

ITINERARIO INTERNAZIONALE E78 S.G.C. GROSSETO – FANO
Tratto Selci Lama (E45) – S. Stefano di Gaifa
Adeguamento a 2 corsie della Galleria della Guinza (lotto 2)
e del tratto Guinza – Mercatello Ovest (lotto 3)
1° stralcio

PROGETTO ESECUTIVO

COD. AN58

PROGETTAZIONE:
RAGGRUPPAMENTO
TEMPORANEO PROGETTISTI

MANDATARIA:



MANDANTI:



sinergo

IL RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI
SPECIALISTICHE:

Ing. Riccardo Formichi – Società Pro Iter Srl
Ordine Ingegneri Provincia di Milano n. 18045

IL PROGETTISTA:

Ing. Alberto Rinaldi – Società Erre.vi.a. Srl
Ordine Ingegneri Provincia di Milano n. 16951

IL GEOLOGO:

Dott. Geol. Massimo Mezzanzanica – Società Pro Iter Srl
Albo Geol. Lombardia n. A762

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

Ing. Massimo Mangini – Società Erre.vi.a. Srl
Ordine Ingegneri Provincia di Varese n. 1502

VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO:

Dott. ing. Vincenzo Catone



PROTOCOLLO:

DATA:

07 - OPERE D'ARTE MINORI
07.06 - TO.01 - NUOVO TOMBINO SCATOLARE LATO UMBRIA

Relazione tecnica e di calcolo

| CODICE PROGETTO | | | NOME FILE | | REVISIONE | SCALA |
|-----------------|-------------|----------|-----------------------------|---------|------------|-----------|
| PROGETTO | LIV. PROG. | N. PROG. | T00TM01STRRE01A.pdf | | | |
| LO702M | E | 2101 | CODICE ELAB. T00TM01STRRE01 | | A | - |
| D | | | | | | |
| C | | | | | | |
| B | | | | | | |
| A | EMISSIONE | | FEBBRAIO 2023 | CASSANI | BONASIO | RINALDI |
| REV. | DESCRIZIONE | | DATA | REDATTO | VERIFICATO | APPROVATO |

TOMBINO CASALE

Relazione di calcolo

INDICE

| | | |
|-------|--|-----------|
| 1 | PREMESSE..... | 3 |
| 2 | DOCUMENTI DI RIFERIMENTO | 7 |
| 2.1 | Legislazione di carattere generale..... | 7 |
| 2.2 | Bibliografia..... | 7 |
| 3 | PROGRAMMI PER L'ANALISI AUTOMATICA | 8 |
| 4 | CARATTERISTICHE DEI MATERIALI..... | 9 |
| 4.1 | Calcestruzzo | 9 |
| 4.2 | Acciaio per armatura lenta | 9 |
| 5 | QUADRO GEOTECNICO DI RIFERIMENTO..... | 10 |
| 5.1 | Stratigrafia di progetto..... | 10 |
| 6 | AZIONE SISMICA DI PROGETTO | 11 |
| 6.1 | Forze sismiche considerate nella modellazione | 11 |
| 7 | CRITERI DI VERIFICA..... | 12 |
| 7.1 | Stato limite ultimo | 12 |
| 7.2 | Stato limite di esercizio..... | 13 |
| 7.3 | Verifiche geotecniche | 16 |
| 7.3.1 | <i>Verifiche di capacità portante</i> | <i>16</i> |
| 8 | COMBINAZIONI DI CARICO | 17 |
| 9 | ANALISI E VERIFICHE..... | 20 |
| 9.1 | Struttura scatolare | 20 |
| 9.2 | Analisi e verifica della Struttura a U – H massima 6.43 m..... | 37 |
| 9.3 | Analisi e verifica della Struttura a U – H massima 5.18 m..... | 48 |
| 9.4 | Analisi e verifica della Struttura a U – H massima 3.71 m..... | 59 |
| 10 | VERIFICHE DI CAPACITA' PORTANTE | 70 |

1 PREMESSE

La presente relazione di calcolo riporta e commenta i dati ed i risultati relativi alle analisi strutturali del tombino idraulico previsto nell'ambito dei lavori inerenti il progetto definitivo di "adeguamento a due corsie della Galleria della Guinza (Lotto 2°) e del Tratto Guinza - Mercatello Ovest (Lotto 3°)". L'intervento è localizzato tra le Regioni Umbria e Marche, nei Comuni di San Giustino (PG) e Mercatello sul Metauro (PU). Più dettagliatamente, il 2° Lotto comprende la Galleria della Guinza, mentre il 3° Lotto comprende tutte le opere dall'uscita della Guinza sul lato marchigiano, fino al termine dell'intervento. Oggetto della presente relazione di calcolo è il nuovo tombino scatolare posto all'ingresso della Galleria Lato Umbria

Nel seguito vengono descritte le caratteristiche generali dell'opera e vengono esposte le modalità di calcolo, i risultati delle analisi e le verifiche degli elementi strutturali.

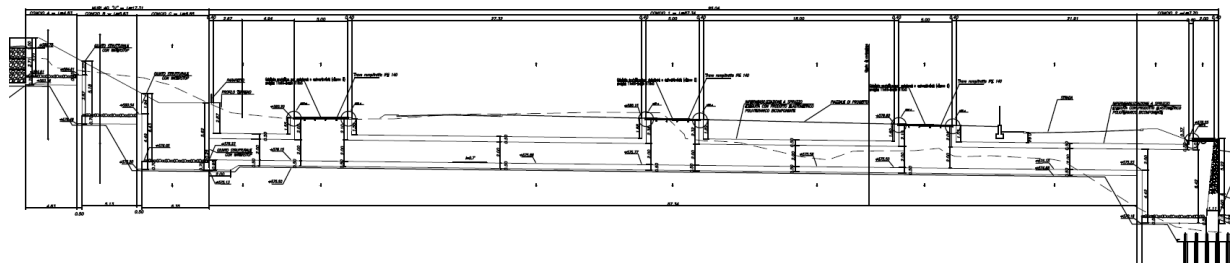
L'opera ha uno sviluppo di circa 112.35 m, dei quali i primi 17.30 m a sezione trasversale a U, mentre la rimanente parte a sezione scatolare chusa di dimensioni interne 3.00 mx2.00 m, con quattro accessi con torretta chiusa da grigliato carrabile.

