

S.G.C. E78 GROSSETO – FANO

Tratto Siena Bettolle (A1)

Adeguamento a 4 corsie del tratto Siena–Ruffolo (Lotto 0)

PROGETTO DEFINITIVO

COD. FI-81

R.T.I. di PROGETTAZIONE: Mandataria

Mandante



PROGETTISTI:

Ing. Riccardo Formichi – Pro Iter srl (Integratore prestazioni specialistiche)
Ordine Ing. di Milano n. 18045

Ing. Riccardo Formichi – Pro Iter srl
Ordine Ing. di Milano n. 18045

IL GEOLOGO

Dott. Geol. Massimo Mezzananza – Pro Iter srl
Albo Geol. Lombardia n. A762

COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Ing. Enrico Moretti – Erre.vi.a. srl
Ordine Ing. di Milano n. 16237

VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO

Ing. Raffaele Franco Carso



PROTOCOLLO

DATA

06 - OPERE D'ARTE

06.05 - OPERE D'ARTE MAGGIORI - GALLERIE

06.05.01 - Gallerie S. Lazzero (GA.01-GN.01/GA.02-GN.02)

Relazione di calcolo opere di sostegno

| CODICE PROGETTO | | | NOME FILE | REVISIONE | SCALA |
|-----------------|--------------------------------|----------|-----------------------------|-----------|----------------------|
| PROGETTO | LIV. PROG. | N. PROG. | T00GN01OSTRE01B.pdf | | |
| DPFI0081 | D | 20 | CODICE ELAB. T00GN01OSTRE01 | B | R |
| D | | | | | |
| C | | | | | |
| B | Revisione per istruttoria ANAS | | Maggio 2021 | Parisi | Rivoltini Formichi |
| A | Emissione | | Ottobre 2020 | Parisi | Rivoltini Formichi |
| REV. | DESCRIZIONE | | DATA | REDATTO | VERIFICATO APPROVATO |

INDICE

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 1 | PREMESSE | 1 |
| 2 | DOCUMENTAZIONE E NORMATIVA DI RIFERIMENTO | 6 |
| 2.1 | Leggi, decreti, circolari ministeriali..... | 6 |
| 2.1.1 | Legislazione di carattere generale | 6 |
| 2.1.2 | Norme emanate dal C.N.R. | 6 |
| 2.1.3 | Norme UNI | 6 |
| 2.2 | Bibliografia..... | 6 |
| 2.3 | Documenti di progetto | 6 |
| 3 | PROGRAMMI PER L'ANALISI AUTOMATICA | 7 |
| 4 | MATERIALI | 8 |
| 4.1 | Calcestruzzo per Diaframmi, solette e muri ad U..... | 8 |
| 4.2 | Acciaio per calcestruzzo armato..... | 8 |
| 5 | CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA | 9 |
| 6 | CRITERI DI VERIFICA | 10 |
| 6.1 | Verifica per sollecitazioni di presso/tenso-flessione..... | 10 |
| 6.2 | Verifica a taglio SLU | 10 |
| 6.3 | Verifiche di limitazione delle tensioni di esercizio | 11 |
| 6.4 | Verifiche a fessurazione..... | 11 |
| 7 | OPERE DI SOSTEGNO – SEZIONI TIPO | 14 |
| 8 | COMBINAZIONI E ANALISI DEI CARICHI | 15 |
| 9 | DIMENSIONAMENTO OPERE DI SOSTEGNO | 19 |
| 9.1 | Modelli di calcolo | 19 |
| 9.2 | Risultati Azioni sulle strutture..... | 22 |
| 9.3 | Calcolo degli spostamenti | 28 |
| 9.4 | Verifiche strutturali dei diaframmi | 32 |
| 9.5 | Verifiche strutturali Solette di contrasto e muri in c.a. | 42 |
| 10 | ACCETTABILITÀ DEI RISULTATI IN OTTEMPERANZA AL PAR. 10.2 DELLE NTC2018 67 | |
| 11 | VERIFICHE CAPACITÀ PORTANTE DIAFRAMMI | 71 |

| Sezione | Caratteristiche | Opera | Hscavo-max (m) |
|---------|--|--|----------------|
| 1 | Galleria artificiale provvisoria a doppia carreggiata | Diaframmi sp. 1,5m e soletta di sommità curva | 17 |
| 1a | Galleria artificiale provvisoria a singola carreggiata | Diaframmi sp. 1,5m lato esterno e 1m lato interno e soletta di sommità curva | 17 |
| 2 | Galleria scatolare definitiva a doppia carreggiata | Diaframmi sp. 1,5m e solette di contrasto piane | 14 |
| 3 | Muro ad U definitivo a doppia carreggiata | Diaframmi sp. 1,5m e gusci interni in c.a. | 10 |
| 4 | Paratia singola definitiva | Diaframmi sp. 1,5m e muro di placcaggio in c.a. | 7 |

Per quanto riguarda le opere definitive, i getti interni in c.a. hanno anche la funzione di contenimento delle spinte della falda che risulta a lungo termine maggiore rispetto alle quote della livelletta stradale. Tra diaframmi e getti interni, infatti, si prevede un manto di impermeabilizzazione.

In fase provvisoria si prevedono dreni per lo smaltimento delle eventuali acque intercettate dai diaframmi: pertanto non si prevedono spinte aggiuntive sui diaframmi dovuti alla presenza della falda.

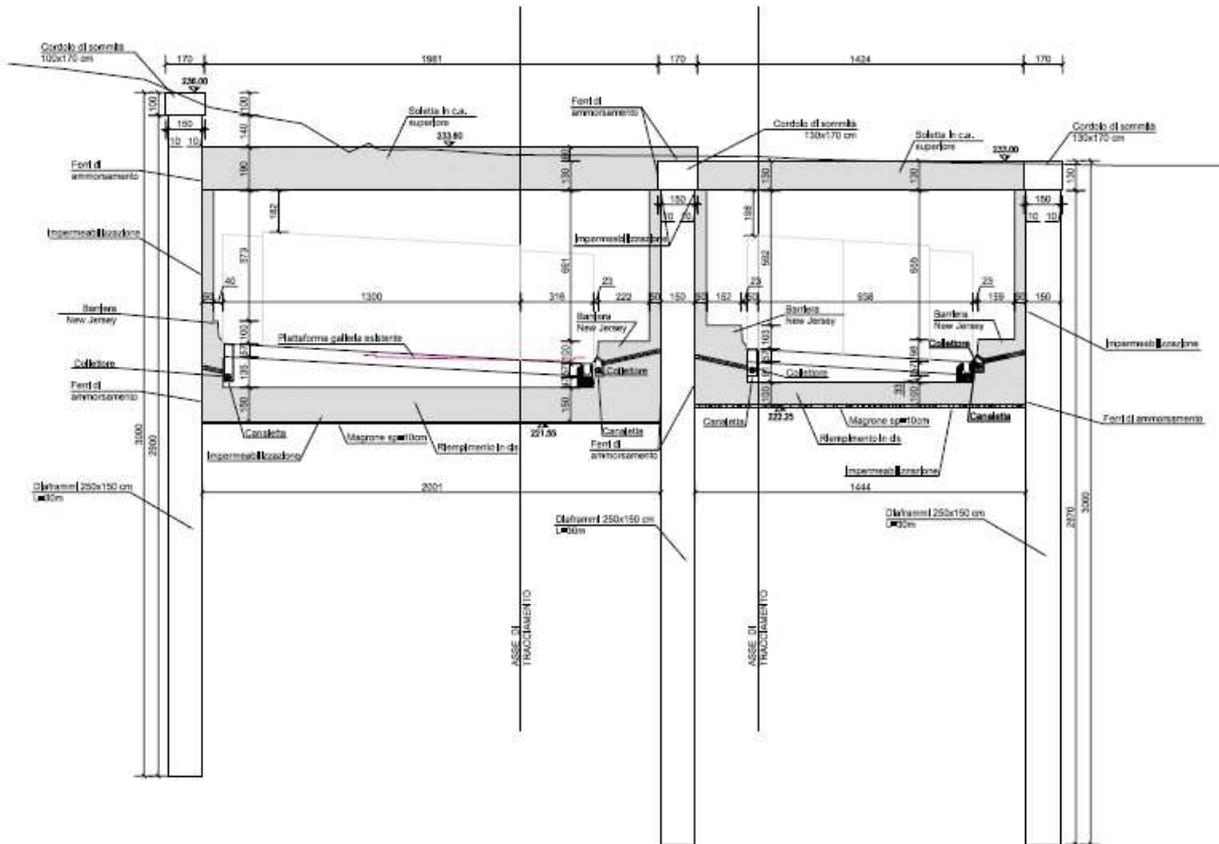


Figura 4: Sezione 2

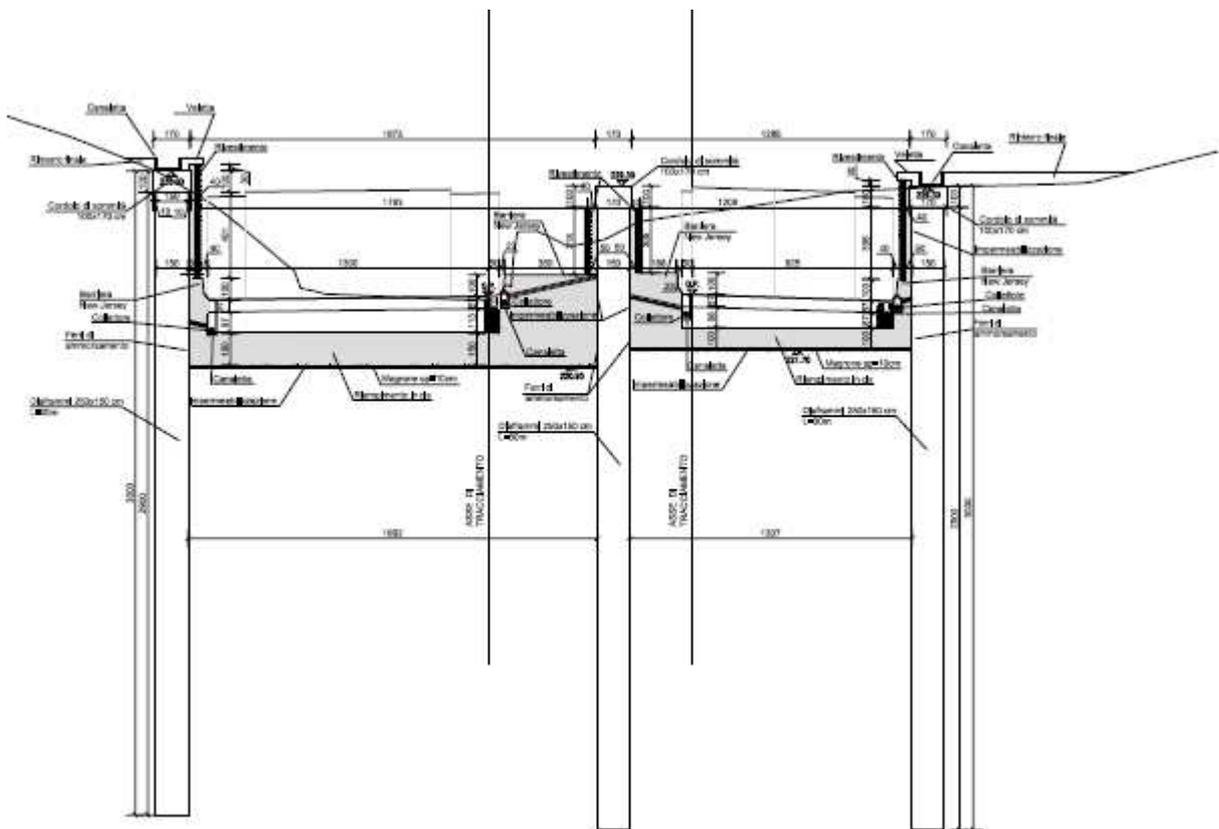


Figura 5: Sezione 3

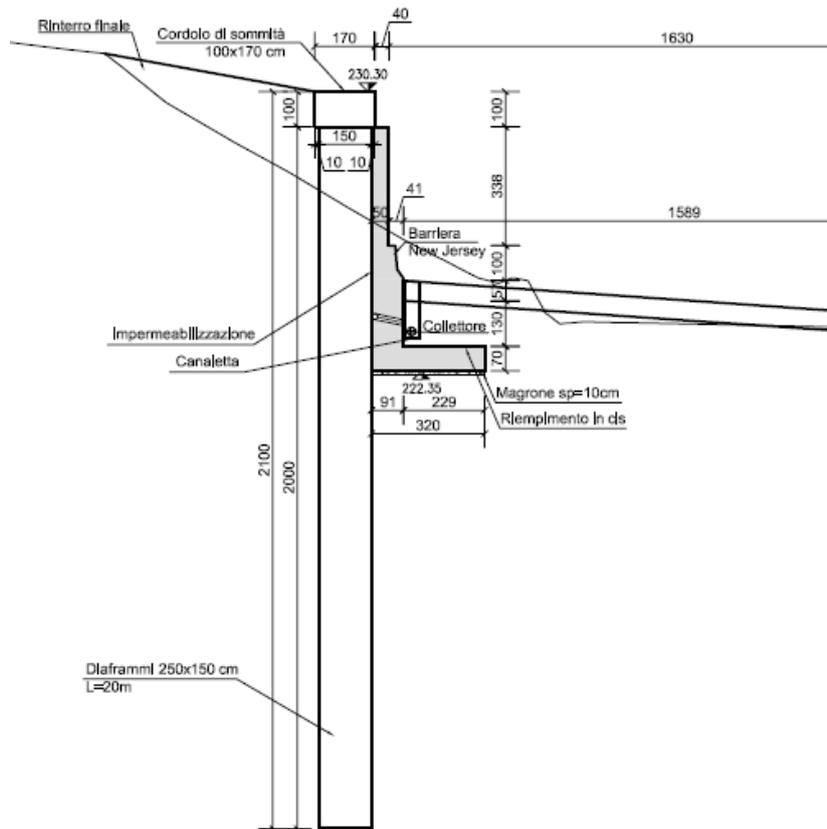


Figura 6: Sezione 4

In definitiva i tratti in artificiale per la galleria San Lazzerò caratterizzati da:

- Imbocco Fano Galleria San Lazzerò Carreggiata Ovest: Galleria artificiale provvisoria da pk 1+355.31 a pk 1+370.50 di lunghezza 15 m circa,
- Imbocco Fano Galleria San Lazzerò Carreggiata Est: Galleria artificiale provvisoria da pk 1+360.54 a pk 1+375.54 di lunghezza 15 m circa,
- Imbocco Grosseto Galleria San Lazzerò Carreggiata Ovest: Galleria artificiale provvisoria da pk 1+309.24 a pk 1+326.24 di lunghezza 17 m circa.
- Imbocco Grosseto Galleria San Lazzerò Carreggiata Est: Galleria artificiale provvisoria da pk 1+303.01 a pk 1+319.71 di lunghezza 16.7 m circa.
- Imbocco Grosseto Galleria San Lazzerò Carreggiata Ovest da pk 1+202.92 a pk 1+309.24: 71.6m di galleria scatolare e 34.7m di paratia singola
- Imbocco Grosseto Galleria San Lazzerò Carreggiata Est da pk 1+198.99 a pk 1+303.01: 70.3m di galleria scatolare e 33.7m di paratia singola
- Imbocco Fano Galleria San Lazzerò Carreggiata Ovest da pk 1+370.50 a pk 1+430.25: 25.2m di galleria scatolare, 12.1m di muro ad U e 22.4m di paratia singola
- Imbocco Fano Galleria San Lazzerò Carreggiata Est da pk 1+375.54 a pk 1+423.31: 13.1m di galleria scatolare, 12.1 m di muro ad U e 22.56m di paratia singola

2 DOCUMENTAZIONE E NORMATIVA DI RIFERIMENTO

2.1 Leggi, decreti, circolari ministeriali

2.1.1 Legislazione di carattere generale

- **Decreto Ministero delle Infrastrutture del 17.01.2018**, di concerto con il Ministro dell'Interno e il Capo del Dipartimento di Protezione Civile, Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni".
- **Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti – Circolare n.7 del 21.01.2019 C.S.LL.PP.**, Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.
- **Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici STC**, "Linee guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale", settembre 2017.
- **Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici STC**, "Linee guida per la valutazione delle caratteristiche del calcestruzzo in opera", settembre 2017.

2.1.2 Norme emanate dal C.N.R.

- **CNR 10012**: "Istruzioni per la valutazione delle azioni sulle costruzioni".
- **CNR 10024**: "Analisi di strutture mediante elaboratore. Impostazione e redazione delle relazioni di calcolo".

2.1.3 Norme UNI

- **UNI EN 197-1**: "Cemento - Composizione, specificazioni e criteri di conformità per cementi comuni.
- **UNI EN 206-2016**: "Calcestruzzo - Specificazioni, prestazioni, produzione e conformità".
- **UNI 11104/2016**: "Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità – Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1".

2.2 Bibliografia

Migliacci – F. Mola: **Progetto agli stati limite delle strutture in c.a.** – Masson Italia Editori 1985
C. Cestelli Guidi: **Geotecnica e tecnica delle fondazioni** – Ulrico Hoepli Editore 1987
R. Lancellotta: **Geotecnica** – Edizioni Zanichelli 1987
Bowles J.E.: **Foundations Analysis and Design 4th edition** – McGraw-Hill – New York, 1988

2.3 Documenti di progetto

I documenti di progetto sono indicati nell'Elenco Elaborati allegato al Progetto.

3 PROGRAMMI PER L'ANALISI AUTOMATICA

SAP2000 Advanced rel. 21

Structural Analysis program – Computers and Structures, Inc. – Berkeley CA, USA
Programma di calcolo ad elementi finiti monodimensionali, bidimensionali e tridimensionali.

Spettri di risposta ver. 1.0.3

Distribuito dal Consiglio Superiore LL.PP.
*Foglio di calcolo per la definizione dei parametri sismici secondo la trattazione del D.M. 14/01/2008
"Norme tecniche per le Costruzioni".*

RS2 rel. 2019 - edito da Rocscience Inc. Toronto, Ontario - Canada

Programma di calcolo geotecnico agli elementi finiti 2D

VCASLU versione 7.7 – distribuito dal Prof. Piero Gelfi

*Programma di calcolo per le verifiche a presso-flessione a Stato Limite Ultimo e Stato Limite di
Esercizio di sezioni in c.a. e c.a.p.*

RC-Sec

Programma di calcolo per la verifica agli s.l. di sezioni in c.a distribuito dalla GeoStru-Software

4 MATERIALI

4.1 Calcestruzzo per Diaframmi, solette e muri ad U

| | | | |
|---|---|---|---------------------------|
| Classe di resistenza | C28/35 | | |
| Classe di esposizione | XC2 | | |
| Classe di consistenza | S4 | | |
| Diametro massimo aggregato | 32 mm | | |
| Massimo rapporto acqua/cemento | 0.55 | | |
| Contenuto minimo di cemento | 320 kg/mc | | |
| Copriferro | 40 mm | | |
| Resistenza caratteristica a compressione cubica | $R_{ck} =$ | | 32.00 N/mm ² |
| Resistenza caratteristica a compressione cilindrica | $f_{ck} = 0.83 \times R_{ck}$ | = | 29.05 N/mm ² |
| Resistenza media a compressione cilindrica | $f_{cm} = f_{ck} + 8$ | = | 37.05 N/mm ² |
| Modulo elastico | $E_c = 22000 \times (f_{cm}/10)^{0.3}$ | = | 32588.1 N/mm ² |
| Resistenza a trazione semplice | $f_{ctm} = 0.30 \times f_{ck}^{2/3}$ | = | 2.83 N/mm ² |
| Resistenza a trazione caratteristica (frattile 5%) | $f_{ctk} = 0.70 \times f_{ctm}$ | = | 1.98 N/mm ² |
| Stato Limite Ultimo | | | |
| Coefficiente parziale di sicurezza | $\gamma_C =$ | | 1.50 -- |
| Coefficiente riduttivo per resistenze di lunga durata | $\alpha_{cc} =$ | | 0.85 -- |
| Resistenza a compressione di calcolo | $f_{cd} = \alpha_{cc} \times f_{ck} / \gamma_C$ | = | 16.46 N/mm ² |
| Resistenza a trazione di calcolo | $f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_C$ | = | 1.32 N/mm ² |
| Stato Limite di Esercizio | | | |
| Tensione max di compressione - Comb. rara | $\sigma_c < 0.60 \times f_{ck}$ | = | 17.4 N/mm ² |
| Tensione max di compressione - Comb. quasi permanente | $\sigma_c < 0.45 \times f_{ck}$ | = | 13.1 N/mm ² |
| Stato Limite di Fessurazione | | | |
| Valore limite di apertura delle fessure - Comb. frequente. | $w \leq w_3$ | = | 0.4 mm |
| Valore limite di apertura delle fessure - Comb. quasi perm. | $w \leq w_2$ | = | 0.3 mm |

4.2 Acciaio per calcestruzzo armato

Si utilizza acciaio per cemento armato tipo **B450C**, con le seguenti caratteristiche:

| | | | |
|--|---------------------------------|---|--------------------------|
| Tensione caratteristica di rottura (frattile 5%) | $f_{tk} =$ | | 540.00 N/mm ² |
| Tensione caratteristica di snervamento (frattile 5%) | $f_{yk} =$ | | 450.00 N/mm ² |
| Stato Limite Ultimo | | | |
| Coefficiente parziale di sicurezza | $\gamma_S =$ | | 1.15 -- |
| Resistenza a trazione di calcolo | $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S$ | = | 391.30 N/mm ² |
| Stato Limite di Esercizio | | | |
| Tensione massima di trazione | $\sigma_s < 0.80 \times f_{yk}$ | = | 360.00 N/mm ² |

5 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

La trattazione completa della configurazione geologica e geotecnica in prossimità delle opere in oggetto è riportata nella Relazione Geotecnica generale allegata al Progetto.

Stratigrafia di progetto

La trattazione completa della situazione geotecnica in prossimità delle opere in oggetto è riportata nella Relazione Geotecnica allegata al Progetto. Di seguito si riportano i parametri geotecnici caratteristici delle varie unità assunti nei calcoli.

| Unità | sp [m] | γ_n [kN/m ³] | c_{uk} [kPa] | c'_k [kPa] | ϕ'_k [°] | E_{vc} [MPa] | E_{ur} [MPa] |
|--------------|-----------|------------------------------------|-------------------|-----------------|------------------|-------------------|-------------------|
| Ricoprimento | variabile | 20 | - | 0 | 35 | 15 | 45 |
| FAA | - | 20 | 150 | 30 | 28 | 20 | 60 |

Tabella 1: Stratigrafia utilizzata nelle analisi (parametri caratteristici e di progetto Comb1)

| Unità | sp [m] | γ_n [kN/m ³] | c_{ud} [kPa] | c'_d [kPa] | ϕ'_d [°] | E_{vc} [MPa] | E_{ur} [MPa] |
|--------------|-----------|------------------------------------|-------------------|-----------------|------------------|-------------------|-------------------|
| Ricoprimento | variabile | 20 | - | 0 | 29.3 | 15 | 45 |
| FAA | - | 20 | 150 | 24 | 23.04 | 20 | 60 |

Tabella 2: Stratigrafia utilizzata nelle analisi (parametri di progetto Comb2)

dove:

| | |
|------------|--|
| γ_n | peso di volume naturale |
| sp | Spessore dello strato |
| c' | coesione drenata |
| c_u | coesione non drenata |
| ϕ' | angolo di attrito effi cace |
| E_{vc} | modulo elastico in compressione vergine |
| E_{ur} | modulo elastico in scarico-ricarico pari a 3 volte il modulo in compressione vergine |

La falda, presente qualche metro più in alto rispetto alla livelletta stradale, non determina spinte idrauliche sui diaframmi in quanto a breve termine si predispongono dreni per intercettare ed allontanare dall'opera le acque di falda; invece, a lungo termine, le spinte dell'acqua sono assorbite dai getti interni dei muri ad U.

6 CRITERI DI VERIFICA

6.1 Verifica per sollecitazioni di presso/tenso-flessione

Come previsto dal DM 17.01.2018 al § 4.1.2.3.4 con riferimento alla generica sezione la verifica di resistenza allo SLU si esegue controllando che:

$$M_{Rd} = M_{Rd}(N_{Ed}) \geq M_{Ed}$$

dove:

- M_{Rd} è il valore di calcolo del momento resistente corrispondente a N_{Ed} ;
- N_{Ed} è il valore di calcolo della componente assiale (sforzo normale) dell'azione;
- M_{Ed} è il valore di calcolo della componente flettente dell'azione.

6.2 Verifica a taglio SLU

Si esegue dapprima la verifica degli *elementi senza armature resistenti a taglio* secondo quanto previsto nel DM 17.01.2018 al punto 4.1.2.3.5.1.

Indicato con V_{Ed} il valore di calcolo dello sforzo di taglio agente allo SLU, si verifica controllando che risulti:

$$V_{Ed} < V_{Rd} = \max \left\{ \left(0.18 \cdot k \cdot \frac{\sqrt[3]{100 \cdot \rho_\ell \cdot f_{ck}}}{\gamma_c} + 0.15 \cdot \sigma_{cp} \right) \cdot b_w \cdot d; (v_{\min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \right\}$$

dove:

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2 \quad \text{con } d \text{ altezza utile della sezione espressa in mm}$$

$$v_{\min} = 0.035 \cdot \sqrt{k^3} \cdot \sqrt{f_{ck}}$$

$$\rho_\ell = \frac{A_{s\ell}}{b_w \cdot d} \leq 0.02 \quad \text{con } b_w \text{ larghezza minima della sezione espressa in mm}$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} \leq 0.2 \cdot f_{cd} \quad \text{tensione media di compressione nella sezione}$$

Qualora la verifica non andasse a buon fine è necessario ricorrere ad *elementi provvisti di armature resistenti a taglio* secondo quanto previsto al punto 4.1.2.3.5.1 del già citato D.M. 17.01.2018.

Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di calcolo a "taglio-trazione" si calcola con:

$$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg } \alpha + \text{ctg } \vartheta) \cdot \sin \alpha$$

Con riferimento al calcestruzzo d'anima, la resistenza di calcolo a "taglio-compressione" si calcola con:

$$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot \frac{\text{ctg } \alpha + \text{ctg } \vartheta}{1 + \text{ctg}^2 \vartheta}$$

La resistenza a taglio dell'elemento strutturale è la minore delle due sopra definite:

$$V_{Rd} = \min(V_{Rsd}; V_{Rcd})$$

Nelle precedenti espressioni, i nuovi parametri, introdotti rispetto al caso di elementi sprovvisti di armatura a taglio, assumono il seguente significato:

ϑ inclinazione dei puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse dell'elemento con la

limitazione $1.0 \leq \text{ctg } \vartheta \leq 2.5$;

α inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse dell'elemento;

A_{sw} area dell'armatura trasversale;

s interasse tra due armature trasversali consecutive;

$f'_{cd} = 0.5 \cdot f_{cd}$ resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima;

α_c coefficiente maggiorativi pari a:

| | |
|---------------------------------------|---|
| 1 | per membrane non compresse |
| $1 + \sigma_{cp}/f_{cd}$ | per $0 \leq \sigma_{cp} < 0.25 \times f_{cd}$ |
| 1.25 | per $0.25 f_{cd} \leq \sigma_{cp} \leq 0.5 \times f_{cd}$ |
| $2.5 \times (1 - \sigma_{cp}/f_{cd})$ | per $0.5 \times f_{cd} < \sigma_{cp} < f_{cd}$ |

In presenza di significativo sforzo assiale, come ad esempio nel caso della precompressione, è necessario considerare un'ulteriore limitazione relativa all'inclinazione dei puntoni di calcestruzzo:

$$\text{cotg } \vartheta_1 \leq \text{cotg } \vartheta$$

in cui:

ϑ_1 angolo di inclinazione della prima fessurazione ricavato come $\text{cotg } \vartheta_1 / \sigma_1$

τ tensione tangenziale sulla corda baricentrica della sezione interamente reagente

σ_1 tensione principale di trazione sulla corda baricentrica della sezione interamente

reagente

6.3 Verifiche di limitazione delle tensioni di esercizio

Le Verifiche di limitazione delle tensioni in condizioni di esercizio (SLE) sono svolte con riferimento ai valori caratteristici delle azioni e dei parametri di resistenza dei materiali e consistono nel controllare che i valori di tensione nei materiali strutturali siano inferiori ai limiti di normativa (punto 4.1.2.2.5 del D.M. 17/01/2018).

- Calcestruzzo compresso:
 - Combinazione caratteristica o rara $\sigma_c < 0.60 \cdot f_{ck} = 19.92\text{Mpa}$
 - Combinazione quasi permanente $\sigma_c < 0.45 \cdot f_{ck} = 14.94\text{Mpa}$
- Acciaio teso:
 - Combinazione caratteristica o rara $\sigma_s < 0.80 \cdot f_{yk} = 360\text{Mpa}$

6.4 Verifiche a fessurazione

Per poter procedere alle verifiche a fessurazione è necessario effettuare una valutazione relativa al grado di protezione delle armature metalliche contro la corrosione (in termini di condizioni ambientali e sensibilità delle armature stesse alla corrosione).

La Tabella 3 riassume le condizioni ambientali previste dalle NTC 2018 in funzione delle classi di esposizione.

| 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, |

Tabella 3: Descrizione delle condizioni ambientali (da Tabella 4.1.III NTC 18).

Le armature possono essere distinte in:

- armature sensibili;
- armature poco sensibili.

I valori limite di apertura delle fessure ottenuti in base alle condizioni ambientali, alla sensibilità delle armature e alla combinazione di azioni sono riportati in Tabella 4.

| Gruppi di esigenze | Condizioni ambientali | Combinazioni di azioni S.L.E. | Armature | w_d | Armature | |
|--------------------|-----------------------|-------------------------------|----------------|---------------------------|-----------|---------------------------|
| A | Ordinarie | frequente | Poco sensibili | $\leq w_3 = 0.4\text{mm}$ | Sensibili | $\leq w_2 = 0.3\text{mm}$ |
| | | quasi permanente | | $\leq w_2 = 0.3\text{mm}$ | | $\leq w_1 = 0.2\text{mm}$ |
| B | Aggressive | frequente | Poco sensibili | $\leq w_2 = 0.3\text{mm}$ | Sensibili | $\leq w_1 = 0.2\text{mm}$ |
| | | quasi permanente | | $\leq w_1 = 0.2\text{mm}$ | | - |
| C | Molto aggressive | frequente | Poco sensibili | $\leq w_1 = 0.2\text{mm}$ | Sensibili | - |
| | | quasi permanente | | $\leq w_1 = 0.2\text{mm}$ | | - |

Tabella 4: Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione (da Tabella 4.1.IV NTC 18).

Nel caso in oggetto, dal momento che sono previste armature poco sensibili e

- per la calotta/soletta superiore/muri di rivestimento, una classe di esposizione XC4-XD1-XF2, ovvero in condizioni ambientali aggressive, è necessario limitare l'ampiezza delle fessure a 0.3mm per la combinazione frequente e 0.2mm per la combinazione di carico quasi permanente.
- per l'arco rovescio/diaframmi/soletta inferiore, una classe di esposizione XC2, ovvero in condizioni ambientali ordinarie, è necessario limitare l'ampiezza delle fessure a 0.4mm per la combinazione frequente e 0.3mm per la combinazione di carico quasi permanente.

Per eseguire le verifiche a fessurazione si segue l'approccio *senza calcolo diretto* descritto al paragrafo C4.1.2.2.4 della Circolare del 11.02.2019 secondo cui è possibile limitare l'ampiezza delle fessure limitando il valore della tensione nell'acciaio teso nella combinazione di carico SLE considerata.

Si riportano nelle seguenti figure le tabelle presenti al paragrafo sopra citato utilizzate per svolgere la verifica a fessurazione.

Tabella C4.1.II Diametri massimi delle barre per il controllo di fessurazione

| Tensione nell'acciaio σ_s [MPa] | Diametro massimo ϕ delle barre (mm) | | |
|---|--|----------------|----------------|
| | $w_3 = 0,4$ mm | $w_2 = 0,3$ mm | $w_1 = 0,2$ mm |
| 160 | 40 | 32 | 25 |
| 200 | 32 | 25 | 16 |
| 240 | 20 | 16 | 12 |
| 280 | 16 | 12 | 8 |
| 320 | 12 | 10 | 6 |
| 360 | 10 | 8 | - |

Figura 7

Tabella C4.1.III Spaziatura massima delle barre per il controllo di fessurazione

| Tensione nell'acciaio σ_s [MPa] | Spaziatura massima s delle barre (mm) | | |
|---|---|----------------|----------------|
| | $w_3 = 0,4$ mm | $w_2 = 0,3$ mm | $w_1 = 0,2$ mm |
| 160 | 300 | 300 | 200 |
| 200 | 300 | 250 | 150 |
| 240 | 250 | 200 | 100 |
| 280 | 200 | 150 | 50 |
| 320 | 150 | 100 | - |
| 360 | 100 | 50 | - |

Figura 8

7 OPERE DI SOSTEGNO – SEZIONI TIPO

Di seguito si riporta il dimensionamento, eseguito con il programma di calcolo RS2 v9.0, della Galleria Artificiale S. Lazzerò costituita da diaframmi e da solette di contrasto.

Ci sono diverse situazioni lungo il tratto che si differenziano dalle caratteristiche strutturali (spessori diaframmi e solette di contrasto), dalle altezze di sostegno. Nei tratti terminali ci sono anche muri ad U e una paratia singola, dimensionati nel seguito.

La tabella seguente riassume le caratteristiche principali delle sezioni di calcolo considerate.

| Sezione | Caratteristiche | Opera | Hscavo-max (m) |
|---------|--|--|----------------|
| 1 | Galleria Artificiale provvisoria a doppia carreggiata | Diaframmi sp. 1,5m e soletta di sommità curva | 17 |
| 1a | Galleria Artificiale provvisoria a singola carreggiata | Diaframmi sp. 1,5m lato esterno e 1m lato interno e soletta di sommità curva | 17 |
| 2 | Galleria Artificiale definitiva a doppia carreggiata | Diaframmi sp. 1,5m e solette di contrasto piane | 14 |
| 3 | Muro ad U definitivo a doppia carreggiata | Diaframmi sp. 1,5m e gusci interni in c.a. | 10 |
| 4 | Paratia singola definitiva | Diaframmi sp. 1,5m e muro di placcaggio in c.a. | 7 |

Per quanto riguarda le opere definitive, i getti interni in c.a. hanno anche la funzione di contenimento delle spinte della falda che risulta a lungo termine maggiore rispetto alle quote della livelletta stradale. Tra diaframmi e getti interni, infatti, si prevede un manto di impermeabilizzazione.

In fase provvisoria si prevedono dreni per lo smaltimento delle eventuali acque intercettate dai diaframmi: pertanto non si prevedono spinte aggiuntive sui diaframmi dovute alla presenza della falda.

8 COMBINAZIONI E ANALISI DEI CARICHI

Combinazioni

Il dimensionamento delle paratie è stato condotto utilizzando il metodo agli stati limite secondo le Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni, il D.M. 17/01/2018. Tale normativa impone una doppia verifica, agli Stati Limite d'Esercizio e agli Stati Limite Ultimi. Nelle condizioni di esercizio si verifica che le deformazioni risultino ammissibili per le strutture e per i terreni in sito, considerando valori caratteristici sia dei carichi sia dei parametri del terreno, mentre agli S.L.U., la normativa impone di considerare almeno i seguenti stati limite:

- collasso per rotazione attorno ad un punto dell'opera;
- collasso per carico limite verticale;
- sfilamento di uno o più ancoraggi;
- instabilità del fondo scavo;
- sifonamento del fondo scavo;
- instabilità globale dell'insieme terreno-opera;
- raggiungimento della resistenza in uno o più ancoraggi;
- raggiungimento della resistenza in uno o più sistemi di contrasto;
- raggiungimento della resistenza strutturale della paratia;

accertando che sia soddisfatta, per ogni stato limite considerato, la condizione:

$$E_d < R_d$$

dove E_d e R_d rappresentano rispettivamente le sollecitazioni e le resistenze di progetto, calcolate tenendo in conto dei coefficienti parziali per le azioni e per i parametri geotecnici riportati nelle seguenti tabelle:

| carichi | effetto | coeff. parziale | EQU | A1 (STR) | A2 (GEO) |
|----------------------------|-------------|-----------------|-----|----------|----------|
| Permanenti | favorevole | γ_{G1} | 0.9 | 1.0 | 1.0 |
| | sfavorevole | | 1.1 | 1.3 | 1.0 |
| Permanenti non strutturali | favorevole | γ_{G2} | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | sfavorevole | | 1.5 | 1.5 | 1.3 |
| Variabili | favorevole | γ_{Qi} | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | sfavorevole | | 1.5 | 1.5 | 1.3 |

Tabella 6.2.I delle N.T.C. 2018

| parametro | simbolo | coeff. parziale | M1 | M2 |
|----------------------------|----------------|-------------------|------|------|
| tangente angolo di attrito | $\tan \phi'_k$ | $\gamma_{\phi'}$ | 1.00 | 1.25 |
| coesione efficace | c'_k | $\gamma_{c'}$ | 1.00 | 1.25 |
| resistenza non drenata | c_{uk} | γ_{cu} | 1.00 | 1.40 |
| peso unità di volume | γ | γ_{γ} | 1.00 | 1.00 |

Tabella 6.2.II delle N.T.C. 2018

In fase statica le verifiche sono state effettuate adottando le seguenti combinazioni di coefficienti. Il segno '+', in ossequio alla nuova normativa, ha il significato di 'combinato con'.

| | Combinazione |
|-------|--------------|
| Comb1 | A1+M1+R1 |
| Comb2 | A2+M2+R1 |

Tabella 5: Combinazioni statiche utilizzate nelle analisi

Le verifiche sismiche vengono condotte imponendo pari ad uno tutti i coefficienti A e M descritti per il caso statico.

| | Combinazione |
|------------------|------------------|
| Comb STR-Sismica | (A1=1) + M1 + R1 |

Tabella 6: Combinazione sismica utilizzata nelle analisi

Metodologia di calcolo – Stabilità globale

La verifica di stabilità globale dell'insieme terreno-opera è effettuata secondo l'approccio 1, combinazione2:

$$A2+M2+R2$$

Il coefficiente parziale sulle resistenze, associato al caso 'R2', è pari a 1.1. Nelle verifiche di stabilità globale, quindi, il fattore di sicurezza minimo da raggiungere, dopo aver fattorizzato i carichi ed i parametri secondo 'A2' e 'M2' rispettivamente, è pari a 1.1.

In fase sismica, l'analisi viene condotta ponendo pari ad uno tutti i coefficienti A e M, cercando un fattore di sicurezza pari a 1.2.

Sovraccarichi

A monte delle paratie è stato modellato il versante; non sono presenti altri tipi di sovraccarichi.

Spinta delle terre e delle acque

La spinta del terreno è calcolata automaticamente dal software di calcolo sulla base dei parametri geotecnici dei terreni inseriti dall'utente. Tali parametri sono stati inseriti nel software già moltiplicati per i coefficienti parziali indicati dalla normativa, D.M. 17.01.2018, per le diverse combinazioni.

Anche la presenza della falda è stata valutata in automatico dal programma di calcolo sulla base delle quote del livello di falda inserito nel modello.

Azione sismica di progetto

L'azione sismica di progetto, in accordo a quanto precedentemente riportato, è indicata nella tabella seguente:

| | T_R (anni) | a_g (g) | F_0 | T^*_c (s) |
|-----|--------------|-----------|-------|-------------|
| SLO | 60 | 0,064 | 2,518 | 0,258 |
| SLD | 101 | 0,079 | 2,509 | 0,264 |
| SLV | 949 | 0,174 | 2,516 | 0,283 |
| SLC | 1950 | 0,212 | 2,556 | 0,290 |

Nel caso delle paratie l'azione sismica, nelle analisi pseudo-statiche, è definita mediante un'accelerazione orizzontale equivalente a_h pari a:

$$a_h = k_h g = \alpha \cdot \beta \cdot a_{max}$$

dove:

g = accelerazione di gravità

- k_h = coefficiente sismico in direzione orizzontale
- α = coefficiente che tiene conto della deformabilità dei terreni interagenti con l'opera
- β = coefficiente funzione della capacità dell'opera di subire spostamenti senza cadute di resistenza

mentre la componente verticale a_v dell'accelerazione equivalente può essere posta uguale a 0.

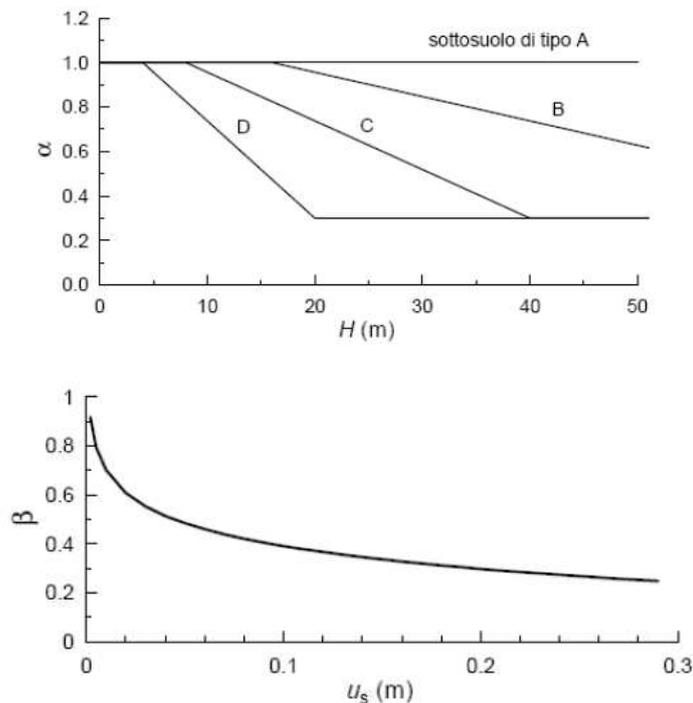
Anche in questo caso l'accelerazione massima può essere valutata, mediante un'analisi di risposta sismica locale, mediante la relazione:

$$a_{max} = S \cdot a_g = S_S \cdot S_T \cdot a_g$$

dove:

- S_S = coefficiente di amplificazione stratigrafica (Tab. 3.2.V del D.M. 17.01.2018);
- S_T = coefficiente di amplificazione topografica (Tab. 3.2.VI del D.M. 17.01.2018);
- a_g = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido

I valori dei coefficienti α e β possono essere ricavati dai grafici sottostanti (cfr. *Figura 7.11.II* e *Figura 7.11.III* e delle N.T.C. 2018):



In ogni caso $\alpha \cdot \beta$ non deve essere inferiore a 0.2.

Infine, è possibile trascurare la componente sismica verticale ($k_v = 0$).

Nel caso in oggetto si ha:

$$a_g/g = 0.174$$

Categoria di suolo B

$$S=1.5$$

$$\alpha=0.7$$

$$\beta=0.8$$

$$a_{\max}/g = 0.261$$

$$k_h = \alpha \cdot \beta \cdot a_{\max} = 0.7 \cdot 0.8 \cdot 0.174 = 0.146$$

Per le sezioni definitive, la sovraspinta sismica è stata applicata mediante una forza orizzontale sulla paratia adottando un coefficiente di spinta sismica secondo mononobe&Okabe. Di seguito si riportano i valori di tale sovraspinta sismica applicata.

| Sezione | Hscavo (m) | Hcalc (m) | s'h-max (kPa) |
|---------|------------|-----------|---------------|
| 2 | 14 | 17 | 64 |
| 3 | 10 | 12 | 46 |
| 4 | 7 | 8 | 32 |

Per le verifiche di **stabilità globale del pendio**, in accordo con le Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni, si è assunto un coefficiente β_s pari a 0.38. Conseguentemente:

$$k_h = a_{\max} \cdot \beta_s / g = 0.099$$

$$k_v = \pm 0.5 k_h = 0.050$$

9 DIMENSIONAMENTO OPERE DI SOSTEGNO

9.1 Modelli di calcolo

La tabella seguente riporta le caratteristiche generali delle paratie in progetto.

Diaframmi

| | |
|------------------|------------------------------|
| Spessore | 1500mm – 1000mm (Sezione 1a) |
| Altezza di scavo | 7 - 17m |
| Lunghezza | 20 - 30 m |
| Materiale | c.a. |

In sommità della paratia è previsto un cordolo di calcestruzzo con sezione 170cm × 100cm (BxH). Nei modelli di calcolo vengono schematizzate entrambe le carreggiate laddove presenti, le solette di sommità e quella di fondo.

Di seguito si riportano le fasi della modellazione adottate nel software di calcolo che simulano le operazioni di cantiere che si svolgeranno durante la realizzazione dell'opera.

Stage 1: CONDIZIONE GEOSTATICA

Corrisponde alla fase geostatica iniziale.

Stage 2: REALIZZAZIONE PARATIE carreggiata est

Vengono modellati i diaframmi che costituiscono la paratie della carreggiata est (la prima a venire realizzata secondo le fasi di progetto).

Stage 3: SCAVO DI APPROCCIO PER LA REALIZZAZIONE DELLA SOLETTA DI SOMMITA'

Viene modellato lo scavo del terreno interno alle paratie per poter realizzare la soletta di sommità e i cordoli di collegamento ai pali.

Stage 4: REALIZZAZIONE SOLETTA DI SOMMITA'

In questa fase viene schematizzata la soletta in testa paratia: si ha un elemento di contrasto orizzontale di spessore variabile a seconda dei casi da 2.5m a 1.4 m.

Stage 5-6-7: SCAVI FINO ALLA SOLETTA DI FONDO

Viene modellato lo scavo massimo del terreno interno alle paratie fino alla quota di imposta della soletta di fondo.

Stage 8: REALIZZAZIONE SOLETTA DI FONDO

In questa fase viene schematizzata la soletta di fondo: si ha un elemento di contrasto orizzontale di spessore 1 m circa.

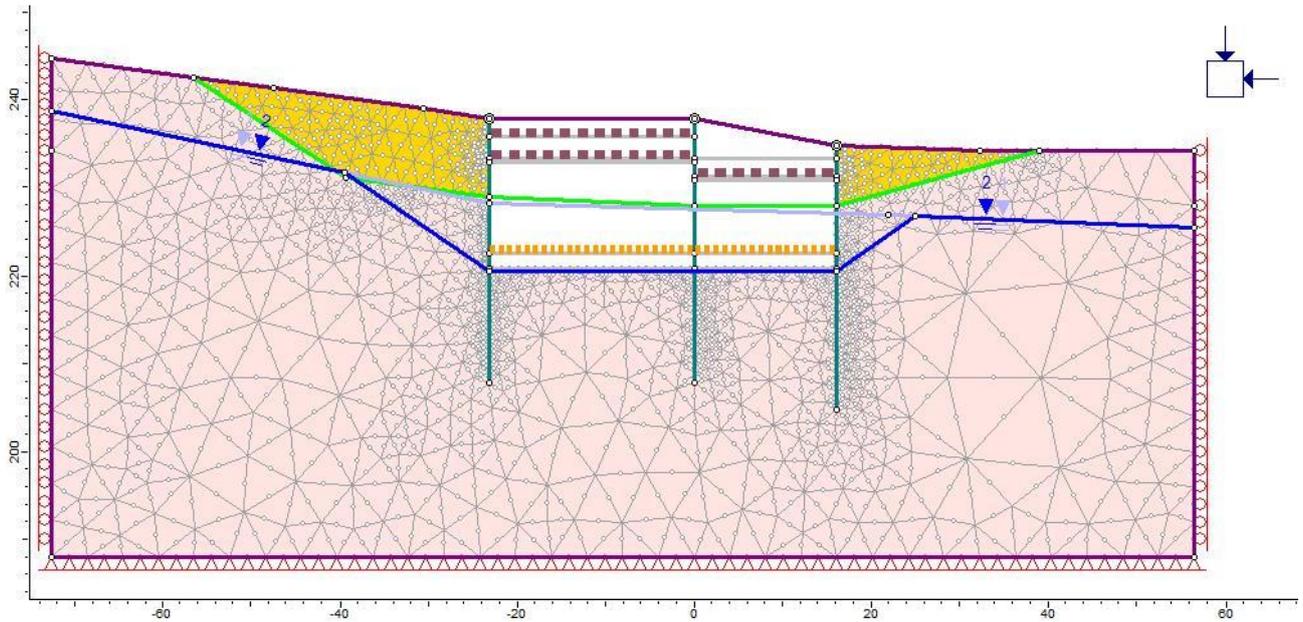
Stage SUCCESSIVI: FASE DI REALIZZAZIONE CARREGGIATA OVEST

Una volta realizzata la carreggiata est, le fasi di lavoro prevedono la realizzazione dei diaframmi, degli scavi e delle solette della carreggiata ovest.

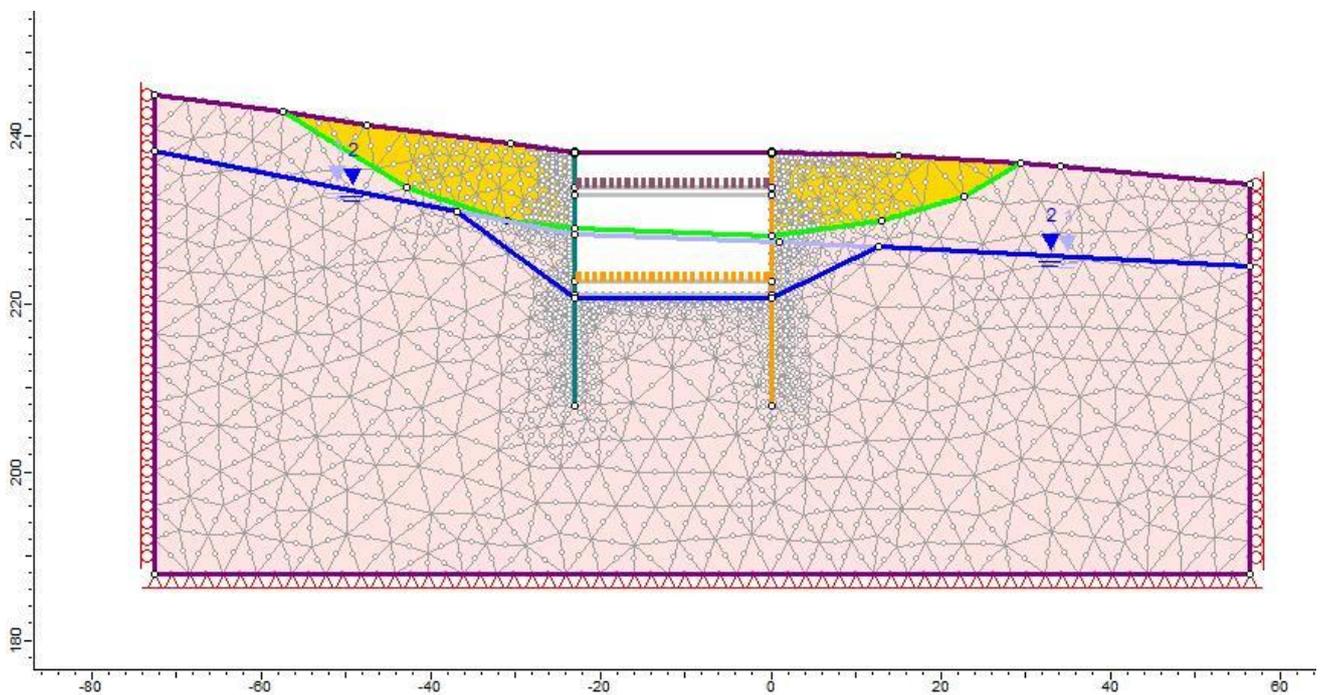
Stage FINALE SISMICO

In questa fase viene schematizzata la fase sismica (per i casi di diaframmi definitivi) mediante l'applicazione della sovraspinta sismica a tergo paratia.

