- Classe d'uso: III → $C_u = 1.5$;
- Probabilità di superamento ' P_{VR} ' per lo Stato SLV : 10%
- Periodo di Ritorno ' $T_R = -V_R / \ln(1-P_{VR}) = 712$ anni
- Categoria di sottosuolo: C;
- Categoria topografica: T1;
- Fattore di struttura: $q = 1$ (struttura isolata sismicamente, paragrafo 7.10 delle NTC08);
- $a_{gh} : 0.106 \cdot 1.5 = 0.159g$; $a_{gv} : 0.046g$

5.4. PARAMETRI GEOTECNICI

I parametri necessari a definire le caratteristiche del terreno a tergo della spalla sono estratti dal Documento 'Criteri Generali per le verifiche Geotecniche'.

Si assume:

$$\gamma = 19.5 \text{ kN/m}^3 ; \varnothing = 38.0^\circ [\text{M1}] ; \varnothing' = 32.01^\circ [\text{M2}]$$

dove:

γ : peso specifico del terrapieno

\varnothing : angolo d'attrito *caratteristico* del terrapieno

\varnothing' : angolo d'attrito *efficace* del terrapieno

Per quanto riguarda i parametri del terreno in sito, di seguito si riporta la scheda di caratterizzazione geotecnica per l'opera in oggetto.

TABELLA 5-1: INDAGINI GEOGNOSTICHE DI RIFERIMENTO PER STRATIGRAFIA E CARATTERIZZAZIONE

| sigla indagine | campagna di indagine | pk (km) | quota p.c. (m s.l.m.) | lunghezza (m) | strumentazione installata |
|----------------|----------------------|-----------|-----------------------|---------------|---------------------------|
| 1RE-BH 1 | Geoservice - 2011 | xx+xxx.xx | 26.330 | 40.0 | - |
| 1RE-BH 2 | Geoservice - 2011 | xx+xxx.xx | 26.422 | 40.0 | C(20) |
| 1RE-CPTU3 | Geoservice - 2011 | xx+xxx.xx | 26.233 | 33.93 | - |
| 1RE-CPTU4 | Geoservice - 2011 | xx+xxx.xx | 26.237 | 30.35 | - |
| 1RE-CPTU5 | Geoservice - 2011 | xx+xxx.xx | 26.594 | 28.37 | - |

C (...) = cella piezometrica Casagrande (quota cella);
TA (...) = piezometro a tubo aperto (tratto filtrante).

TABELLA 5-2: UNITÀ LITOSTRATIGRAFICHE INDIVIDUATE LUNGO IL TRACCIATO

| Unità | Descrizione |
|-------|---------------------------------------|
| R/V | Terreno di riporto e terreno vegetale |
| 1 | Argilla limosa/Limo argilloso |
| 2 | Sabbia limosa/Limo sabbioso |
| 3 | Sabbia con $D_r < 50\%$ |
| 4 | Sabbia con $50\% < D_r < 70\%$ |
| 5 | Sabbia con $D_r > 70\%$ |
| 6 | Torba/Argilla organica |

TABELLA 5-3: CARATTERIZZAZIONE STRATIGRAFICO – GEOTECNICA

| Profondità (m da p.c.) (Q_{ref} 26.36 m s.l.m.) | Unità | z_w (m) | γ_n (kN/m ³) | φ' (*) (°) | c' (*) (kPa) | c_u (*) (kPa) | E' (MPa) | M (MPa) |
|-------------------------------------------------------|-------|-----------|---------------------------------|--------------------|----------------|-----------------|----------|---------|
| 0.0÷2.0 | 2 | 5.1 | 19.0 | 29-33 | 0 | - | 15 | - |
| 2.0÷14.0 | 1 | 5.1 | 19.2 | - | - | 50-110 | 5.2 | 7 |
| 14.0÷20.0 | 2 | 5.1 | 19.0 | 29-33 | 0 | - | 15 | - |
| 20.0÷22.0 | 3 | 5.1 | 18.5 | 30-33 | 0 | - | 25 | - |
| 22.0÷26.0 | 4 | 5.1 | 19.0 | 31-34 | 0 | - | 40 | - |
| 26.0÷27.0 | 5 | 5.1 | 19.5 | 33 | 0 | - | 60 | - |
| 27.0÷29.0 | 4 | 5.1 | 19.0 | 31-34 | 0 | - | 40 | - |

| Da 29.0 | 5 | 5.1 | 19.5 | 33 | 0 | - | 60 | - |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|-----|------|----|---|---|----|---|
| <p>Q_{ref} = quota assoluta inizio caratterizzazione (m s.l.m.);</p> <p>Z_w = profondità media di falda da p.c. da rilievo piezometrico (m). Il valore di progetto relativo alla profondità di falda è da assumersi pari a ($z_w = 1.0$ m). <u>Tale valore potrà subire variazione a seguito di ulteriori letture del livello piezometrico;</u></p> <p>γ_n = peso di volume naturale (kN/m^3);</p> <p>(*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:</p> <ul style="list-style-type: none"> • valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidità tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti; • valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidità. <p>φ' = valore dell'angolo di resistenza al taglio ($^\circ$);</p> <p>c' = valore della coesione efficace (kPa);</p> <p>C_u = valore della coesione non drenata (kPa);</p> <p>E' = modulo di Young (MPa);</p> <p>M = valore del modulo edometrico.</p> | | | | | | | | |

Per quanto riguarda i livelli di falda, estratti dal Documento “*Livelli di falda da adottare nella progettazione definitiva delle viabilità di adduzione e collegamento*”, si assumono i seguenti valori:

- Verifiche geotecniche: capacità portante di pali/diaframmi
Falda di progetto = 0.0 m da piano campagna.
- Progettazione e verifiche relative a tombini, scatolari stradali, trincee e muri di sostegno, edifici, basamenti, vasche di trattamento acque
Falda di progetto = 0.5 m da piano campagna.
- Opere provvisionali, scarpate provvisionali, problematiche di cantiere
Falda di cantiere = 1.5 m da piano campagna.
- Progettazione rete di smaltimento acque superficiali
Falda idraulica = 1.0 m da piano campagna.

6. DIMENSIONAMENTO DELL'OPERA: IMPALCATO LONGITUDINALE

6.1. MODELLI DI CALCOLO

Il dimensionamento dell'opera è stato ottenuto mediante modellazioni ad elementi finiti modimensionali tipo "frames" tramite il programma di calcolo "SAP2000" v. 14.2.2 della "Computers & Structures Inc.", Berkeley – California (USA). Per quanto riguarda l'analisi globale dell'opera, si sono realizzati tre differenti modelli di calcolo al fine di analizzarne le fasi costruttive e d'esercizio. In particolare:

- Modello di calcolo "Fase 1". Il modello è finalizzato alla determinazione dello stato tensio-deformativo dell'opera in fase di getto della soletta di impalcato e pertanto schematizza come impalcato il solo cassone metallico soggetto al peso proprio ed al carico del peso della soletta fluida;
- Modello di calcolo "SLU". Il modello è finalizzato alla determinazione dello stato tensio-deformativo dell'opera in fase finale e pertanto schematizza come impalcato il cassone metallico con soletta in c.a. collaborante soggetto ai carichi permanenti portati, al ritiro, alle variazioni termiche, ai possibili cedimenti vincolari di pile o spalle, ai carichi mobili ed al vento. Il modulo elastico E del conglomerato cementizio è stato assegnato pari al 50% del modulo istantaneo. Tale modello prevede la situazione di massimo scalzamento prevedibile per le pile (massima erosione derivante dagli studi idraulici);

Per i modelli valgono i seguenti dettagli:

- L'impalcato è schematizzato con una serie di elementi "frames" che ne rappresentano la sezione e la suddivisione in conci;
- Per i conci in pila e i due conci adiacenti ad essi, nei modelli "SLU" si è ridotto il momento d'inerzia rispetto all'asse d'inerzia orizzontale per trascurare il contributo della soletta in c.a. ipotizzata fessurata in tali zone e si è invece inserita l'armatura metallica di soletta;
- Le spalle non sono schematizzate in quanto analizzate con una modellazione dedicata (punto 8); in questo modello sono schematizzate come appoggi scorrevoli.
- Le pile non sono schematizzate in quanto analizzate con una modellazione dedicata (punto 9); In questo modello sono schematizzate come appoggi scorrevoli per l'impalcato.

Per quanto attiene alle sezioni trasversali dell'impalcato implementate, valgono le proprietà geometrico-inerziali riportate nelle Figure seguenti.

| CONCIO NUM. | L [m] | L PROGRESSIVA [m] | TIPOLOGIA SEZIONI |
|-------------|-------|-------------------|-------------------|
|-------------|-------|-------------------|-------------------|

| | | | |
|----|----|-----|-------------|
| 1 | 9 | 9 | CAMPATA |
| 2 | 9 | 18 | CAMPATA |
| 3 | 9 | 27 | TRANSIZIONE |
| 4 | 12 | 39 | PILA |
| 5 | 11 | 50 | TRANSIZIONE |
| 6 | 11 | 61 | CAMPATA |
| 7 | 11 | 72 | CAMPATA |
| 8 | 11 | 83 | CAMPATA |
| 9 | 11 | 94 | TRANSIZIONE |
| 10 | 12 | 106 | PILA |
| 11 | 9 | 115 | TRANSIZIONE |
| 12 | 9 | 124 | CAMPATA |
| 13 | 9 | 133 | CAMPATA |

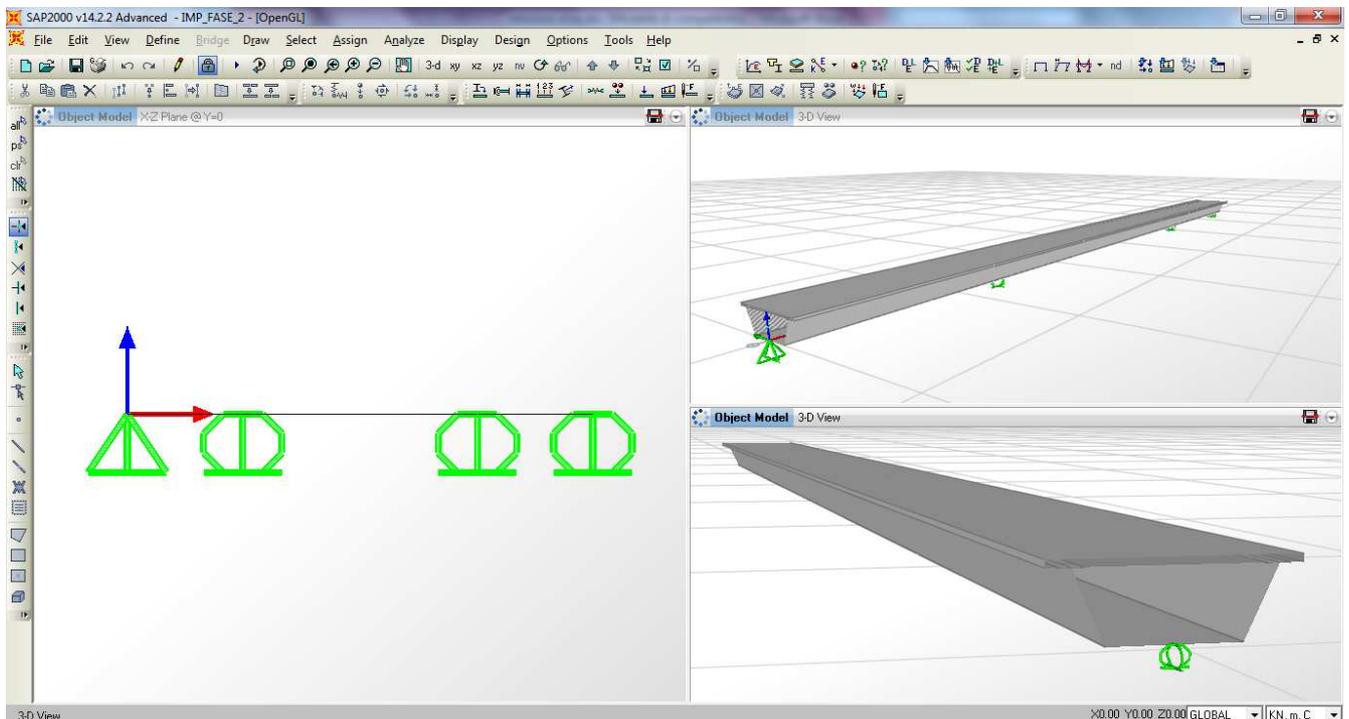


FIGURA 6-1: IMMAGINE DEL MODELLO DI CALCOLO

ALTEZZA CASSONE = **2.900** m

SEZIONI TIPO DI CAMPATA

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA SEZIONE

| ELEMENTI | spessore [m] | larghezza\altezza [m] | inclinazione [°] | inclinazione [rad] |
|----------------------------|--------------|-----------------------|------------------|--------------------|
| piattabanda superiore = | 0.030 | 0.900 | 0.0 | 0.000 |
| piattabanda inferiore = | 0.020 | 5.295 | 0.0 | 0.000 |
| anima = | 0.016 | 3.145 | 65.0 | 1.134 |
| soletta collaborante = | 0.300 | 9.900 | 0.0 | 0.000 |
| armatura lenta inferiore = | - | - | - | - |
| armatura lenta superiore = | - | - | - | - |

| ELEMENTI | dx_G da intradosso sezione [m] | dy_G da asse sezione [m] | A [m ²] | J_{11} [m ⁴] |
|----------------------------|----------------------------------|----------------------------|---------------------|----------------------------|
| piattabanda superiore = | 2.885 | 3.976 | 0.0270 | 0.000002025 |
| piattabanda inferiore = | 0.010 | 0.000 | 0.1059 | 0.00000353 |
| anima = | 1.445 | 3.312 | 0.0503 | 0.041461612 |
| soletta collaborante = | 3.050 | 0.000 | 2.97 | 0.022275 |
| armatura lenta inferiore = | 2.950 | 0.000 | 0.012 | - |
| armatura lenta superiore = | 3.150 | 0.000 | 0.012 | - |

CARATTERISTICHE INERZIALI DELLA SEZIONE

| | sezione in acciaio | soletta in compressione n= | soletta in trazione (fessurata) n= |
|------------------------------------|--------------------|----------------------------|------------------------------------|
| | | 12.00 | 10000000.00 |
| A_{tot} [m ²] = | 0.2605281 | 0.5320342 | 0.2844426 |
| y [m] = | 1.1601689 | 2.1245820 | 1.3190566 |
| J_{xx} [m ⁴] = | 0.3770306 | 0.8539594 | 0.4554987 |
| $W_{a,ii}$ [m ³] = | 0.3249791 | 0.4019423 | 0.3453216 |
| $W_{a,i}$ [m ³] = | 0.3306796 | 0.4057620 | 0.3453216 |
| $W_{a,s}$ [m ³] = | -0.2205075 | -1.1456115 | -0.2936914 |
| $W_{a,ss}$ [m ³] = | -0.2167053 | -1.1012891 | -0.2881183 |
| $W_{c,i}$ [m ³] = | - | -1.1012891 | -0.2881183 |
| $W_{\phi,i}$ [m ³] = | - | -1.0345781 | -0.2792854 |
| $W_{\phi,s}$ [m ³] = | - | -0.8327915 | -0.2487782 |
| $W_{c,s}$ [m ³] = | - | -0.7940721 | -0.2421650 |
| $S_{a,i}$ [m ³] = | 0.1218029 | 0.2239342 | 0.1386291 |
| $S_{a,s}$ [m ³] = | 0.0931409 | 0.2701886 | 0.0845615 |
| S_{cls} [m ³] = | - | 0.2291260 | 0.0000005 |
| A_{taglio} [m ²] = | 0.1006281 | 0.1006281 | 0.1006281 |
| $A_{torsione}$ [m ²] = | - | 20.3362361 | 20.3362361 |
| ALTEZZA CASSONE = | 2.900 | m | SEZIONI TIPO INTERMEDIA |

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA SEZIONE

| ELEMENTI | spessore [m] | larghezza\altezza [m] | inclinazione [°] | inclinazione [rad] |
|----------------------------|--------------|-----------------------|------------------|--------------------|
| piattabanda superiore = | 0.070 | 1.200 | 0.0 | 0.000 |
| piattabanda inferiore = | 0.025 | 5.295 | 0.0 | 0.000 |
| anima = | 0.018 | 3.095 | 65.0 | 1.134 |
| soletta collaborante = | 0.300 | 9.900 | 0.0 | 0.000 |
| armatura lenta inferiore = | - | - | - | - |
| armatura lenta superiore = | - | - | - | - |

| ELEMENTI | dx_G da intradosso sezione [m] | dy_G da asse sezione [m] | A [m ²] | J_{11} [m ⁴] |
|----------------------------|----------------------------------|----------------------------|---------------------|----------------------------|
| piattabanda superiore = | 2.865 | 3.955 | 0.0840 | 0.0000343 |
| piattabanda inferiore = | 0.013 | 0.000 | 0.1324 | 6.89453E-06 |
| anima = | 1.428 | 3.301 | 0.0557 | 0.044469549 |
| soletta collaborante = | 3.050 | 0.000 | 2.97 | 0.022275 |
| armatura lenta inferiore = | 2.950 | 0.000 | 0.012 | - |
| armatura lenta superiore = | 3.150 | 0.000 | 0.012 | - |

CARATTERISTICHE INERZIALI DELLA SEZIONE

| | sezione in acciaio | soletta in compressione n= | soletta in trazione (fessurata) n= |
|------------------------------------|--------------------|----------------------------|------------------------------------|
| | | 12.00 | 10000000.00 |
| A_{tot} [m ²] = | 0.4117941 | 0.6833003 | 0.4357086 |
| y [m] = | 1.5590934 | 2.1514982 | 1.6409241 |
| J_{xx} [m ⁴] = | 0.6781999 | 1.0440008 | 0.7286787 |
| $W_{a,ii}$ [m ³] = | 0.4349963 | 0.4852437 | 0.4440661 |
| $W_{a,i}$ [m ³] = | 0.4420851 | 0.4909484 | 0.4440661 |
| $W_{a,s}$ [m ³] = | -0.5336347 | -1.5386853 | -0.6128109 |
| $W_{a,ss}$ [m ³] = | -0.5057771 | -1.3947872 | -0.5787409 |
| $W_{c,i}$ [m ³] = | - | -1.3947872 | -0.5787409 |
| $W_{\phi,i}$ [m ³] = | - | -1.3074495 | -0.5566359 |
| $W_{\phi,s}$ [m ³] = | - | -1.0455673 | -0.4828642 |
| $W_{c,s}$ [m ³] = | - | -0.9957072 | -0.4673786 |
| $S_{a,i}$ [m ³] = | 0.2047303 | 0.2831499 | 0.2155626 |
| $S_{a,s}$ [m ³] = | 0.2193923 | 0.3423301 | 0.2056452 |
| $S_{c,ls}$ [m ³] = | - | 0.2224618 | 0.0000004 |
| A_{taglio} [m ²] = | 0.1114191 | 0.1114191 | 0.1114191 |
| $A_{torsione}$ [m ²] = | - | 20.2527901 | 20.2527901 |
| ALTEZZA CASSONE = | 2.900 | m | SEZIONI TIPO DI PILA |

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA SEZIONE

| ELEMENTI | spessore [m] | larghezza\altezza [m] | inclinazione [°] | inclinazione [rad] |
|----------------------------|--------------|-----------------------|------------------|--------------------|
| piattabanda superiore = | 0.070 | 1.600 | 0.0 | 0.000 |
| piattabanda inferiore = | 0.035 | 5.295 | 0.0 | 0.000 |
| anima = | 0.024 | 3.084 | 65.0 | 1.134 |
| soletta collaborante = | 0.300 | 9.900 | 0.0 | 0.000 |
| armatura lenta inferiore = | - | - | - | - |
| armatura lenta superiore = | - | - | - | - |

| ELEMENTI | dx_G da intradosso sezione [m] | dy_G da asse sezione [m] | A [m ²] | J_{11} [m ⁴] |
|----------------------------|----------------------------------|----------------------------|---------------------|----------------------------|
| piattabanda superiore = | 2.865 | 3.951 | 0.1120 | 4.57333E-05 |
| piattabanda inferiore = | 0.018 | 0.000 | 0.1853 | 1.89186E-05 |
| anima = | 1.433 | 3.299 | 0.0740 | 0.058660843 |
| soletta collaborante = | 3.050 | 0.000 | 2.97 | 0.022275 |
| armatura lenta inferiore = | 2.950 | 0.000 | 0.012 | - |
| armatura lenta superiore = | 3.150 | 0.000 | 0.012 | - |

CARATTERISTICHE INERZIALI DELLA SEZIONE

| | sezione in acciaio | soletta in compressione n= | soletta in trazione (fessurata) n= |
|-------------------------------------|--------------------|-------------------------------|---------------------------------------|
| | | 12.00 | 10000000.00 |
| A_{tot} [m ²] = | 0.5573542 | 0.8288604 | 0.5812687 |
| y [m] = | 1.5377206 | 2.0330913 | 1.5999387 |
| J _{xx} [m ⁴] = | 0.9210312 | 1.3406631 | 0.9737125 |
| $W_{a,ii}$ [m ³] = | 0.5989588 | 0.6594210 | 0.6085936 |
| $W_{a,i}$ [m ³] = | 0.6129092 | 0.6709719 | 0.6085936 |
| $W_{a,s}$ [m ³] = | -0.7127183 | -1.6823297 | -0.7915968 |
| $W_{a,ss}$ [m ³] = | -0.6760957 | -1.5464871 | -0.7489743 |
| $W_{c,i}$ [m ³] = | - | -1.5464871 | -0.7489743 |
| $W_{\phi,i}$ [m ³] = | - | -1.4621556 | -0.7212358 |
| $W_{\phi,s}$ [m ³] = | - | -1.2003337 | -0.6281768 |
| $W_{c,s}$ [m ³] = | - | -1.1489015 | -0.6085470 |
| $S_{a,i}$ [m ³] = | 0.2817349 | 0.3735395 | 0.2932655 |
| $S_{a,s}$ [m ³] = | 0.2973106 | 0.4381259 | 0.2833742 |
| S_{cls} [m ³] = | - | 0.2517784 | 0.0000004 |
| A_{taglio} [m ²] = | 0.1480292 | 0.1480292 | 0.1480292 |
| $A_{torsione}$ [m ²] = | - | 20.2049349 | 20.2049349 |

6.2. ANALISI DEI CARICHI

Il dimensionamento della struttura è stato svolto in relazione ai carichi sotto riportati.

6.2.1. Peso proprio degli elementi strutturali (PP)

Il peso proprio delle strutture viene assegnato in maniera automatica dal programma di calcolo (in funzione della geometria degli elementi che le schematizzano) come carico uniformemente distribuito.

6.2.2. Carichi permanenti portati (SP, SL, CR)

I carichi permanenti portati sono stati assegnati come carico lineare sugli elementi finiti “frames” che schematizzano l'impalcato.

Nel modello “Fase 1” è stato assegnato il peso della soletta gettata in opera pari a 90 KN/m ed il peso di irrigidimenti, crociere, controventamenti e piolature per un totale di 10 KN/m.

Nel modello “SLU” è stato assegnato il peso proprio della pavimentazione stradale, dei cordoli di impalcato, dei guard-rail, della veletta laterale, delle strutture leggere reggi-impianti, per un totale pari a 45 KN/m.

6.2.3. Distorsioni - ritiro (RT)

Il ritiro della soletta d'impalcato è stato considerato partendo dalle indicazioni riportate al punto 11.2.10.6 delle NTC08. In particolare si è assunto quanto segue:

- Umidità relativa aria = 60%;
- $f_{ck} = 32$ MPa
- $\varepsilon_{c0} = -0.000422$
- $h_0 = 2 \cdot (11.9 \cdot 0.30) / (11.9 + 2 \cdot 0.3) = 571.2$ mm;
- $k_h = 0.7$;
- $\varepsilon_{cd,\infty} = -0.000291$
- $\varepsilon_{ca,\infty} = -0.000055$
- $\varepsilon_{cs,\infty} = -0.000346$

Ipotizzando che il getto della soletta avvenga per fasi, in modo da realizzare porzioni di dimensioni sufficientemente ridotte di volume di getto, è ragionevole adottare un valore di progetto non superiore al 50% di quello sopra calcolato. Pertanto:

$$\varepsilon_{csd,\infty} = -0.000173$$

Tale deformazione indotta dal ritiro va considerata agente nel lungo termine e pertanto associata ad un modulo elastico E del conglomerato cementizio che in prima analisi è possibile assumere pari ad 1/3 del modulo elastico istantaneo. Dal momento che nel modello "SLU" il modulo elastico E assegnato al conglomerato cementizio è pari ad 1/2 del modulo elastico E istantaneo, va da sé che il valore di deformazione dovuta al ritiro da assegnare nel modello di calcolo è pari a:

$$\varepsilon_{cs,c,\infty} = -0.000173/3*2 = -0.000115.$$

Ai fini del calcolo, quindi, si è assunta una variazione termica equivalente pari a:

$$\Delta T_R = -12 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Tale variazione termica equivalente è stata assegnata agli elementi "frames" schematizzanti l'impalcato come somma di una variazione termica negativa uniforme pari a -6 °C ed una variazione termica "a farfalla" pari a +/- 6 °C (con intradosso positivo ed estradosso negativo).

6.2.4. Distorsioni - variazioni termiche (TMP, TMN)

Le variazioni termiche sono state considerate partendo dalle indicazioni riportate al Capitolo 6 della normativa EN 1991-1-5:2003 "Eurocodice 1: azioni sulle strutture. Parte 1-5: azioni generali – azioni termiche". In particolare si è assunto quanto segue:

- $T_{MAX} = 45 \text{ }^\circ\text{C}$;
- $T_{MIN} = -15 \text{ }^\circ\text{C}$;
- $T_0 = 15 \text{ }^\circ\text{C}$;
- Tipologia strutturale: 2.

Assumendo tali valori si ottengono le seguenti temperature

- $T_{e,max} = 49 \text{ }^\circ\text{C}$;
- $T_{e,min} = -11 \text{ }^\circ\text{C}$.

Da questi valori si ottengono le seguenti variazioni termiche uniformi applicate ai modelli di calcolo ai fini del dimensionamento degli isolatori e dei giunti

- $\Delta T_{N,con} = 15 - (-11) + 10 = 36 \text{ }^\circ\text{C}$;

- $\Delta T_{N,exp} = 49 - 15 + 10 = 44 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Per quanto riguarda le variazioni termiche applicate al modello ai fini del dimensionamento degli elementi strutturali, si è fatto riferimento all'approccio 2 per la determinazione della variazione della temperatura lungo l'impalcato:

- $\Delta T_{heating} = 10 \text{ } ^\circ\text{C}$;
- $\Delta T_{cooling} = -10 \text{ } ^\circ\text{C}$.

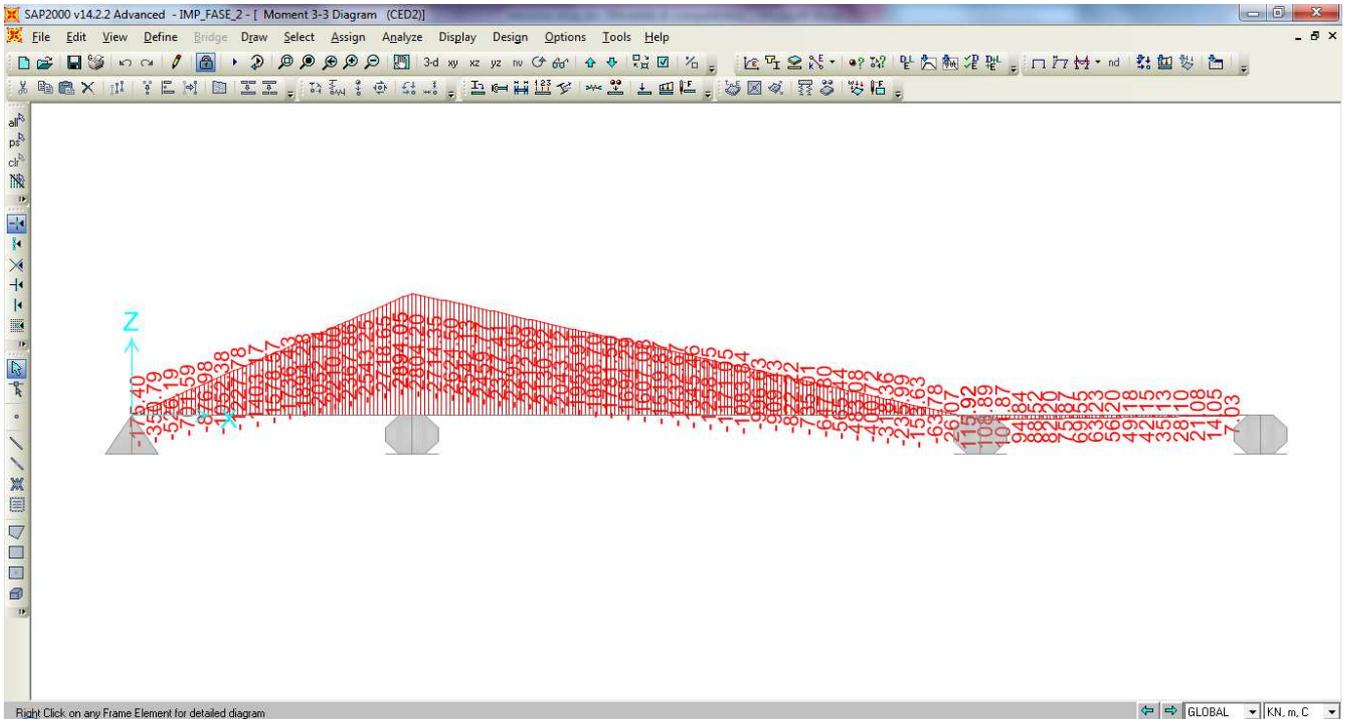
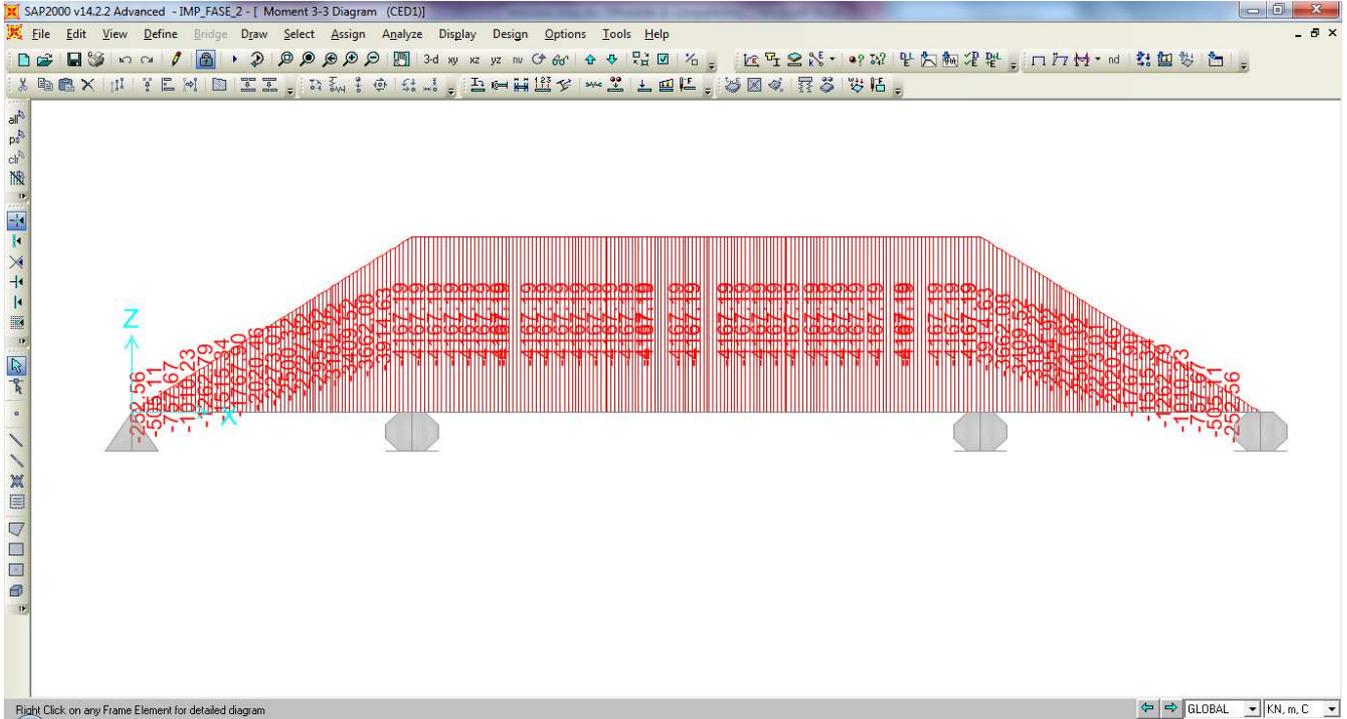
Queste variazioni termiche applicate in soletta vanno combinate secondo quanto previsto al punto 6.1.4.4 della medesima normativa tecnica, ottenendo 4 differenti condizioni di carico termico applicate al modello di calcolo "SLU" e qui riassunte:

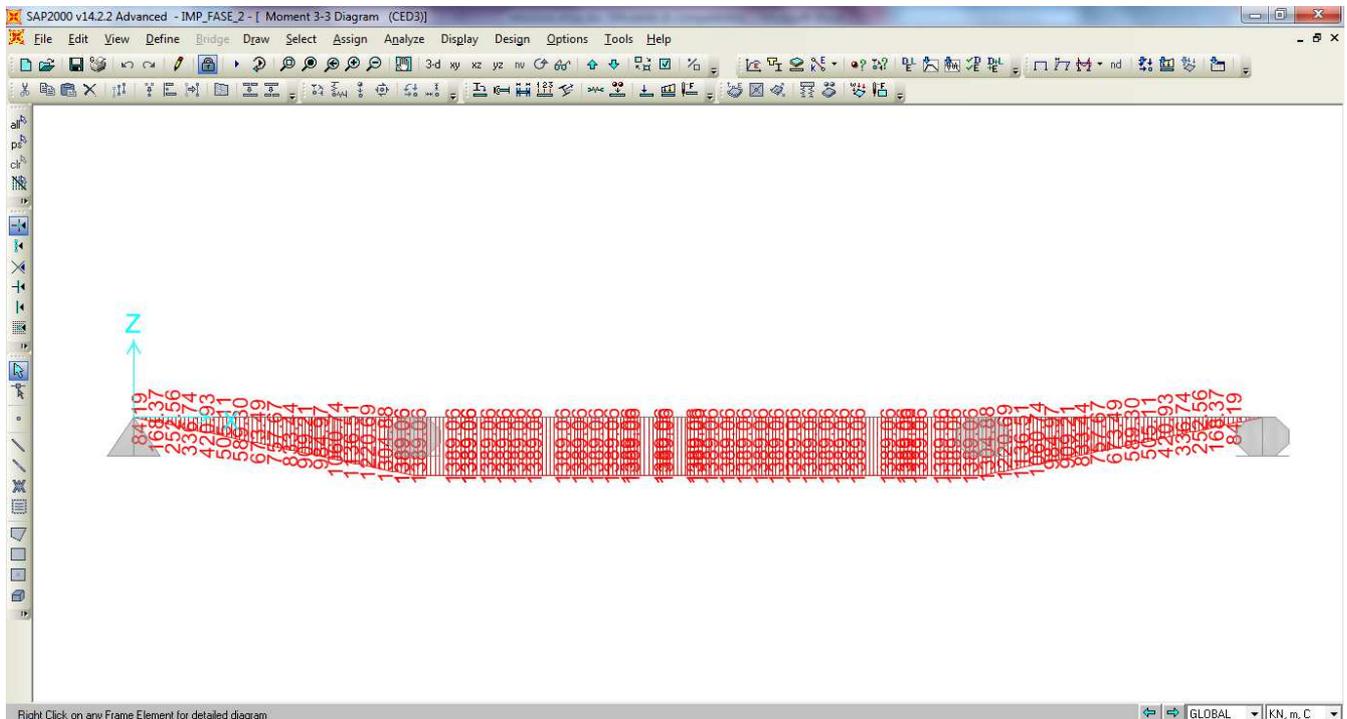
- $\Delta T = +21.9 \text{ } ^\circ\text{C}$ soletta
 $\Delta T = +11.9 \text{ } ^\circ\text{C}$ struttura metallica
- $\Delta T = -19.1 \text{ } ^\circ\text{C}$ soletta
 $\Delta T = -9.1 \text{ } ^\circ\text{C}$ struttura metallica
- $\Delta T = +41.5 \text{ } ^\circ\text{C}$ soletta
 $\Delta T = +34 \text{ } ^\circ\text{C}$ struttura metallica
- $\Delta T = -33.5 \text{ } ^\circ\text{C}$ soletta
 $\Delta T = -26 \text{ } ^\circ\text{C}$ struttura metallica.

Al fine di gestire in maniera più agevole i vari casi di variazione termica, si è proceduto a creare un unico involucro "TM" da considerare poi nelle varie combinazioni di carico di progetto.

6.2.5. Distorsioni - cedimenti vincolari (CSP, CPI)

Secondo le indicazioni fornite dalle elaborazioni geotecniche, è ragionevole ipotizzare un cedimento verticale pari a 30 mm per quanto attiene alle spalle e pari a 10 mm per quanto attiene alle pile. Le sollecitazioni in termini di momenti flettenti agenti sull'impalcato dovuti a tali cedimenti vincolari sono riportati nelle Figure seguenti.





Poiché la loro incidenza percentuale in riferimento alle massime sollecitazioni agenti in condizione statica (SLU) risulta all'incirca pari all'1% - 2%, i cedimenti in oggetto possono essere trascurati.

6.2.6. Azioni parassite dei vincoli (AP)

Dal momento però che la condizione dimensionante per le sottostrutture è quella sismica (condizione per cui le forze trasmesse alle sottostrutture vengono lette in modo corretto grazie alla modellazione stessa dei dispositivi) in cui viene considerato il ritiro al suo valore caratteristico e le variazioni termiche al 50% del loro valore caratteristico, si considera superflua l'ipotesi di approfondire tale problematica in quanto non vincolante ai fini del dimensionamento delle sottostrutture.

6.2.7. Carichi mobili (ML)

I carichi mobili sono stati considerati in base alle indicazioni previsti per i ponti stradali indicati la punto 5.1.3.3.3 delle NTC08. Data la larghezza della carreggiata si sono assegnate 3 corsie di carico di larghezza pari a 3.0 m secondo lo Schema di Carico 1 e si è aggiunto un carico distribuito pari a 2.50 KPa sulla parte rimanente. I carichi mobili così definiti "Vehicles Class" sono stati assegnati a corsie di carico definite a priori e posizionate secondo la massima eccentricità rispetto all'asse dell'opera (corsie accatastate da un lato dell'impalcato). Si è poi eseguita l'analisi di tipo "Moving Load" in base alla quale il programma di calcolo determina di volta in volta l'effetto più gravoso (sollecitazioni, deformazioni, reazioni vincolari) che le varie

configurazioni di carichi mobili provocano sui vari elementi finiti costituenti il modello di calcolo "SLU" secondo la teoria delle linee di influenza.

General Vehicle Data

Vehicle name: Units:

Floating Axle Loads

| | Value | Width Type | Axle Width |
|---------------------|---------------------------------|----------------------------------------|----------------------|
| For Lane Moments | <input type="text" value="0."/> | <input type="text" value="One Point"/> | <input type="text"/> |
| For Other Responses | <input type="text" value="0."/> | <input type="text" value="One Point"/> | <input type="text"/> |

Double the Lane Moment Load when Calculating Negative Span Moments

Usage

Lane Negative Moments at Supports
 Interior Vertical Support Forces
 All other Responses

Min Dist Allowed From Axle Load

Lane Exterior Edge:
 Lane Interior Edge:

Length Effects

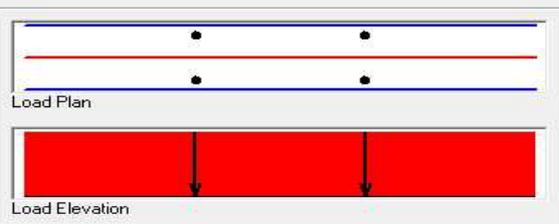
Axle:
 Uniform:

Loads

| Load Length Type | Minimum Distance | Maximum Distance | Uniform Load | Uniform Width Type | Uniform Width | Axle Load | Axle Width Type | Axle Width |
|------------------|------------------|------------------|--------------|--------------------|---------------|-----------|-----------------|------------|
| Leading Load | Infinite | | 27. | Zero Width | | 0. | One Point | |
| Leading Load | Infinite | | 27. | Zero Width | | 0. | One Point | |
| Fixed Length | 1.000E-04 | | 27. | Zero Width | | 300. | Two Points | 2. |
| Fixed Length | 1.2 | | 27. | Zero Width | | 300. | Two Points | 2. |
| Trailing Load | Infinite | | 27. | Zero Width | | | | |

Vehicle Applies To Straddle (Adjacent) Lanes Only **Straddle Reduction Factor**

Vehicle Remains Fully In Lane (In Lane Longitudinal Direction)



General Vehicle Data

Vehicle name: Units:

Floating Axle Loads

| | Value | Width Type | Axle Width |
|---------------------|---------------------------------|----------------------------------------|----------------------|
| For Lane Moments | <input type="text" value="0."/> | <input type="text" value="One Point"/> | <input type="text"/> |
| For Other Responses | <input type="text" value="0."/> | <input type="text" value="One Point"/> | <input type="text"/> |

Double the Lane Moment Load when Calculating Negative Span Moments

Usage

Lane Negative Moments at Supports
 Interior Vertical Support Forces
 All other Responses

Min Dist Allowed From Axle Load

Lane Exterior Edge:
 Lane Interior Edge:

Length Effects

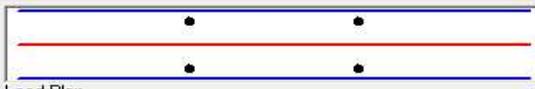
Axle:
 Uniform:

Loads

| Load Length Type | Minimum Distance | Maximum Distance | Uniform Load | Uniform Width Type | Uniform Width | Axle Load | Axle Width Type | Axle Width |
|------------------|------------------|------------------|--------------|--------------------|---------------|-----------|-----------------|------------|
| Leading Load | Infinite | | 7.5 | Zero Width | | 0. | One Point | |
| Leading Load | Infinite | | 7.5 | Zero Width | | 0. | One Point | |
| Fixed Length | 1.000E-04 | | 7.5 | Zero Width | | 200. | Two Points | 2. |
| Fixed Length | 1.2 | | 7.5 | Zero Width | | 200. | Two Points | 2. |
| Trailing Load | Infinite | | 7.5 | Zero Width | | | | |

Vehicle Applies To Straddle (Adjacent) Lanes Only **Straddle Reduction Factor**

Vehicle Remains Fully In Lane (In Lane Longitudinal Direction)




General Vehicle Data

Vehicle name: Units:

Floating Axle Loads

| | Value | Width Type | Axle Width |
|---------------------|---------------------------------|----------------------------------------|----------------------|
| For Lane Moments | <input type="text" value="0."/> | <input type="text" value="One Point"/> | <input type="text"/> |
| For Other Responses | <input type="text" value="0."/> | <input type="text" value="One Point"/> | <input type="text"/> |

Double the Lane Moment Load when Calculating Negative Span Moments

Usage

Lane Negative Moments at Supports
 Interior Vertical Support Forces
 All other Responses

Min Dist Allowed From Axle Load

Lane Exterior Edge:
 Lane Interior Edge:

Length Effects

Axle:
 Uniform:

Loads

| Load Length Type | Minimum Distance | Maximum Distance | Uniform Load | Uniform Width Type | Uniform Width | Axle Load | Axle Width Type | Axle Width |
|------------------|------------------|------------------|--------------|--------------------|---------------|-----------|-----------------|------------|
| Leading Load | Infinite | | 7.5 | Zero Width | | 0. | One Point | |
| Leading Load | Infinite | | 7.5 | Zero Width | | 0. | One Point | |
| Fixed Length | 1.000E-04 | | 7.5 | Zero Width | | 100. | Two Points | 2. |
| Fixed Length | 1.2 | | 7.5 | Zero Width | | 100. | Two Points | 2. |
| Trailing Load | Infinite | | 7.5 | Zero Width | | | | |

Vehicle Applies To Straddle (Adjacent) Lanes Only **Straddle Reduction Factor**

Vehicle Remains Fully In Lane (In Lane Longitudinal Direction)




General Vehicle Data

Vehicle name: Units:

Floating Axle Loads

| | Value | Width Type | Axle Width |
|---------------------|---------------------------------|----------------------------------------|----------------------|
| For Lane Moments | <input type="text" value="0."/> | <input type="text" value="One Point"/> | <input type="text"/> |
| For Other Responses | <input type="text" value="0."/> | <input type="text" value="One Point"/> | <input type="text"/> |

Double the Lane Moment Load when Calculating Negative Span Moments

Usage

Lane Negative Moments at Supports
 Interior Vertical Support Forces
 All other Responses

Min Dist Allowed From Axle Load

Lane Exterior Edge:
 Lane Interior Edge:

Length Effects

Axle:
 Uniform:

Loads

| Load Length Type | Minimum Distance | Maximum Distance | Uniform Load | Uniform Width Type | Uniform Width | Axle Load | Axle Width Type | Axle Width |
|-------------------------------------------|---------------------------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------|----------------------|---------------------------------|----------------------------------------|----------------------|
| <input type="text" value="Leading Load"/> | <input type="text" value="Infinite"/> | <input type="text"/> | <input type="text" value="3.75"/> | <input type="text" value="Zero Width"/> | <input type="text"/> | <input type="text" value="0."/> | <input type="text" value="One Point"/> | <input type="text"/> |
| <input type="text" value="Leading Load"/> | <input type="text" value="Infinite"/> | <input type="text"/> | <input type="text" value="3.75"/> | <input type="text" value="Zero Width"/> | <input type="text"/> | <input type="text" value="0."/> | <input type="text" value="One Point"/> | <input type="text"/> |

Vehicle Applies To Straddle (Adjacent) Lanes Only Straddle Reduction Factor:

Vehicle Remains Fully In Lane (In Lane Longitudinal Direction)

6.2.8. Azione sismica (SLD-X, SLD-Y, SLD -Z, SLV-X, SLV-Y, SLV-Z, SLC-X, SLC-Y, SLC-Z)

L'azione non è dimensionante per il dimensionamento dell'impalcato.

6.3. COMBINAZIONE DEI CARICHI

Le combinazioni di carico da implementare per le verifiche di resistenza allo SLU e le verifiche allo SLE in condizioni statiche sono riportate sotto, mentre i coefficienti parziali di sicurezza sono riportati nelle Tabelle seguenti.

Combinazioni SLU-SLE

- Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.1)$$
- Combinazione caratteristica (rara), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili, da utilizzarsi nelle verifiche alle tensioni ammissibili di cui al § 2.7:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.2)$$
- Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.3)$$
- Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.4)$$

Combinazione SLV

$$G_1 + G_2 + P + E + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj}$$

Carichi gravitazionali per valutazione delle masse in fase sismica

$$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj} .$$

Tabella 5.1.V – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

| | | Coefficiente | EQU ⁽¹⁾ | A1 STR | A2 GEO |
|--------------------------------------------------------------|-------------|-----------------------------------------|---------------------|---------------------|--------|
| Carichi permanenti | favorevoli | γ_{G1} | 0,90 | 1,00 | 1,00 |
| | sfavorevoli | | 1,10 | 1,35 | 1,00 |
| Carichi permanenti non strutturali ⁽²⁾ | favorevoli | γ_{G2} | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | sfavorevoli | | 1,50 | 1,50 | 1,30 |
| Carichi variabili da traffico | favorevoli | γ_Q | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | sfavorevoli | | 1,35 | 1,35 | 1,15 |
| Carichi variabili | favorevoli | γ_{Qi} | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | sfavorevoli | | 1,50 | 1,50 | 1,30 |
| Distorsioni e presollecitazioni di progetto | favorevoli | γ_{e1} | 0,90 | 1,00 | 1,00 |
| | sfavorevoli | | 1,00 ⁽³⁾ | 1,00 ⁽⁴⁾ | 1,00 |
| Ritiro e viscosità, Variazioni termiche, Cedimenti vincolari | favorevoli | $\gamma_{e2}, \gamma_{e3}, \gamma_{e4}$ | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | sfavorevoli | | 1,20 | 1,20 | 1,00 |

⁽¹⁾ Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.
⁽²⁾ Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.
⁽³⁾ 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna
⁽⁴⁾ 1,20 per effetti locali

Tabella 5.1.VI - Coefficienti ψ per le azioni variabili per ponti stradali e pedonali

| Azioni | Gruppo di azioni (Tabella 5.1.IV) | Coefficiente ψ_0 di combinazione | Coefficiente ψ_1 (valori frequenti) | Coefficiente ψ_2 (valori quasi permanenti) |
|-------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Azioni da traffico (Tabella 5.1.IV) | Schema 1 (Carichi tandem) | 0,75 | 0,75 | 0,0 |
| | Schemi 1, 5 e 6 (Carichi distribuiti) | 0,40 | 0,40 | 0,0 |
| | Schemi 3 e 4 (carichi concentrati) | 0,40 | 0,40 | 0,0 |
| | Schema 2 | 0,0 | 0,75 | 0,0 |
| | 2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | 3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Vento q_5 | 4 (folla) | ---- | 0,75 | 0,0 |
| | 5 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | Vento a ponte scarico SLU e SLE | 0,6 | 0,2 | 0,0 |
| Esecuzione | | 0,8 | ---- | 0,0 |
| | Vento a ponte carico | 0,6 | | |
| Neve q_5 | SLU e SLE | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | esecuzione | 0,8 | 0,6 | 0,5 |
| Temperatura | T_k | 0,6 | 0,6 | 0,5 |

| SLU-FASE 1 | 1 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| PP | 1.35 | 1.00 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SL | 1.35 | 1.00 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CR | 1.35 | 1.00 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SLU-FASE 2 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| SP | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.00 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.00 |
| RT | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.20 | 1.20 | 1.20 | 1.20 | 1.20 |
| TMP | 0.00 | 0.72 | 0.00 | 0.72 | 1.20 | 1.20 | 1.20 | 1.20 | 0.00 | 0.00 | 0.72 | 0.72 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| TMN | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| ML | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 0.00 | 1.01 | 0.00 | 1.01 | 0.00 | 1.01 | 0.00 | 1.01 | 0.00 | 1.35 | 1.35 | 0.00 | 1.01 | 0.00 |
| VN | 0.00 | 0.00 | 0.90 | 0.90 | 0.00 | 0.00 | 0.90 | 0.90 | 1.50 | 1.50 | 1.50 | 1.50 | 1.50 | 0.00 | 0.90 | 1.50 | 1.50 | 1.50 |

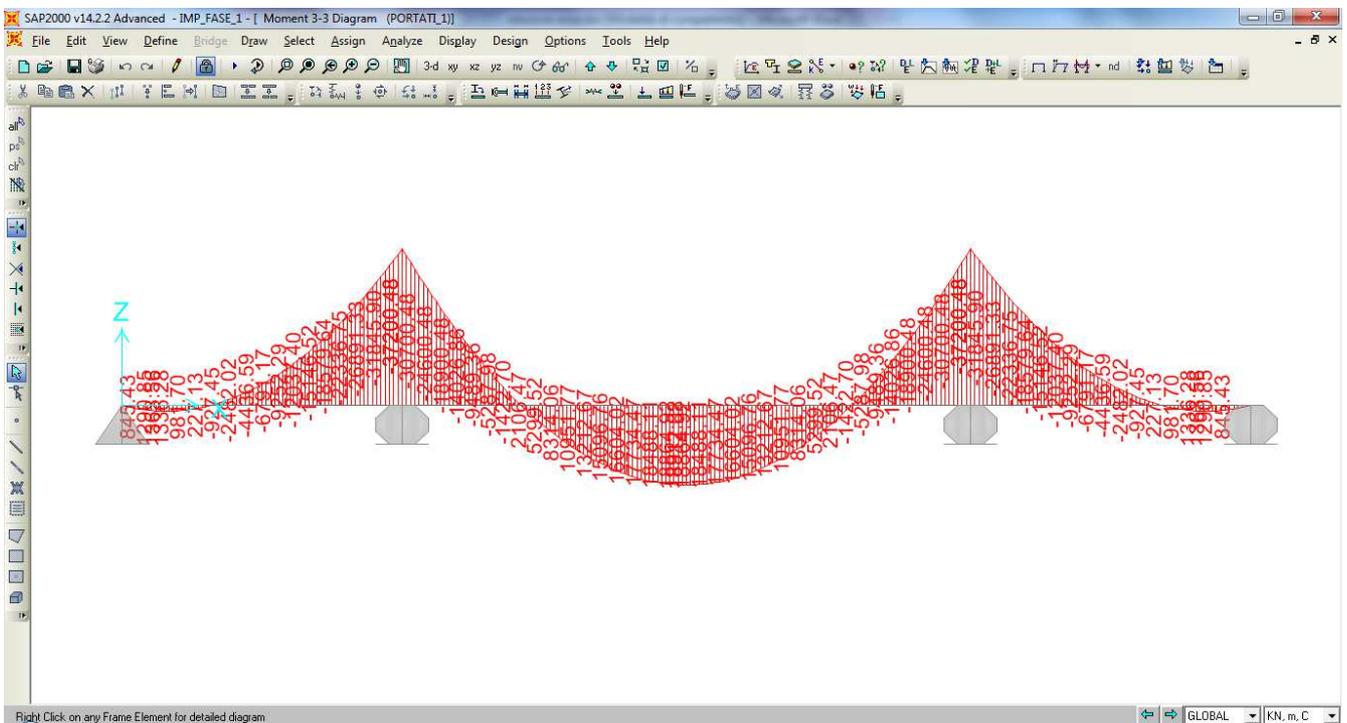
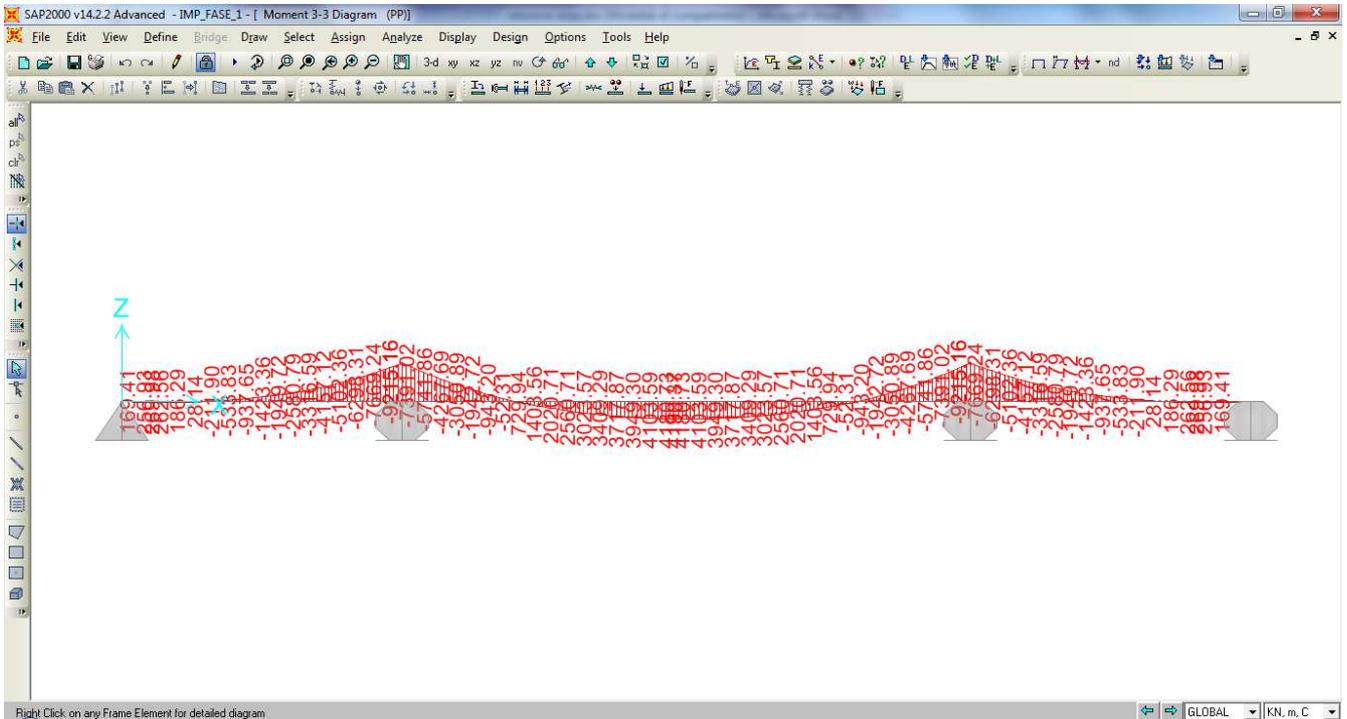
| SLE-FASE 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|------|------|------|------|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| PP | 1.00 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SL | 1.00 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CR | 1.00 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SLE FASE 2-FR | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | | | | | | | | | | | | |
| SP | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | | | | | | | | | | | | | |
| RT | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | | | | | | | | | | | | | |
| TMP | 0.00 | 0.50 | 0.60 | 0.00 | 0.50 | | | | | | | | | | | | | |
| TMN | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | | | | | | | | | | | | |
| ML | 0.75 | 0.75 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | | | | | | | | | | | | |
| VN | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.20 | 0.20 | | | | | | | | | | | | | |