Si riportano di seguito alcuni schemi indicativi della geometria dell'opera in oggetto, rimandando agli elaborati grafici progettuali per i dettagli.

Pianta

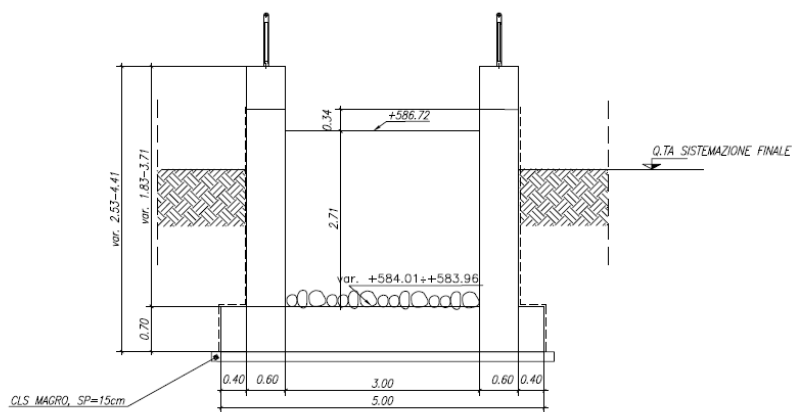


Sezione longitudinale

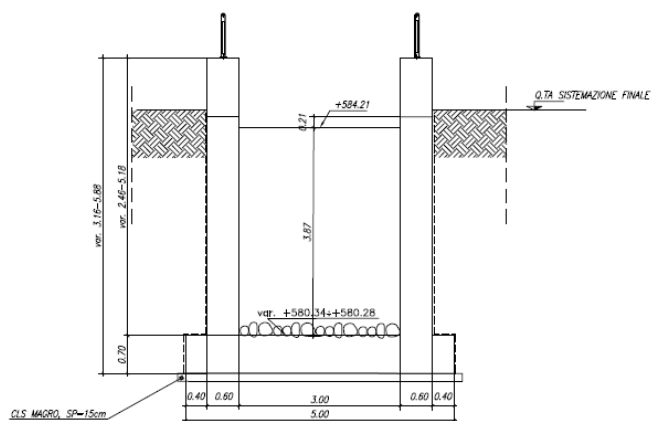


Sezioni trasversali a U

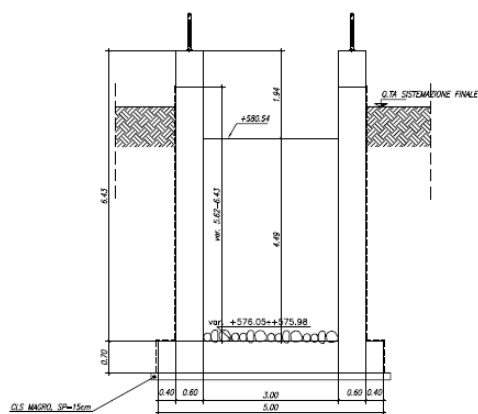
SEZIONE A-A
SCALA 1:50



SEZIONE B-B
SCALA 1:50

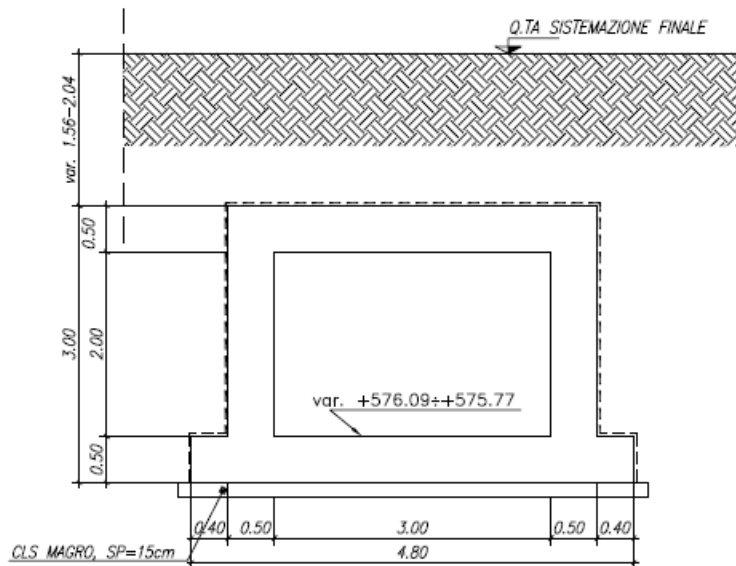


SEZIONE C-C
SCALA 1:50



Sezione scatolare

SEZIONE F-F
SCALA 1:50



L'opera è strutturalmente suddivisa mediante giunti waterstop in corrispondenza di cambi di geometria fra sezioni a U aventi piano di posa e geometria differenti a fra sezioni a U e scatolare chiuso. Si esegue un'analisi statica lineare dello scatolare su modelli piani composti da *elementi beam*, che descrivono in dettaglio sezioni rappresentative e i carichi ad esse applicati. L'analisi viene condotta tramite il software di calcolo SAP 2000 nello spirito del metodo *agli stati limite*.