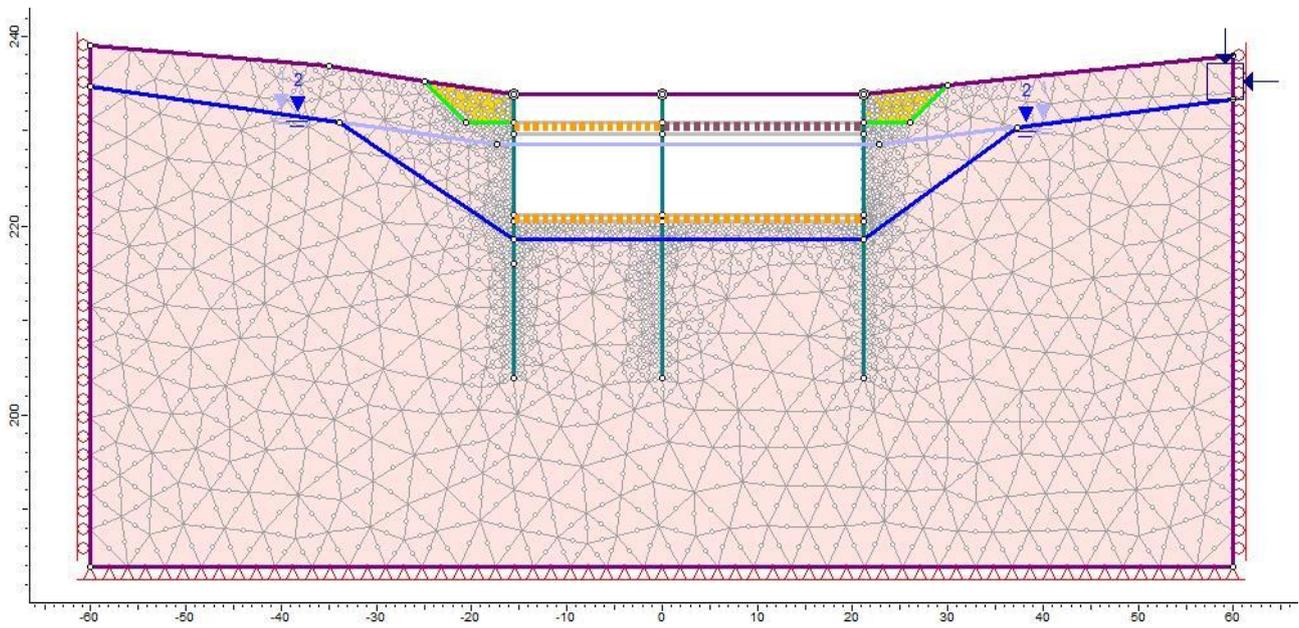
I modelli adottati misurano circa 100 m in larghezza e 40 m in altezza; nelle figure seguenti si riportano le immagini di input relative alla geometria del modello nelle fasi finali di scavo.



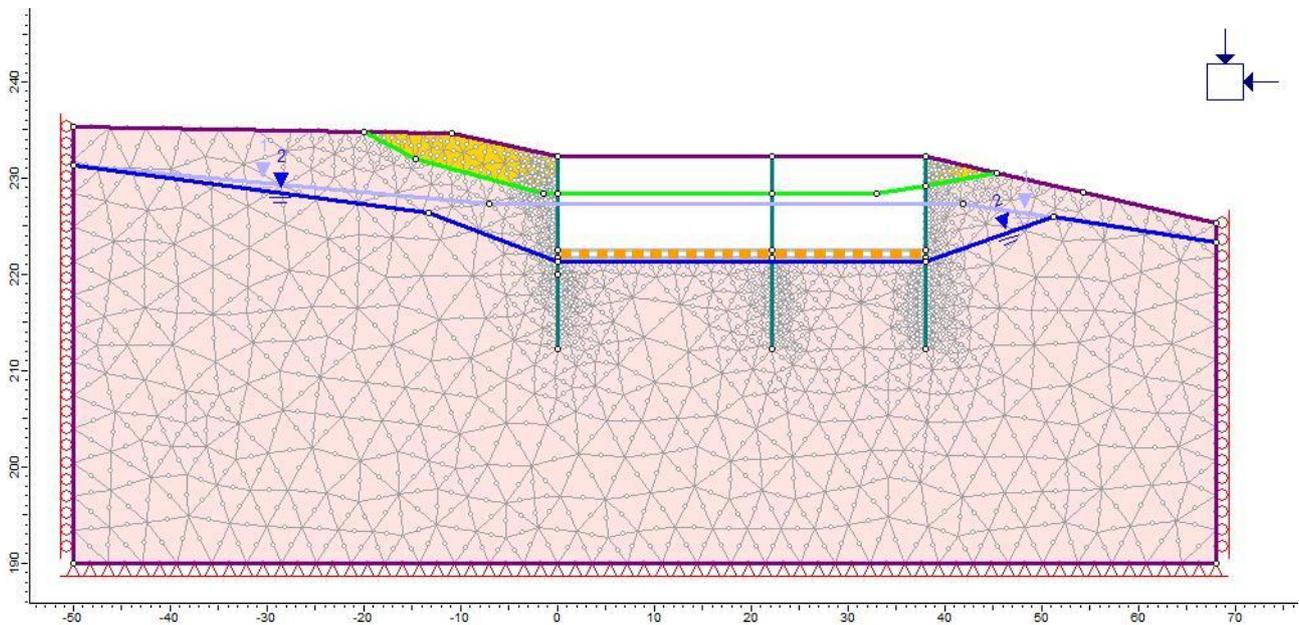
Sezione 1 – Geometria del modello di calcolo



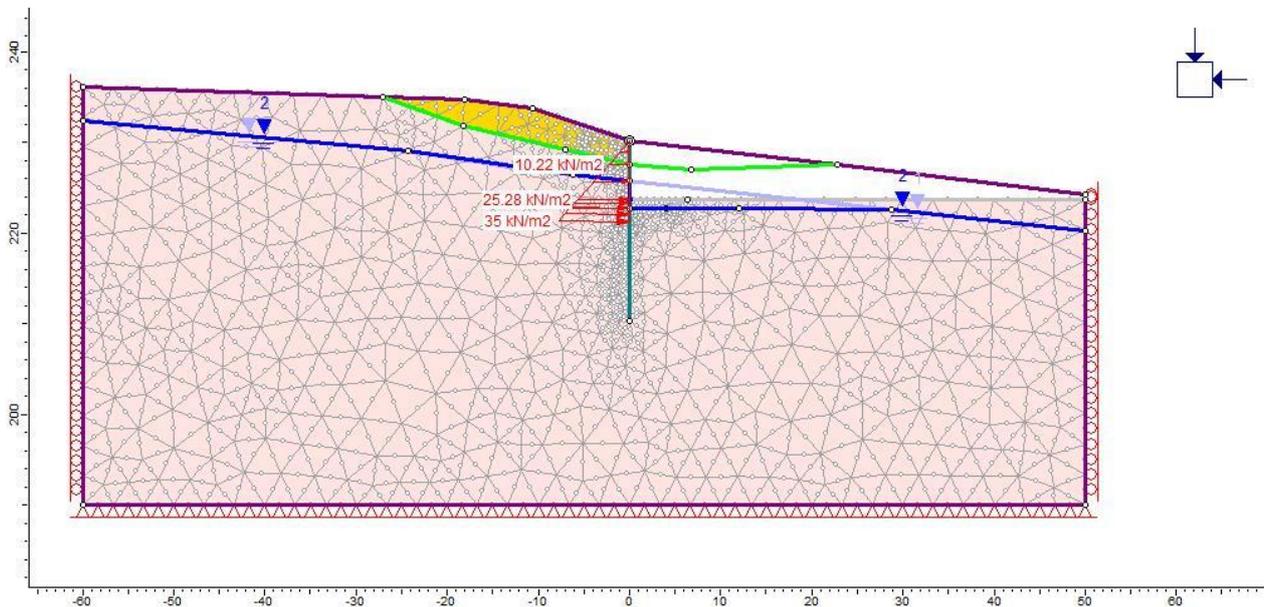
Sezione 1a – Geometria del modello di calcolo



Sezione 2 – Geometria del modello di calcolo



Sezione 3 – Geometria del modello di calcolo



Sezione 4 – Geometria del modello di calcolo

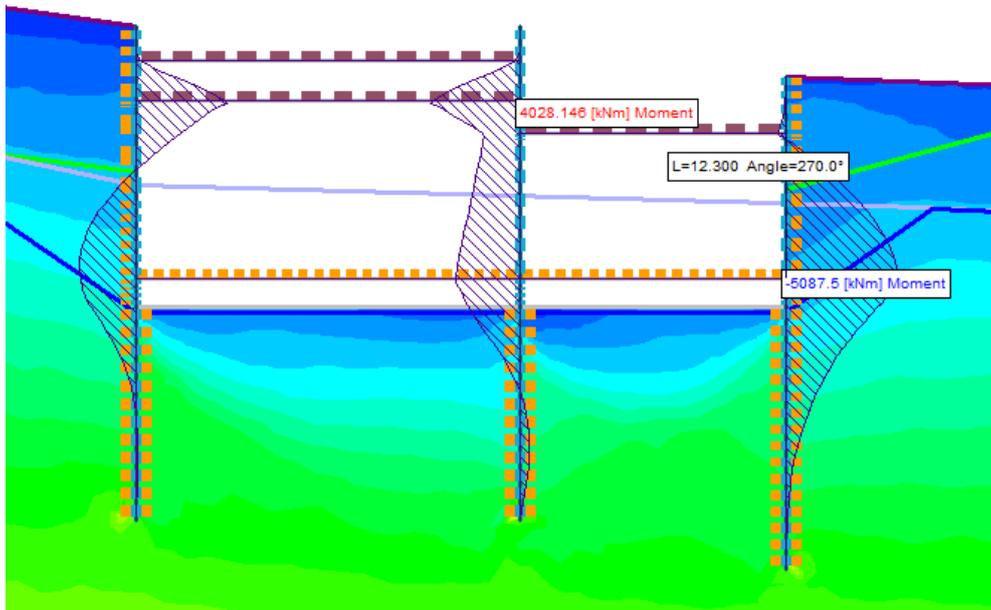
9.2 Risultati Azioni sulle strutture

Nel presente paragrafo vengono riportati i risultati in termini di sollecitazioni massime sui diaframmi e sulle solette. Le verifiche vengono effettuate agli stati limite ultimi confrontando le sollecitazioni massime fornite dal programma nello step più sfavorevole, moltiplicate per l'opportuno coefficiente parziale, con le resistenze della paratia. Vengono altresì presentate le verifiche in esercizio.

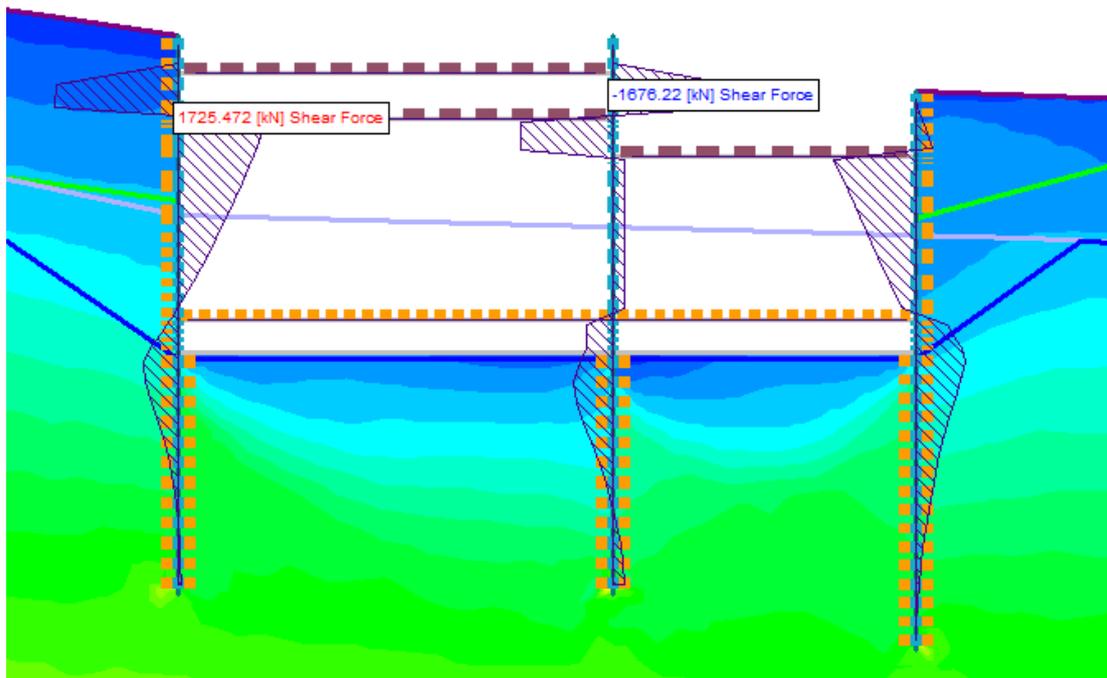
La tabella seguente riporta i risultati delle analisi eseguite con il programma di calcolo per le sezioni considerate; successivamente, nelle figure sottostanti si mostrano i diagrammi del momento flettente e del taglio negli step di calcolo più significativi: il caso dimensionante risulta la fase statica combinazione 1 (A1+M1+R1). Le sollecitazioni in oggetto sono riferite ad un metro lineare di sviluppo.

| Sezione | Struttura | COMB | M (kNm/m) | V (kN/m) | spost (cm) |
|---------|-----------------|--------|-----------|----------|------------|
| 1 | Diaframma 150cm | 1 | 5087 | 1725 | 5,2 |
| | | 2 | 5547 | 1997 | - |
| 1a | Diaframma 150cm | 1 | 4964 | 1085 | 6,8 |
| | | 2 | 5472 | 1142 | - |
| | Diaframma 100cm | 1 | 2805 | 917 | 7,8 |
| | | 2 | 2983 | 981 | - |
| 2 | Diaframma 150cm | 1 | 4153 | 897 | 7,2 |
| | | 1 sism | 4410 | 977 | 7,7 |
| | | 2 | 4646 | 983 | - |
| 3 | Diaframma 150cm | 1 | 935 | 343 | 5 |
| | | 1 sism | 1392 | 327 | 6,2 |
| | | 2 | 1124 | 327 | - |
| 4 | Diaframma 150cm | 1 | 649 | 196 | 2,3 |

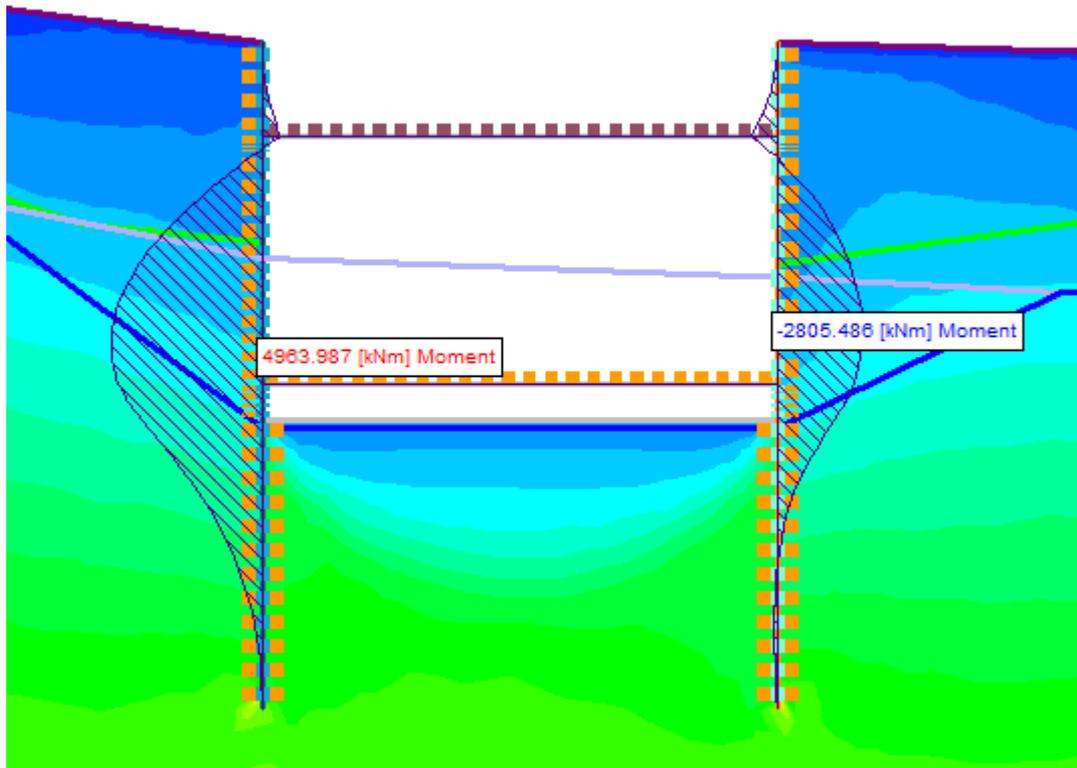
| | | | | | |
|--|--|--------|-----|-----|---|
| | | 1 sism | 803 | 215 | 3 |
| | | 2 | 765 | 184 | - |



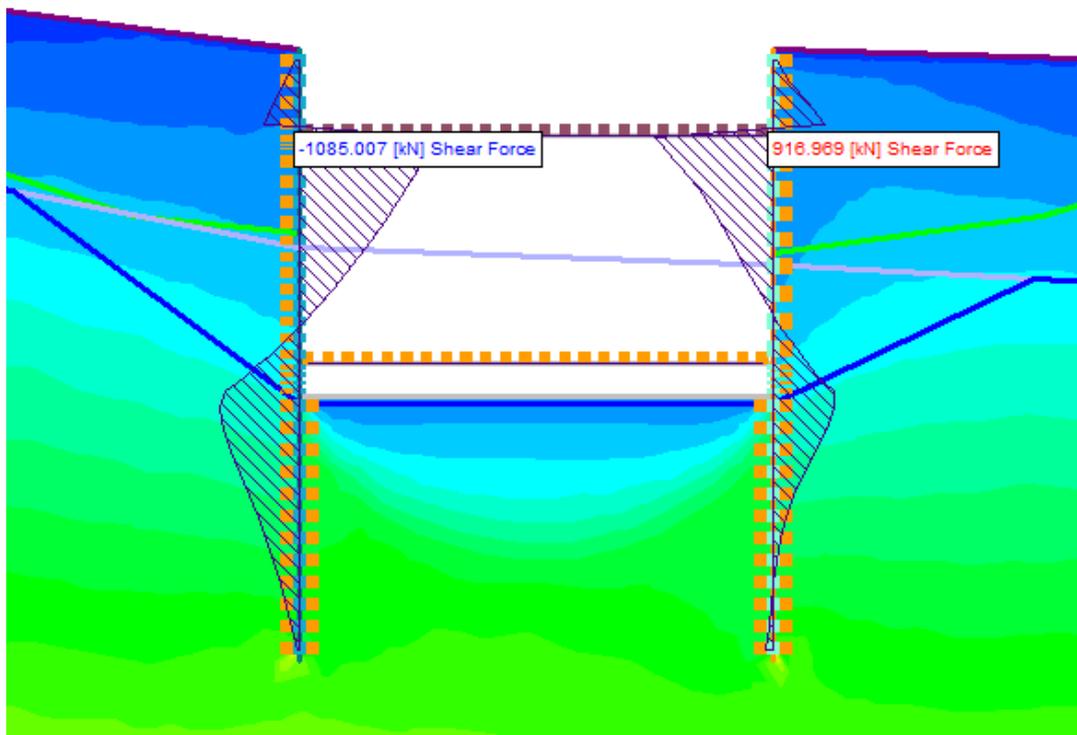
Sezione 1 – Caso critico Momento flettente



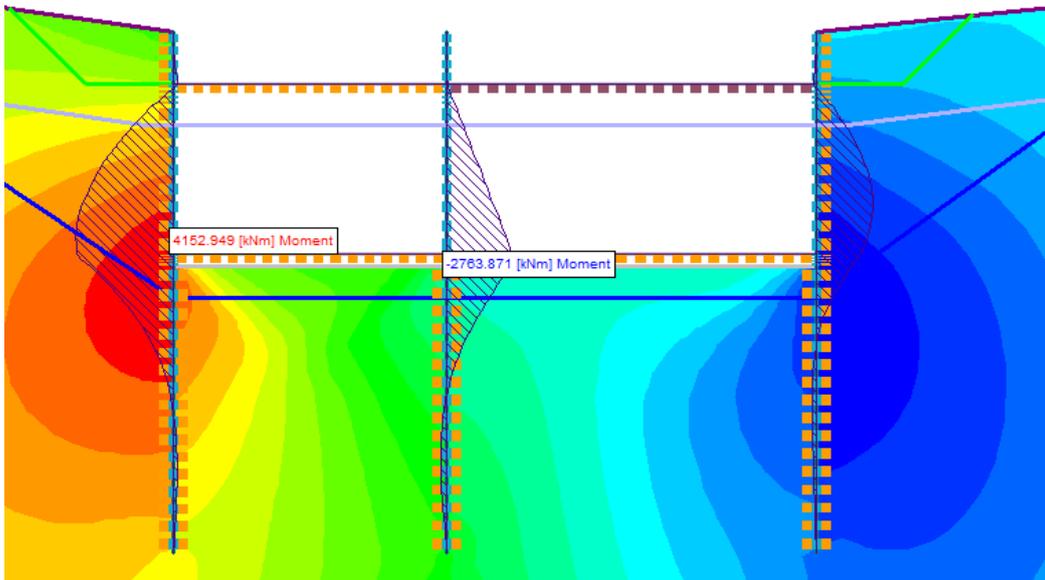
Sezione 1 – Caso critico Azione di taglio



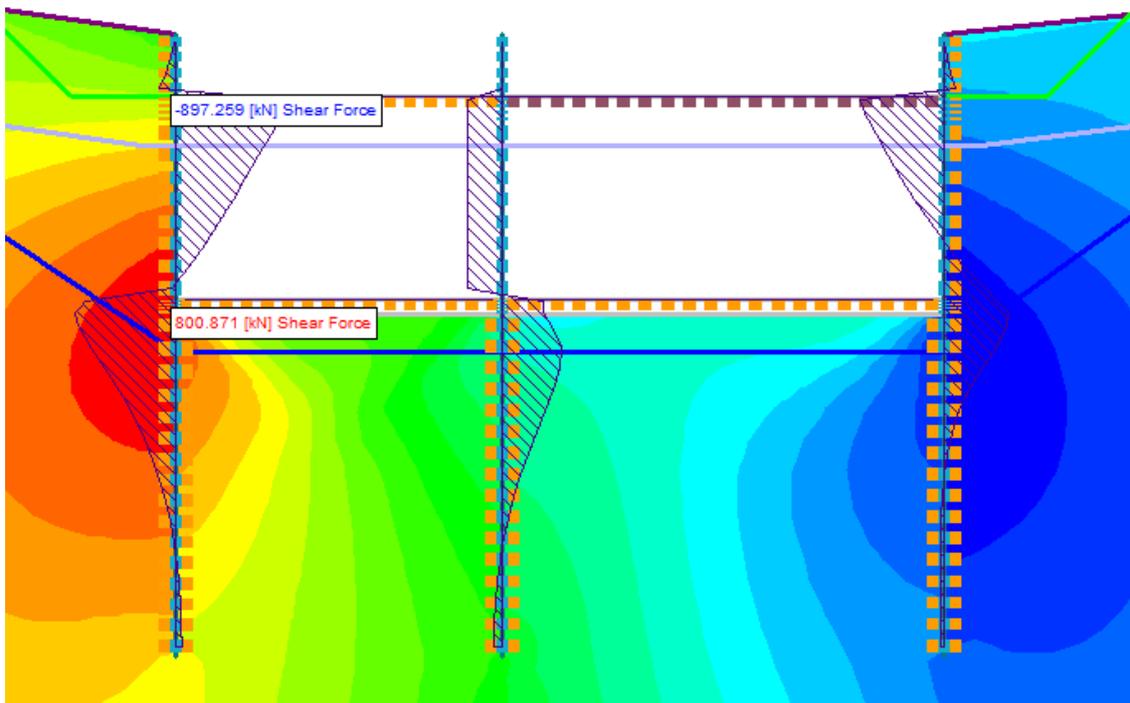
Sezione 1a – Caso critico Momento flettente



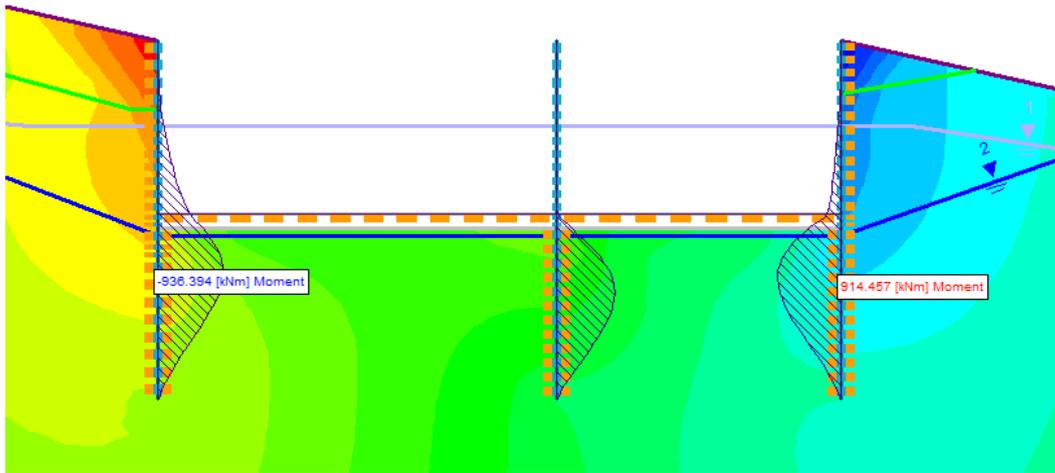
Sezione 1a – Caso critico Azione di taglio



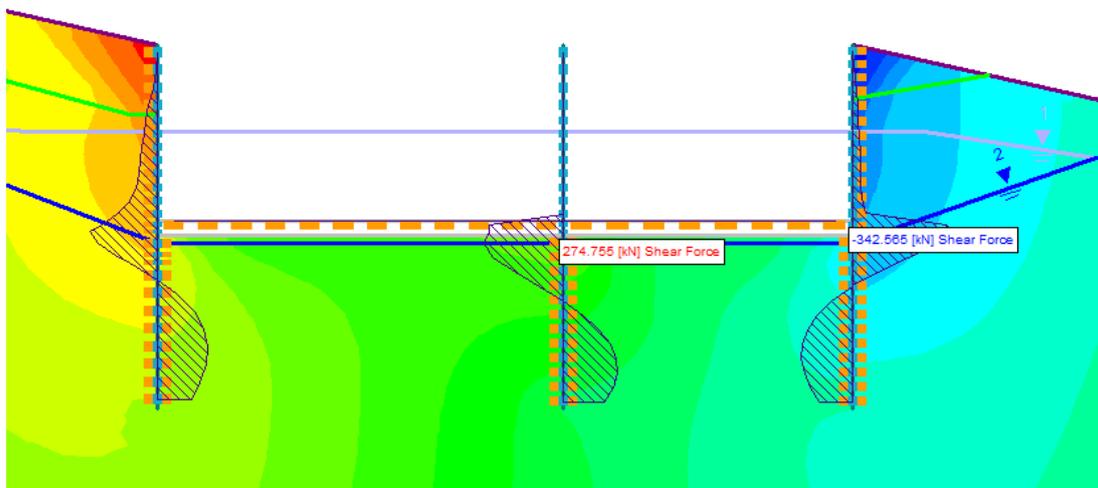
Sezione 2 – Caso critico Momento flettente