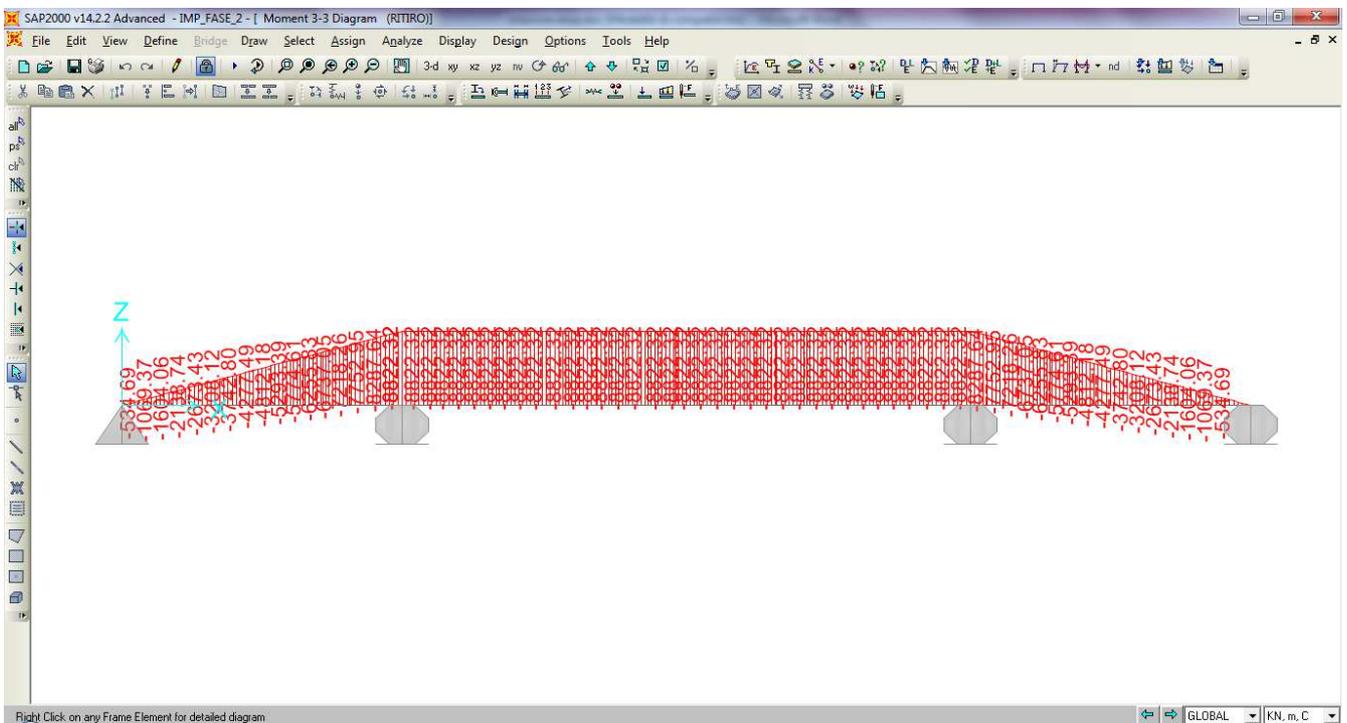
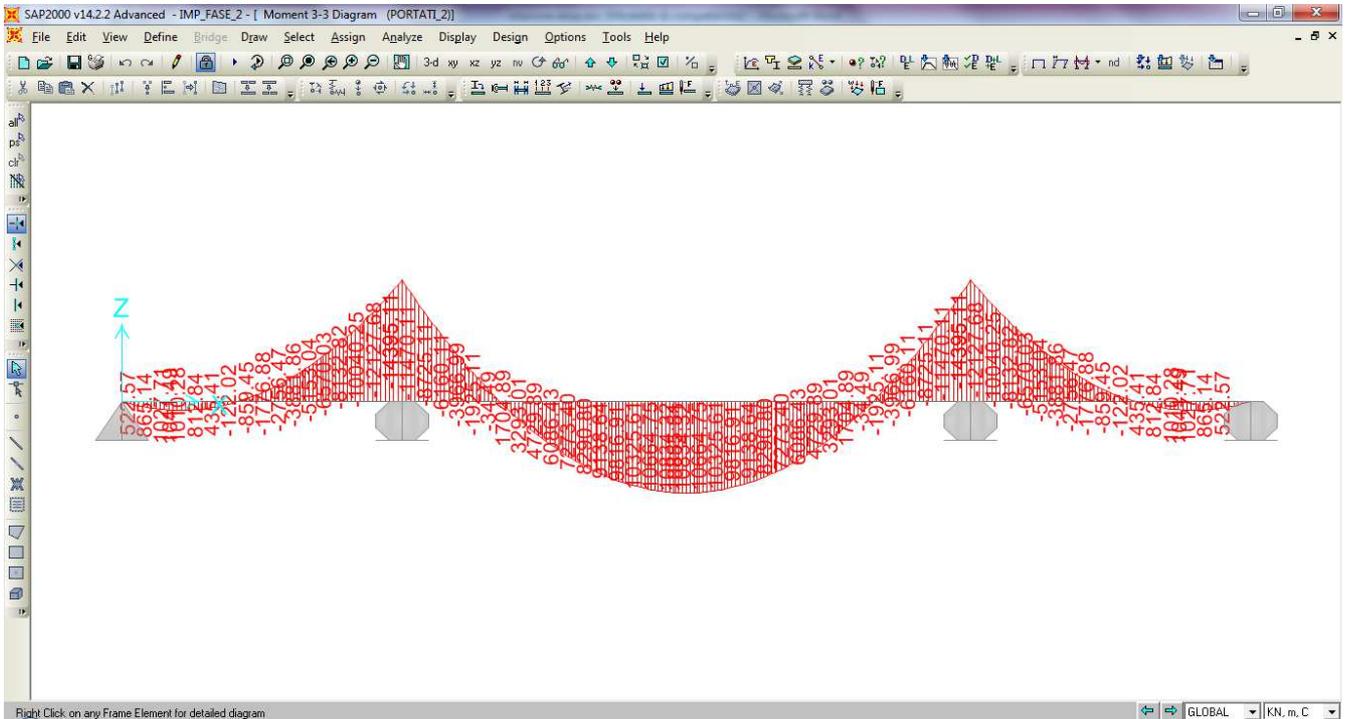
6.4. ANALISI DELLE SOLLECITAZIONI

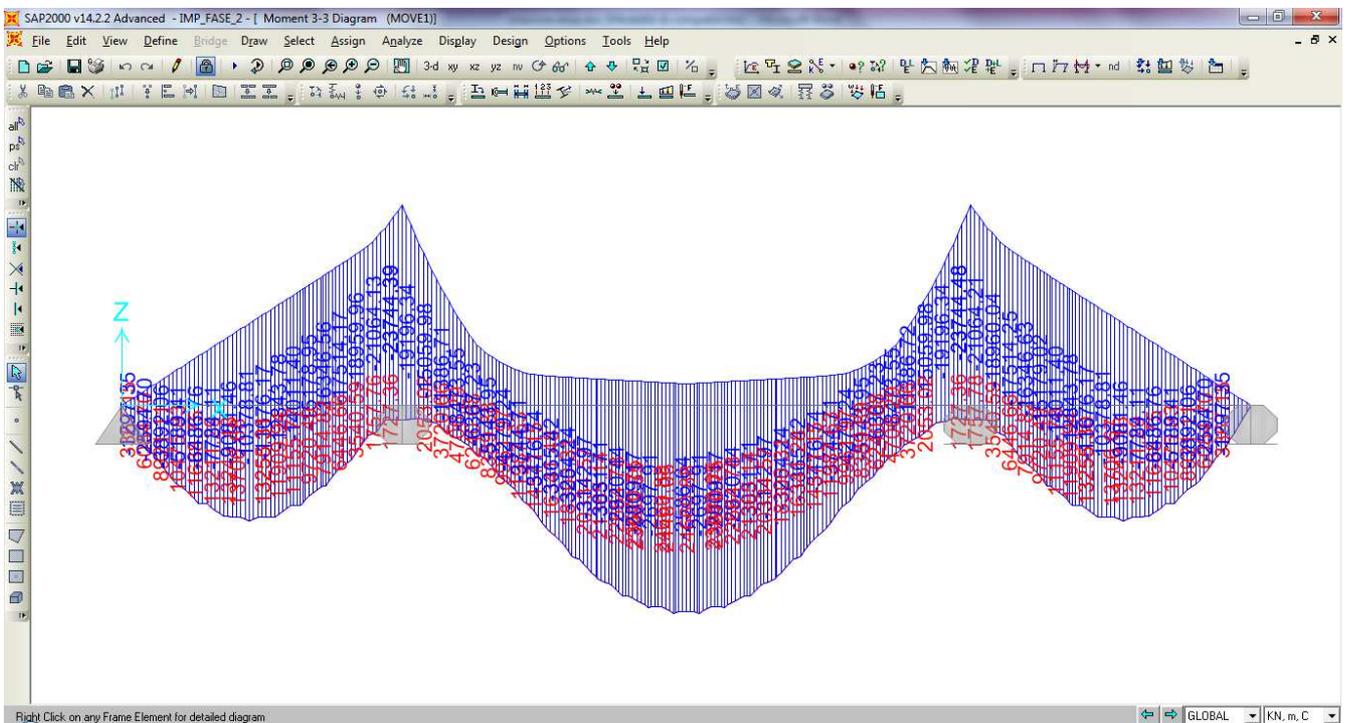
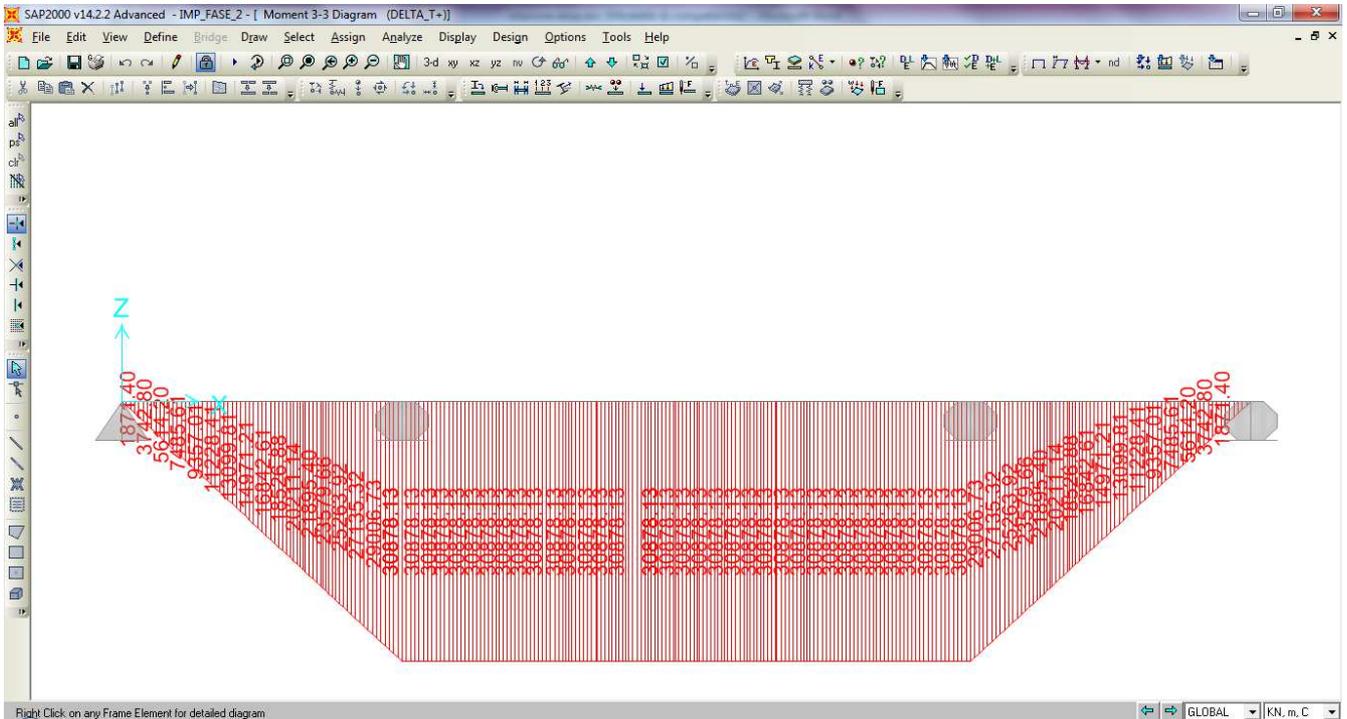
Tutte le analisi svolte sono di tipo STATICO LINEARE.

6.4.1. Diagrammi delle sollecitazioni

In quanto segue si riportano le Figure estratte dal programma di calcolo SAP2000 che mostrano l'andamento delle sollecitazioni flessionali dell'impalcato in riferimento ai vari casi di analisi indagate.







6.5. CRITERIO DI DIMENSIONAMENTO DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI

Le verifiche di resistenza e di stabilità (ove vincolanti) degli elementi strutturali sono state condotte operando con il metodo semiprobabilistico agli stati limite in conformità a quanto previsto dalle NTC08.

Le verifiche a fessurazione (SLE) negli elementi in c.a. sono state condotte con il metodo indiretto tabellare di cui alla C.M. n.617 del 020/2/2009 ed in base alle classi di esposizione dei vari elementi definite nel capitolo sui materiali. Si trascura la verifica a fessurazione della soletta in direzione longitudinale in quanto non dimensionante ai fini di una progettazione definitiva.

Le verifiche a fatica e le verifiche alle tensioni in esercizio degli elementi metallici e in c.a. sono state trascurate in quanto non dimensionanti ai fini di una progettazione definitiva (per gli elementi metallici sono generalmente vincolanti le verifiche di resistenza/instabilità/deformabilità e per quelli in c.a. la verifica a fessurazione).

6.5.1. Dimensionamento cassone metallico

6.5.1.1 Verifiche di Resistenza – SLU/SLV

La sezione del cassone metallico costituente l'impalcato è stata dimensionata secondo il criterio elastico indicato al punto 4.3.4.2.1.1 delle NTC08 e cioè limitando le deformazioni al limite elastico della resistenza dei materiali (f_{cd} e f_{yd}). Come già indicato, il contributo della soletta in c.a. è stato trascurato (anche ai fini delle verifiche sezionali) per i conci in asse pila e i conci "intermedi"; in tali conci si è considerata agente l'armatura in soletta.

L'azione tagliante verticale si è considerata uniformemente distribuita sulle anime del cassone metallico, mentre per la determinazione delle tensioni tangenziali dovute alla torsione si è fatto riferimento alla formulazione di "Bredt" per sezioni sottili chiuse.

Per quanto riguarda la combinazione delle tensioni normali e tangenziali si è utilizzato il metodo elastico di "Von Mises" riportato nell'espressione 4.2.5 delle NTC08.

Il calcolo è stato svolto differenziando le sollecitazioni allo SLU dovute al modello di calcolo "fase 1" da quelle dovute al modello di calcolo "SLU" e, operando in campo elastico e lineare, si è eseguita a valle la somma delle tensioni (le condizioni sismiche non sono dimensionanti per l'impalcato).

In seguito si riportano le Tabelle inerenti i calcoli svolti per la sezioni in asse pila, per la sezione di passaggio dal concio in asse pila al concio "intermedio" e per la sezione in campata maggiormente sollecitata. Valgono le seguenti indicazioni:

- P, V2, T e M3 indicano rispettivamente l'azione assiale (positiva se di trazione), il taglio verticale, il momento torcente e il momento flettente agente attorno all'asse d'inerzia orizzontale;
- Si riportano le sollecitazioni per l'unica combinazione di carico "ENV-SLU" definita come l'involuppo tra tutte le combinazioni di carico allo SLU;
- w1, w2, w3, w4, w5, A_{inf}, A_{sup} indicano rispettivamente l'intradosso del cassone metallico, l'estradosso della piattabanda inferiore, l'intradosso delle piattabande superiori, l'estradosso delle piattabande superiori, l'estradosso della soletta in c.a., l'armatura inferiore in soletta e l'armatura superiore in soletta;
- τ , τ_v indicano la tensione tangenziale dovuta al taglio e τ_T la tensione tangenziale dovuta alla torsione calcolata unicamente per l'anima (è solo in anima che si combinano le tensioni normali a quelle tangenziali dovute al taglio, per cui la tensione tangenziale dovuta alla torsione è trascurabile negli elementi rimanenti);
- La tensione ideale è calcolata solo alla fibra 2 e alla fibra 3 secondo le ipotesi già dette sulla distribuzione dell'azione di taglio;
- Con "Fase 2" si intendono le sollecitazioni (e tensioni) determinante con il modello "SLU" e si fissano a 1.0 eventuali coefficienti moltiplicativi del momento flettente M3 (la riduzione del momento flettente in pila è automaticamente considerata in fase di analisi dal modello di calcolo in quanto si è opportunamente trascurata la soletta in termini di rigidità flessionale);
- Le tensioni sono indicate in MPa.

SEZIONE TIPO IN CAMPATA

SOLLECITAZIONI FASE 1

| | | | | | | |
|-----|------|----------|------|------|------|----------|
| MAX | 0.00 | 2683.53 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 31188.24 |
| MIN | 0.00 | -2683.53 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 9049.16 |

| TABLE: Element Forces - Frames | | | | | | | | | |
|--------------------------------|---------|------------|-------------|-----------|-----------|----|------|------|------------|
| Frame | Station | OutputCase | CaseType | P | V2 | V3 | T | M2 | M3 |
| Text | m | Text | Text | KN | KN | KN | KN-m | KN-m | KN-m |
| 6 | 0.00 | SLU | Combination | 3.07E-10 | -2683.525 | 0 | 0 | 0 | 9049.1574 |
| 6 | 0.49 | SLU | Combination | 3.07E-10 | -2604.598 | 0 | 0 | 0 | 10332.3049 |
| 6 | 0.97 | SLU | Combination | 3.07E-10 | -2525.671 | 0 | 0 | 0 | 11577.1494 |
| 6 | 1.46 | SLU | Combination | 3.07E-10 | -2446.743 | 0 | 0 | 0 | 12783.691 |
| 6 | 1.94 | SLU | Combination | 3.07E-10 | -2367.816 | 0 | 0 | 0 | 13951.9297 |
| 6 | 2.43 | SLU | Combination | 4.199E-10 | -2288.889 | 0 | 0 | 0 | 15081.8655 |



| | | | | | | | | | |
|---|-------|-----|-------------|-----------|------------|---|---|---|------------|
| 6 | 2.91 | SLU | Combination | 4.199E-10 | -2209.962 | 0 | 0 | 0 | 16173.4984 |
| 6 | 3.40 | SLU | Combination | 4.199E-10 | -2131.035 | 0 | 0 | 0 | 17226.8284 |
| 6 | 3.88 | SLU | Combination | 3.855E-10 | -2052.107 | 0 | 0 | 0 | 18241.8555 |
| 6 | 4.37 | SLU | Combination | 3.855E-10 | -1973.18 | 0 | 0 | 0 | 19218.5797 |
| 6 | 4.85 | SLU | Combination | 3.855E-10 | -1894.253 | 0 | 0 | 0 | 20157.0009 |
| 6 | 5.34 | SLU | Combination | 3.855E-10 | -1815.326 | 0 | 0 | 0 | 21057.1193 |
| 6 | 5.82 | SLU | Combination | 3.438E-10 | -1736.399 | 0 | 0 | 0 | 21918.9347 |
| 6 | 6.31 | SLU | Combination | 3.438E-10 | -1657.471 | 0 | 0 | 0 | 22742.4472 |
| 6 | 6.79 | SLU | Combination | 3.438E-10 | -1578.544 | 0 | 0 | 0 | 23527.6569 |
| 6 | 7.28 | SLU | Combination | 3.438E-10 | -1499.617 | 0 | 0 | 0 | 24274.5636 |
| 6 | 7.76 | SLU | Combination | 3.954E-10 | -1420.69 | 0 | 0 | 0 | 24983.1674 |
| 6 | 8.25 | SLU | Combination | 3.954E-10 | -1341.762 | 0 | 0 | 0 | 25653.4683 |
| 6 | 8.74 | SLU | Combination | 3.954E-10 | -1262.835 | 0 | 0 | 0 | 26285.4663 |
| 6 | 9.22 | SLU | Combination | 3.954E-10 | -1183.908 | 0 | 0 | 0 | 26879.1614 |
| 6 | 9.71 | SLU | Combination | 3.88E-10 | -1104.981 | 0 | 0 | 0 | 27434.5535 |
| 6 | 10.19 | SLU | Combination | 3.88E-10 | -1026.054 | 0 | 0 | 0 | 27951.6428 |
| 6 | 10.68 | SLU | Combination | 3.88E-10 | -947.126 | 0 | 0 | 0 | 28430.4291 |
| 6 | 11.16 | SLU | Combination | 3.88E-10 | -868.199 | 0 | 0 | 0 | 28870.9126 |
| 6 | 11.65 | SLU | Combination | 4.396E-10 | -789.272 | 0 | 0 | 0 | 29273.0931 |
| 6 | 12.13 | SLU | Combination | 4.396E-10 | -710.345 | 0 | 0 | 0 | 29636.9708 |
| 6 | 12.62 | SLU | Combination | 4.396E-10 | -631.418 | 0 | 0 | 0 | 29962.5455 |
| 6 | 13.10 | SLU | Combination | 4.396E-10 | -552.49 | 0 | 0 | 0 | 30249.8173 |
| 6 | 13.59 | SLU | Combination | 4.273E-10 | -473.563 | 0 | 0 | 0 | 30498.7862 |
| 6 | 14.07 | SLU | Combination | 4.273E-10 | -394.636 | 0 | 0 | 0 | 30709.4522 |
| 6 | 14.56 | SLU | Combination | 4.273E-10 | -315.709 | 0 | 0 | 0 | 30881.8153 |
| 6 | 15.04 | SLU | Combination | 4.273E-10 | -236.782 | 0 | 0 | 0 | 31015.8755 |
| 6 | 15.53 | SLU | Combination | 4.15E-10 | -157.854 | 0 | 0 | 0 | 31111.6327 |
| 6 | 16.01 | SLU | Combination | 4.15E-10 | -78.927 | 0 | 0 | 0 | 31169.0871 |
| 6 | 16.50 | SLU | Combination | 4.15E-10 | -1.817E-10 | 0 | 0 | 0 | 31188.2386 |
| 6 | 16.99 | SLU | Combination | 4.15E-10 | 78.927 | 0 | 0 | 0 | 31169.0871 |
| 6 | 17.47 | SLU | Combination | 4.248E-10 | 157.854 | 0 | 0 | 0 | 31111.6327 |
| 6 | 17.96 | SLU | Combination | 4.248E-10 | 236.782 | 0 | 0 | 0 | 31015.8755 |
| 6 | 18.44 | SLU | Combination | 4.248E-10 | 315.709 | 0 | 0 | 0 | 30881.8153 |
| 6 | 18.93 | SLU | Combination | 4.248E-10 | 394.636 | 0 | 0 | 0 | 30709.4522 |
| 6 | 19.41 | SLU | Combination | 4.297E-10 | 473.563 | 0 | 0 | 0 | 30498.7862 |
| 6 | 19.90 | SLU | Combination | 4.297E-10 | 552.49 | 0 | 0 | 0 | 30249.8173 |
| 6 | 20.38 | SLU | Combination | 4.297E-10 | 631.418 | 0 | 0 | 0 | 29962.5455 |
| 6 | 20.87 | SLU | Combination | 4.297E-10 | 710.345 | 0 | 0 | 0 | 29636.9708 |
| 6 | 21.35 | SLU | Combination | 3.782E-10 | 789.272 | 0 | 0 | 0 | 29273.0931 |
| 6 | 21.84 | SLU | Combination | 3.782E-10 | 868.199 | 0 | 0 | 0 | 28870.9126 |
| 6 | 22.32 | SLU | Combination | 3.782E-10 | 947.126 | 0 | 0 | 0 | 28430.4291 |
| 6 | 22.81 | SLU | Combination | 3.782E-10 | 1026.054 | 0 | 0 | 0 | 27951.6428 |
| 6 | 23.29 | SLU | Combination | 3.512E-10 | 1104.981 | 0 | 0 | 0 | 27434.5535 |

| | | | | | | | | | |
|---|-------|-----|-------------|-----------|----------|---|---|---|------------|
| 6 | 23.78 | SLU | Combination | 3.512E-10 | 1183.908 | 0 | 0 | 0 | 26879.1614 |
| 6 | 24.26 | SLU | Combination | 3.512E-10 | 1262.835 | 0 | 0 | 0 | 26285.4663 |
| 6 | 24.75 | SLU | Combination | 3.512E-10 | 1341.762 | 0 | 0 | 0 | 25653.4683 |
| 6 | 25.24 | SLU | Combination | 4.003E-10 | 1420.69 | 0 | 0 | 0 | 24983.1674 |
| 6 | 25.72 | SLU | Combination | 4.003E-10 | 1499.617 | 0 | 0 | 0 | 24274.5636 |
| 6 | 26.21 | SLU | Combination | 4.003E-10 | 1578.544 | 0 | 0 | 0 | 23527.6569 |
| 6 | 26.69 | SLU | Combination | 4.003E-10 | 1657.471 | 0 | 0 | 0 | 22742.4472 |
| 6 | 27.18 | SLU | Combination | 3.757E-10 | 1736.399 | 0 | 0 | 0 | 21918.9347 |
| 6 | 27.66 | SLU | Combination | 3.757E-10 | 1815.326 | 0 | 0 | 0 | 21057.1193 |
| 6 | 28.15 | SLU | Combination | 3.757E-10 | 1894.253 | 0 | 0 | 0 | 20157.0009 |
| 6 | 28.63 | SLU | Combination | 3.757E-10 | 1973.18 | 0 | 0 | 0 | 19218.5797 |
| 6 | 29.12 | SLU | Combination | 3.659E-10 | 2052.107 | 0 | 0 | 0 | 18241.8555 |
| 6 | 29.60 | SLU | Combination | 3.659E-10 | 2131.035 | 0 | 0 | 0 | 17226.8284 |
| 6 | 30.09 | SLU | Combination | 3.659E-10 | 2209.962 | 0 | 0 | 0 | 16173.4984 |
| 6 | 30.57 | SLU | Combination | 3.659E-10 | 2288.889 | 0 | 0 | 0 | 15081.8655 |
| 6 | 31.06 | SLU | Combination | 3.733E-10 | 2367.816 | 0 | 0 | 0 | 13951.9297 |
| 6 | 31.54 | SLU | Combination | 3.733E-10 | 2446.743 | 0 | 0 | 0 | 12783.691 |
| 6 | 32.03 | SLU | Combination | 3.733E-10 | 2525.671 | 0 | 0 | 0 | 11577.1494 |
| 6 | 32.51 | SLU | Combination | 3.733E-10 | 2604.598 | 0 | 0 | 0 | 10332.3049 |
| 6 | 33.00 | SLU | Combination | 3.733E-10 | 2683.525 | 0 | 0 | 0 | 9049.1574 |

SOLLECITAZIONI FASE 2

| | | | | | | |
|-----|------|----------|-----------|-----------|------------|----------|
| MAX | 0.00 | 3450.77 | 8423.27 | 36817.44 | 167046.17 | 67725.52 |
| MIN | 0.00 | -3450.77 | -12311.55 | -25465.46 | -114580.50 | -8895.04 |

| TABLE: Element Forces - Frames | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|---------|------------|-------------|----------|------------|----------|----------|-----------|------------|------------|
| Frame | Station | OutputCase | CaseType | StepType | P | V2 | V3 | T | M2 | M3 |
| Text | m | Text | Text | Text | KN | KN | KN | KN-m | KN-m | KN-m |
| 6 | 0.00 | ENV_SLU | Combination | Max | -8.926E-11 | -526.723 | 6935.249 | 7332.1214 | 46350.819 | 49333.6355 |
| 6 | 0.49 | ENV_SLU | Combination | Max | -8.926E-11 | -496.141 | 6935.249 | 7367.994 | 44852.1435 | 50260.2454 |
| 6 | 0.97 | ENV_SLU | Combination | Max | -8.926E-11 | -465.631 | 6935.249 | 7403.8358 | 43354.3937 | 51172.1386 |
| 6 | 1.46 | ENV_SLU | Combination | Max | -8.926E-11 | -435.121 | 6935.249 | 7439.6776 | 41856.6438 | 52069.7245 |
| 6 | 1.94 | ENV_SLU | Combination | Max | -1.122E-11 | -404.611 | 7296.134 | 6218.1566 | 40569.7845 | 52953.0032 |
| 6 | 2.29 | ENV_SLU | Combination | Max | -1.122E-11 | -343.881 | 7296.134 | 6297.6084 | 39367.1836 | 53781.4196 |
| 6 | 2.65 | ENV_SLU | Combination | Max | -1.122E-11 | -283.151 | 7296.134 | 6377.0601 | 38164.5826 | 54602.2568 |
| 6 | 3.44 | ENV_SLU | Combination | Max | -1.122E-11 | -192.47 | 7296.134 | 6486.7579 | 35673.6436 | 55980.5761 |
| 6 | 3.88 | ENV_SLU | Combination | Max | -1.122E-11 | -162.518 | 7296.134 | 6517.0039 | 34385.3057 | 56533.8352 |
| 6 | 4.37 | ENV_SLU | Combination | Max | -3.591E-11 | -133.037 | 8423.27 | 7991.6843 | 34647.0949 | 57412.32 |
| 6 | 4.85 | ENV_SLU | Combination | Max | -3.591E-11 | -103.555 | 8423.27 | 7991.6843 | 35076.9019 | 58276.4976 |

| | | | | | | | | | | |
|---|-------|---------|-------------|-----|------------|----------|----------|------------|------------|------------|
| 6 | 5.34 | ENV_SLU | Combination | Max | -3.591E-11 | -74.073 | 8423.27 | 7991.6843 | 35506.7089 | 59126.368 |
| 6 | 5.82 | ENV_SLU | Combination | Max | -1.272E-11 | -44.592 | 7303.421 | 7859.9572 | 35719.8291 | 59961.9311 |
| 6 | 6.44 | ENV_SLU | Combination | Max | -1.272E-11 | 124.356 | 7303.421 | 7909.0223 | 37961.6364 | 60794.9571 |
| 6 | 6.88 | ENV_SLU | Combination | Max | -1.272E-11 | 153.453 | 7303.421 | 7897.6575 | 39645.0196 | 61257.5833 |
| 6 | 7.32 | ENV_SLU | Combination | Max | -1.272E-11 | 182.55 | 7303.421 | 7886.2927 | 41328.4027 | 61708.3937 |
| 6 | 7.76 | ENV_SLU | Combination | Max | -1.272E-11 | 211.647 | 7303.421 | 7874.9279 | 43011.7858 | 62147.3885 |
| 6 | 8.18 | ENV_SLU | Combination | Max | -2.145E-11 | 283.082 | 7590.507 | 7284.5507 | 45271.2325 | 62782.1286 |
| 6 | 8.59 | ENV_SLU | Combination | Max | -2.145E-11 | 354.517 | 7590.507 | 7327.2081 | 47404.2384 | 63406.561 |
| 6 | 9.35 | ENV_SLU | Combination | Max | -2.145E-11 | 453.758 | 7590.507 | 7392.3999 | 52496.6158 | 64201.9651 |
| 6 | 9.71 | ENV_SLU | Combination | Max | -2.145E-11 | 481.565 | 7590.507 | 7414.9342 | 55455.9873 | 64375.6869 |
| 6 | 10.19 | ENV_SLU | Combination | Max | -4.011E-11 | 511.046 | 7350.159 | 7949.4786 | 59817.3386 | 64822.8432 |
| 6 | 10.68 | ENV_SLU | Combination | Max | -4.011E-11 | 540.528 | 7350.159 | 7949.4786 | 64468.9086 | 65255.6923 |
| 6 | 11.16 | ENV_SLU | Combination | Max | -4.011E-11 | 570.009 | 7350.159 | 7949.4786 | 69120.4787 | 65674.2341 |
| 6 | 11.65 | ENV_SLU | Combination | Max | -4.011E-11 | 599.491 | 7350.159 | 7949.4786 | 73772.0488 | 66078.4687 |
| 6 | 12.00 | ENV_SLU | Combination | Max | -5.433E-11 | 769.086 | 7518.778 | 10470.0419 | 82558.1502 | 66493.824 |
| 6 | 12.79 | ENV_SLU | Combination | Max | -5.433E-11 | 825.807 | 7518.778 | 10384.8857 | 89738.7498 | 66637.88 |
| 6 | 13.19 | ENV_SLU | Combination | Max | -5.433E-11 | 854.168 | 7518.778 | 10342.3076 | 93329.0497 | 66695.5465 |
| 6 | 13.59 | ENV_SLU | Combination | Max | -4.485E-11 | 882.528 | 4778.937 | 13315.9067 | 95554.1967 | 66743.6388 |
| 6 | 14.06 | ENV_SLU | Combination | Max | -4.485E-11 | 963.016 | 4778.937 | 13243.7705 | 99162.4065 | 67084.3873 |
| 6 | 14.53 | ENV_SLU | Combination | Max | -4.485E-11 | 1043.504 | 4778.937 | 13171.6342 | 102770.616 | 67411.6808 |
| 6 | 15.00 | ENV_SLU | Combination | Max | -4.485E-11 | 1123.992 | 4778.937 | 13099.498 | 106378.826 | 67725.5193 |
| 6 | 15.53 | ENV_SLU | Combination | Max | -5.692E-11 | 1178.005 | 5486.785 | 16756.4816 | 107759.514 | 67583.6118 |
| 6 | 16.01 | ENV_SLU | Combination | Max | -5.692E-11 | 1207.487 | 5486.785 | 16756.4816 | 111453.595 | 67605.0727 |
| 6 | 16.50 | ENV_SLU | Combination | Max | -5.692E-11 | 1236.969 | 5486.785 | 16756.4816 | 115147.676 | 67612.2264 |
| 6 | 16.99 | ENV_SLU | Combination | Max | -5.692E-11 | 1266.45 | 5486.785 | 16756.4816 | 118841.757 | 67605.0727 |
| 6 | 17.47 | ENV_SLU | Combination | Max | -7.363E-11 | 1295.932 | 5485.298 | 36817.4376 | 129106.765 | 67583.6118 |
| 6 | 17.74 | ENV_SLU | Combination | Max | -7.363E-11 | 1392.917 | 5485.298 | 36709.2332 | 130779.653 | 67656.6932 |
| 6 | 18.47 | ENV_SLU | Combination | Max | -7.363E-11 | 1527.616 | 5485.298 | 36528.8925 | 135491.501 | 67411.6808 |
| 6 | 18.94 | ENV_SLU | Combination | Max | -7.363E-11 | 1565.33 | 5485.298 | 36456.7563 | 138530.462 | 67084.3873 |
| 6 | 19.41 | ENV_SLU | Combination | Max | -8.851E-11 | 1603.043 | 2498.659 | 25932.6642 | 140785.125 | 66743.6387 |
| 6 | 19.81 | ENV_SLU | Combination | Max | -8.851E-11 | 1668.77 | 2498.659 | 25878.562 | 142398.426 | 66695.5465 |
| 6 | 20.21 | ENV_SLU | Combination | Max | -8.851E-11 | 1734.496 | 2498.659 | 25824.4598 | 144011.727 | 66637.88 |
| 6 | 20.60 | ENV_SLU | Combination | Max | -8.851E-11 | 1800.223 | 2498.659 | 25770.3576 | 145625.028 | 66570.6391 |
| 6 | 21.35 | ENV_SLU | Combination | Max | -8.851E-11 | 1920.858 | 2498.659 | 25499.8467 | 148691.744 | 66078.4686 |
| 6 | 21.84 | ENV_SLU | Combination | Max | -4.28E-11 | 1950.34 | 1500.759 | 10501.8801 | 147920.407 | 65674.2341 |
| 6 | 22.32 | ENV_SLU | Combination | Max | -4.28E-11 | 1979.822 | 1500.759 | 10501.8801 | 148119.093 | 65255.6923 |
| 6 | 22.81 | ENV_SLU | Combination | Max | -4.28E-11 | 2009.303 | 1500.759 | 10501.8801 | 148317.779 | 64822.8432 |
| 6 | 23.29 | ENV_SLU | Combination | Max | -8.376E-11 | 2038.785 | 2062.7 | 18837.8596 | 150475.728 | 64375.6869 |
| 6 | 23.65 | ENV_SLU | Combination | Max | -8.376E-11 | 2144.975 | 2062.7 | 18729.6552 | 151352.656 | 64201.9651 |
| 6 | 24.41 | ENV_SLU | Combination | Max | -8.376E-11 | 2289.526 | 2062.7 | 18549.3146 | 153257.643 | 63406.5609 |
| 6 | 24.82 | ENV_SLU | Combination | Max | -8.376E-11 | 2327.888 | 2062.7 | 18477.1783 | 154285.704 | 62782.1286 |
| 6 | 25.24 | ENV_SLU | Combination | Max | -8.376E-11 | 2366.249 | 2062.7 | 18405.0421 | 155313.764 | 62147.3885 |
| 6 | 25.68 | ENV_SLU | Combination | Max | -4.161E-11 | 2435.808 | 1994.11 | 18955.8156 | 155516.938 | 61708.3937 |

| | | | | | | | | | | |
|---|-------|---------|-------------|-----|------------|-----------|------------|------------|------------|------------|
| 6 | 26.12 | ENV_SLU | Combination | Max | -4.161E-11 | 2505.366 | 1994.11 | 18901.7134 | 156633.957 | 61257.5832 |
| 6 | 26.56 | ENV_SLU | Combination | Max | -4.161E-11 | 2574.924 | 1994.11 | 18847.6112 | 157750.976 | 60794.9571 |
| 6 | 27.18 | ENV_SLU | Combination | Max | -9.25E-11 | 2702.185 | 2457.222 | 17290.1114 | 163343.102 | 59961.9311 |
| 6 | 27.66 | ENV_SLU | Combination | Max | -9.25E-11 | 2731.667 | 2457.222 | 17290.1114 | 163901.398 | 59126.368 |
| 6 | 28.15 | ENV_SLU | Combination | Max | -9.25E-11 | 2761.149 | 2457.222 | 17290.1114 | 164459.694 | 58276.4976 |
| 6 | 28.63 | ENV_SLU | Combination | Max | -9.25E-11 | 2790.63 | 2457.222 | 17290.1114 | 165017.989 | 57412.32 |
| 6 | 29.12 | ENV_SLU | Combination | Max | -4.28E-11 | 2820.112 | 2524.622 | 7387.3558 | 167046.172 | 56533.8351 |
| 6 | 29.56 | ENV_SLU | Combination | Max | -4.28E-11 | 2932.425 | 2524.622 | 7438.9088 | 166238.364 | 55980.5761 |
| 6 | 30.00 | ENV_SLU | Combination | Max | -4.28E-11 | 3044.739 | 2524.622 | 7490.4618 | 165430.556 | 55415.5148 |
| 6 | 30.71 | ENV_SLU | Combination | Max | -4.28E-11 | 3123.726 | 2524.622 | 7499.5597 | 164165.509 | 53781.2805 |
| 6 | 31.06 | ENV_SLU | Combination | Max | -7.653E-11 | 3163.22 | 5326.416 | 12042.1892 | 161360.094 | 52952.7946 |
| 6 | 31.54 | ENV_SLU | Combination | Max | -7.653E-11 | 3235.119 | 5326.416 | 12079.3205 | 159199.198 | 52069.568 |
| 6 | 32.03 | ENV_SLU | Combination | Max | -7.653E-11 | 3307.018 | 5326.416 | 12116.4518 | 157038.303 | 51172.0342 |
| 6 | 32.51 | ENV_SLU | Combination | Max | -7.653E-11 | 3378.916 | 5326.416 | 12153.5832 | 154877.407 | 50260.193 |
| 6 | 33.00 | ENV_SLU | Combination | Max | -7.653E-11 | 3450.767 | 5326.416 | 12190.7014 | 152716.699 | 49333.6351 |
| 6 | 0.00 | ENV_SLU | Combination | Min | -7.863E-10 | -3450.767 | -10135.129 | -10103.694 | -67895.805 | -8895.0386 |
| 6 | 0.49 | ENV_SLU | Combination | Min | -7.863E-10 | -3378.916 | -10135.129 | -10146.609 | -64848.856 | -8378.1709 |
| 6 | 0.97 | ENV_SLU | Combination | Min | -7.863E-10 | -3307.018 | -10135.129 | -10189.468 | -61802.546 | -7875.6169 |
| 6 | 1.46 | ENV_SLU | Combination | Min | -7.863E-10 | -3235.119 | -10135.129 | -10232.327 | -58756.237 | -7387.3701 |
| 6 | 1.94 | ENV_SLU | Combination | Min | -6.675E-10 | -3163.22 | -10878.763 | -9057.3336 | -57085.361 | -6913.4306 |
| 6 | 2.29 | ENV_SLU | Combination | Min | -6.675E-10 | -3123.726 | -10878.763 | -9289.78 | -54760.069 | -6577.5274 |
| 6 | 2.65 | ENV_SLU | Combination | Min | -6.675E-10 | -3084.232 | -10878.763 | -9522.2264 | -52434.777 | -6249.2035 |
| 6 | 3.44 | ENV_SLU | Combination | Min | -6.675E-10 | -2932.425 | -10878.763 | -9821.3811 | -47459.126 | -5538.7904 |
| 6 | 3.88 | ENV_SLU | Combination | Min | -5.86E-10 | -2820.112 | -12311.551 | -10002.703 | -44593.103 | -5160.9244 |
| 6 | 4.37 | ENV_SLU | Combination | Min | -5.86E-10 | -2790.63 | -12311.551 | -10002.703 | -41717.185 | -4758.5369 |
| 6 | 4.85 | ENV_SLU | Combination | Min | -5.86E-10 | -2761.149 | -12311.551 | -10002.703 | -38841.266 | -4370.4566 |
| 6 | 5.34 | ENV_SLU | Combination | Min | -5.86E-10 | -2731.667 | -12311.551 | -10002.703 | -35965.347 | -3996.6837 |
| 6 | 5.82 | ENV_SLU | Combination | Min | -5.264E-10 | -2702.185 | -11665.773 | -8476.2409 | -32785.911 | -3637.2179 |
| 6 | 6.44 | ENV_SLU | Combination | Min | -5.264E-10 | -2574.924 | -11665.773 | -9358.3949 | -31425.42 | -3200.0798 |
| 6 | 6.88 | ENV_SLU | Combination | Min | -5.264E-10 | -2505.366 | -11665.773 | -9384.0474 | -31120.983 | -2902.3801 |
| 6 | 7.32 | ENV_SLU | Combination | Min | -5.264E-10 | -2435.808 | -11665.773 | -9409.6999 | -30816.546 | -2616.496 |
| 6 | 7.76 | ENV_SLU | Combination | Min | -5.264E-10 | -2366.249 | -11665.773 | -9435.3524 | -30512.109 | -2342.4276 |
| 6 | 8.18 | ENV_SLU | Combination | Min | -4.988E-10 | -2327.888 | -10720.415 | -9432.4494 | -32409.172 | -2097.1158 |
| 6 | 8.59 | ENV_SLU | Combination | Min | -4.988E-10 | -2289.526 | -10720.415 | -9608.1084 | -33349.078 | -1862.1118 |
| 6 | 9.35 | ENV_SLU | Combination | Min | -4.988E-10 | -2144.975 | -10720.415 | -9847.1227 | -35999.161 | -1453.2056 |
| 6 | 9.71 | ENV_SLU | Combination | Min | -4.417E-10 | -2038.785 | -10732.375 | -8772.4922 | -36987.856 | -1276.5533 |
| 6 | 10.19 | ENV_SLU | Combination | Min | -4.417E-10 | -2009.303 | -10732.375 | -8772.4922 | -40184.124 | -1045.8529 |
| 6 | 10.68 | ENV_SLU | Combination | Min | -4.417E-10 | -1979.822 | -10732.375 | -8772.4922 | -43380.392 | -829.4597 |
| 6 | 11.16 | ENV_SLU | Combination | Min | -4.417E-10 | -1950.34 | -10732.375 | -8772.4922 | -46576.66 | -627.3738 |
| 6 | 11.65 | ENV_SLU | Combination | Min | -4.417E-10 | -1920.858 | -10732.375 | -8772.4922 | -49772.928 | -439.5951 |
| 6 | 12.00 | ENV_SLU | Combination | Min | -3.817E-10 | -1865.949 | -9639.225 | -7275.42 | -55475.544 | -311.9196 |
| 6 | 12.79 | ENV_SLU | Combination | Min | -3.817E-10 | -1734.496 | -9639.225 | -7213.4947 | -60806.811 | -52.5877 |
| 6 | 13.19 | ENV_SLU | Combination | Min | -3.817E-10 | -1668.77 | -9639.225 | -7182.5321 | -63472.444 | 62.7168 |



| | | | | | | | | | | |
|---|-------|---------|-------------|-----|------------|-----------|-----------|------------|------------|------------|
| 6 | 13.59 | ENV_SLU | Combination | Min | -4.101E-10 | -1603.043 | -8226.11 | -9453.6892 | -66415.214 | 168.4469 |
| 6 | 14.06 | ENV_SLU | Combination | Min | -4.101E-10 | -1565.33 | -8226.11 | -9401.2955 | -68547.005 | 281.3839 |
| 6 | 14.53 | ENV_SLU | Combination | Min | -4.101E-10 | -1527.616 | -8226.11 | -9348.9018 | -70678.796 | 380.8658 |
| 6 | 15.00 | ENV_SLU | Combination | Min | -4.101E-10 | -1489.903 | -8226.11 | -9296.5081 | -72810.587 | 466.8927 |
| 6 | 15.53 | ENV_SLU | Combination | Min | -4.101E-10 | -1295.932 | -8226.11 | -9139.327 | -75337.351 | 547.5729 |
| 6 | 16.01 | ENV_SLU | Combination | Min | -3.48E-10 | -1266.45 | -8131.447 | -12773.346 | -76028.336 | 569.0338 |
| 6 | 16.50 | ENV_SLU | Combination | Min | -3.48E-10 | -1236.969 | -8131.447 | -12773.346 | -78610.043 | 576.1874 |
| 6 | 16.99 | ENV_SLU | Combination | Min | -3.48E-10 | -1207.487 | -8131.447 | -12773.346 | -81191.75 | 569.0338 |
| 6 | 17.47 | ENV_SLU | Combination | Min | -2.934E-10 | -1178.005 | -7042.375 | -25465.457 | -87475.509 | 547.5729 |
| 6 | 17.74 | ENV_SLU | Combination | Min | -2.934E-10 | -1150.999 | -7042.375 | -25386.866 | -88766.469 | 509.3604 |
| 6 | 18.47 | ENV_SLU | Combination | Min | -2.934E-10 | -1043.504 | -7042.375 | -25255.882 | -92353.011 | 380.8657 |
| 6 | 18.94 | ENV_SLU | Combination | Min | -2.934E-10 | -963.016 | -7042.375 | -25203.488 | -94648.593 | 281.3837 |
| 6 | 19.41 | ENV_SLU | Combination | Min | -3.068E-10 | -882.528 | -4608.9 | -17977.893 | -96982.456 | 168.4468 |
| 6 | 19.81 | ENV_SLU | Combination | Min | -3.068E-10 | -854.168 | -4608.9 | -17938.598 | -97820.491 | 62.7166 |
| 6 | 20.21 | ENV_SLU | Combination | Min | -3.068E-10 | -825.807 | -4608.9 | -17899.302 | -98658.526 | -52.5879 |
| 6 | 20.60 | ENV_SLU | Combination | Min | -3.068E-10 | -797.446 | -4608.9 | -17860.007 | -99496.561 | -177.4667 |
| 6 | 21.35 | ENV_SLU | Combination | Min | -3.068E-10 | -599.491 | -4608.9 | -17663.531 | -101089.23 | -439.5954 |
| 6 | 21.84 | ENV_SLU | Combination | Min | -2.64E-10 | -570.009 | -1528.964 | -7556.6817 | -101513.45 | -627.3741 |
| 6 | 22.32 | ENV_SLU | Combination | Min | -2.64E-10 | -540.528 | -1528.964 | -7556.6817 | -101718.52 | -829.46 |
| 6 | 22.81 | ENV_SLU | Combination | Min | -2.64E-10 | -511.046 | -1528.964 | -7556.6817 | -101923.58 | -1045.8532 |
| 6 | 23.29 | ENV_SLU | Combination | Min | -3.384E-10 | -481.564 | -3245.682 | -13293.832 | -103563.31 | -1276.5537 |
| 6 | 23.65 | ENV_SLU | Combination | Min | -3.384E-10 | -453.758 | -3245.682 | -13215.242 | -103883.66 | -1453.2059 |
| 6 | 24.41 | ENV_SLU | Combination | Min | -3.384E-10 | -354.517 | -3245.682 | -13084.257 | -104767.32 | -1862.1122 |
| 6 | 24.82 | ENV_SLU | Combination | Min | -3.384E-10 | -283.082 | -3245.682 | -13031.864 | -105330.62 | -2097.1162 |
| 6 | 25.24 | ENV_SLU | Combination | Min | -3.384E-10 | -211.647 | -3245.682 | -12979.47 | -105893.93 | -2342.428 |
| 6 | 25.68 | ENV_SLU | Combination | Min | -2.657E-10 | -182.55 | -3119.588 | -12647.082 | -107411.88 | -2616.4965 |
| 6 | 26.12 | ENV_SLU | Combination | Min | -2.657E-10 | -153.453 | -3119.588 | -12607.787 | -108176.22 | -2902.3806 |
| 6 | 26.56 | ENV_SLU | Combination | Min | -2.657E-10 | -124.356 | -3119.588 | -12568.492 | -108940.55 | -3200.0803 |
| 6 | 27.18 | ENV_SLU | Combination | Min | -2.657E-10 | 44.591 | -3119.588 | -12372.015 | -110028.1 | -3637.2185 |
| 6 | 27.66 | ENV_SLU | Combination | Min | -3.457E-10 | 74.073 | -1981.355 | -10513.955 | -112784.92 | -3996.6842 |
| 6 | 28.15 | ENV_SLU | Combination | Min | -3.457E-10 | 103.555 | -1981.355 | -10513.955 | -113643.97 | -4370.4572 |
| 6 | 28.63 | ENV_SLU | Combination | Min | -3.457E-10 | 133.036 | -1981.355 | -10513.955 | -114503.03 | -4758.5375 |
| 6 | 29.12 | ENV_SLU | Combination | Min | -3.338E-10 | 162.518 | -2423.948 | -10471.035 | -114580.5 | -5160.925 |
| 6 | 29.56 | ENV_SLU | Combination | Min | -3.338E-10 | 192.47 | -2423.948 | -10558.782 | -113891.67 | -5538.791 |
| 6 | 30.00 | ENV_SLU | Combination | Min | -3.338E-10 | 222.421 | -2423.948 | -10646.53 | -113202.83 | -5928.4593 |
| 6 | 30.71 | ENV_SLU | Combination | Min | -3.338E-10 | 343.881 | -2423.948 | -10690.434 | -112162.45 | -6577.5282 |
| 6 | 31.06 | ENV_SLU | Combination | Min | -2.948E-10 | 404.611 | -3587.29 | -18369.115 | -110877.46 | -6913.4313 |
| 6 | 31.54 | ENV_SLU | Combination | Min | -2.948E-10 | 435.121 | -3587.29 | -18422.295 | -109371.17 | -7387.3709 |
| 6 | 32.03 | ENV_SLU | Combination | Min | -2.948E-10 | 465.631 | -3587.29 | -18475.476 | -107864.88 | -7875.6177 |
| 6 | 32.51 | ENV_SLU | Combination | Min | -2.948E-10 | 496.141 | -3587.29 | -18528.656 | -106358.59 | -8378.1718 |
| 6 | 33.00 | ENV_SLU | Combination | Min | -2.948E-10 | 526.723 | -3587.29 | -18581.804 | -104852.55 | -8895.0394 |