2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Legislazione di carattere generale

Nella progettazione sono state prese in considerazione le normative di seguito riportate:

- Legge 5 novembre 1971, n. 1086 - Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato normale e precompresso ed a struttura metallica.
- Decreto del ministero dei Lavori Pubblici 9 gennaio 1996 - Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.
- Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici 15 Ottobre 1996, n. 252 AA.GG/STC -Istruzioni per l'applicazione delle «Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche» di cui al decreto ministeriale del 9 Gennaio 1996».
- Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici 16 gennaio 1996 – Norme tecniche relative ai «Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi.
- Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici 4 luglio 1996, n. 156 AA.GG/STC – Istruzioni per l'applicazione delle «Norme Tecniche relative ai Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi» di cui al decreto ministeriale 16 gennaio 1996.
- Legge 5 febbraio 1974, n. 64 - Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
- Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici 11 marzo 1988 - Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
- Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici 24 settembre 1988 – Norme Tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Istruzioni per l'applicazione.
- Decreto Ministero Infrastrutture 14 gennaio 2008 – Norme tecniche per le costruzioni.
- Circolare Ministero Infrastrutture 02 febbraio 2009 n.617 - Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008.
- Decreto Ministero Infrastrutture 17 gennaio 2018 – Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni.
- Circolare Ministero Infrastrutture 21 gennaio 2019 n.7 - Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 17 gennaio 2018.
- Eurocodici UNI EN 1990:2006; UNI EN 1991; UNI EN 1992; UNI EN 1997; UNI EN 1998.
- Calcestruzzo - specificazione, prestazione, produzione e conformità (UNI EN 206-1:2006).

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
- Bowles J.E. - Foundations Analysis and Design 4th edition - McGraw-Hill – New York, 1988
-

3 PROGRAMMI PER L'ANALISI AUTOMATICA

Sap2000 Advanced rel. 23.0 – Structural Analysis program

Computers and Structures, Inc. – Berkeley CA, USA

Programma di calcolo ad elementi finiti monodimensionali, bidimensionali e tridimensionali

RC-Sec

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

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.

Spettri di risposta ver. 1.0.3

Foglio Excel del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici per il calcolo degli spettri di risposta secondo le nuove NTC di cui al D.M. 14 gennaio 2008

4 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

4.1 Calcestruzzo

La classe di esposizione prevista per l'opera risulta XC2/XC4, per la quale è richiesta una classe di resistenza minima del calcestruzzo C30/37.

Il copriferro minimo prescritto è pari a 40 mm.

Calcestruzzo - Rif. UNI EN 1992 - 1 - 1 : 2005

| | | |
|---|----------------------|-------------|
| Resistenza caratteristica cubica | R_{ck} | 37 [MPa] |
| Resistenza caratteristica cilindrica | f_{ck} | 30 [MPa] |
| Coefficiente di sicurezza parziale per il calcestruzzo | γ_c | 1.5 [-] |
| Coefficiente che tiene conto degli effetti di lungo termine | α_{cc} | 0.85 [-] |
| Valore medio della resistenza a compressione cilindrica | f_{cm} | 38 [MPa] |
| Valore medio della resistenza a trazione assiale del calcestruzzo | f_{ctm} | 2.9 [MPa] |
| Valore caratteristico della resistenza a trazione assiale (frattile 5%) | $f_{ctk,0,05}$ | 2.0 [MPa] |
| Valore caratteristico della resistenza a trazione assiale (frattile 95%) | $f_{ctk,0,95}$ | 3.8 [MPa] |
| Modulo di elasticità secante del calcestruzzo | E_{cm} | 32837 [MPa] |
| Deformazione di contrazione nel calcestruzzo alla tensione f_c | ϵ_{c1} | 0.0020 [-] |
| Deformazione ultima di contrazione nel calcestruzzo | ϵ_{cu} | 0.0035 [-] |
| Resistenza di progetto a compressione del calcestruzzo | f_{cd} | 17.00 [MPa] |
| Resistenza di progetto a trazione del calcestruzzo | f_{ctd} | 1.35 [MPa] |
| Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica | $\sigma_{c,caratt.}$ | 18 [MPa] |
| Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione quasi permanente | $\sigma_{c,q.p.}$ | 13.5 [MPa] |

4.2 Acciaio per armatura lenta

Acciaio - Rif. UNI EN 1992 - 1 - 1 : 2005

| | | |
|---|-----------------|--------------|
| Resistenza a snervamento dell'acciaio | f_{yk} | 450 [MPa] |
| Coefficiente di sicurezza parziale per l'acciaio | γ_s | 1.15 [-] |
| Modulo di elasticità secante dell'acciaio | E_s | 200000 [MPa] |
| Deformazione a snervamento dell'acciaio | ϵ_{yd} | 0.001957 [-] |
| Deformazione ultima dell'acciaio | ϵ_{su} | 0.01 [-] |
| Resistenza di progetto a trazione dell'acciaio | f_{yd} | 391.3 [MPa] |
| Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS | σ_s | 360 [MPa] |

5 QUADRO GEOTECNICO DI RIFERIMENTO

5.1 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 assunti nei calcoli.

| | | | | | |
|---|------------------------------|------------------------------|------------------------------|--|------------------------------|
| Formazione Marnoso-Arenacea alterata "FMA alterata" | $\gamma = 21 \text{ KN/m}^3$ | $\gamma = 21 \text{ KN/m}^3$ | $\gamma = 21 \text{ KN/m}^3$ | $\gamma = 21 \text{ KN/m}^3$ | $\gamma = 21 \text{ KN/m}^3$ |
| | $c' = 100 \text{ KPa}$ | $c' = 100 \text{ KPa}$ | $c' = 100 \text{ KPa}$ | $c' = 100 \text{ KPa}$ | $c' = 100 \text{ KPa}$ |
| | $\phi' = 35^\circ$ | $\phi' = 35^\circ$ | $\phi' = 35^\circ$ | $\phi' = 35^\circ$ | $\phi' = 35^\circ$ |
| | - | - | - | - | - |
| | $\tau = 180 \text{ kPa}$ | $\tau = 180 \text{ kPa}$ | $\tau = 180 \text{ kPa}$ | $\tau = 500 \text{ kPa ver. sfiliamento}$ $\tau = 150 \text{ kPa ver. stabilit\`a}$ | - |
| Coltre detritica "dt" | $\gamma = 18 \text{ KN/m}^3$ | $\gamma = 18 \text{ KN/m}^3$ | $\gamma = 18 \text{ KN/m}^3$ | $\gamma = 18 \text{ KN/m}^3$ | $\gamma = 18 \text{ KN/m}^3$ |
| | $c' = 0 \text{ KPa}$ | $c' = 0 \text{ KPa}$ | $c' = 0 \text{ KPa}$ | $c' = 0 \text{ KPa}$ | $c' = 0 \text{ KPa}$ |
| | $\phi' = 30^\circ$ | $\phi' = 30^\circ$ | $\phi' = 30^\circ$ | $\phi' = 30^\circ$ | $\phi' = 30^\circ$ |
| | - | - | - | - | - |
| Rilevati e terreno di riempimento o di rinfiacco "r" | | $\gamma = 19 \text{ KN/m}^3$ | $\gamma = 19 \text{ KN/m}^3$ | $\gamma = 19 \text{ KN/m}^3$ | $\gamma = 19 \text{ KN/m}^3$ |
| | | $c' = 0 \text{ KPa}$ | $c' = 0 \text{ KPa}$ | $c' = 0 \text{ KPa}$ | $c' = 0 \text{ KPa}$ |
| | | $\phi' = 35^\circ$ | $\phi' = 35^\circ$ | $\phi' = 35^\circ$ | $\phi' = 35^\circ$ |
| | | - | - | - | - |