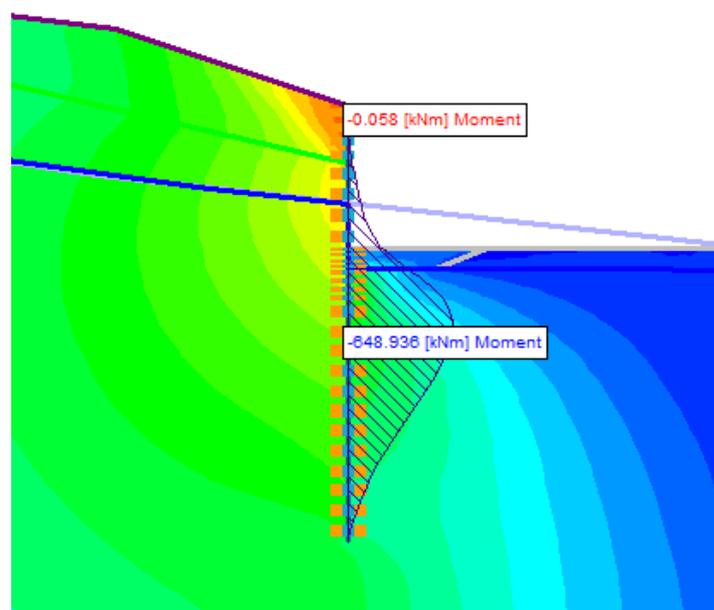
Sezione 2 – Caso critico Azione di taglio



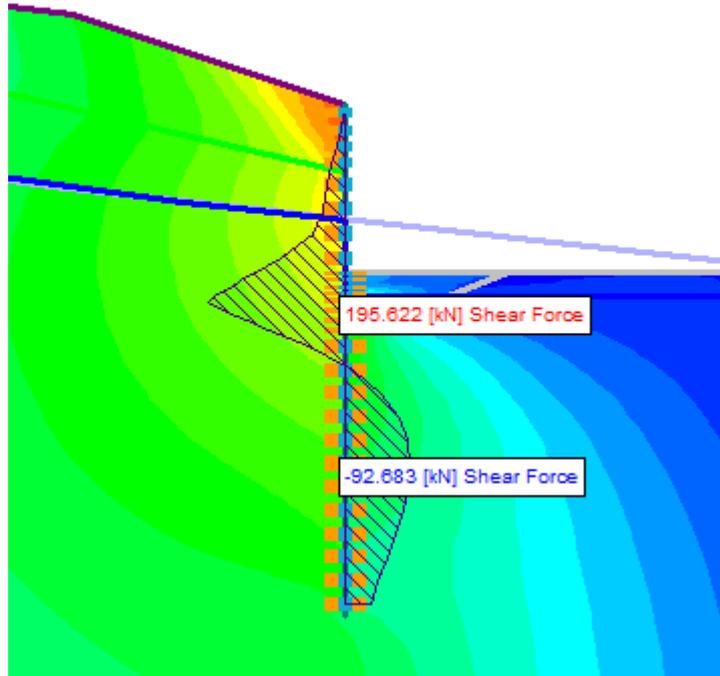
Sezione 3 – Caso critico Momento flettente



Sezione 3 – Caso critico Azione di taglio



Sezione 4 – Caso critico Momento flettente



Sezione 4 – Caso critico Azione di taglio

Di seguito si riportano le sollecitazioni massime desunte dai risultati del modello di calcolo, suddivise per elemento strutturale.

| Sezione | Struttura | COMB | SLU | | SLE | |
|---------|-----------------|------|------------|-----------|------------|-----------|
| | | | Md (kNm/m) | Vd (kN/m) | Md (kNm/m) | Nd (kN/m) |
| 1 | Diaframma 150cm | 1 | 6613 | 2243 | 5087 | 919 |
| 1a | Diaframma 150cm | 1 | 6453 | 1411 | 4964 | 919 |
| | Diaframma 100cm | 1 | 3647 | 1192 | 2805 | 469 |
| 2 | Diaframma 150cm | 1 | 5399 | 1166 | 4153 | 743 |
| 3 | Diaframma 150cm | 1 | 1216 | 446 | 935 | 413 |
| 4 | Diaframma 150cm | 1 | 844 | 255 | 649 | 375 |

Azioni massime sui diaframmi

| Sezione | COMB | CARREGGIATA OVEST | | CARREGGIATA EST | |
|---------|--------|--------------------|------------------|--------------------|------------------|
| | | Soletta di sommità | Soletta di fondo | Soletta di sommità | Soletta di fondo |
| | | N (kN) | N (kN) | N (kN) | N (kN) |
| 1 | 1 | 4652 | 4 | 1455 | 518 |
| | 2 | 5273 | 6 | 1583 | 419 |
| 1a | 1 | - | - | 1403 | - |
| | 2 | - | - | 1510 | - |
| | 1 | - | - | - | - |
| | 2 | - | - | - | - |
| 2 | 1 | 788 | 0 | 1072 | 603 |
| | 1 sism | 931 | 0 | 1155 | 391 |
| | 2 | 833 | 0 | 1158 | 555 |

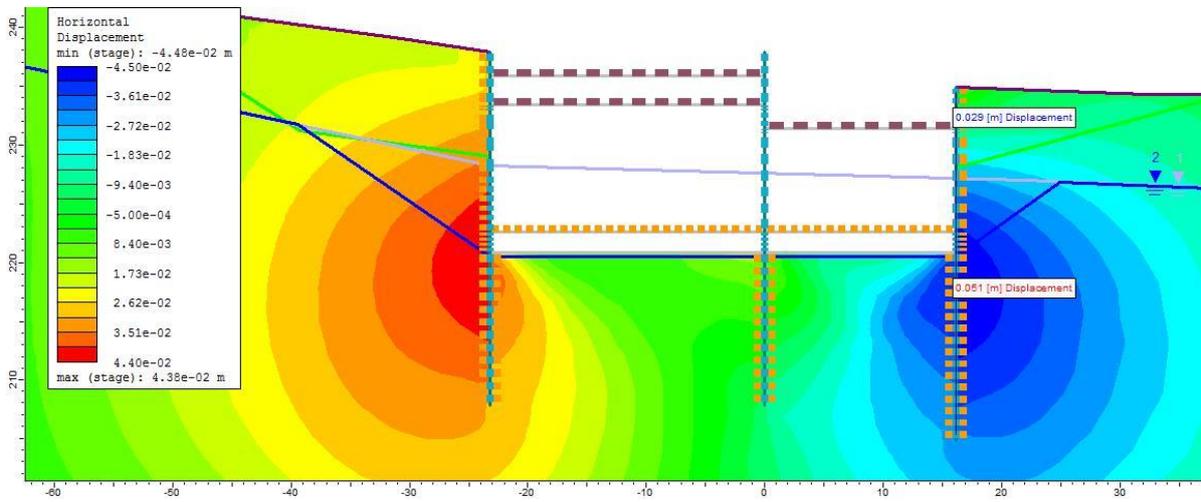
Azioni massime di compressione sulle solette di contrasto

9.3 Calcolo degli spostamenti

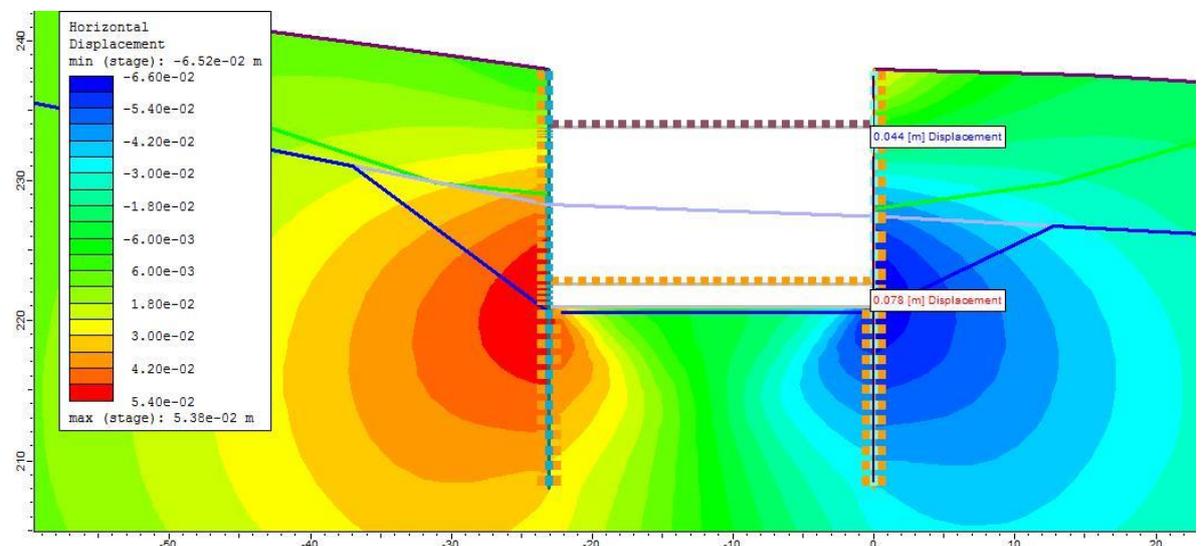
La tabella seguente riassume gli spostamenti ottenuti nei singoli casi analizzati; successivamente si riportano i diagrammi degli spostamenti ottenuti dai modelli in combinazione 1 in fase statica.

| Sezione | Struttura | COMB | spost (cm) |
|---------|-----------------|------|------------|
| 1 | Diaframma 150cm | 1 | 5,1 |

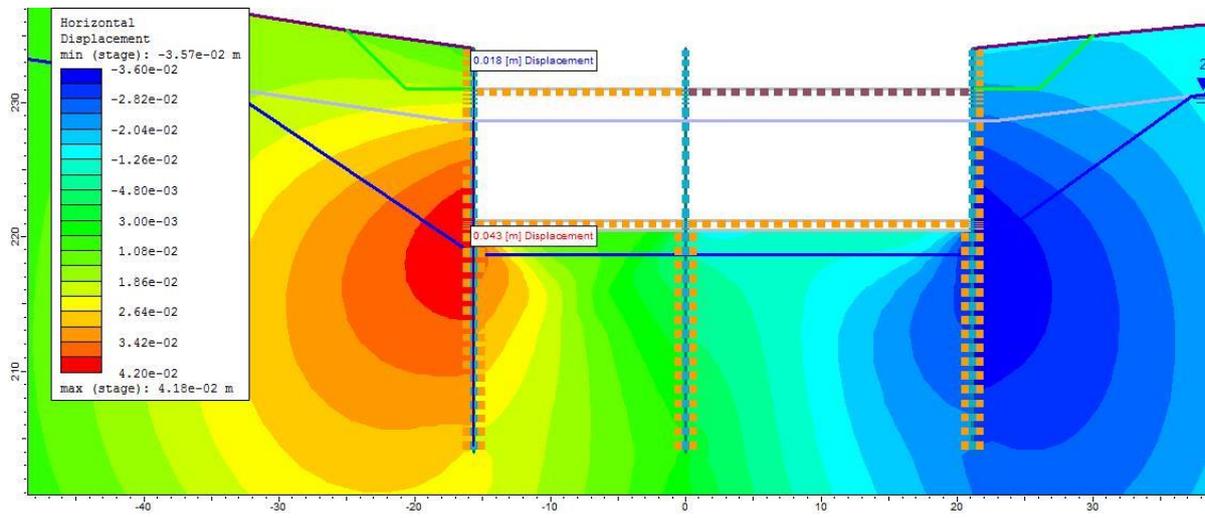
| | | | |
|----|-----------------|--------|-----|
| | | 2 | - |
| 1a | Diaframma 150cm | 1 | 6,8 |
| | | 2 | - |
| | Diaframma 100cm | 1 | 7,8 |
| | | 2 | - |
| 2 | Diaframma 150cm | 1 | 7,2 |
| | | 1 sism | 7,7 |
| | | 2 | - |
| 3 | Diaframma 150cm | 1 | 5 |
| | | 1 sism | 6,2 |
| | | 2 | - |
| 4 | Diaframma 150cm | 1 | 2,3 |
| | | 1 sism | 3 |
| | | 2 | - |



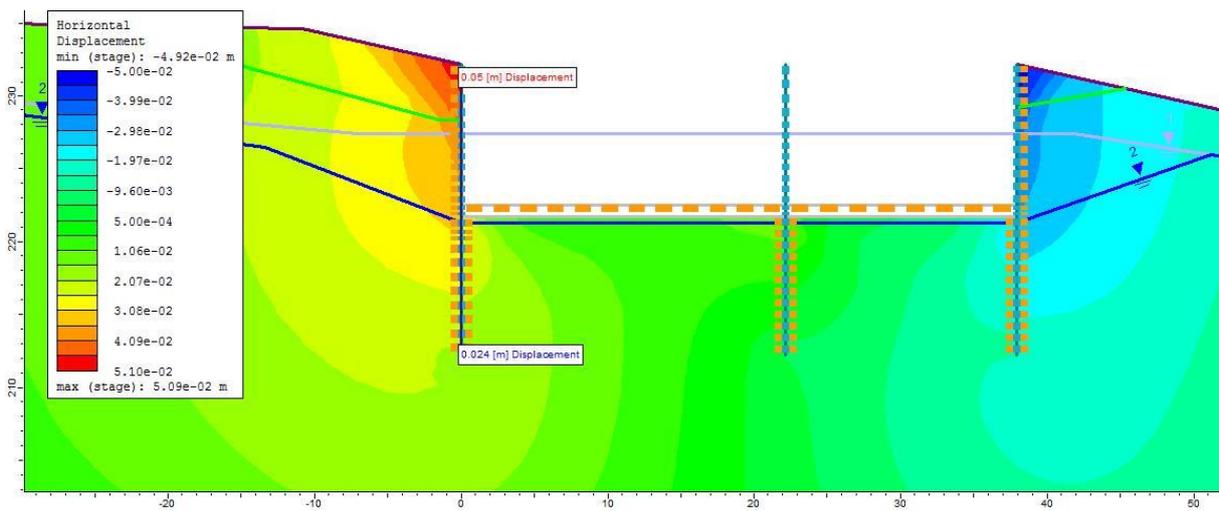
Sezione 1 – Spostamenti Fase statica



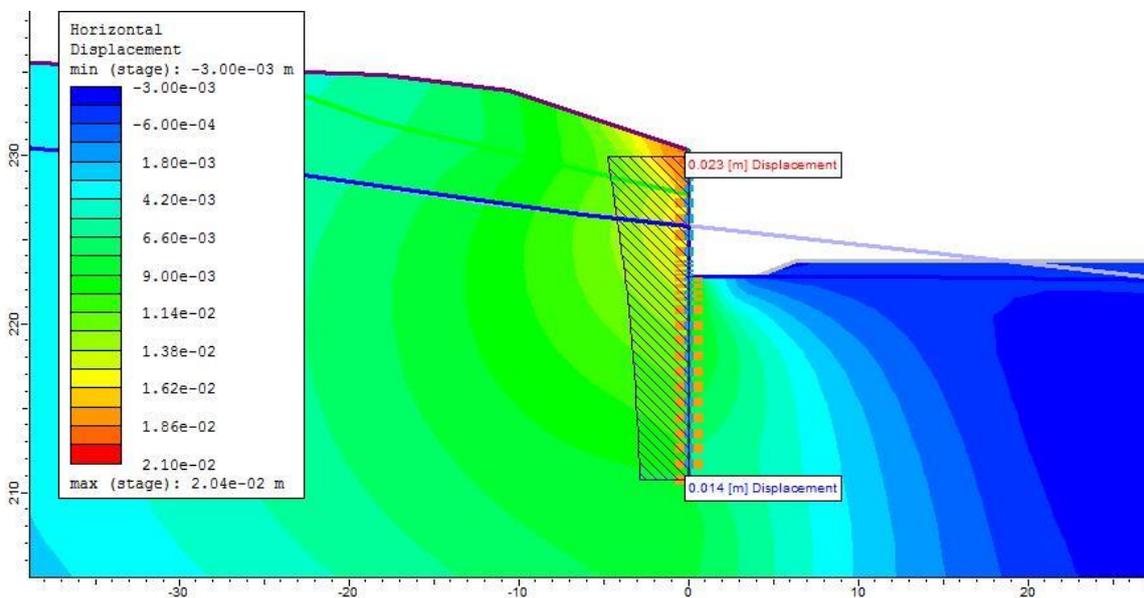
Sezione 1a – Spostamenti Fase statica



Sezione 2 – Spostamenti Fase statica



Sezione 3 – Spostamenti Fase statica



Sezione 4 – Spostamenti Fase statica

I valori massimi di spostamento sono pari a circa 7.8 cm in fase statica e in fase sismica: tali valori sono ritenuti ammissibili per l'opera in progetto e per la tipologia di terreno presente in sito, in relazione anche alle elevate altezze complessive di sostegno.

9.4 Verifiche strutturali dei diaframmi

Sezione 1 e 1a - Verifiche pressoflessione e taglio

Diaframma provvisorio 150cm - Armatura composta da doppio strato f28mm / 10 cm da entrambi i lati staffe f14mm/150mm con 2 bracci a metro (copriferro netto pari a 60 mm);

Verifica C.A. S.L.U. - File: Diaframma150cm_SEZ-1

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

Titolo: _____

N° figure elementari 1 Zoom N° strati barre 4 Zoom

| N° | b [mm] | h [mm] |
|----|--------|--------|
| 1 | 1000 | 1500 |

| N° | As [mm²] | d [mm] |
|----|----------|--------|
| 1 | 6157 | 88 |
| 2 | 6157 | 130 |
| 3 | 6157 | 1370 |
| 4 | 6157 | 1412 |

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

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord.[mm] xN 0 yN 0

N_{Ed} 900 900 kN
 M_{xEd} 6613 5087 kNm
 M_{yEd} 0 0

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

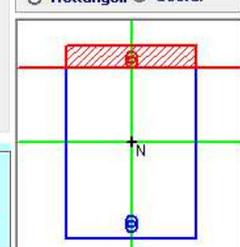
M_{xRd} 6.854 kN m
 σ_c -15.87 N/mm²
 σ_s 391.3 N/mm²
 ε_c 3.5 ‰
 ε_s 23.94 ‰
 d 1.412 mm
 x 180.1 x/d 0.1275
 δ 0.7

Tipo rottura
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

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

Tipo flessione
 Retta Deviata

N° rett. 100
 Calcola MRd Dominio M-N
 L_o 0 mm Col. modello
 Precompresso



Verifica C.A. S.L.U. - File: Diaframma150cm_SEZ-1

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

Titolo : _____

N° figure elementari 1 Zoom N° strati barre 4 Zoom

| N° | b [mm] | h [mm] |
|----|--------|--------|
| 1 | 1000 | 1500 |

| N° | As [mm²] | d [mm] |
|----|----------|--------|
| 1 | 6157 | 88 |
| 2 | 6157 | 130 |
| 3 | 6157 | 1370 |
| 4 | 6157 | 1412 |

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

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 900 900 kN
 M_{xEd} 6613 5087 kNm
 M_{yEd} 0 0

P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord.[mm] 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 _{cl} | 1,971 |

σ_c -11,4 N/mm²
 σ_s 303,6 N/mm²
 ε_s 1,518 ‰
 d 1.412 mm
 x 508,6 x/d 0,3602
 δ 0,8903

Verifica
 N° iterazioni: 4
 Precompresso

| VERIFICHE A TAGLIO SECONDO D.M. 14/01/2018 | | | |
|---|--|---|--------------------------|
| Caratteristiche dei materiali: | | | |
| Resistenza caratteristica a compressione cubica cls | R_{ck} | = | 35 N/mm ² |
| Resistenza caratteristica a compressione cilindrica cls | f_{ck} | = | 29,05 N/mm ² |
| Resistenza di calcolo a compressione del cls | f_{cd} | = | 16,46 N/mm ² |
| Resistenza di calcolo a trazione dell'acciaio | f_{yd} | = | 391,30 N/mm ² |
| Sollecitazioni di verifica (S.L.U.): | | | |
| Valore di calcolo dello sforzo di taglio agente | V_{Ed} | = | 2243,00 kN |
| Valore di calcolo della forza assiale associata a V_{Ed} | $N (V_{Ed})$ | = | 900,00 kN |
| Valore di calcolo del momento flettente associato a V_{Ed} | $M (V_{Ed})$ | = | 6613,00 kNm |
| Caratteristiche geometriche della sezione: | | | |
| Altezza utile della sezione | d | = | 1400 mm |
| Larghezza minima della sezione | b_w | = | 1000 mm |
| Armatura della sezione in zona tesa: | | | |
| Diametro ferri longitudinali | \varnothing | = | 28 mm |
| Numero tondini longitudinali utilizzati | n | = | 20 -- |
| Area totale di armatura longitudinale in zona tesa | A_{sl} | = | 12320 mm ² |
| Rapporto geometrico dell'armatura longitudinale (≤ 0.02) | ρ_l | = | 0,0088 -- |
| VERIFICA SENZA ARMATURA TRASVERSALE RESISTENTE A TAGLIO (§ 4.1.2.1.3.1) | | | |
| Fattore dipendente dall'altezza utile della sezione (≤ 2) | k | = | 1,38 -- |
| Tensione dipendente dal fattore k e dalla resistenza del cls | v_{min} | = | 0,31 N/mm ² |
| Tensione media di compressione nella sezione ($\leq 0.2 \times f_{cd}$) | σ_{cp} | = | 0,64 N/mm ² |
| Resistenza ultima a taglio minima | $V_{Rd,min}$ | = | 562,20 kN |
| Resistenza ultima a taglio ($V_{Rd} \geq V_{Rd,min}$) | V_{Rd} | = | 816,96 kN |
| VERIFICA NON SODDISFATTA: occorre procedere al dimensionamento dell'armatura trasversale resistente a taglio. | | | |
| VERIFICA CON ARMATURA TRASVERSALE RESISTENTE A TAGLIO (§ 4.1.2.1.3.2) | | | |
| Armatura aggiuntiva resistente a taglio: | | | |
| Angolo di inclinazione armatura trasv. su asse dell'elemento | α | = | 90 ° |
| Diametro ferri a taglio | \varnothing_{sw} | = | 14 mm |
| Numero dei bracci in sezione trasversale | n_{sw} | = | 2 -- |
| Passo in direzione asse elemento | s | = | 150 mm |
| Area totale di armatura a taglio | A_{sw} | = | 307,88 mm ² |
| Fattori di resistenza a compressione: | | | |
| Angolo di inclinazione dei puntoni di cls | θ | = | 17,85 ° |
| Resistenza a compressione ridotta del cls d'anima | f'_{cd} | = | 8,23 N/mm ² |
| Coefficiente maggiorativo per membrature compresse | α_c | = | 1,04 -- |
| Si controlla che θ sia minore di 45° | Controllo (θ) | = | OK -- |
| Se θ non rispetta il limite inferiore di 21,8°, si adotta $\theta=21,8^\circ$ | $\theta_{adottato}$ | = | 21,80 N/mm ² |
| Resistenza di calcolo a "taglio trazione" dell'armatura | V_{Rsd} | = | 2530,12 kN |
| Resistenza di calcolo a "taglio compressione" del cls | V_{Rcd} | = | 5387,93 kN |
| Resistenza ultima a taglio | V_{Rd} | = | 2530,12 kN |
| VERIFICA SODDISFATTA. | | | |

Sezione 1a - Verifiche pressoflessione Diaframma sp. 100cm

Diaframma provvisorio 100cm - Armatura composta da doppio strato f28mm / 10 cm da entrambi i lati staffe f14mm/150mm a 2 bracci a metro (copriferro netto pari a 60 mm);

Verifica C.A. S.L.U. - File: Diaframma100cm_SEZ-1a

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

Titolo : _____

N° figure elementari 1 Zoom N° strati barre 4 Zoom

| N° | b [mm] | h [mm] |
|----|--------|--------|
| 1 | 1000 | 1000 |

| N° | As [mm²] | d [mm] |
|----|----------|--------|
| 1 | 6157 | 88 |
| 2 | 6157 | 130 |
| 3 | 6157 | 870 |
| 4 | 6157 | 912 |

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

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

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 460 460 kN
 M_{xEd} 3647 2805 kNm
 M_{yEd} 0 0

P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord.[mm] xN 0 yN 0

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 -12,43 N/mm²
 σ_s 285,5 N/mm²
 E_s 1,427 ‰
 d 912 mm
 x 360,3 x/d 0,3951
 δ 0,9339

Verifica
 N° iterazioni: 3
 Precompresso

Verifica C.A. S.L.U. - File: Diaframma100cm_SEZ-1a

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

Titolo : _____

N° figure elementari 1 Zoom N° strati barre 4 Zoom

| N° | b [mm] | h [mm] |
|----|--------|--------|
| 1 | 1000 | 1000 |

| N° | As [mm²] | d [mm] |
|----|----------|--------|
| 1 | 6157 | 88 |
| 2 | 6157 | 130 |
| 3 | 6157 | 870 |
| 4 | 6157 | 912 |

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

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

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 460 460 kN
 M_{xEd} 3647 2805 kNm
 M_{yEd} 0 0

P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord.[mm] 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 ‰ σ_{c,adm} 11
 σ_{s,adm} 255 N/mm² τ_{co} 0,6667
 τ_{c1} 1,971

M_{xRd} 4,054 kN m
 σ_c -15,87 N/mm²
 σ_s 391,3 N/mm²
 E_c 3,5 ‰
 E_s 15,28 ‰
 d 912 mm
 x 170 x/d 0,1864
 δ 0,7