TENSIONI FASE 1+2

| | | | | | | | | | | | | |
|-----|------|--------|--------|--------|--------|------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| MAX | 0.00 | 194.64 | 192.41 | 1.54 | 1.51 | 8.60 | 10.68 | -0.08 | 36.11 | 56.58 | 232.26 | 162.73 |
| MIN | 0.00 | -14.86 | -14.82 | -87.85 | -91.50 | 0.05 | 0.06 | -85.29 | -36.11 | -39.13 | 40.11 | 35.18 |

| TABLE: Element Tension - Frames | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|---------|--------|--------|--------|-----------------|-----------------|--------|-------|-------|----------|-------|--|
| SIGMA N | SIGMA M | | | | | | | TAU1 | TAU2 | SIGMA ID | | |
| | w1 | w2 | w3 | w4 | Ainf | Asup | w5 | | | w2 | w3 | |
| 0.00 | 130.74 | 129.37 | -53.66 | -55.79 | barre compresse | barre compresse | -62.13 | -7.05 | 11.27 | 130.47 | 55.49 | |
| 0.00 | 134.10 | 132.69 | -55.52 | -57.73 | barre compresse | barre compresse | -63.29 | -6.69 | 11.32 | 133.73 | 57.35 | |
| 0.00 | 137.40 | 135.94 | -57.33 | -59.62 | barre compresse | barre compresse | -64.44 | -6.33 | 11.38 | 136.94 | 59.20 | |
| 0.00 | 140.62 | 139.12 | -59.10 | -61.47 | barre compresse | barre compresse | -65.57 | -5.98 | 11.43 | 140.11 | 61.02 | |
| 0.00 | 143.79 | 142.24 | -60.83 | -63.28 | barre compresse | barre compresse | -66.69 | -5.62 | 9.56 | 142.93 | 62.09 | |
| 0.00 | 146.78 | 145.19 | -62.47 | -65.00 | barre compresse | barre compresse | -67.73 | -4.96 | 9.68 | 145.93 | 63.92 | |
| 0.00 | 149.72 | 148.09 | -64.08 | -66.68 | barre compresse | barre compresse | -68.76 | -4.31 | 9.80 | 148.89 | 65.74 | |
| 0.00 | 154.03 | 152.35 | -66.19 | -68.88 | barre compresse | barre compresse | -70.50 | -3.35 | 9.97 | 153.27 | 68.23 | |
| 0.00 | 156.24 | 154.53 | -67.49 | -70.24 | barre compresse | barre compresse | -71.19 | -3.00 | 10.01 | 155.48 | 69.63 | |
| 0.00 | 159.23 | 157.48 | -69.06 | -71.88 | barre compresse | barre compresse | -72.30 | -2.66 | 12.28 | 158.91 | 72.46 | |
| 0.00 | 162.16 | 160.37 | -70.60 | -73.49 | barre compresse | barre compresse | -73.39 | -2.31 | 12.28 | 161.83 | 74.09 | |
| 0.00 | 165.02 | 163.19 | -72.09 | -75.04 | barre compresse | barre compresse | -74.46 | -1.96 | 12.28 | 164.68 | 75.69 | |
| 0.00 | 167.81 | 165.94 | -73.54 | -76.55 | barre compresse | barre compresse | -75.51 | -1.62 | 12.08 | 167.42 | 77.13 | |
| 0.00 | 170.57 | 168.66 | -74.95 | -78.03 | barre compresse | barre compresse | -76.56 | 0.12 | 12.15 | 170.54 | 79.55 | |
| 0.00 | 172.36 | 170.43 | -75.99 | -79.12 | barre compresse | barre compresse | -77.14 | 0.46 | 12.14 | 172.36 | 80.72 | |
| 0.00 | 174.10 | 172.14 | -76.99 | -80.16 | barre compresse | barre compresse | -77.71 | 0.80 | 12.12 | 174.12 | 81.85 | |
| 0.00 | 175.78 | 173.79 | -77.94 | -81.16 | barre compresse | barre compresse | -78.26 | 1.14 | 12.10 | 175.82 | 82.95 | |
| 0.00 | 177.91 | 175.90 | -79.06 | -82.32 | barre compresse | barre compresse | -79.06 | 1.91 | 11.19 | 177.84 | 83.87 | |

| | | | | | | | | | | | |
|------|--------|--------|--------|--------|-----------------|-----------------|--------|-------|-------|--------|--------|
| 0.00 | 179.99 | 177.95 | -80.13 | -83.44 | barre compresse | barre compresse | -79.85 | 2.67 | 11.26 | 180.08 | 85.41 |
| 0.00 | 182.46 | 180.39 | -81.34 | -84.70 | barre compresse | barre compresse | -80.85 | 3.71 | 11.36 | 182.80 | 87.30 |
| 0.00 | 183.35 | 181.26 | -81.92 | -85.31 | barre compresse | barre compresse | -81.07 | 4.04 | 11.39 | 183.75 | 88.09 |
| 0.00 | 184.89 | 182.78 | -82.74 | -86.17 | barre compresse | barre compresse | -81.63 | 4.39 | 12.22 | 185.59 | 89.69 |
| 0.00 | 186.36 | 184.24 | -83.52 | -86.98 | barre compresse | barre compresse | -82.18 | 4.73 | 12.22 | 187.11 | 90.64 |
| 0.00 | 187.77 | 185.62 | -84.25 | -87.74 | barre compresse | barre compresse | -82.71 | 5.08 | 12.22 | 188.57 | 91.55 |
| 0.00 | 189.10 | 186.95 | -84.94 | -88.46 | barre compresse | barre compresse | -83.21 | 5.42 | 12.22 | 189.96 | 92.42 |
| 0.00 | 190.44 | 188.26 | -85.61 | -89.16 | barre compresse | barre compresse | -83.74 | 7.16 | 16.09 | 193.33 | 97.84 |
| 0.00 | 191.07 | 188.88 | -85.99 | -89.56 | barre compresse | barre compresse | -83.92 | 7.78 | 15.96 | 194.12 | 98.61 |
| 0.00 | 191.44 | 189.25 | -86.27 | -89.85 | barre compresse | barre compresse | -83.99 | 8.12 | 15.89 | 194.57 | 99.08 |
| 0.00 | 191.77 | 189.57 | -86.50 | -90.10 | barre compresse | barre compresse | -84.05 | 8.45 | 20.46 | 197.16 | 104.27 |
| 0.00 | 192.79 | 190.58 | -86.99 | -90.60 | barre compresse | barre compresse | -84.48 | 9.30 | 20.35 | 198.48 | 105.43 |
| 0.00 | 193.75 | 191.53 | -87.43 | -91.06 | barre compresse | barre compresse | -84.89 | 10.16 | 20.24 | 199.75 | 106.56 |
| 0.00 | 194.64 | 192.41 | -87.83 | -91.48 | barre compresse | barre compresse | -85.29 | 11.01 | 20.13 | 200.96 | 107.66 |
| 0.00 | 194.37 | 192.14 | -87.77 | -91.42 | barre compresse | barre compresse | -85.11 | 11.60 | 25.75 | 204.27 | 114.88 |
| 0.00 | 194.47 | 192.24 | -87.83 | -91.48 | barre compresse | barre compresse | -85.14 | 11.95 | 25.75 | 204.55 | 115.30 |
| 0.00 | 194.50 | 192.27 | -87.85 | -91.50 | barre compresse | barre compresse | -85.15 | 12.29 | 25.75 | 204.77 | 115.68 |
| 0.00 | 194.47 | 192.24 | -87.83 | -91.48 | barre compresse | barre compresse | -85.14 | 12.64 | 25.75 | 204.92 | 116.02 |
| 0.00 | 194.37 | 192.14 | -87.77 | -91.42 | barre compresse | barre compresse | -85.11 | 12.99 | 56.58 | 230.89 | 159.99 |
| 0.00 | 194.47 | 192.24 | -87.76 | -91.41 | barre compresse | barre compresse | -85.20 | 14.00 | 56.41 | 231.77 | 161.17 |
| 0.00 | 193.75 | 191.53 | -87.43 | -91.06 | barre compresse | barre compresse | -84.89 | 15.39 | 56.13 | 232.26 | 162.60 |
| 0.00 | 192.79 | 190.58 | -86.99 | -90.60 | barre compresse | barre compresse | -84.48 | 15.82 | 56.02 | 231.75 | 162.73 |
| 0.00 | 191.77 | 189.57 | -86.50 | -90.10 | barre compresse | barre compresse | -84.05 | 16.25 | 39.85 | 215.74 | 138.73 |
| 0.00 | 191.44 | 189.25 | -86.27 | -89.85 | barre compresse | barre compresse | -83.99 | 16.96 | 39.77 | 215.94 | 139.34 |
| 0.00 | 191.07 | 188.88 | -85.99 | -89.56 | barre compresse | barre compresse | -83.92 | 17.66 | 39.68 | 216.10 | 139.93 |

| | | | | | | | | | | | |
|------|--------|--------|--------|--------|-----------------|-----------------|--------|-------|-------|--------|--------|
| 0.00 | 190.63 | 188.45 | -85.68 | -89.24 | barre compresse | barre compresse | -83.83 | 18.37 | 39.60 | 216.21 | 140.48 |
| 0.00 | 189.10 | 186.95 | -84.94 | -88.46 | barre compresse | barre compresse | -83.21 | 19.62 | 39.18 | 215.59 | 141.11 |
| 0.00 | 187.77 | 185.62 | -84.25 | -87.74 | barre compresse | barre compresse | -82.71 | 19.97 | 16.14 | 196.89 | 109.54 |
| 0.00 | 186.36 | 184.24 | -83.52 | -86.98 | barre compresse | barre compresse | -82.18 | 20.31 | 16.14 | 195.76 | 109.29 |
| 0.00 | 184.89 | 182.78 | -82.74 | -86.17 | barre compresse | barre compresse | -81.63 | 20.66 | 16.14 | 194.57 | 109.00 |
| 0.00 | 183.35 | 181.26 | -81.92 | -85.31 | barre compresse | barre compresse | -81.07 | 21.01 | 28.95 | 202.66 | 125.76 |
| 0.00 | 182.46 | 180.39 | -81.34 | -84.70 | barre compresse | barre compresse | -80.85 | 22.12 | 28.78 | 202.57 | 126.51 |
| 0.00 | 179.99 | 177.95 | -80.13 | -83.44 | barre compresse | barre compresse | -79.85 | 23.61 | 28.50 | 201.36 | 127.29 |
| 0.00 | 177.91 | 175.90 | -79.06 | -82.32 | barre compresse | barre compresse | -79.06 | 24.04 | 28.39 | 199.76 | 126.87 |
| 0.00 | 175.78 | 173.79 | -77.94 | -81.16 | barre compresse | barre compresse | -78.26 | 24.47 | 28.28 | 198.10 | 126.43 |
| 0.00 | 174.10 | 172.14 | -76.99 | -80.16 | barre compresse | barre compresse | -77.71 | 25.22 | 29.13 | 197.97 | 127.92 |
| 0.00 | 172.36 | 170.43 | -75.99 | -79.12 | barre compresse | barre compresse | -77.14 | 25.96 | 29.05 | 196.99 | 128.02 |
| 0.00 | 170.57 | 168.66 | -74.95 | -78.03 | barre compresse | barre compresse | -76.56 | 26.71 | 28.96 | 195.96 | 128.11 |
| 0.00 | 167.81 | 165.94 | -73.54 | -76.55 | barre compresse | barre compresse | -75.51 | 28.03 | 26.57 | 192.53 | 125.41 |
| 0.00 | 165.02 | 163.19 | -72.09 | -75.04 | barre compresse | barre compresse | -74.46 | 28.37 | 26.57 | 190.38 | 124.80 |
| 0.00 | 162.16 | 160.37 | -70.60 | -73.49 | barre compresse | barre compresse | -73.39 | 28.72 | 26.57 | 188.18 | 124.15 |
| 0.00 | 159.23 | 157.48 | -69.06 | -71.88 | barre compresse | barre compresse | -72.30 | 29.07 | 26.57 | 185.95 | 123.48 |
| 0.00 | 156.24 | 154.53 | -67.49 | -70.24 | barre compresse | barre compresse | -71.19 | 29.41 | 11.35 | 170.45 | 100.84 |
| 0.00 | 154.03 | 152.35 | -66.19 | -68.88 | barre compresse | barre compresse | -70.50 | 30.58 | 11.43 | 169.37 | 101.42 |
| 0.00 | 151.76 | 150.11 | -64.85 | -67.48 | barre compresse | barre compresse | -69.79 | 31.75 | 11.51 | 168.27 | 101.99 |
| 0.00 | 146.78 | 145.19 | -62.47 | -65.00 | barre compresse | barre compresse | -67.73 | 32.59 | 11.52 | 164.53 | 101.43 |
| 0.00 | 143.79 | 142.24 | -60.82 | -63.28 | barre compresse | barre compresse | -66.69 | 33.03 | 18.50 | 168.54 | 110.99 |
| 0.00 | 140.62 | 139.12 | -59.10 | -61.47 | barre compresse | barre compresse | -65.57 | 33.80 | 18.56 | 166.59 | 110.90 |
| 0.00 | 137.40 | 135.94 | -57.33 | -59.62 | barre compresse | barre compresse | -64.44 | 34.57 | 18.62 | 164.63 | 110.81 |
| 0.00 | 134.10 | 132.69 | -55.52 | -57.73 | barre compresse | barre compresse | -63.29 | 35.34 | 18.68 | 162.67 | 110.72 |

| | | | | | | | | | | | |
|------|--------|--------|--------|--------|-----------------|-----------------|------------|--------|--------|--------|--------|
| 0.00 | 130.74 | 129.37 | -53.66 | -55.79 | barre compresse | barre compresse | -62.13 | 36.11 | 18.73 | 160.70 | 110.64 |
| 0.00 | -14.86 | -14.82 | 1.54 | 1.51 | 8.60 | 10.68 | cls tesoro | -36.11 | -15.53 | 96.92 | 94.27 |
| 0.00 | -12.52 | -12.52 | 0.07 | -0.03 | 8.10 | 10.06 | cls tesoro | -35.34 | -15.59 | 96.43 | 93.97 |
| 0.00 | -10.25 | -10.28 | -1.35 | -1.52 | 7.61 | 9.46 | cls tesoro | -34.57 | -15.66 | 95.96 | 93.67 |
| 0.00 | -8.04 | -8.11 | -2.73 | -2.97 | 7.14 | 8.87 | cls tesoro | -33.80 | -15.72 | 95.49 | 93.36 |
| 0.00 | -5.90 | -6.01 | -4.07 | -4.37 | 6.68 | 8.30 | cls tesoro | -33.03 | -13.92 | 91.85 | 89.81 |
| 0.00 | -4.14 | -4.28 | -5.25 | -5.60 | 6.36 | 7.90 | cls tesoro | -32.59 | -14.28 | 92.47 | 90.54 |
| 0.00 | -2.43 | -2.60 | -6.40 | -6.80 | 6.04 | 7.50 | cls tesoro | -32.14 | -14.63 | 93.08 | 91.24 |
| 0.00 | 0.20 | 0.00 | -7.87 | -8.34 | 5.35 | 6.65 | cls tesoro | -30.58 | -15.09 | 91.78 | 90.15 |
| 0.00 | 1.98 | 1.75 | -9.00 | -9.53 | 4.99 | 6.20 | cls tesoro | -29.41 | -15.37 | 90.97 | 89.42 |
| 0.00 | 3.78 | 3.52 | -10.13 | -10.71 | 4.60 | 5.71 | cls tesoro | -29.07 | -15.37 | 91.06 | 89.61 |
| 0.00 | 5.52 | 5.23 | -11.21 | -11.84 | 4.22 | 5.25 | cls tesoro | -28.72 | -15.37 | 91.14 | 89.78 |
| 0.00 | 7.19 | 6.87 | -12.25 | -12.93 | 3.86 | 4.80 | cls tesoro | -28.37 | -15.37 | 91.21 | 89.92 |
| 0.00 | 8.79 | 8.45 | -13.25 | -13.97 | 3.52 | 4.37 | cls tesoro | -28.03 | -13.03 | 87.23 | 85.98 |
| 0.00 | 10.55 | 10.19 | -14.29 | -15.06 | 3.09 | 3.84 | cls tesoro | -26.71 | -14.38 | 87.89 | 86.73 |
| 0.00 | 11.94 | 11.55 | -15.17 | -15.98 | 2.81 | 3.49 | cls tesoro | -25.96 | -14.42 | 87.30 | 86.17 |
| 0.00 | 13.26 | 12.85 | -16.01 | -16.86 | 2.53 | 3.14 | cls tesoro | -25.22 | -14.46 | 86.69 | 85.59 |
| 0.00 | 14.52 | 14.09 | -16.81 | -17.70 | 2.26 | 2.81 | cls tesoro | -24.47 | -14.50 | 86.06 | 84.98 |
| 0.00 | 15.68 | 15.23 | -17.55 | -18.48 | 2.03 | 2.52 | cls tesoro | -24.04 | -14.49 | 85.87 | 84.81 |
| 0.00 | 16.79 | 16.32 | -18.26 | -19.22 | 1.80 | 2.24 | cls tesoro | -23.61 | -14.76 | 86.13 | 85.08 |
| 0.00 | 18.29 | 17.81 | -19.10 | -20.09 | 1.40 | 1.74 | cls tesoro | -22.12 | -15.13 | 84.68 | 83.66 |
| 0.00 | 19.19 | 18.69 | -19.69 | -20.71 | 1.23 | 1.53 | cls tesoro | -21.01 | -13.48 | 80.41 | 79.39 |
| 0.00 | 20.19 | 19.67 | -20.30 | -21.35 | 1.01 | 1.26 | cls tesoro | -20.66 | -13.48 | 80.28 | 79.27 |
| 0.00 | 21.12 | 20.59 | -20.87 | -21.95 | 0.80 | 1.00 | cls tesoro | -20.31 | -13.48 | 80.13 | 79.12 |
| 0.00 | 21.98 | 21.44 | -21.40 | -22.50 | 0.61 | 0.75 | cls tesoro | -19.97 | -13.48 | 79.95 | 78.94 |

| | | | | | | | | | | | |
|------|-------|-------|--------|--------|-----------------|-----------------|----------|--------|--------|--------|--------|
| 0.00 | 22.78 | 22.22 | -21.88 | -23.01 | 0.42 | 0.53 | cls tesò | -19.62 | -13.48 | 79.75 | 78.73 |
| 0.00 | 23.40 | 22.83 | -22.28 | -23.42 | 0.30 | 0.37 | cls tesò | -19.02 | -11.18 | 75.10 | 74.07 |
| 0.00 | 24.31 | 23.73 | -22.77 | -23.94 | 0.05 | 0.06 | cls tesò | -17.66 | -11.08 | 72.93 | 71.89 |
| 0.00 | 24.84 | 24.24 | -23.10 | -24.28 | barre compresse | barre compresse | -0.08 | -16.96 | -11.04 | 71.94 | 70.89 |
| 0.00 | 25.30 | 24.70 | -23.39 | -24.59 | barre compresse | barre compresse | -0.21 | -16.25 | -14.53 | 77.05 | 75.99 |
| 0.00 | 25.76 | 25.15 | -23.66 | -24.87 | barre compresse | barre compresse | -0.35 | -15.82 | -14.45 | 76.43 | 75.36 |
| 0.00 | 26.15 | 25.53 | -23.88 | -25.10 | barre compresse | barre compresse | -0.48 | -15.39 | -14.37 | 75.78 | 74.70 |
| 0.00 | 26.47 | 25.85 | -24.07 | -25.29 | barre compresse | barre compresse | -0.59 | -14.97 | -14.29 | 75.10 | 74.02 |
| 0.00 | 26.75 | 26.13 | -24.22 | -25.45 | barre compresse | barre compresse | -0.69 | -12.99 | -14.04 | 71.43 | 70.33 |
| 0.00 | 26.85 | 26.23 | -24.28 | -25.52 | barre compresse | barre compresse | -0.72 | -12.64 | -19.63 | 80.63 | 79.54 |
| 0.00 | 26.88 | 26.26 | -24.30 | -25.54 | barre compresse | barre compresse | -0.73 | -12.29 | -19.63 | 80.14 | 79.05 |
| 0.00 | 26.85 | 26.23 | -24.28 | -25.52 | barre compresse | barre compresse | -0.72 | -11.95 | -19.63 | 79.62 | 78.53 |
| 0.00 | 26.75 | 26.13 | -24.22 | -25.45 | barre compresse | barre compresse | -0.69 | -11.60 | -39.13 | 112.84 | 111.75 |
| 0.00 | 26.58 | 25.96 | -24.11 | -25.34 | barre compresse | barre compresse | -0.64 | -11.28 | -39.01 | 112.09 | 111.01 |
| 0.00 | 26.15 | 25.53 | -23.88 | -25.10 | barre compresse | barre compresse | -0.48 | -10.16 | -38.81 | 109.78 | 108.71 |
| 0.00 | 25.76 | 25.15 | -23.66 | -24.87 | barre compresse | barre compresse | -0.35 | -9.30 | -38.73 | 108.12 | 107.05 |
| 0.00 | 25.30 | 24.70 | -23.39 | -24.59 | barre compresse | barre compresse | -0.21 | -8.45 | -27.63 | 87.33 | 86.28 |
| 0.00 | 24.84 | 24.24 | -23.10 | -24.28 | barre compresse | barre compresse | -0.08 | -8.12 | -27.57 | 86.54 | 85.50 |
| 0.00 | 24.31 | 23.73 | -22.77 | -23.94 | 0.05 | 0.06 | cls tesò | -7.78 | -27.51 | 85.73 | 84.69 |
| 0.00 | 23.73 | 23.16 | -22.41 | -23.56 | 0.17 | 0.21 | cls tesò | -7.44 | -27.44 | 84.88 | 83.85 |
| 0.00 | 22.78 | 22.22 | -21.88 | -23.01 | 0.42 | 0.53 | cls tesò | -5.42 | -27.14 | 80.67 | 79.65 |
| 0.00 | 21.98 | 21.44 | -21.40 | -22.50 | 0.61 | 0.75 | cls tesò | -5.08 | -11.61 | 52.98 | 51.94 |
| 0.00 | 21.12 | 20.59 | -20.87 | -21.95 | 0.80 | 1.00 | cls tesò | -4.73 | -11.61 | 52.15 | 51.11 |
| 0.00 | 20.19 | 19.67 | -20.30 | -21.35 | 1.01 | 1.26 | cls tesò | -4.39 | -11.61 | 51.32 | 50.25 |
| 0.00 | 19.19 | 18.69 | -19.69 | -20.71 | 1.23 | 1.53 | cls tesò | -4.04 | -20.43 | 65.67 | 64.63 |

| | | | | | | | | | | | |
|------|--------|--------|--------|--------|------|-------|---------|-------|--------|-------|-------|
| 0.00 | 18.29 | 17.81 | -19.10 | -20.09 | 1.40 | 1.74 | cls tes | -3.71 | -20.31 | 64.58 | 63.53 |
| 0.00 | 16.79 | 16.32 | -18.26 | -19.22 | 1.80 | 2.24 | cls tes | -2.67 | -20.11 | 62.17 | 61.04 |
| 0.00 | 15.68 | 15.23 | -17.55 | -18.48 | 2.03 | 2.52 | cls tes | -1.91 | -20.03 | 60.39 | 59.21 |
| 0.00 | 14.52 | 14.09 | -16.81 | -17.70 | 2.26 | 2.81 | cls tes | -1.14 | -19.95 | 58.59 | 57.36 |
| 0.00 | 13.26 | 12.85 | -16.01 | -16.86 | 2.53 | 3.14 | cls tes | -0.80 | -19.43 | 56.78 | 55.46 |
| 0.00 | 11.94 | 11.55 | -15.17 | -15.98 | 2.81 | 3.49 | cls tes | -0.46 | -19.37 | 55.73 | 54.32 |
| 0.00 | 10.55 | 10.19 | -14.29 | -15.06 | 3.09 | 3.84 | cls tes | -0.12 | -19.31 | 54.68 | 53.15 |
| 0.00 | 8.79 | 8.45 | -13.25 | -13.97 | 3.52 | 4.37 | cls tes | 1.62 | -19.01 | 50.97 | 49.16 |
| 0.00 | 7.19 | 6.87 | -12.25 | -12.93 | 3.86 | 4.80 | cls tes | 1.96 | -16.16 | 45.39 | 43.16 |
| 0.00 | 5.52 | 5.23 | -11.21 | -11.84 | 4.22 | 5.25 | cls tes | 2.31 | -16.16 | 44.55 | 42.04 |
| 0.00 | 3.78 | 3.52 | -10.13 | -10.71 | 4.60 | 5.71 | cls tes | 2.66 | -16.16 | 43.74 | 40.91 |
| 0.00 | 1.98 | 1.75 | -9.00 | -9.53 | 4.99 | 6.20 | cls tes | 3.00 | -16.09 | 42.86 | 39.65 |
| 0.00 | 0.20 | 0.00 | -7.87 | -8.34 | 5.35 | 6.65 | cls tes | 3.35 | -16.23 | 42.27 | 38.70 |
| 0.00 | -1.63 | -1.80 | -6.70 | -7.12 | 5.73 | 7.12 | cls tes | 3.70 | -16.36 | 41.71 | 37.73 |
| 0.00 | -4.14 | -4.28 | -5.25 | -5.60 | 6.36 | 7.90 | cls tes | 4.96 | -16.43 | 40.11 | 35.18 |
| 0.00 | -5.90 | -6.01 | -4.07 | -4.37 | 6.68 | 8.30 | cls tes | 5.62 | -28.23 | 56.74 | 53.42 |
| 0.00 | -8.04 | -8.11 | -2.73 | -2.97 | 7.14 | 8.87 | cls tes | 5.98 | -28.31 | 55.97 | 52.28 |
| 0.00 | -10.25 | -10.28 | -1.35 | -1.52 | 7.61 | 9.46 | cls tes | 6.33 | -28.39 | 55.23 | 51.13 |
| 0.00 | -12.52 | -12.52 | 0.07 | -0.03 | 8.10 | 10.06 | cls tes | 6.69 | -28.47 | 54.52 | 49.98 |
| 0.00 | -14.86 | -14.82 | 1.54 | 1.51 | 8.60 | 10.68 | cls tes | 7.05 | -28.55 | 53.87 | 48.84 |

Come si deduce dall'ultima tabella riportata la verifica di resistenza è soddisfatta in quanto le massime tensioni risultano inferiori a quelle al limite elastico dei materiali.

SEZIONE TIPO INTERMEDIA

SOLLECITAZIONI FASE 1

| | | | | | | |
|-----|------|----------|------|------|------|-----------|
| MAX | 0.00 | 3687.54 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2430.34 |
| MIN | 0.00 | -4648.51 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | -37042.81 |

| TABLE: Element Forces - Frames | | | | | | | | | |
|--------------------------------|---------|------------|-------------|------------|-----------|----|------|------|------------|
| Frame | Station | OutputCase | CaseType | P | V2 | V3 | T | M2 | M3 |
| Text | m | Text | Text | KN | KN | KN | KN-m | KN-m | KN-m |
| 2 | 0.00 | SLU | Combination | -1.516E-10 | 2079.831 | 0 | 0 | 0 | -11089.619 |
| 2 | 0.45 | SLU | Combination | -1.516E-10 | 2160.217 | 0 | 0 | 0 | -12043.63 |
| 2 | 0.90 | SLU | Combination | -1.516E-10 | 2240.602 | 0 | 0 | 0 | -13033.814 |
| 2 | 1.35 | SLU | Combination | -1.516E-10 | 2320.988 | 0 | 0 | 0 | -14060.172 |
| 2 | 1.80 | SLU | Combination | -1.516E-10 | 2401.374 | 0 | 0 | 0 | -15122.703 |
| 2 | 2.25 | SLU | Combination | -1.51E-10 | 2481.759 | 0 | 0 | 0 | -16221.408 |
| 2 | 2.70 | SLU | Combination | -1.51E-10 | 2562.145 | 0 | 0 | 0 | -17356.286 |
| 2 | 3.15 | SLU | Combination | -1.51E-10 | 2642.531 | 0 | 0 | 0 | -18527.338 |
| 2 | 3.60 | SLU | Combination | -1.461E-10 | 2722.916 | 0 | 0 | 0 | -19734.564 |
| 2 | 4.05 | SLU | Combination | -1.461E-10 | 2803.302 | 0 | 0 | 0 | -20977.963 |
| 2 | 4.50 | SLU | Combination | -1.461E-10 | 2883.688 | 0 | 0 | 0 | -22257.535 |
| 2 | 4.95 | SLU | Combination | -1.461E-10 | 2964.073 | 0 | 0 | 0 | -23573.282 |
| 2 | 5.40 | SLU | Combination | -1.394E-10 | 3044.459 | 0 | 0 | 0 | -24925.201 |
| 2 | 5.85 | SLU | Combination | -1.394E-10 | 3124.845 | 0 | 0 | 0 | -26313.295 |
| 2 | 6.30 | SLU | Combination | -1.394E-10 | 3205.23 | 0 | 0 | 0 | -27737.561 |
| 2 | 6.75 | SLU | Combination | -1.394E-10 | 3285.616 | 0 | 0 | 0 | -29198.002 |
| 2 | 7.20 | SLU | Combination | -1.492E-10 | 3366.002 | 0 | 0 | 0 | -30694.616 |
| 2 | 7.65 | SLU | Combination | -1.492E-10 | 3446.387 | 0 | 0 | 0 | -32227.403 |
| 2 | 8.10 | SLU | Combination | -1.492E-10 | 3526.773 | 0 | 0 | 0 | -33796.364 |
| 2 | 8.55 | SLU | Combination | -1.492E-10 | 3607.159 | 0 | 0 | 0 | -35401.499 |
| 2 | 9.00 | SLU | Combination | -1.492E-10 | 3687.544 | 0 | 0 | 0 | -37042.807 |
| 5 | 0.00 | SLU | Combination | -7.674E-11 | -4648.508 | 0 | 0 | 0 | -31277.024 |
| 5 | 0.46 | SLU | Combination | -7.674E-11 | -4566.634 | 0 | 0 | 0 | -29165.221 |
| 5 | 0.92 | SLU | Combination | -7.674E-11 | -4484.759 | 0 | 0 | 0 | -27090.943 |
| 5 | 1.38 | SLU | Combination | -7.674E-11 | -4402.885 | 0 | 0 | 0 | -25054.191 |
| 5 | 1.83 | SLU | Combination | 0 | -4321.011 | 0 | 0 | 0 | -23054.965 |
| 5 | 2.29 | SLU | Combination | 0 | -4239.137 | 0 | 0 | 0 | -21093.265 |
| 5 | 2.75 | SLU | Combination | 0 | -4157.262 | 0 | 0 | 0 | -19169.09 |
| 5 | 3.21 | SLU | Combination | 0 | -4075.388 | 0 | 0 | 0 | -17282.441 |
| 5 | 3.67 | SLU | Combination | 2.081E-10 | -3993.514 | 0 | 0 | 0 | -15433.318 |
| 5 | 4.13 | SLU | Combination | 2.081E-10 | -3911.639 | 0 | 0 | 0 | -13621.72 |
| 5 | 4.58 | SLU | Combination | 2.081E-10 | -3829.765 | 0 | 0 | 0 | -11847.648 |
| 5 | 5.04 | SLU | Combination | 2.081E-10 | -3747.891 | 0 | 0 | 0 | -10111.102 |

| | | | | | | | | | |
|---|-------|-----|-------------|-----------|-----------|---|---|---|------------|
| 5 | 5.50 | SLU | Combination | 8.165E-11 | -3666.017 | 0 | 0 | 0 | -8412.0817 |
| 5 | 5.96 | SLU | Combination | 8.165E-11 | -3584.142 | 0 | 0 | 0 | -6750.587 |
| 5 | 6.42 | SLU | Combination | 8.165E-11 | -3502.268 | 0 | 0 | 0 | -5126.618 |
| 5 | 6.88 | SLU | Combination | 8.165E-11 | -3420.394 | 0 | 0 | 0 | -3540.1747 |
| 5 | 7.33 | SLU | Combination | 1.381E-10 | -3338.519 | 0 | 0 | 0 | -1991.2571 |
| 5 | 7.79 | SLU | Combination | 1.381E-10 | -3256.645 | 0 | 0 | 0 | -479.8653 |
| 5 | 8.25 | SLU | Combination | 1.381E-10 | -3174.771 | 0 | 0 | 0 | 994.0008 |
| 5 | 8.71 | SLU | Combination | 1.381E-10 | -3092.896 | 0 | 0 | 0 | 2430.3412 |
| 5 | 9.17 | SLU | Combination | 3.327E-10 | -3011.022 | 0 | 0 | 0 | 3829.1559 |
| 5 | 9.63 | SLU | Combination | 3.327E-10 | -2929.148 | 0 | 0 | 0 | 5190.4449 |
| 5 | 10.08 | SLU | Combination | 3.327E-10 | -2847.274 | 0 | 0 | 0 | 6514.2081 |
| 5 | 10.54 | SLU | Combination | 3.327E-10 | -2765.399 | 0 | 0 | 0 | 7800.4456 |
| 5 | 11.00 | SLU | Combination | 3.327E-10 | -2683.525 | 0 | 0 | 0 | 9049.1574 |

SOLLECITAZIONI FASE 2

| | | | | | | |
|-----|------|----------|-----------|-----------|------------|-----------|
| MAX | 0.00 | 4231.41 | 9226.81 | 15299.67 | 169444.47 | 49333.64 |
| MIN | 0.00 | -4960.54 | -14319.62 | -17384.67 | -245620.71 | -43285.36 |

TABLE: Element Forces - Frames

| Frame | Station | OutputCase | CaseType | StepType | P | V2 | V3 | T | M2 | M3 |
|-------|---------|------------|-------------|----------|------------|----------|----------|------------|------------|------------|
| Text | m | Text | Text | Text | KN | KN | KN | KN-m | KN-m | KN-m |
| 2 | 0.00 | ENV_SLU | Combination | Max | -2.086E-10 | 2856.843 | 7068.398 | 8695.4662 | 128534.676 | 26388.0322 |
| 2 | 0.45 | ENV_SLU | Combination | Max | -2.086E-10 | 2894.115 | 7068.398 | 8734.861 | 130449.31 | 26121.0853 |
| 2 | 0.90 | ENV_SLU | Combination | Max | -2.086E-10 | 2931.174 | 7068.398 | 8774.1499 | 132360.038 | 25841.8998 |
| 2 | 1.35 | ENV_SLU | Combination | Max | -2.086E-10 | 2968.232 | 7068.398 | 8813.4389 | 134270.767 | 25550.426 |
| 2 | 1.80 | ENV_SLU | Combination | Max | -2.224E-10 | 3005.29 | 7648.66 | 8908.7665 | 135582.009 | 25246.6641 |
| 2 | 2.20 | ENV_SLU | Combination | Max | -2.224E-10 | 3106.811 | 7648.66 | 9011.1412 | 137288.378 | 25246.6566 |
| 2 | 2.60 | ENV_SLU | Combination | Max | -2.224E-10 | 3208.333 | 7648.66 | 9113.5159 | 138994.747 | 25236.9237 |
| 2 | 3.00 | ENV_SLU | Combination | Max | -2.224E-10 | 3309.854 | 7648.66 | 9215.8906 | 140701.115 | 25217.4654 |
| 2 | 3.60 | ENV_SLU | Combination | Max | -1.911E-10 | 3397.044 | 9122.586 | 11126.8751 | 142164.858 | 24505.5781 |
| 2 | 4.05 | ENV_SLU | Combination | Max | -1.911E-10 | 3424.382 | 9122.586 | 11126.8751 | 144820.208 | 24117.5698 |
| 2 | 4.50 | ENV_SLU | Combination | Max | -1.911E-10 | 3451.719 | 9122.586 | 11126.8751 | 147475.557 | 23717.2596 |
| 2 | 4.95 | ENV_SLU | Combination | Max | -1.911E-10 | 3479.057 | 9122.586 | 11126.8751 | 150130.907 | 23304.6475 |
| 2 | 5.40 | ENV_SLU | Combination | Max | -1.874E-10 | 3506.394 | 9161.332 | 11181.5444 | 152774.28 | 22879.7336 |
| 2 | 5.70 | ENV_SLU | Combination | Max | -1.874E-10 | 3637.618 | 9161.332 | 11352.1966 | 154510.42 | 22742.6128 |
| 2 | 6.40 | ENV_SLU | Combination | Max | -1.874E-10 | 3814.14 | 9161.332 | 11575.234 | 158590.411 | 21970.7366 |
| 2 | 6.80 | ENV_SLU | Combination | Max | -1.874E-10 | 3859.439 | 9161.332 | 11627.6192 | 160934.261 | 21331.7173 |
| 2 | 7.20 | ENV_SLU | Combination | Max | -2.061E-10 | 3904.738 | 5707.98 | 6511.9 | 162105.089 | 20682.9726 |
| 2 | 7.65 | ENV_SLU | Combination | Max | -2.061E-10 | 3986.379 | 5707.98 | 6596.9096 | 163938.914 | 20188.6639 |
| 2 | 8.10 | ENV_SLU | Combination | Max | -2.061E-10 | 4068.02 | 5707.98 | 6681.9192 | 165772.739 | 19682.0669 |
| 2 | 8.55 | ENV_SLU | Combination | Max | -2.061E-10 | 4149.661 | 5707.98 | 6766.9288 | 167606.565 | 19163.1817 |

| | | | | | | | | | | |
|---|------|---------|-------------|-----|------------|-----------|-----------|------------|------------|------------|
| 2 | 9.00 | ENV_SLU | Combination | Max | -2.061E-10 | 4231.409 | 5707.98 | 6852.0432 | 169444.467 | 18630.257 |
| 2 | 0.00 | ENV_SLU | Combination | Min | -1.088E-09 | -761.945 | -4405.69 | -13092.929 | -185139.81 | -23938.099 |
| 2 | 0.45 | ENV_SLU | Combination | Min | -1.088E-09 | -697.672 | -4405.69 | -13147.023 | -188256.15 | -24788.245 |
| 2 | 0.90 | ENV_SLU | Combination | Min | -1.088E-09 | -633.399 | -4405.69 | -13201.116 | -191372.5 | -25650.678 |
| 2 | 1.35 | ENV_SLU | Combination | Min | -1.088E-09 | -569.126 | -4405.69 | -13255.21 | -194488.84 | -26525.4 |
| 2 | 1.80 | ENV_SLU | Combination | Min | -1.029E-09 | -504.853 | -4673.19 | -13366.098 | -197498.31 | -27412.41 |
| 2 | 2.20 | ENV_SLU | Combination | Min | -1.029E-09 | -478.391 | -4673.19 | -13528.394 | -200489.92 | -28211.85 |
| 2 | 2.60 | ENV_SLU | Combination | Min | -1.029E-09 | -451.929 | -4673.19 | -13690.689 | -203481.52 | -29021.014 |
| 2 | 3.30 | ENV_SLU | Combination | Min | -1.029E-09 | -341.7 | -4673.19 | -13961.171 | -208719.02 | -30459.935 |
| 2 | 3.60 | ENV_SLU | Combination | Min | -1.143E-09 | -257.933 | -6184.313 | -16634.006 | -206765.43 | -31085.427 |
| 2 | 4.50 | ENV_SLU | Combination | Min | -1.143E-09 | -203.258 | -6184.313 | -16634.006 | -214784.38 | -32995.703 |
| 2 | 4.95 | ENV_SLU | Combination | Min | -1.143E-09 | -175.921 | -6184.313 | -16634.006 | -218793.86 | -33969.294 |
| 2 | 5.40 | ENV_SLU | Combination | Min | -1.139E-09 | -148.583 | -6195.349 | -16677.578 | -221704.36 | -34955.187 |
| 2 | 5.70 | ENV_SLU | Combination | Min | -1.139E-09 | -128.738 | -6195.349 | -16958.998 | -224390.53 | -35618.926 |
| 2 | 6.40 | ENV_SLU | Combination | Min | -1.139E-09 | -46.87 | -6195.349 | -17312.542 | -230715.07 | -37189.645 |
| 2 | 6.80 | ENV_SLU | Combination | Min | -1.139E-09 | 15.153 | -6195.349 | -17384.666 | -234353.44 | -38100.888 |
| 2 | 7.20 | ENV_SLU | Combination | Min | -1.155E-09 | 77.176 | -4152.525 | -9662.015 | -235773.88 | -39021.857 |
| 2 | 7.65 | ENV_SLU | Combination | Min | -1.155E-09 | 104.82 | -4152.525 | -9802.5665 | -238234.2 | -40068.694 |
| 2 | 8.10 | ENV_SLU | Combination | Min | -1.155E-09 | 132.465 | -4152.525 | -9943.118 | -240694.53 | -41127.819 |
| 2 | 8.55 | ENV_SLU | Combination | Min | -1.155E-09 | 160.109 | -4152.525 | -10083.67 | -243154.85 | -42199.233 |
| 2 | 9.00 | ENV_SLU | Combination | Min | -1.155E-09 | 187.884 | -4152.525 | -10224.365 | -245620.71 | -43285.358 |
| 5 | 0.00 | ENV_SLU | Combination | Max | -1.791E-10 | -1518.034 | 9208.656 | 15299.6712 | 134100.068 | 23673.1449 |
| 5 | 0.46 | ENV_SLU | Combination | Max | -1.791E-10 | -1490.082 | 9208.656 | 15214.2368 | 129909.745 | 24681.4957 |
| 5 | 0.92 | ENV_SLU | Combination | Max | -1.791E-10 | -1462.171 | 9208.656 | 15128.7602 | 125719.401 | 25676.8748 |
| 5 | 1.38 | ENV_SLU | Combination | Max | -1.791E-10 | -1434.26 | 9208.656 | 15043.2836 | 121529.056 | 26659.4923 |
| 5 | 1.83 | ENV_SLU | Combination | Max | -1.617E-10 | -1406.349 | 7879.96 | 12177.3365 | 117579.465 | 27629.348 |
| 5 | 2.29 | ENV_SLU | Combination | Max | -1.617E-10 | -1347.515 | 7879.96 | 12117.415 | 114012.248 | 28900.0882 |
| 5 | 2.75 | ENV_SLU | Combination | Max | -1.617E-10 | -1288.681 | 7879.96 | 12057.4936 | 110445.03 | 30158.0528 |
| 5 | 3.21 | ENV_SLU | Combination | Max | -1.617E-10 | -1260.517 | 7879.96 | 11900.6365 | 106881.702 | 31052.9022 |
| 5 | 3.67 | ENV_SLU | Combination | Max | -1.22E-10 | -1232.353 | 9226.806 | 8453.2964 | 103734.956 | 31935.0037 |
| 5 | 4.13 | ENV_SLU | Combination | Max | -1.22E-10 | -1204.509 | 9226.806 | 8453.2964 | 99539.7331 | 33135.0589 |
| 5 | 4.58 | ENV_SLU | Combination | Max | -1.22E-10 | -1176.665 | 9226.806 | 8453.2964 | 95344.5106 | 34322.3523 |
| 5 | 5.04 | ENV_SLU | Combination | Max | -1.22E-10 | -1148.821 | 9226.806 | 8453.2964 | 91149.2881 | 35496.884 |
| 5 | 5.50 | ENV_SLU | Combination | Max | -1.442E-10 | -1047.028 | 8189.865 | 8804.6097 | 85630.1871 | 36658.654 |
| 5 | 5.96 | ENV_SLU | Combination | Max | -1.442E-10 | -1018.849 | 8189.865 | 8736.5156 | 82099.2964 | 37661.7859 |
| 5 | 6.42 | ENV_SLU | Combination | Max | -1.442E-10 | -990.669 | 8189.865 | 8668.4215 | 78568.4056 | 38652.1561 |
| 5 | 6.88 | ENV_SLU | Combination | Max | -1.442E-10 | -962.49 | 8189.865 | 8600.3273 | 75037.5148 | 39629.7645 |
| 5 | 7.33 | ENV_SLU | Combination | Max | -1.221E-10 | -934.311 | 7679.171 | 5892.2717 | 71822.6642 | 40594.6112 |
| 5 | 7.79 | ENV_SLU | Combination | Max | -1.221E-10 | -863.661 | 7679.171 | 5957.2351 | 68643.8773 | 41857.3599 |
| 5 | 8.25 | ENV_SLU | Combination | Max | -1.221E-10 | -793.011 | 7679.171 | 6022.1986 | 65465.0904 | 43107.3609 |
| 5 | 8.71 | ENV_SLU | Combination | Max | -1.221E-10 | -763.978 | 7679.171 | 6017.6359 | 62333.5817 | 43952.321 |
| 5 | 9.17 | ENV_SLU | Combination | Max | -7.792E-11 | -734.945 | 7242.167 | 6003.86 | 57219.911 | 44784.5054 |



| | | | | | | | | | | |
|---|-------|---------|-------------|-----|------------|-----------|------------|------------|------------|------------|
| 5 | 9.63 | ENV_SLU | Combination | Max | -7.792E-11 | -682.877 | 7242.167 | 6044.4721 | 54372.3344 | 45941.0158 |
| 5 | 10.08 | ENV_SLU | Combination | Max | -7.792E-11 | -630.809 | 7242.167 | 6085.0842 | 51524.7577 | 47084.7645 |
| 5 | 10.54 | ENV_SLU | Combination | Max | -7.792E-11 | -578.741 | 7242.167 | 6125.6962 | 48677.181 | 48215.7514 |
| 5 | 11.00 | ENV_SLU | Combination | Max | -7.792E-11 | -526.723 | 7242.167 | 6166.2666 | 45831.0241 | 49333.6355 |
| 5 | 0.00 | ENV_SLU | Combination | Min | -8.369E-10 | -4960.535 | -12852.9 | -10610.482 | -194712.78 | -34275.005 |
| 5 | 0.46 | ENV_SLU | Combination | Min | -8.369E-10 | -4898.267 | -12852.9 | -10556.773 | -188829.41 | -32532.372 |
| 5 | 0.92 | ENV_SLU | Combination | Min | -8.369E-10 | -4835.978 | -12852.9 | -10503.052 | -182946.28 | -30802.657 |
| 5 | 1.38 | ENV_SLU | Combination | Min | -8.369E-10 | -4773.69 | -12852.9 | -10449.331 | -177063.15 | -29085.703 |
| 5 | 1.38 | ENV_SLU | Combination | Min | -8.369E-10 | -4773.69 | -12852.9 | -10449.331 | -177063.15 | -29085.703 |
| 5 | 1.83 | ENV_SLU | Combination | Min | -8.223E-10 | -4711.402 | -10429.792 | -8870.6991 | -171156.95 | -27381.511 |
| 5 | 2.29 | ENV_SLU | Combination | Min | -8.223E-10 | -4647.015 | -10429.792 | -8829.9051 | -166516.45 | -25808.166 |
| 5 | 2.75 | ENV_SLU | Combination | Min | -8.223E-10 | -4582.628 | -10429.792 | -8789.1111 | -161875.96 | -24247.597 |
| 5 | 3.21 | ENV_SLU | Combination | Min | -8.223E-10 | -4482.964 | -10429.792 | -8686.1084 | -157240.52 | -23008.148 |
| 5 | 3.67 | ENV_SLU | Combination | Min | -7.855E-10 | -4383.3 | -14319.622 | -6814.2288 | -152953.07 | -21781.445 |
| 5 | 4.13 | ENV_SLU | Combination | Min | -7.855E-10 | -4355.456 | -14319.622 | -6814.2288 | -146705.51 | -20711.361 |
| 5 | 4.58 | ENV_SLU | Combination | Min | -7.855E-10 | -4327.612 | -14319.622 | -6814.2288 | -140457.94 | -19654.038 |
| 5 | 5.04 | ENV_SLU | Combination | Min | -7.855E-10 | -4299.769 | -14319.622 | -6814.2288 | -134210.38 | -18609.477 |
| 5 | 5.50 | ENV_SLU | Combination | Min | -9.475E-10 | -4204.223 | -11695.868 | -6998.4863 | -126617.33 | -17577.678 |
| 5 | 5.96 | ENV_SLU | Combination | Min | -9.475E-10 | -4139.217 | -11695.868 | -6955.9367 | -121410.85 | -16679.655 |
| 5 | 6.42 | ENV_SLU | Combination | Min | -9.475E-10 | -4074.212 | -11695.868 | -6913.3871 | -116204.37 | -15794.395 |
| 5 | 6.88 | ENV_SLU | Combination | Min | -9.475E-10 | -4009.207 | -11695.868 | -6870.8375 | -110997.89 | -14921.897 |
| 5 | 7.33 | ENV_SLU | Combination | Min | -8.555E-10 | -3944.201 | -10741.868 | -7953.9485 | -105162.69 | -14062.16 |
| 5 | 7.79 | ENV_SLU | Combination | Min | -8.555E-10 | -3885.387 | -10741.868 | -8044.225 | -100585.14 | -13301.463 |
| 5 | 8.25 | ENV_SLU | Combination | Min | -8.555E-10 | -3826.573 | -10741.868 | -8134.5015 | -96007.594 | -12553.515 |
| 5 | 8.71 | ENV_SLU | Combination | Min | -8.555E-10 | -3722.416 | -10741.868 | -8169.0881 | -91425.078 | -11868.657 |
| 5 | 9.17 | ENV_SLU | Combination | Min | -8.812E-10 | -3618.258 | -11532.033 | -8214.0078 | -85239.645 | -11196.574 |
| 5 | 9.63 | ENV_SLU | Combination | Min | -8.812E-10 | -3576.406 | -11532.033 | -8270.4933 | -80419.407 | -10602.019 |
| 5 | 10.08 | ENV_SLU | Combination | Min | -8.812E-10 | -3534.553 | -11532.033 | -8326.9788 | -75599.168 | -10020.226 |
| 5 | 10.54 | ENV_SLU | Combination | Min | -8.812E-10 | -3492.7 | -11532.033 | -8383.4643 | -70778.929 | -9451.1946 |
| 5 | 11.00 | ENV_SLU | Combination | Min | -8.812E-10 | -3450.767 | -11532.033 | -8439.8973 | -65960.153 | -8895.0386 |

TENSIONI FASE 1+2

| | | | | | | | | | | | | |
|-----|------|---------|---------|--------|---------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| MAX | 0.00 | 129.03 | 128.74 | 136.97 | 144.79 | 33.11 | 41.40 | -18.71 | 71.07 | 20.98 | 226.08 | 207.34 |
| MIN | 0.00 | -178.86 | -177.55 | -95.12 | -100.67 | 6.80 | 8.51 | -49.55 | -85.68 | -23.84 | 109.85 | 96.49 |

TABLE: Element Tension - Frames

| SIGMA N | SIGMA M | | | | | Ainf | Asup | w5 | TAU1 | TAU2 | SIGMA ID | |
|---------|---------|--------|--------|--------|-----------------|-----------------|--------|-------|-------|--------|----------|--|
| | w1 | w2 | w3 | w4 | w2 | | | | | | w3 | |
| 0.00 | 33.93 | 34.34 | -22.28 | -23.67 | barre compresse | barre compresse | -26.50 | 44.31 | 11.93 | 129.04 | 116.46 | |
| 0.00 | 31.14 | 31.58 | -20.06 | -21.32 | barre compresse | barre compresse | -26.23 | 45.36 | 11.98 | 131.46 | 118.81 | |
| 0.00 | 28.23 | 28.71 | -17.74 | -18.88 | barre compresse | barre compresse | -25.95 | 46.42 | 12.03 | 133.93 | 121.21 | |
| 0.00 | 25.21 | 25.73 | -15.35 | -16.35 | barre compresse | barre compresse | -25.66 | 47.47 | 12.09 | 136.47 | 123.66 | |
| 0.00 | 22.09 | 22.65 | -12.86 | -13.72 | barre compresse | barre compresse | -25.36 | 48.53 | 12.22 | 139.18 | 126.27 | |
| 0.00 | 19.56 | 20.16 | -10.80 | -11.55 | barre compresse | barre compresse | -25.36 | 50.16 | 12.36 | 143.19 | 130.08 | |
| 0.00 | 16.93 | 17.57 | -8.66 | -9.29 | barre compresse | barre compresse | -25.35 | 51.79 | 12.50 | 147.28 | 133.96 | |
| 0.00 | 14.20 | 14.88 | -6.43 | -6.94 | barre compresse | barre compresse | -25.33 | 53.42 | 12.64 | 151.44 | 137.89 | |
| 0.00 | 9.82 | 10.54 | -3.01 | -3.32 | barre compresse | barre compresse | -24.61 | 54.93 | 15.26 | 158.08 | 144.97 | |
| 0.00 | 6.09 | 6.86 | -0.04 | -0.20 | barre compresse | barre compresse | -24.22 | 55.89 | 15.26 | 160.84 | 147.55 | |
| 0.00 | 2.24 | 3.06 | 3.01 | 3.03 | barre compresse | barre compresse | -23.82 | 56.86 | 15.26 | 163.68 | 150.18 | |
| 0.00 | -1.71 | -0.84 | 6.15 | 6.34 | barre compresse | barre compresse | -23.41 | 57.83 | 15.26 | 166.58 | 152.88 | |
| 0.00 | -5.78 | -4.86 | 9.37 | 9.75 | barre compresse | barre compresse | -22.98 | 58.79 | 15.34 | 169.67 | 155.75 | |
| 0.00 | -9.28 | -8.31 | 12.20 | 12.73 | barre compresse | barre compresse | -22.84 | 60.69 | 15.57 | 174.80 | 160.61 | |
| 0.00 | -14.29 | -13.27 | 16.13 | 16.88 | barre compresse | barre compresse | -22.07 | 63.00 | 15.88 | 180.02 | 165.91 | |
| 0.00 | -19.09 | -18.01 | 19.91 | 20.87 | barre compresse | barre compresse | -21.42 | 64.13 | 15.95 | 183.41 | 169.13 | |
| 0.00 | -23.99 | -22.86 | 23.77 | 24.95 | barre compresse | barre compresse | -20.77 | 65.26 | 8.93 | 176.22 | 161.07 | |
| 0.00 | -28.62 | -27.44 | 27.45 | 28.83 | barre compresse | barre compresse | -20.28 | 66.71 | 9.05 | 180.44 | 165.07 | |
| 0.00 | -33.37 | -32.13 | 31.21 | 32.81 | barre compresse | barre compresse | -19.77 | 68.16 | 9.16 | 184.76 | 169.15 | |

| | | | | | | | | | | | |
|------|---------|---------|--------|--------|-----------------|-----------------|------------|--------|--------|--------|--------|
| 0.00 | -38.23 | -36.92 | 35.07 | 36.88 | barre compresse | barre compresse | -19.25 | 69.62 | 9.28 | 189.17 | 173.30 |
| 0.00 | -43.20 | -41.84 | 39.01 | 41.05 | barre compresse | barre compresse | -18.71 | 71.07 | 9.40 | 193.68 | 177.53 |
| 0.00 | -79.40 | -78.99 | 59.84 | 63.29 | 18.31 | 22.89 | cls tesoro | 11.83 | -17.96 | 109.85 | 96.49 |
| 0.00 | -83.51 | -83.06 | 63.02 | 66.64 | 18.96 | 23.71 | cls tesoro | 13.13 | -18.03 | 113.15 | 98.83 |
| 0.00 | -87.73 | -87.25 | 66.28 | 70.09 | 19.62 | 24.53 | cls tesoro | 14.42 | -18.11 | 116.59 | 101.28 |
| 0.00 | -92.06 | -91.54 | 69.63 | 73.63 | 20.29 | 25.37 | cls tesoro | 15.72 | -18.18 | 120.17 | 103.84 |
| 0.00 | -96.50 | -95.94 | 73.07 | 77.27 | 20.97 | 26.22 | cls tesoro | 17.02 | -18.33 | 123.97 | 106.61 |
| 0.00 | -100.82 | -100.22 | 76.43 | 80.82 | 21.58 | 26.98 | cls tesoro | 17.98 | -18.55 | 128.09 | 109.83 |
| 0.00 | -105.25 | -104.61 | 79.88 | 84.46 | 22.20 | 27.76 | cls tesoro | 18.94 | -18.78 | 132.31 | 113.12 |
| 0.00 | -111.19 | -110.50 | 84.42 | 89.26 | 23.30 | 29.13 | cls tesoro | 20.65 | -19.15 | 137.33 | 116.64 |
| 0.00 | -115.37 | -114.64 | 87.71 | 92.73 | 23.78 | 29.73 | cls tesoro | 22.12 | -22.81 | 143.95 | 123.05 |
| 0.00 | -122.53 | -121.76 | 93.15 | 98.49 | 25.24 | 31.56 | cls tesoro | 23.34 | -22.81 | 150.11 | 127.39 |
| 0.00 | -127.66 | -126.84 | 97.14 | 102.70 | 25.98 | 32.49 | cls tesoro | 24.30 | -22.81 | 154.80 | 130.93 |
| 0.00 | -132.91 | -132.04 | 101.22 | 107.01 | 26.74 | 33.43 | cls tesoro | 25.27 | -22.87 | 159.66 | 134.63 |
| 0.00 | -137.51 | -136.59 | 104.83 | 110.83 | 27.24 | 34.07 | cls tesoro | 26.17 | -23.26 | 164.29 | 138.37 |
| 0.00 | -144.24 | -143.27 | 110.00 | 116.29 | 28.44 | 35.57 | cls tesoro | 27.63 | -23.75 | 170.45 | 142.94 |
| 0.00 | -149.57 | -148.54 | 114.15 | 120.68 | 29.14 | 36.44 | cls tesoro | 28.90 | -23.84 | 175.24 | 146.51 |
| 0.00 | -155.00 | -153.92 | 118.39 | 125.15 | 29.85 | 37.32 | cls tesoro | 30.18 | -13.25 | 174.02 | 142.14 |
| 0.00 | -160.79 | -159.66 | 122.90 | 129.92 | 30.65 | 38.32 | cls tesoro | 31.15 | -13.44 | 179.73 | 146.64 |
| 0.00 | -166.70 | -165.52 | 127.51 | 134.78 | 31.46 | 39.34 | cls tesoro | 32.12 | -13.64 | 185.56 | 151.22 |
| 0.00 | -172.72 | -171.48 | 132.19 | 139.74 | 32.28 | 40.36 | cls tesoro | 33.09 | -13.83 | 191.50 | 155.90 |
| 0.00 | -178.86 | -177.55 | 136.97 | 144.79 | 33.11 | 41.40 | cls tesoro | 34.06 | -14.02 | 197.55 | 160.66 |
| 0.00 | -31.85 | -30.48 | 30.79 | 32.33 | barre compresse | barre compresse | -23.78 | 19.47 | 20.98 | 156.34 | 130.71 |
| 0.00 | -16.32 | -15.17 | 18.34 | 19.19 | barre compresse | barre compresse | -24.79 | -55.09 | 20.87 | 158.21 | 135.36 |
| 0.00 | -9.22 | -8.15 | 12.75 | 13.30 | barre compresse | barre compresse | -25.79 | -54.11 | 20.75 | 156.22 | 133.52 |
| 0.00 | -2.24 | -1.24 | 7.26 | 7.50 | barre compresse | barre compresse | -26.77 | -53.12 | 20.63 | 154.34 | 131.78 |
| 0.00 | 4.62 | 5.55 | 1.86 | 1.80 | barre compresse | barre compresse | -27.75 | -52.14 | 16.70 | 151.48 | 128.64 |

| | | | | | | | | | | | |
|------|---------|---------|--------|---------|-----------------|-----------------|------------|--------|--------|--------|--------|
| 0.00 | 12.08 | 12.93 | -3.96 | -4.35 | barre compresse | barre compresse | -29.02 | -50.88 | 16.62 | 150.59 | 127.67 |
| 0.00 | 19.42 | 20.20 | -9.69 | -10.41 | barre compresse | barre compresse | -30.29 | -49.61 | 16.54 | 149.82 | 126.80 |
| 0.00 | 25.86 | 26.57 | -14.75 | -15.76 | barre compresse | barre compresse | -31.19 | -48.63 | 16.32 | 148.29 | 125.35 |
| 0.00 | 32.18 | 32.82 | -19.73 | -21.01 | barre compresse | barre compresse | -32.07 | -47.64 | 11.59 | 146.36 | 123.27 |
| 0.00 | 39.14 | 39.71 | -25.15 | -26.74 | barre compresse | barre compresse | -33.28 | -46.65 | 11.59 | 145.85 | 122.57 |
| 0.00 | 45.98 | 46.48 | -30.48 | -32.37 | barre compresse | barre compresse | -34.47 | -45.67 | 11.59 | 145.48 | 121.99 |
| 0.00 | 52.70 | 53.14 | -35.72 | -37.91 | barre compresse | barre compresse | -35.65 | -44.68 | 11.59 | 145.26 | 121.51 |
| 0.00 | 59.31 | 59.68 | -40.87 | -43.35 | barre compresse | barre compresse | -36.82 | -43.03 | 12.08 | 145.27 | 121.27 |
| 0.00 | 65.47 | 65.78 | -45.69 | -48.44 | barre compresse | barre compresse | -37.82 | -42.05 | 11.98 | 145.04 | 120.78 |
| 0.00 | 71.52 | 71.77 | -50.42 | -53.44 | barre compresse | barre compresse | -38.82 | -41.06 | 11.89 | 144.97 | 120.42 |
| 0.00 | 77.46 | 77.65 | -55.06 | -58.34 | barre compresse | barre compresse | -39.80 | -40.07 | 11.80 | 145.08 | 120.18 |
| 0.00 | 83.28 | 83.41 | -59.61 | -63.14 | barre compresse | barre compresse | -40.77 | -39.08 | 8.08 | 145.19 | 119.83 |
| 0.00 | 89.68 | 89.76 | -64.57 | -68.39 | barre compresse | barre compresse | -42.04 | -37.72 | 8.17 | 146.36 | 120.34 |
| 0.00 | 95.97 | 95.99 | -69.44 | -73.54 | barre compresse | barre compresse | -43.29 | -36.35 | 8.26 | 147.73 | 121.01 |
| 0.00 | 101.26 | 101.23 | -73.59 | -77.91 | barre compresse | barre compresse | -44.14 | -35.35 | 8.25 | 148.41 | 121.15 |
| 0.00 | 106.44 | 106.35 | -77.63 | -82.19 | barre compresse | barre compresse | -44.98 | -34.36 | 8.23 | 149.28 | 121.43 |
| 0.00 | 112.26 | 112.12 | -82.14 | -86.95 | barre compresse | barre compresse | -46.14 | -33.15 | 8.29 | 151.13 | 122.42 |
| 0.00 | 117.96 | 117.77 | -86.56 | -91.62 | barre compresse | barre compresse | -47.29 | -31.95 | 8.35 | 153.16 | 123.54 |
| 0.00 | 123.55 | 123.31 | -90.89 | -96.19 | barre compresse | barre compresse | -48.42 | -30.75 | 8.40 | 155.37 | 124.79 |
| 0.00 | 129.03 | 128.74 | -95.12 | -100.67 | barre compresse | barre compresse | -49.55 | -29.55 | 8.46 | 157.75 | 126.17 |
| 0.00 | -56.38 | -56.72 | 38.97 | 41.33 | 26.22 | 32.78 | cls tesoro | -68.61 | -14.55 | 174.63 | 161.64 |
| 0.00 | -145.16 | -144.01 | 111.70 | 118.05 | 24.88 | 31.11 | cls tesoro | -85.68 | -14.48 | 226.08 | 207.34 |
| 0.00 | -136.41 | -135.34 | 104.92 | 110.89 | 23.56 | 29.46 | cls tesoro | -84.39 | -14.41 | 218.72 | 201.63 |
| 0.00 | -127.78 | -126.78 | 98.23 | 103.82 | 22.25 | 27.82 | cls tesoro | -83.10 | -14.33 | 211.55 | 196.06 |
| 0.00 | -123.09 | -122.17 | 94.41 | 99.79 | 22.25 | 27.82 | cls tesoro | -82.36 | -14.33 | 207.59 | 192.82 |
| 0.00 | -114.66 | -113.81 | 87.89 | 92.90 | 20.94 | 26.19 | cls tesoro | -81.07 | -12.17 | 197.72 | 184.23 |
| 0.00 | -106.61 | -105.83 | 81.64 | 86.30 | 19.74 | 24.68 | cls tesoro | -79.75 | -12.11 | 191.21 | 179.13 |

| | | | | | | | | | | | |
|------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|----------|--------|--------|--------|--------|
| 0.00 | -98.67 | -97.96 | 75.49 | 79.80 | 18.55 | 23.19 | cls teso | -78.44 | -12.05 | 184.91 | 174.19 |
| 0.00 | -91.54 | -90.91 | 69.93 | 73.93 | 17.60 | 22.01 | cls teso | -76.81 | -11.91 | 178.57 | 168.97 |
| 0.00 | -84.53 | -83.96 | 64.46 | 68.15 | 16.66 | 20.83 | cls teso | -75.18 | -9.35 | 168.78 | 160.00 |
| 0.00 | -77.95 | -77.45 | 59.32 | 62.72 | 15.84 | 19.81 | cls teso | -74.20 | -9.35 | 164.16 | 156.40 |
| 0.00 | -71.50 | -71.06 | 54.27 | 57.38 | 15.03 | 18.80 | cls teso | -73.21 | -9.35 | 159.76 | 152.95 |
| 0.00 | -65.15 | -64.78 | 49.32 | 52.15 | 14.23 | 17.80 | cls teso | -72.23 | -9.35 | 155.60 | 149.67 |
| 0.00 | -58.92 | -58.61 | 44.45 | 47.00 | 13.44 | 16.81 | cls teso | -70.64 | -9.60 | 151.12 | 145.98 |
| 0.00 | -53.08 | -52.83 | 39.87 | 42.17 | 12.76 | 15.95 | cls teso | -69.32 | -9.54 | 146.94 | 142.46 |
| 0.00 | -47.35 | -47.16 | 35.38 | 37.43 | 12.08 | 15.11 | cls teso | -68.00 | -9.48 | 143.00 | 139.10 |
| 0.00 | -41.74 | -41.61 | 30.98 | 32.78 | 11.41 | 14.27 | cls teso | -66.68 | -9.42 | 139.30 | 135.91 |
| 0.00 | -36.24 | -36.17 | 26.68 | 28.23 | 10.76 | 13.45 | cls teso | -65.36 | -10.91 | 138.33 | 135.46 |
| 0.00 | -31.06 | -31.04 | 22.60 | 23.93 | 10.17 | 12.72 | cls teso | -64.10 | -11.03 | 135.60 | 133.05 |
| 0.00 | -25.98 | -26.02 | 18.62 | 19.73 | 9.60 | 12.01 | cls teso | -62.84 | -11.16 | 133.13 | 130.82 |
| 0.00 | -21.14 | -21.23 | 14.81 | 15.70 | 9.08 | 11.35 | cls teso | -61.17 | -11.20 | 130.16 | 127.96 |
| 0.00 | -16.41 | -16.55 | 11.10 | 11.78 | 8.56 | 10.71 | cls teso | -59.50 | -11.27 | 127.45 | 125.29 |
| 0.00 | -11.94 | -12.13 | 7.57 | 8.06 | 8.11 | 10.14 | cls teso | -58.39 | -11.34 | 125.96 | 123.77 |
| 0.00 | -7.59 | -7.83 | 4.14 | 4.43 | 7.66 | 9.58 | cls teso | -57.28 | -11.42 | 124.71 | 122.41 |
| 0.00 | -3.35 | -3.64 | 0.81 | 0.91 | 7.23 | 9.04 | cls teso | -56.17 | -11.50 | 123.67 | 121.20 |
| 0.00 | 0.77 | 0.44 | -2.44 | -2.52 | 6.80 | 8.51 | cls teso | -55.06 | -11.58 | 122.83 | 120.14 |

Come si deduce dall'ultima tabella riportata la verifica di resistenza è soddisfatta in quanto le massime tensioni risultano inferiori a quelle al limite elastico del materiali.