dove:

| | |
|------------|----------------------------|
| γ_n | peso di volume naturale |
| c' | coesione drenata |
| ϕ' | angolo di attrito efficace |

Nei calcoli successivi si assume inoltre:

$K_w = 25000 \text{ kN/m}^3$ coefficiente di sottofondo alla Winkler

Come analizzato nella Relazione Geotecnica, inoltre, in rapporto alla litostratigrafia marnoso-arenacea a prevalente componente pelitica, si esclude che le opere in progetto possano intercettare orizzonti idrici significativamente in rete.

6 AZIONE SISMICA DI PROGETTO

6.1 Forze sismiche considerate nella modellazione

In merito alle opere interrato di cui trattasi, rientrando tra le opere che si muovono con il terreno, si può ritenere che la struttura debba mantenere sotto l'azione sismica un comportamento elastico, senza subire amplificazione dell'accelerazione al suolo.

Il calcolo viene eseguito con il metodo pseudostatico, con cui l'azione sismica è rappresentata da un'azione statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico:

Sisma orizzontale

| | |
|--------------------------------------|--|
| Stato limite: | Salvaguardia della vita - SLU - SLV |
| Vita nominale | Vr=50 anni |
| Classe d'uso | Cu IV |
| Accelerazione orizzontale | ag/g = 0.288 |
| Amplificazione spettrale | Fo= 2.397 |
| Categoria sottosuolo(A, B, C, D, E): | B |
| Coeff. Amplificazione stratigrafica | Ss=1.124 |
| Coeff. Amplificazione topografica | St=1.2 |
| Coefficiente S | S =Ss · St = 1.349 |
| Accelerazione orizzontale max | amax/g =ag/g · S = 0.388 |
| Fattore di struttura | q=1.00 |
| Coefficiente sismico orizzontale | k _{sisma} =k ₀ +(kas-ka)=0.841 |

7 CRITERI DI VERIFICA

7.1 Stato limite ultimo

Verifica per sollecitazioni di presso/tenso-flessione

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.

Verifica per sollecitazione tagliante

Per la verifica a sollecitazione tagliante si esegue dapprima la verifica degli *elementi senza armature resistenti a taglio*.

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*

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 $1.0 \leq ctg \vartheta \leq 2.5$ |
| 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 $0 \leq \sigma_{cp} < 0.25 \cdot f_{cd}$ |
| | 1.25 per $0.25 f_{cd} \leq \sigma_{cp} \leq 0.5 \cdot f_{cd}$ |
| | $2.5 \cdot (1 - \sigma_{cp}/f_{cd})$ per $0.5 \cdot f_{cd} < \sigma_{cp} < f_{cd}$ |

7.2 Stato limite di esercizio

Le verifiche agli SLE si risolvono nel controllare che i valori di tensione nei materiali siano inferiori ai limiti di normativa

- Calcestruzzo compresso:
 - Combinazione rara $\sigma_c < 0.60 \times f_{ck}$ per cls R_{ck} 40 $\rightarrow \sigma_c < 19.92 \text{ N/mm}^2$
 - Combinazione quasi permanente $\sigma_c < 0.45 \times f_{ck}$ per cls R_{ck} 40 $\rightarrow \sigma_c < 14.94 \text{ N/mm}^2$
- Acciaio teso:
 - Combinazione rara $\sigma_s < 0.80 \times f_{yk}$ per acciaio B450 $\rightarrow \sigma_s < 360.0 \text{ N/mm}^2$

Prima di procedere alle verifiche a fessurazione è necessario definire delle apposite combinazioni di carico ed 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).

Si distinguono i seguenti casi :