Tipo flessione
 Retta Deviata
 N° rett. 100
 Calcola MRd Dominio M-N
 L₀ 0 mm Col. modello
 Precompresso

| VERIFICHE A TAGLIO SECONDO D.M. 14/01/2018 | | | |
|---|--|---|---------------------------------|
| Caratteristiche dei materiali: | | | |
| Resistenza caratteristica a compressione cubica cls | R_{ck} | = | 35 N/mm ² |
| Resistenza caratteristica a compressione cilindrica cls | f_{ck} | = | 29,05 N/mm ² |
| Resistenza di calcolo a compressione del cls | f_{cd} | = | 16,46 N/mm ² |
| Resistenza di calcolo a trazione dell'acciaio | f_{yd} | = | 391,30 N/mm ² |
| Sollecitazioni di verifica (S.L.U.): | | | |
| Valore di calcolo dello sforzo di taglio agente | V_{Ed} | = | 1192,00 kN |
| Valore di calcolo della forza assiale associata a V_{Ed} | $N(V_{Ed})$ | = | 460,00 kN |
| Valore di calcolo del momento flettente associato a V_{Ed} | $M(V_{Ed})$ | = | 3647,00 kNm |
| Caratteristiche geometriche della sezione: | | | |
| Altezza utile della sezione | d | = | 900 mm |
| Larghezza minima della sezione | b_w | = | 1000 mm |
| Armatura della sezione in zona tesa: | | | |
| Diametro ferri longitudinali | \varnothing | = | 28 mm |
| Numero tondini longitudinali utilizzati | n | = | 20 -- |
| Area totale di armatura longitudinale in zona tesa | A_{sl} | = | 12320 mm ² |
| Rapporto geometrico dell'armatura longitudinale (≤ 0.02) | ρ_l | = | 0,0137 -- |
| VERIFICA SENZA ARMATURA TRASVERSALE RESISTENTE A TAGLIO (§ 4.1.2.1.3.1) | | | |
| Fattore dipendente dall'altezza utile della sezione (≤ 2) | k | = | 1,47 -- |
| Tensione dipendente dal fattore k e dalla resistenza del cls | v_{min} | = | 0,34 N/mm ² |
| Tensione media di compressione nella sezione ($\leq 0.2 \times f_{cd}$) | σ_{cp} | = | 0,51 N/mm ² |
| Resistenza ultima a taglio minima | $V_{Rd,min}$ | = | 372,03 kN |
| Resistenza ultima a taglio ($V_{Rd} \geq V_{Rd,min}$) | V_{Rd} | = | 611,41 kN |
| VERIFICA NON SODDISFATTA: occorre procedere al dimensionamento dell'armatura trasversale resistente a taglio. | | | |
| VERIFICA CON ARMATURA TRASVERSALE RESISTENTE A TAGLIO (§ 4.1.2.1.3.2) | | | |
| Armatura aggiuntiva resistente a taglio: | | | |
| Angolo di inclinazione armatura trasv. su asse dell'elemento | α | = | 90 ° |
| Diametro ferri a taglio | \varnothing_{sw} | = | 14 mm |
| Numero dei bracci in sezione trasversale | n_{sw} | = | 2 -- |
| Passo in direzione asse elemento | s | = | 150 mm |
| Area totale di armatura a taglio | A_{sw} | = | 307,88 mm ² |
| Fattori di resistenza a compressione: | | | |
| Angolo di inclinazione dei puntoni di cls | θ | = | 17,92 ° |
| Resistenza a compressione ridotta del cls d'anima | f'_{cd} | = | 8,23 N/mm ² |
| Coefficiente maggiorativo per membrane compresse | α_c | = | 1,03 -- |
| Si controlla che θ sia minore di 45° | Controllo (θ) | = | OK -- |
| Se θ non rispetta il limite inferiore di 21,8°, si adotta $\theta=21,8^\circ$ | $\theta_{adottato}$ | = | 21,80 N/mm ² |
| Resistenza di calcolo a "taglio trazione" dell'armatura | V_{Rsd} | = | 1626,50 kN |
| Resistenza di calcolo a "taglio compressione" del cls | V_{Rcd} | = | 3436,99 kN |
| Resistenza ultima a taglio | V_{Rd} | = | 1626,50 kN |
| VERIFICA SODDISFATTA. | | | |

Sezione 2 - Verifiche pressoflessione e taglio

Diaframma definitivo 150cm - Armatura composta da 3+3 strati f28mm / 10 cm i primi 2 strati esterni e passo 20 cm quello più interno, con staffe f14mm/200mm con 2 bracci a metro (copriferro netto pari a 60 mm);

Verifica C.A. S.L.U. - File: Diaframma150cm_SEZ-2

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

Titolo: _____

N° figure elementari 1 Zoom N° strati barre 6 Zoom

| N° | b [mm] | h [mm] |
|----|--------|--------|
| 1 | 1000 | 1500 |

| N° | As [mm²] | d [mm] |
|----|----------|--------|
| 2 | 6157 | 130 |
| 3 | 6157 | 1370 |
| 4 | 6157 | 1412 |
| 5 | 3078 | 172 |
| 6 | 3078 | 1328 |

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 740 740 kN
 M_{xEd} 5399 4153 kNm
 M_{yEd} 0 0

P.to applicazione N: Centro Baricentro cls
 Coord.[mm] xN 0 yN 0

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

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

Tipo flessione: Retta Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L₀ 0 mm Col. modello

Precompresso

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} 8.187 kN m
 σ_c -15,87 N/mm²
 σ_s 391,3 N/mm²
 ϵ_s 3,5 ‰
 ϵ_s 21,3 ‰
 d 1.412 mm
 x 199,3 x/d 0,1411
 δ 0,7

Verifica C.A. S.L.U. - File: Diaframma150cm_SEZ-2

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

Titolo: _____

N° figure elementari 1 Zoom N° strati barre 6 Zoom

| N° | b [mm] | h [mm] |
|----|--------|--------|
| 1 | 1000 | 1500 |

| N° | As [mm²] | d [mm] |
|----|----------|--------|
| 2 | 6157 | 130 |
| 3 | 6157 | 1370 |
| 4 | 6157 | 1412 |
| 5 | 3078 | 172 |
| 6 | 3078 | 1328 |

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 740 740 kN
 M_{xEd} 5399 4153 kNm
 M_{yEd} 0 0

P.to applicazione N: Centro Baricentro cls
 Coord.[mm] xN 0 yN 0

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

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

Tipo flessione: Retta Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L₀ 0 mm Col. modello

Precompresso

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} 8.187 kN m
 σ_c -8,423 N/mm²
 σ_s 204,9 N/mm²
 ϵ_s 1,025 ‰
 ϵ_s 21,3 ‰
 d 1.412 mm
 x 538,5 x/d 0,3814
 δ 0,9167

Verifica

N° iterazioni: 4

| VERIFICHE A TAGLIO SECONDO D.M. 14/01/2018 | | | |
|---|--|---|---------------------------------|
| Caratteristiche dei materiali: | | | |
| Resistenza caratteristica a compressione cubica cls | R_{ck} | = | 35 N/mm ² |
| Resistenza caratteristica a compressione cilindrica cls | f_{ck} | = | 29,05 N/mm ² |
| Resistenza di calcolo a compressione del cls | f_{cd} | = | 16,46 N/mm ² |
| Resistenza di calcolo a trazione dell'acciaio | f_{yd} | = | 391,30 N/mm ² |
| Sollecitazioni di verifica (S.L.U.): | | | |
| Valore di calcolo dello sforzo di taglio agente | V_{Ed} | = | 1166,00 kN |
| Valore di calcolo della forza assiale associata a V_{Ed} | $N(V_{Ed})$ | = | 740,00 kN |
| Valore di calcolo del momento flettente associato a V_{Ed} | $M(V_{Ed})$ | = | 5399,00 kNm |
| Caratteristiche geometriche della sezione: | | | |
| Altezza utile della sezione | d | = | 1400 mm |
| Larghezza minima della sezione | b_w | = | 1000 mm |
| Armatura della sezione in zona tesa: | | | |
| Diametro ferri longitudinali | \emptyset | = | 28 mm |
| Numero tondini longitudinali utilizzati | n | = | 25 -- |
| Area totale di armatura longitudinale in zona tesa | A_{sl} | = | 15400 mm ² |
| Rapporto geometrico dell'armatura longitudinale (≤ 0.02) | ρ_l | = | 0,0110 -- |
| VERIFICA SENZA ARMATURA TRASVERSALE RESISTENTE A TAGLIO (§ 4.1.2.1.3.1) | | | |
| Fattore dipendente dall'altezza utile della sezione (≤ 2) | k | = | 1,38 -- |
| Tensione dipendente dal fattore k e dalla resistenza del cls | v_{min} | = | 0,31 N/mm ² |
| Tensione media di compressione nella sezione ($\leq 0.2 \times f_{cd}$) | σ_{cp} | = | 0,53 N/mm ² |
| Resistenza ultima a taglio minima | $V_{Rd,min}$ | = | 538,20 kN |
| Resistenza ultima a taglio ($V_{Rd} \geq V_{Rd,min}$) | V_{Rd} | = | 845,62 kN |
| VERIFICA NON SODDISFATTA: occorre procedere al dimensionamento dell'armatura trasversale resistente a taglio. | | | |
| VERIFICA CON ARMATURA TRASVERSALE RESISTENTE A TAGLIO (§ 4.1.2.1.3.2) | | | |
| Armatura aggiuntiva resistente a taglio: | | | |
| Angolo di inclinazione armatura trasv. su asse dell'elemento | α | = | 90 ° |
| Diametro ferri a taglio | \emptyset_{sw} | = | 14 mm |
| Numero dei bracci in sezione trasversale | n_{sw} | = | 2 -- |
| Passo in direzione asse elemento | s | = | 200 mm |
| Area totale di armatura a taglio | A_{sw} | = | 307,88 mm ² |
| Fattori di resistenza a compressione: | | | |
| Angolo di inclinazione dei puntoni di cls | θ | = | 15,44 ° |
| Resistenza a compressione ridotta del cls d'anima | f'_{cd} | = | 8,23 N/mm ² |
| Coefficiente maggiorativo per membrature compresse | α_c | = | 1,03 -- |
| Si controlla che θ sia minore di 45° | Controllo (θ) | | OK -- |
| Se θ non rispetta il limite inferiore di 21,8°, si adotta $\theta=21,8^\circ$ | $\theta_{adottato}$ | | 21,80 N/mm ² |
| Resistenza di calcolo a "taglio trazione" dell'armatura | V_{Rsd} | = | 1897,59 kN |
| Resistenza di calcolo a "taglio compressione" del cls | V_{Rcd} | = | 5351,93 kN |
| Resistenza ultima a taglio | V_{Rd} | = | 1897,59 kN |
| VERIFICA SODDISFATTA. | | | |

Sezione 3-4 - Verifiche pressoflessione e taglio

Diaframma definitivo 150cm - Armatura composta da singolo strato f28mm / 10 cm da entrambi i

lati staffe f14mm/200mm con 2 bracci a metro (copriferro netto pari a 60 mm);

Verifica C.A. S.L.U. - File: Diaframma150cm_SEZ-3

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

Titolo: _____

N° figure elementari Zoom N° strati barre Zoom

| N° | b [mm] | h [mm] |
|----|--------|--------|
| 1 | 1000 | 1500 |

| N° | As [mm²] | d [mm] |
|----|----------|--------|
| 1 | 6157 | 88 |
| 2 | 6157 | 1412 |

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

Diagramma:

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 400 kN
 M_{xEd} 936 kNm
 M_{yEd} 0

P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord.[mm] 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 Dominio M-N
 L₀ mm Col. modello

Precompresso

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 |

M_{xRd} kN m

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

Verifica C.A. S.L.U. - File: Diaframma150cm_SEZ-3

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

Titolo : _____

N° figure elementari Zoom N° strati barre Zoom

| N° | b [mm] | h [mm] |
|----|--------|--------|
| 1 | 1000 | 1500 |

| N° | As [mm²] | d [mm] |
|----|----------|--------|
| 1 | 6157 | 88 |
| 2 | 6157 | 1412 |

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

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

| | | |
|------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| N _{Ed} | <input type="text" value="400"/> | <input type="text" value="400"/> kN |
| M _{xEd} | <input type="text" value="1217"/> | <input type="text" value="936"/> kNm |
| M _{yEd} | <input type="text" value="0"/> | <input type="text" value="0"/> |

P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord. [mm] 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 mm
 x x/d
 δ

Verifica

N° iterazioni:

Precompresso

| VERIFICHE A TAGLIO SECONDO D.M. 14/01/2018 | | | |
|--|---------------|---|---------------------------------|
| Caratteristiche dei materiali: | | | |
| Resistenza caratteristica a compressione cubica cls | R_{ck} | = | 35 N/mm ² |
| Resistenza caratteristica a compressione cilindrica cls | f_{ck} | = | 29,05 N/mm ² |
| Resistenza di calcolo a compressione del cls | f_{cd} | = | 16,46 N/mm ² |
| Resistenza di calcolo a trazione dell'acciaio | f_{yd} | = | 391,30 N/mm ² |
| Sollecitazioni di verifica (S.L.U.): | | | |
| Valore di calcolo dello sforzo di taglio agente | V_{Ed} | = | 446,00 kN |
| Valore di calcolo della forza assiale associata a V_{Ed} | $N(V_{Ed})$ | = | 400,00 kN |
| Valore di calcolo del momento flettente associato a V_{Ed} | $M(V_{Ed})$ | = | 1217,00 kNm |
| Caratteristiche geometriche della sezione: | | | |
| Altezza utile della sezione | d | = | 1400 mm |
| Larghezza minima della sezione | b_w | = | 1000 mm |
| Armatura della sezione in zona tesa: | | | |
| Diametro ferri longitudinali | \emptyset | = | 28 mm |
| Numero tondini longitudinali utilizzati | n | = | 10 -- |
| Area totale di armatura longitudinale in zona tesa | A_{sI} | = | 6160 mm ² |
| Rapporto geometrico dell'armatura longitudinale (≤ 0.02) | ρ_I | = | 0,0044 -- |
| VERIFICA SENZA ARMATURA TRASVERSALE RESISTENTE A TAGLIO (§ 4.1.2.1.3.1) | | | |
| Fattore dipendente dall'altezza utile della sezione (≤ 2) | k | = | 1,38 -- |
| Tensione dipendente dal fattore k e dalla resistenza del cls | v_{min} | = | 0,31 N/mm ² |
| Tensione media di compressione nella sezione ($\leq 0.2 \times f_{cd}$) | σ_{cp} | = | 0,29 N/mm ² |
| Resistenza ultima a taglio minima | $V_{Rd,min}$ | = | 487,20 kN |
| Resistenza ultima a taglio ($V_{Rd} \geq V_{Rd,min}$) | V_{Rd} | = | 601,27 kN |
| VERIFICA SODDISFATTA: <i>non occorre armatura trasversale resistente a taglio.</i> | | | |

9.5 Verifiche strutturali Solette di contrasto e muri in c.a.

Solette di contrasto

Nel presente paragrafo si riporta il dimensionamento della struttura di copertura della galleria, soggetta alle spinte della paratia laterale, al peso proprio, al peso del terreno sovrastante e al carico accidentale agente, secondo le seguenti combinazioni:

- combinazione fondamentale (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{K1}$$

- combinazione sismica (SLV):

$$E + G_1 + G_2$$

- combinazione SLE rara:

$$G_1 + G_2 + Q_{K1}$$

- combinazione SLE Frequente:

$$G_1 + G_2 + \psi_{11} \cdot Q_{K1}$$

- combinazione SLE Quasi Permanente:

$$G_1 + G_2 + \psi_{21} \cdot Q_{K1}$$

Per il caso in questione si considerano i seguenti coefficienti:

$$\gamma_{G1} = 1.1$$

$$\gamma_{G2} = 1.5$$

$$\gamma_{Q1} = 1.5$$

$$\psi_{11} = 0.75$$

$$\psi_{21} = 0.0$$

A favore di sicurezza la verifica verrà effettuata sia in presenza che in assenza della componente di compressione derivante dalla spinta dei diaframma laterali, e con riferimento alle luci di calcolo maggiori.

Sezione scatolare est

La soletta oggetto del presente dimensionamento viene vincolata ai cordoli di sommità dei diaframmi esistenti.

Si dimensiona una soletta in c.a. di spessore 1.30 m, semplicemente appoggiata su luce di calcolo $L_c = 15.50$ m, soggetta al peso proprio, al peso del terreno sovrastante, considerato di altezza $h_t = 2.00$ m, e al carico accidentale $q = 10$ KN/m².

Si ha quindi:

$$pp = 25 \text{ KN/m}^3 \cdot 1.30 \text{ m} = 32.5 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{peso terreno} = 20 \text{ KN/m}^3 \cdot 2.00 \text{ m} = 40 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{sovraccarico accidentale} = 10 \text{ KN/m}^2$$

Relazione di calcolo opere di sostegno

Con riferimento alla profondità di un metro, si hanno le seguenti azioni:

| | M _{mezzzeria} KNm/m | T _{app} KN/m | N _{dif} KN/m |
|-------|------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| SLU | 3326 | 858 | 1394 |
| SLEr | 2478 | | 1072 |
| SLEf | 2403 | | 1072 |
| SLEqp | 2177 | | 1072 |

La combinazione sismica non risulta significativa ai fini del dimensionamento della struttura.

All'intradosso, a presidio dell'azione flettente si posizionano due strati di armatura Ø26/10; all'estradosso uno strato di Ø26/10. A presidio dell'azione di taglio si posizionano staffe Ø16/25. Si riportano qui di seguito le verifiche strutturali

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: Copertura h130_

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

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

| | | |
|--|---|-----------------------------|
| CALCESTRUZZO - | Classe: | C32/40 |
| | Resis. compr. di calcolo fcd: | 18.130 MPa |
| | Resis. compr. ridotta fcd': | 9.065 MPa |
| | Def.unit. max resistenza ec2: | 0.0020 |
| | Def.unit. ultima ecu: | 0.0035 |
| | Diagramma tensione-deformaz.: | Parabola-Rettangolo |
| | Modulo Elastico Normale Ec: | 33346.0 MPa |
| | Resis. media a trazione fctm: | 3.000 MPa |
| | Coeff. Omogen. S.L.E.: | 15.00 |
| | Coeff. Omogen. S.L.E.: | 15.00 |
| | Sc limite S.L.E. comb. Frequenti: | 192.00 daN/cm ² |
| | Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti: | 0.400 mm |
| | Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti: | 0.00 Mpa |
| Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Q.Permanenti: | 0.300 mm | |
| ACCIAIO - | Tipo: | B450C |
| | Resist. caratt. snervam. fyk: | 450.00 MPa |
| | Resist. caratt. rottura ftk: | 450.00 MPa |
| | Resist. snerv. di calcolo fyd: | 391.30 MPa |
| | Resist. ultima di calcolo ftd: | 391.30 MPa |
| | Deform. ultima di calcolo Epu: | 0.068 |
| | Modulo Elastico Ef | 2000000 daN/cm ² |
| | Diagramma tensione-deformaz.: | Bilineare finito |
| | Coeff. Aderenza istantaneo β1*β2 : | 1.00 |
| | Coeff. Aderenza differito β1*β2 : | 0.50 |
| Sf limite S.L.E. Comb. Rare: | 360.00 MPa | |

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Poligonale

Relazione di calcolo opere di sostegno

43

RTP di progettazione:

Mandataria:

Mandanti:



Classe Conglomerato: C32/40

| N°vertice: | X [cm] | Y [cm] |
|------------|--------|--------|
| 1 | -50.0 | 0.0 |
| 2 | -50.0 | 130.0 |
| 3 | 50.0 | 130.0 |
| 4 | 50.0 | 0.0 |

DATI BARRE ISOLATE

| N°Barra | X [cm] | Y [cm] | DiamØ[mm] |
|---------|--------|--------|-----------|
| 1 | -42.0 | 8.0 | 26 |
| 2 | 42.0 | 8.0 | 26 |
| 3 | -42.0 | 122.0 | 26 |
| 4 | 42.0 | 122.0 | 26 |
| 5 | -42.0 | 15.0 | 26 |
| 6 | 42.0 | 15.0 | 26 |

DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre
 N°Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione
 N°Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione
 N°Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione
 Ø Diametro in mm delle barre della generazione

| N°Gen. | N°Barra Ini. | N°Barra Fin. | N°Barre | Ø |
|--------|--------------|--------------|---------|----|
| 1 | 1 | 2 | 8 | 26 |
| 2 | 3 | 4 | 8 | 26 |
| 3 | 5 | 6 | 8 | 26 |

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

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

| N°Comb. | N | Mx | My | Vy | Vx |
|---------|---------|---------|------|--------|------|
| 1 | 0.00 | 3326.00 | 0.00 | 858.00 | 0.00 |
| 2 | 1394.00 | 0.10 | 0.00 | 858.00 | 0.00 |

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

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

| N°Comb. | N | Mx | My |
|---------|---------|---------|------|
| 1 | 0.00 | 2478.00 | 0.00 |
| 2 | 1072.00 | 2478.00 | 0.00 |

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

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

My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

| N°Comb. | N | Mx | My |
|---------|---------|-------------------|-------------|
| 1 | 0.00 | 2403.00 (1219.53) | 0.00 (0.00) |
| 2 | 1072.00 | 2403.00 (1364.58) | 0.00 (0.00) |

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

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

| N°Comb. | N | Mx | My |
|---------|---------|-------------------|-------------|
| 1 | 0.00 | 2177.00 (1219.53) | 0.00 (0.00) |
| 2 | 1072.00 | 2177.00 (1381.64) | 0.00 (0.00) |

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

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

| N°Comb | Ver | N | Mx | My | N ult | Mx ult | My ult | Mis.Sic. | As Tesa |
|--------|-----|---------|---------|------|---------|---------|--------|----------|-------------|
| 1 | S | 0.00 | 3326.00 | 0.00 | 0.00 | 4624.39 | 0.00 | 1.390 | 106.2(21.8) |
| 2 | S | 1394.00 | 0.10 | 0.00 | 1394.06 | 5322.04 | 0.00 | 110.304 | ----- |

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

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

| N°Comb | ec max | ec 3/7 | Xc max | Yc max | es min | Xs min | Ys min | es max | Xs max | Ys max |
|--------|---------|----------|--------|--------|---------|--------|--------|----------|--------|--------|
| 1 | 0.00350 | -0.00884 | -50.0 | 130.0 | 0.00173 | -42.0 | 122.0 | -0.02352 | -42.0 | 8.0 |
| 2 | 0.00350 | -0.00474 | -50.0 | 130.0 | 0.00232 | 42.0 | 122.0 | -0.01455 | -42.0 | 8.0 |

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

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

| N°Comb | a | b | c | x/d | C.Rid. |
|--------|---|---|---|-----|--------|
| | | | | | |

| | | | | | |
|---|-------------|-------------|--------------|-------|-------|
| 1 | 0.000000000 | 0.000221480 | -0.025292383 | 0.130 | 0.700 |
| 2 | 0.000000000 | 0.000147949 | -0.015733421 | ---- | ---- |

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - VERIFICHE A TAGLIO

| | |
|-------|--|
| Ver | S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata |
| Vsdu | Taglio di progetto [kN] = proiezione di V_x e V_y sulla normale all'asse neutro |
| Vcd | Taglio resistente ultimo [kN] lato conglomerato compresso [(4.1.19) NTC] |
| Vvd | Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC] |
| Dmed | Altezza utile media pesata [cm] valutata lungo strisce ortog. all'asse neutro. Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso. I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce. |
| bw | Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro. E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed. |
| Teta | Angolo [gradi sessadec.] di inclinazione dei puntoni di conglomerato |
| Acw | Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione |
| Ast | Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm ² /m] |
| A.Eff | Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm ² /m] Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature. L'area della legatura è ridotta col fattore L/d_{max} con L =lunghezza legatura proiettata sulla direzione del taglio e d_{max} = massima altezza utile nella direzione del taglio. |

| N°Comb | Ver | Vsdu | Vcd | Vvd | Dmed | bw | Teta | Acw | Ast | A.Eff |
|--------|-----|--------|---------|---------|-------|-------|--------|-------|-----|-----------|
| 1 | S | 858.00 | 3544.45 | 1791.39 | 126.0 | 100.0 | 21.80° | 1.000 | 7.7 | 16.1(0.0) |
| 2 | S | 858.00 | 3754.08 | 1791.39 | 126.0 | 100.0 | 21.80° | 1.059 | 7.7 | 16.1(0.0) |

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

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

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. | D barre | Beta12 |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|
| 1 | S | 8.37 | -50.0 | 130.0 | -230.8 | 32.7 | 8.0 | 2600 | 106.2 | 7.0 | 1.00 |
| 2 | S | 9.09 | 50.0 | 130.0 | -186.4 | 32.7 | 8.0 | 2600 | 106.2 | 7.0 | 1.00 |

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. | D barre | Beta12 |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|
| 1 | S | 8.12 | -50.0 | 130.0 | -223.8 | 32.7 | 8.0 | 2600 | 106.2 | 7.0 | 0.50 |
| 2 | S | 8.83 | -50.0 | 130.0 | -179.5 | 32.7 | 8.0 | 2600 | 106.2 | 7.0 | 0.50 |

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§B.6.6 DM96]

| | |
|----------|---|
| Ver. | La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a f_{ctm} Esito della verifica |
| S1 | Massima tensione [Mpa] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione non fessurata |
| S2 | Minima tensione [Mpa] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione fessurata |
| k2 | = 0.4 per barre ad aderenza migliorata |
| k3 | = 0.125 per flessione e presso-flessione; $= (e1 + e2) / (2 \cdot e1)$ per trazione eccentrica |
| Ø | Diametro [mm] medio delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff |
| Cf | Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa |
| Psi | $= 1 - Beta12 \cdot (Ssr/Ss)^2 = 1 - Beta12 \cdot (f_{ctm}/S2)^2 = 1 - Beta12 \cdot (M_{fess}/M)^2$ [B.6.6 DM96] |
| e sm | Deformazione unitaria media tra le fessure [4.3.1.7.1.3 DM96]. Il valore limite = $0.4 \cdot Ss/Es$ è tra parentesi |
| srm | Distanza media tra le fessure [mm] |
| wk | Valore caratteristico [mm] dell'apertura fessure = $1.7 \cdot e \cdot s_m \cdot s_{rm}$. Valore limite tra parentesi |
| MX fess. | Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm] |
| MY fess. | Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm] |

| Comb. | Ver | S1 | S2 | k3 | Ø | Cf | Psi | e sm | srm | wk | Mx fess | My fess |
|-------|-----|------|----|-------|----|------|-------|-------------------|-----|--------------|---------|---------|
| 1 | S | -5.9 | 0 | 0.125 | 26 | 67.0 | 0.871 | 0.00097 (0.00045) | 180 | 0.298 (0.40) | 1219.53 | 0.00 |

Relazione di calcolo opere di sostegno

46

RTP di progettazione:

Mandataria:

Mandanti:



2 S -5.3 0 0.125 26 67.0 0.839 0.00075 (0.00036) 180 0.230 (0.40) 1364.58 0.00

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

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. | D barre | Beta12 |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|
| 1 | S | 7.35 | -50.0 | 130.0 | -202.8 | -4.7 | 8.0 | 2600 | 106.2 | 7.0 | 0.50 |
| 2 | S | 8.06 | -50.0 | 130.0 | -158.6 | 32.7 | 8.0 | 2600 | 106.2 | 7.0 | 0.50 |

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§B.6.6 DM96]

| Comb. | Ver | S1 | S2 | k3 | Ø | Cf | Psi | e sm | srm | wk | Mx fess | My fess |
|-------|-----|------|----|-------|----|------|-------------------------|------|--------------|---------|---------|---------|
| 1 | S | -5.4 | 0 | 0.125 | 26 | 67.0 | 0.843 0.00085 (0.00041) | 180 | 0.261 (0.30) | 1219.53 | 0.00 | |
| 2 | S | -4.7 | 0 | 0.125 | 26 | 67.0 | 0.799 0.00063 (0.00032) | 180 | 0.194 (0.30) | 1381.64 | 0.00 | |

Sezione scatolare ovest

La soletta oggetto del presente dimensionamento viene vincolata ai diaframmi esistenti per mezzo di armature fiorettate alle pareti o mediante appoggio e ammorsamento di armature posizionate nei cordoli di sommità.