SEZIONE TIPO SU PILA

SOLLECITAZIONI FASE 1

| | | | | | | |
|-----|------|----------|------|------|------|-----------|
| MAX | 0.00 | 4851.89 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | -31277.02 |
| MIN | 0.00 | -5812.85 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | -62661.10 |

TABLE: Element Forces - Frames

| Frame | Station | OutputCase | CaseType | P | V2 | V3 | T | M2 | M3 |
|-------|---------|------------|-------------|-----------|-----------|----|------|------|------------|
| Text | m | Text | Text | KN | KN | KN | KN-m | KN-m | KN-m |
| 3 | 0 | SLU | Combination | -1.72E-10 | 3687.544 | 0 | 0 | 0 | -37042.807 |
| 3 | 0.5 | SLU | Combination | -1.72E-10 | 3784.573 | 0 | 0 | 0 | -38910.836 |
| 3 | 1 | SLU | Combination | -1.72E-10 | 3881.601 | 0 | 0 | 0 | -40827.38 |
| 3 | 1.5 | SLU | Combination | -1.72E-10 | 3978.63 | 0 | 0 | 0 | -42792.438 |
| 3 | 2 | SLU | Combination | -1.87E-10 | 4075.659 | 0 | 0 | 0 | -44806.01 |
| 3 | 2.5 | SLU | Combination | -1.87E-10 | 4172.687 | 0 | 0 | 0 | -46868.096 |
| 3 | 3 | SLU | Combination | -1.87E-10 | 4269.716 | 0 | 0 | 0 | -48978.697 |
| 3 | 3.5 | SLU | Combination | -1.87E-10 | 4366.745 | 0 | 0 | 0 | -51137.812 |
| 3 | 4 | SLU | Combination | -2.10E-10 | 4463.773 | 0 | 0 | 0 | -53345.442 |
| 3 | 4.5 | SLU | Combination | -2.10E-10 | 4560.802 | 0 | 0 | 0 | -55601.586 |
| 3 | 5 | SLU | Combination | -2.10E-10 | 4657.83 | 0 | 0 | 0 | -57906.244 |
| 3 | 5.5 | SLU | Combination | -2.10E-10 | 4754.859 | 0 | 0 | 0 | -60259.416 |
| 3 | 6 | SLU | Combination | -2.10E-10 | 4851.888 | 0 | 0 | 0 | -62661.103 |
| 4 | 0 | SLU | Combination | -2.15E-10 | -5812.851 | 0 | 0 | 0 | -62661.103 |
| 4 | 0.5 | SLU | Combination | -2.15E-10 | -5715.823 | 0 | 0 | 0 | -59778.934 |
| 4 | 1 | SLU | Combination | -2.15E-10 | -5618.794 | 0 | 0 | 0 | -56945.28 |
| 4 | 1.5 | SLU | Combination | -2.15E-10 | -5521.766 | 0 | 0 | 0 | -54160.14 |
| 4 | 2 | SLU | Combination | -2.49E-10 | -5424.737 | 0 | 0 | 0 | -51423.514 |
| 4 | 2.5 | SLU | Combination | -2.49E-10 | -5327.708 | 0 | 0 | 0 | -48735.403 |
| 4 | 3 | SLU | Combination | -2.49E-10 | -5230.68 | 0 | 0 | 0 | -46095.806 |
| 4 | 3.5 | SLU | Combination | -2.49E-10 | -5133.651 | 0 | 0 | 0 | -43504.723 |
| 4 | 4 | SLU | Combination | -2.87E-10 | -5036.623 | 0 | 0 | 0 | -40962.155 |
| 4 | 4.5 | SLU | Combination | -2.87E-10 | -4939.594 | 0 | 0 | 0 | -38468.101 |
| 4 | 5 | SLU | Combination | -2.87E-10 | -4842.565 | 0 | 0 | 0 | -36022.561 |
| 4 | 5.5 | SLU | Combination | -2.87E-10 | -4745.537 | 0 | 0 | 0 | -33625.535 |
| 4 | 6 | SLU | Combination | -2.87E-10 | -4648.508 | 0 | 0 | 0 | -31277.024 |

SOLLECITAZIONI FASE 2

| | | | | | | |
|-----|------|----------|-----------|-----------|------------|-----------|
| MAX | 0.00 | 5159.87 | 9488.49 | 25312.60 | 177868.14 | 23673.14 |
| MIN | 0.00 | -5778.49 | -13118.51 | -17369.28 | -260085.64 | -62075.12 |

| TABLE: Element Forces - Frames | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|---------|------------|-------------|----------|------------|-----------|-----------|------------|------------|------------|
| Frame | Station | OutputCase | CaseType | StepType | P | V2 | V3 | T | M2 | M3 |
| Text | m | Text | Text | Text | KN | KN | KN | KN-m | KN-m | KN-m |
| 3 | 0.00 | ENV_SLU | Combination | Max | -2.052E-10 | 4231.61 | 3498.188 | 7663.195 | 164798.833 | 18628.9559 |
| 3 | 0.50 | ENV_SLU | Combination | Max | -2.052E-10 | 4280.749 | 3498.188 | 7702.4795 | 165942.667 | 17702.2481 |
| 3 | 1.00 | ENV_SLU | Combination | Max | -2.052E-10 | 4329.889 | 3498.188 | 7741.7641 | 167086.5 | 16760.368 |
| 3 | 1.50 | ENV_SLU | Combination | Max | -2.052E-10 | 4379.029 | 3498.188 | 7781.0486 | 168230.333 | 15803.3156 |
| 3 | 2.00 | ENV_SLU | Combination | Max | -1.889E-10 | 4428.168 | 4577.868 | 7811.3111 | 167155.14 | 14831.0908 |
| 3 | 2.50 | ENV_SLU | Combination | Max | -1.889E-10 | 4561.772 | 4577.868 | 7960.7547 | 168366.669 | 14363.8192 |
| 3 | 3.00 | ENV_SLU | Combination | Max | -1.889E-10 | 4695.376 | 4577.868 | 8110.1983 | 169578.197 | 13881.3601 |
| 3 | 3.50 | ENV_SLU | Combination | Max | -1.889E-10 | 4769.186 | 4577.868 | 8188.7674 | 170840.216 | 12909.974 |
| 3 | 4.00 | ENV_SLU | Combination | Max | -2.104E-10 | 4842.996 | 3210.471 | 6829.6201 | 174596.583 | 11923.4004 |
| 3 | 4.50 | ENV_SLU | Combination | Max | -2.104E-10 | 4922.183 | 3210.471 | 6903.3931 | 175414.079 | 11601.1452 |
| 3 | 5.00 | ENV_SLU | Combination | Max | -2.104E-10 | 5001.369 | 3210.471 | 6977.1661 | 176231.576 | 11263.7177 |
| 3 | 5.50 | ENV_SLU | Combination | Max | -2.104E-10 | 5080.556 | 3210.471 | 7050.9391 | 177049.073 | 10911.118 |
| 3 | 6.00 | ENV_SLU | Combination | Max | -2.104E-10 | 5159.865 | 3210.471 | 7124.8168 | 177868.14 | 10542.663 |
| 3 | 0.00 | ENV_SLU | Combination | Min | -1.151E-09 | 187.946 | -2662.422 | -11731.26 | -240208.51 | -43287.781 |
| 3 | 0.50 | ENV_SLU | Combination | Min | -1.151E-09 | 242.06 | -2662.422 | -11785.348 | -241780.05 | -44556.532 |
| 3 | 1.00 | ENV_SLU | Combination | Min | -1.151E-09 | 296.175 | -2662.422 | -11839.435 | -243351.59 | -45840.456 |
| 3 | 1.50 | ENV_SLU | Combination | Min | -1.151E-09 | 350.29 | -2662.422 | -11893.522 | -244923.13 | -47139.552 |
| 3 | 2.00 | ENV_SLU | Combination | Min | -9.98E-10 | 404.405 | -2901.807 | -11947.02 | -243686.93 | -48453.821 |
| 3 | 2.50 | ENV_SLU | Combination | Min | -9.98E-10 | 434.923 | -2901.807 | -12194.831 | -245879.66 | -49952.914 |
| 3 | 3.00 | ENV_SLU | Combination | Min | -9.98E-10 | 465.441 | -2901.807 | -12442.642 | -248072.39 | -51467.196 |
| 3 | 3.50 | ENV_SLU | Combination | Min | -9.98E-10 | 513.421 | -2901.807 | -12550.817 | -250270.35 | -53103.056 |
| 3 | 4.00 | ENV_SLU | Combination | Min | -1.083E-09 | 561.4 | -2582.46 | -9980.2013 | -255200.68 | -54754.105 |
| 3 | 4.50 | ENV_SLU | Combination | Min | -1.083E-09 | 591.76 | -2582.46 | -10101.762 | -256420.34 | -56560.647 |
| 3 | 5.00 | ENV_SLU | Combination | Min | -1.083E-09 | 622.12 | -2582.46 | -10223.323 | -257640 | -58382.361 |
| 3 | 5.50 | ENV_SLU | Combination | Min | -1.083E-09 | 652.48 | -2582.46 | -10344.884 | -258859.66 | -60219.248 |
| 3 | 6.00 | ENV_SLU | Combination | Min | -1.083E-09 | 682.9 | -2582.46 | -10466.589 | -260081.71 | -62075.117 |
| 4 | 0.00 | ENV_SLU | Combination | Max | -2.012E-10 | -1894.993 | 8360.417 | 25312.5961 | 177787.578 | 10544.5933 |
| 4 | 0.50 | ENV_SLU | Combination | Max | -2.012E-10 | -1864.634 | 8360.417 | 25232.273 | 173639.835 | 11505.9444 |
| 4 | 1.00 | ENV_SLU | Combination | Max | -2.012E-10 | -1834.274 | 8360.417 | 25151.9499 | 169492.091 | 12452.1233 |
| 4 | 1.50 | ENV_SLU | Combination | Max | -2.012E-10 | -1803.914 | 8360.417 | 25071.6268 | 165344.348 | 13383.1298 |
| 4 | 2.00 | ENV_SLU | Combination | Max | -1.767E-10 | -1773.554 | 9488.493 | 24987.0106 | 160669.318 | 14298.964 |
| 4 | 2.50 | ENV_SLU | Combination | Max | -1.767E-10 | -1742.002 | 9488.493 | 24878.8357 | 156127.538 | 15442.1579 |
| 4 | 3.00 | ENV_SLU | Combination | Max | -1.767E-10 | -1710.45 | 9488.493 | 24770.6608 | 151585.757 | 16570.1643 |
| 4 | 3.50 | ENV_SLU | Combination | Max | -1.767E-10 | -1680.045 | 9488.493 | 24604.3472 | 147043.977 | 17555.714 |
| 4 | 4.00 | ENV_SLU | Combination | Max | -1.929E-10 | -1649.639 | 7076.695 | 25013.6787 | 143912.019 | 18526.0762 |



| | | | | | | | | | | |
|---|------|---------|-------------|-----|------------|-----------|------------|------------|------------|------------|
| 4 | 4.50 | ENV_SLU | Combination | Max | -1.929E-10 | -1616.753 | 7076.695 | 24959.5912 | 140810.595 | 19835.0291 |
| 4 | 5.00 | ENV_SLU | Combination | Max | -1.929E-10 | -1583.867 | 7076.695 | 24905.5038 | 137709.172 | 21128.8098 |
| 4 | 5.50 | ENV_SLU | Combination | Max | -1.929E-10 | -1550.981 | 7076.695 | 24851.4164 | 134607.748 | 22407.4181 |
| 4 | 6.00 | ENV_SLU | Combination | Max | -1.929E-10 | -1518.034 | 7076.695 | 24790.8166 | 131499.985 | 23673.1449 |
| 4 | 0.00 | ENV_SLU | Combination | Min | -1.08E-09 | -5778.488 | -13118.51 | -17369.281 | -260085.64 | -62069.937 |
| 4 | 0.50 | ENV_SLU | Combination | Min | -1.08E-09 | -5714.312 | -13118.51 | -17315.126 | -253925.57 | -59526.32 |
| 4 | 1.00 | ENV_SLU | Combination | Min | -1.08E-09 | -5650.136 | -13118.51 | -17260.97 | -247765.5 | -56997.875 |
| 4 | 1.50 | ENV_SLU | Combination | Min | -1.08E-09 | -5585.961 | -13118.51 | -17206.814 | -241605.43 | -54484.603 |
| 4 | 2.00 | ENV_SLU | Combination | Min | -1.056E-09 | -5521.785 | -12145.599 | -17148.725 | -234626.97 | -51986.503 |
| 4 | 2.50 | ENV_SLU | Combination | Min | -1.056E-09 | -5446.28 | -12145.599 | -17070.156 | -228716.16 | -49603.226 |
| 4 | 3.00 | ENV_SLU | Combination | Min | -1.056E-09 | -5370.776 | -12145.599 | -16991.587 | -222805.35 | -47235.138 |
| 4 | 3.50 | ENV_SLU | Combination | Min | -1.056E-09 | -5269.048 | -12145.599 | -16884.887 | -216894.53 | -44958.308 |
| 4 | 4.00 | ENV_SLU | Combination | Min | -1.069E-09 | -5167.32 | -10031.521 | -17174.765 | -211481.87 | -42696.666 |
| 4 | 4.50 | ENV_SLU | Combination | Min | -1.069E-09 | -5115.663 | -10031.521 | -17135.481 | -206957.69 | -40569.485 |
| 4 | 5.00 | ENV_SLU | Combination | Min | -1.069E-09 | -5064.006 | -10031.521 | -17096.196 | -202433.51 | -38457.476 |
| 4 | 5.50 | ENV_SLU | Combination | Min | -1.069E-09 | -5012.349 | -10031.521 | -17056.912 | -197909.34 | -36360.64 |
| 4 | 6.00 | ENV_SLU | Combination | Min | -1.069E-09 | -4960.535 | -10031.521 | -17017.497 | -193376.48 | -34275.005 |

TENSIONI FASE 1+2

| | | | | | | | | | | | | |
|-----|------|---------|---------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| MAX | 0.00 | -13.32 | -12.13 | 166.34 | 175.56 | 82.88 | 86.07 | -16.78 | 38.13 | 26.10 | 244.34 | 214.18 |
| MIN | 0.00 | -206.61 | -204.23 | 13.98 | 14.65 | 45.76 | 47.52 | -37.69 | -42.96 | -17.91 | 98.39 | 84.19 |

| TABLE: Element Tension - Frames | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|---------|---------|--------|--------|-----------------|-----------------|----------|-------|--------|----------|--------|--|
| SIGMA N | SIGMA M | | | | | | | TAU1 | TAU2 | SIGMA ID | | |
| | w1 | w2 | w3 | w4 | Ainf | Asup | w5 | | | w2 | w3 | |
| 0.00 | -31.24 | -29.83 | 28.44 | 29.92 | barre compresse | barre compresse | -29.66 | 31.08 | 7.90 | 130.81 | 119.59 | |
| 0.00 | -35.88 | -34.40 | 32.23 | 33.92 | barre compresse | barre compresse | -28.18 | 31.47 | 7.94 | 133.80 | 122.42 | |
| 0.00 | -40.62 | -39.07 | 36.11 | 38.01 | barre compresse | barre compresse | -26.68 | 31.87 | 7.98 | 136.89 | 125.34 | |
| 0.00 | -45.48 | -43.85 | 40.08 | 42.19 | barre compresse | barre compresse | -25.16 | 32.27 | 8.02 | 140.09 | 128.35 | |
| 0.00 | -50.44 | -48.73 | 44.13 | 46.47 | barre compresse | barre compresse | -23.61 | 32.67 | 8.05 | 143.39 | 131.43 | |
| 0.00 | -54.65 | -52.87 | 47.61 | 50.14 | barre compresse | barre compresse | -22.87 | 33.64 | 8.21 | 148.22 | 135.93 | |
| 0.00 | -58.96 | -57.10 | 51.19 | 53.91 | barre compresse | barre compresse | -22.10 | 34.60 | 8.36 | 153.14 | 140.51 | |
| 0.00 | -64.17 | -62.22 | 55.44 | 58.40 | barre compresse | barre compresse | -20.55 | 35.17 | 8.44 | 157.14 | 144.22 | |
| 0.00 | -69.47 | -67.44 | 59.79 | 62.98 | barre compresse | barre compresse | -18.98 | 35.73 | 7.04 | 158.79 | 145.52 | |
| 0.00 | -73.77 | -71.66 | 63.36 | 66.75 | barre compresse | barre compresse | -18.47 | 36.33 | 7.12 | 163.35 | 149.64 | |
| 0.00 | -78.17 | -75.97 | 67.02 | 70.61 | barre compresse | barre compresse | -17.93 | 36.93 | 7.19 | 167.99 | 153.82 | |
| 0.00 | -82.68 | -80.39 | 70.77 | 74.56 | barre compresse | barre compresse | -17.37 | 37.53 | 7.27 | 172.71 | 158.08 | |
| 0.00 | -87.29 | -84.91 | 74.60 | 78.60 | barre compresse | barre compresse | -16.78 | 38.13 | 7.35 | 177.52 | 162.40 | |
| 0.00 | -132.97 | -131.57 | 106.66 | 112.59 | 57.80 | 60.02 | cls teso | 3.76 | -12.10 | 134.15 | 109.96 | |
| 0.00 | -138.18 | -136.70 | 110.88 | 117.04 | 59.49 | 61.78 | cls teso | 4.19 | -12.15 | 139.08 | 113.94 | |
| 0.00 | -143.49 | -141.93 | 115.19 | 121.59 | 61.20 | 63.56 | cls teso | 4.62 | -12.21 | 144.14 | 118.01 | |
| 0.00 | -148.90 | -147.28 | 119.59 | 126.23 | 62.94 | 65.36 | cls teso | 5.05 | -12.26 | 149.30 | 122.19 | |
| 0.00 | -154.42 | -152.72 | 124.08 | 130.97 | 64.69 | 67.18 | cls teso | 5.49 | -12.32 | 154.59 | 126.47 | |

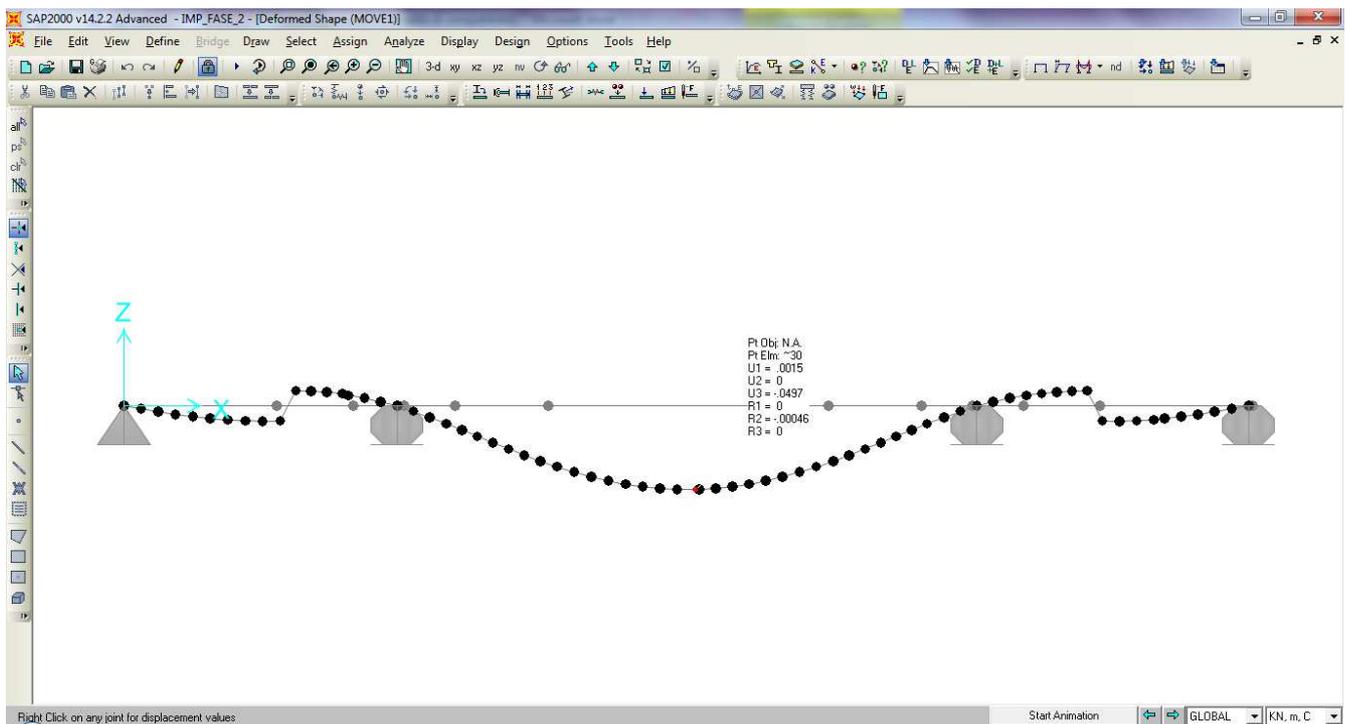
| | | | | | | | | | | | |
|------|---------|---------|--------|--------|-----------------|-----------------|----------|--------|--------|--------|--------|
| 0.00 | -160.33 | -158.55 | 128.86 | 136.02 | 66.70 | 69.26 | cls tesò | 5.76 | -12.57 | 160.38 | 131.21 |
| 0.00 | -166.34 | -164.48 | 133.74 | 141.16 | 68.72 | 71.36 | cls tesò | 6.03 | -12.83 | 166.28 | 136.05 |
| 0.00 | -172.63 | -170.69 | 138.83 | 146.54 | 70.90 | 73.63 | cls tesò | 6.42 | -12.94 | 172.38 | 140.99 |
| 0.00 | -179.03 | -177.00 | 144.02 | 152.01 | 73.11 | 75.92 | cls tesò | 6.81 | -10.29 | 177.86 | 145.11 |
| 0.00 | -185.77 | -183.65 | 149.46 | 157.76 | 75.52 | 78.42 | cls tesò | 7.08 | -10.42 | 184.47 | 150.51 |
| 0.00 | -192.61 | -190.41 | 155.00 | 163.60 | 77.95 | 80.95 | cls tesò | 7.35 | -10.54 | 191.19 | 155.99 |
| 0.00 | -199.56 | -197.27 | 160.62 | 169.53 | 80.40 | 83.49 | cls tesò | 7.62 | -10.67 | 198.01 | 161.57 |
| 0.00 | -206.61 | -204.23 | 166.34 | 175.56 | 82.88 | 86.07 | cls tesò | 7.89 | -10.79 | 204.95 | 167.25 |
| 0.00 | -87.29 | -84.91 | 74.60 | 78.60 | barre compresse | barre compresse | -16.79 | -16.73 | 26.10 | 131.28 | 114.79 |
| 0.00 | -80.90 | -78.63 | 69.34 | 73.06 | barre compresse | barre compresse | -18.32 | -16.46 | 26.02 | 127.72 | 111.56 |
| 0.00 | -74.61 | -72.45 | 64.17 | 67.60 | barre compresse | barre compresse | -19.82 | -16.19 | 25.93 | 124.27 | 108.41 |
| 0.00 | -68.43 | -66.38 | 59.08 | 62.24 | barre compresse | barre compresse | -21.30 | -15.92 | 25.85 | 120.91 | 105.35 |
| 0.00 | -62.36 | -60.41 | 54.09 | 56.97 | barre compresse | barre compresse | -22.76 | -15.65 | 25.76 | 117.64 | 102.37 |
| 0.00 | -55.99 | -54.14 | 48.87 | 51.47 | barre compresse | barre compresse | -24.58 | -15.37 | 25.65 | 114.72 | 99.63 |
| 0.00 | -49.73 | -47.98 | 43.74 | 46.06 | barre compresse | barre compresse | -26.38 | -15.09 | 25.54 | 111.90 | 96.98 |
| 0.00 | -43.79 | -42.13 | 38.86 | 40.91 | barre compresse | barre compresse | -27.95 | -14.82 | 25.37 | 108.94 | 94.22 |
| 0.00 | -37.95 | -36.39 | 34.07 | 35.85 | barre compresse | barre compresse | -29.49 | -14.55 | 25.79 | 106.72 | 92.29 |
| 0.00 | -31.63 | -30.17 | 28.92 | 30.41 | barre compresse | barre compresse | -31.58 | -14.26 | 25.74 | 104.51 | 90.15 |
| 0.00 | -25.42 | -24.06 | 23.85 | 25.07 | barre compresse | barre compresse | -33.64 | -13.97 | 25.68 | 102.39 | 88.08 |
| 0.00 | -19.32 | -18.04 | 18.87 | 19.82 | barre compresse | barre compresse | -35.67 | -13.68 | 25.62 | 100.35 | 86.10 |
| 0.00 | -13.32 | -12.13 | 13.98 | 14.65 | barre compresse | barre compresse | -37.69 | -13.40 | 25.56 | 98.39 | 84.19 |
| 0.00 | -206.61 | -204.22 | 166.33 | 175.55 | 82.87 | 86.06 | cls tesò | -42.96 | -17.91 | 244.34 | 214.18 |
| 0.00 | -197.61 | -195.34 | 159.07 | 167.89 | 79.48 | 82.53 | cls tesò | -42.46 | -17.85 | 236.07 | 207.50 |
| 0.00 | -188.73 | -186.56 | 151.90 | 160.33 | 76.10 | 79.03 | cls tesò | -41.96 | -17.80 | 227.93 | 200.92 |
| 0.00 | -179.95 | -177.89 | 144.82 | 152.85 | 72.75 | 75.54 | cls tesò | -41.47 | -17.74 | 219.93 | 194.46 |

| | | | | | | | | | | | |
|------|---------|---------|--------|--------|-------|-------|----------|--------|--------|--------|--------|
| 0.00 | -171.28 | -169.32 | 137.82 | 145.47 | 69.41 | 72.08 | cls teso | -40.97 | -17.68 | 212.07 | 188.11 |
| 0.00 | -162.87 | -161.02 | 131.04 | 138.31 | 66.23 | 68.78 | cls teso | -40.39 | -17.60 | 204.33 | 181.81 |
| 0.00 | -154.57 | -152.82 | 124.35 | 131.25 | 63.07 | 65.49 | cls teso | -39.82 | -17.52 | 196.73 | 175.62 |
| 0.00 | -146.51 | -144.85 | 117.84 | 124.37 | 60.03 | 62.34 | cls teso | -39.06 | -17.41 | 189.07 | 169.29 |
| 0.00 | -138.55 | -136.99 | 111.41 | 117.59 | 57.01 | 59.20 | cls teso | -38.31 | -17.71 | 182.10 | 163.67 |
| 0.00 | -130.89 | -129.42 | 105.22 | 111.06 | 54.17 | 56.25 | cls teso | -37.90 | -17.67 | 175.40 | 158.25 |
| 0.00 | -123.33 | -121.96 | 99.12 | 104.63 | 51.35 | 53.32 | cls teso | -37.48 | -17.63 | 168.84 | 152.95 |
| 0.00 | -115.89 | -114.61 | 93.11 | 98.28 | 48.55 | 50.41 | cls teso | -37.07 | -17.59 | 162.43 | 147.76 |
| 0.00 | -108.54 | -107.35 | 87.18 | 92.02 | 45.76 | 47.52 | cls teso | -36.65 | -17.55 | 156.16 | 142.68 |

Come si deduce dall'ultima tabella riportata la verifica di resistenza è soddisfatta in quanto le massime tensioni risultano inferiori a quelle al limite elastico dei materiali.

6.5.1.2 Verifiche di deformabilità – SLE

Ai fini della deformabilità si è determinato il massimo abbassamento dell'impalcato causato dai carichi mobili e si è rapportato al valore di $L/1000$ considerato accettabile per la tipologia di opera in oggetto.



Il massimo spostamento in campata è pari a circa 49 mm, pertanto:

$$v_{\max} = 49 \text{ mm} < L / 1000 = 67000 / 1000 = 67 \text{ mm}$$

6.5.2. SISTEMA DI VINCOLAMENTO

Come già descritto, il sistema di vincolamento è pensato per garantire l'isolamento sismico del ponte entrambe le direzioni, mediante appoggi a elastomero confinato.

Più in dettaglio, saranno disposti:

- 2 appoggi tipo Vasoflon multidirezionali, su ciascuna spalla
- 2 isolatori elastomerici a disco confinato, su ciascuna pila

Ai paragrafi seguenti è riportato il tabulato di calcolo dell'impalcato, dal quale possono essere ottenuti gli scarichi sul sistema di vincolamento.

Riassumendo quanto di seguito riportato, si ottiene:

SU SPALLA (per ogni asse di appoggio - valore caratteristico dei carichi):

| CASO DI CARICO | Fz [KN] | Fy [KN] | sx [mm] |
|----------------------|---------|---------|------------|
| PERMANENTI – FASE 1 | -628 | - | - |
| PERMANENTI – FASE 2 | -307 | - | - |
| ΔT + TERMICA | -936 | - | - |
| TERMICA | - | - | +83 \ - 48 |
| RITIRO | +267 | - | - |
| MOBILI | -1882 | - | - |
| VENTO | - | 84 | - |
| SISMA | - | - | - |

SU PILA (per ogni asse di appoggio - valore caratteristico dei carichi):

| CASO DI CARICO | Fz [KN] | Fy [KN] | sx [mm] |
|----------------------|---------|---------|------------|
| PERMANENTI – FASE 1 | -7900 | - | - |
| PERMANENTI – FASE 2 | -2686 | - | - |
| ΔT + TERMICA | +936 | - | - |
| TERMICA | - | - | +83 \ - 48 |
| RITIRO | -267 | - | - |
| MOBILI | -4053 | - | - |
| VENTO | - | 764 | - |
| SISMA | - | - | - |

Dai valori sopra riportati può essere scelto il dispositivo di appoggio tipo Vasoflon Multidirezionale.

Per gli isolatori elastomerici invece, essendo l'impalcato progettato iperstatico, deve essere fatta un'analisi che metta in conto l'intera massa di impalcato e di conseguenza definire il periodo del sistema isolato. Ipotizzando di adottare isolatori elastomerici tipo SI-N 700\80 con spostamento massimo pari a 150 mm, si ottiene l'azione che ogni dispositivo deve sopportare:

| | | |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------|
| Peso impalcato | W | 25'495.87 kN |
| altezza pila | L = | 4.00 m |
| modulo di deformazione | E = | 35'013'000.00 kN/m ² |
| momento d'inerzia in direzione x | J _{xx} = | 8.68580 m ⁴ |
| Rigidezza traslazionale impalcato | Kp1 | 14'255'433.53 kN/m |
| Rigidezza traslazionale impalcato | Kimp | 14'255'433.53 kN/m |
| Rigidezza traslazionale dispositivo singolo | Kis | 3'850.00 kN/m |
| Numero dispositivi | n | 4 |
| Rigidezza traslazionale sistema isolato (Kimp e Kis in serie) | Keq | 15'383.381 kN/m |
| Periodo sistema rigido | T _{rigido} | 0.085 sec |
| Periodo sistema isolato | T _{is} | 2.583 sec |
| Ordinata spettro elastico per T _{is} e smorzamento equivalente | Se (T _{is} , ξ _{is}) | 0.063 g |
| Forza complessiva orizzontale applicata al sistema di isolamento | F | 1'606.239 kN |
| Rigidezza minima | Keq, min | 13'846.538 kN/m |
| Spostamento centro di rigidezza | de | 0.116 m |
| Forza per dispositivo | | 401.560 kN |

7. DIMENSIONAMENTO DELL'OPERA: IMPALCATO TRASVERSALE

7.1. DIMENSIONAMENTO CONTROVENTAMENTI TRASVERSALI E SOLETTA

7.1.1. Modello di calcolo, analisi dei carichi e combinazioni di carico

Il dimensionamento della sezione trasversale d'impalcato (soletta e controventi) è eseguito mediante un apposito modello agli elementi finiti realizzato con SAP2000 Advanced v.14.2.2, in grado di analizzare lo stato tensio-deformativo.

Gli elementi costituenti la sezioni trasversale sono stati modellati con elementi tipo frames:

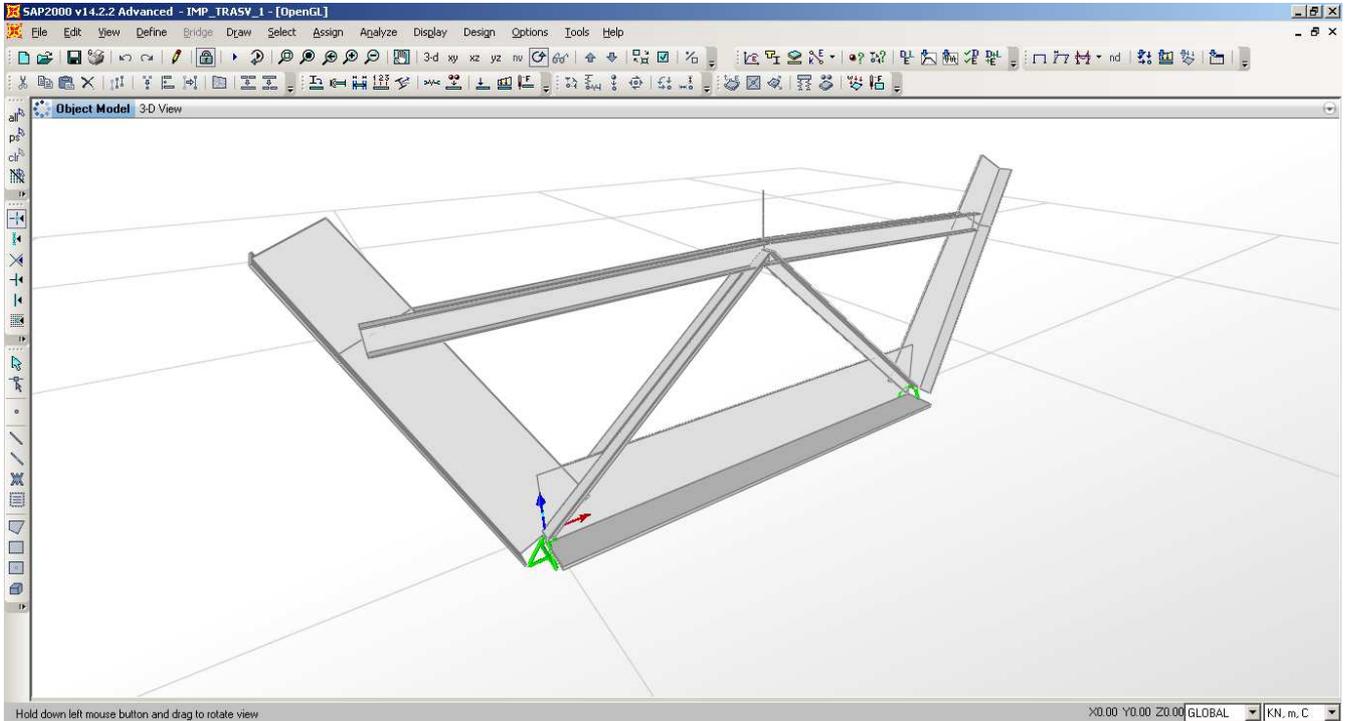
- Porzione di soletta superiore $b = 3500$ mm, $h = 300$ mm (essendo 3.50 m l'interasse tra due traversi consecutivi);
- Aste di parete diagonali ognuna delle quali costituite da 2 profili L 150x15 accoppiati;
- Asta di parete orizzontale (traverso intermedio) costituito da 4 profili a L 120x10 accoppiati a formare una sezione simile ad una doppia C;
- Nervature d'anima inclinate costituite da un piatto a sezione variabile (500x20) ÷ (800x20) e dalle relative porzioni d'anima del cassone considerabili come collaboranti con la nervatura (larghezza d'anima collaborante su ciascun lato della nervatura: $15 \cdot \varepsilon \cdot t_a = 15 \times 0.81 \times 16$ mm = 194 mm, approssimata a 190mm);
- Nervatura della flangia inferiore costituita da un piatto 780x20 e dalle relative porzioni di flangia del cassone considerabili come collaboranti (larghezza collaborante da ciascun lato della nervatura: $15 \cdot \varepsilon \cdot t_a = 15 \times 0.81 \times 35$ mm = 425mm).

Il sistema di vincolamento esterno è costituito da una cerniera ed un carrello; in tal modo si trascurano i modesti effetti conseguenti alle rigidità traslazionali dei vincoli effettivi.

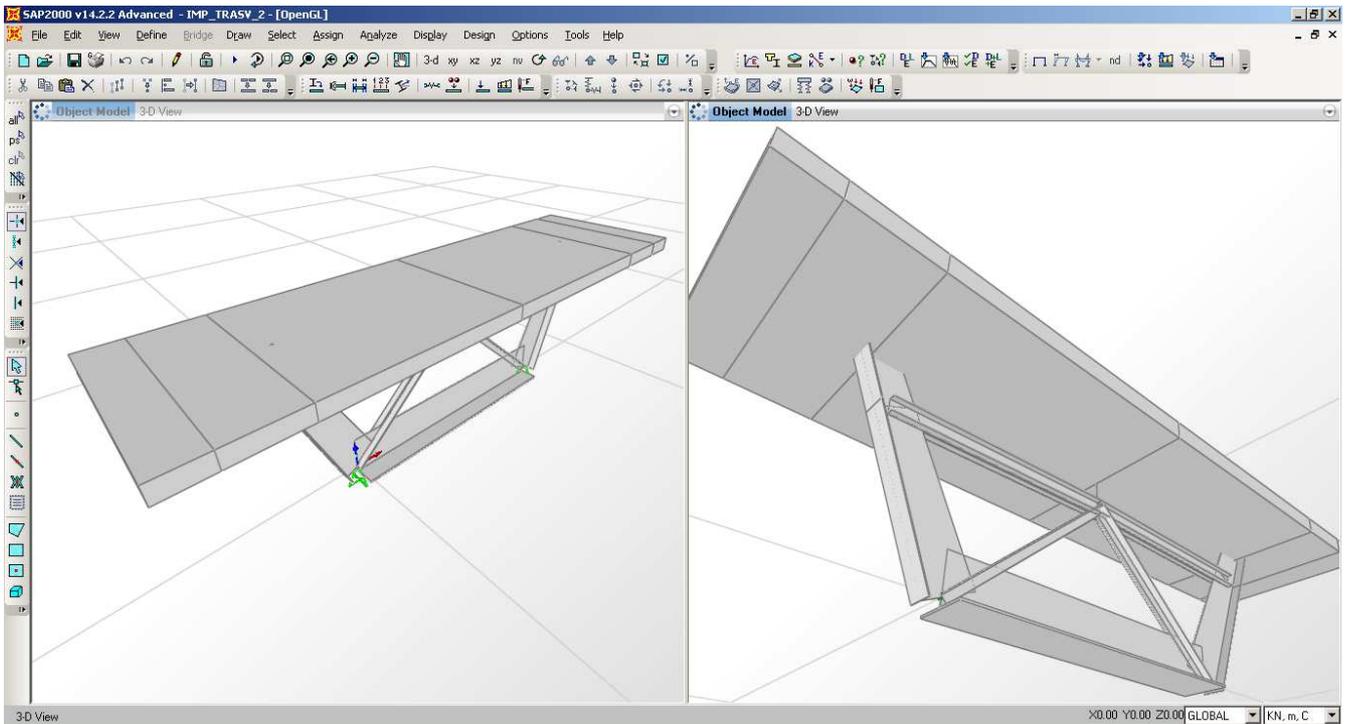
Al fine di tenere correttamente in conto delle diverse fasi costruttive di seguito descritte si sono implementati due modelli:

- 1 - Fase 1 - Montaggio delle lastre predalle ed esecuzione della soletta con caricamento della sola parte metallica (anche il peso della struttura metallica è attivo in questa prima fase);
- 2 – Fase 2 - Applicazione dei rimanenti carichi di esercizio una volta completata la struttura dell'impalcato (soletta maturata).

Le figure che seguono riportano la vista solida dei modelli di calcolo e le geometrie delle sezioni delle aste.



Modello di fase 1



Modello di fase 2

Tee Section

Section Name ANIMA 1

Section Notes

Properties

Property Modifiers

Material + S355

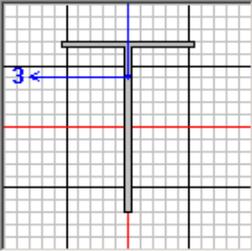
Dimensions

Outside stem (t3) 0.516

Outside flange (t2) 0.396

Flange thickness (tf) 0.016

Stem thickness (tw) 0.02



Display Color

Tee Section

Section Name ANIMA 2

Section Notes

Properties

Property Modifiers

Material + S355

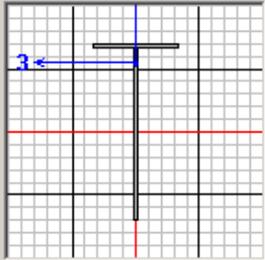
Dimensions

Outside stem (t3) 0.816

Outside flange (t2) 0.396

Flange thickness (tf) 0.016

Stem thickness (tw) 0.02



Display Color

Tee Section

Section Name

Section Notes

Properties

Property Modifiers

Material S355

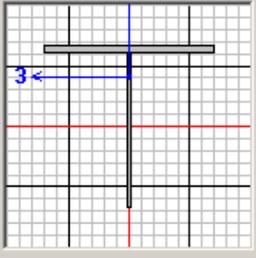
Dimensions

Outside stem (t3)

Outside flange (t2)

Flange thickness (tf)

Stem thickness (tw)



Display Color

Double Angle Section

Section Name

Section Notes

Extract Data from Section Property File

Properties

Property Modifiers

Material S355

Dimensions

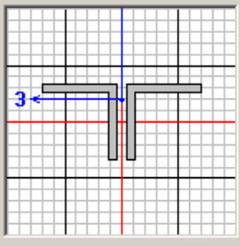
Outside depth (t3)

Outside width (t2)

Horizontal leg thickness (tf)

Vertical leg thickness (tw)

Back to back distance (dis)



Display Color

Double Channel Section

Section Name TRAVERSO

Section Notes

Properties Property Modifiers Material S355

Dimensions

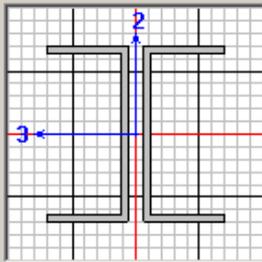
Outside depth (t3)

Outside width (t2)

Flange thickness (tf)

Web thickness (tw)

Back to back distance (dis)



Display Color

Rectangular Section

Section Name SOLETTA

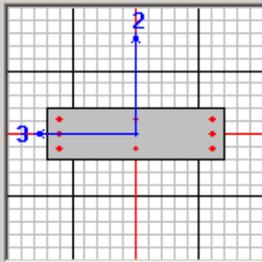
Section Notes

Properties Property Modifiers Material C32/40

Dimensions

Depth (t3)

Width (t2)



Display Color

I carichi in gioco sono i seguenti:

Fase 1

- Peso proprio della struttura metallica (calcolato automaticamente dal programma);
- Peso proprio delle lastre predalle e del getto della soletta, assegnato per area di influenza ai nodi della struttura metallica (si assume per il cls il peso del calcestruzzo fresco pari a 26 kN/mc che per semplicità e cautelativamente si applica anche alla lastra predalle per un carico complessivo di 7.8 kPa).

Fase 2

- Sovraccarichi permanenti costituiti dal peso di guardrail (1.0 kN/m), dotazioni impiantistiche e velette (1.5 kN/m), cordoli (3 kN/m), pavimentazione stradale (3 kPa);
- Coazioni: ΔT_{estiva} , $\Delta T_{\text{invernale}}$, ritiro;

gli effetti delle coazioni possono essere considerarsi trascurabili nelle analisi dell'impalcato in direzione trasversale. Eventuali analisi di dettaglio sono rimandate alle fase successive di progettazione;

- Carichi mobili:

La disposizione del carico da traffico è svolta in accordo con la normativa vigente (vedi § 5.1.3.3 D.M. 14 -01-2208). Il numero di colonne di carico e la distribuzione trasversale e longitudinale sono svolti in accordo con § 5.1.3.3 D.M. 14 -01-2208, valutando di volta in volta la condizione più gravosa per la verifica e la sezione in esame.

Sulla sezione dell'impalcato in oggetto (larghezza complessiva 11,90 m – carreggiata larga 10,50 m) devono essere considerate 3 colonne di carico di larghezza 3,00 m sulla carreggiata autostradale; la parte rimanente ($q_{Rk} = 2,5 \text{ kN/m}^2$) misura nel punto di larghezza massima 0,50 m.

- Urto sui sicurvia:

Le azioni d'urto agiscono sullo sbalzo della soletta. L'urto sul sicurvia è modellato come la simultanea presenza di una forza normale di membrana f (kN/m) agente in direzione trasversale ed un momento di piastra m (kNm/m) che inflette lo sbalzo tendendo le fibre superiori. Entrambe le azioni sono state considerate applicate al bordo estremo dello sbalzo.

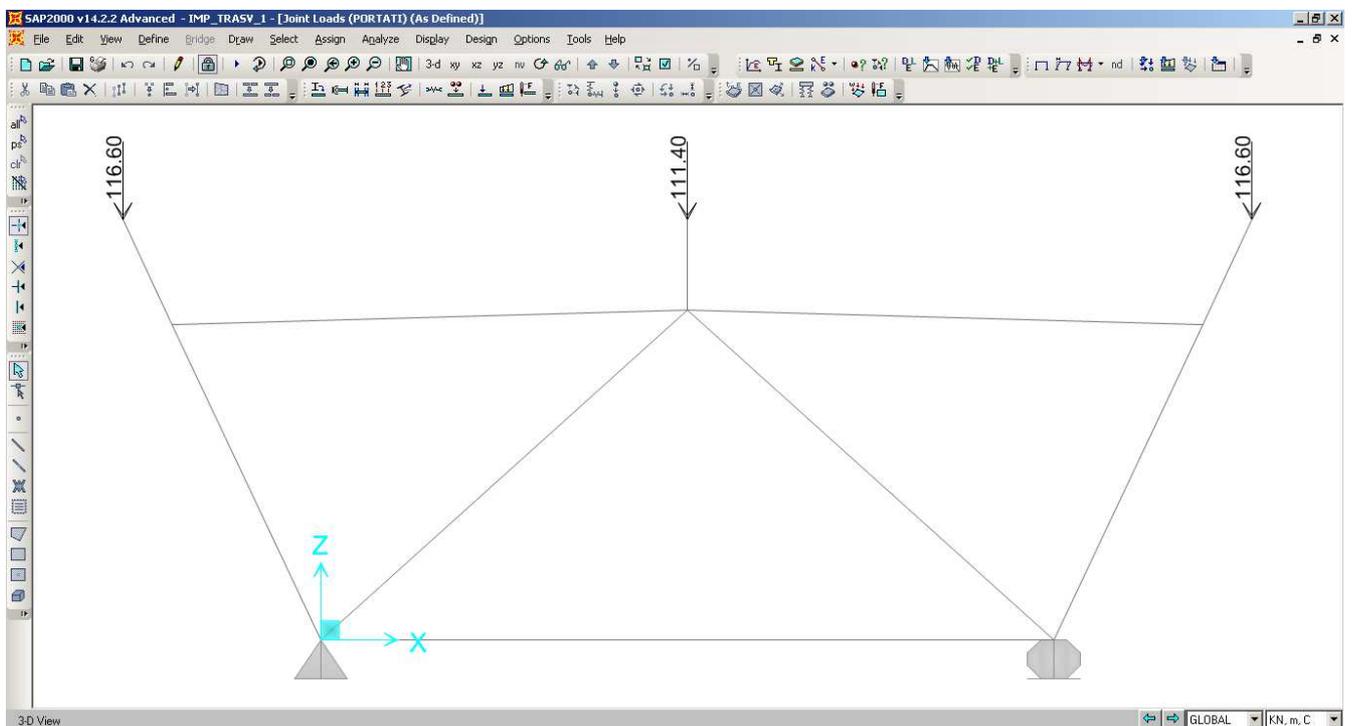
Per valutare f ed m si ipotizza che il sicurvia sia costituito da montanti posti ad interasse $i = 2.00 \text{ m}$ e che il singolo montante sia caratterizzato da un momento di plasticizzazione pari a 17.88 kNm. Considerando un'altezza di 0.60 m dal punto di impatto alla base del montante, ne deriva che l'azione d'urto equivalente corrisponde ad una forza trasversale $U = 29.80 \text{ kN}$.

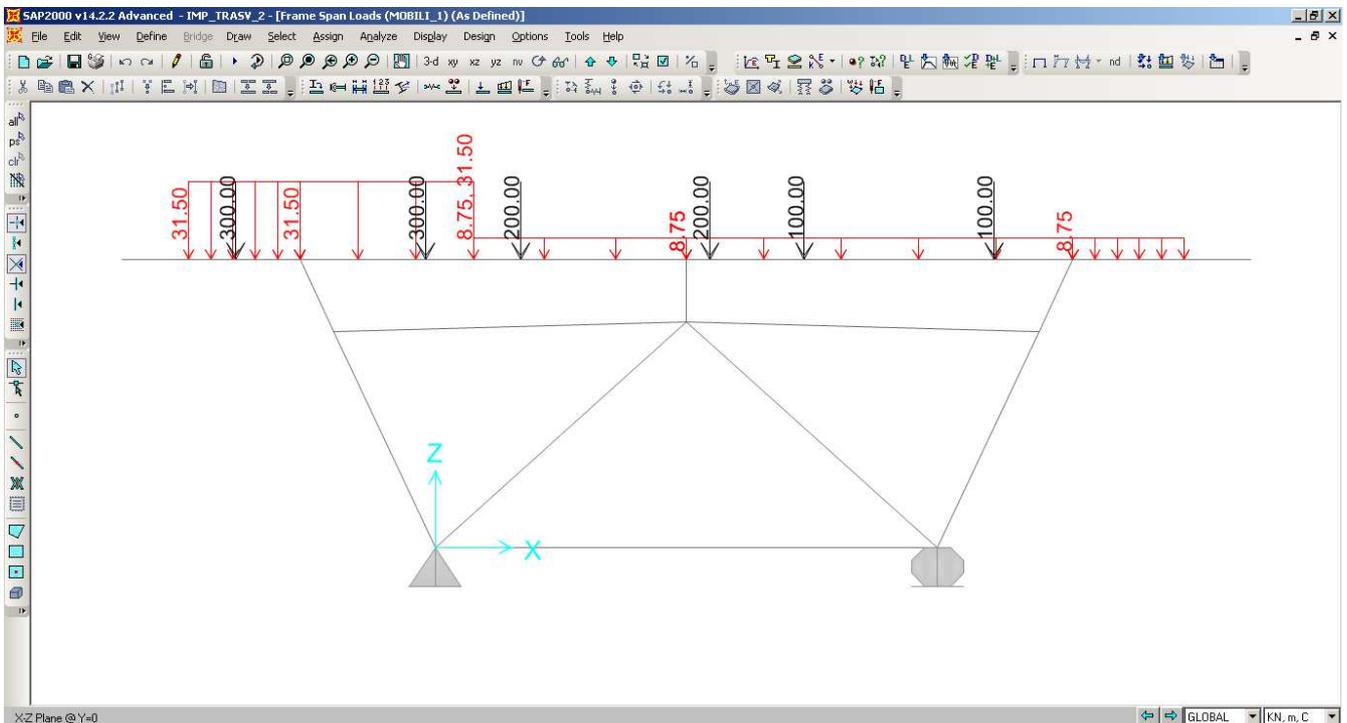
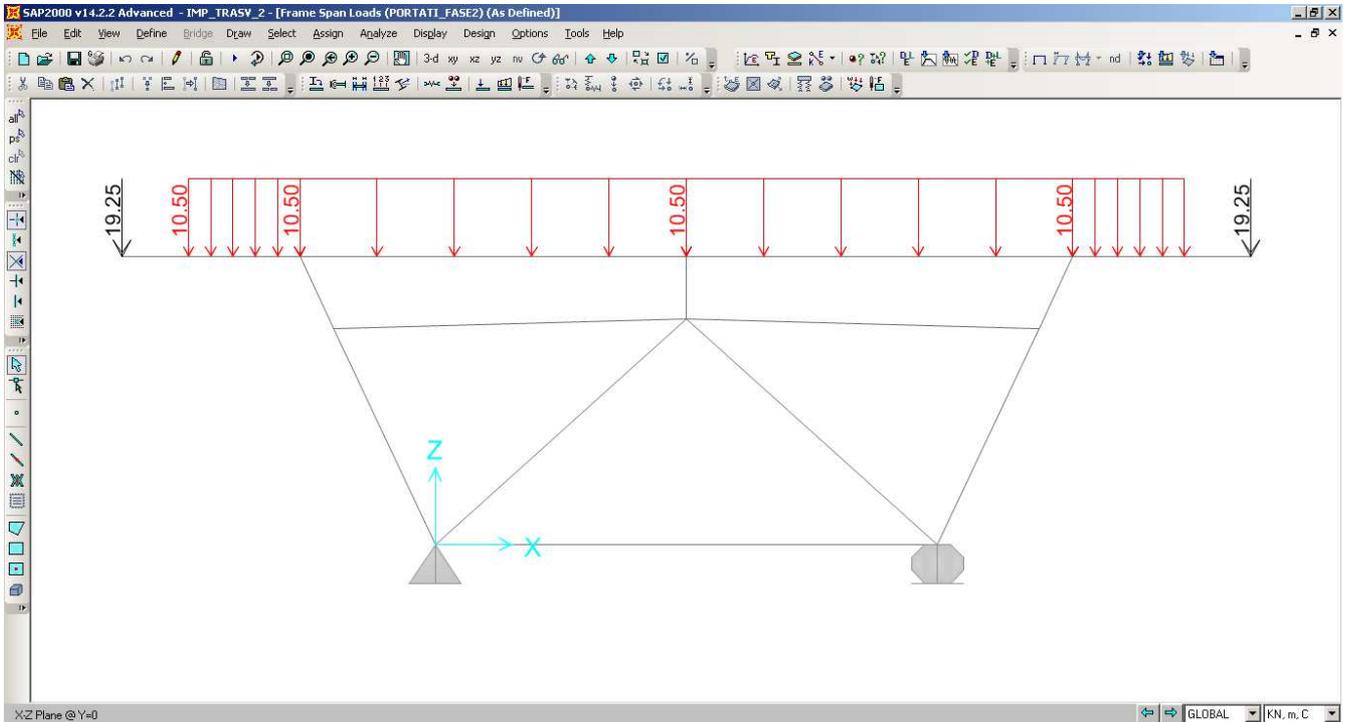
Si possono ora calcolare le azioni f ed m che agiscono alla quota del piano medio della soletta:

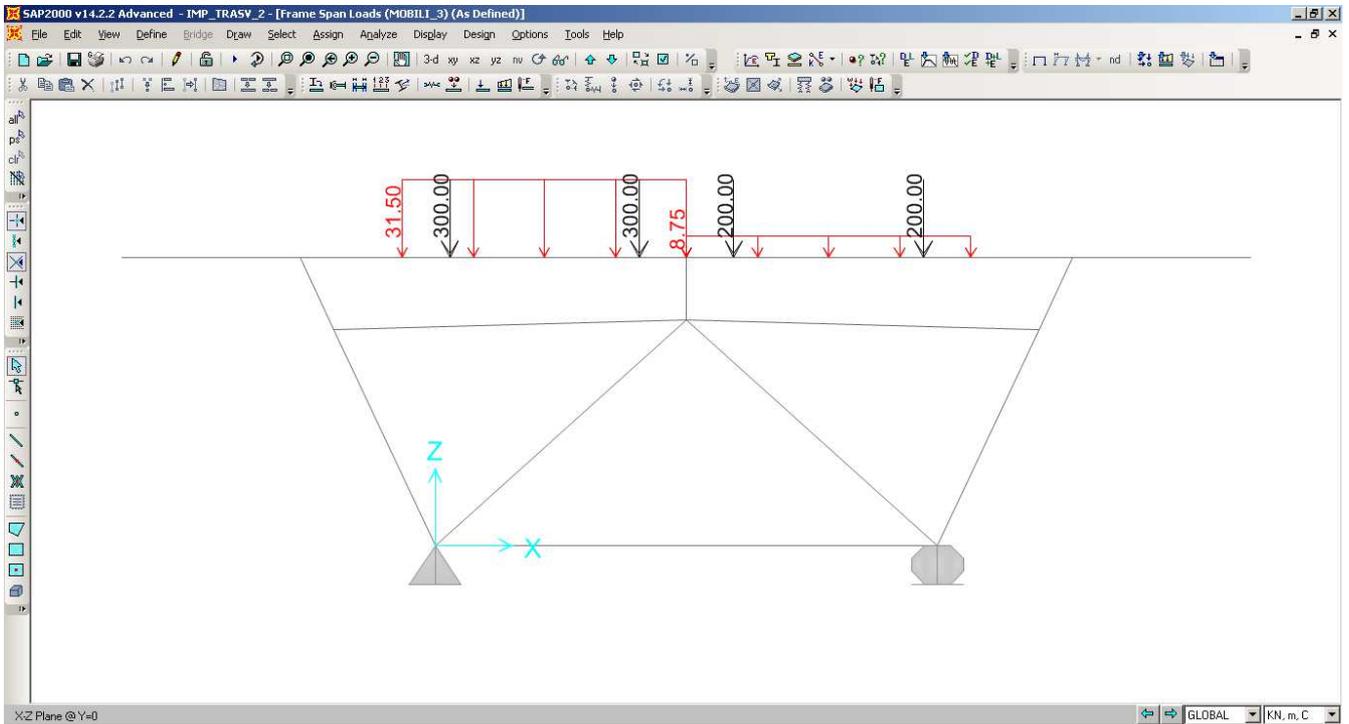
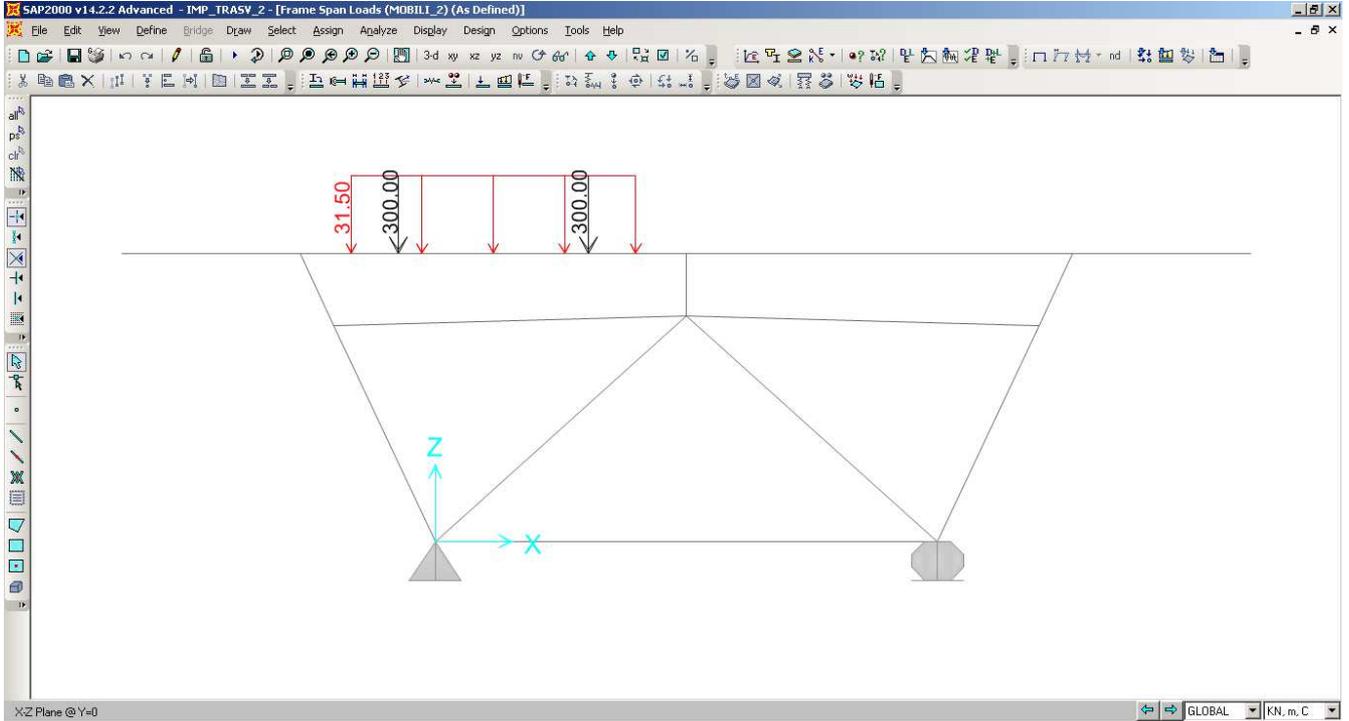
$$f = U/i = 14.90 \text{ kN/m}$$

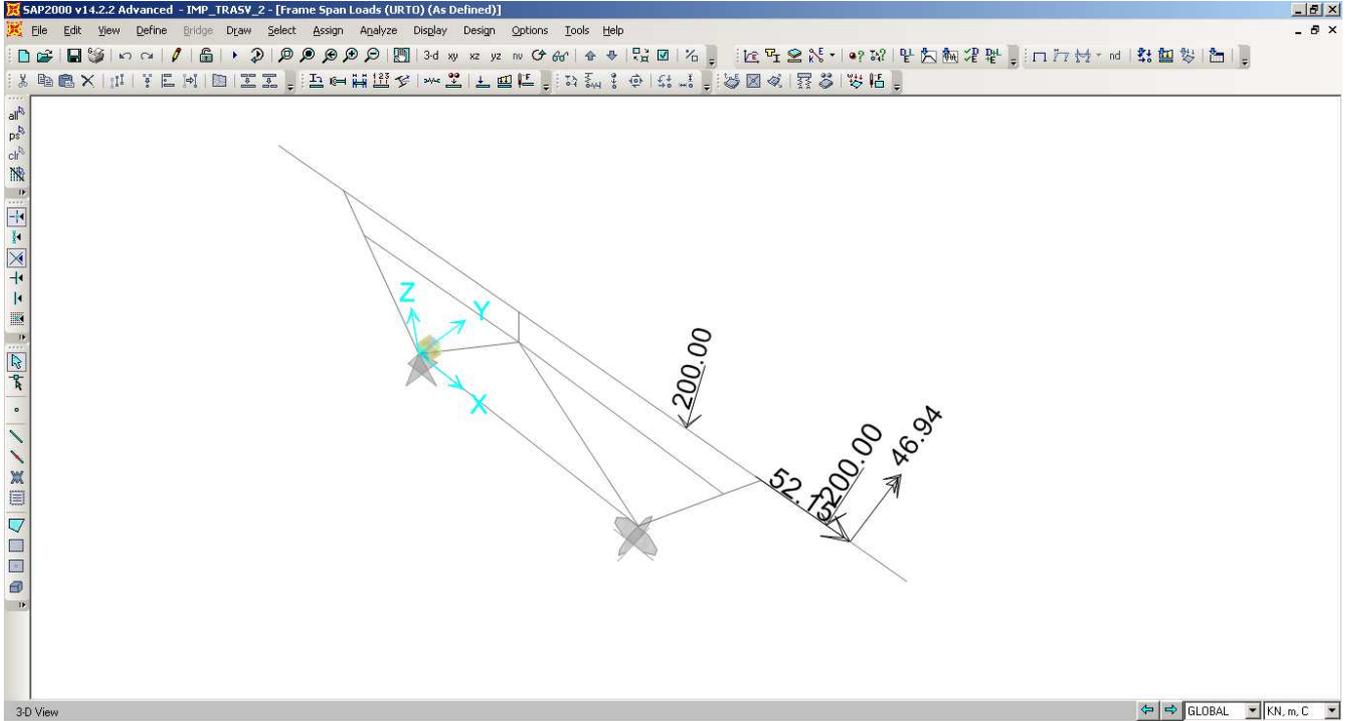
$$m = f \cdot (0.60 \text{ m} + 0.15 \text{ m} + 0.15 \text{ m}) = 13.41 \text{ kNm/m} \text{ (0.15 m porzione svettante di cordolo rispetto ad estradosso soletta)}$$

Le figure che seguono illustrano l'applicazione delle condizioni elementari di carico ai modelli e le combinazioni di carico di progetto adottate.