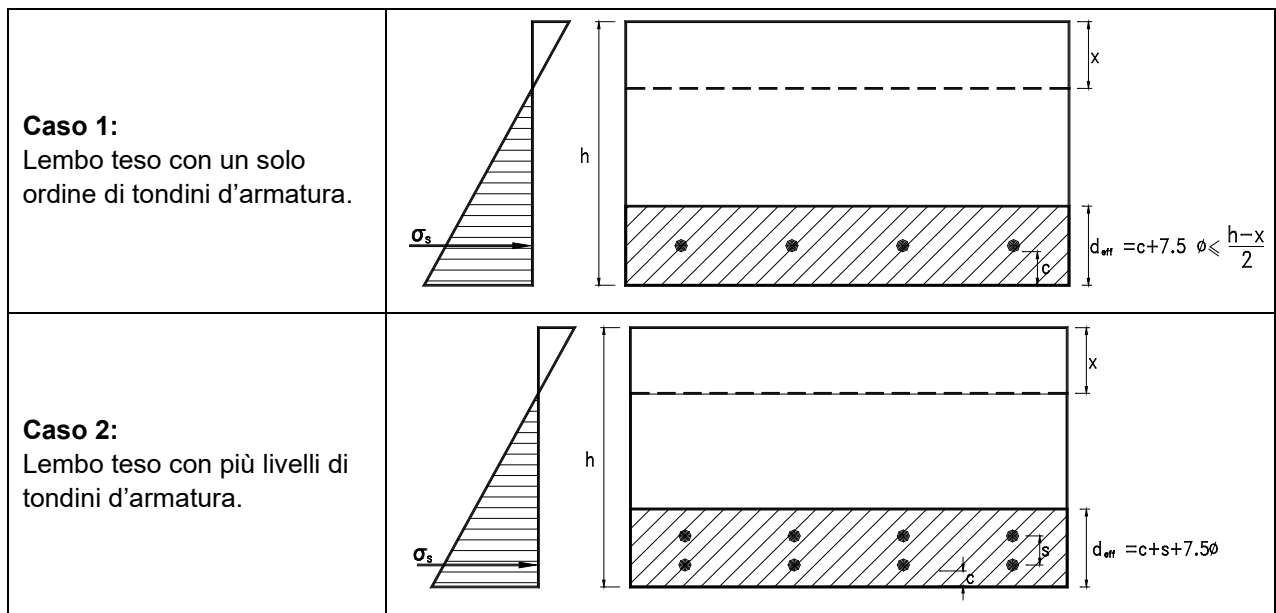
- Combinazioni di azioni:**
 - Frequente (indicata con FR);
 - Quasi Permanente (indicata con QP).
- Condizioni ambientali:**
 - Ordinarie;
 - Aggressive;
 - Molto Aggressive.
- Sensibilità delle armature alla corrosione:**
 - Sensibili (acciai da precompresso);
 - Poco sensibili (acciai ordinari).

Come criteri di scelta dello stato limite di fessurazione si fa riferimento alla tabella di seguito riportata.

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

Valutazione della distanza media tra le fessure

Si definisce l'area efficace A_{ceff} come l'area di calcestruzzo entro la quale la barra di acciaio può effettivamente influenzare l'apertura della fessura. In base alle indicazioni riportate nella Circ. Min. LL.PP. n°252, si definisce l'altezza efficace con riferimento agli schemi di seguito riportati.

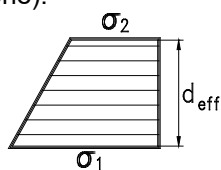


La distanza media tra le fessure, per la condizione di fessurazione stabilizzata in corrispondenza del livello baricentrico dell'armatura all'interno dell'area efficace, è data da:

$$\Delta_{sm} = 2 \cdot \left(c + \frac{s}{10} \right) + k_2 \cdot k_3 \cdot \frac{\phi}{\rho_r}$$

dove:

- c = ricoprimento dell'armatura (copriferro netto);
- s = distanza tra le barre d'armatura; se $s > 14 \cdot \phi$ si adotterà $s = 14 \cdot \phi$;
- ϕ = diametro della barra;
- k_2 = coefficiente che caratterizza l'aderenza del cls alla barra, a cui si assegnano i seguenti valori:
 - 0.4 per barre ad aderenza migliorata;
 - 0.8 per barre lisce.
- k_3 = coefficiente che tiene conto della forma del diagramma delle tensioni prima della fessurazione, in base al seguente prospetto:
 - 0.125 (caso di diagramma triangolare di flessione e pressoflessione);
 - 0.250 (caso di trazione pura);
 - $0.25 \cdot \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2 \cdot \sigma_1}$ (caso di trazione eccentrica o in cui si consideri una sola parte della sezione):



- σ_1, σ_2 = trazione nel cls teso;
- $\rho_r = A_s / A_{ceff}$ = rapporto geometrico d'armatura (con A_s = area della sezione di acciaio posta nell'area A_{ceff}).

Valutazione della deformazione media delle barre d'armatura

La deformazione media delle barre d'armatura ε_{sm} è valutata secondo la seguente espressione che tiene conto del contributo del calcestruzzo teso che la circonda:

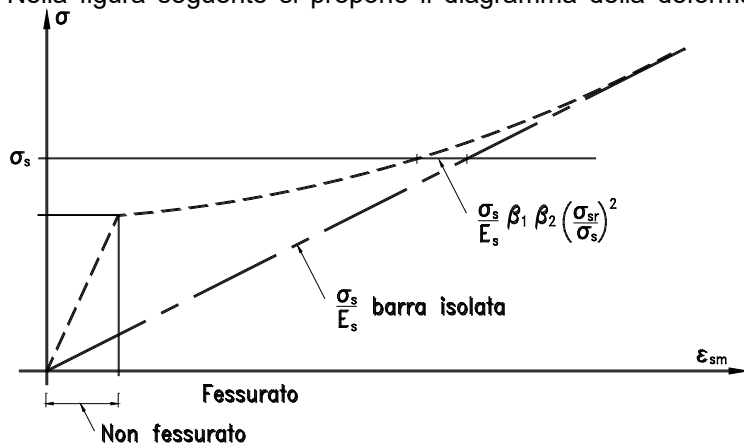
$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s}{E_s} \left[1 - \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right)^2 \right] \geq 0.4 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$$

dove:

- σ_s = tensione nell'acciaio calcolata nella sezione fessurata;
- σ_{sr} = tensione nell'acciaio calcolata nella sezione fessurata per la sollecitazione corrispondente al raggiungimento della resistenza media a trazione f_{ctm} nella fibra di cls più sollecitata in sezione interamente reagente, compresa nell'area efficace.
- β_1 = coefficiente rappresentativo dell'aderenza acciaio-cls, che assume i valori:
 - 1.0 (caso di barre ad aderenza migliorata);
 - 0.5 (caso di barre lisce).
- β_2 = coefficiente che tiene conto delle condizioni di sollecitazione:
 - 1.0 (caso della prima applicazione di una forza di breve durata);
 - 0.5 (caso di azioni di lunga durata o nel caso di azioni ripetute).
- E_s = modulo elastico dell'acciaio delle barre di armatura.