Si dimensiona una soletta in c.a. di spessore 1.90 m, semplicemente appoggiata su luce di calcolo $L_c = 22.50$ m, soggetta al peso proprio, al peso del terreno soprastante, considerato di altezza $h_t = 2.00$ m, e al carico accidentale $q = 10$ KN/m².

Si ha quindi:

$pp = 25 \text{ KN/m}^3 \cdot 1.90 \text{ m} = 47.5 \text{ KN/m}^2$
 peso terreno = $20 \text{ KN/m}^3 \cdot 2.00 \text{ m} = 40 \text{ KN/m}^2$
 sovraccarico accidentale = 10 KN/m^2

Con riferimento alla profondità di un metro, si hanno le seguenti azioni:

| | M _{mezzeria} KNm/m | T _{app} KN/m | N _{diaf} KN/m |
|-------|-----------------------------|-----------------------|------------------------|
| SLU | 8052 | 1431 | 1024 |
| SLEr | 6170 | | 788 |
| SLEf | 6012 | | 788 |
| SLEqp | 5537 | | 788 |

La combinazione sismica non risulta significativa ai fini del dimensionamento della struttura.

All'intradosso, a presidio dell'azione flettente si posizionano tre strati di armatura Ø26/10; all'estradosso uno strato di Ø26/10 più uno strato di Ø26/20. A presidio dell'azione di taglio si posizionano staffe Ø16/25.

Si riportano qui di seguito le verifiche strutturali

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.
NOME SEZIONE: Copertura h190_

Descrizione Sezione:
 Metodo di calcolo resistenza: Stati Limite Ultimi
 Tipologia sezione: Sezione generica
 Normativa di riferimento: N.T.C.

Percorso sollecitazione: A Sforzo Norm. costante
 Condizioni Ambientali: Poco aggressive
 Riferimento Sforzi assegnati: Assi x,y principali d'inerzia

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

| | | | |
|----------------|--|---------------------|---------------------|
| CALCESTRUZZO - | Classe: | C32/40 | |
| | Resis. compr. di calcolo fcd: | 18.130 | MPa |
| | Resis. compr. ridotta fcd': | 9.065 | MPa |
| | Def.unit. max resistenza ec2: | 0.0020 | |
| | Def.unit. ultima ecu: | 0.0035 | |
| | Diagramma tensione-deformaz.: | Parabola-Rettangolo | |
| | Modulo Elastico Normale Ec: | 33346.0 | MPa |
| | Resis. media a trazione fctm: | 3.000 | MPa |
| | Coeff. Omogen. S.L.E.: | 15.00 | |
| | Coeff. Omogen. S.L.E.: | 15.00 | |
| | Sc limite S.L.E. comb. Frequenti: | 192.00 | daN/cm ² |
| | Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti: | 0.400 | mm |
| | Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti: | 0.00 | Mpa |
| | Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Q.Permanenti: | 0.300 | mm |
| ACCIAIO - | Tipo: | B450C | |
| | Resist. caratt. snervam. fyk: | 450.00 | MPa |
| | Resist. caratt. rottura ftk: | 450.00 | MPa |
| | Resist. snerv. di calcolo fyd: | 391.30 | MPa |
| | Resist. ultima di calcolo ftd: | 391.30 | MPa |
| | Deform. ultima di calcolo Epu: | 0.068 | |
| | Modulo Elastico Ef | 2000000 | daN/cm ² |
| | Diagramma tensione-deformaz.: | Bilineare finito | |
| | Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$: | 1.00 | |
| | Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$: | 0.50 | |
| | Sf limite S.L.E. Comb. Rare: | 360.00 | MPa |

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Poligonale
 Classe Conglomerato: C32/40

| N°vertice: | X [cm] | Y [cm] |
|------------|--------|--------|
| 1 | -50.0 | 0.0 |
| 2 | -50.0 | 190.0 |
| 3 | 50.0 | 190.0 |
| 4 | 50.0 | 0.0 |

DATI BARRE ISOLATE

| N°Barra | X [cm] | Y [cm] | DiamØ[mm] |
|---------|--------|--------|-----------|
| 1 | -42.0 | 8.0 | 26 |
| 2 | 42.0 | 8.0 | 26 |
| 3 | -42.0 | 182.0 | 26 |
| 4 | 42.0 | 182.0 | 26 |
| 5 | -42.0 | 15.0 | 26 |
| 6 | 42.0 | 15.0 | 26 |
| 7 | -42.0 | 22.0 | 26 |
| 8 | 42.0 | 22.0 | 26 |
| 9 | -42.0 | 175.0 | 26 |
| 10 | 42.0 | 175.0 | 26 |

DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre
 N°Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione
 N°Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione
 N°Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione
 Ø Diametro in mm delle barre della generazione

| N°Gen. | N°Barra Ini. | N°Barra Fin. | N°Barre | Ø |
|--------|--------------|--------------|---------|----|
| 1 | 1 | 2 | 8 | 26 |
| 2 | 3 | 4 | 8 | 26 |
| 3 | 5 | 6 | 8 | 26 |
| 4 | 7 | 8 | 8 | 26 |
| 5 | 9 | 10 | 3 | 26 |

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

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

| N°Comb. | N | Mx | My | Vy | Vx |
|---------|---------|---------|------|---------|------|
| 1 | 0.00 | 8052.00 | 0.00 | 1431.00 | 0.00 |
| 2 | 1024.00 | 8052.00 | 0.00 | 1431.00 | 0.00 |

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

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

| N°Comb. | N | Mx | My |
|---------|--------|---------|------|
| 1 | 0.00 | 6170.00 | 0.00 |
| 2 | 788.00 | 6170.00 | 0.00 |

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

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

| N°Comb. | N | Mx | My |
|---------|--------|-------------------|-------------|
| 1 | 0.00 | 6012.00 (2661.48) | 0.00 (0.00) |
| 2 | 788.00 | 6012.00 (2790.58) | 0.00 (0.00) |

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

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

| N°Comb. | N | Mx | My |
|---------|--------|-------------------|-------------|
| 1 | 0.00 | 5537.00 (2661.48) | 0.00 (0.00) |
| 2 | 788.00 | 5537.00 (2802.25) | 0.00 (0.00) |

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

| | |
|----------|--|
| Ver | S = combinazione verificata / N = combin. non verificata |
| N | Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione) |
| Mx | Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia |
| My | Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia |
| N ult | Sforzo normale ultimo [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.) |
| Mx ult | Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia |
| My ult | Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia |
| Mis.Sic. | Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult,My ult) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000 |
| As Tesa | Area armature [cm ²] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa |

| N°Comb | Ver | N | Mx | My | N ult | Mx ult | My ult | Mis.Sic. | As Tesa |
|--------|-----|---------|---------|------|---------|----------|--------|----------|-------------|
| 1 | S | 0.00 | 8052.00 | 0.00 | 0.00 | 10296.49 | 0.00 | 1.279 | 159.3(32.2) |
| 2 | S | 1024.00 | 8052.00 | 0.00 | 1024.05 | 11059.75 | 0.00 | 1.371 | ---- |

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

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

| N°Comb | ec max | ec 3/7 | Xc max | Yc max | es min | Xs min | Ys min | es max | Xs max | Ys max |
|--------|---------|----------|--------|--------|---------|--------|--------|----------|--------|--------|
| 1 | 0.00350 | -0.00854 | -50.0 | 190.0 | 0.00232 | -42.0 | 182.0 | -0.02341 | -42.0 | 8.0 |
| 2 | 0.00350 | -0.00628 | -50.0 | 190.0 | 0.00254 | -42.0 | 182.0 | -0.01836 | -42.0 | 8.0 |

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

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

| N°Comb | a | b | c | x/d | C.Rid. |
|--------|-------------|-------------|--------------|-------|--------|
| 1 | 0.000000000 | 0.000147845 | -0.024590583 | 0.130 | 0.700 |
| 2 | 0.000000000 | 0.000120111 | -0.019321173 | ---- | ---- |

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - VERIFICHE A TAGLIO

| | |
|-------|---|
| Ver | S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata |
| Vsdu | Taglio di progetto [kN] = proiez. di V_x e V_y sulla normale all'asse neutro |
| Vcd | Taglio resistente ultimo [kN] lato conglomerato compresso [(4.1.19) NTC] |
| Vwd | Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC] |
| Dmed | Altezza utile media pesata [cm] valutata lungo strisce ortog. all'asse neutro. Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso. I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce. |
| bw | Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed. |
| Teta | Angolo [gradi sessadec.] di inclinazione dei puntoni di conglomerato |
| Acw | Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione |
| Ast | Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm ² /m] |
| A.Eff | Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm ² /m] Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature. L'area della legatura è ridotta col fattore L/d_{max} con L =lungh.legat.proietta- ta sulla direz. del taglio e d_{max} = massima altezza utile nella direz.del taglio. |

| N°Comb | Ver | Vsdu | Vcd | Vwd | Dmed | bw | Teta | Acw | Ast | A.Eff |
|--------|-----|---------|---------|---------|-------|-------|--------|-------|-----|-----------|
| 1 | S | 1431.00 | 5232.41 | 2644.49 | 186.0 | 100.0 | 21.80° | 1.000 | 8.7 | 16.1(0.0) |
| 2 | S | 1431.00 | 5387.95 | 2644.49 | 186.0 | 100.0 | 21.80° | 1.030 | 8.7 | 16.1(0.0) |

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

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

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. | D barre | Beta12 |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|
| 1 | S | 9.41 | -50.0 | 190.0 | -262.7 | 4.7 | 8.0 | 2600 | 159.3 | 7.0 | 1.00 |
| 2 | S | 9.81 | -50.0 | 190.0 | -240.6 | 32.7 | 8.0 | 2600 | 159.3 | 7.0 | 1.00 |

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. | D barre | Beta12 |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|
| 1 | S | 9.17 | -50.0 | 190.0 | -256.0 | 32.7 | 8.0 | 2600 | 159.3 | 7.0 | 0.50 |
| 2 | S | 9.57 | -50.0 | 190.0 | -233.9 | 32.7 | 8.0 | 2600 | 159.3 | 7.0 | 0.50 |

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§B.6.6 DM96]

| | |
|----------|---|
| Ver. | La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a f_{ctm} |
| S1 | Esito della verifica |
| S2 | Massima tensione [Mpa] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione non fessurata |
| k2 | Minima tensione [Mpa] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione fessurata |
| k3 | = 0.4 per barre ad aderenza migliorata |
| Ø | = 0.125 per flessione e presso-flessione; $= (e1 + e2) / (2 * e1)$ per trazione eccentrica |
| Cf | Diametro [mm] medio delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff |
| Psi | Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa |
| e sm | = $1 - \text{Beta}12 * (Ssr/Ss)^2 = 1 - \text{Beta}12 * (f_{ctm}/S2)^2 = 1 - \text{Beta}12 * (M_{fess}/M)^2$ [B.6.6 DM96] |
| srm | Deformazione unitaria media tra le fessure [4.3.1.7.1.3 DM96]. Il valore limite = $0.4 * Ss/Es$ è tra parentesi |
| wk | Distanza media tra le fessure [mm] |
| MX fess. | Valore caratteristico [mm] dell'apertura fessure = $1.7 * e * srm$. Valore limite tra parentesi |
| MY fess. | Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm] |
| | Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm] |

| Comb. | Ver | S1 | S2 | k3 | Ø | Cf | Psi | e sm | srm | wk | Mx fess | My fess |
|-------|-----|------|----|-------|----|------|-------|-------------------|-----|--------------|---------|---------|
| 1 | S | -6.8 | 0 | 0.125 | 26 | 67.0 | 0.902 | 0.00115 (0.00051) | 169 | 0.332 (0.40) | 2661.48 | 0.00 |
| 2 | S | -6.5 | 0 | 0.125 | 26 | 67.0 | 0.892 | 0.00104 (0.00047) | 169 | 0.300 (0.40) | 2790.58 | 0.00 |

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

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. | D barre | Beta12 |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|
| 1 | S | 8.45 | 50.0 | 190.0 | -235.7 | -4.7 | 8.0 | 2600 | 159.3 | 7.0 | 0.50 |
| 2 | S | 8.84 | -50.0 | 190.0 | -213.7 | 32.7 | 8.0 | 2600 | 159.3 | 7.0 | 0.50 |

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§B.6.6 DM96]

| Comb. | Ver | S1 | S2 | k3 | Ø | Cf | Psi | e sm | srm | wk | Mx fess | My fess |
|-------|-----|------|----|-------|----|------|-------|-------------------|-----|--------------|---------|---------|
| 1 | S | -6.2 | 0 | 0.125 | 26 | 67.0 | 0.884 | 0.00104 (0.00047) | 169 | 0.300 (0.30) | 2661.48 | 0.00 |
| 2 | S | -5.9 | 0 | 0.125 | 26 | 67.0 | 0.872 | 0.00093 (0.00043) | 169 | 0.268 (0.30) | 2802.25 | 0.00 |

Nei tratti solidarizzati al cordolo di sommità l'armatura del solettone e del cordolo vengono posizionate contestualmente; nei tratti in aderenza alle pareti dei diaframmi, verranno previste 10 barre Ø32/m fioretate e solidarizzate con ancoranti chimici ad iniezione.

Solettone provvisorio in corrispondenza della Sezione policentrica ovest

In corrispondenza delle sezioni policentriche adiacenti la galleria naturale è presente un solettone in sommità ai diaframmi, avente funzione di contrasto provvisorio durante le fasi realizzative. La soletta oggetto del presente dimensionamento viene vincolata ai diaframmi esistenti mediante appoggio e ammassamento con armature posizionate nei cordoli di sommità.

Si dimensiona una soletta in c.a. di spessore 1.75 m, semplicemente appoggiata su luce di calcolo $L_c = 22.70$ m, soggetta al peso proprio e al carico accidentale $q = 5$ KN/m².

Si ha quindi:

$$pp = 25 \text{ KN/m}^3 \cdot 1.75 \text{ m} = 43.75 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{sovraccarico accidentale} = 5 \text{ KN/m}^2$$

Con riferimento alla profondità di un metro, si hanno le seguenti azioni:

| | $M_{mezzzeria}$ KNm/m | T_{app} KN/m | N_{diaf} KN/m |
|-------|-----------------------|----------------|-----------------|
| SLU | 3583 | 631 | 6048 |
| SLEr | 3140 | | 4652 |
| SLEf | 3060 | | 4652 |
| SLEqp | 2818 | | 4652 |

La combinazione sismica non è stata considerata, trattandosi di struttura provvisoria.

All'intradosso, a presidio dell'azione flettente si posizionano due strati di armatura Ø26/10; all'estradosso uno strato di Ø26/10. Come da verifiche qui di seguito riportate, non è necessaria armatura a presidio dell'azione di taglio.

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: Copertura h175 provv

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

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

| | | |
|----------------|--|----------------------------|
| CALCESTRUZZO - | Classe: | C32/40 |
| | Resis. compr. di calcolo fcd: | 18.130 MPa |
| | Resis. compr. ridotta fcd': | 0.000 MPa |
| | Def.unit. max resistenza ec2: | 0.0020 |
| | Def.unit. ultima ecu: | 0.0035 |
| | Diagramma tensione-deformaz.: | Parabola-Rettangolo |
| | Modulo Elastico Normale Ec: | 33346.0 MPa |
| | Resis. media a trazione fctm: | 3.000 MPa |
| | Coeff. Omogen. S.L.E.: | 15.00 |
| | Coeff. Omogen. S.L.E.: | 15.00 |
| | Sc limite S.L.E. comb. Frequenti: | 192.00 daN/cm ² |
| | Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti: | 0.400 mm |
| | Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti: | 0.00 Mpa |
| | Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Q.Permanenti: | 0.300 mm |

| | | |
|-----------|-------|-------|
| ACCIAIO - | Tipo: | B450C |
|-----------|-------|-------|

| | | |
|--|------------------|---------------------|
| Resist. caratt. snervam. fyk: | 450.00 | MPa |
| Resist. caratt. rottura ftk: | 450.00 | MPa |
| Resist. snerv. di calcolo fyd: | 391.30 | MPa |
| Resist. ultima di calcolo ftd: | 391.30 | MPa |
| Deform. ultima di calcolo Epu: | 0.068 | |
| Modulo Elastico Ef | 2000000 | daN/cm ² |
| Diagramma tensione-deformaz.: | Bilineare finito | |
| Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$: | 1.00 | |
| Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$: | 0.50 | |
| Sf limite S.L.E. Comb. Rare: | 360.00 | MPa |

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Poligonale
Classe Conglomerato: C32/40

| N°vertice: | X [cm] | Y [cm] |
|------------|--------|--------|
| 1 | -50.0 | 0.0 |
| 2 | -50.0 | 175.0 |
| 3 | 50.0 | 175.0 |
| 4 | 50.0 | 0.0 |

DATI BARRE ISOLATE

| N°Barra | X [cm] | Y [cm] | DiamØ[mm] |
|---------|--------|--------|-----------|
| 1 | -42.0 | 8.0 | 26 |
| 2 | 42.0 | 8.0 | 26 |
| 3 | -42.0 | 167.0 | 26 |
| 4 | 42.0 | 167.0 | 26 |
| 5 | -42.0 | 15.0 | 26 |
| 6 | 42.0 | 15.0 | 26 |

DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre
N°Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione
N°Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione
N°Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione
Ø Diametro in mm delle barre della generazione

| N°Gen. | N°Barra Ini. | N°Barra Fin. | N°Barre | Ø |
|--------|--------------|--------------|---------|----|
| 1 | 1 | 2 | 8 | 26 |
| 2 | 3 | 4 | 8 | 26 |
| 3 | 5 | 6 | 8 | 26 |

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

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

| N°Comb. | N | Mx | My | Vy | Vx |
|---------|---------|---------|------|--------|------|
| 1 | 0.00 | 3583.00 | 0.00 | 631.00 | 0.00 |
| 2 | 6048.00 | 3583.00 | 0.00 | 631.00 | 0.00 |

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

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)

Relazione di calcolo opere di sostegno

53

RTP di progettazione:

Mandataria:

Mandanti:



Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

| N°Comb. | N | Mx | My |
|---------|---------|---------|------|
| 1 | 0.00 | 3140.00 | 0.00 |
| 2 | 4652.00 | 3140.00 | 0.00 |

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

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

| N°Comb. | N | Mx | My |
|---------|---------|-------------------|-------------|
| 1 | 0.00 | 3060.00 (2083.29) | 0.00 (0.00) |
| 2 | 4652.00 | 3060.00 (4058.35) | 0.00 (0.00) |

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

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

| N°Comb. | N | Mx | My |
|---------|---------|-------------------|-------------|
| 1 | 0.00 | 2818.00 (2083.29) | 0.00 (0.00) |
| 2 | 4652.00 | 2818.00 (4418.04) | 0.00 (0.00) |

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

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

| N°Comb | Ver | N | Mx | My | N ult | Mx ult | My ult | Mis.Sic. | As Tesa |
|--------|-----|---------|---------|------|---------|----------|--------|----------|-------------|
| 1 | S | 0.00 | 3583.00 | 0.00 | 0.00 | 6494.11 | 0.00 | 1.812 | 106.2(29.6) |
| 2 | S | 6048.00 | 3583.00 | 0.00 | 6048.03 | 10048.02 | 0.00 | 2.691 | ----- |

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

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

| N°Comb | ec max | ec 3/7 | Xc max | Yc max | es min | Xs min | Ys min | es max | Xs max | Ys max |
|--------|---------|----------|--------|--------|---------|--------|--------|----------|--------|--------|
| 1 | 0.00350 | -0.01311 | -50.0 | 175.0 | 0.00173 | -42.0 | 167.0 | -0.03349 | -42.0 | 8.0 |
| 2 | 0.00350 | -0.00124 | -50.0 | 175.0 | 0.00299 | -42.0 | 167.0 | -0.00706 | 42.0 | 8.0 |

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

| N°Comb | a | b | c | x/d | C.Rid. |
|--------|-------------|-------------|--------------|-------|--------|
| 1 | 0.000000000 | 0.000221487 | -0.035260190 | 0.095 | 0.700 |
| 2 | 0.000000000 | 0.000063216 | -0.007562787 | --- | --- |

METODO SLU - VERIFICHE A TAGLIO SENZA ARMATURE TRASVERSALI (§ 4.1.2.1.3.1 NTC)

| N°Comb | Ver | Vsdu | Vwct | d | bw | Ro | Scp |
|--------|-----|--------|---------|-------|-------|--------|------|
| 1 | S | 631.00 | 745.85 | 171.0 | 100.0 | 0.0062 | 0.00 |
| 2 | S | 631.00 | 1632.27 | 171.0 | 100.0 | 0.0062 | 3.46 |

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. | D barre | Beta12 |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|
| 1 | S | 6.39 | 50.0 | 175.0 | -206.2 | -32.7 | 8.0 | 2600 | 106.2 | 7.0 | 1.00 |
| 2 | S | 7.99 | -50.0 | 175.0 | -54.2 | 32.7 | 8.0 | 2600 | 106.2 | 7.0 | 1.00 |

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. | D barre | Beta12 |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|
| 1 | S | 6.22 | -50.0 | 175.0 | -201.0 | 32.7 | 8.0 | 2600 | 106.2 | 7.0 | 0.50 |
| 2 | S | 7.82 | -50.0 | 175.0 | -50.4 | 32.7 | 8.0 | 2600 | 106.2 | 7.0 | 0.50 |

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§B.6.6 DM96]

| | |
|------|---|
| Ver. | La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a f_{ctm} |
| S1 | Esito della verifica |
| S2 | Massima tensione [Mpa] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione non fessurata |
| k2 | Minima tensione [Mpa] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione fessurata |
| k3 | = 0.4 per barre ad aderenza migliorata |
| Ø | = 0.125 per flessione e presso-flessione; $= (e1 + e2) / (2 * e1)$ per trazione eccentrica |
| Cf | Diametro [mm] medio delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff |
| Psi | Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa |
| e sm | $= 1 - \text{Beta}12 * (Ssr/Ss)^2 = 1 - \text{Beta}12 * (fctm/S2)^2 = 1 - \text{Beta}12 * (Mfess/M)^2$ [B.6.6 DM96] |
| srm | Deformazione unitaria media tra le fessure [4.3.1.7.1.3 DM96]. Il valore limite = $0.4 * Ss/Es$ è tra parentesi |
| wk | Distanza media tra le fessure [mm] |
| | Valore caratteristico [mm] dell'apertura fessure = $1.7 * e * sm * srm$. Valore limite tra parentesi |

| Comb. | Ver | Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm] | | | | | | | | | | | Mx fess | My fess |
|-------|-----|---|----|-------|----|------|-------|---------|-----------|-----|-------|--------|---------|---------|
| | | S1 | S2 | k3 | Ø | Cf | Psi | e sm | srm | wk | | | | |
| 1 | S | -4.4 | 0 | 0.125 | 26 | 67.0 | 0.768 | 0.00077 | (0.00040) | 180 | 0.236 | (0.40) | 2083.29 | 0.00 |
| 2 | S | -2.3 | 0 | 0.125 | 26 | 67.0 | 0.121 | 0.00010 | (0.00010) | 180 | 0.031 | (0.40) | 4058.35 | 0.00 |

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

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. | D barre | Beta12 |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|
| 1 | S | 5.73 | -50.0 | 175.0 | -185.1 | 32.7 | 8.0 | 2600 | 106.2 | 7.0 | 0.50 |
| 2 | S | 7.31 | -50.0 | 175.0 | -39.4 | 32.7 | 8.0 | 2600 | 106.2 | 7.0 | 0.50 |

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§B.6.6 DM96]

| Comb. | Ver | S1 | S2 | k3 | Ø | Cf | Psi | e sm | srm | wk | Mx fess | My fess | | |
|-------|-----|------|----|-------|----|------|--------|---------|-----------|-----|---------|---------|---------|------|
| 1 | S | -4.1 | 0 | 0.125 | 26 | 67.0 | 0.727 | 0.00067 | (0.00037) | 180 | 0.206 | (0.30) | 2083.29 | 0.00 |
| 2 | S | -1.9 | 0 | 0.125 | 26 | 67.0 | -0.229 | 0.00008 | (0.00008) | 180 | 0.024 | (0.30) | 4418.04 | 0.00 |

Solettone provvisorio in corrispondenza della Sezione policentrica est

In corrispondenza delle sezioni policentriche adiacenti la galleria naturale è presente un solettone in sommità ai diaframmi, avente funzione di contrasto provvisorio durante le fasi realizzative. La soletta oggetto del presente dimensionamento viene vincolata ai diaframmi esistenti per mezzo di armature fiorettate alle pareti o mediante appoggio e ammortamento con armature posizionate nei cordoli di sommità.

Si dimensiona una soletta in c.a. di spessore 1.00 m, semplicemente appoggiata su luce di calcolo $L_c = 15.50$ m, soggetta al peso proprio e al carico accidentale $q = 5$ KN/m².