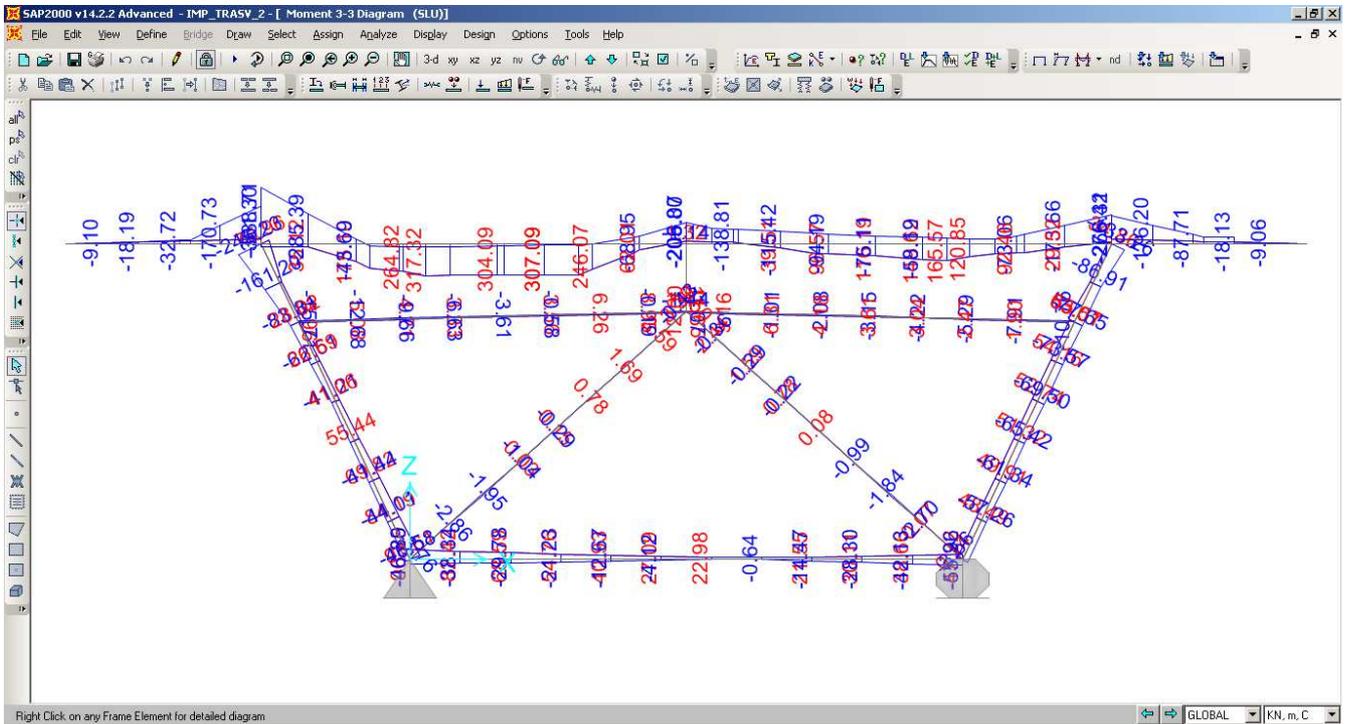
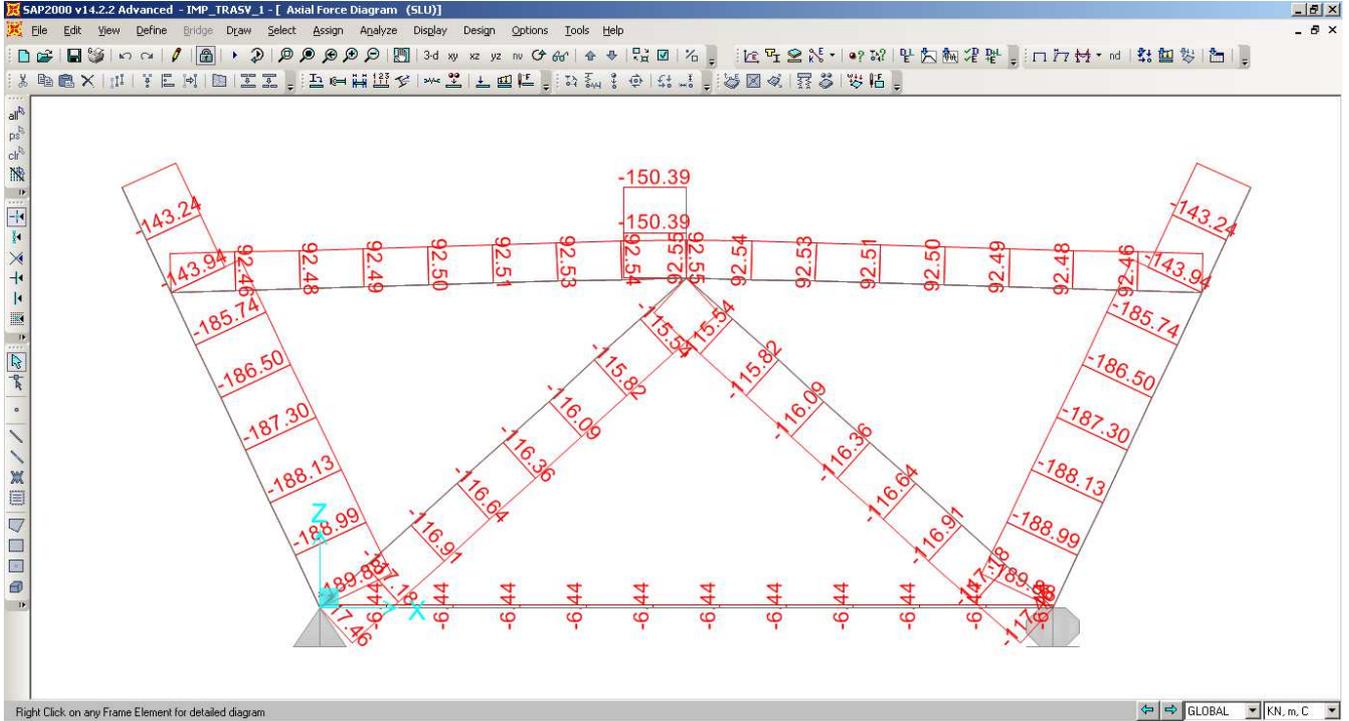


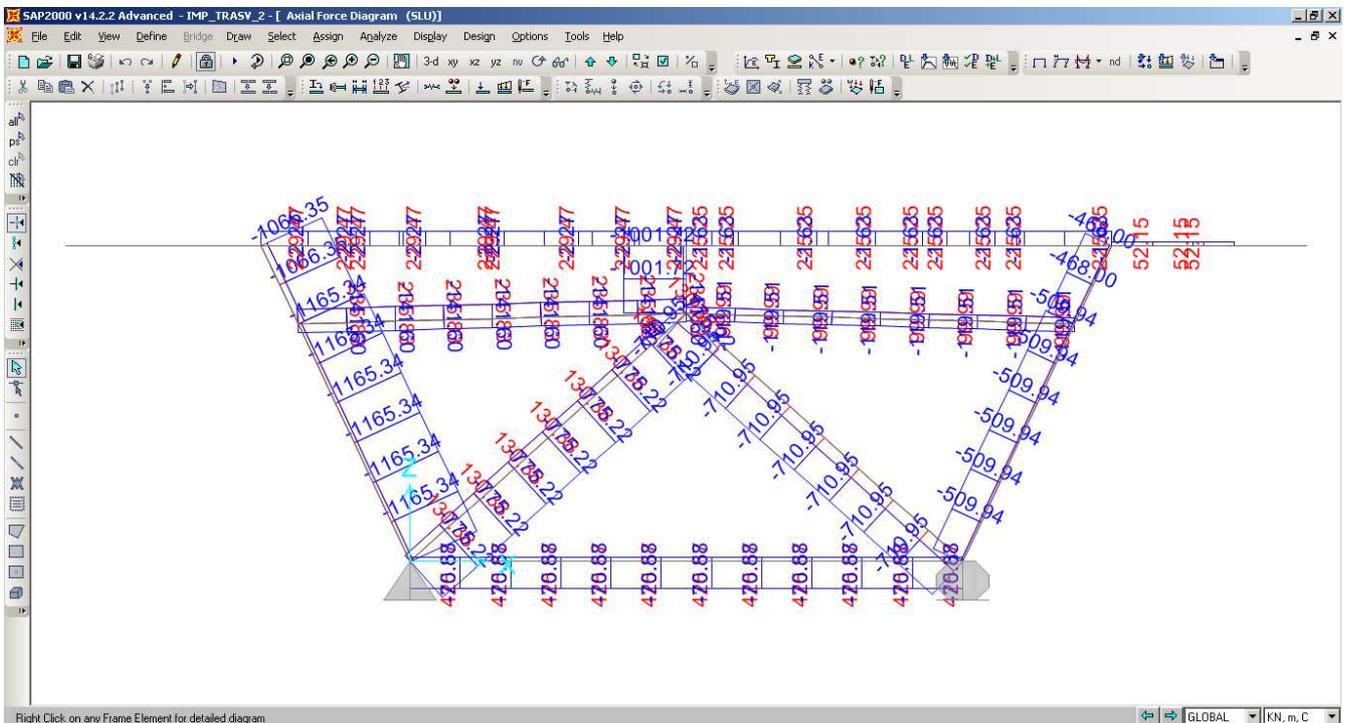
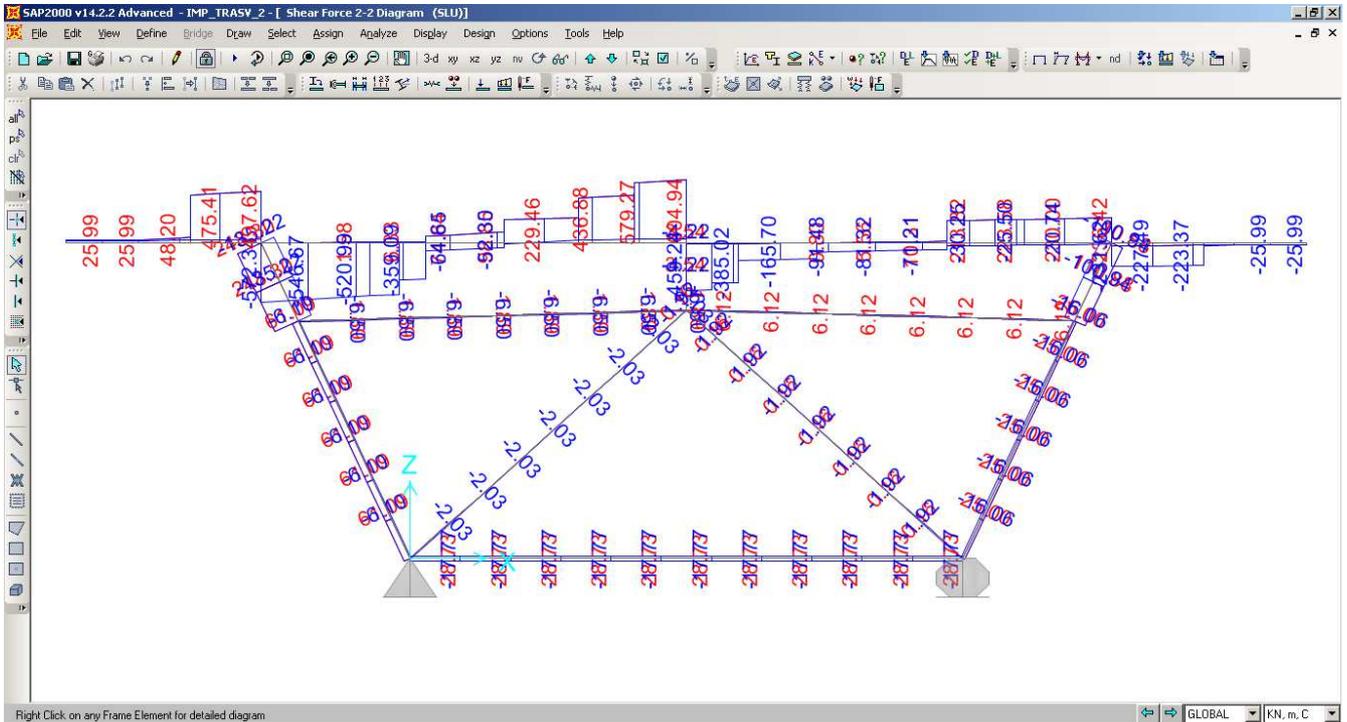


Di seguito si riportano le combinazioni di calcolo considerate:

| SLU | 1 | 2 | 3 |
|--------------|------|------|---|
| PESO PROPRIO | 1.35 | 1 | 1 |
| PERMANENTI | 1.35 | 1 | 1 |
| VEICOLI | 1.35 | 1.35 | 0 |
| URTO | 0 | 0 | 1 |

| SLE | 1 |
|--------------|---|
| PESO PROPRIO | 1 |
| PERMANENTI | 1 |
| VEICOLI | 1 |
| URTO | 0 |





Dai valori di sollecitazioni riportati, si evince immediatamente che le sollecitazioni flessioni e taglianti negli elementi in acciaio risulta trascurabile in quanto inferiore di 2 ordini di grandezza rispetto alle azioni assiali;

pertanto per le componenti in acciaio verrà svolta la sola verifica di resistenza a trazione (per le verifiche a compressione – stabilità – si rimanda al paragrafo successivo).

Nervature d'anima

Risultano sempre compresse; la verifica a trazione risulta superflua.

Nervatura inferiore

Le proprietà inerziali adottate per le sezioni trasversali dei singoli elementi strutturali sono di seguito elencate:

- Nervatura inferiore: $W = 0.00421 \text{ mc}$; $A = 0.0454 \text{ mq}$

La massima azione di trazione allo SLU è pari a:

$$N = 425 \text{ kN} \quad \text{da cui} \quad \sigma_N = 10 \text{ Mpa} < f_{yd} = 338 \text{ Mpa}$$

Le verifiche per tensioni normali possono pertanto considerarsi soddisfatte.

Asta diagonale (2 L 150x15/20)

Le proprietà inerziali adottate per le sezioni trasversali dei singoli elementi strutturali sono di seguito elencate:

- Aste diagonali: $W = 0.000167 \text{ mc}$; $A = 0.008605 \text{ mq}$

La massima azione di trazione allo SLU è pari a:

$$N = 115 \text{ kN} \quad \text{da cui} \quad \sigma_N = 14 \text{ Mpa} < f_{yd} = 338 \text{ Mpa}$$

Le verifiche per tensioni normali possono pertanto considerarsi soddisfatte.

Asta traverso (4 L 120x10/20)

Le proprietà inerziali adottate per le sezioni trasversali dei singoli elementi strutturali sono di seguito elencate:

- Traverso superiore: $W = 0.000633 \text{ mc}$; $A = 0.0088 \text{ mq}$.

La massima azione di trazione allo SLU è pari a:

$$N = 100 \text{ kN} \quad \text{da cui} \quad \sigma_N = 12 \text{ Mpa} < f_{yd} = 338 \text{ Mpa}$$

Le verifiche per tensioni normali possono pertanto considerarsi soddisfatte.

Soletta in c.a.

La sezione è stata dimensionata eseguendo le verifiche allo Stato Limite Ultimo in condizioni di presso/tenso-flessione retta e di taglio nella sezione maggiormente. In particolare per la condizione di presso/tenso-flessione retta si è costruito il diagramma resistente $N_{Rd}-M_{Rd}$ e si sono plottate al suo interno le coppie di sollecitazioni $N_{Ed}-M_{Ed}$ fornite dall'unica combinazione "SLU" ottenuta dall'involuppo di tutte le combinazioni in condizione statica. I criteri generali seguiti sono ovviamente conformi a quanto previsto al punto 4.1.2.1 delle NTC08 sia per quanto riguarda la presso-flessione sia per l'azione di taglio.

A favore di sicurezza si trascura il contributo di azione assiale di compressione.

Le massime azioni agenti allo SLU sono a:

$$N = +65 \text{ kN/m}$$

$$M^- = -155 \text{ kNm/m}$$

$$M^+ = +87 \text{ kNm/m}$$

$$T = +165 \text{ kN/m}$$

Si riportano le informazioni principali inerenti la verifica. La sezione viene armata con:

- *Sezione allo sbalzo*
 - As sup = $2f20/10'' = 62.83 \text{ cmq}$
 - As inf = $1f20/20'' = 15.71 \text{ cmq}$
 - Non necessaria armatura a taglio
- *Sezione sulla trave rompi tratto e sezione in campata*
 - As sup = $1f20/20'' = 15.71 \text{ cmq}$
 - As inf = $1f20/20'' = 15.71 \text{ cmq}$
 - Non necessaria armatura a taglio

Verifica C.A. S.L.U. - File: soletta_sbalzo

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : _____

N° figure elementari Zoom N° strati barre Zoom

| N° | b [cm] | h [cm] |
|----|--------|--------|
| 1 | 100 | 30 |

| N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|----------|--------|
| 1 | 15.71 | 25 |
| 2 | 31.42 | 6 |

Tipo Sezione
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

| | | | |
|------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-----|
| N _{Ed} | <input type="text" value="-65"/> | <input type="text" value="0"/> | kN |
| M _{xEd} | <input type="text" value="-155"/> | <input type="text" value="232"/> | kNm |
| M _{yEd} | <input type="text" value="0"/> | <input type="text" value="0"/> | |

P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN yN

Tipo rottura
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Metodo di calcolo
 S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Tipo flessione
 Retta Deviata

Materiali

| | |
|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| B450C | C32/40 |
| ϵ_{su} <input type="text" value="67.5"/> ‰ | ϵ_{c2} <input type="text" value="2"/> ‰ |
| f_{yd} <input type="text" value="391.3"/> N/mm² | ϵ_{cu} <input type="text" value="3.5"/> |
| E_s <input type="text" value="200'000"/> N/mm² | f_{cd} <input type="text" value="18.13"/> |
| E_s/E_c <input type="text" value="15"/> | f_{cc}/f_{cd} <input type="text" value="0.8"/> ? |
| ϵ_{syd} <input type="text" value="1.957"/> ‰ | $\sigma_{c,adm}$ <input type="text" value="12.25"/> |
| $\sigma_{s,adm}$ <input type="text" value="255"/> N/mm² | τ_{co} <input type="text" value="0.7333"/> |
| | τ_{c1} <input type="text" value="2.114"/> |

M_{xRd} kN m

σ_c N/mm²

σ_s N/mm²

ϵ_c ‰

ϵ_s ‰

d cm

x x/d

δ

Metodo di calcolo
 S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Tipo flessione
 Retta Deviata

N° rett.

Calcola MRd Dominio M-N

L_o cm Col. modello

Precompresso

Verifica C.A. S.L.U. - File: soletta_campata

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : _____

N° figure elementari Zoom N° strati barre Zoom

| N° | b [cm] | h [cm] |
|----|--------|--------|
| 1 | 100 | 30 |

| N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|----------|--------|
| 1 | 15.71 | 5 |
| 2 | 15.71 | 24 |

Tipo Sezione
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

| | | | |
|------------------|-----|-----|-----|
| N _{Ed} | -65 | 65 | kN |
| M _{xEd} | 87 | 232 | kNm |
| M _{yEd} | 0 | 0 | |

P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN yN

Tipo rottura
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Metodo di calcolo
 S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Tipo flessione
 Retta Deviata

N° rett.

Calcola MRd

L_o cm

Precompresso

Materiali

| | |
|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| B450C | C32/40 |
| ε _{su} <input type="text" value="67.5"/> % | ε _{c2} <input type="text" value="2"/> % |
| f _{yd} <input type="text" value="391.3"/> N/mm² | ε _{cu} <input type="text" value="3.5"/> |
| E _s <input type="text" value="200'000"/> N/mm² | f _{cd} <input type="text" value="18.13"/> |
| E _s /E _c <input type="text" value="15"/> | f _{cc} /f _{cd} <input type="text" value="0.8"/> ? |
| ε _{syd} <input type="text" value="1.957"/> % | σ _{c,adm} <input type="text" value="12.25"/> |
| σ _{s,adm} <input type="text" value="255"/> N/mm² | τ _{co} <input type="text" value="0.7333"/> |
| | τ _{c1} <input type="text" value="2.114"/> |

M_{xRd} kN m

σ_c N/mm²

σ_s N/mm²

ε_c %

ε_s %

d cm

x x/d

δ

Elementi che non richiedono armatura a taglio

| | | | |
|---------------------|---------|-----|--------------------------------------------------------|
| f _{ck} = | 32 | Mpa | |
| d = | 250 | mm | altezza utile |
| A _{sl} = | 3140 | mm² | armatura longitudinale tesa |
| b _w = | 1000 | mm | larghezza minima della sezione in zona tesa |
| A _c = | 250000 | mm² | area sezione calcestruzzo |
| N _{ed} = | 0 | kN | forza assiale nella sezione (positive le compressioni) |
| C _{rd,c} = | 0.12 | | |
| k ₁ = | 0.15 | | |
| k = | 1.8944 | ≤ | 2 |
| ρ ₁ = | 0.01256 | ≤ | 0.02 |

$$\sigma_{cp} = 0.0000 < 3.6267$$

$$V_{min} = 0.5162$$

$$V_{Rd,c} = 194.68 \text{ kN} \quad \text{formula estesa}$$

$$V_{Rd,c} = 129.06 \text{ kN} \quad \text{valore minimo di resistenza}$$

La verifica a fessurazione è stata svolta secondo il metodo indiretto tabellare proposto al punto C4.1.2.2.4, cioè limitando la tensione di trazione agente nelle barre in acciaio calcolata in ipotesi classica di sezione parzializzata (metodo "n") secondo la combinazione di calcolo pertinente (a seconda dell'aggressività dell'ambiente) in funzione del diametro massimo delle barre e dell'interasse tra le barre stesse. Qualora la tensione risultasse inferiore a 160.0 MPa la verifica a fessurazione si considera automaticamente soddisfatta.

Assumendo a favore di sicurezza il massimo momento flettente per tutte le combinazioni di carico frequenti e contemporaneamente il minimo valore dell'azione assiale, si ha quanto riportato sotto.

Verifica C.A. S.L.U. - File: soletta_sbalzo_SLE

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

TITOLO : _____

N° figure elementari Zoom N° strati barre Zoom

| N° | b [cm] | h [cm] |
|----|--------|--------|
| 1 | 100 | 30 |

| N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|----------|--------|
| 1 | 15.71 | 25 |
| 2 | 31.42 | 6 |

Tipo Sezione
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

| | | | |
|------------------|------|-----|-----|
| N _{Ed} | -48 | -40 | kN |
| M _{xEd} | -115 | -89 | kNm |
| M _{yEd} | 0 | 0 | |

P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN yN

Metodo di calcolo
 S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Materiali

| B450C | | C32/40 | |
|--------------------------------|---------------|----------------------------------|--------|
| ε _{su} | 67.5 ‰ | ε _{c2} | 2 ‰ |
| f _{yd} | 391.3 N/mm² | ε _{cu} | 3.5 ‰ |
| E _s | 200'000 N/mm² | f _{cd} | 18.13 |
| E _s /E _c | 15 | f _{cc} /f _{cd} | 0.8 ? |
| ε _{syd} | 1.957 ‰ | σ _{c,adm} | 12.25 |
| σ _{s,adm} | 255 N/mm² | τ _{co} | 0.7333 |
| | | τ _{c1} | 2.114 |

σ_c -6.848 N/mm²
 σ_s 146.1 N/mm²
 ε_s 0.7307 ‰
 d 24 cm
 x 9.907 x/d 0.4128
 δ 0.956

Verifica
 N° iterazioni:
 Precompresso

Verifica C.A. S.L.U. - File: soletta_campata_SLE

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : _____

N° figure elementari Zoom N° strati barre Zoom

| N° | b [cm] | h [cm] |
|----|--------|--------|
| 1 | 100 | 30 |

| N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|----------|--------|
| 1 | 15.71 | 5 |
| 2 | 15.71 | 24 |

Tipo Sezione
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

| | | | |
|------------------|-----|-----|-----|
| N _{Ed} | -65 | -40 | kN |
| M _{xEd} | 87 | 45 | kNm |
| M _{yEd} | 0 | 0 | |

P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN yN

Metodo di calcolo
 S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Materiali

| B450C | | C32/40 | |
|------------------|---------------|------------------|--------|
| ϵ_{su} | 67.5 ‰ | ϵ_{c2} | 2 ‰ |
| f_{yd} | 391.3 N/mm² | ϵ_{cu} | 3.5 ‰ |
| E_s | 200'000 N/mm² | f_{cd} | 18.13 |
| E_s/E_c | 15 | f_{cc}/f_{cd} | 0.8 ? |
| ϵ_{syd} | 1.957 ‰ | $\sigma_{c,adm}$ | 12.25 |
| $\sigma_{s,adm}$ | 255 N/mm² | τ_{co} | 0.7333 |
| | | τ_{c1} | 2.114 |

σ_c -4.425 N/mm²
 σ_s 150.3 N/mm²
 ϵ_s 0.7513 ‰
 d 24 cm
 x 7.353 x/d 0.3064
 δ 0.823

Verifica
 N° iterazioni:

Precompresso

La verifica a fessurazione si considera automaticamente soddisfatta in quanto la tensione di trazione nelle barre inferiore al limite minimo di 160.0 MPa.

Visti i risultati della combinazione frequente si considera del tutto trascurabile la verifica in combinazione quasi permanente.

7.1.3. Verifiche di stabilità

La verifica di stabilità delle aste composte da elementi ravvicinati collegati con imbottiture si esegue come per un'asta semplice (L_0) qualora la distanza tra le imbottiture sia inferiore ad un' opportuna quantità prevista dalle norme. Si ritiene che tale distanza minima sia rispettata e pertanto la verifica è svolta come per un'asta semplice.

Gli sforzi di compressione massimi che caratterizzano le due tipologie d'aste presenti sono:

- Aste diagonali: $P = -846$ kN
- Trasverso: $P = -210$ kN

La verifica di stabilità è eseguita secondo le indicazioni di norma.

Asta diagonale (2 L 150x15/20)

$$L_0 = 2050 \text{ mm}$$

$$A = 8604 \text{ mm}^2$$

$$i_{\min} = 45.7 \text{ mm} \quad (L_0/i_{\min} = 45)$$

$$N_{cr} = 8857 \text{ kN}$$

$$\alpha = 0.49$$

$$f_{yk} = 355 \text{ N/mm}^2$$

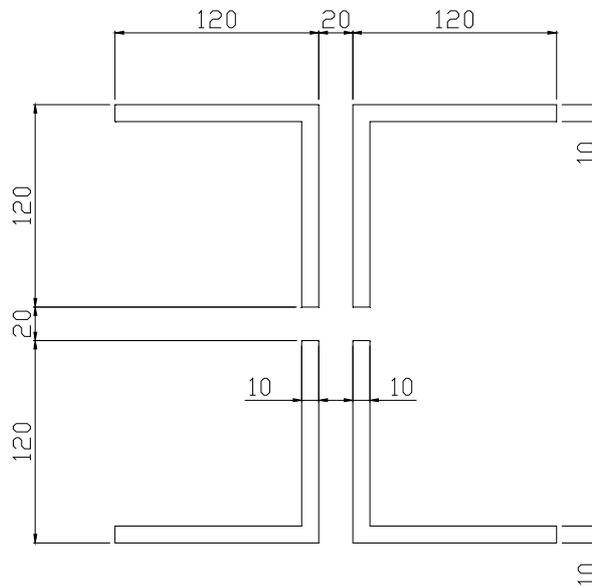
$$\gamma_{m1} = 1.1$$

$$N_{b,Rd} = 2201 \text{ kN} > 846 \text{ kN}$$

L'asta è verificata a compressione.

Asta trasverso (4 L 120x10/20)

La geometria della sezione di calcolo è riportata nella figura che segue.



$$L_0 = 2900 \text{ mm}$$

$$A = 9200 \text{ mm}^2$$

$$i_{\min} = 57.4 \text{ mm} \quad (L_0/i_{\min} = 50)$$

$$N_{cr} = 5927 \text{ kN}$$

$$\alpha = 0.49$$

$$f_{yk} = 355 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_{m1} = 1.1$$

$$N_{b,Rd} = 2073 \text{ kN} > 210 \text{ kN}$$

L'asta è verificata a compressione.

7.2. DIMENSIONAMENTO DELLE LASTRE PREDALLE

7.2.1. Premessa, analisi dei carichi e combinazioni di carico

La soletta di impalcato esaminata presenta una sezione trasversale caratterizzata da 2 campate centrali ($L = 4.00 \text{ m}$) e due sbalzi terminali ($L = 1.95 \text{ m}$) per una larghezza complessiva di 11.90 m .

Le lastre predalle sono verificate per la fase di getto della soletta. Dal punto di vista esecutivo, per ovviare a problemi di dimensionamento degli sbalzi, si prevede di effettuare un getto suddiviso in due fasi:

- Fase 1 – Getto delle due campate centrali e della sola porzione di sbalzo adiacente alle piattabande del cassone per una larghezza di 1.90 m;
- Fase 2 – A getto di prima fase indurito, montaggio della veletta di bordo e getto della rimanente porzione di sbalzo.

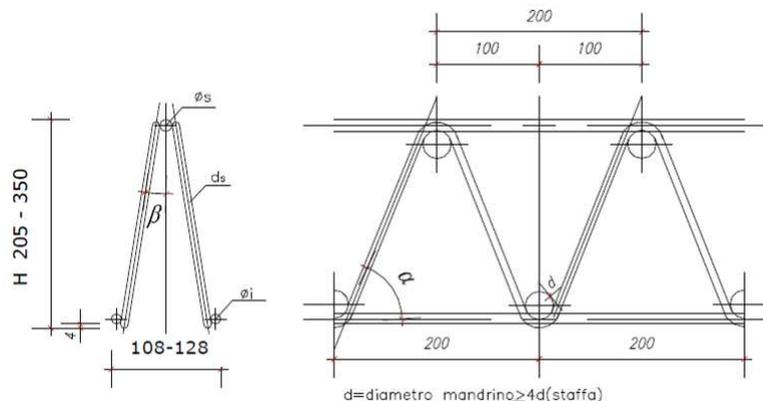
Per le lastre predalle si prevedono moduli da 240 cm di spessore 9 cm, armati con 6 tralicci, ognuno di essi costituito da due ferri longitudinali inferiori $\phi_i = 20\text{mm}$ ed uno superiore $\phi_s = 20\text{mm}$ e da una doppia staffatura continua $d_s = 10\text{mm}/200$. Per il singolo traliccio si prevede un'altezza complessiva di 178mm.

In corrispondenza degli appoggi costituiti dalle piattabande superiori del cassone metallico (dove il momento negativo è alto), si prevede continuità dei tralicci a cavallo delle piattabande stesse.

Le caratteristiche geometriche assunte per il traliccio sono le seguenti:

- h = interasse verticale $\phi_s - \phi_i = 154 \text{ mm}$;
- $\alpha = 63^\circ$;
- $\beta = 6^\circ$.

VISTA TRALICCIO



Considerando un singolo pannello di larghezza 2.40m, i carichi in gioco (valori caratteristici) sono di seguito riassunti:

- p_L = peso lastra ($\gamma = 25\text{kN/mc}$) = 5.40 kN/m;
- p_g = peso getto ($\gamma = 26\text{kN/mc}$) = 13.11 kN/m;
- p_v = sovraccarico di costruzione (1.50kN/mq) = 3.60 kN/m;
- F = Peso pannello chiusura di bordo e parte di cordolino terminale sovrastante la soletta = 7.2 kN.

I carichi per le due fasi di costruttive sono fattorizzati secondo le seguenti combinazioni:

- Fase 1 SLU – $1.35pl + 1.35pg + 1.50pv$;
- Fase 2 SLU – $1.35pg + 1.35F + 1.50pv$.

La freccia residua all'estremità dello sbalzo è calcolata con riferimento ai seguenti carichi:

- $pl + pg$ [fase 1] (+) $pg + F$ [fase 2].

7.2.2. Verifiche sezione di sbalzo

| | Carichi | | |
|-----------------------------|----------------------------------|-------|-----------|
| | peso proprio predalle | 2.25 | kN/mq |
| | getto integrativo | 5.46 | kN/mq |
| | sovraccarico | 1.50 | kN/mq |
| | elemento di bordo | 3.00 | kN/m |
| | Geometria tralicci | | |
| | larghezza lastra | 2.4 | m |
| | interasse tralicci | 0.20 | m |
| corr. Sup. | ∅ corrente superiore traliccio | 20 | mm |
| | area correnti sup. / lastra | 3770 | mmq |
| corr. Inferiore | ∅ corrente inferiore traliccio | 20 | mm |
| | area corrente inf. | 314 | mmq |
| | area correnti inf. / lastra | 7540 | mmq |
| | momento di inerzia correnti inf. | 7854 | mmq x mmq |
| | raggio di inerzia correnti inf. | 5.00 | mm |
| | lunghezza libera di inflessione | 20 | cm |
| | lambda correnti inf. | 40.00 | |
| | lambda correnti inf. | 40 | |
| | coeff. Omega | 1.21 | |
| corr. Inferiore integrativo | ∅ corrente inf. integrativo | 20 | mm |
| | area corrente inf. Integrativo | 314 | mmq |
| | numero correnti inf. Integrativi | 0 | num |
| | area correnti inf. / lastra | 0 | mmq |
| | momento di inerzia correnti inf. | 7854 | mmq x mmq |

| | | | | |
|----------|------------------------------------|--------------------------------|-------------------|-----------|
| | raggio di inerzia correnti inf. | 5.00 | mmc | |
| | lunghezza libera di inflessione | 20 | cm | |
| | lambda correnti inf. | 40 | | |
| | coeff. Omega | 1.21 | | |
| | altezza totale traliccio | 17.80 | cm | |
| | altezza utile traliccio | 15.80 | cm | |
| staffe | ∅ staffa traliccio | 10 | mm | |
| | area staffa | 79 | mmq | |
| | area staffe / lastra | 1885 | mmq | |
| | momento di inerzia staffa | 491 | mmq x mmq | |
| | raggio di inerzia correnti inf. | 2.50 | mmc | |
| | lunghezza libera di inflessione | 16.54 | cm | |
| | lambda staffe | 66 | | |
| | coeff. Omega | 1.64 | | |
| | alfa | 1.31 | rad | |
| | beta | 0.1569 | rad | |
| | lunghezza sbalzo | 1.95 | m | |
| | lunghezza del tratto gettato | 1.95 | m | |
| | | Sollecitazioni unitarie | | |
| M | 23.36 | kNm/m | | |
| T | 20.96 | kN/m | | |
| | Sollecitazioni sulla lastra | | | |
| M | 56.07 | kNm/lastra | | |
| T | 50.30 | kN/lastra | | |
| S staffe | 52.66 | kN/lastra | | |
| | Tensioni sugli elementi | | | |
| | Trazione sui correnti sup. | 127.07 | N/mm ² | OK |
| | Compressione nei correnti inf. | 76.88 | N/mm ² | OK |
| | Compressione nelle staffe | 61.86 | N/mm ² | OK |

7.2.3. Verifiche sezione di campata

| | | | |
|--------------------|----------------------------------|--------|-----------|
| Carichi | peso proprio predalle | 2.25 | kN/mq |
| | getto integrativo | 5.46 | kN/mq |
| | sovraccarico | 1.50 | kN/mq |
| | numero di tralicci nella lastra | 6 | |
| Corrente Superiore | ∅ corrente superiore traliccio | 20 | mm |
| | area corrente sup. | 314 | mmq |
| | area correnti sup. / lastra | 1885 | mmq |
| | momento di inerzia corrente sup. | 7854 | mmq x mmq |
| | raggio di inerzia corrente sup. | 5.00 | mm |
| | lunghezza libera di inflessione | 20 | cm |
| | lambda correnti sup. | 40 | |
| Corrente Inferiore | ∅ corrente inferiore traliccio | 20 | mm |
| | area corrente inf. | 314 | mmq |
| | numero di ferri inf. aggiuntivi | 0 | |
| | ∅ ferri inf. aggiuntivi | 0 | mm |
| | area ferri aggiuntivi | 0 | mmq |
| | altezza totale traliccio | 17.80 | cm |
| | altezza utile traliccio | 15.80 | cm |
| staffe | ∅ staffa traliccio | 10 | mm |
| | area staffa | 79 | mmq |
| | area staffe / lastra | 942 | mmq |
| | momento di inerzia staffa | 491 | mmq x mmq |
| | raggio di inerzia correnti inf. | 2.50 | mmc |
| | lunghezza libera di inflessione | 16.54 | cm |
| | lambda staffe | 66 | |
| | coeff. Omega | 1.64 | |
| | alfa | 1.31 | rad |
| | beta | 0.1569 | rad |
| | larghezza piattabanda | 0 | m |
| | lunghezza sbalzo | 0 | m |
| | lunghezza campata | 4 | m |

| | | | | |
|--|------------------------------------|--------|-------------------|-----------|
| | Momento indotto dagli sbalzi | 0.00 | kNm/m | |
| | Sollecitazioni unitarie | | | |
| | M= | 18.42 | kNm/m | |
| | T= | 18 | KN/m | |
| | Sollecitazioni sulla lastra | | | |
| | larghezza lastra | 2.40 | m | |
| | M= | 44.21 | kNm/lastra | |
| | T= | 44.21 | kN/lastra | |
| | S staffe | 46.28 | kN/lastra | |
| | Tensioni sugli elementi | | | |
| | Trazione sui correnti inf. | 100.20 | N/mm ² | OK |
| | Compressione nei correnti sup. | 242.47 | N/mm ² | OK |
| | Compressione nelle staffe | 108.73 | N/mm ² | OK |

7.3. DIMENSIONAMENTO DELLA TRAVE ROMPIRATTA

La trave rompi tratto è soggetta al carico trasmesso dalla soprastante soletta. La trave può essere configurata come trave vincolata ad un'estremità da un incastro ed all'altra da un appoggio. La luce della trave è pari a 3.50 m (interasse longitudinale fra i controventi trasversali di impalcato).

La determinazione del carico distribuito uniforme al quale risulta soggetta la trave rompi tratto si ottiene dai modelli di calcolo implementati per il dimensionamento della sezione trasversale d'impalcato.

- Peso della predalle e del getto soletta (modello fase 1): $112 \text{ kN} / 3.5 \text{ m} = 32 \text{ kN/m}$
- Sovraccarico permanente (modello fase 2): $28.9 \text{ kN} / 3.5 \text{ m} = 8.2 \text{ kN/m}$
- Carico mobile (modello fase 2): $713 \text{ kN} / 3.5 \text{ m} = 203 \text{ kN/m}$

Le verifiche sono condotte per un'unica combinazione di carico SLU:

$$q_d = 1.35 \times \text{carichi permanenti} + 1.35 \times \text{carico mobile} = 329 \text{ kN/m}$$

Le caratteristiche inerziali della sezione della trave sono le seguenti:

$$\text{Momento di inerzia: } I = 0.0009317 \text{ m}^4$$

$$\text{Modulo di resistenza minimo: } W = 0.0035971 \text{ mc}$$

$$\text{Area dell'anima: } A = 0.007488 \text{ mq}$$

Nel seguito si riassumono le sollecitazioni di calcolo ottenute per la trave:

$$M = 336 \text{ kNm}$$

$$V = 576 \text{ kN}$$

Le tensioni di calcolo sono le seguenti:

$$\sigma = 94 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = 77 \text{ N/mm}^2$$

La tensione ideale si ottiene cautelativamente combinando le due componenti di tensione sopra indicate:

$$\sigma_{id} = 163 \text{ N/mm}^2 < 338 \text{ N/mm}^2$$

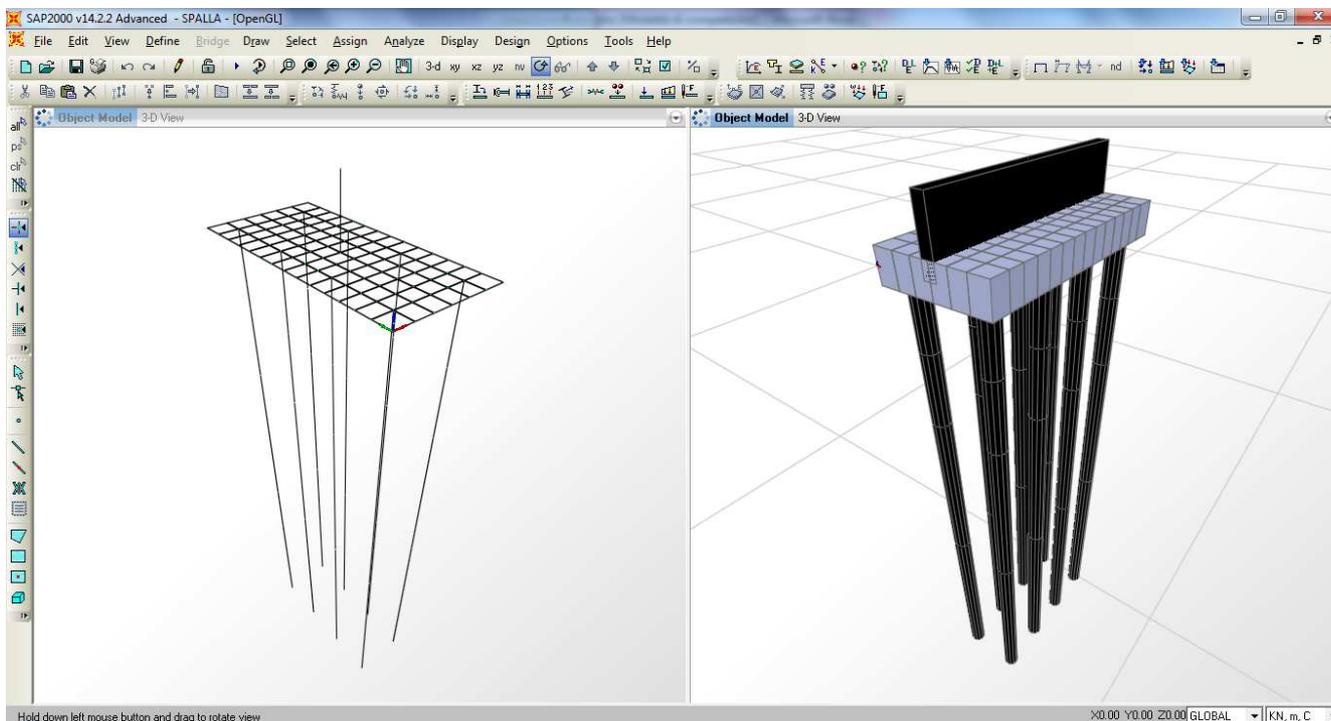
La freccia in esercizio per il solo carico mobile ammonta a circa 1 mm.

8. DIMENSIONAMENTO DELL'OPERA: SPALLA

8.1. ANALISI CON CODICE DI CALCOLO

Il dimensionamento della spalla è stato effettuato tramite la realizzazione di un apposito modello agli elementi finiti con il programma SAP2000 v.14.2.2 della C&S Inc. La geometria analizzata è sinteticamente descritta da quanto segue:

- Altezza media del muro paraghiaia: 3.60 m;
- Larghezza del muro paraghiaia: 11.9 m;
- Spessore muro paraghiaia: 0.6 m;
- Spessore platea di fondazione: 1.5 m;
- Lunghezza platea di fondazione: 5.6 m;
- Larghezza platea di fondazione: 11.9 m;
- Numero di pali: 8;
- Diametro pali: 1000 mm;
- Lunghezza pali: 34.0 m.



Il modello realizzato è caratterizzato dalle seguenti proprietà:

- Il muro paraghiaia e i pali sono schematizzati con elementi finiti monodimensionali “frames”;
- La soletta di fondazione è schematizzata con elementi finiti bidimensionali “areas” di tipo “thick shell”;
- Il collegamento tra base del paraghiaia, asse di definizione degli elementi schematizzanti la soletta e la sommità dei pali è realizzato tramite appositi vincoli interni “joint constrains” a corpo rigido;
- I pali sono stati vincolati orizzontalmente tramite vincoli elastici lineari avente rigidezza $K_h = 7430$ KN/m per il primo tratto di lunghezza 4.0 m, pari a $K_h = 33435$ KN/m per il secondo tratto di lunghezza 10.0 m e $K_h = 81730$ KN/m per l'ultimo tratto di lunghezza 20 m (schematizzazione del terreno alla “Winkler”) e verticalmente tramite un vincolo elastico alla base di rigidezza $K_h = 755000$ KN/m.

Si sono assegnati i seguenti carichi:

- Peso proprio degli elementi costituenti la spalla;
- Al nodo di sommità dell'elemento “Area” schematizzante il punto di contatto tra impalcato e spalla (asse degli appoggi) si sono assegnati i carichi trasmessi dall'impalcato. In particolare si veda la tabella seguente (l'azione verticale N è considerata positiva se diretta verso l'alto).

| CASO DI CARICO | Fz [KN] | Fy [KN] | sx [mm] |
|---------------------|---------|---------|---------|
| PERMANENTI – FASE 1 | -628 | - | - |
| PERMANENTI – FASE 2 | -307 | - | - |
| ΔT+ TERMICA | -936 | - | - |
| TERMICA | - | - | - |
| RITIRO | +267 | - | - |
| MOBILI | -1882 | - | - |
| VENTO | - | 84 | - |
| SISMA | - | - | - |

- All'elemento "frame" schematizzante il paraghiaia si è assegnata la spinta del terreno a tergo del muro stesso considerata agente in stato "a riposo" per la condizione statica e in stato limite attivo per la condizione sismica (formulazione di Mononobe-Okabe). Vale quanto sotto riportato.

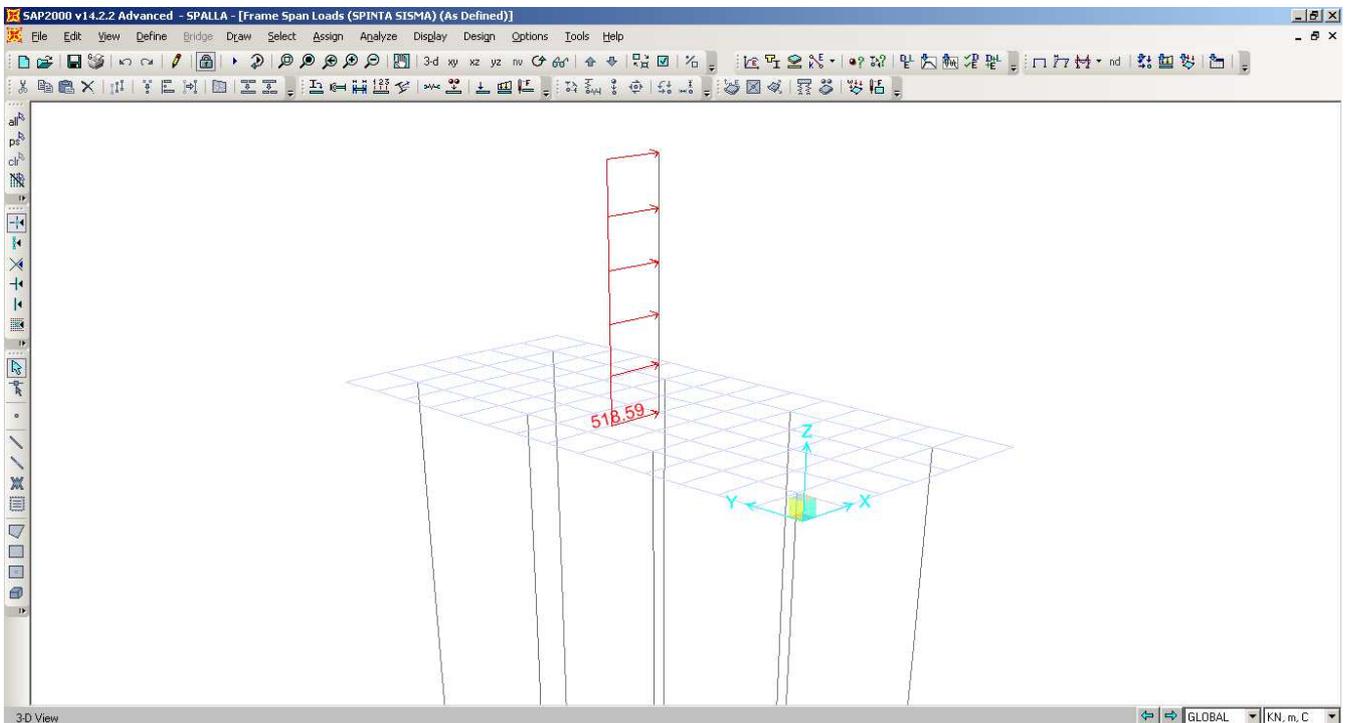
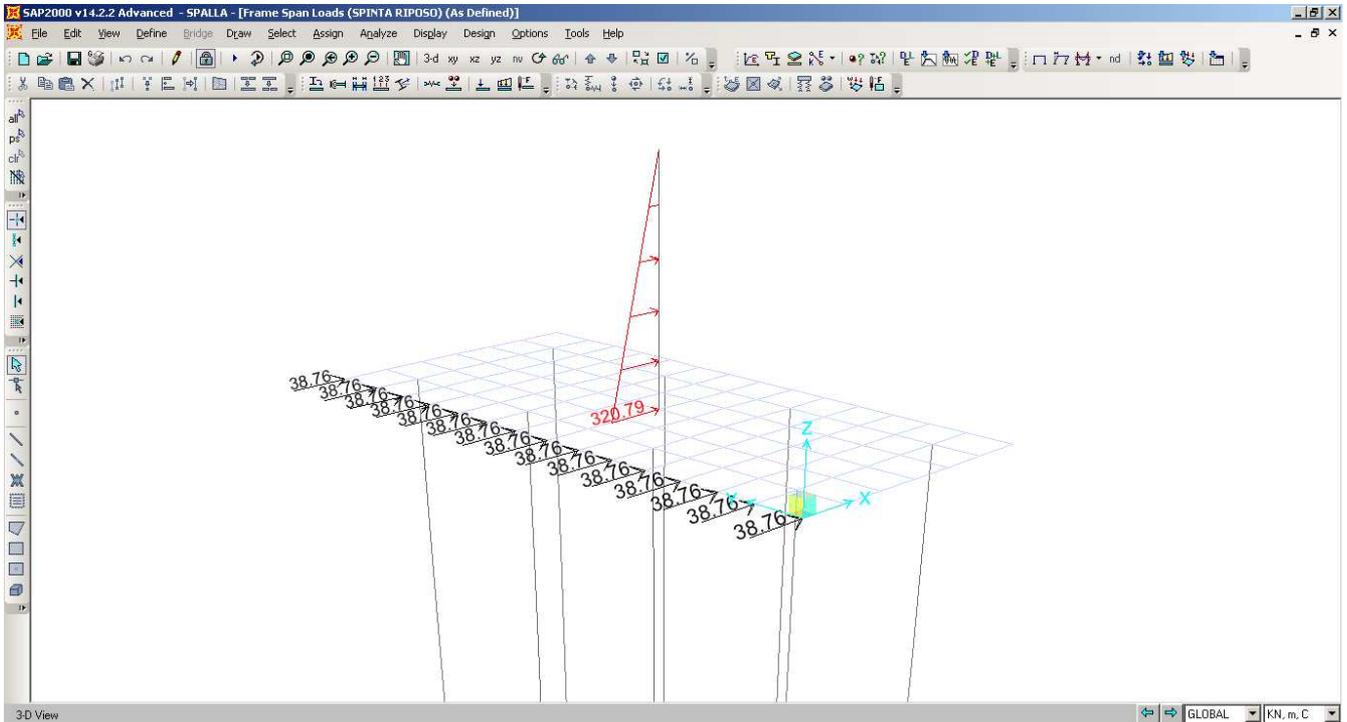
Angolo di resistenza al taglio del terreno $\phi' = 38^\circ$,

Peso dell'unità di volume del terreno $\gamma = 19.5 \text{ KN/mc}$;

Coefficiente di spinta a riposo (condizione statica) $k_0 = 0.384$.

Per quanto attiene ai parametri utilizzati in condizione sismica si deve precisare che l'influenza del coefficiente sismico verticale K_v sul valore finale della spinta orizzontale secondo la formulazione di Mononobe- Okabe è circa pari al 5%. In virtù di tale considerazione si assume un unico coefficiente di spinta in condizioni sismica incrementato del 5% rispetto al caso $k_v=0$, mentre si considera K_v per quanto riguarda le azioni inerziali innescate dai pesi propri degli elementi.

Considerando una larghezza di spalla pari a 11.90 m si hanno i valori dei carichi di seguito riportati.