In pratica si tratta di trovare i valori dell'azione assiale N e del momento flettente M (che stiano nello stesso rapporto delle sollecitazioni della combinazione di carico considerata) che portano il calcestruzzo teso della sezione completamente reagente a lavorare al suo limite. Una volta valutati, si opera la verifica della sezione parzializzata e si ricava il valore dello sforzo nell'acciaio teso.

Nella figura seguente si propone il diagramma della deformazione ε_{sm} in funzione della tensione σ_s .



Andamento della deformazione ε_{sm} in funzione della tensione σ_s

Valutazione dell'ampiezza delle fessure (valore medio e valore di calcolo)

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

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

Si ricava quindi il valore di calcolo di apertura delle fessure, da confrontare con i valori nominali w_1 , w_2 e w_3 riportati precedentemente:

$$w_d = 1.7 \cdot w_m$$

7.3 Verifiche geotecniche

7.3.1 Verifiche di capacità portante

La capacità portata della fondazione è stata calcolata attraverso l'espressione proposta da Brinch-Hansen per le fondazioni superficiali. Il carico limite è fornito dalla seguente espressione:

$$q_{lim} = \frac{1}{2} \cdot \gamma' \cdot B \cdot N_{\gamma} \cdot s_{\gamma} \cdot i_{\gamma} + c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q$$

dove:

- γ' = peso specifico terreno di fondazione (sommerso, se in presenza di falda);
- B = larghezza equivalente della fondazione (in presenza di carichi eccentrici);
- c' = coesione del terreno di fondazione;
- q' = sovraccarico dovuto al peso del terreno posto sopra il livello di fondazione;
- N_{γ}, N_c, N_q = coefficienti di capacità portante;
- s_{γ}, s_c, s_q = coefficienti di forma;
- i_{γ}, i_c, i_q = coefficienti correttivi dovuti alla presenza di carichi orizzontali;
- d_c, d_q = coefficienti dipendenti dalla profondità del piano di posa.

Di seguito vengono riepilogate le espressioni utilizzate per determinare la larghezza equivalente della fondazione, l'entità sovraccarico e i valori dei diversi coefficienti.

- *Larghezza equivalente della fondazione:*

$$B = B_R - 2 \cdot \frac{M}{N}$$

dove:

- B_R = larghezza reale della fondazione;
- M = momento risultante sulla fondazione;
- N = azione perpendicolare al piano di posa sulla fondazione.

- *Sovraccarico dovuto al peso del terreno posto sopra il livello di fondazione:*

$$q' = \gamma_t \cdot D$$

dove:

- γ_t = peso del terreno di ricoprimento;
- D = profondità del piano di posa della fondazione.

- *Coefficienti di capacità portante:*

$$N_q = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\phi'}{2} \right) \cdot e^{\pi \cdot \operatorname{tg}(\phi')}$$
$$N_c = (N_q - 1) \cdot \operatorname{ctg}(\phi')$$
$$N_{\gamma} = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \operatorname{tg}(\phi')$$

dove: ϕ' = angolo di attrito del terreno di fondazione.

- *Coefficienti di forma (per $B < L$):*

$$s_{\gamma} = 1 + 0.1 \cdot \frac{B}{L} \cdot \frac{1 + \operatorname{sen}(\phi')}{1 - \operatorname{sen}(\phi')}$$
$$s_q = s_{\gamma}$$
$$s_c = 1 + 0.2 \cdot \frac{B}{L} \cdot \frac{1 + \operatorname{sen}(\phi')}{1 - \operatorname{sen}(\phi')}$$

dove:

- ϕ' = angolo di attrito del terreno di fondazione;
- B = larghezza equivalente della fondazione (definita in precedenza);

L = lunghezza della fondazione, cautelativamente assunta pari a 5·B per tutti i muri (fondazione nastriforme).

- *Coefficienti dipendenti dalla profondità del piano di posa:*

$$d_q = 1 + 2 \cdot \frac{D}{B} \cdot \operatorname{tg}(\phi') \cdot [1 - \operatorname{sen}(\phi')]^2 \quad \text{per } D/B \leq 1$$

$$d_q = 1 + 2 \cdot \operatorname{tg}(\phi') \cdot [1 - \operatorname{sen}(\phi')]^2 \cdot \operatorname{ctg}\left(\frac{D}{B}\right) \quad \text{per } D/B > 1$$

$$d_c = d_q - \frac{1 - d_q}{N_c \cdot \operatorname{tg}(\phi')}$$

dove: ϕ' = angolo di attrito del terreno di fondazione;
 B = larghezza equivalente della fondazione (definita in precedenza);
 D = profondità del piano di posa della fondazione;
 N_c = coefficiente di capacità portante (definito in precedenza).

- *Coefficienti correttivi dovuti alla presenza di carichi orizzontali:*

$$i_\gamma = \left[1 - \frac{H}{N + B \cdot L \cdot c' \cdot \operatorname{ctg}(\phi')} \right]^{(m+1)}$$

$$i_q = \left[1 - \frac{H}{N + B \cdot L \cdot c' \cdot \operatorname{ctg}(\phi')} \right]^m \quad \text{con: } m = \frac{2 + B/L}{1 + B/L}$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - d_q}{N_c \cdot \operatorname{tg}(\phi')}$$

dove: ϕ' = angolo di attrito del terreno di fondazione;
 c' = coesione del terreno di fondazione;
 B = larghezza equivalente della fondazione (definita in precedenza);
 L = lunghezza della fondazione;
 N = azione perpendicolare al piano di posa sulla fondazione;
 H = azione parallela al piano di posa sulla fondazione;
 N_c = coefficiente di capacità portante (definito in precedenza);
 d_q = coefficiente dipendente dalla profondità del piano di posa (definito in precedenza).

8 COMBINAZIONI DI CARICO

Nel seguito vengono illustrati i criteri cui si è fatto riferimento per la combinazione delle azioni elementari valutate secondo i criteri precedentemente illustrati.