Si ha quindi:

$$pp = 25 \text{ KN/m}^3 \cdot 1.00 \text{ m} = 25.00 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{sovraccarico accidentale} = 5 \text{ KN/m}^2$$

Con riferimento alla profondità di un metro, si hanno le seguenti azioni:

| | M _{mezzeria} KNm/m | T _{app} KN/m | N _{diaf} KN/m |
|-------|-----------------------------|-----------------------|------------------------|
| SLU | 1051 | 271 | 1892 |
| SLEr | 901 | | 1455 |
| SLEf | 863 | | 1455 |
| SLEqp | 751 | | 1455 |

La combinazione sismica non è stata considerata, trattandosi di struttura provvisoria.

All'intradosso, a presidio dell'azione flettente si posiziona uno strato di armatura Ø26/10; all'estradosso uno strato di Ø26/20. Come da verifiche qui di seguito riportate, non è necessaria armatura a presidio dell'azione di taglio.

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: Copertura h100 provv

Relazione di calcolo opere di sostegno

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

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

| | | | |
|----------------|--|---------------------|---------------------|
| CALCESTRUZZO - | Classe: | C32/40 | |
| | Resis. compr. di calcolo fcd: | 18.130 | MPa |
| | Resis. compr. ridotta fcd': | 0.000 | MPa |
| | Def.unit. max resistenza ec2: | 0.0020 | |
| | Def.unit. ultima ecu: | 0.0035 | |
| | Diagramma tensione-deformaz.: | Parabola-Rettangolo | |
| | Modulo Elastico Normale Ec: | 33346.0 | MPa |
| | Resis. media a trazione fctm: | 3.000 | MPa |
| | Coeff. Omogen. S.L.E.: | 15.00 | |
| | Coeff. Omogen. S.L.E.: | 15.00 | |
| | Sc limite S.L.E. comb. Frequenti: | 192.00 | daN/cm ² |
| | Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti: | 0.400 | mm |
| | Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti: | 0.00 | Mpa |
| | Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Q.Permanenti: | 0.300 | mm |
| ACCIAIO - | Tipo: | B450C | |
| | Resist. caratt. snervam. fyk: | 450.00 | MPa |
| | Resist. caratt. rottura ftk: | 450.00 | MPa |
| | Resist. snerv. di calcolo fyd: | 391.30 | MPa |
| | Resist. ultima di calcolo ftd: | 391.30 | MPa |
| | Deform. ultima di calcolo Epu: | 0.068 | |
| | Modulo Elastico Ef | 2000000 | daN/cm ² |
| | Diagramma tensione-deformaz.: | Bilineare finito | |
| | Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$: | 1.00 | |
| | Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$: | 0.50 | |
| | Sf limite S.L.E. Comb. Rare: | 360.00 | MPa |

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Poligonale
Classe Conglomerato: C32/40

| N°vertice: | X [cm] | Y [cm] |
|------------|--------|--------|
| 1 | -50.0 | 0.0 |
| 2 | -50.0 | 100.0 |
| 3 | 50.0 | 100.0 |
| 4 | 50.0 | 0.0 |

DATI BARRE ISOLATE

| N°Barra | X [cm] | Y [cm] | DiamØ[mm] |
|---------|--------|--------|-----------|
| 1 | -42.0 | 8.0 | 26 |
| 2 | 42.0 | 8.0 | 26 |
| 3 | -42.0 | 92.0 | 26 |
| 4 | 42.0 | 92.0 | 26 |

DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre
N°Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione
N°Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione
N°Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione
Ø Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen. N°Barra Ini. N°Barra Fin. N°Barre Ø

| | | | | |
|---|---|---|---|----|
| 1 | 1 | 2 | 8 | 26 |
| 2 | 3 | 4 | 3 | 26 |

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

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

| N°Comb. | N | Mx | My | Vy | Vx |
|---------|---------|---------|------|--------|------|
| 1 | 0.00 | 1051.00 | 0.00 | 271.00 | 0.00 |
| 2 | 1892.00 | 1051.00 | 0.00 | 271.00 | 0.00 |

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

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

| N°Comb. | N | Mx | My |
|---------|---------|--------|------|
| 1 | 0.00 | 901.00 | 0.00 |
| 2 | 1455.00 | 901.00 | 0.00 |

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

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

| N°Comb. | N | Mx | My |
|---------|---------|-----------------|-------------|
| 1 | 0.00 | 864.00 (644.18) | 0.00 (0.00) |
| 2 | 1455.00 | 864.00 (917.46) | 0.00 (0.00) |

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

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

| N°Comb. | N | Mx | My |
|---------|---------|-----------------|-------------|
| 1 | 0.00 | 751.00 (644.18) | 0.00 (0.00) |
| 2 | 1455.00 | 751.00 (980.02) | 0.00 (0.00) |

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

| | |
|----------|--|
| Ver | S = combinazione verificata / N = combin. non verificata |
| N | Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione) |
| Mx | Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia |
| My | Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia |
| N ult | Sforzo normale ultimo [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.) |
| Mx ult | Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia |
| My ult | Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia |
| Mis.Sic. | Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult,My ult) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000 |
| As Tesa | Area armature [cm ²] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa |

| N°Comb | Ver | N | Mx | My | N ult | Mx ult | My ult | Mis.Sic. | As Tesa |
|--------|-----|---------|---------|------|---------|---------|--------|----------|------------|
| 1 | S | 0.00 | 1051.00 | 0.00 | 0.00 | 1800.64 | 0.00 | 1.713 | 53.1(16.6) |
| 2 | S | 1892.00 | 1051.00 | 0.00 | 1892.14 | 2530.71 | 0.00 | 2.358 | ----- |

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

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

| N°Comb | ec max | ec 3/7 | Xc max | Yc max | es min | Xs min | Ys min | es max | Xs max | Ys max |
|--------|---------|----------|--------|--------|---------|--------|--------|----------|--------|--------|
| 1 | 0.00350 | -0.01035 | -50.0 | 100.0 | 0.00092 | -42.0 | 92.0 | -0.02622 | -42.0 | 8.0 |
| 2 | 0.00350 | -0.00401 | 50.0 | 100.0 | 0.00210 | 42.0 | 92.0 | -0.01263 | -42.0 | 8.0 |

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

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

| N°Comb | a | b | c | x/d | C.Rid. |
|--------|-------------|-------------|--------------|-------|--------|
| 1 | 0.000000000 | 0.000323059 | -0.028805852 | 0.118 | 0.700 |
| 2 | 0.000000000 | 0.000175342 | -0.014034197 | --- | --- |

METODO SLU - VERIFICHE A TAGLIO SENZA ARMATURE TRASVERSALI (§ 4.1.2.1.3.1 NTC)

| | |
|------|--|
| Ver | S = comb.verificata a taglio/ N = comb. non verificata |
| Vsdu | Taglio agente [daN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta) |
| Vwct | Taglio trazione resistente [kN] in assenza di staffe [formula (4.1.14)NTC] |
| d | Altezza utile sezione [cm] |
| bw | Larghezza minima sezione [cm] |
| Ro | Rapporto geometrico di armatura longitudinale [<0.02] |
| Scp | Tensione media di compressione nella sezione [Mpa] |

| N°Comb | Ver | Vsdu | Vwct | d | bw | Ro | Scp |
|--------|-----|--------|--------|------|-------|--------|------|
| 1 | S | 271.00 | 437.21 | 96.0 | 100.0 | 0.0055 | 0.00 |
| 2 | S | 271.00 | 709.63 | 96.0 | 100.0 | 0.0055 | 1.89 |

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

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

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. | D barre | Beta12 |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|
| 1 | S | 6.28 | 50.0 | 100.0 | -205.4 | 32.7 | 8.0 | 2594 | 53.1 | 9.3 | 1.00 |
| 2 | S | 7.15 | 50.0 | 100.0 | -96.6 | -14.0 | 8.0 | 2594 | 53.1 | 9.3 | 1.00 |

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. | D barre | Beta12 |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|
| 1 | S | 6.03 | 50.0 | 100.0 | -197.0 | 32.7 | 8.0 | 2594 | 53.1 | 9.3 | 0.50 |
| 2 | S | 6.87 | -50.0 | 100.0 | -88.9 | -42.0 | 8.0 | 2500 | 53.1 | 9.3 | 0.50 |

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§B.6.6 DM96]

| | |
|----------|---|
| Ver. | La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a f_{ctm} |
| S1 | Esito della verifica |
| S2 | Massima tensione [Mpa] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione non fessurata |
| k2 | Minima tensione [Mpa] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione fessurata |
| k3 | = 0.4 per barre ad aderenza migliorata |
| Ø | = 0.125 per flessione e presso-flessione; $= (e1 + e2)/(2 * e1)$ per trazione eccentrica |
| Cf | Diametro [mm] medio delle barre tese comprese nell'area efficace $A_{c\ eff}$ |
| Psi | Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa |
| e sm | $= 1 - \text{Beta}12 * (Ssr/Ss)^2 = 1 - \text{Beta}12 * (f_{ctm}/S2)^2 = 1 - \text{Beta}12 * (M_{fess}/M)^2$ [B.6.6 DM96] |
| srm | Deformazione unitaria media tra le fessure [4.3.1.7.1.3 DM96]. Il valore limite = $0.4 * Ss/Es$ è tra parentesi |
| wk | Distanza media tra le fessure [mm] |
| MX fess. | Valore caratteristico [mm] dell'apertura fessure = $1.7 * e\ sm * srm$. Valore limite tra parentesi |
| MY fess. | Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm] |
| | Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm] |

| Comb. | Ver | S1 | S2 | k3 | Ø | Cf | Psi | e sm | srm | wk | Mx fess | My fess |
|-------|-----|------|----|-------|----|------|-------|-------------------|-----|--------------|---------|---------|
| 1 | S | -4.0 | 0 | 0.125 | 26 | 67.0 | 0.722 | 0.00071 (0.00039) | 216 | 0.261 (0.40) | 644.18 | 0.00 |
| 2 | S | -2.8 | 0 | 0.125 | 26 | 67.0 | 0.436 | 0.00019 (0.00018) | 214 | 0.071 (0.40) | 917.46 | 0.00 |

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

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. | D barre | Beta12 |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|
| 1 | S | 5.24 | -50.0 | 100.0 | -171.2 | 32.7 | 8.0 | 2594 | 53.1 | 9.3 | 0.50 |
| 2 | S | 6.03 | -50.0 | 100.0 | -66.2 | 32.7 | 8.0 | 2300 | 53.1 | 9.3 | 0.50 |

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§B.6.6 DM96]

| Comb. | Ver | S1 | S2 | k3 | Ø | Cf | Psi | e sm | srm | wk | Mx fess | My fess |
|-------|-----|------|----|-------|----|------|-------|-------------------|-----|--------------|---------|---------|
| 1 | S | -3.5 | 0 | 0.125 | 26 | 67.0 | 0.632 | 0.00054 (0.00034) | 216 | 0.199 (0.30) | 644.18 | 0.00 |
| 2 | S | -2.3 | 0 | 0.125 | 26 | 67.0 | 0.149 | 0.00013 (0.00013) | 209 | 0.047 (0.30) | 980.02 | 0.00 |

Nei tratti solidarizzati al cordolo di sommità l'armatura del solettone e del cordolo vengono posizionate contestualmente; nei tratti in aderenza alle pareti dei diaframmi, verranno previste 3 barre Ø32/m fioretate e solidarizzate con ancoranti chimici ad iniezione.

Muri in c.a.

I muri in c.a., interni ai diaframmi, vengono dimensionati per far fronte alla spinta della falda, avente battente $H = 8.00\text{m}$ rispetto alla sezione di spiccato dal solettone di fondo. Si considera uno schema statico di mensola incastrata alla base, di profondità 1.00m , spessore $s_1 = 90\text{ cm}$ per i primi tre metri di elevazione, di spessore $s_2 = 50\text{ cm}$ successivamente.

Si considera la sezione di incastro posta a 0.50 m dallo spiccato; si avrà un diagramma di spinta triangolare avente ordinata alla base uguale a $S = 85\text{ KN/m}$

Si hanno le seguenti azioni:

Sezione di base

| | M _{mezzzeria} KNm/m | T _{app} KN/m |
|-----|------------------------------|-----------------------|
| SLU | 1535 | 542 |
| SLE | 1024 | |

Sezione a 3 m dalla base

| | M _{mezzzeria} KNm/m | T _{app} KN/m |
|-----|------------------------------|-----------------------|
| SLU | 313 | 188 |
| SLE | 208 | |

Alla base, a presidio dell'azione flettente si posiziona uno strato di armatura Ø26/10 lato diaframma; sul lato opposto uno strato di Ø26/20. A presidio dell'azione di taglio si posizionano staffe Ø12/15.

In corrispondenza della sezione avente spessore 0.50 m a presidio dell'azione flettente si posiziona uno strato di armatura Ø26/20 sia lato diaframma che sul lato opposto. Come da verifiche qui di seguito riportate, non risulta necessaria armatura a taglio.

Si riportano qui di seguito le verifiche strutturali

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: MURI_base

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

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

| | | | |
|------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------|
| CALCESTRUZZO - | Classe: | C32/40 | |
| | Resis. compr. di calcolo fcd: | 18.130 MPa | |
| | Resis. compr. ridotta fcd': | 9.065 MPa | |
| | Def.unit. max resistenza ec2: | 0.0020 | |
| | Def.unit. ultima ecu: | 0.0035 | |
| | Diagramma tensione-deformaz.: | Parabola-Rettangolo | |
| | Modulo Elastico Normale Ec: | 33346.0 MPa | |
| | Resis. media a trazione fctm: | 3.000 MPa | |
| | Coeff. Omogen. S.L.E.: | 15.00 | |
| | Coeff. Omogen. S.L.E.: | 15.00 | |
| | ACCIAIO - | Tipo: | B450C |
| | | Resist. caratt. snervam. fyk: | 450.00 MPa |
| | | Resist. caratt. rottura ftk: | 450.00 MPa |
| Resist. snerv. di calcolo fyd: | | 391.30 MPa | |
| Resist. ultima di calcolo ftd: | | 391.30 MPa | |
| Deform. ultima di calcolo Epu: | | 0.068 | |
| Modulo Elastico Ef | | 2000000 daN/cm ² | |
| Diagramma tensione-deformaz.: | | Bilineare finito | |
| Coeff. Aderenza istantaneo β1*β2 : | | 1.00 | |
| Coeff. Aderenza differito β1*β2 : | | 0.50 | |
| Sf limite S.L.E. Comb. Rare: | 360.00 MPa | | |

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Relazione di calcolo opere di sostegno

61

RTP di progettazione:

Mandataria:

Mandanti:



Forma del Dominio: Poligonale
Classe Conglomerato: C32/40

| N°vertice: | X [cm] | Y [cm] |
|------------|--------|--------|
| 1 | -50.0 | 0.0 |
| 2 | -50.0 | 90.0 |
| 3 | 50.0 | 90.0 |
| 4 | 50.0 | 0.0 |

DATI BARRE ISOLATE

| N°Barra | X [cm] | Y [cm] | DiamØ[mm] |
|---------|--------|--------|-----------|
| 1 | -42.0 | 8.0 | 26 |
| 2 | 42.0 | 8.0 | 26 |
| 3 | -42.0 | 82.0 | 26 |
| 4 | 42.0 | 82.0 | 26 |

DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre
N°Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione
N°Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione
N°Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione
Ø Diametro in mm delle barre della generazione

| N°Gen. | N°Barra Ini. | N°Barra Fin. | N°Barre | Ø |
|--------|--------------|--------------|---------|----|
| 1 | 1 | 2 | 8 | 26 |
| 2 | 3 | 4 | 3 | 26 |

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

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

| N°Comb. | N | Mx | My | Vy | Vx |
|---------|------|---------|------|--------|------|
| 1 | 0.00 | 1535.00 | 0.00 | 858.00 | 0.00 |

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

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

| N°Comb. | N | Mx | My |
|---------|------|---------|------|
| 1 | 0.00 | 1024.00 | 0.00 |

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)

Relazione di calcolo opere di sostegno

62

RTP di progettazione:

Mandataria:

Mandanti:



| | |
|----------|--|
| Mx | Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia |
| My | Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia |
| N ult | Sforzo normale ultimo [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.) |
| Mx ult | Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia |
| My ult | Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia |
| Mis.Sic. | Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult,My ult) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000 |
| As Tesa | Area armature [cm ²] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa |

| N°Comb | Ver | N | Mx | My | N ult | Mx ult | My ult | Mis.Sic. | As Tesa |
|--------|-----|------|---------|------|-------|---------|--------|----------|------------|
| 1 | S | 0.00 | 1535.00 | 0.00 | 0.00 | 1592.88 | 0.00 | 1.038 | 53.1(14.9) |

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

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

| N°Comb | ec max | ec 3/7 | Xc max | Yc max | es min | Xs min | Ys min | es max | Xs max | Ys max |
|--------|---------|----------|--------|--------|---------|--------|--------|----------|--------|--------|
| 1 | 0.00350 | -0.00896 | -50.0 | 90.0 | 0.00092 | -42.0 | 82.0 | -0.02299 | -42.0 | 8.0 |

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

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

| N°Comb | a | b | c | x/d | C.Rid. |
|--------|-------------|-------------|--------------|-------|--------|
| 1 | 0.000000000 | 0.000323057 | -0.025575137 | 0.132 | 0.700 |

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - VERIFICHE A TAGLIO

| | |
|-------|---|
| Ver | S = comb. verificata / N = comb. non verificata |
| Vsdu | Taglio di progetto [kN] = proiezione di V_x e V_y sulla normale all'asse neutro |
| Vcd | Taglio resistente ultimo [kN] lato conglomerato compresso [(4.1.19) NTC] |
| Vwd | Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC] |
| Dmed | Altezza utile media pesata [cm] valutata lungo strisce ortog. all'asse neutro. Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso. I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce. |
| bw | Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed. |
| Teta | Angolo [gradi sessadec.] di inclinazione dei puntoni di conglomerato |
| Acw | Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione |
| Ast | Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm ² /m] |
| A.Eff | Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm ² /m] Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature. L'area della legatura è ridotta col fattore L/d_{max} con L =lunghezza legatura proiettata sulla direz. del taglio e d_{max} = massima altezza utile nella direz.del taglio. |

| N°Comb | Ver | Vsdu | Vcd | Vwd | Dmed | bw | Teta | Acw | Ast | A.Eff |
|--------|-----|--------|---------|---------|------|-------|--------|-------|------|-----------|
| 1 | S | 858.00 | 2419.14 | 1141.65 | 86.0 | 100.0 | 21.80° | 1.000 | 11.3 | 15.1(0.0) |

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

| | |
|----------------|--|
| Ver | S = comb. verificata / N = comb. non verificata |
| Sc max | Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa] |
| Xc max, Yc max | Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O) |
| Sf min | Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa] |
| Xs min, Ys min | Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O) |
| Ac eff. | Area di calcestruzzo [cm ²] in zona tesa considerata aderente alle barre |

Relazione di calcolo opere di sostegno

63

RTP di progettazione:

Mandataria:

Mandanti:



As eff. Area barre [cm²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure
 D barre Distanza tra le barre tese [cm] ai fini del calcolo dell'apertura fessure
 Beta12 Prodotto dei coeff. di aderenza delle barre Beta1*Beta2

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. | D barre | Beta12 |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|
| 1 | S | 8.60 | -50.0 | 90.0 | -263.5 | 32.7 | 8.0 | 2594 | 53.1 | 9.3 | 1.00 |

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A. NOME SEZIONE: MURI_elevazione

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

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

| | | |
|------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|
| CALCESTRUZZO - | Classe: | C32/40 |
| | Resis. compr. di calcolo fcd: | 18.130 MPa |
| | Resis. compr. ridotta fcd': | 0.000 MPa |
| | Def.unit. max resistenza ec2: | 0.0020 |
| | Def.unit. ultima ecu: | 0.0035 |
| | Diagramma tensione-deformaz.: | Parabola-Rettangolo |
| | Modulo Elastico Normale Ec: | 33346.0 MPa |
| | Resis. media a trazione fctm: | 3.000 MPa |
| | Coeff. Omogen. S.L.E.: | 15.00 |
| | Coeff. Omogen. S.L.E.: | 15.00 |
| ACCIAIO - | Tipo: | B450C |
| | Resist. caratt. snervam. fyk: | 450.00 MPa |
| | Resist. caratt. rottura ftk: | 450.00 MPa |
| | Resist. snerv. di calcolo fyd: | 391.30 MPa |
| | Resist. ultima di calcolo ftd: | 391.30 MPa |
| | Deform. ultima di calcolo Epu: | 0.068 |
| | Modulo Elastico Ef | 2000000 daN/cm ² |
| | Diagramma tensione-deformaz.: | Bilineare finito |
| | Coeff. Aderenza istantaneo β1*β2 : | 1.00 |
| | Coeff. Aderenza differito β1*β2 : | 0.50 |
| Sf limite S.L.E. Comb. Rare: | 360.00 MPa | |

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Poligonale
 Classe Conglomerato: C32/40

| N°vertice: | X [cm] | Y [cm] |
|------------|--------|--------|
| 1 | -50.0 | 0.0 |
| 2 | -50.0 | 50.0 |
| 3 | 50.0 | 50.0 |
| 4 | 50.0 | 0.0 |

DATI BARRE ISOLATE

| N°Barra | X [cm] | Y [cm] | DiamØ[mm] |
|---------|--------|--------|-----------|
| 1 | -42.0 | 8.0 | 26 |
| 2 | 42.0 | 8.0 | 26 |
| 3 | -42.0 | 42.0 | 26 |
| 4 | 42.0 | 42.0 | 26 |

DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre
N°Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione
N°Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione
N°Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione
Ø Diametro in mm delle barre della generazione

| N°Gen. | N°Barra Ini. | N°Barra Fin. | N°Barre | Ø |
|--------|--------------|--------------|---------|----|
| 1 | 1 | 2 | 3 | 26 |
| 2 | 3 | 4 | 3 | 26 |

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

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

| N°Comb. | N | Mx | My | Vy | Vx |
|---------|------|--------|------|--------|------|
| 1 | 0.00 | 313.00 | 0.00 | 188.00 | 0.00 |

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

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

| N°Comb. | N | Mx | My |
|---------|------|--------|------|
| 1 | 0.00 | 208.00 | 0.00 |

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

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

| N°Comb | Ver | N | Mx | My | N ult | Mx ult | My ult | Mis.Sic. | As Tesa |
|--------|-----|------|--------|------|-------|--------|--------|----------|-----------|
| 1 | S | 0.00 | 313.00 | 0.00 | 0.00 | 407.17 | 0.00 | 1.301 | 26.5(8.0) |

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

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

| Ys max | Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.) | | | | | | | | | |
|--------|--|----------|--------|--------|----------|--------|--------|----------|--------|--------|
| N°Comb | ec max | ec 3/7 | Xc max | Yc max | es min | Xs min | Ys min | es max | Xs max | Ys max |
| 1 | 0.00350 | -0.00630 | -50.0 | 50.0 | -0.00016 | -42.0 | 42.0 | -0.01570 | -42.0 | 8.0 |

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

| a, b, c | Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen. | | | | |
|---------|--|-------------|--------------|-------|--------|
| x/d | Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless.(travi) | | | | |
| C.Rid. | Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue | | | | |
| N°Comb | a | b | c | x/d | C.Rid. |
| 1 | 0.000000000 | 0.000457217 | -0.019360853 | 0.182 | 0.700 |

METODO SLU - VERIFICHE A TAGLIO SENZA ARMATURE TRASVERSALI (§ 4.1.2.1.3.1 NTC)

| Ver | S = comb.verificata a taglio/ N = comb. non verificata | | | | | | |
|--------|--|--------|--------|------|-------|--------|------|
| Vsdu | Taglio agente [daN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta) | | | | | | |
| Vwct | Taglio trazione resistente [kN] in assenza di staffe [formula (4.1.14)NTC] | | | | | | |
| d | Altezza utile sezione [cm] | | | | | | |
| bw | Larghezza minima sezione [cm] | | | | | | |
| Ro | Rapporto geometrico di armatura longitudinale [<0.02] | | | | | | |
| Scp | Tensione media di compressione nella sezione [Mpa] | | | | | | |
| N°Comb | Ver | Vsdu | Vwct | d | bw | Ro | Scp |
| 1 | S | 188.00 | 242.09 | 46.0 | 100.0 | 0.0058 | 0.00 |

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

| Ver | S = comb. verificata/ N = comb. non verificata | | | | | | | | | | |
|----------------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|
| Sc max | Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa] | | | | | | | | | | |
| Xc max, Yc max | Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O) | | | | | | | | | | |
| Sf min | Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa] | | | | | | | | | | |
| Xs min, Ys min | Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O) | | | | | | | | | | |
| Ac eff. | Area di calcestruzzo [cm ²] in zona tesa considerata aderente alle barre | | | | | | | | | | |
| As eff. | Area barre [cm ²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure | | | | | | | | | | |
| D barre | Distanza tra le barre tese [cm] ai fini del calcolo dell'apertura fessure | | | | | | | | | | |
| Beta12 | Prodotto dei coeff. di aderenza delle barre $\beta_1 \cdot \beta_2$ | | | | | | | | | | |
| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. | D barre | Beta12 |
| 1 | S | 6.74 | -50.0 | 50.0 | -212.8 | 21.0 | 8.0 | 1800 | 26.5 | 21.0 | 1.00 |

10 ACCETTABILITÀ DEI RISULTATI IN OTTEMPERANZA AL PAR. 10.2 DELLE NTC2018

Verifiche generali sul software

Nella presente Relazione di calcolo è stato riportato il dimensionamento delle paratie in esame eseguito mediante l'uso del codice di calcolo agli Elementi Finiti Phase2 edito dalla RocScience.

Nel presente capitolo vengono esposti i criteri di accettabilità dei risultati secondo quanto richiesto dal Par. 10.2 delle NTC 2018.

Il codice di calcolo utilizzato è stato realizzato da una delle più note società di ingegneria geotecnica nel mondo (RocScience) che nel tempo ha progressivamente migliorato il software Phase2 fino all'ultima release utilizzata dagli scriventi. Le validazioni del software sono ampiamente riportate nei manuali tecnici del programma scaricabili direttamente dal sito www.rocscience.com, a cui si può accedere per verificare direttamente tale documentazione ufficiale.

Verifiche sui modelli di calcolo

Di seguito si riportano alcune grandezze desunte dal programma che si possono ritenere analoghe ad un calcolo manuale. Ci si riferisce per semplicità alla Sezione 1 e 4, considerando la combinazione di carico 1 (Comb. A1+M1+R1), ma le conclusioni possono essere estese anche alle altre sezioni di calcolo.

Di seguito si confrontano i valori delle pressioni della spinta attiva agente sulla paratia a monte e della spinta passiva a valle con i valori calcolati manualmente secondo le classiche formule della geotecnica.