- Per quanto riguarda l'azione inerziale orizzontale causata dal sisma e dovuta alle masse proprie degli elementi in gioco, si è assegnato ad ogni elemento modellato (pali e terreno imbarcato inclusi) un'azione orizzontale diretta in direzione X pari a 0.159 volte il peso proprio dell'elemento stesso, secondo la relazione:

$$F_{\text{inerziale}} = K_h \cdot a_g \cdot g \cdot W = 0.159 \cdot W \quad (W = \text{peso proprio dell'elemento considerato}).$$

- Per quanto riguarda l'azione inerziale verticale causata dal sisma e dovuta alle masse proprie degli elementi in gioco, si è assegnato ad ogni elemento modellato (pali inclusi) un'azione verticale diretta in direzione Z pari a 0.080 volte il peso proprio dell'elemento stesso, secondo la relazione:

$$F_{\text{inerziale}} = K_v \cdot a_g \cdot g \cdot W = 0.080 \cdot W \quad (W = \text{peso proprio dell'elemento considerato}).$$

- Per quanto riguarda il carico mobile agente a tergo della spalla, si è fatto riferimento a quanto indicato nella C.M. 617/2009. In particolare si è considerata la presenza di tre corsie di carico dello schema di carico 1 e la presenza di ulteriori 2.50 KPa nella porzione laterale rimanente. Considerando tale carico agente in superficie su una lunghezza longitudinale pari a 2.20 m si ha la seguente pressione superficiale:

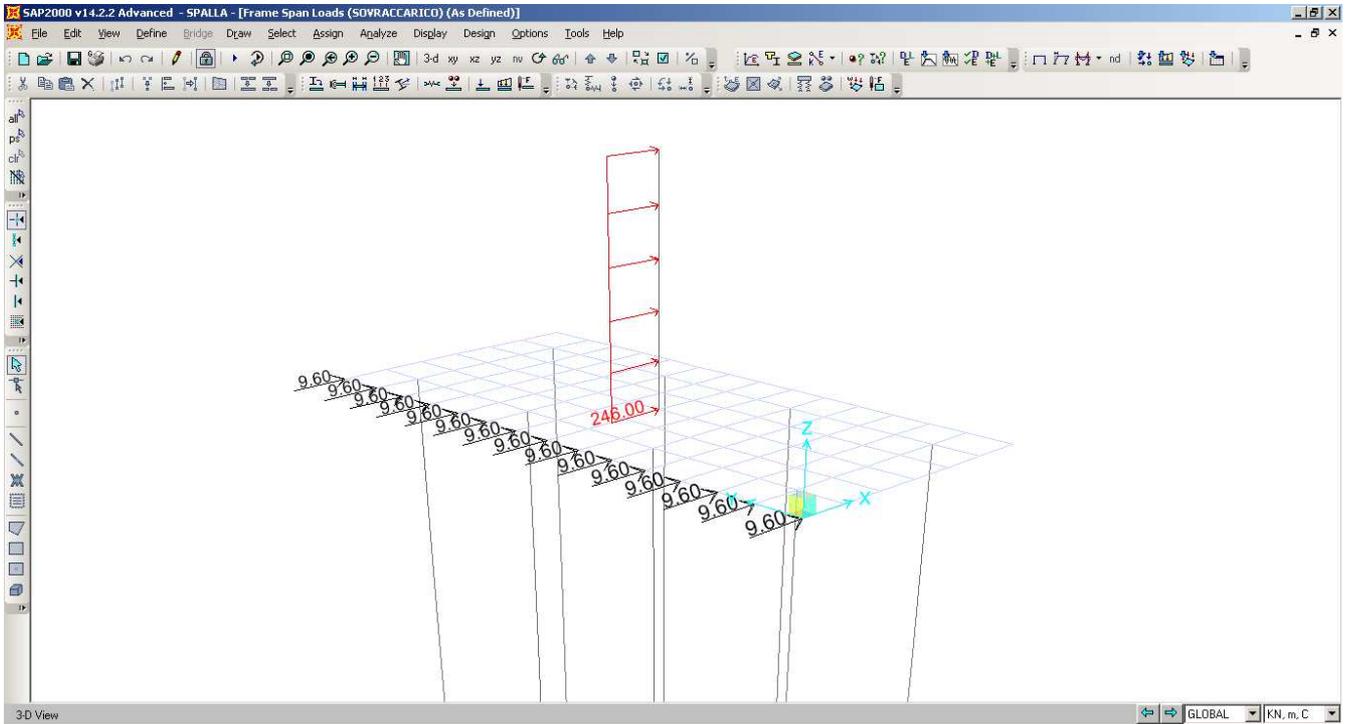
$$p_{\text{sup}} = 34.6 \text{ KPa.}$$

Considerando poi un angolo di diffusione lungo la verticale pari a 30°, la pressione alla quota di spicco della platea vale:

$$p_{\text{inf}} = 12.6 \text{ KPa.}$$

Si è quindi considerato un carico verticale uniformemente distribuito pari al valore

$$q = 25.0 \text{ KPa.}$$



- Per quanto riguarda il peso del terreno imbarcato, si è assegnato un carico uniformemente distribuito sulla superficie degli elementi “areas” interessati. Il valore assegnato vale:

$$q_{t,imb} = 19.5 \cdot 3.60 = 71 \text{ KPa.}$$

Si sono analizzate le seguenti combinazioni di carico per lo SLU e SLV.

| SPALLA - SLU/SLV | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| PESO PROPRIO | 1.35 | 1.35 | 1.00 | 1.00 | 1.35 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| PERMANENTI | 1.35 | 1.35 | 1.00 | 1.00 | 1.35 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| SPINTA TERRENO RIPOSO | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| VENTO | 0.00 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| VEICOLI - N_{MAX} | 1.35 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| VEICOLO - M_{MAX} | 0.00 | 1.35 | 1.35 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| VEICOLI - N_{MIN} | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.35 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| CARICO A TERGO | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.35 | 1.35 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| SISMA X | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| SISMA Z | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | -1.00 |

| SPALLA - SLE FR | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-----------------------|------|------|------|------|
| PESO PROPRIO | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| PERMANENTI | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| SPINTA TERRENO RIPOSO | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| VENTO | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.20 |
| VEICOLI - N_{MAX} | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| VEICOLO - M_{MAX} | 0.75 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| VEICOLI - N_{MIN} | 0.00 | 0.75 | 0.00 | 0.00 |
| CARICO A TERGO | 0.00 | 0.00 | 0.75 | 0.00 |
| SISMA X | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| SISMA Z | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

8.1.1. Verifiche di Resistenza – SLU/SLV

8.1.1.1 PARAGHIAIA

La sezione dei del paraghiaia è stata dimensionata eseguendo le verifiche allo Stato Limite Ultimo in condizioni di presso/tenso-flessione retta e di taglio nella sezione di connessione con la platea in quanto maggiormente sollecitata. In particolare per la condizione di presso/tenso-flessione retta si è costruito il diagramma resistente $N_{Rd}-M_{Rd}$ e si sono plottate al suo interno le coppie di sollecitazioni $N_{Ed}-M_{Ed}$ fornite dall'unica combinazione "ENV-SLU/SLV" ottenuta dall'involuppo di tutte le combinazioni in condizione statica e sismica. I criteri generali seguiti sono ovviamente conformi a quanto previsto al punto 4.1.2.1 delle NTC08 sia per quanto riguarda la presso-flessione sia per l'azione di taglio. Nella Tabella seguente si riportano le sollecitazioni nella sezione di base del paraghiaia (F3 azione assiale positiva se di trazione, F1 e F2 azioni taglianti, M1 momento torcente, M2 e M3 momenti flettenti).

| TABLE: Element Joint Forces - Frames | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|-------|------------|-------------|----------|-----------|----|----------|------|------------|------|
| Frame | Joint | OutputCase | CaseType | StepType | F1 | F2 | F3 | M1 | M2 | M3 |
| Text | Text | Text | Text | Text | KN | KN | KN | KN-m | KN-m | KN-m |
| 17 | 69 | ENV_SLU | Combination | Max | -2386.555 | 0 | 1048.241 | 0 | -4507.8646 | 0 |
| 17 | 69 | ENV_SLU | Combination | Min | -2805.706 | 0 | 773.995 | 0 | -6102.4116 | 0 |

Oltre ai valori sopra riportati saranno da considerare le sollecitazioni alla base del paraghiaia dovute all'applicazione in testa dell'azione di frenatura pari a 180 kN (longitudinali), concomitante con un carico verticale di 300 kN. Per definire la porzione di paraghiaia reagente a tale carico si assume cautelativamente

una diffusione delle tensioni nel calcestruzzo a 45°, ottenendo quindi una base di circa 7 m. Allo sta to limite ultimo il valore di frenatura viene combinato per un fattore 1,35.

Verifica a pressoflessione

Si riportano le informazioni principali inerenti la verifica. La sezione viene armata con 1 barre $\phi 20$ mm passo 20 cm (lato ponte) + 1 barre $\phi 20$ mm passo 10 cm (lato terreno).

Si precisa che le sollecitazioni di verifica sono condotte per una striscia di profondità unitaria e che pertanto sono state divise per la larghezza del paragliaia pari a 11.9 m.

Verifica C.A. S.L.U. - File: Paragliaia

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : _____

N° figure elementari Zoom N° strati barre Zoom

| N° | b [cm] | h [cm] |
|----|--------|--------|
| 1 | 100 | 60 |

| N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|----------|--------|
| 1 | 15.71 | 5.5 |
| 2 | 31.42 | 54.5 |

Tipo Sezione
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 40 kN
 M_{xEd} 90 kNm
 M_{yEd} 0

P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN yN

Tipo rottura
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Metodo di calcolo
 S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Tipo flessione
 Retta Deviata

Materiali

| B450C | | C32/40 | |
|------------------|---------------|------------------|--------|
| ϵ_{su} | 67.5 ‰ | ϵ_{c2} | 2 ‰ |
| f_{yd} | 391.3 N/mm² | ϵ_{cu} | 3.5 ‰ |
| E_s | 200'000 N/mm² | f_{cd} | 18.13 |
| E_s/E_c | 15 | f_{cc}/f_{cd} | 0.8 ? |
| ϵ_{syd} | 1.957 ‰ | $\sigma_{c,adm}$ | 12.25 |
| $\sigma_{s,adm}$ | 255 N/mm² | τ_{co} | 0.7333 |
| | | τ_{c1} | 2.114 |

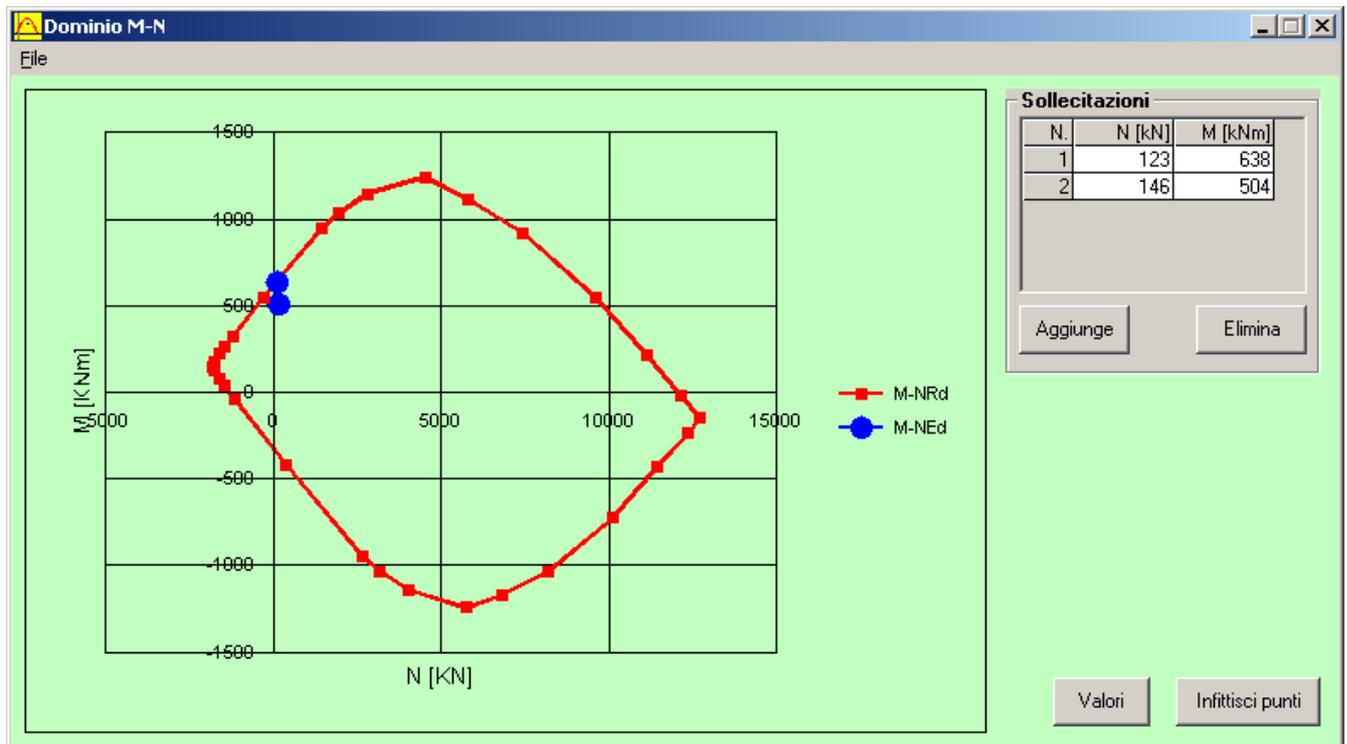
M_{xRd} kN m

σ_c N/mm²
 σ_s N/mm²
 ϵ_c 3.5 ‰
 ϵ_s 22.51 ‰
 d 54.5 cm
 x 7.333 x/d 0.1346
 δ 0.7

N° rett.

Calcola MRd Dominio M-N
 L₀ cm Col. modello

Precompresso



Come si deduce dalla figura sopra riportata, la verifica a presso-flessione risulta soddisfatta in quanto le sollecitazioni ottenute in caso di SLU ed SLV rimangono all'interno del dominio resistente.

Verifica a taglio

La massima azione tagliante, ottenuta come sopra descritto, vale:

- $V_{Ed} = 236 \text{ kN}$.

Non è necessaria armatura a taglio.

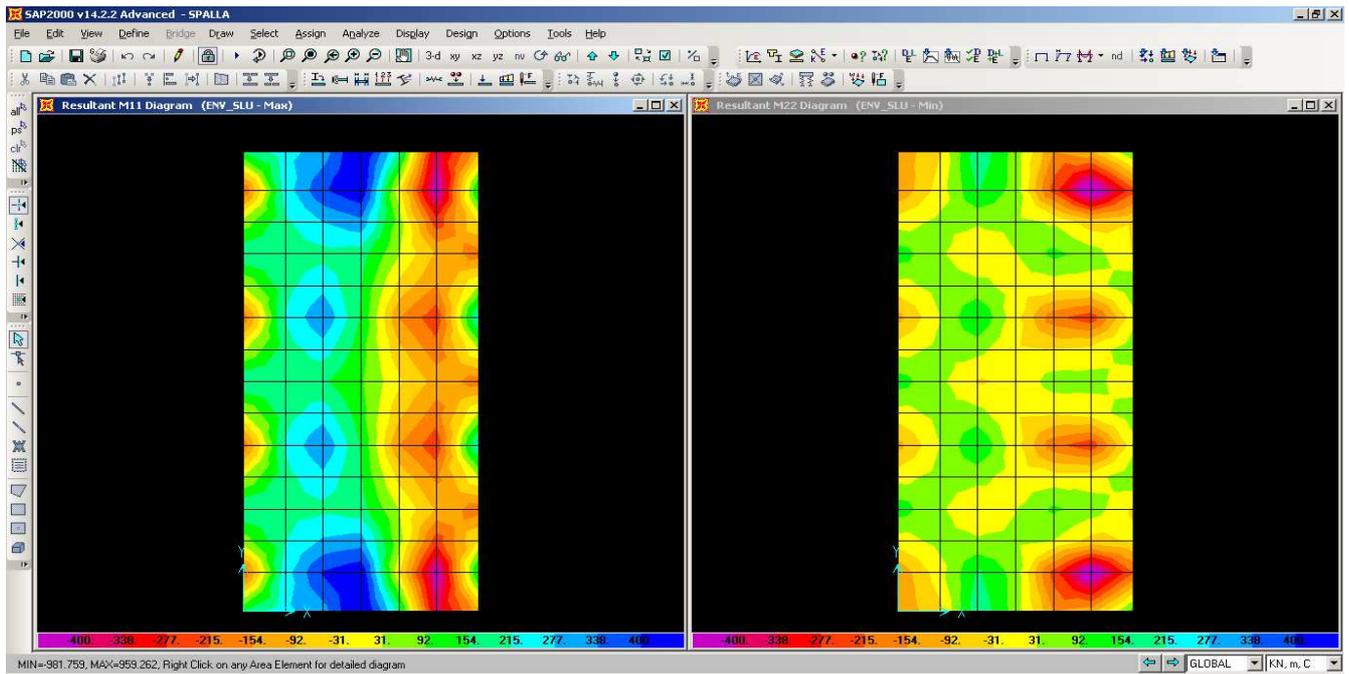
Elementi che non richiedono armatura a taglio

| | | | |
|-----------------|-------------|-----------------|--------------------------------------------------------|
| $f_{ck} =$ | 32 | Mpa | |
| $d =$ | 560 | mm | altezza utile |
| $A_{sl} =$ | 3140 | mm ² | armatura longitudinale tesa |
| $b_w =$ | 1000 | mm | larghezza minima della sezione in zona tesa |
| $A_c =$ | 560000 | mm ² | area sezione calcestruzzo |
| $N_{ed} =$ | 0 | kN | forza assiale nella sezione (positive le compressioni) |
| $C_{rd,c} =$ | 0.12 | | |
| $k_1 =$ | 0.15 | | |
| $k =$ | 1.5976 | \leq | 2 |
| $\rho_1 =$ | 0.005607143 | \leq | 0.02 |
| $\sigma_{cp} =$ | 0.0000 | $<$ | 3.6267 |
| $v_{min} =$ | 0.3998 | | |
| $V_{Rd,c} =$ | 281.06 | kN | formula estesa |
| $V_{Rd,c} =$ | 223.89 | kN | valore minimo di resistenza |

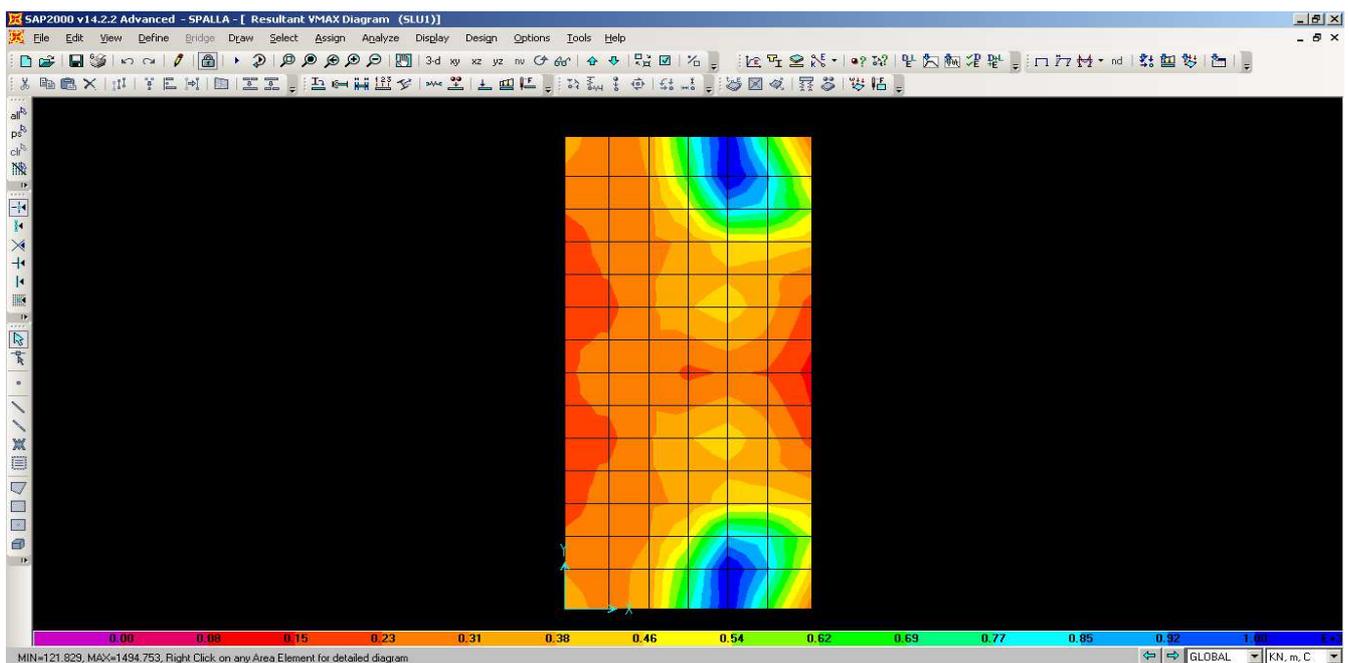
8.1.1.2 PLATEA DI FONDAZIONE

La platea di fondazione è stata dimensionata eseguendo le verifiche allo Stato Limite Ultimo in condizioni di flessione retta e di taglio nella sezione maggiormente sollecitata. Nelle figure seguenti viene riportata la mappatura cromatica delle sollecitazioni flettenti e taglianti all'interno della platea di fondazione.

SOLLECITAZIONI FLESSIONALI



SOLLECITAZIONI TAGLIANTI



Verifica a pressoflessione

Si riportano le informazioni principali inerenti la verifica. La sezione viene armata con 1+1 barre $\phi 20$ mm passo 20 cm (disposte in entrambe le direzioni X e Y).

Si precisa che le sollecitazioni di verifica sono condotte per una striscia di profondità unitaria.

Verifica C.A. S.L.U. - File: Platea_spalla

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : _____

N° figure elementari **Zoom** **N° strati barre** **Zoom**

| N° | b [cm] | h [cm] |
|----|--------|--------|
| 1 | 100 | 150 |

| N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|----------|--------|
| 1 | 15.71 | 6.5 |
| 2 | 15.71 | 154.5 |

Tipo Sezione
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

N_{Ed} **0** kN
M_{xEd} **350** kNm
M_{yEd} **0**

P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN yN

Tipo rottura
 Lato acciaio - Acciaio snervato

Metodo di calcolo
 S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Tipo flessione
 Retta Deviata

Materiali

| B450C | | C35/45 | |
|------------------|---------------|------------------|-------|
| ϵ_{su} | 67.5 ‰ | ϵ_{c2} | 2 ‰ |
| f_{yd} | 391.3 N/mm² | ϵ_{cu} | 3.5 ‰ |
| E_s | 200'000 N/mm² | f_{cd} | 19.83 |
| E_s/E_c | 15 | f_{cc}/f_{cd} | 0.8 |
| ϵ_{syd} | 1.957 ‰ | $\sigma_{c,adm}$ | 13.5 |
| $\sigma_{s,adm}$ | 255 N/mm² | τ_{co} | 0.8 |
| | | τ_{c1} | 2.257 |

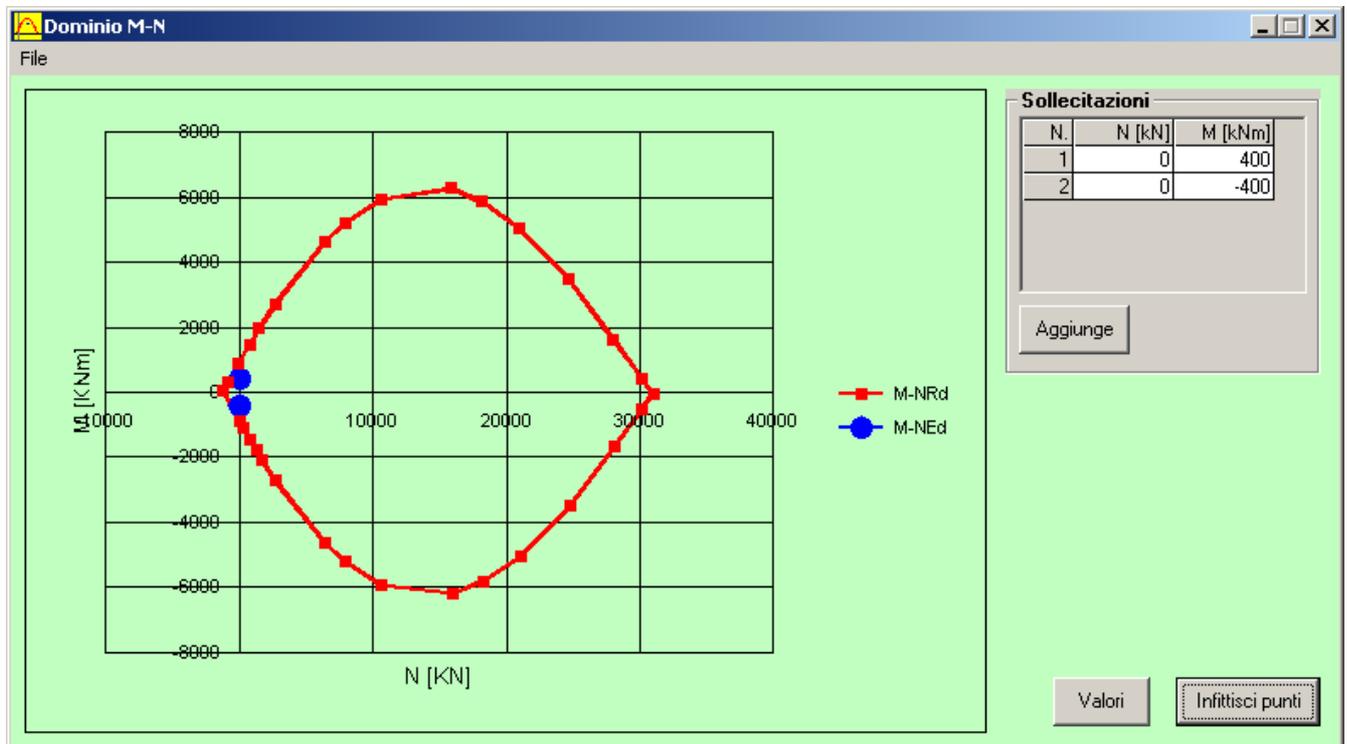
M_{xRd} kN m

σ_c N/mm²
 σ_s N/mm²
 ϵ_c 2.425 ‰
 ϵ_s 67.5 ‰
 d 154.5 cm
 x 5.358 x/d 0.03468
 δ 0.7

N° rett.

Calcola MRd **Dominio M-N**
L_o cm **Col. modello**

Precompresso



Come si deduce dalla figura sopra riportata, la verifica a flessione risulta soddisfatta in quanto le sollecitazioni ottenute in caso di SLU ed SLV rimangono all'interno del dominio resistente.

Verifica a taglio

La massima azione tagliante, ottenuta come sopra descritto, vale:

- $V_{Ed} = 1000 \text{ KN}$.

Si ipotizza di inserire un'armatura a taglio costituita da ganci, opportunamente ancorati, diametro 14 mm disposti su una maglia 40x40 cm, nell'introno della testa pali (misurata dall'asse palo) per una distanza pari a 2 m.

Elementi che non richiedono armatura a taglio

| | | | |
|-----------------|-------------|-----------------|--------------------------------------------------------|
| $f_{ck} =$ | 35 | Mpa | |
| $d =$ | 1430 | mm | altezza utile |
| $A_{sl} =$ | 1570 | mm ² | armatura longitudinale tesa |
| $b_w =$ | 1000 | mm | larghezza minima della sezione in zona tesa |
| $A_c =$ | 1430000 | mm ² | area sezione calcestruzzo |
| $N_{Ed} =$ | 0 | kN | forza assiale nella sezione (positive le compressioni) |
| $C_{rd,c} =$ | 0.12 | | |
| $k_1 =$ | 0.15 | | |
| $k =$ | 1.3740 | \leq | 2 |
| $\rho_1 =$ | 0.001097902 | \leq | 0.02 |
| $\sigma_{cp} =$ | 0.0000 | $<$ | 3.1733 |
| $V_{min} =$ | 0.2983 | | |

| | | | |
|--------------|--------|----|-----------------------------|
| $V_{Rd,c} =$ | 342.82 | kN | formula estesa |
| $V_{Rd,c} =$ | 426.53 | kN | valore minimo di resistenza |

Elementi che richiedono armatura a taglio

| | | | |
|-----------------|---------|-----------------|---------------------------------------------------|
| precompresso? | no | | |
| $\sigma_{cp} =$ | - | Mpa | tensione media di compressione nel cls (positiva) |
| $\alpha =$ | 90 | ° | 1.57 radianti |
| $\theta =$ | 21.8 | ° | 0.38 radianti |
| $b_w =$ | 1000 | mm | larghezza minima della sezione |
| $d =$ | 1430 | mm | altezza utile |
| $z =$ | 1287 | mm | braccio della coppia interna |
| $A_{sw} =$ | 384.65 | mm ² | area sezione trasversale armatura a taglio |
| $s =$ | 400 | mm | passo staffe |
| $f_{ywd} =$ | 391.30 | Mpa | tensione di progetto delle armature a taglio |
| $\alpha_{cw} =$ | 1.0000 | | |
| $v_1 =$ | 0.5328 | | |
| $f_{cd} =$ | 15.87 | Mpa | |
| $V_{Rd,s} =$ | 1210.79 | kN | resistenza lato acciaio |
| $V_{Rd,max} =$ | 3751.53 | kN | resistenza lato calcestruzzo |
| 0.376 | ≤ | 4.22688 | verifica di duttilità per rottura lato acciaio |

8.1.1.3 PALI

La sezione dei pali di fondazione delle spalle è stata dimensionata eseguendo le verifiche allo Stato Limite Ultimo in condizioni di presso/tenso-flessione retta e di taglio nella sezione di sommità in quanto maggiormente sollecitata. In particolare per la condizione di presso/tenso-flessione retta si è costruito il diagramma resistente N_{Rd} - M_{Rd} e si sono plottate al suo interno le coppie di sollecitazioni N_{Ed} - M_{Ed} fornite dall'unica combinazione "ENV-SLU/SLV" ottenuta dall'involuppo di tutte le combinazioni in condizione statica e sismica. I criteri generali seguiti sono ovviamente conformi a quanto previsto al punto 4.1.2.1 delle NTC08 sia per quanto riguarda la presso-flessione sia per l'azione di taglio. In particolare per la determinazione delle resistenza a taglio del fusto del palo si sono assunte le formulazioni riportate ai punti 4.1.2.1.3.1 e 4.1.2.1.3.2 a seconda che la sezione in esame sia non dotata o dotata di apposita armatura a taglio; data la sezione circolare dei pali si è semplicemente confrontato tale valore resistente con il valore sollecitante ottenuto come radice quadrata della somma dei quadrati delle azioni taglianti nelle due direzioni (longitudinale e trasversale). Nella Tabella seguente si riportano le sollecitazioni nella sezione di sommità dei 8 pali schematizzati (F3 azione assiale positiva se di trazione, F1 e F2 azioni taglianti, M1 momento torcente, M2 e M3 momenti flettenti).

| TABLE: Element Joint Forces - Frames | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|-------|------------|-------------|----------|---------|--------|-----------|---------|------------|------|
| Frame | Joint | OutputCase | CaseType | StepType | F1 | F2 | F3 | M1 | M2 | M3 |
| Text | Text | Text | Text | Text | KN | KN | KN | KN-m | KN-m | KN-m |
| 4 | 21 | ENV_SLU | Combination | Max | 424.062 | 7.251 | 377.305 | 30.7245 | -1498.9468 | 0 |
| 4 | 21 | ENV_SLU | Combination | Min | 398.742 | -0.294 | -68.395 | -1.9744 | -1562.5588 | 0 |
| 8 | 29 | ENV_SLU | Combination | Max | 421.695 | 7.493 | 375.565 | 32.3184 | -1504.4979 | 0 |
| 8 | 29 | ENV_SLU | Combination | Min | 399.655 | -0.108 | -82.969 | -0.7226 | -1555.1789 | 0 |
| 12 | 37 | ENV_SLU | Combination | Max | 418.355 | 7.767 | 375.565 | 34.1123 | -1504.4979 | 0 |
| 12 | 37 | ENV_SLU | Combination | Min | 399.655 | 0.099 | -93.151 | 0.6631 | -1540.0523 | 0 |
| 16 | 45 | ENV_SLU | Combination | Max | 414.102 | 8.054 | 377.305 | 36.0072 | -1498.9468 | 0 |
| 16 | 45 | ENV_SLU | Combination | Min | 398.742 | 0.251 | -99.245 | 1.6951 | -1517.584 | 0 |
| 21 | 98 | ENV_SLU | Combination | Max | 429.346 | 9.801 | -1933.529 | 40.0523 | -1519.1939 | 0 |
| 21 | 98 | ENV_SLU | Combination | Min | 401.93 | -0.64 | -2723.531 | -4.1748 | -1600.7552 | 0 |
| 25 | 106 | ENV_SLU | Combination | Max | 421.863 | 10.516 | -1952.427 | 44.712 | -1512.678 | 0 |
| 25 | 106 | ENV_SLU | Combination | Min | 400.948 | -0.242 | -2794.96 | -1.585 | -1558.2988 | 0 |
| 29 | 114 | ENV_SLU | Combination | Max | 418.587 | 12.239 | -1952.427 | 56.0408 | -1512.678 | 0 |
| 29 | 114 | ENV_SLU | Combination | Min | 400.948 | 0.237 | -2804.608 | 1.5531 | -1543.5923 | 0 |
| 33 | 122 | ENV_SLU | Combination | Max | 419.404 | 12.913 | -1933.529 | 60.4626 | -1519.1939 | 0 |
| 33 | 122 | ENV_SLU | Combination | Min | 401.93 | 0.617 | -2753.054 | 4.0229 | -1555.8948 | 0 |

Verifica a pressoflessione

Si riportano le informazioni principali inerenti la verifica. La sezione viene armata con 28 barre $\phi 30$ mm.

Si precisa che, in accordo con le indicazioni riportate nella relazione geotecnica, si sono incrementate secondo un fattore 1.2 le sollecitazioni flessionali ai fini di considerare l'effetto ombra e l'effetto di bordo dei pali in gruppo.

Verifica C.A. S.L.U. - File: Pali_spalla

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : _____

Sezione circolare cava

Raggio esterno: 50 [cm]
 Raggio interno: 0 [cm]
 N° barre uguali: 28
 Diametro barre: 3 [cm]
 Copriferro (baric.): 10 [cm]

N° barre: 2 Zoom

| N° | As [cm²] | x [cm] | y [cm] |
|----|----------|--------|--------|
| 1 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 0 |

Tipo Sezione

Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N_{Ed}: 2723 1080 kN
 M_{xEd}: 1920 1040 kNm
 M_{yEd}: 0 0

P.to applicazione N

Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN: 0 yN: 0

Tipo rottura

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali

B450C C28/35

ϵ_{su} : 67.5 ‰ ϵ_{c2} : 2 ‰
 f_{yd} : 391.3 N/mm² ϵ_{cu} : 3.5 ‰
 E_s : 200'000 N/mm² f_{cd} : 15.87
 E_s/E_c : 15 f_{cc}/f_{cd} : 0.8 ?
 ϵ_{syd} : 1.957 ‰ $\sigma_{c,adm}$: 11
 $\sigma_{s,adm}$: 255 N/mm² τ_{co} : 0.6667
 τ_{c1} : 1.971

M_{xRd}: 2'910 kN m

σ_c : -15.87 N/mm²
 σ_s : 391.3 N/mm²
 ϵ_c : 3.5 ‰
 ϵ_s : 3.976 ‰
 d: 90 cm
 x: 42.13 x/d: 0.4681
 δ : 1

Metodo di calcolo

S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

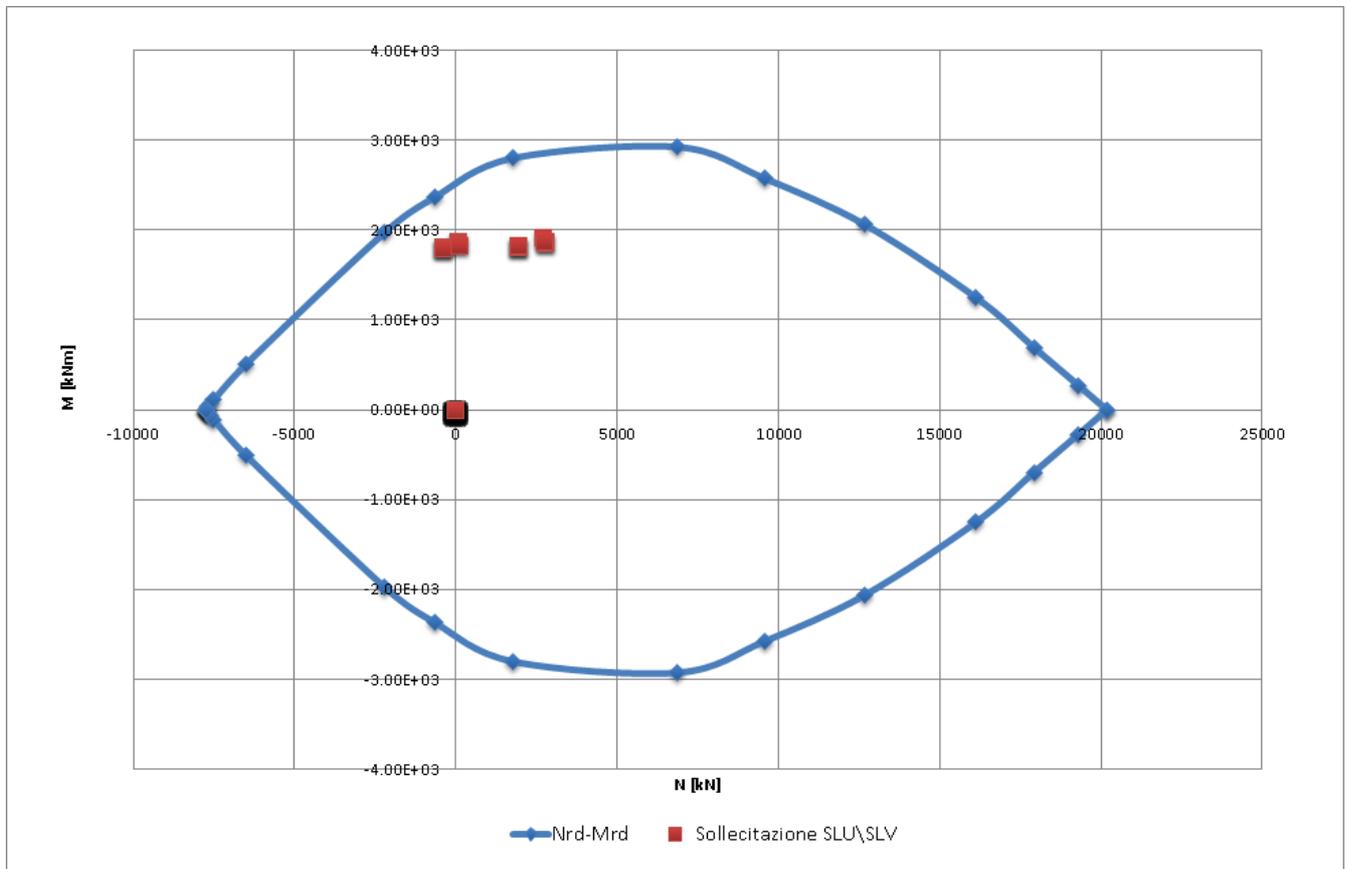
Tipo flessione

Retta Deviata

Vertici: 50 N° rett.: 100

Calcola MRd Dominio M-N
 L_o: 0 cm Col. modello

Precompresso



Come si deduce dalla figura sopra riportata, la verifica a presso-flessione risulta soddisfatta in quanto le sollecitazioni ottenute in caso di SLU ed SLV rimangono sostanzialmente all'interno del dominio resistente.

Verifica a taglio

La massima azione tagliante, ottenuta come sopra descritto, vale (si precisa che, in accordo con le indicazioni riportate nella relazione geotecnica, si sono incrementate secondo un fattore 1.2 le sollecitazioni taglianti ai fini di considerare l'effetto ombra e l'effetto di bordo dei pali in gruppo):

- $V_{Ed} = 515$ KN.

Secondo le indicazioni riportate al punto 4.1.2.1.3.1 delle NTC08, qualora si possano presentare significativi sforzi di trazione è obbligatoria un'apposita armatura trasversale a taglio; si ipotizza di inserire un'armatura a spirale avente diametro 12 mm e passo pari a 250 mm. In tal caso si ha quanto segue (si precisa che si schematizza la sezione circolare ad una rettangolare equivalente di larghezza pari al diametro ed altezza utile pari a $0.8 \cdot 0.95 = 0.76$ volte il diametro)

Elementi che non richiedono armatura a taglio

| | | | |
|-----------------|-------------|-----------------|--------------------------------------------------------|
| $f_{ck} =$ | 28 | Mpa | |
| $d =$ | 760 | mm | altezza utile |
| $A_{sl} =$ | 2826 | mm ² | armatura longitudinale tesa |
| $b_w =$ | 1000 | mm | larghezza minima della sezione in zona tesa |
| $A_c =$ | 760000 | mm ² | area sezione calcestruzzo |
| $N_{ed} =$ | 0 | kN | forza assiale nella sezione (positive le compressioni) |
| $C_{rd,c} =$ | 0.12 | | |
| $k_1 =$ | 0.15 | | |
| $k =$ | 1.5130 | ≤ | 2 |
| $\rho_1 =$ | 0.003718421 | ≤ | 0.02 |
| $\sigma_{cp} =$ | 0.0000 | < | 3.1733 |
| $v_{min} =$ | 0.3447 | | |
| $V_{Rd,c} =$ | 301.30 | kN | formula estesa |
| $V_{Rd,c} =$ | 261.95 | kN | valore minimo di resistenza |

Elementi che richiedono armatura a taglio precompresso? no

| | | | |
|-----------------|---------|-----------------|---------------------------------------------------|
| $\sigma_{cp} =$ | - | Mpa | tensione media di compressione nel cls (positiva) |
| $\alpha =$ | 90 | ° | 1.57 radianti |
| $\theta =$ | 21.8 | ° | 0.38 radianti |
| $b_w =$ | 1000 | mm | larghezza minima della sezione |
| $d =$ | 760 | mm | altezza utile |
| $z =$ | 684 | mm | braccio della coppia interna |
| $A_{sw} =$ | 226.08 | mm ² | area sezione trasversale armatura a taglio |
| $s =$ | 250 | mm | passo staffe |
| $f_{ywd} =$ | 391.30 | Mpa | tensione di progetto delle armature a taglio |
| $\alpha_{cw} =$ | 1.0000 | | |
| $v_1 =$ | 0.5328 | | |
| $f_{cd} =$ | 15.87 | Mpa | |
| $V_{Rd,s} =$ | 605.15 | kN | resistenza lato acciaio |
| $V_{Rd,max} =$ | 1993.82 | kN | resistenza lato calcestruzzo |
| 0.354 | ≤ | 4.22688 | verifica di duttilità per rottura lato acciaio |

8.1.2. Verifica a fessurazione – SLE

La verifica a fessurazione è stata svolta secondo il metodo indiretto tabellare proposto al punto C4.1.2.2.4, cioè limitando la tensione di trazione agente nelle barre in acciaio calcolata in ipotesi classica di sezione

parzializzata (metodo "n") secondo la combinazione di calcolo pertinente (a seconda dell'aggressività dell'ambiente) in funzione del diametro massimo delle barre e dell'interasse tra le barre stesse. Qualora la tensione risultasse inferiore a 160.0 MPa la verifica a fessurazione si considera automaticamente soddisfatta.

8.1.2.1 PARAGHIAIA

Combinazione frequente

Assumendo a favore di sicurezza il massimo momento flettente per tutte le combinazioni di carico frequenti e contemporaneamente il minimo valore dell'azione assiale, si ha quanto riportato sotto.

Verifica C.A. S.L.U. - File: Paraghiaia

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : _____

N° figure elementari Zoom N° strati barre Zoom

| N* | b [cm] | h [cm] |
|----|--------|--------|
| 1 | 100 | 60 |

| N* | As [cm²] | d [cm] |
|----|----------|--------|
| 1 | 15.71 | 5.5 |
| 2 | 31.42 | 54.5 |

Solllecitazioni: S.L.U. Metodo n

N_{Ed} kN
 M_{xEd} kNm
 M_{yEd} kNm

P.to applicazione N: Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN yN

Metodo di calcolo: S.L.U.+ S.L.U.- Metodo n

Materiali

| B450C | C32/40 |
|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| ε _{su} <input type="text" value="67.5"/> ‰ | ε _{c2} <input type="text" value="2"/> ‰ |
| f _{yd} <input type="text" value="391.3"/> N/mm² | ε _{cu} <input type="text" value="3.5"/> ‰ |
| E _s <input type="text" value="200000"/> N/mm² | f _{cd} <input type="text" value="18.13"/> N/mm² |
| E _s /E _c <input type="text" value="15"/> | f _{cc} /f _{cd} <input type="text" value="0.8"/> ? |
| ε _{syd} <input type="text" value="1.957"/> ‰ | σ _{c,adm} <input type="text" value="12.25"/> N/mm² |
| σ _{s,adm} <input type="text" value="255"/> N/mm² | τ _{co} <input type="text" value="0.7333"/> |
| | τ _{c1} <input type="text" value="2.114"/> |

σ_c N/mm²
 σ_s N/mm²
 ε_s ‰
 d cm
 x x/d
 δ

Verifica N° iterazioni:

Precompresso

La verifica a fessurazione si considera automaticamente soddisfatta in quanto la tensione di trazione nelle barre inferiore al limite minimo di 160.0 MPa.

Combinazione quasi permanente

Visti i risultati della combinazione frequente si considera del tutto trascurabile la verifica in combinazione quasi permanente.

8.1.2.2 PLATEA DI FONDAZIONE

Combinazione frequente

Assumendo a favore di sicurezza il massimo momento flettente per tutte le combinazioni di carico frequenti e contemporaneamente il minimo valore dell'azione assiale, si ha quanto riportato sotto.

Verifica C.A. S.L.U. - File: Platea_spalla

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : _____

N° figure elementari Zoom N° strati barre Zoom

| N° | b [cm] | h [cm] |
|----|--------|--------|
| 1 | 100 | 150 |

| N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|----------|--------|
| 1 | 15.71 | 6.5 |
| 2 | 15.71 | 154.5 |

Tipo Sezione
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

| | | |
|------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| N _{Ed} | <input type="text" value="0"/> | <input type="text" value="0"/> kN |
| M _{xEd} | <input type="text" value="400"/> | <input type="text" value="350"/> kNm |
| M _{yEd} | <input type="text" value="0"/> | <input type="text" value="0"/> |

P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN yN

Metodo di calcolo
 S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Materiali

| B450C | | C35/45 | |
|------------------|--------------------------------------------|------------------|------------------------------------|
| ϵ_{su} | <input type="text" value="67.5"/> ‰ | ϵ_{c2} | <input type="text" value="2"/> ‰ |
| f_{yd} | <input type="text" value="391.3"/> N/mm² | ϵ_{cu} | <input type="text" value="3.5"/> |
| E_s | <input type="text" value="200'000"/> N/mm² | f_{cd} | <input type="text" value="19.83"/> |
| E_s/E_c | <input type="text" value="15"/> | f_{cc}/f_{cd} | <input type="text" value="0.8"/> ? |
| ϵ_{syd} | <input type="text" value="1.957"/> ‰ | $\sigma_{c,adm}$ | <input type="text" value="13.5"/> |
| $\sigma_{s,adm}$ | <input type="text" value="255"/> N/mm² | τ_{co} | <input type="text" value="0.8"/> |
| | | τ_{c1} | <input type="text" value="2.257"/> |

σ_c N/mm²
 σ_s N/mm²
 ϵ_s ‰
 d cm
 x w/d
 δ

Verifica
 N° iterazioni:
 Precompresso

La verifica a fessurazione si considera automaticamente soddisfatta in quanto la tensione di trazione nelle barre inferiore al limite minimo di 160.0 MPa.

Combinazione quasi permanente

Visti i risultati della combinazione frequente si considera del tutto trascurabile la verifica in combinazione quasi permanente.

8.1.2.3 PALI

Combinazione frequente

Assumendo a favore di sicurezza il massimo momento flettente per tutte le combinazioni di carico frequenti e contemporaneamente il minimo valore dell'azione assiale, si ha quanto riportato sotto.

Verifica C.A. S.L.U. - File: Pali_spalla

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : _____

Sezione circolare cava

Raggio esterno: 50 [cm]
 Raggio interno: 0 [cm]
 N° barre uguali: 28
 Diametro barre: 3 [cm]
 Copriferro (baric.): 10 [cm]

N° barre: 2 **Zoom**

| N° | As [cm²] | x [cm] | y [cm] |
|----|----------|--------|--------|
| 1 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 0 |

Tipo Sezione

Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N_{Ed}: 2723 1080 [kN]
 M_{xEd}: 1920 1040 [kNm]
 M_{yEd}: 0 0

P.to applicazione N

Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN: 0 yN: 0

Metodo di calcolo

S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Materiali

B450C C28/35

ε_{su}: 67.5 ‰ ε_{c2}: 2 ‰
 f_{yd}: 391.3 N/mm² ε_{cu}: 3.5 ‰
 E_s: 200'000 N/mm² f_{cd}: 15.87
 E_s/E_c: 15 f_{cc}/f_{cd}: 0.8
 ε_{syd}: 1.957 ‰ σ_{c,adm}: 11
 σ_{s,adm}: 255 N/mm² τ_{co}: 0.6667
 τ_{c1}: 1.971

σ_c: -10.6 N/mm²
 σ_s: 164.3 N/mm²
 ε_s: 0.8216 ‰
 d: 90 cm
 x: 44.26 x/d: 0.4917
 δ: 1

Vertici: 50
Verifica
 N° iterazioni: 4
 Precompresso

La verifica a fessurazione si considera automaticamente soddisfatta in quanto la tensione di trazione nelle barre inferiore è prossimo al limite minimo di 160.0 MPa.

Combinazione quasi permanente

Visti i risultati della combinazione frequente si considera del tutto trascurabile la verifica in combinazione quasi permanente.

8.1.3. Verifica a capacità portante per carichi verticali

La determinazione della capacità portante dei pali di fondazione è stata eseguita in riferimento a quanto riportato nella Relazione Geotecnica inerente l'opera in oggetto e in ottemperanza alle indicazioni riportate nelle NTC08. In particolare si segnala che si farà riferimento all'Approccio 2 (A1 – M1 – R3) e si considera sia il caso di palo singolo, sia il caso di fondazione come palificata di gruppo i cui pali presentano interasse pari a 3 volte il diametro dei pali

Da quanto è possibile dedurre dalla Figura sotto riportata, assumendo una lunghezza totale dei pali pari a 34.0 m (di cui circa 30 m all'interno del terreno naturale), si ha una capacità portante di calcolo del singolo palo pari a: $R_{cd} = 3800.0$ KN

La massima azione assiale registrata alla base dei pali vale:

- $N_{Ed} = 3631$ KN.

Si ha pertanto:

$$N_{Ed} < R_{cd}$$

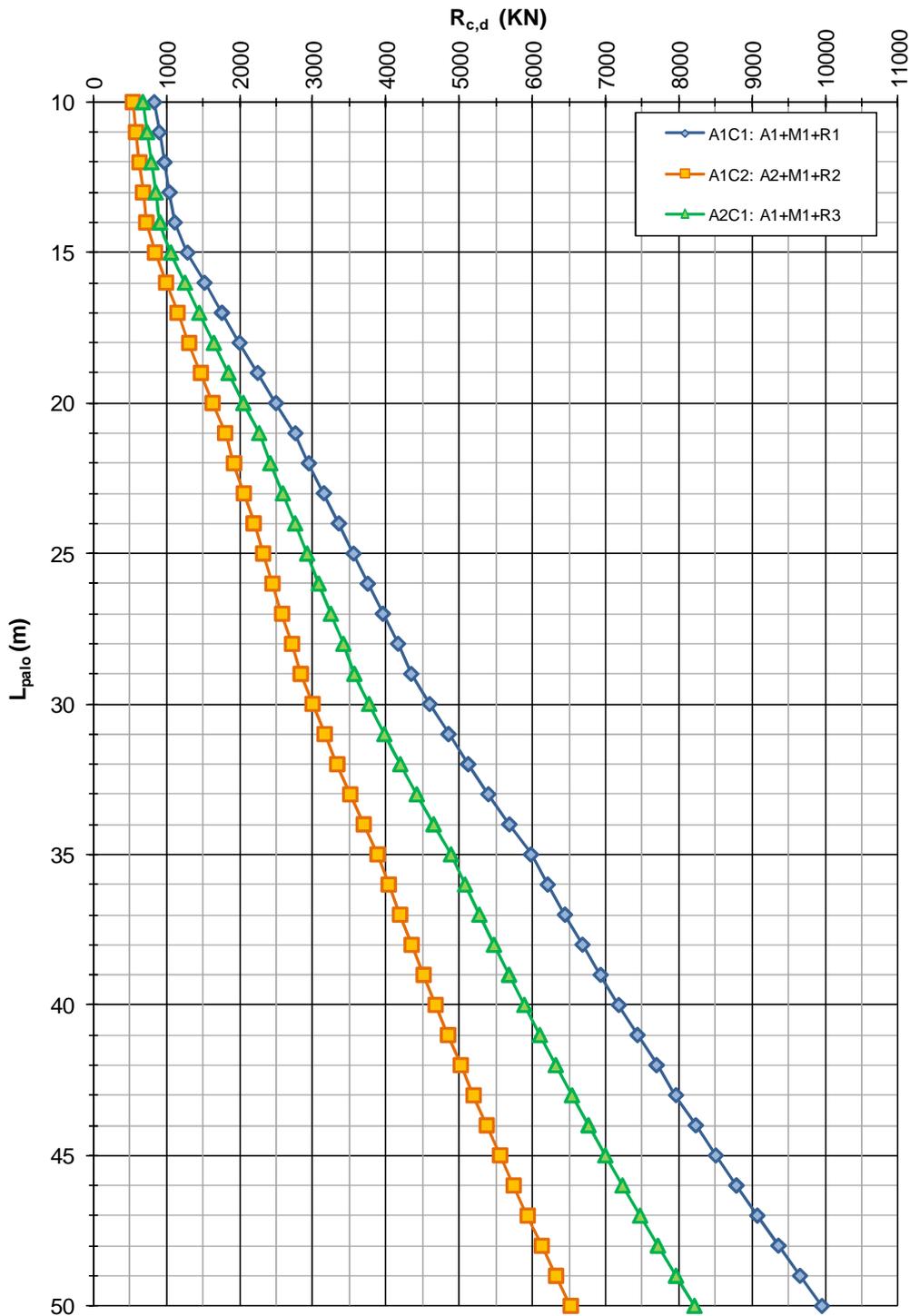
Per quanto riguarda la verifica della capacità portante per carichi verticali dell'intera palificata, dal momento che i pali distano tra loro 3 volte il loro diametro, è possibile fare riferimento ad un coefficiente di efficienza pari a 0.7. Si ha pertanto (il massimo carico verticale globale N_{Ed} è stato ottenuto dal modello di calcolo come "Base Reaction" in direzione verticale a cui è stato sottratto il peso dei pali):

$$Q_{G,Rd} = 0.7 \cdot 3800 \cdot 8 = 21280 \text{ KN}$$

$$N_{Ed} = 18037 < Q_{G,Rd}.$$

La verifica risulta pertanto soddisfatta.

DPO02 - Ponte sul torrente Enza - ZO1-1RE
NTC del 14/01/2008
Capacità portante a compressione - Pali trivellati ϕ 1000mm



8.1.4. Verifica a capacità portante per carichi orizzontali

Dalla seguente Figura, ottenuta dagli studi geotecnici svolti, è possibile ottenere il valore della capacità portante per carichi orizzontali. Il valore dell'azione assiale minima per lo stato limite ultimo (SLU/SLV) vale, in trazione, 375 KN a cui corrisponde il seguente momento resistente della sezione.