Nella definizione della combinazione delle azioni che possono agire contemporaneamente, i termini Q_{kj} rappresentano le azioni variabili della combinazione, Q_{k1} l'azione variabile dominante e Q_{k2}, Q_{k3}, \dots le azioni variabili che possono agire contemporaneamente a quella dominante. Le azioni variabili Q_{kj} vengono combinate con i coefficienti di combinazione $\psi_{0j}, \psi_{1j}, \psi_{2j}$ variabili a seconda della tipologia d'azione e della tipologia di struttura esaminata.

Con riferimento alla durata percentuale relativa ai livelli d'intensità dell'azione variabile, si definiscono:

- 1) *valore quasi permanente* $\psi_{2j} \cdot Q_{kj}$: la media della distribuzione temporale dell'intensità;
- 2) *valore frequente* $\psi_{1j} \cdot Q_{kj}$: il valore corrispondente al frattile 95% della distribuzione temporale dell'intensità e cioè che è superato per una limitata frazione del periodo di riferimento
- 3) *valore raro* (o di combinazione) $\psi_{0j} \cdot Q_{kj}$: il valore di durata breve ma ancora significativa nei riguardi della possibile concomitanza con le altre azioni variabili.

Stati limite ultimi

Le combinazioni di carico prese in esame agli effetti delle verifiche agli SLU sono le seguenti:

Nel caso di carichi statici:

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \psi_{02} \cdot \gamma_{Q2} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot \gamma_{Q3} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Nel caso di carichi sismici:

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

Nel caso di combinazioni connesse ad azioni eccezionali di progetto si ha:

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \sum \psi_{2j} \cdot Q_{kj}$$

Si precisa che nelle relazioni sopra riportate il segno “+” indicata “*combinato con*”.

Nell’ambito delle verifiche agli stati limite ultimi si distinguono tre diverse famiglie e precisamente:

- lo stato limite di equilibrio come corpo rigido:

EQU

- lo stato limite di resistenza della struttura compresi gli elementi di fondazione: **STR**
- lo stato limite di resistenza della struttura compresi gli elementi di fondazione: **GEO**

Nella tabella seguente si riportano i valori dei coefficienti parziali per le azioni o per l’effetto delle azioni nelle verifiche agli stati limite ultimi (SLU).

| | | Coefficiente | EQU ¹⁾ | A1 | A2 |
|---|-------------|---|--------------------|--------------------|------|
| Azioni permanenti g_1 e g_3 | favorevoli | γ_{G1} e γ_{G3} | 0,90 | 1,00 | 1,00 |
| | sfavorevoli | | 1,10 | 1,35 | 1,00 |
| Azioni permanenti non strutturali ²⁾ g_2 | favorevoli | γ_{G2} | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | sfavorevoli | | 1,50 | 1,50 | 1,30 |
| Azioni variabili da traffico | favorevoli | γ_Q | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | sfavorevoli | | 1,35 | 1,35 | 1,15 |
| Azioni variabili | favorevoli | γ_{Qi} | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | sfavorevoli | | 1,50 | 1,50 | 1,30 |
| Distorsioni e presollecitazioni di progetto | favorevoli | γ_{d1} | 0,90 | 1,00 | 1,00 |
| | sfavorevoli | | 1,00 ³⁾ | 1,00 ⁴⁾ | 1,00 |
| Ritiro e viscosità, Cedimenti vincolari | favorevoli | $\gamma_{a1}, \gamma_{a2}, \gamma_{a4}$ | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | sfavorevoli | | 1,20 | 1,20 | 1,00 |

Stati limite di esercizio

Le combinazioni di carico prese in esame agli effetti delle verifiche agli SLE sono le seguenti:

a) *Comb. Rara:* $G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$

b) *Comb. Frequente:* $G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$

c) *Comb. Quasi permanente:* $G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$

Le combinazioni di carico SLE sono utilizzate per le analisi allo stato limite di esercizio, le combinazioni di carico SLE-QP e SLE-FR sono utilizzate per le analisi di fessurazione, mentre quelle SLU per le analisi allo stato limite ultimo e per le verifiche di capacità portante della fondazione.

9 ANALISI E VERIFICHE

9.1 Struttura scatolare

Si esegue un'analisi statica lineare dello scatolare su modello piano composto da *elementi beam* che descrivono in dettaglio la sezione oggetto di verifica.

Si tratta di sezione scatolare con luce netta interna 3.00 m *2.00 m e spessore pareti e soletta superiore e inferiore uguale a 0.50 m.

Il calcolo delle sollecitazioni è sviluppato utilizzando il programma di calcolo SAP2000 prodotto dalla Computers and Structures, Inc.

SAP2000 permette l'analisi di strutture tridimensionali con nodi a sei gradi di libertà utilizzando un solutore ad elementi finiti. Il software è caratterizzato da una potente interfaccia grafica di grande facilità d'uso e produttività, tramite la quale è possibile gestire la creazione del modello, l'esecuzione delle analisi e delle verifiche, l'ottimizzazione del progetto e la produzione degli output.

Il software possiede alcune sofisticate caratteristiche di base quali:

- Solutore veloce;
- Possibilità di definire carichi in termini di forze e spostamenti;
- Possibilità di definire elementi frame non prismatici, con geometrie integralmente definibili dall'utente mediante un apposito Section Designer;
- Possibilità di definire elementi di controvento in grado di lavorare unicamente in trazione;
- Possibilità di definire elementi shell molto accurati anche a più strati;
- Analisi modale di Eigen e di Ritz;
- Sistemi di coordinate multiple per geometrie inclinate;
- Svariate opzioni di vincolo interno ed esterno;
- Capacità di combinare insieme mesh definite separatamente;
- Molle 6x6 a rigidità completamente accoppiata;
- Capacità di combinare insieme o di involuppare all'interno di una singola esecuzione analisi dinamiche multiple.
- Possibilità di definire carichi mobili;
- Possibilità di definire elementi Link non lineari (Gap, Hook, isolatori, smorzatori, plastici multi-lineari);
- Possibilità di definire cerniere plastiche multi-lineari da utilizzare con gli elementi frame, funi, molle dipendenti dalla frequenza ed elementi shell multistrato non lineari.
- Possibilità di eseguire analisi statiche non lineari per geometria e materiali (Pushover);
- Possibilità di eseguire analisi time-history non lineari con sovrapposizione modale o integrazione diretta;
- Possibilità di eseguire analisi di instabilità (Buckling);