Trattandosi di paratia vincolata sia in fase provvisoria, sia in fase definitiva, sono state considerate le spinte sia considerando il coefficiente di spinta attiva, sia considerando il coefficiente di spinta a riposo.

Spinta attiva

$$\sigma_A = \gamma \cdot z \cdot k_a - 2 \cdot c' \cdot \sqrt{k_a} + q \cdot k_a$$

Spinta a riposo

$$K_0 = 1 - \tan \phi'$$

Spinta passiva

$$\sigma_P = \gamma \cdot z \cdot k_p + 2 \cdot c' \cdot \sqrt{k_p}$$

Spinta dell'acqua

$$\sigma_w = \gamma_w \cdot (z_{w\text{-monte}} - z_{w\text{-valle}})$$

Considerando gli angoli di attrito di dei due livelli presenti in sito si hanno:

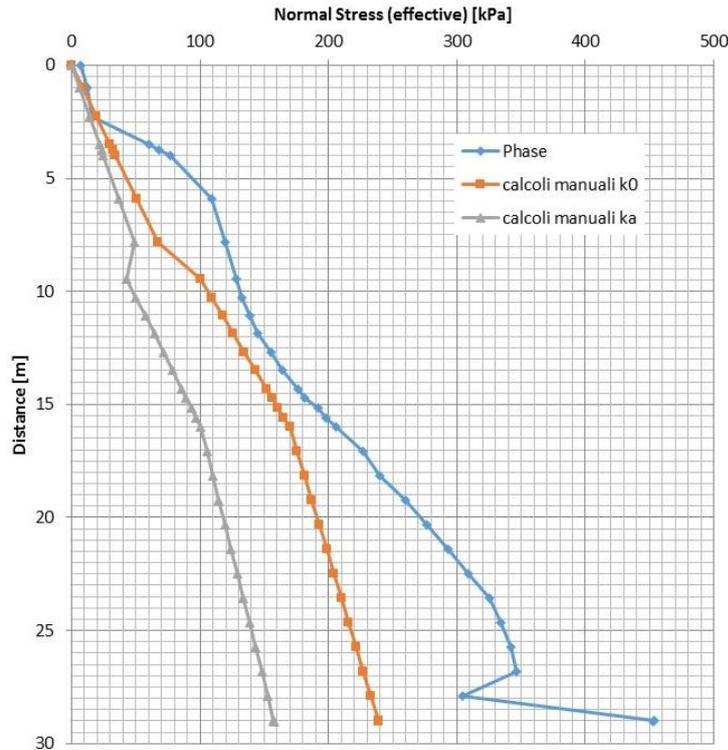
$$K_0 = 0.531 - 0.426$$

$$K_a = 0.31 - 0.438 \text{ (tiene conto dell'angolo del versante a monte pari a circa } 10^\circ)$$

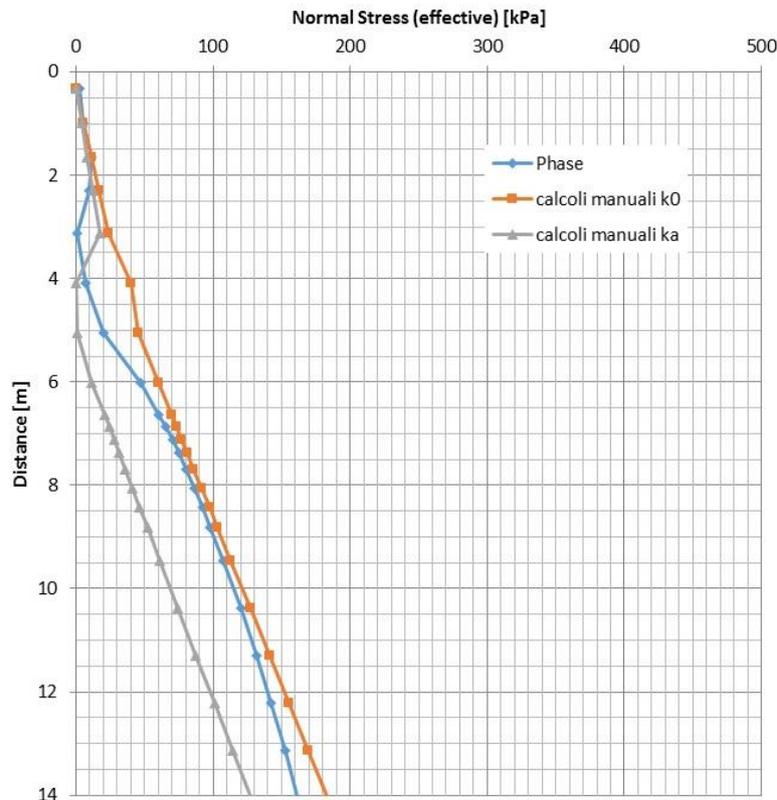
$$K_p = 4.2$$

Il grafico seguente confronta l'andamento della spinta agente sulla parete di monte calcolata dal software nello step di massimo scavo con i valori calcolati con le formule appena riportate nello stage di massimo scavo.

Nei calcoli è stato considerato un γ del terreno pari a 20 kN/m^3 .



Sezione 1 - Spinta totale a monte (lato attivo)



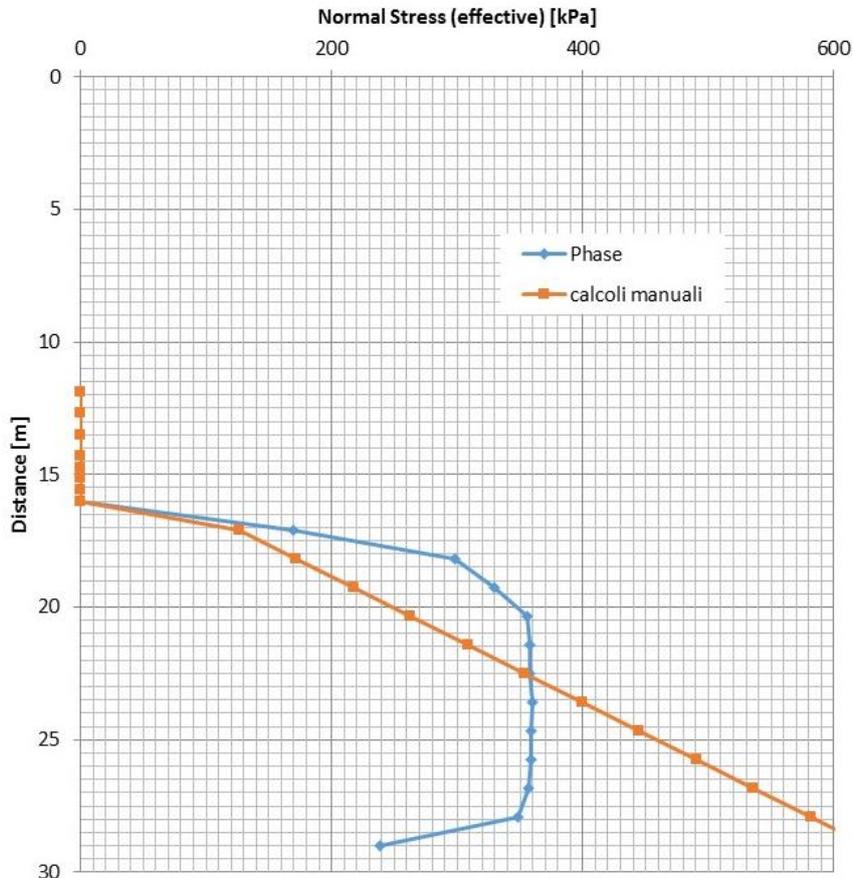
Sezione 4 - Spinta totale a monte (lato attivo) (comprensiva della spinta dell'acqua)

Come visibile nei grafici la spinta del modello di calcolo risulta maggiore rispetto alla teoria semplificata considerando la spinta attiva. Nel caso della Sezione 1, le fasi di lavoro che prevedono la realizzazione della soletta di sommità e successivamente lo scavo non

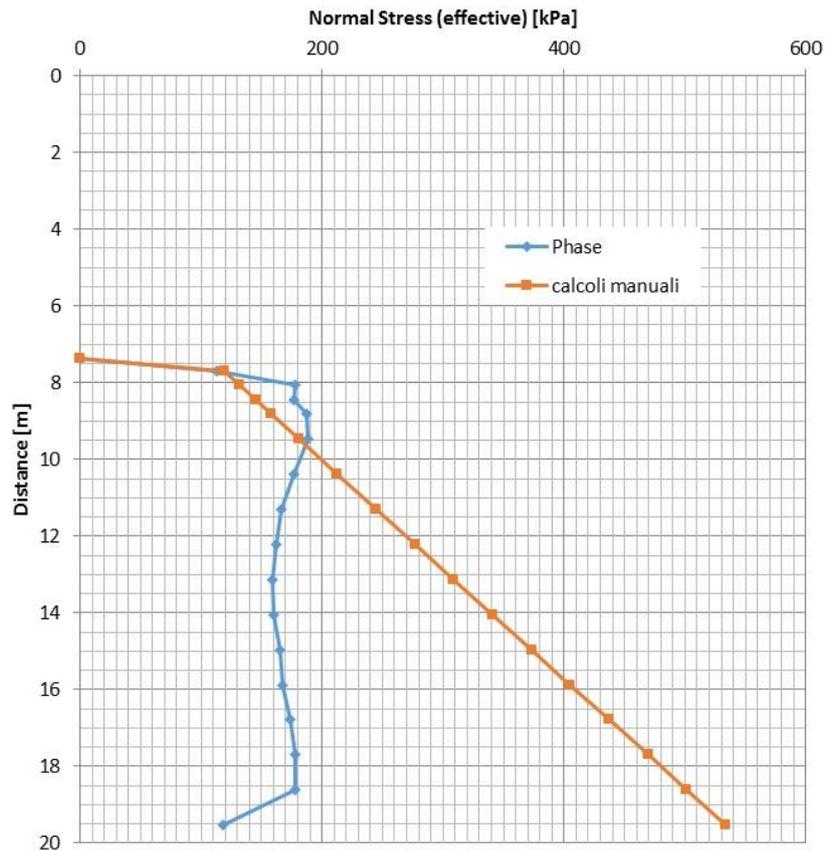
permette di sviluppare la spinta attiva ma la spinta risente della presenza dell'elemento di contrasto a circa -5m. Nel caso della Sezione 4 (diaframma a mensola), la curva della spinta risulta intermedia tra la spinta attiva e la spinta a riposo.

Tale situazione determina globalmente una spinta sulle paratie da monte cautelativa nei confronti del dimensionamento eseguito ma comunque in linea con le teorie classiche sulla base di quanto sopra riportato.

I grafici seguenti confrontano l'andamento della spinta passiva efficace mobilitata dalla paratia a valle nel software con l'andamento della spinta passiva calcolata con le formule sopra riportate.



Sezione 1 - Spinta totale a valle (lato passivo)



Sezione 4 - Spinta totale a valle (lato passivo)

Dai grafici sopra riportati si può notare come la spinta passiva mobilitata dalla paratia nel software sia sostanzialmente in linea con l'andamento teorico; nella parte superiore della curva, il software mobilita di poco una spinta maggiore rispetto al valore teorico (il coefficiente di spinta passiva adottato risulta comunque cautelativo), mentre oltre la profondità di 3-5 m da fondo scavo è inferiore in quanto l'andamento della curva di spinta passiva teorica è monotono crescente.

Alla luce di quanto appena riportato, quindi, i risultati ottenuti dal software utilizzato possono essere considerati accettabili e validati da calcoli semplificati.

11 VERIFICHE CAPACITÀ PORTANTE DIAFRAMMI

I diaframmi della Galleria devono sostenere il peso della soletta e dell'eventuale terreno soprastante: l'obiettivo del presente capitolo è quello di verificare la capacità portante verticale dei pali. Si tiene in considerazione il caso del diaframma centrale della Sezione 1 che rappresenta il caso più sfavorevole con maggiore peso delle solette curvilinee in c.a.

I diaframmi hanno un tratto fuori terra di circa 10 m ed un tratto completamente interrato di circa 20 m. I pesi a metro lineare fuori piano nella configurazione massima a cui sono soggetti i diaframmi sono:

1. Peso soletta su metà luce Carreggiata ovest: $3.7m \cdot 21.6/2m \cdot 25kN/m^3 = 1012 \text{ kN/m}$
2. Peso soletta su metà luce Carreggiata est: $3.3m \cdot 14.6/2m \cdot 25kN/m^3 = 600 \text{ kN/m}$
3. Peso diaframma fuori terra: $10m \cdot 1.5m \cdot 25kN/m^3 = 375 \text{ kN/m}$

Adottando la combinazione A1+M1+R3, che prevede un fattore sulle azioni dei pesi propri pari a 1.3, l'azione verticale di progetto massima risulta pari a

$$N_{d,diafr} = (1012 \text{ kN/m} + 600 \text{ kN/m} + 375 \text{ kN/m}) \cdot 1.3 = 2583 \text{ kN/m}$$

Nel seguito si riporta il calcolo della capacità portante dei pali a compressione considerando solo il tratto interrato di diaframma.

Calcolo capacità portante diaframmi sollecitati a compressione

La capacità portante di progetto del diaframma è fornita dalle seguenti espressioni:

$$R_d = \min\left(\frac{R_{c,cal-media}}{\xi_3}; \frac{R_{c,cal-min}}{\xi_4}\right)$$

$$R_d = R_{b,d} + R_{c,d} - W_{diafr-netto} \cdot \gamma_G = \frac{R_{c,cal-base}}{\gamma_b \cdot \xi} + \frac{R_{c,cal-lat}}{\gamma_s \cdot \xi} - W_{diafr-netto} \cdot \gamma_G$$

Con

$$R_{c,cal-base} = A_b \cdot q_{lim,base}$$

$$R_{c,cal-lat} = 2m \cdot \sum_1^n \tau_i \cdot h_i$$

Dove

| | | |
|--------------------|--|--------|
| R_d | Portata di progetto a compressione dei diaframmi | [kN/m] |
| $R_{b,d}, R_{c,d}$ | Portata di progetto di base e laterale dei diaframmi | [kN/m] |
| $R_{c,cal}$ | Portata di calcolo a compressione dei diaframmi | [kN/m] |
| $R_{c,cal-base}$ | Portata di base di calcolo | [kN/m] |

| | | |
|-----------------------------|---|--------|
| R c,cal-lat | Portata laterale lungo il fusto del palo di calcolo | [kN/m] |
| W diafr-netto | Peso proprio del diaframma efficace | [kN/m] |
| γ_b, γ_s | Coefficienti di sicurezza per la portata di base e laterale secondo NTC | [-] |
| A_b | Area di base del diaframma | [m] |
| 2m | Perimetro laterale del diaframma, pari a 2m | [m] |
| q_{lim,base} | Resistenza unitaria alla punta $\leq q_{\max,base}$ | [kPa] |
| τ_i | Aderenza unitaria laterale dello strato i-esimo | [kPa] |
| h_i | Spessore dello strato i-esimo a contatto con il palo, assunto pari a 0.25 m | [m] |

Il coefficiente parziale amplificativo del peso del palo γ_G , utilizzato nelle verifiche di capacità portante, è stato assunto pari ad 1.3 nella combinazione A1+M1+R3.

In funzione del numero di prove geognostiche ubicate nelle vicinanze dell'opera, si ricava il fattore di correlazione ricavato dalla tabella 6.4.IV delle N.T.C. 2018 risulta pari a 1.55 (valido per parametri medi) o a 1.42 (valido per parametri minimi): il secondo caso in fase non drenata risulta dimensionante. Le resistenze di calcolo sono state divise per tale fattore in modo da ottenere le resistenze caratteristiche.

Condizioni non drenate

$$\tau_i = \alpha \cdot c_{u-i}$$

$$q_{lim,base} = 9 \cdot c_u + \sigma_v$$

Condizioni drenate

$$\tau_i = \alpha \cdot c_i + k \cdot \sigma'_{v-i} \cdot \tan(\delta) \leq \tau_{lim}$$

$$q_{lim,base} = \sigma'_{v-base} \cdot N_q + c \cdot N_c \leq q_{b-lim}$$

dove:

| | | |
|-------------|---|-------|
| k | $1 - \sin(\phi) \leq 0.5$ | [-] |
| δ | 0.7ϕ | [°] |
| σ'_v | Sforzo verticale efficace lungo il fusto del palo | [kPa] |
| α | 0.5 | [-] |

La capacità portante unitaria di base in condizioni drenate è stata calcolata secondo stime reperibili in bibliografia per terreni simili a quelli in esame (tra cui Hansen, 1970). Nel caso in oggetto i parametri N_q e N_c assunti sono:

| ϕ (°) | Nc | Nq |
|------------|-------------|-------------|
| 5 | 7.3 | 1.6 |
| 10 | 9.6 | 2.7 |
| 15 | 12.9 | 4.4 |
| 20 | 17.7 | 7.4 |
| 25 | 25.1 | 12.7 |

| | | |
|-----------|-------------|-------------|
| 30 | 37.2 | 22.5 |
| 34 | 52.6 | 36.5 |

L'aderenza unitaria laterale e la portata unitaria di base vengono date dalle seguenti equazioni.

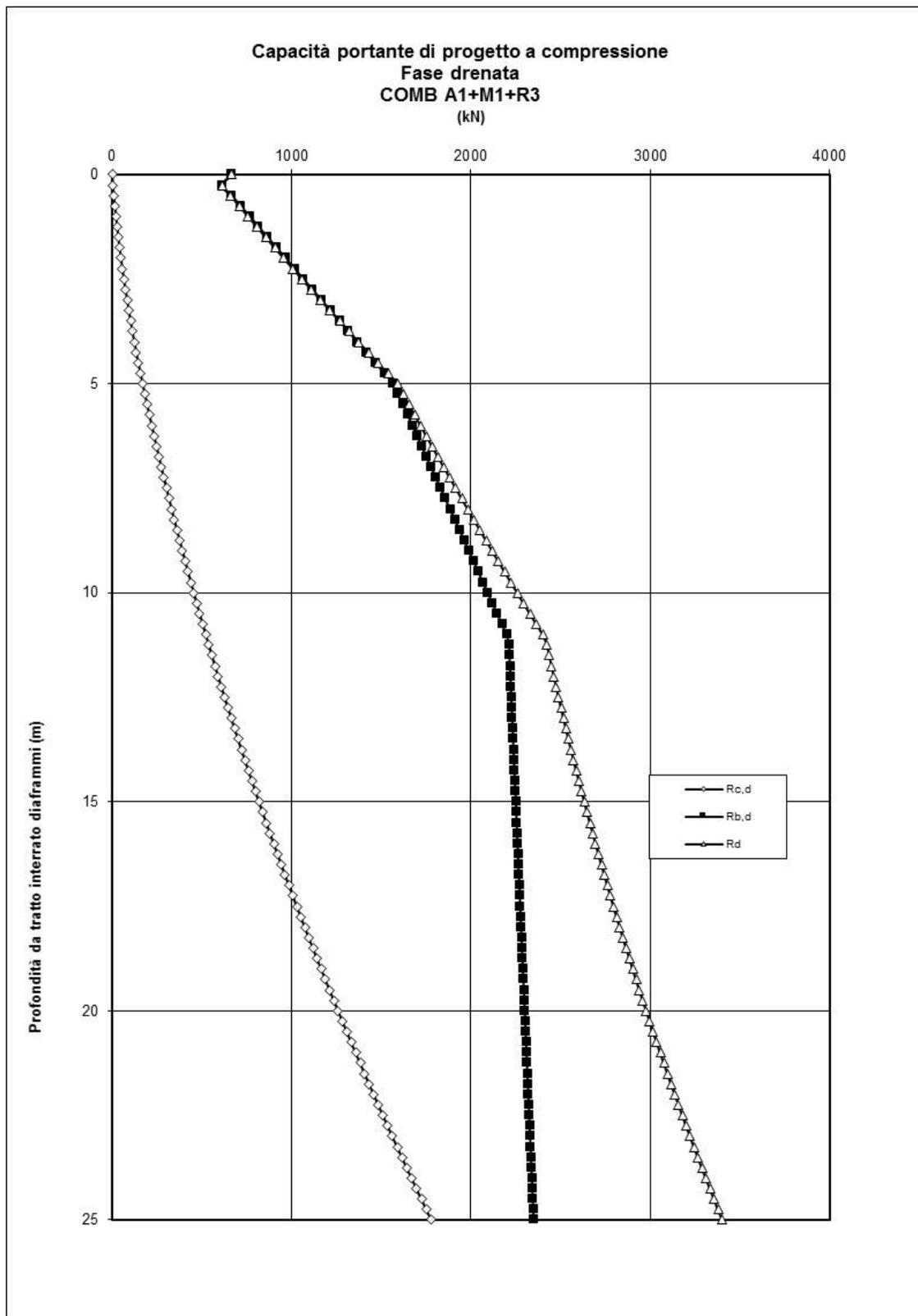
| Livello | Caso drenato | | Caso non drenato | |
|---------|--|--|--|--|
| | τ_{im} (kPa) | q_{b-lim} (kPa) | τ (kPa) | q_b (kPa) |
| FAA | 100 ($c=30\text{kPa}$ $f=28^\circ$ - parametri minimi) | 2800 ($c=30\text{kPa}$ $f=28^\circ$ - parametri minimi) | 75 ($\alpha=0.5$ $Cu=150$ kPa minimo) | 1350 ($Nc=9$ $Cu=150$ kPa (minimo) |

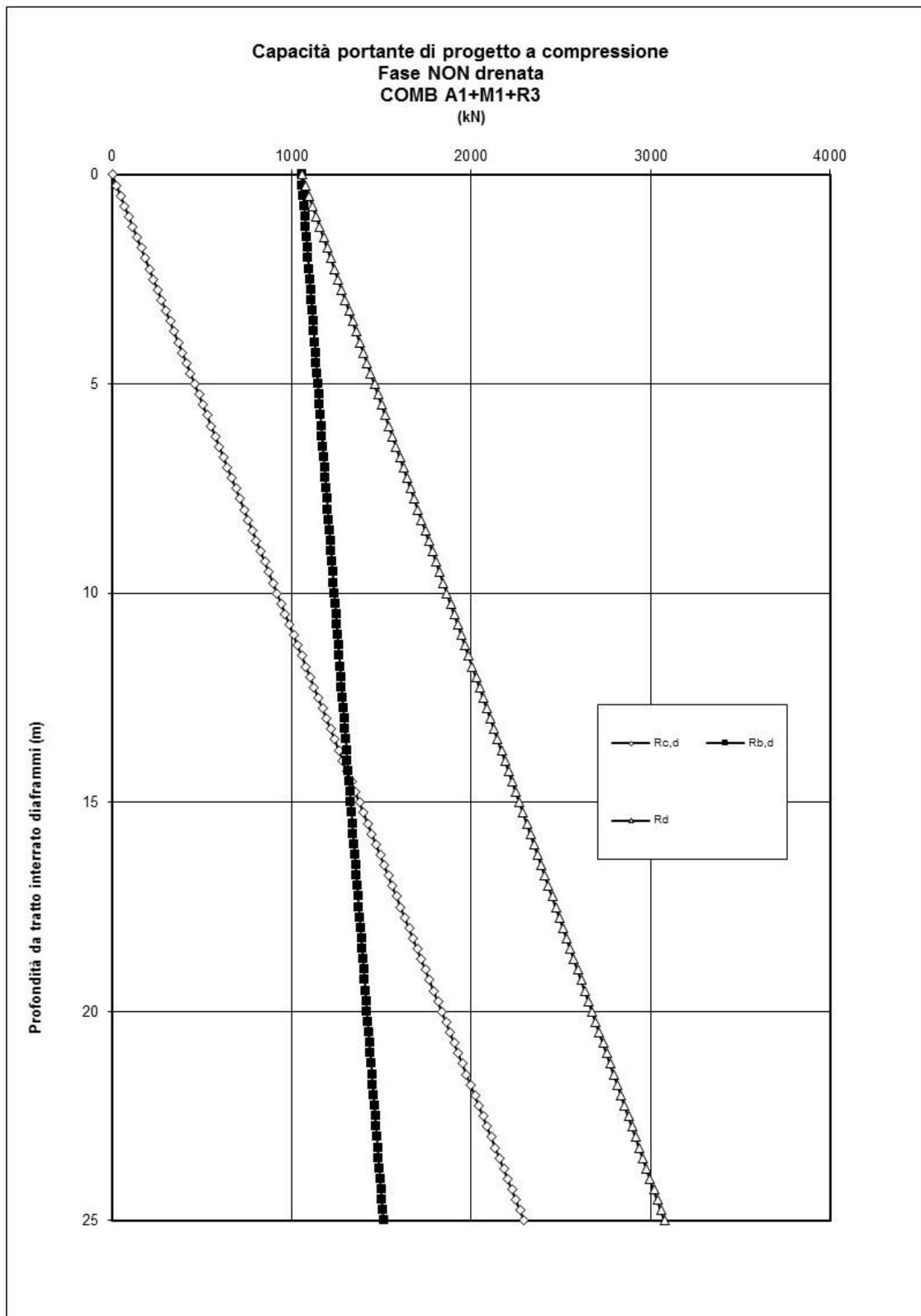
Parametri di portata unitari nel caso dimensionante (valori minimi)

In accordo alla normativa i fattori parziali sulle resistenze da adottare per la combinazione considerata, considerando pali di tipo trivellato sollecitati a compressione (Tabella 6.4.II delle NTC 2008):

| COMB | Simbolo (γ_R) | coefficiente parziale |
|----------|------------------------|---|
| A1+M1+R3 | γ_R | 1.15 (portata laterale) 1.35 (portata di base) |

I diagrammi seguenti mostrano l'andamento della capacità portante dei pali della paratia in fase drenata e non drenata: la quota '0' coincide con la parte interrata dei diaframmi in corrispondenza della livelletta stradale; si trascura a favore di sicurezza la presenza delle solette di fondo.





Considerando diaframmi immorsati nel terreno di circa 20 m, di seguito si riportano le verifiche di capacità portante verticale che risultano soddisfatte sia per la fase drenata, sia per la fase non drenata.

| Comb | Nd,diafr (kN) | Rd -drenata (kN) | Rd -non drenata (kN) | VERIFICA |
|-------------|----------------------|-------------------------|-----------------------------|-----------------|
| A1+M1+R3 | 2583 | 2978 | 2674 | Ok |

Pertanto, adottando una lunghezza complessiva dei diaframmi pari a 30 m, di cui circa 20 m di immersione nel substrato presente in sito (FAA), le verifiche di capacità portante risultano soddisfatte.