Verifica C.A. S.L.U. - File: Pali_spalla

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : _____

Sezione circolare cava

Raggio esterno: 50 [cm]
 Raggio interno: 0 [cm]
 N° barre uguali: 28
 Diametro barre: 3 [cm]
 Copriferro (baric.): 10 [cm]

N° barre: 2 Zoom

| N° | As [cm²] | x [cm] | y [cm] |
|----|----------|--------|--------|
| 1 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 0 |

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N_{Ed}: -375 1080 kN
 M_{xEd}: 0 1040 kNm
 M_{yEd}: 0 0

P.to applicazione N

Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN: 0 yN: 0

Tipo rottura
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali

| Parametro | B450C | C28/35 |
|------------------|---------------|-----------------------|
| ϵ_{su} | 67.5 ‰ | ϵ_{c2} 2 ‰ |
| f_{yd} | 391.3 N/mm² | ϵ_{cu} 3.5 ‰ |
| E_s | 200'000 N/mm² | f_{cd} 15.87 |
| E_s/E_c | 15 | f_{cc}/f_{cd} 0.8 ? |
| ϵ_{syd} | 1.957 ‰ | $\sigma_{c,adm}$ 11 |
| $\sigma_{s,adm}$ | 255 N/mm² | τ_{co} 0.6667 |
| | | τ_{c1} 1.971 |

M_{xRd}: 2'430 kN m

σ_c : -15.87 N/mm²
 σ_s : 391.3 N/mm²
 ϵ_c : 3.5 ‰
 ϵ_s : 7.022 ‰
 d: 90 cm
 x: 29.94 x/d: 0.3327
 δ : 0.8558

Tipo Sezione

Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Metodo di calcolo

S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Tipo flessione

Retta Deviata

Vertici: 50 N° rett. 100

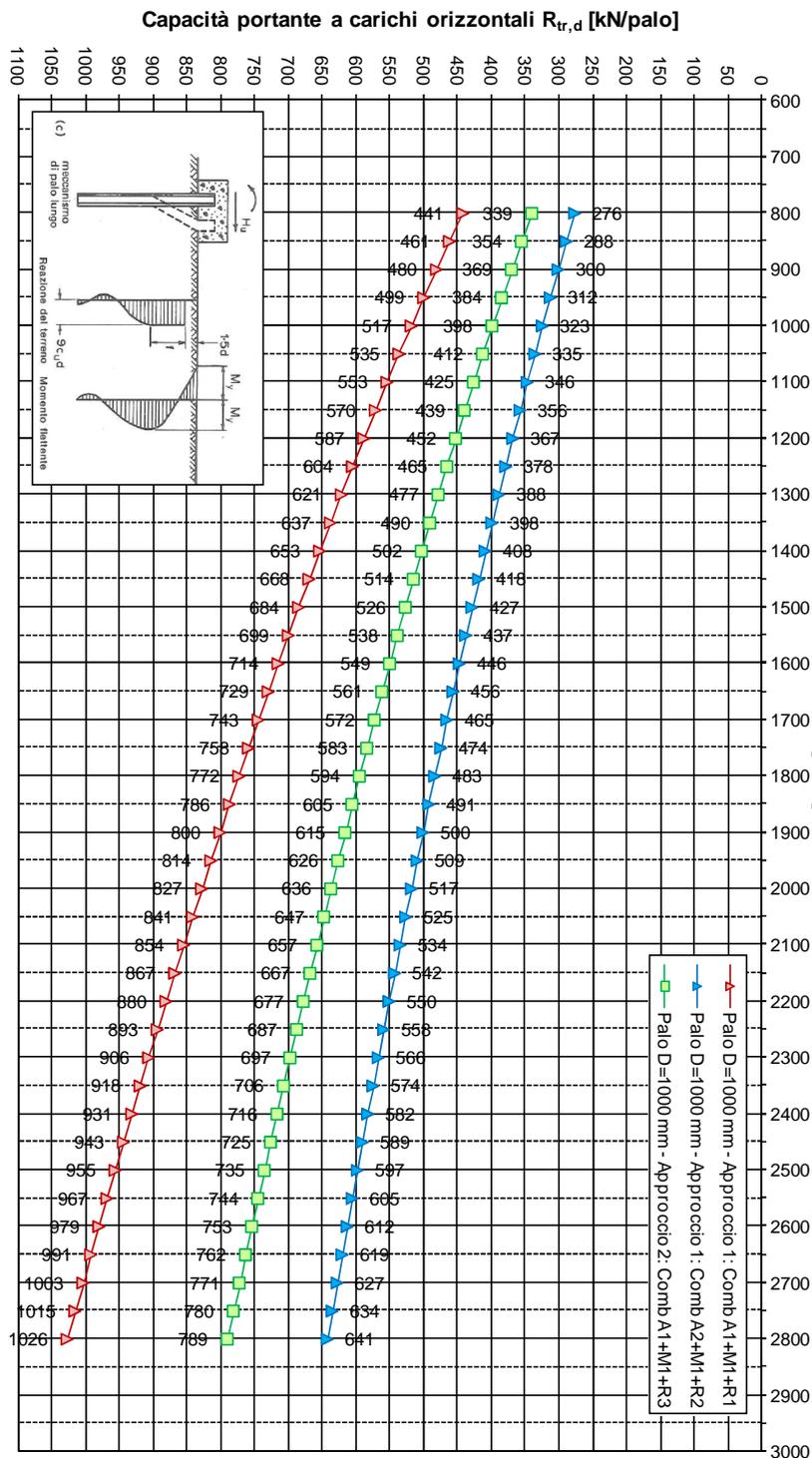
Calcola MRd Dominio M-N

L₀: 0 cm Col. modello

Precompresso

Dal grafico relativo alla capacità portante si ha quanto segue:

$$R_{tR,d} = 715 \text{ KN} > V_{Ed} = 515 \text{ KN.}$$



Pali di fondazione - Opera DPO02 - Z01-1RE
Capacità portante di progetto del singolo palo soggetto a carichi trasversali - $R_{tr,d}$
D = 1000 mm - condizione di incastro in testa

Per quanto attiene alla verifica nei confronti delle azioni orizzontali della palificata intesa come gruppo di pali, in riferimento a quanto indicato nella relazione geotecnica è possibile assumere un coefficiente di efficienza pari a 0.8. Si ha pertanto (H_{Ed} è l'azione ottenuta sommando tutti i massimi in valore assoluto dell'azione tagliante agente longitudinalmente, mentre il valore della capacità portante orizzontale è calcolato ipotizzando il valore di azione assiale media agente in sommità pali in condizione sismica):

$$H_{Rd} = 0.8 * 8 * 760 = 4864 \text{ KN}$$

$$H_{Ed} = 3368 \text{ KN}$$

$$H_{Ed} < H_{Rd}.$$

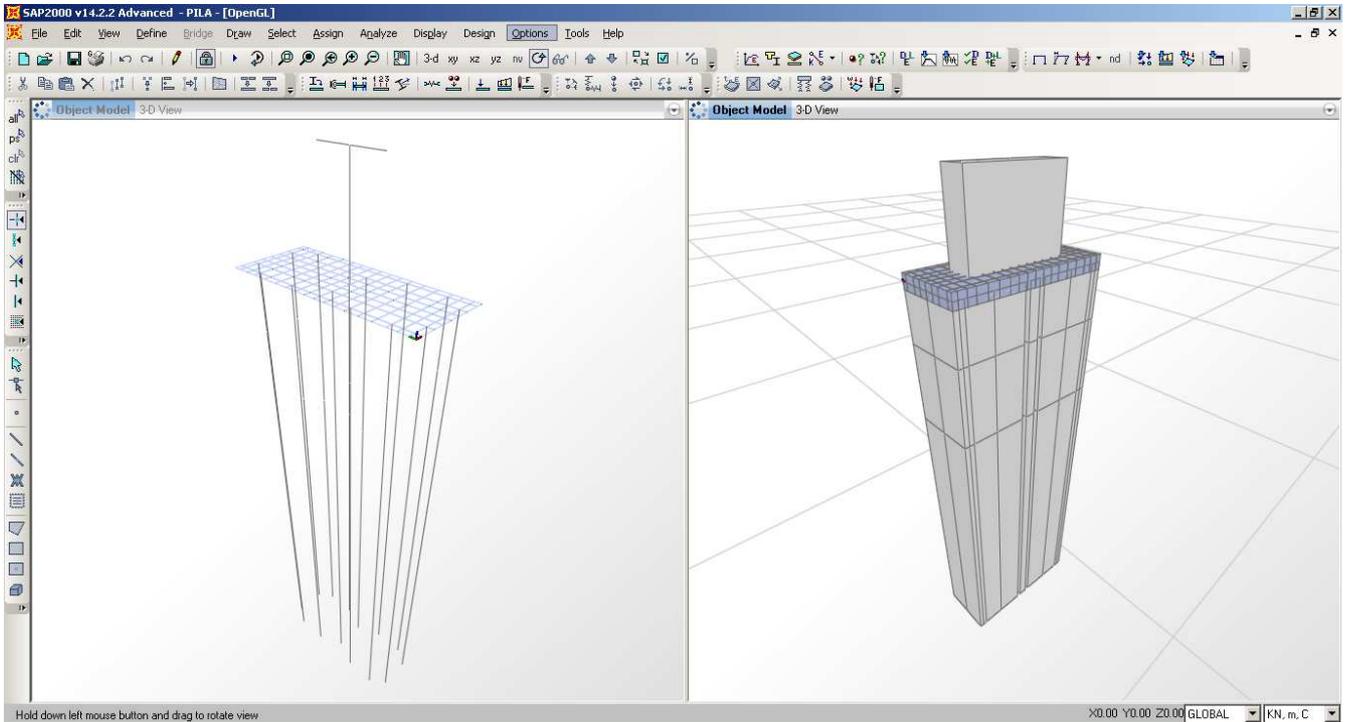
La verifica risulta pertanto soddisfatta.

9. DIMENSIONAMENTO DELL'OPERA: PILA-DIAFRAMMA

9.1. ANALISI CON CODICE DI CALCOLO

Il dimensionamento della pila tradizionale è stato effettuato tramite la realizzazione di un apposito modello agli elementi finiti con il programma SAP2000 v.14.2.2 della C&S Inc. La geometria analizzata è sinteticamente descritta da quanto segue:

- Altezza fusto: 5.32 m;
- Larghezza fusto: 7.7 m;
- Spessore massimo del fusto: 2.4 m;
- Spessore platea di fondazione: 1.0 m;
- Lunghezza platea di fondazione: 5.8 m;
- Larghezza platea di fondazione: 13.2 m;
- Numero di diaframmi: 14;
- Caratteristiche diaframma: 80x250 mmq;
- Lunghezza diaframma: 35.0 m.



Il modello realizzato è caratterizzato dalle seguenti proprietà:

- Il fusto e i diaframmi sono schematizzati con elementi finiti monodimensionali “frames”;
- La soletta di fondazione è schematizzata con elementi finiti bidimensionali “areas” di tipo “thick shell”;
- Il collegamento tra base del fusto, asse di definizione degli elementi schematizzanti la soletta e la sommità dei diaframmi è realizzato tramite appositi vincoli interni “joint constrains” a corpo rigido;
- I diaframmi sono stati vincolati orizzontalmente tramite vincoli elastici lineari avente rigidezza $K_h = 504 \text{ KN/m}^3$ per il primo tratto di lunghezza 4.0 m, pari a $K_h = 1764 \text{ KN/m}^3$ per il secondo tratto di lunghezza 10.0 m e $K_h = 5040 \text{ KN/m}^3$ per l'ultimo tratto di lunghezza 21 m (schematizzazione del terreno alla “Winkler”) e verticalmente tramite un vincolo elastico alla base di rigidezza $K_h = 400000 \text{ KN/m}$.

Si sono assegnati i seguenti carichi:

- Peso proprio degli elementi costituenti la pila;
- Ai nodi di sommità dell'elemento “Frame” schematizzante il pulvino (asse degli appoggi) si sono assegnati i carichi trasmessi dall'impalcato. In particolare si veda la tabella seguente (l'azione verticale N è considerata positiva se diretta verso l'alto).

| CASO DI CARICO | Fz [KN] | Fy [KN] | Fx [KN] | sx [mm] |
|----------------------|---------|---------|---------|------------|
| PERMANENTI – FASE 1 | -7900 | - | - | - |
| PERMANENTI – FASE 2 | -2686 | - | - | - |
| ΔT + TERMICA | +936 | - | - | - |
| TERMICA | - | - | - | +83 \ - 48 |
| RITIRO | -267 | - | - | - |
| MOBILI | -4053 | - | - | - |
| VENTO | - | 764 | - | - |
| SISMA | - | 803 | 803 | - |

- All'elemento "frame" schematizzante il fusto pila si è assegnata la spinta del terreno a tergo (terreno arginale) considerata agente in stato "a riposo" per la condizione statica e in stato limite attivo per la condizione sismica (formulazione di Mononobe-Okabe). Vale quanto sotto riportato.

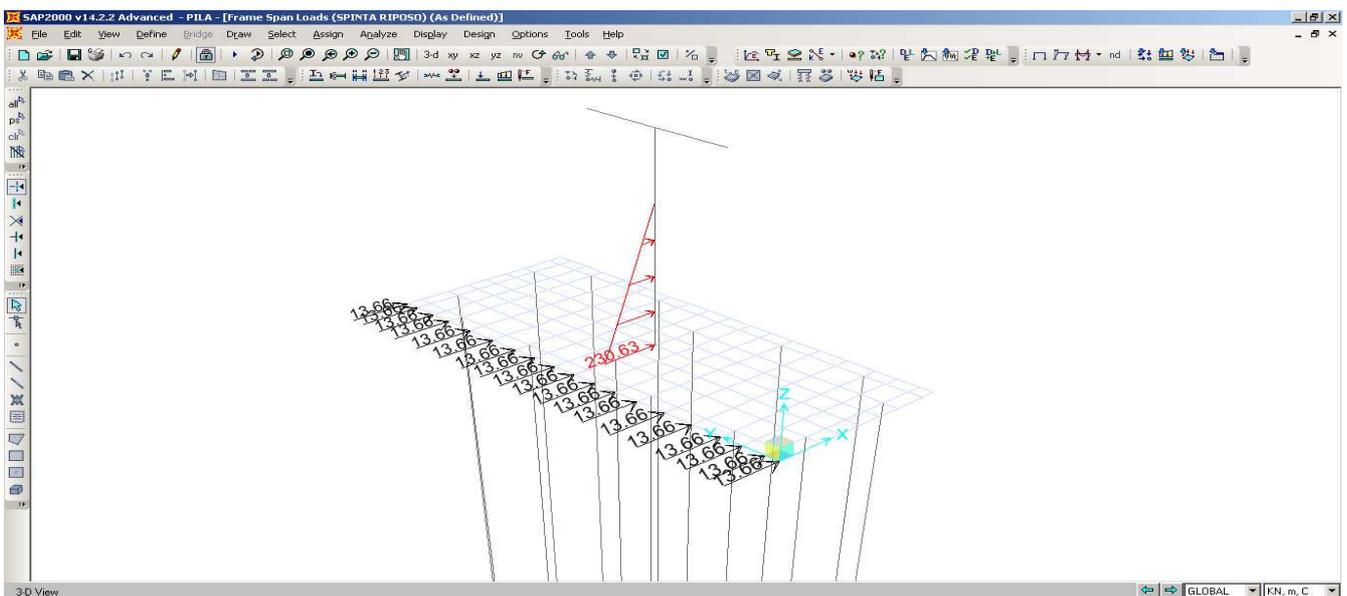
Angolo di resistenza al taglio del terreno $\phi' = 38^\circ$;

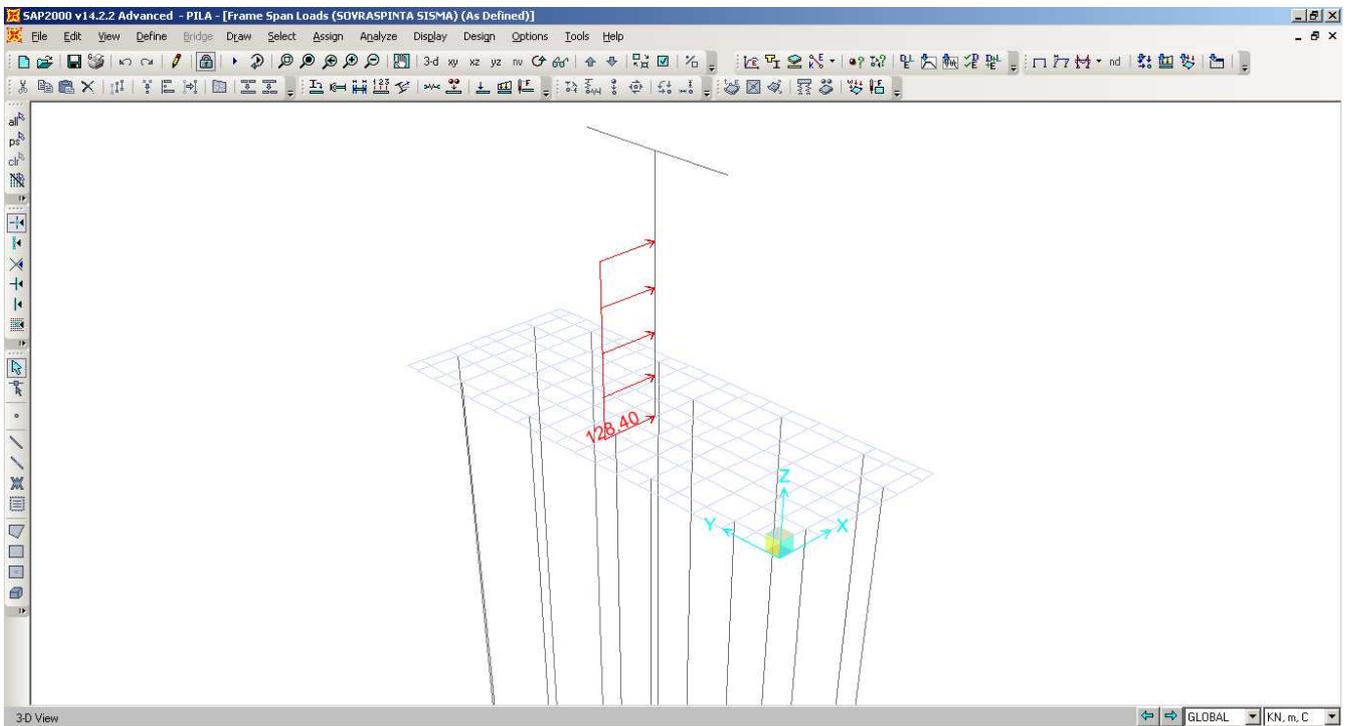
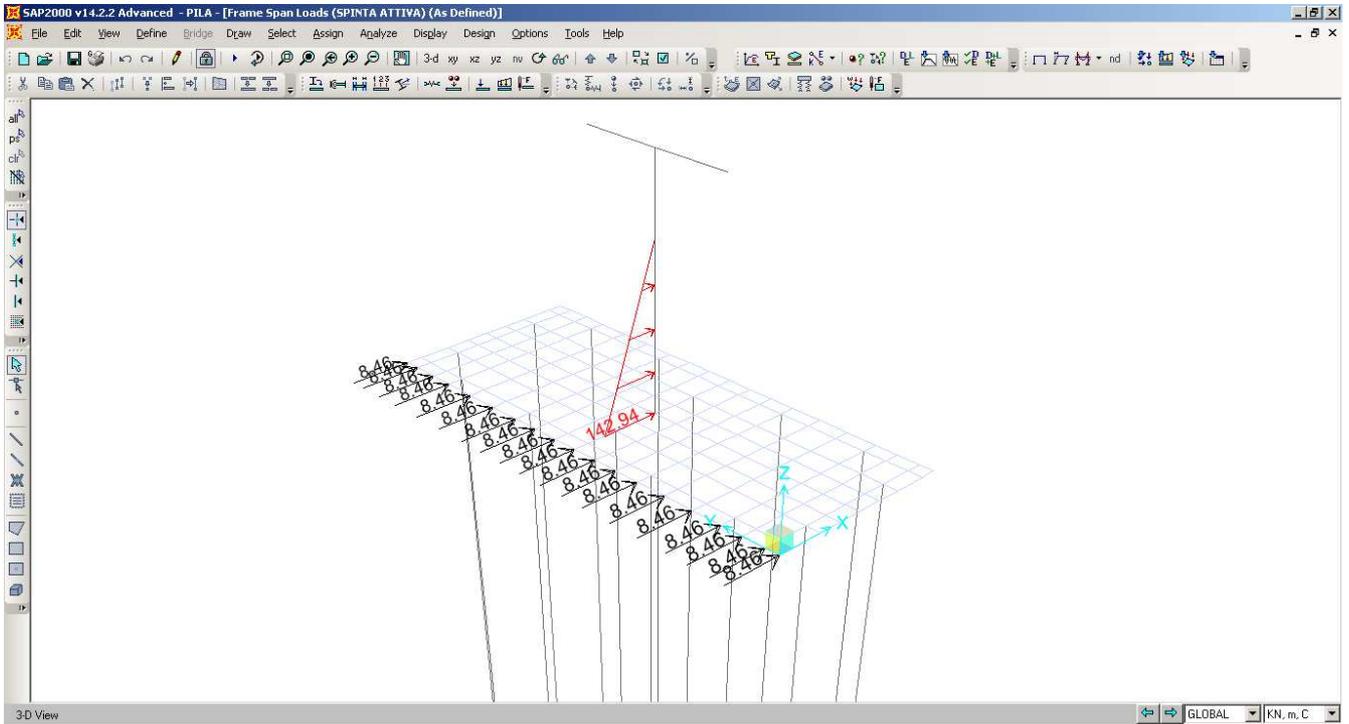
Peso dell'unità di volume del terreno $\gamma = 19.5 \text{ KN/mc}$;

Coefficiente di spinta a riposo (condizione statica) $k_0 = 0.384$.

Per quanto attiene ai parametri utilizzati in condizione sismica si deve precisare che l'influenza del coefficiente sismico verticale K_v sul valore finale della spinta orizzontale secondo la formulazione di Mononobe- Okabe è circa pari al 5%. In virtù di tale considerazione si assume un unico coefficiente di spinta in condizioni sismica incrementato del 5% rispetto al caso $k_v=0$, mentre si considera K_v per quanto riguarda le azioni inerziali innescate dai pesi propri degli elementi.

Considerando una larghezza del fusto pari a 7.7 m si hanno i valori dei carichi di seguito riportati.





- Oltre all'azione del vento trasmessa dall'impalcato, deve essere aggiunto l'effetto del vento sul fusto pila. In accordo con la normativa vigente (vedi § 3.3 D.M. 14-01-2008) l'azione del vento si valuta tramite l'espressione:

$$p = q_b \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d$$

dove:

q_b è la pressione cinetica di riferimento

c_e è il coefficiente di esposizione

c_p è il coefficiente di forma

c_d è il coefficiente dinamico

valori di base del vento:

| | | |
|-------------|------------------------|---------------------------------------------------|
| $v_{b,0} =$ | 25.00 m/sec | valore fondamentale della velocità base del vento |
| $a_0 =$ | 750.00 m | fattore direzionale |
| $k_a =$ | 0.02 sec ⁻¹ | fattore di stagionalità |
| $a_s =$ | 33.00 m | |
| $v_b =$ | 25.00 m/sec | velocità di base |

parametri per coeff. Esposizione

| | | |
|-------------|-----------------|-----------------------|
| $z_0 =$ | 0.05 m | lunghezza di rugosità |
| $z_{min} =$ | 4.00 m | altezza minima |
| $z =$ | 10.00 m < 200 m | altezza di progetto |
| $k_r =$ | 0.19 | fattore del terreno |

valori di picco della pressione:

| | | |
|------------|-------------------------|----------------------------------------------------|
| $\rho =$ | 1.25 kg/m ³ | intensità dell'aria |
| $q_b =$ | 0.391 kN/m ² | pressione dinamica di base |
| $c_e(z) =$ | 2.352 se $z > z_{min}$ | fattore di esposizione |
| $c_e(z) =$ | 1.801 se $z < z_{min}$ | fattore di esposizione |
| $c_d =$ | 1.00 | |
| $c_p =$ | 1.80 | |
| $c_t =$ | 1.00 | |
| $p =$ | 1.654 kN/m ² | → nel calcolo si assume a il valore di $p=1.7$ kPa |

Essendo il fusto fuori terra di altezza ridotta, risulta trascurabile l'effetto del vento sul fusto pila.

- Per quanto riguarda l'azione inerziale orizzontale causata dal sisma e dovuta alle masse proprie degli elementi in gioco, si è assegnato ad ogni elemento modellato un'azione orizzontale diretta in direzione X pari a 0.159 volte il peso proprio dell'elemento stesso, secondo la relazione:

$$F_{inerziale} = K_n \cdot a_g \cdot g \cdot W = 0.159 \cdot W \quad (W = \text{peso proprio dell'elemento considerato}).$$

- Per quanto riguarda l'azione inerziale verticale causata dal sisma e dovuta alle masse proprie degli elementi in gioco, si è assegnato ad ogni elemento modellato un'azione verticale diretta in direzione Z pari a 0.080 volte il peso proprio dell'elemento stesso, secondo la relazione:

$$F_{\text{inerziale}} = K_v \cdot a_g \cdot g \cdot W = 0.080 \cdot W \quad (W = \text{peso proprio dell'elemento considerato}).$$

Si sono analizzate le seguenti combinazioni di carico per lo SLU e SLV.

| PILA -SLU/SLV | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| PESO PROPRIO | 1.35 | 1 | 1.35 | 1 | 1 | 1 |
| PERMANENTI | 1.35 | 1 | 1.35 | 1 | 1 | 1 |
| PERMANENTI IMPALCATO | 1.35 | 1 | 1.35 | 1 | 1 | 1 |
| SPINTA DEL TERRENO | 1.35 | 1 | 1.35 | 1 | 1 | 1 |
| VEICOLI | 1.35 | 1.35 | 1.02 | 1.02 | - | - |
| VENTO | 0.9 | 0.9 | 1.5 | 1.5 | - | - |
| SISMA X | - | - | - | - | 0 | 0 |
| SISMA Y | - | - | - | - | 1 | 1 |
| SISMA Z | - | - | - | - | 1 | -1 |

| PILA -SLE FR | 1 | 2 |
|----------------------|----------|----------|
| PESO PROPRIO | 1 | 1 |
| PERMANENTI | 1 | 1 |
| PERMANENTI IMPALCATO | 1 | 1 |
| SPINTA DEL TERRENO | 1 | 1 |
| VEICOLI | 0.75 | 0 |
| VENTO | 0 | 0.2 |
| SISMA X | - | - |
| SISMA Y | - | - |
| SISMA Z | - | - |

9.1.1. Verifiche di Resistenza – SLU/SLV

9.1.1.1 FUSTO

La sezione del fusto è stata dimensionata eseguendo le verifiche allo Stato Limite Ultimo in condizioni di presso/tenso-flessione retta e di taglio nella sezione di connessione con la platea in quanto maggiormente sollecitata. In particolare per la condizione di presso/tenso-flessione retta si è costruito il diagramma resistente $N_{Rd}-M_{Rd}$ e si sono plottate al suo interno le coppie di sollecitazioni $N_{Ed}-M_{Ed}$ fornite dall'unica

combinazione “ENV-SLU/SLV” ottenuta dall’involuppo di tutte le combinazioni in condizione statica e sismica. I criteri generali seguiti sono ovviamente conformi a quanto previsto al punto 4.1.2.1 delle NTC08 sia per quanto riguarda la presso-flessione sia per l’azione di taglio. Nella Tabella seguente si riportano le sollecitazioni nella sezione di base del paraghiaia (F3 azione assiale positiva se di trazione, F1 e F2 azioni taglianti, M1 momento torcente, M2 e M3 momenti flettenti).

| TABLE: Element Joint Forces - Frames | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|-------|------------|-------------|----------|-----------|--------|-----------|----------|------------|------|
| Frame | Joint | OutputCase | CaseType | StepType | F1 | F2 | F3 | M1 | M2 | M3 |
| Text | Text | Text | Text | Text | KN | KN | KN | KN-m | KN-m | KN-m |
| 64 | 128 | ENV_SLU | Combination | Max | -461.26 | -687.6 | 22621.223 | 6669.72 | -615.0133 | 0 |
| 64 | 128 | ENV_SLU | Combination | Min | -1938.294 | -1146 | 12535.555 | 4001.832 | -7059.0521 | 0 |

Verifica a pressoflessione

Si riportano le informazioni principali inerenti la verifica. La sezione viene armata con 1+1 barre $\phi 20$ mm passo 20 cm.

Si precisa che le sollecitazioni di verifica sono condotte per una striscia di profondità unitaria e che pertanto sono state divise per la larghezza del fusto pari a 7.7 m, ipotizzando uno spessore medio del fusto pari a 1.88 m.

Verifica C.A. S.L.U. - File: Fusto

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : _____

N° figure elementari Zoom N° strati barre Zoom

| N° | b [cm] | h [cm] |
|----|--------|--------|
| 1 | 100 | 188 |

| N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|----------|--------|
| 1 | 15.71 | 6.2 |
| 2 | 15.71 | 181.8 |

Tipo Sezione
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

| | | |
|------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| N _{Ed} | <input type="text" value="1627"/> | <input type="text" value="670"/> kN |
| M _{xEd} | <input type="text" value="917"/> | <input type="text" value="13"/> kNm |
| M _{yEd} | <input type="text" value="0"/> | <input type="text" value="0"/> |

P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN yN

Tipo rottura
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Metodo di calcolo
 S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Tipo flessione
 Retta Deviata

Materiali

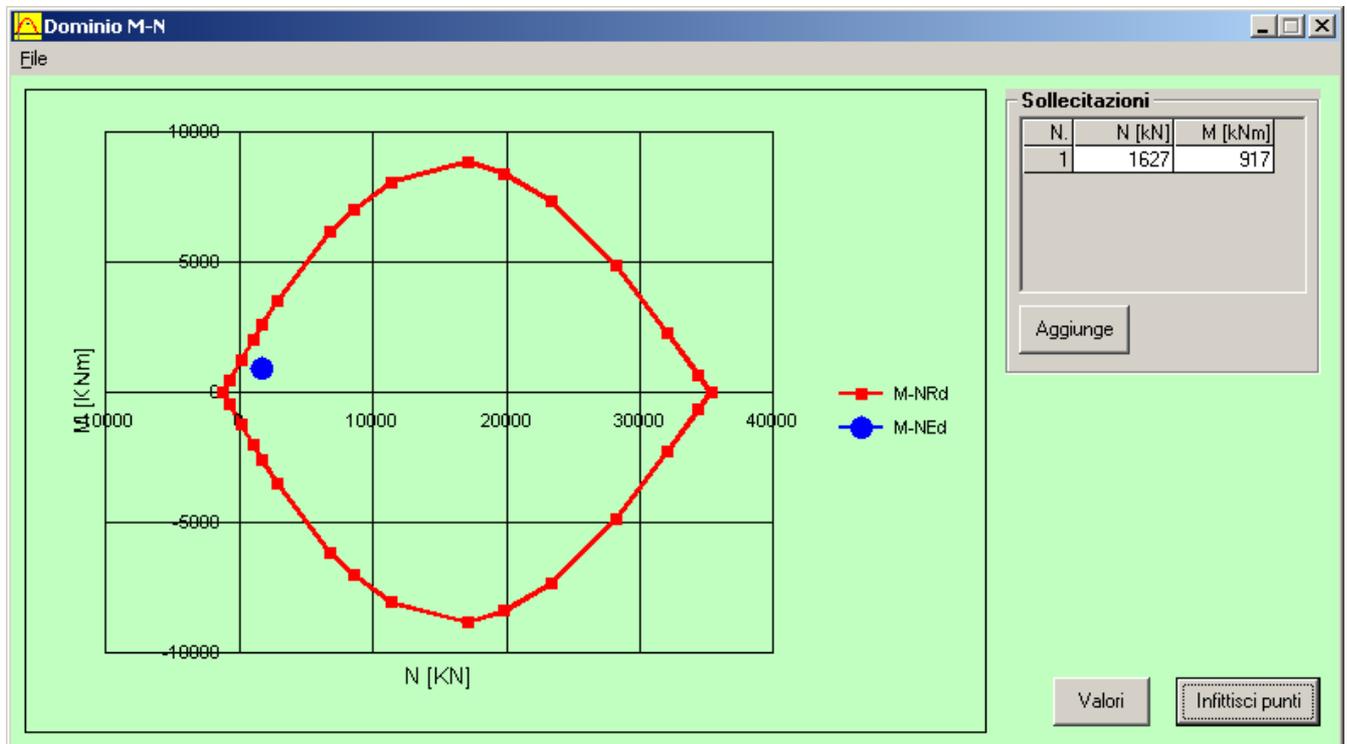
| | |
|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| B450C | C32/40 |
| ϵ_{su} <input type="text" value="67.5"/> ‰ | ϵ_{c2} <input type="text" value="2"/> ‰ |
| f_{yd} <input type="text" value="391.3"/> N/mm² | ϵ_{cu} <input type="text" value="3.5"/> |
| E_s <input type="text" value="200'000"/> N/mm² | f_{cd} <input type="text" value="18.13"/> |
| E_s/E_c <input type="text" value="15"/> | f_{cc}/f_{cd} <input type="text" value="0.8"/> ? |
| ϵ_{syd} <input type="text" value="1.957"/> ‰ | $\sigma_{c,adm}$ <input type="text" value="12.25"/> |
| $\sigma_{s,adm}$ <input type="text" value="255"/> N/mm² | τ_{co} <input type="text" value="0.7333"/> |
| | τ_{c1} <input type="text" value="2.114"/> |

M_{xRd} kN m

σ_c N/mm²
 σ_s N/mm²
 ϵ_c ‰
 ϵ_s ‰
 d cm
 x x/d
 δ

Calcola MRd **Dominio M-N**
 L₀ cm **Col. modello**

Precompresso



Come si deduce dalla figura sopra riportata, la verifica a presso-flessione risulta soddisfatta in quanto le sollecitazioni ottenute in caso di SLU ed SLV rimangono all'interno del dominio resistente.

Verifica a taglio

La massima azione tagliante, ottenuta come sopra descritto, vale:

- $V_{Ed} = 293 \text{ kN}$.

Non è necessaria armatura a taglio.

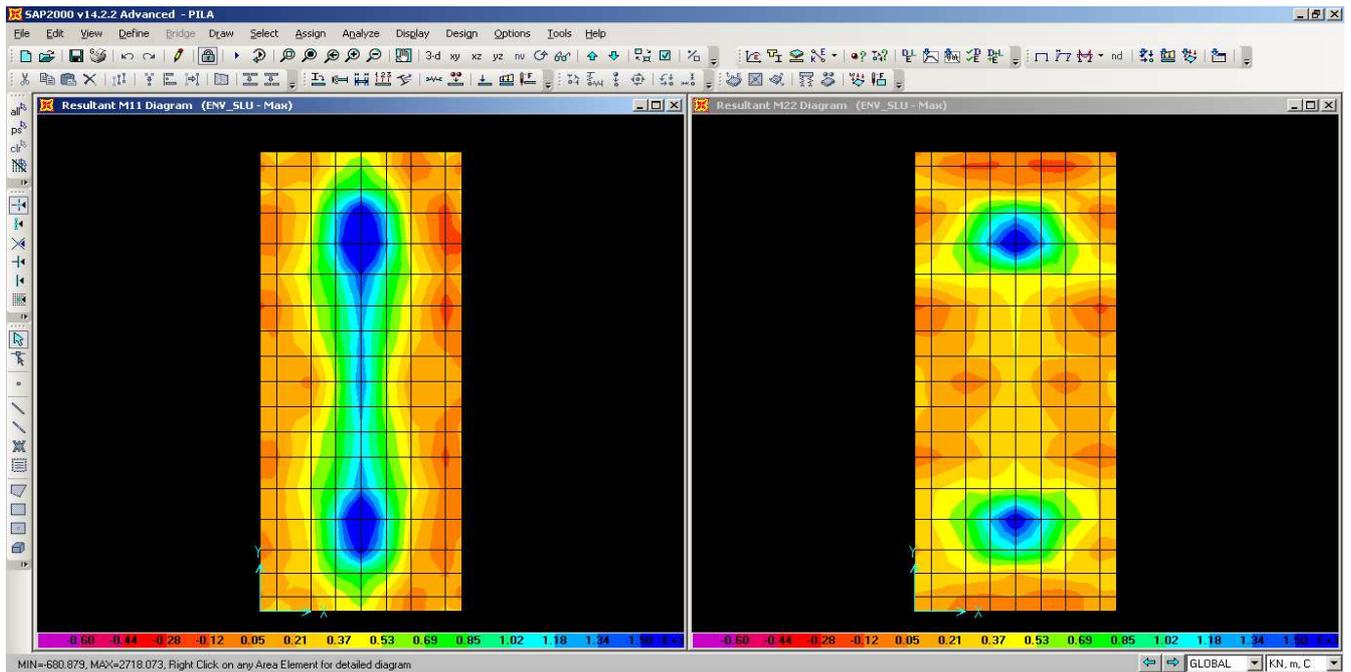
Elementi che non richiedono armatura a taglio

| | | | |
|-----------------|-------------|-----------------|--------------------------------------------------------|
| $f_{ck} =$ | 32 | Mpa | |
| $d =$ | 1700 | mm | altezza utile |
| $A_{sl} =$ | 1570 | mm ² | armatura longitudinale tesa |
| $b_w =$ | 1000 | mm | larghezza minima della sezione in zona tesa |
| $A_c =$ | 1700000 | mm ² | area sezione calcestruzzo |
| $N_{ed} =$ | 0 | kN | forza assiale nella sezione (positive le compressioni) |
| $C_{rd,c} =$ | 0.12 | | |
| $k_1 =$ | 0.15 | | |
| $k =$ | 1.3430 | \leq | 2 |
| $\rho_1 =$ | 0.000923529 | \leq | 0.02 |
| $\sigma_{cp} =$ | 0.0000 | $<$ | 3.6267 |
| $v_{min} =$ | 0.3081 | | |
| $V_{Rd,c} =$ | 393.16 | kN | formula estesa |
| $V_{Rd,c} =$ | 523.85 | kN | valore minimo di resistenza |

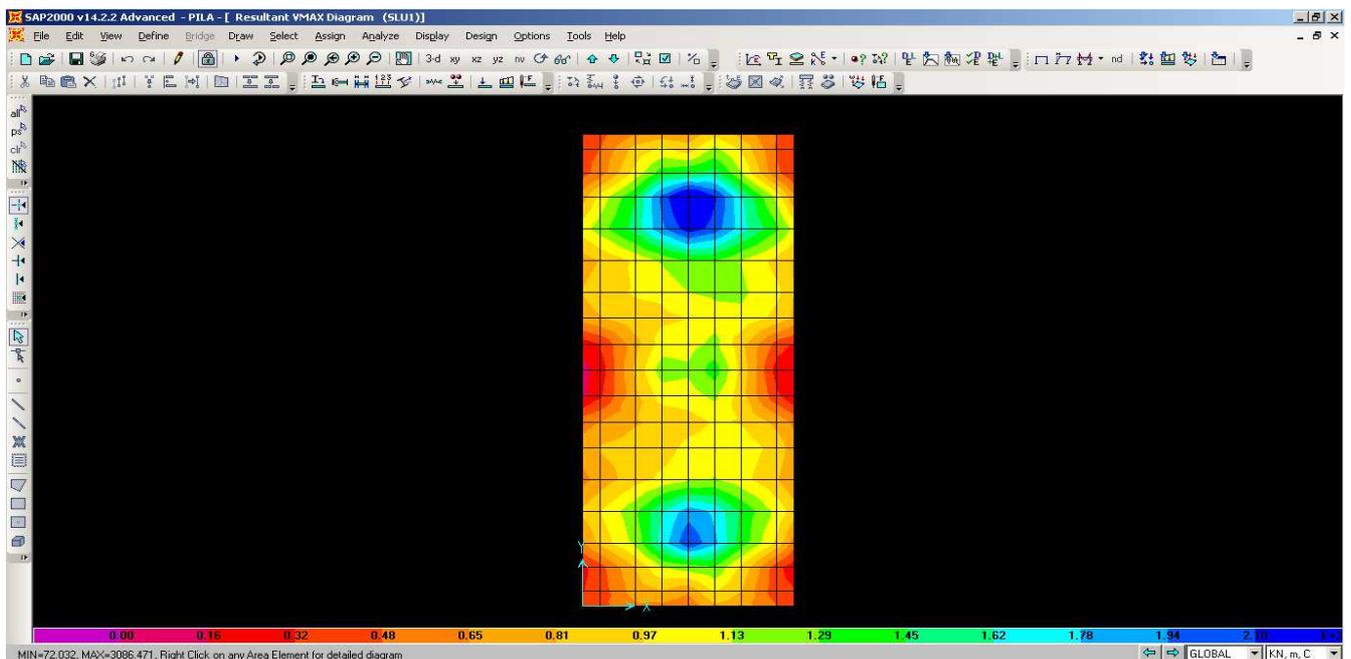
9.1.1.2 PLATEA DI FONDAZIONE

La platea di fondazione è stata dimensionata eseguendo le verifiche allo Stato Limite Ultimo in condizioni di flessione retta e di taglio nella sezione maggiormente sollecitata. Nelle figure seguenti viene riportata la mappatura cromatica delle sollecitazioni flettenti e taglianti all'interno della platea di fondazione.

SOLLECITAZIONI FLESSIONALI



SOLLECITAZIONI TAGLIANTI



Verifica a pressoflessione

Si riportano le informazioni principali inerenti la verifica. La sezione viene armata con 1+1 barre $\phi 26$ mm passo 10 cm (disposte in entrambe le direzioni).

Si precisa che le sollecitazioni di verifica sono condotte per una striscia di profondità unitaria.

Verifica C.A. S.L.U. - File: Platea_pila

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : _____

N° figure elementari **Zoom** **N° strati barre** **Zoom**

| N° | b [cm] | h [cm] | N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|--------|--------|----|----------|--------|
| 1 | 100 | 100 | 1 | 53.09 | 6.5 |
| | | | 2 | 53.09 | 94.5 |

Tipo Sezione
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

N Ed kN
M xEd kNm
M yEd

P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN yN

Tipo rottura
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Metodo di calcolo
 S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Tipo flessione
 Retta Deviata

Materiali

| B450C | | C28/35 | |
|------------------|---------------|------------------|--------|
| ϵ_{su} | 67.5 ‰ | ϵ_{c2} | 2 ‰ |
| f_{yd} | 391.3 N/mm² | ϵ_{cu} | 3.5 ‰ |
| E_s | 200'000 N/mm² | f_{cd} | 15.87 |
| E_s/E_c | 15 | f_{cc}/f_{cd} | 0.8 |
| ϵ_{syd} | 1.957 ‰ | $\sigma_{c,adm}$ | 11 |
| $\sigma_{s,adm}$ | 255 N/mm² | τ_{co} | 0.6667 |
| | | τ_{c1} | 1.971 |

M xRd kN m

σ_c N/mm²
 σ_s N/mm²
 ϵ_c 3.5 ‰
 ϵ_s 34.35 ‰
 d 94.5 cm
 x 8.739 x/d 0.09248
 δ 0.7

Metodo di calcolo
 S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

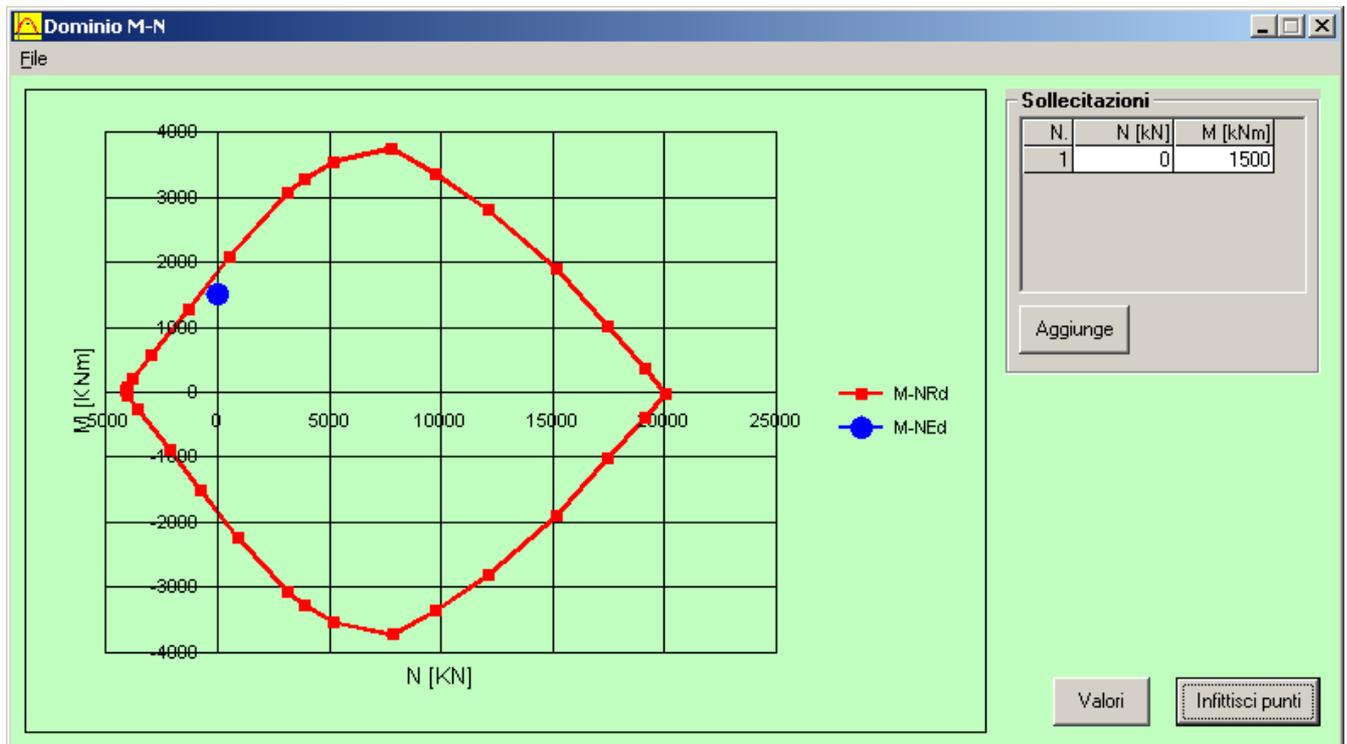
Tipo flessione
 Retta Deviata

N° rett.

Calcola MRd **Dominio M-N**

L_o cm **Col. modello**

Precompresso



Come si deduce dalla figura sopra riportata, la verifica a flessione risulta soddisfatta in quanto le sollecitazioni ottenute in caso di SLU ed SLV rimangono all'interno del dominio resistente.

Verifica a taglio

La massima azione tagliante, ottenuta come sopra descritto, vale:

- $V_{Ed} = 2100 \text{ KN}$.

Si ipotizza di inserire un'armatura a taglio costituita da ganci, opportunamente ancorati, diametro 14 mm disposti su una maglia 40x40 cm, nell'introno dei punti di picco della sollecitazione a taglio.

Elementi che non richiedono armatura a taglio

| | | | |
|-----------------|----------|-----------------|--------------------------------------------------------|
| $f_{ck} =$ | 28 | Mpa | |
| $d =$ | 900 | mm | altezza utile |
| $A_{sl} =$ | 4521.6 | mm ² | armatura longitudinale tesa |
| $b_w =$ | 1000 | mm | larghezza minima della sezione in zona tesa |
| $A_c =$ | 900000 | mm ² | area sezione calcestruzzo |
| $N_{ed} =$ | 0 | kN | forza assiale nella sezione (positive le compressioni) |
| $C_{rd,c} =$ | 0.12 | | |
| $k_1 =$ | 0.15 | | |
| $k =$ | 1.4714 | \leq | 2 |
| $\rho_1 =$ | 0.005024 | \leq | 0.02 |
| $\sigma_{cp} =$ | 0.0000 | $<$ | 3.1733 |
| $v_{min} =$ | 0.3306 | | |

| | | | |
|--------------|--------|----|-----------------------------|
| $V_{Rd,c} =$ | 383.61 | kN | formula estesa |
| $V_{Rd,c} =$ | 297.50 | kN | valore minimo di resistenza |

Elementi che richiedono armatura a taglio
precompresso? no

| | | | |
|-----------------|---------|-----------------|---------------------------------------------------|
| $\sigma_{cp} =$ | - | Mpa | tensione media di compressione nel cls (positiva) |
| $\alpha =$ | 90 | ° | 1.57 radianti |
| $\theta =$ | 21.8 | ° | 0.38 radianti |
| $b_w =$ | 1000 | mm | larghezza minima della sezione |
| $d =$ | 900 | mm | altezza utile |
| $z =$ | 810 | mm | braccio della coppia interna |
| $A_{sw} =$ | 1153.95 | mm ² | area sezione trasversale armatura a taglio |
| $s =$ | 250 | mm | passo staffe |
| $f_{ywd} =$ | 391.30 | Mpa | tensione di progetto delle armature a taglio |
| $\alpha_{cw} =$ | 1.0000 | | |
| $v_1 =$ | 0.5328 | | |
| $f_{cd} =$ | 15.87 | Mpa | |
| $V_{Rd,s} =$ | 3657.78 | kN | resistenza lato acciaio |
| $V_{Rd,max} =$ | 2361.10 | kN | resistenza lato calcestruzzo |
| 1.806 | ≤ | 4.22688 | verifica di duttilità per rottura lato acciaio |

9.1.1.3 DIAFRAMMI

La sezione dei diaframmi di fondazione delle pile è stata dimensionata eseguendo le verifiche allo Stato Limite Ultimo in condizioni di presso/tenso-flessione retta e di taglio nella sezione di sommità in quanto maggiormente sollecitata. In particolare per la condizione di presso/tenso-flessione retta si è costruito il diagramma resistente N_{Rd} - M_{Rd} e si sono plottate al suo interno le coppie di sollecitazioni N_{Ed} - M_{Ed} fornite dall'unica combinazione "ENV-SLU/SLV" ottenuta dall'involuppo di tutte le combinazioni in condizione statica e sismica. I criteri generali seguiti sono ovviamente conformi a quanto previsto al punto 4.1.2.1 delle NTC08 sia per quanto riguarda la presso-flessione sia per l'azione di taglio. In particolare per la determinazione delle resistenza a taglio del fusto del diaframma si sono assunte le formulazioni riportate ai punti 4.1.2.1.3.1 e 4.1.2.1.3.2 a seconda che la sezione in esame sia non dotata o dotata di apposita armatura a taglio. Nella Tabella seguente si riportano le sollecitazioni nella sezione di sommità dei 14 diaframmi schematizzati (P azione assiale positiva se di trazione, V2 e V3 azioni taglianti, T momento torcente, M2 e M3 momenti flettenti).

TABLE: Element Forces - Frames

| Frame | OutputCase | CaseType | StepType | P | V2 | V3 | T | M2 | M3 |
|-------|------------|-------------|----------|----------|--------|--------|-----------|----------|----------|
| Text | Text | Text | Text | KN | KN | KN | KN-m | KN-m | KN-m |
| 5 | ENV_SLU | Combination | Max | -567.677 | 82.309 | 47.891 | 3.678E-15 | 165.8742 | 768.1074 |

| | | | | | | | | | |
|----|---------|-------------|-----|-----------|---------|----------|------------|-----------|-----------|
| 5 | ENV_SLU | Combination | Min | -1622.473 | 8.362 | -0.466 | -1.941E-14 | 46.3458 | 409.7905 |
| 8 | ENV_SLU | Combination | Max | -465.251 | 50.634 | -18.494 | 1.432E-14 | -100.7544 | 586.5382 |
| 8 | ENV_SLU | Combination | Min | -1665.662 | -10.762 | -118.041 | 3.225E-15 | -146.5801 | 100.031 |
| 11 | ENV_SLU | Combination | Max | -1118.867 | 122.537 | 39.635 | 4.439E-13 | 170.8304 | 261.3847 |
| 11 | ENV_SLU | Combination | Min | -1818.215 | 64.036 | -1.63 | 1.736E-13 | 83.2359 | -359.8892 |
| 14 | ENV_SLU | Combination | Max | -1001.483 | 57.516 | 72.826 | -3.997E-15 | -38.1154 | 1089.104 |
| 14 | ENV_SLU | Combination | Min | -2134.41 | -9.565 | 43.696 | -7.105E-15 | -68.0371 | 632.8927 |
| 20 | ENV_SLU | Combination | Max | -1150.369 | 78.84 | 107.914 | 1.449E-14 | -135.7372 | 811.3067 |
| 20 | ENV_SLU | Combination | Min | -2034.538 | 5.557 | 74.6 | 4.705E-15 | -226.0136 | 468.1532 |
| 23 | ENV_SLU | Combination | Max | -1701.559 | 126.007 | 109.078 | -4.989E-15 | -172.6274 | 218.1854 |
| 23 | ENV_SLU | Combination | Min | -2230.28 | 68.711 | 75.463 | -3.82E-14 | -230.9698 | -394.9069 |
| 32 | ENV_SLU | Combination | Max | -634.046 | 70.001 | -16.808 | 1.14E-14 | -108.4973 | 26.5975 |
| 32 | ENV_SLU | Combination | Min | -1881.231 | 33.703 | -115.754 | -2.302E-15 | -156.2659 | -144.9739 |
| 35 | ENV_SLU | Combination | Max | -819.05 | 80.931 | -13.13 | -1.451E-14 | -136.7806 | -189.5844 |
| 35 | ENV_SLU | Combination | Min | -2003.219 | 50.812 | -109.969 | -2.954E-14 | -173.2359 | -268.5683 |
| 38 | ENV_SLU | Combination | Max | -888.124 | 117.75 | -14.545 | -2.88E-15 | -130.9455 | -352.2329 |
| 38 | ENV_SLU | Combination | Min | -1940.514 | 82.982 | -112.323 | -1.168E-14 | -164.6948 | -732.75 |
| 69 | ENV_SLU | Combination | Max | -1369.238 | 28.152 | -67.698 | -1.596E-15 | 160.6811 | 616.9648 |
| 69 | ENV_SLU | Combination | Min | -2012.71 | -13.313 | -152.344 | -3.546E-15 | 47.7393 | 395.3531 |
| 72 | ENV_SLU | Combination | Max | -1605.479 | 64.312 | -69.736 | 2.996E-14 | 172.1573 | 36.3873 |
| 72 | ENV_SLU | Combination | Min | -2235.434 | 32.872 | -152.37 | 1.068E-14 | 46.6006 | -72.6496 |
| 75 | ENV_SLU | Combination | Max | -1808.792 | 81.762 | -75.867 | 2.985E-15 | 189.1272 | -196.8362 |
| 75 | ENV_SLU | Combination | Min | -2357.422 | 51.427 | -158.156 | -9.537E-15 | 73.2897 | -287.7159 |
| 78 | ENV_SLU | Combination | Max | -1827.324 | 120.301 | -74.281 | -3.799E-15 | 178.7958 | -617.5536 |
| 78 | ENV_SLU | Combination | Min | -2287.562 | 84.872 | -158.062 | -1.722E-14 | 73.9414 | -763.1766 |

Verifica a pressoflessione

Si riportano le informazioni principali inerenti la verifica. La sezione viene armata con 1+1 barre $\phi 20$ mm passo 20 cm.

Verifica C.A. S.L.U. - File: Pali_pila

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : _____

N° strati barre Zoom

| N° | b [cm] | h [cm] | N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|--------|--------|----|----------|--------|
| 1 | 250 | 80 | 1 | 43.98 | 10 |
| | | | 2 | 43.98 | 70 |

Tipo Sezione

Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

| | | | |
|------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----|
| N _{Ed} | <input type="text" value="2000"/> | <input type="text" value="1400"/> | kN |
| M _{xEd} | <input type="text" value="230"/> | <input type="text" value="106"/> | kNm |
| M _{yEd} | <input type="text" value="0"/> | <input type="text" value="0"/> | |

P.to applicazione N

Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN yN

Tipo rottura

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Metodo di calcolo

S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Tipo flessione

Retta Deviata

Materiali

| | |
|---------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| B450C | C28/35 |
| ϵ_{su} <input type="text" value="67.5"/> ‰ | ϵ_{c2} <input type="text" value="2"/> ‰ |
| f_{yd} <input type="text" value="391.3"/> N/mm ² | ϵ_{cu} <input type="text" value="3.5"/> |
| E_s <input type="text" value="200'000"/> N/mm ² | f_{cd} <input type="text" value="15.87"/> |
| E_s/E_c <input type="text" value="15"/> | f_{cc}/f_{cd} <input type="text" value="0.8"/> ? |
| ϵ_{syd} <input type="text" value="1.957"/> ‰ | $\sigma_{c,adm}$ <input type="text" value="11"/> |
| $\sigma_{s,adm}$ <input type="text" value="255"/> N/mm ² | τ_{co} <input type="text" value="0.6667"/> |
| | τ_{c1} <input type="text" value="1.971"/> |

M_{xRd} kN m

σ_c N/mm²

σ_s N/mm²

ϵ_c ‰

ϵ_s ‰

d cm

x x/d

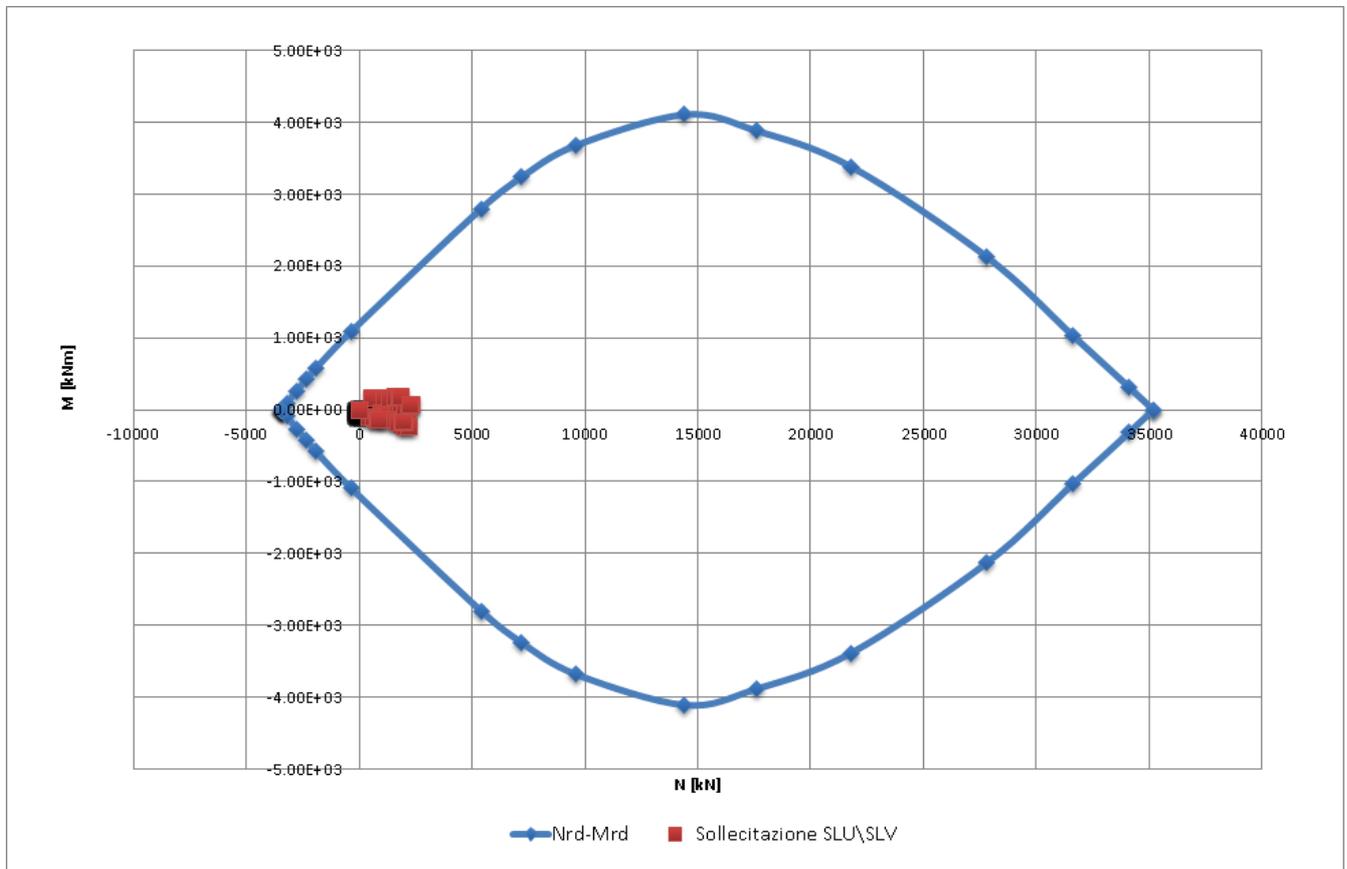
δ

N° rett.

Calcola MRd Dominio M-N

L_o cm Col. modello

Precompresso



Come si deduce dalla figura sopra riportata, la verifica a presso-flessione risulta soddisfatta in quanto le sollecitazioni ottenute in caso di SLU ed SLV rimangono sostanzialmente all'interno del dominio resistente.

Verifica a taglio

La massima azione tagliante, ottenuta come sopra descritto, vale (si precisa che, in accordo con le indicazioni riportate nella relazione geotecnica, si sono incrementate secondo un fattore 1.2 le sollecitazioni taglianti ai fini di considerare l'effetto ombra e l'effetto di bordo dei pali in gruppo):

- $V_{Ed} = 180 \text{ KN}$.

Non è necessaria armatura a taglio, pertanto viene disposta l'armatura minima da normativa pari a 3 staffe $\phi 14 \text{ mm}$ passo 25 cm.

Elementi che non richiedono armatura a taglio

| | | | |
|------------|------|---------------|---------------------------------------------|
| $f_{ck} =$ | 28 | Mpa | |
| $d =$ | 700 | mm | altezza utile |
| $A_{sl} =$ | 4396 | mm^2 | armatura longitudinale tesa |
| $b_w =$ | 2500 | mm | larghezza minima della sezione in zona tesa |

| | | | |
|-----------------|----------|---------------|--------------------------------------------------------|
| $A_c =$ | 1750000 | mm^2 | area sezione calcestruzzo |
| $N_{ed} =$ | 0 | kN | forza assiale nella sezione (positive le compressioni) |
| $C_{rd,c} =$ | 0.12 | | |
| $k_1 =$ | 0.15 | | |
| $k =$ | 1.5345 | \leq | 2 |
| $\rho_1 =$ | 0.002512 | \leq | 0.02 |
| $\sigma_{cp} =$ | 0.0000 | $<$ | 3.1733 |
| $V_{min} =$ | 0.3521 | | |
| $V_{Rd,c} =$ | 617.43 | kN | formula estesa |
| $V_{Rd,c} =$ | 616.09 | kN | valore minimo di resistenza |

9.1.2. Verifica a fessurazione – SLE

La verifica a fessurazione è stata svolta secondo il metodo indiretto tabellare proposto al punto C4.1.2.2.4, cioè limitando la tensione di trazione agente nelle barre in acciaio calcolata in ipotesi classica di sezione parzializzata (metodo “n”) secondo la combinazione di calcolo pertinente (a seconda dell’aggressività dell’ambiente) in funzione del diametro massimo delle barre e dell’interasse tra le barre stesse. Qualora la tensione risultasse inferiore a 160.0 MPa la verifica a fessurazione si considera automaticamente soddisfatta.

9.1.2.1 FUSTO

Combinazione frequente

Assumendo a favore di sicurezza il massimo momento flettente per tutte le combinazioni di carico frequenti e contemporaneamente il minimo valore dell’azione assiale, si ha quanto riportato sotto.

Verifica C.A. S.L.U. - File: Fusto

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : _____

N° figure elementari Zoom N° strati barre Zoom

| N° | b [cm] | h [cm] |
|----|--------|--------|
| 1 | 100 | 188 |

| N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|----------|--------|
| 1 | 15.71 | 6.2 |
| 2 | 15.71 | 181.8 |

Tipo Sezione
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 2800 kN
 M_{xEd} 80 kNm
 M_{yEd} 0

P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN
 yN

Metodo di calcolo
 S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Materiali

| B450C | C32/40 |
|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| ϵ_{su} <input type="text" value="67.5"/> ‰ | ϵ_{c2} <input type="text" value="2"/> ‰ |
| f_{yd} <input type="text" value="391.3"/> N/mm² | ϵ_{cu} <input type="text" value="3.5"/> ‰ |
| E_s <input type="text" value="200000"/> N/mm² | f_{cd} <input type="text" value="18.13"/> ‰ |
| E_s/E_c <input type="text" value="15"/> | f_{cc}/f_{cd} <input type="text" value="0.8"/> ? |
| ϵ_{syd} <input type="text" value="1.957"/> ‰ | $\sigma_{c,adm}$ <input type="text" value="12.25"/> |
| $\sigma_{s,adm}$ <input type="text" value="255"/> N/mm² | τ_{co} <input type="text" value="0.7333"/> |
| | τ_{c1} <input type="text" value="2.114"/> |

σ_c N/mm²
 ϵ_s ‰

Verifica
 N° iterazioni:

Precompresso

La verifica a fessurazione si considera automaticamente soddisfatta in quanto la tensione di trazione nelle barre inferiore al limite minimo di 160.0 MPa.

Combinazione quasi permanente

Visti i risultati della combinazione frequente si considera del tutto trascurabile la verifica in combinazione quasi permanente.

9.1.2.2 PLATEA DI FONDAZIONE

Combinazione frequente

Assumendo a favore di sicurezza il massimo momento flettente per tutte le combinazioni di carico frequenti e contemporaneamente il minimo valore dell'azione assiale, si ha quanto riportato sotto.

Verifica C.A. S.L.U. - File: Platea_pila

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : _____

N° figure elementari **Zoom** **N° strati barre** **Zoom**

| N° | b [cm] | h [cm] |
|----|--------|--------|
| 1 | 100 | 100 |

| N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|----------|--------|
| 1 | 53.09 | 6.5 |
| 2 | 53.09 | 94.5 |

Tipo Sezione
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

| | | |
|------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| N _{Ed} | <input type="text" value="0"/> | <input type="text" value="0"/> kN |
| M _{xEd} | <input type="text" value="1500"/> | <input type="text" value="750"/> kNm |
| M _{yEd} | <input type="text" value="0"/> | <input type="text" value="0"/> |

P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN yN

Metodo di calcolo
 S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Materiali

| B450C | | C28/35 | |
|------------------|--------------------------------------------|-------------------|-------------------------------------|
| ϵ_{su} | <input type="text" value="67.5"/> ‰ | ϵ_{c2} | <input type="text" value="2"/> ‰ |
| f_{yd} | <input type="text" value="391.3"/> N/mm² | ϵ_{cu} | <input type="text" value="3.5"/> ‰ |
| E_s | <input type="text" value="200'000"/> N/mm² | f_{cd} | <input type="text" value="15.87"/> |
| E_s / E_c | <input type="text" value="15"/> | f_{cc} / f_{cd} | <input type="text" value="0.8"/> ? |
| ϵ_{syd} | <input type="text" value="1.957"/> ‰ | $\sigma_{c,adm}$ | <input type="text" value="11"/> |
| $\sigma_{s,adm}$ | <input type="text" value="255"/> N/mm² | τ_{co} | <input type="text" value="0.6667"/> |
| | | τ_{c1} | <input type="text" value="1.971"/> |

σ_c N/mm²
 σ_s N/mm²
 ϵ_s ‰
 d cm
 x x/d
 δ

Verifica
 N° iterazioni:

Precompresso

La verifica a fessurazione si considera automaticamente soddisfatta in quanto la tensione di trazione nelle barre inferiori è prossima al limite minimo di 160.0 MPa.

Combinazione quasi permanente

Visti i risultati della combinazione frequente si considera del tutto trascurabile la verifica in combinazione quasi permanente.

9.1.2.3 DIAFRAMMI

Combinazione frequente

Assumendo a favore di sicurezza il massimo momento flettente per tutte le combinazioni di carico frequenti e contemporaneamente il minimo valore dell'azione assiale, si ha quanto riportato sotto.

Verifica C.A. S.L.U. - File: Pali_pila

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : _____

N° figure elementari Zoom N° strati barre Zoom

| N° | b [cm] | h [cm] |
|----|--------|--------|
| 1 | 250 | 80 |

| N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|----------|--------|
| 1 | 43.98 | 10 |
| 2 | 43.98 | 70 |

Tipo Sezione
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

| | S.L.U. | Metodo n |
|------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| N _{Ed} | <input type="text" value="2000"/> | <input type="text" value="1025"/> kN |
| M _{xEd} | <input type="text" value="230"/> | <input type="text" value="138"/> kNm |
| M _{yEd} | <input type="text" value="0"/> | <input type="text" value="0"/> |

P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN yN

Metodo di calcolo
 S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Materiali

| B450C | C28/35 |
|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| ϵ_{su} <input type="text" value="67.5"/> ‰ | ϵ_{c2} <input type="text" value="2"/> ‰ |
| f_{yd} <input type="text" value="391.3"/> N/mm² | ϵ_{cu} <input type="text" value="3.5"/> ‰ |
| E_s <input type="text" value="200'000"/> N/mm² | f_{cd} <input type="text" value="15.87"/> |
| E_s/E_c <input type="text" value="15"/> | f_{cc}/f_{cd} <input type="text" value="0.8"/> ? |
| ϵ_{syd} <input type="text" value="1.957"/> ‰ | $\sigma_{c,adm}$ <input type="text" value="11"/> |
| $\sigma_{s,adm}$ <input type="text" value="255"/> N/mm² | τ_{co} <input type="text" value="0.6667"/> |
| | τ_{c1} <input type="text" value="1.971"/> |

σ_c N/mm²

ϵ_s ‰

Verifica N° iterazioni:

Precompresso

La verifica a fessurazione si considera automaticamente soddisfatta in quanto la tensione di trazione nelle barre inferiore al limite minimo di 160.0 MPa.

Combinazione quasi permanente

Visti i risultati della combinazione frequente si considera del tutto trascurabile la verifica in combinazione quasi permanente.

9.1.3. Verifica a capacità portante per carichi verticali

La determinazione della capacità portante dei diaframmi di fondazione è stata eseguita in riferimento a quanto riportato nella Relazione Geotecnica inerente l'opera in oggetto e in ottemperanza alle indicazioni riportate nelle NTC08. In particolare si segnala che si farà riferimento all'Approccio 2 (A1 – M1 – R3) e si considera sia il caso di diaframma singolo.

Da quanto è possibile dedurre dalla Figura sotto riportata, assumendo una lunghezza totale di diaframma pari a 35.0 m, si ha una capacità portante di calcolo pari a: $R_{cd} = 6250.0 \text{ KN}$

La massima azione assiale registrata alla base dei diaframmi vale:

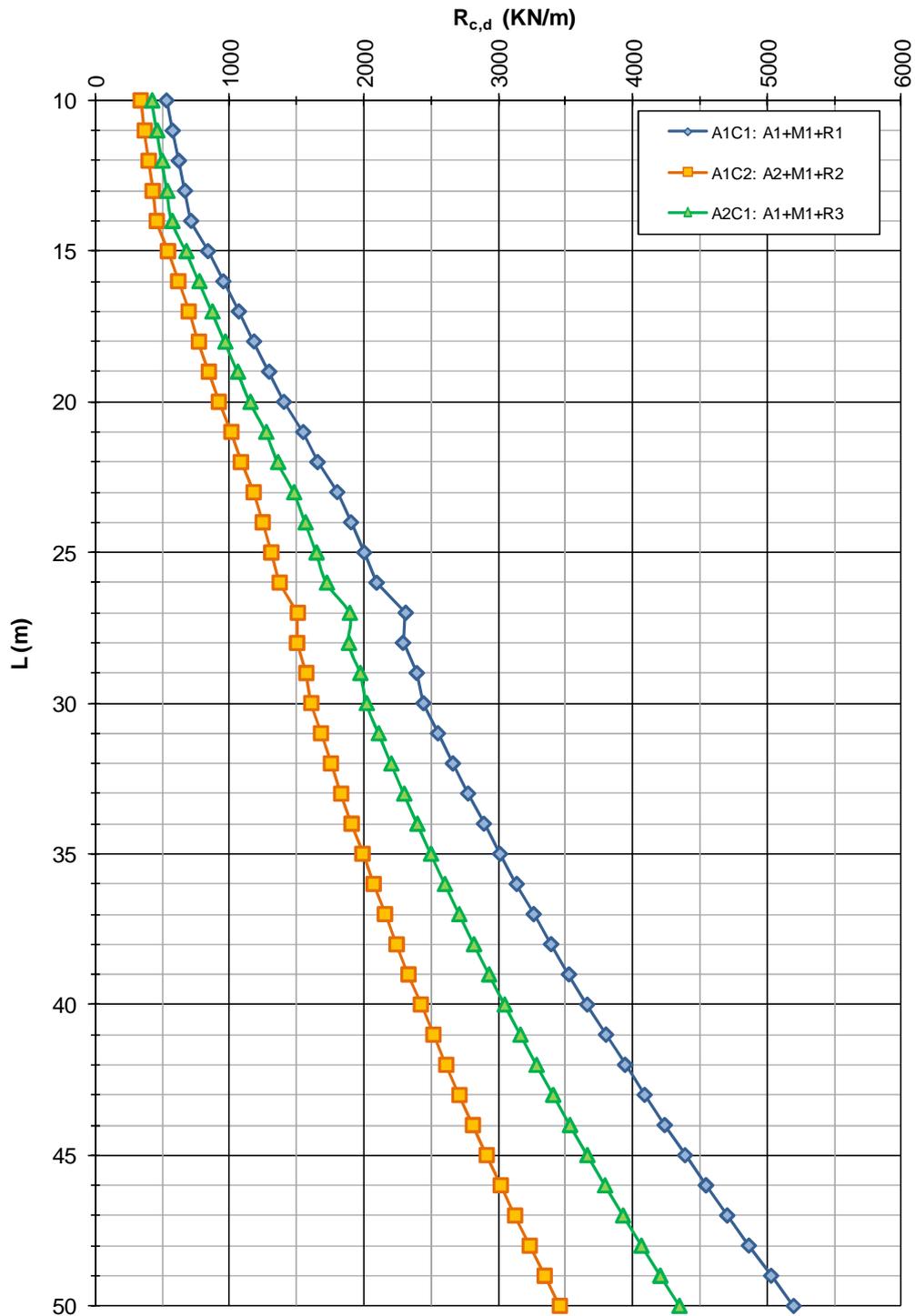
- $N_{Ed} = 4450 \text{ KN}$.

Si ha pertanto:

$$N_{Ed} < R_{cd}$$

La verifica risulta pertanto soddisfatta.

DPO02 - Ponte sul torrente Enza - ZO1-1RE
NTC del 14/01/2008
Capacità portante a compressione - Diaframmi s=800mm



9.1.4. Verifica a capacità portante per carichi orizzontali

Dalla seguente Figura, ottenuta dagli studi geotecnici svolti, è possibile ottenere il valore della capacità portante per carichi orizzontali. Il valore dell'azione assiale minima per lo stato limite ultimo (SLU/SLV) vale, in trazione, -360 KN a cui corrisponde il seguente momento resistente della sezione.

Verifica C.A. S.L.U. - File: Pali_pila

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : _____

N° figure elementari Zoom N° strati barre Zoom

| N° | b [cm] | h [cm] | N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|--------|--------|----|----------|--------|
| 1 | 250 | 80 | 1 | 43.98 | 10 |
| | | | 2 | 43.98 | 70 |

Tipo Sezione
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 1025 kN
 M_{xEd} 138 kNm
 M_{yEd} 0

P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN yN

Tipo rottura
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Metodo di calcolo
 S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Tipo flessione
 Retta Deviata

Materiali

| B450C | | C28/35 | |
|--------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| ε _{su} | <input type="text" value="67.5"/> ‰ | ε _{c2} | <input type="text" value="2"/> ‰ |
| f _{yd} | <input type="text" value="391.3"/> N/mm² | ε _{cu} | <input type="text" value="3.5"/> ‰ |
| E _s | <input type="text" value="200'000"/> N/mm² | f _{cd} | <input type="text" value="15.87"/> ‰ |
| E _s /E _c | <input type="text" value="15"/> | f _{cc} /f _{cd} | <input type="text" value="0.8"/> ? |
| ε _{syd} | <input type="text" value="1.957"/> ‰ | σ _{c,adm} | <input type="text" value="11"/> |
| σ _{s,adm} | <input type="text" value="255"/> N/mm² | τ _{co} | <input type="text" value="0.6667"/> |
| | | τ _{c1} | <input type="text" value="1.971"/> |

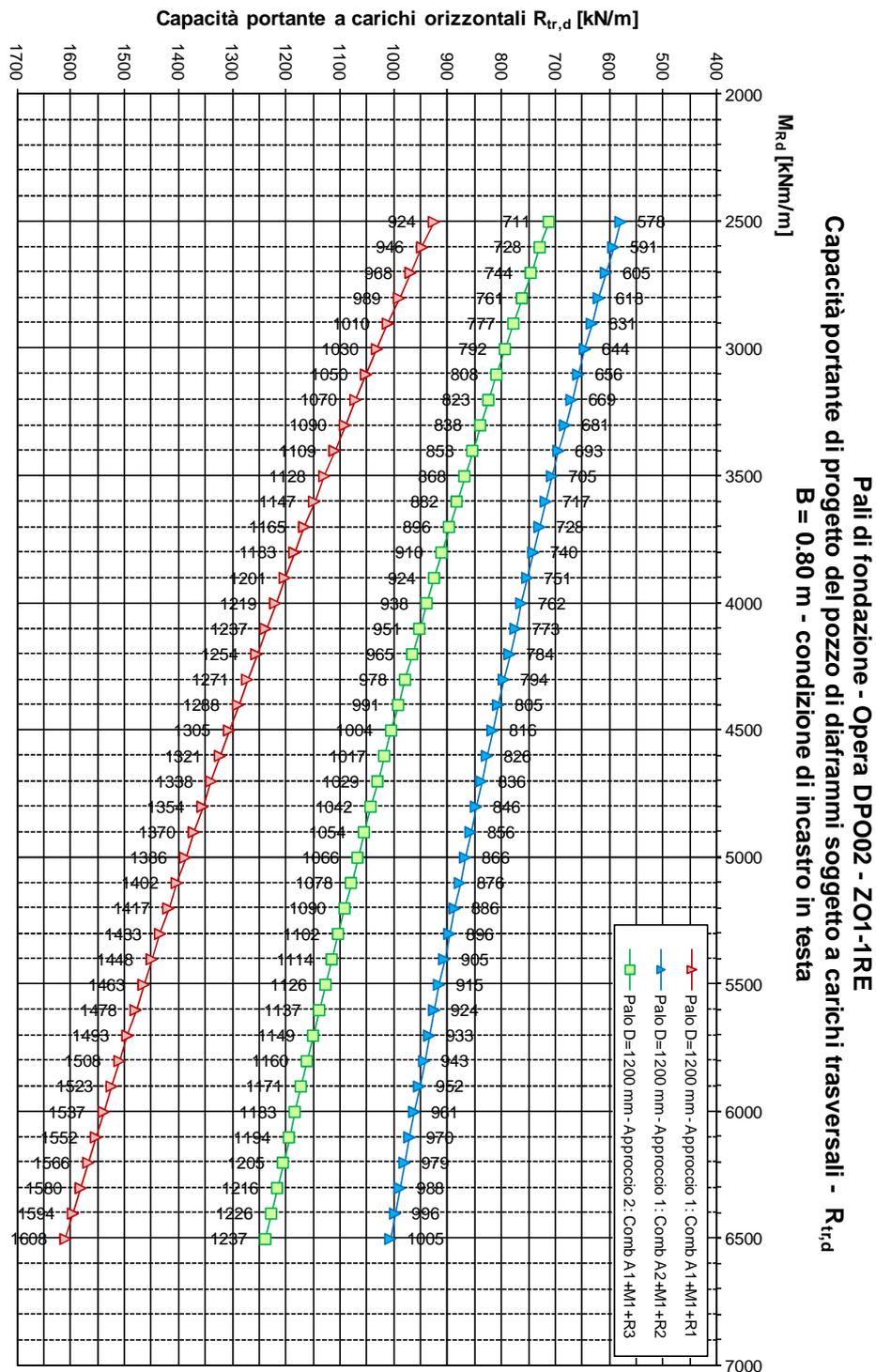
M_{xRd} kN m
 σ_c N/mm²
 ε_c ‰
 ε_s ‰
 d cm
 x x/d
 δ

N° rett.

 L₀ cm
 Precompresso

Dal grafico relativo alla capacità portante si ha quanto segue:

$$R_{tR,d} = 711 \text{ KN} > V_{Ed} = 180 \text{ KN.}$$



10. DIMENSIONAMENTO DELL'OPERA: DIAFRAMMI IDRAULICI

10.1. ANALISI CON CODICE DI CALCOLO

Il dimensionamento dei diaframmi idraulici è stato effettuato tramite la realizzazione di un apposito modello agli elementi finiti con il codice PARATIE PLUS (versione 8.191) prodotto dalla “CeAs” – Milano – ITA.

Gli effetti nelle opere di sostegno flessibile delle spinte del terreno e delle azioni concentrate offerte dalla tirantatura sono stati esaminati con l'ausilio del programma di calcolo per l'analisi di strutture di sostegno flessibili PARATIE Plus 2011.

PARATIE Plus® analizza il comportamento meccanico di una struttura di sostegno flessibile di uno scavo in terreno o roccia, ponendo l'accento sull'aspetto dell'interazione “locale” fra parete e terreno.

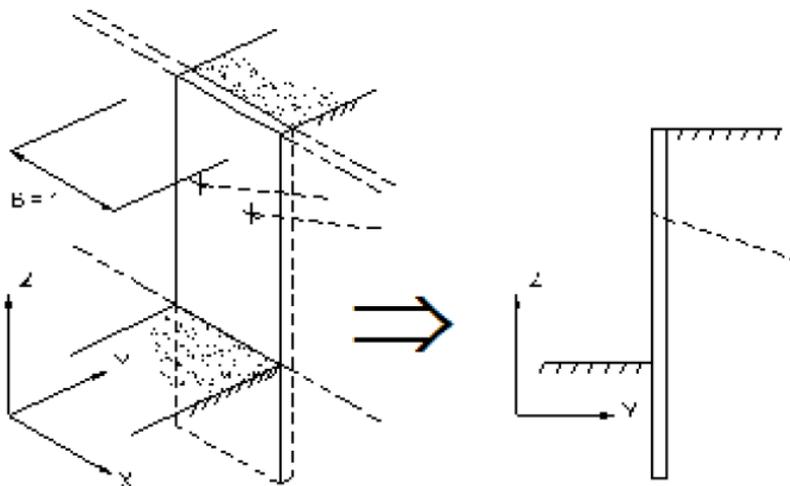
Lo studio di una parete flessibile è condotto attraverso una simulazione numerica del reale: il programma stabilisce e risolve un sistema di equazioni algebriche la cui soluzione permette di riprodurre abbastanza realisticamente l'effettivo comportamento dell'opera di sostegno.

La simulazione numerica utilizzata segue due differenti percorsi:

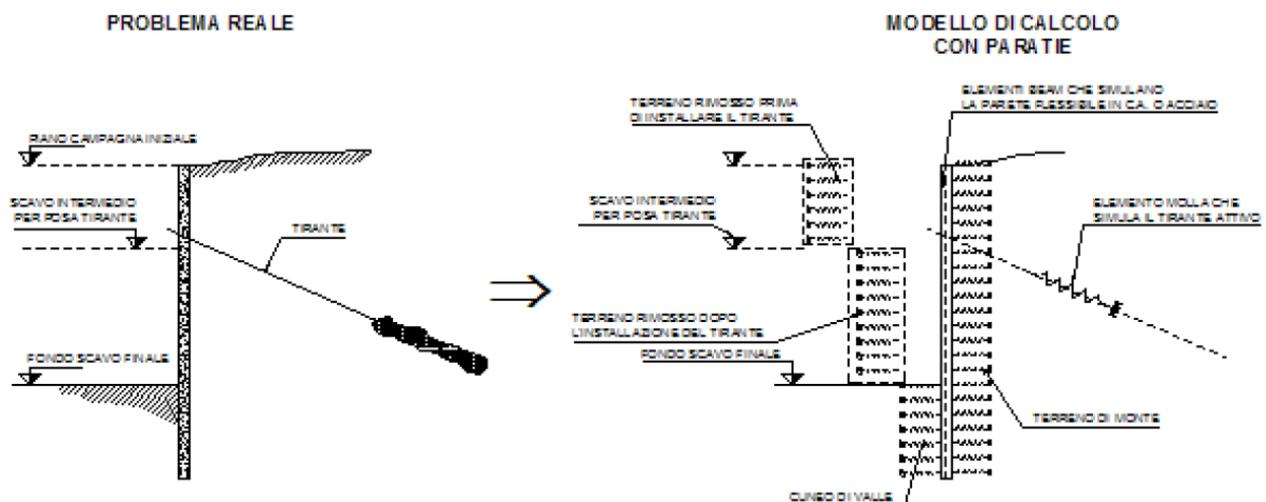
- Analisi classica = viene eseguita una analisi all'equilibrio limite della singola o doppia paratia. Il calcolo delle sollecitazioni avviene per mezzo delle teorie classiche. Il calcolo degli spostamenti avviene tramite un'analisi elastica semplificata considerando lo schema di carico e di vincoli imposti dall'Utente.
- Analisi non lineare secondo un modello “a molle” elasto plastiche” per la parte terreno. La schematizzazione in elementi finiti avviene in questo modo:
 - si analizza un problema piano (nel piano Y-Z): i gradi di libertà nodali attivi sono lo spostamento laterale e la rotazione fuori piano: gli spostamenti verticali sono automaticamente vincolati (di conseguenza le azioni assiali nelle pareti verticali non sono calcolate);
 - la parete flessibile di sostegno vera e propria è schematizzata da una serie di elementi finiti BEAM verticali;
 - il terreno, che spinge contro la parete (da monte e da valle) e che reagisce in modo complesso alle deformazioni della parete, è simulato attraverso un doppio letto di molle elasto-plastiche connesse agli stessi nodi della parete;

- o i tiranti, i puntoni, le solette, gli appoggi cedevoli o fissi, sono schematizzati tramite molle puntuali convergenti in alcuni punti (nodi) della parete ove convergono parimenti elementi BEAM ed elementi terreno.

Lo scopo di PARATIE Plus® è lo studio di un problema definito; in altre parole, il programma analizza la risposta, durante le varie fasi realizzative, di una parete caratterizzata in tutte le sue componenti (altezza, infissione e spessore della parete, entità dei tiranti, ecc.). Il problema è ricondotto a uno schema piano in cui viene analizzata una “fetta” di parete di larghezza unitaria, come mostrato nella Figura seguente.



La modellazione numerica dell'interazione terreno-struttura è del tipo “TRAVE SU SUOLO ELASTICO”. Le pareti di sostegno vengono rappresentate con elementi finiti trave il cui comportamento è definito dalla rigidità flessionale EJ, mentre il terreno viene simulato attraverso elementi elastoplastici monodimensionali (molle) connessi ai nodi delle paratie; ad ogni nodo convergono uno o al massimo due elementi terreno:



Il limite di questo schema sta nell'ammettere che ogni porzione di terreno, schematizzata da una "molla", abbia comportamento del tutto indipendente dalle porzioni adiacenti; l'interazione fra le varie regioni di terreno è affidata alla rigidità flessionale della parete.

PARATIE calcola internamente e aggiorna costantemente tale parametro, sulla base del modulo elastico (Young) e la geometria del muro. In altre parole, ad ogni passo, la rigidità K della "molla" viene calcolata dalla seguente equazione:

$$k = a \cdot \frac{E_s \cdot t}{L}$$

dove

a è un fattore di scala posto pari a 1

Es è il modulo di Young del terreno

t è l'interasse della molla

L è un parametro geometrico che tiene conto della geometria del muro

Il valore di L è differente in funzione del lato della paratia considerato (monte o valle):

$$LM = \frac{2}{3} \cdot H' \cdot \tan(45^\circ - \phi/2)$$

$$LV = \frac{2}{3} \cdot (H' - D) \cdot \tan(45^\circ + \phi/2)$$

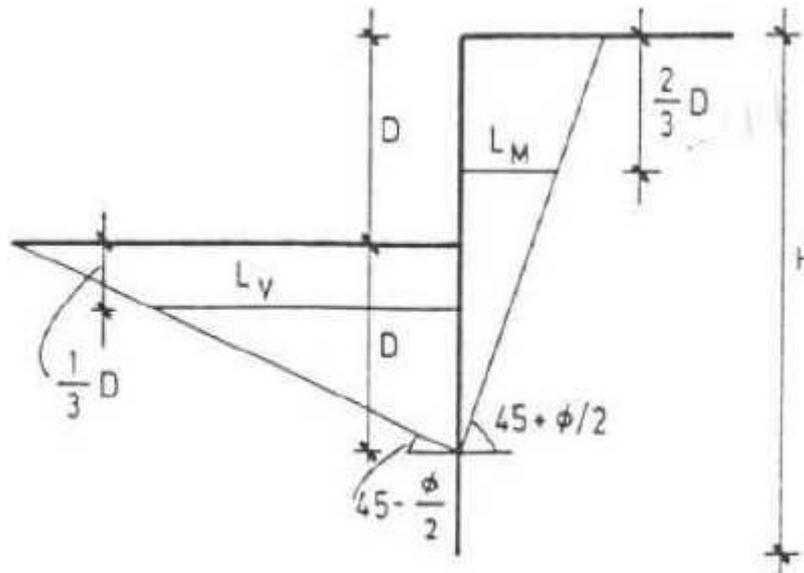
dove

D è la profondità di scavo

H è l'altezza totale del paramento

H' è definito come $\min(2D, H)$

Nella figura seguente viene riportato in via grafica il criterio per la definizione di LM e LV:



La realizzazione dello scavo sostenuto da una o due paratie, eventualmente tirantate, viene seguita in tutte le varie fasi attraverso un'analisi STATICA INCREMENTALE: ogni passo di carico coincide con una ben precisa configurazione caratterizzata da una certa quota di scavo, da un certo insieme di tiranti applicati, da una ben precisa disposizione di carichi applicati.

Poiché il comportamento degli elementi finiti è di tipo elastoplastico, ogni configurazione dipende in generale dalle configurazioni precedenti e lo sviluppo di deformazioni plastiche ad un certo passo condiziona la risposta della struttura nei passi successivi. La soluzione ad ogni nuova configurazione (step) viene raggiunta attraverso un calcolo iterativo alla Newton-Raphson (Bathe (1996)).

L'analisi ha lo scopo di indagare la risposta strutturale in termini di deformazioni laterali subite dalla parete durante le varie fasi di scavo e di conseguenza la variazione delle pressioni orizzontali nel terreno. Per far questo, in corrispondenza di ogni nodo è necessario definire due soli gradi di libertà, cioè lo spostamento orizzontale e la rotazione attorno all'asse X ortogonale al piano della struttura (positiva se antioraria).

Ne consegue che con questo strumento non possono essere valutati:

- cedimenti o innalzamenti verticali del terreno in vicinanza dello scavo
- condizioni di stabilità generale del complesso parete+terreno+tiranti

In questa impostazione particolare, inoltre, gli sforzi verticali nel terreno non sono per ipotesi influenzati dal comportamento deformativo orizzontale, ma sono una variabile del tutto indipendente, legata ad un calcolo basato sulle classiche ipotesi di distribuzione geostatica.

I contrasti rappresentati dai tiranti sono schematizzati mediante elementi finiti che divengono attivi a partire dal momento in cui vengono inseriti. L'inserimento di tali elementi provoca nel modello due effetti:

- l'insorgenza di una forza nel nodo di applicazione, corrispondente alla forza di coazione eventualmente imposta;
- la modifica delle rigidità globale della struttura (matrice di rigidità assemblata) attraverso l'aggiunta di un contributo pari alla rigidità del contrasto.

Quando, nelle fasi successive, in corrispondenza del nodo ove il tirante è connesso viene a modificarsi lo spostamento, lo stato di sollecitazione nel tirante subirà incrementi pari all'incremento di spostamento moltiplicato per la rigidità. Nelle equazioni di equilibrio si tiene ovviamente conto delle variazioni di sforzo nei contrasti.

La geometria analizzata è sinteticamente descritta da quanto segue:

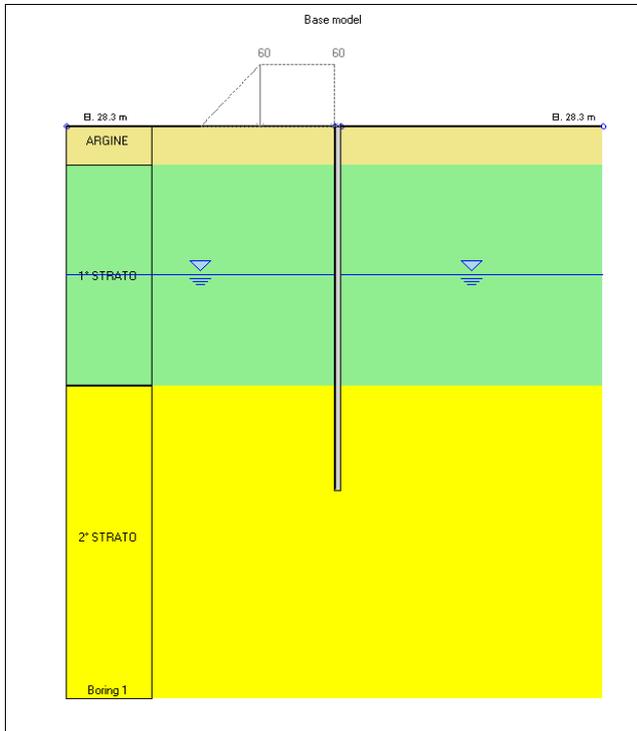
- Dimensioni dei diaframmi: 100x250 cmq;
- Lunghezza:
 - Diaframmi in zona di scalzamento = 18 m;
 - Diaframmi al di fuori della zona di scalzamento = 12 m (profondità minima necessaria per evitare moti di filtrazione)

Vengono modellate due situazioni di stato limite ultimo:

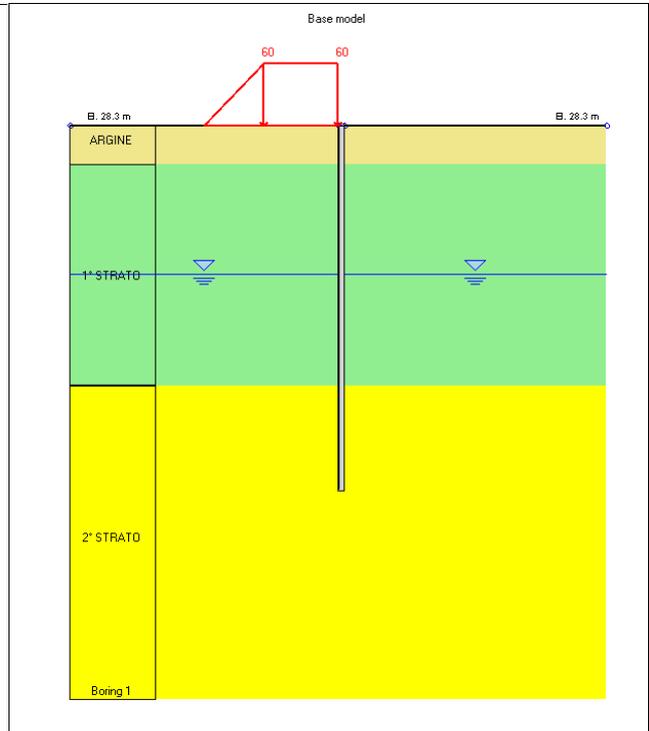
- COLMO PIENA – lato alveo viene considerata la profondità di erosione (18,25 m s.l.m.) e la spinta idraulica alla Q200 (30,67 m s.l.m.)
- FINE PIENA – lato alveo viene considerato un tombamento impostato a quota petto (24,40 m s.l.m.) con la spinta idraulica alla stessa quota del petto

Essendo condizioni eccezionali, si assumono le caratteristiche del terreno a breve termine (parametri non drenati).

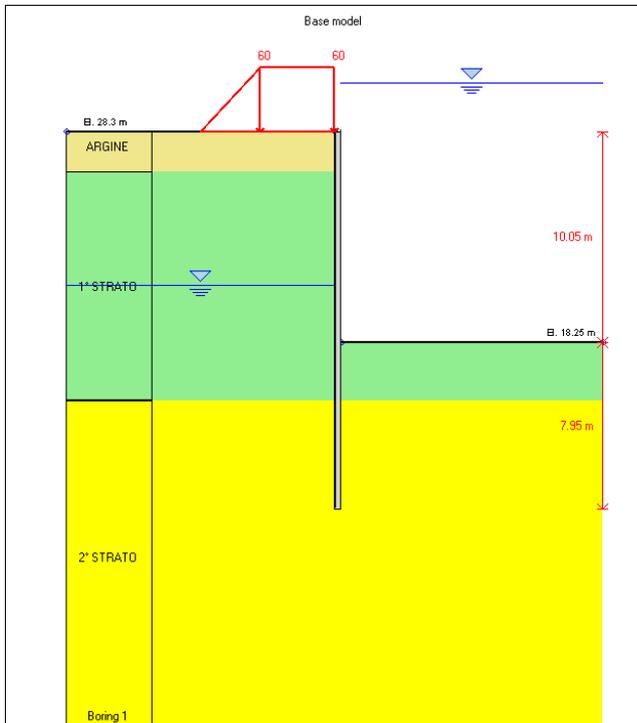
Si riportano nel seguito le fasi di calcolo analizzate.



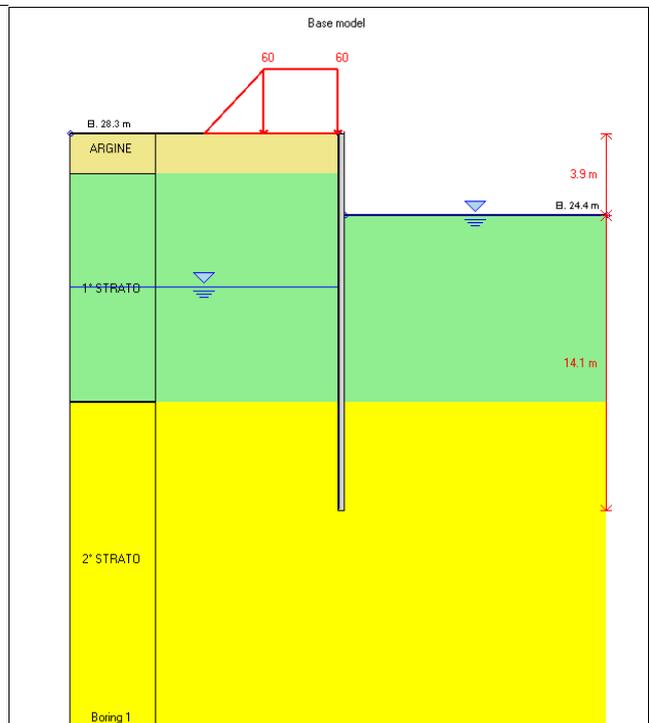
| | | |
|-------------------------------------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| Società: My Company | DS: 0, CONDIZIONE GEOSTATICA | CeAS srl and Deep Excavation LCC |
| Progettista: Engineer | | Parata Phase 2011 - DeepXcar 2011 |
| C:\Us_CORSOCISPADANA\lavoro\ENZA\PARATIE\diaframmi idraulici\DEEP | | |
| | | 5/5/2012 |



| | | |
|-------------------------------------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|
| Società: My Company | DS: 0, COSTRUZIONE ARGINE | CeAS srl and Deep Excavation LCC |
| Progettista: Engineer | | Parata Phase 2011 - DeepXcar 2011 |
| C:\Us_CORSOCISPADANA\lavoro\ENZA\PARATIE\diaframmi idraulici\DEEP | | |
| | | 5/5/2012 |



| | | |
|-------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------------------------|
| Società: My Company | DS: 0, Fase 1 | CeAS srl and Deep Excavation LCC |
| Progettista: Engineer | | Parata Phase 2011 - DeepXcar 2011 |
| C:\Us_CORSOCISPADANA\lavoro\ENZA\PARATIE\diaframmi idraulici\DEEP | | |
| | | 5/5/2012 |

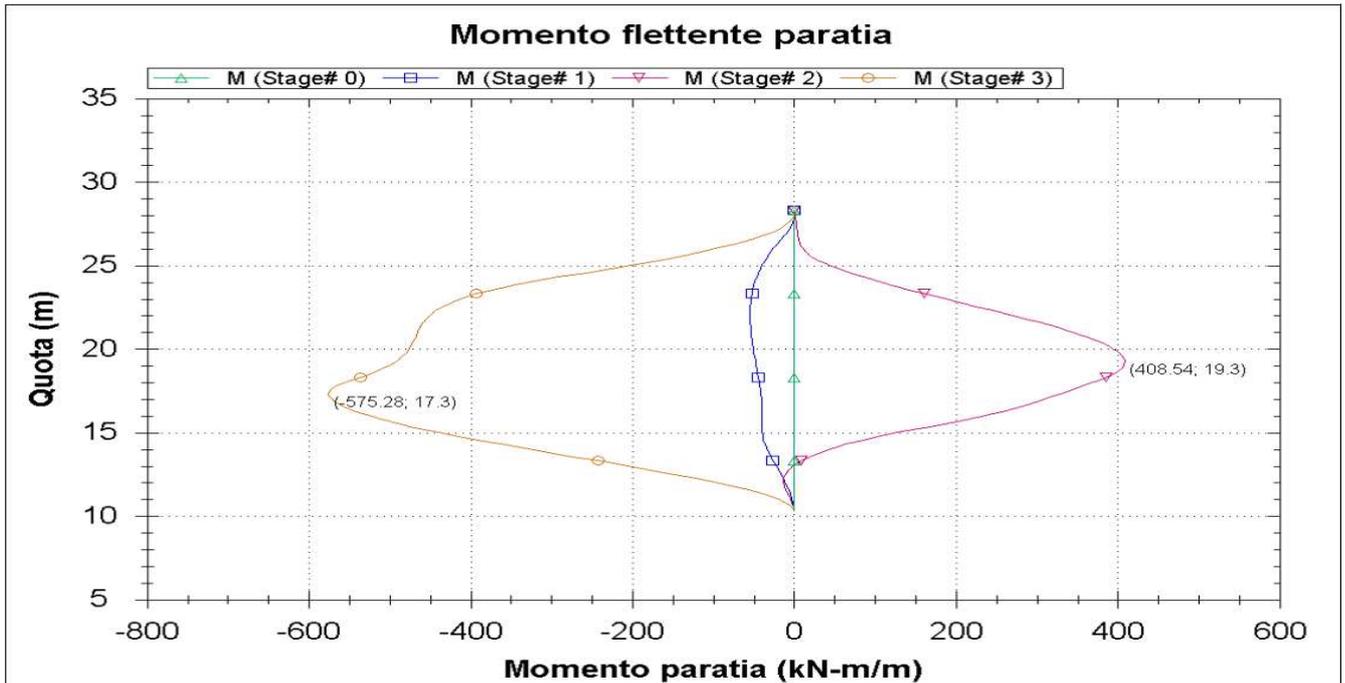


| | | |
|-------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------------------------|
| Società: My Company | DS: 0, Fase 2 | CeAS srl and Deep Excavation LCC |
| Progettista: Engineer | | Parata Phase 2011 - DeepXcar 2011 |
| C:\Us_CORSOCISPADANA\lavoro\ENZA\PARATIE\diaframmi idraulici\DEEP | | |
| | | 5/5/2012 |

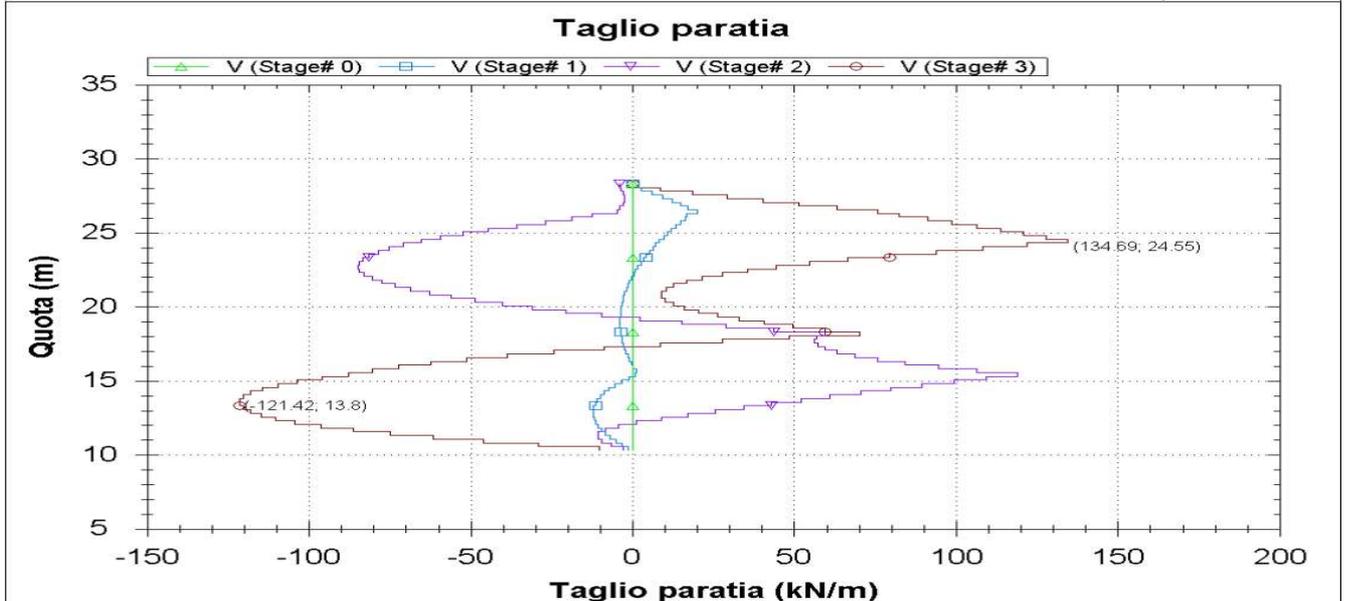
10.1.1. Sollecitazioni risultanti – SLU

Si sono analizzate le seguenti combinazioni di carico per lo SLU – approccio 1 (in accordo alla normativa vigente):

- COMBINAZIONE A1+M1

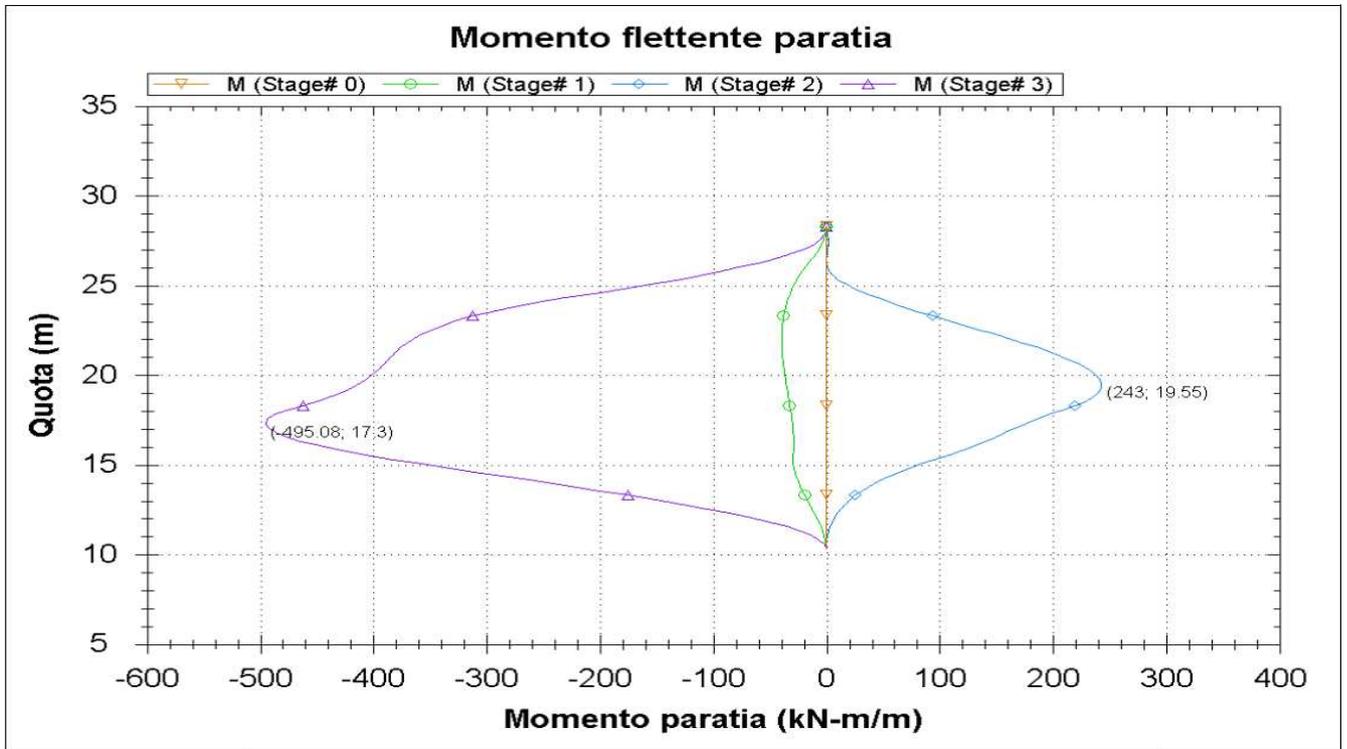


| | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|----------------------------------|
| Company: My Company | Momento flettente paratia | CeAS srl and Deep Eboration LCC |
| Engineer: Engineer | | Paratie Phr 2011 - DeepScan 2011 |
| C:\Users\ing. Frascari\Documents\PROGETTI IN CORSO\CISPADANA\lavoro\ENZA\FARATIE\diaframmi idraulici\DEEP | | 3/5/2012 1:46:18 PM |

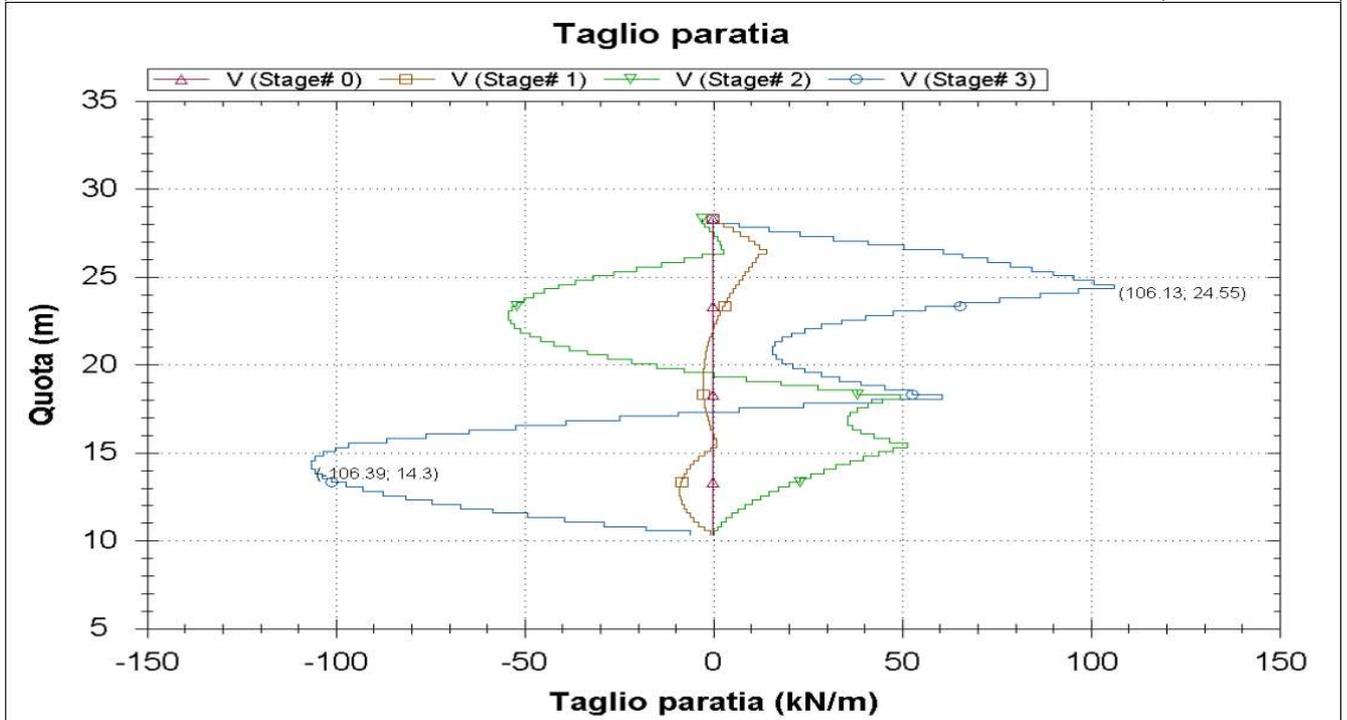


| | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------------------------|
| Company: My Company | Taglio paratia | CeAS srl and Deep Eboration LCC |
| Engineer: Engineer | | Paratie Phr 2011 - DeepScan 2011 |
| C:\Users\ing. Frascari\Documents\PROGETTI IN CORSO\CISPADANA\lavoro\ENZA\FARATIE\diaframmi idraulici\DEEP | | 3/5/2012 1:47:00 PM |

- COMBINAZIONE A2+M2



| | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|
| Company: My Company | Momento flettente paratia | CoAS srl and Deep Excavation LCC |
| Engineer: Engineer | | Paratie Plus 2011 - DeepXcar 2011 |
| C:\Users\ing. Frascari\Documents\PROGETTI IN CORSO\CISPADANA\lavoro\ENZA\FARATIE\diaframmi idraulici\DEEP | | 5/5/2012 1:46:31 PM |



| | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-----------------------------------|
| Company: My Company | Taglio paratia | CoAS srl and Deep Excavation LCC |
| Engineer: Engineer | | Paratie Plus 2011 - DeepXcar 2011 |
| C:\Users\ing. Frascari\Documents\PROGETTI IN CORSO\CISPADANA\lavoro\ENZA\FARATIE\diaframmi idraulici\DEEP | | 5/5/2012 1:46:44 PM |

10.1.2. Verifiche di Resistenza – SLU

La sezione dei diaframmi idraulici è stata dimensionata eseguendo le verifiche allo Stato Limite Ultimo in condizioni di presso/tenso-flessione retta e di taglio nella sezione maggiormente sollecitata. In particolare per la condizione di presso/tenso-flessione retta si è costruito il diagramma resistente $N_{Rd}-M_{Rd}$ e si sono plottate al suo interno le coppie di sollecitazioni $N_{Ed}-M_{Ed}$ fornite dalla combinazione "SLU – A1+M1". I criteri generali seguiti sono ovviamente conformi a quanto previsto al punto 4.1.2.1 delle NTC08 sia per quanto riguarda la presso-flessione sia per l'azione di taglio. In particolare per la determinazione delle resistenza a taglio si sono assunte le formulazioni riportate ai punti 4.1.2.1.3.1 e 4.1.2.1.3.2 a seconda che la sezione in esame sia non dotata o dotata di apposita armatura a taglio.

Verifica a pressoflessione

Si riportano le informazioni principali inerenti la verifica. La sezione viene armata con 1+1 barre $\phi 20$ mm passo 20 cm.

Verifica C.A. S.L.U. - File: diaframmi IDRAULICI

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008

Titolo : _____

N° figure elementari Zoom N° strati barre Zoom

| N° | b [cm] | h [cm] |
|----|--------|--------|
| 1 | 250 | 100 |

| N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|----------|--------|
| 1 | 43.98 | 10 |
| 2 | 43.98 | 90 |

Tipo Sezione
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

N_{Ed} kN
 M_{xEd} kNm
 M_{yEd}

P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN yN

Tipo rottura
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

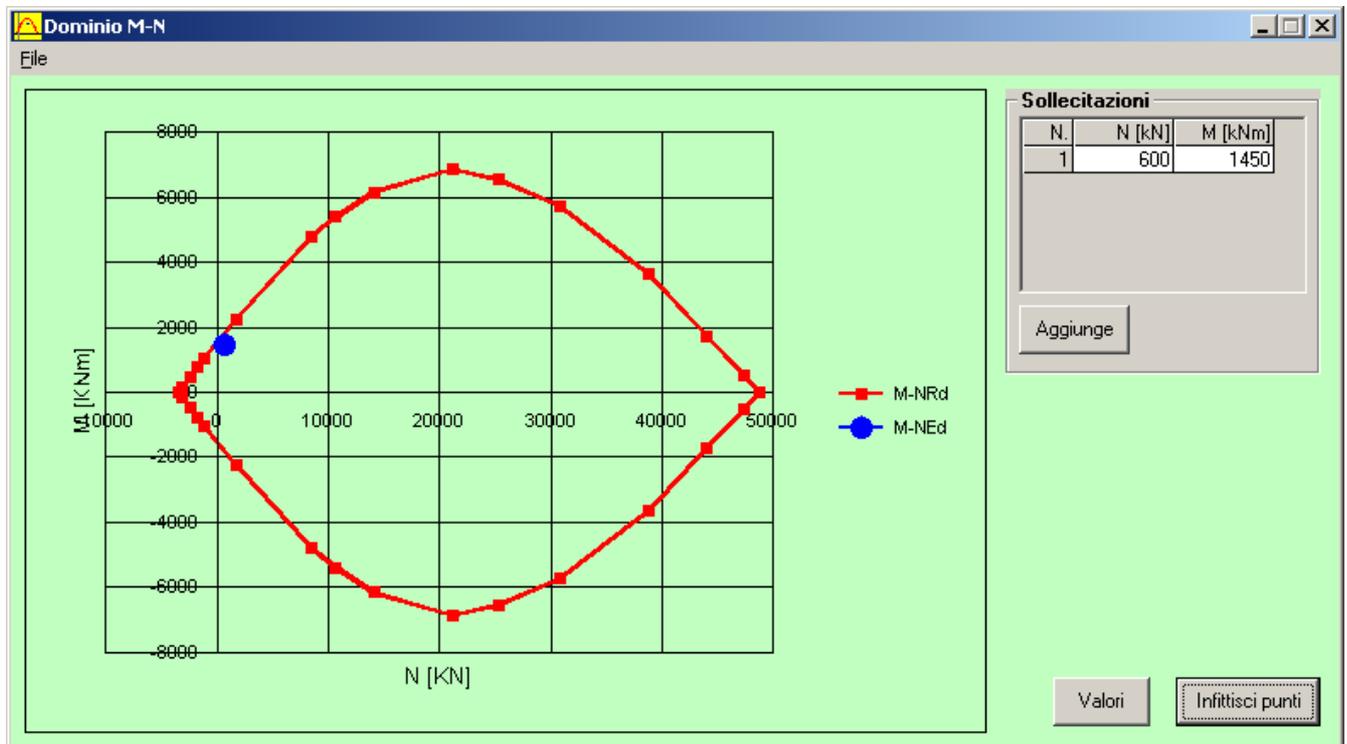
Metodo di calcolo
 S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Tipo flessione
 Retta Deviata

Materiali
 B450C C32/40
 ε_{su} ‰ ε_{c2} ‰
 f_{yd} N/mm² ε_{cu} ‰
 E_s N/mm² f_{cd} ‰
 E_s/E_c f_{cc}/f_{cd} ?
 ε_{syd} ‰ σ_{c,adm} ‰
 σ_{s,adm} N/mm² τ_{co} ‰
 τ_{c1} ‰

M_{xRd} kN m
 σ_c N/mm²
 σ_s N/mm²
 ε_c ‰
 ε_s ‰
 d cm
 x x/d
 δ

Calcola MRd **Dominio M-N**
 L_o cm **Col. modello**
 Precompresso



Come si deduce dalla figura sopra riportata, la verifica a presso-flessione risulta soddisfatta in quanto le sollecitazioni ottenute in caso di SLU rimangono sostanzialmente all'interno del dominio resistente.

Verifica a taglio

La massima azione tagliante, ottenuta come sopra descritto, vale (si precisa che, in accordo con le indicazioni riportate nella relazione geotecnica, si sono incrementate secondo un fattore 1.2 le sollecitazioni taglianti ai fini di considerare l'effetto ombra e l'effetto di bordo dei pali in gruppo):

- $V_{Ed} = 338 \text{ KN}$.

Non è necessaria armatura a taglio, pertanto viene disposta l'armatura minima da normativa pari a 3 staffe $\phi 14 \text{ mm}$ passo 25 cm.

Elementi che non richiedono armatura a taglio

| | | | |
|--------------|---------|-----------------|--------------------------------------------------------|
| $f_{ck} =$ | 28 | Mpa | |
| $d =$ | 920 | mm | altezza utile |
| $A_{sl} =$ | 4396 | mm ² | armatura longitudinale tesa |
| $b_w =$ | 2500 | mm | larghezza minima della sezione in zona tesa |
| $A_c =$ | 2300000 | mm ² | area sezione calcestruzzo |
| $N_{ed} =$ | 0 | kN | forza assiale nella sezione (positive le compressioni) |
| $C_{rd,c} =$ | 0.12 | | |

| | | | |
|-----------------|-------------|--------|-----------------------------|
| $k_1 =$ | 0.15 | | |
| $k =$ | 1.4663 | \leq | 2 |
| $\rho_1 =$ | 0.001911304 | \leq | 0.02 |
| $\sigma_{cp} =$ | 0.0000 | $<$ | 3.1733 |
| $v_{min} =$ | 0.3288 | | |
| $V_{Rd,c} =$ | 707.86 | kN | formula estesa |
| $V_{Rd,c} =$ | 756.29 | kN | valore minimo di resistenza |