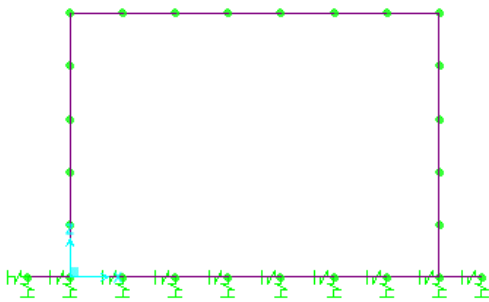
È possibile avere accesso a tutti i dati di SAP2000, incluse le informazioni sul modello, i risultati dell'analisi e i risultati delle verifiche, attraverso un archivio a struttura tabulare. I dati tabulari possono essere rappresentati e editati direttamente per mezzo dell'interfaccia grafica oppure esportati a un archivio Microsoft Access o a un foglio di lavoro Microsoft Excel o anche ad un semplice file di testo. È possibile utilizzare i dati così esportati per creare relazioni o per eseguire calcoli autonomi. Questi medesimi dati tabulari possono a loro volta essere creati autonomamente e quindi importati all'interno di SAP2000, consentendo così all'utente di generare o modificare i propri modelli all'esterno del programma stesso. Esiste inoltre la possibilità di scambiare dati con svariati altri programmi molto diffusi per il disegno e per il calcolo.

Il metodo degli elementi finiti può essere considerato una estensione al campo dei corpi elastici continui del metodo degli spostamenti, dove si realizza una approssimazione fisica della struttura mediante elementi (travi, aste ecc.), per i quali si possono definire in forma esatta le relazioni forze-spostamenti ai nodi. Per analogia, si sostituisce al corpo elastico continuo il modello ad elementi finiti e si riducono ai nodi le infinite connessioni presenti. L'elemento atto a riprodurre il comportamento fisico di una parte molto piccola del modello viene visualizzato come una sottoregione in cui definire a priori, in modo possibilmente semplice, l'andamento delle funzioni incognite rappresentate dalle componenti dello spostamento.

Le relazioni analitiche fra caratteristiche di deformazione, spostamenti, sollecitazioni e tensioni nei materiali sono regolate dalla teoria classica della Scienza delle Costruzioni.

Una volta acquisiti i dati, il software effettua una serie di controlli formali sulla correttezza dell'input (controllo di eventuali labilità del modello), calcola le rigidzze dei singoli elementi, assembla la matrice di rigidzza globale della struttura, costruisce il vettore dei carichi, risolve il sistema di equazioni lineari rappresentativo del problema e calcola le sollecitazioni negli elementi strutturali. I carichi vengono applicati alla struttura mediante una serie di condizioni elementari che poi l'utente può combinare a piacere in quelli che vengono chiamati Load Case, che il software utilizza nell'analisi della struttura. Le sollecitazioni utilizzate dal programma nella verifica/progetto delle sezioni (Load Combinations) sono a loro volta delle combinazioni lineari dei Load Case. Tali combinazioni possono essere definite dall'utente, ovvero in modo automatico dal software in funzione della normativa selezionata.

Si è analizzata una sezione scatolare con luce netta interna 3.00 m *2.00 m e spessore pareti e soletta superiore e inferiore uguale a 0.50 m.



ANALISI DEI CARICHI

CARICHI DOVUTI A PESO PROPRIO STRUTTURALE

Il peso proprio è valutato in ragione di 25.0 kN/m³ ed è computato automaticamente dal programma di calcolo.

CARICHI SULLA SOLETTA DI COPERTURA

Sulla soletta di copertura si considera un ricoprimento di spessore $r = 2.00$ m

$$P_{\text{terr}} = 2.0 \text{ m} \times 21 \text{ KN/m}^3 = 42 \text{ KN/m}^2$$

E il peso della pavimentazione stradale, valutato in

$$P_{\text{perm_pavimentazione}} = 0.10 \text{ m} \times 24 \text{ KN/m}^3 = 2.4 \text{ KN/m}^2$$

Vengono inoltre considerati i carichi dovuti a traffico stradale, considerando un ricoprimento medio fino alla linea mediana della soletta superiore.

In particolare si ha:

$$Q_{\text{acc-sup}} = \frac{2 \cdot Q_{1k}}{B_l \cdot B_t} + q_{1k}$$

con: $B_l = 1.60 + 2 \cdot [H_{\text{ric}} + s_{\text{sol}} / 2]$

dove: B_l = lunghezza di diffusione in longitudinale (rispetto alla colonna di carico);
 B_t = lunghezza di diffusione in trasversale (rispetto alla colonna di carico);
 H_{ric} = spessore del ricoprimento;
 s_{sol} = spessore della soletta superiore;
 α = angolo di diffusione del carico nel ricoprimento (rispetto alla verticale);
 β = angolo di diffusione del carico nella soletta di cls (rispetto alla verticale).

$$Q_1 = 2 \cdot 300 / (6.10 \cdot 3.00) = 32.80 \text{ kN/m}^2, \quad q_1 = 9.00 \text{ kN/m}^2$$

Sulla soletta di copertura è stata inoltre introdotta la forza di frenatura causata dal traffico .

Tale forza viene calcolata tenendo conto della larghezza di diffusione trasversale; si assume:

$$F = 35.31 \text{ KN/m}^2$$

Il carico viene applicato in direzione parallela al traffico veicolare, nella zona di impronta interessata

SPINTA ORIZZONTALE SUI PIEDRITTI

Si valuta la spinta in base all'assunzione del terreno di ricoprimento avente proprietà meccaniche assunte a favore id sicurezza con i seguenti valori caratteristici:

– peso caratteristico per unità di volume: $\gamma_k = 21.0 \text{ kN/m}^3$
 – angolo caratteristico di attrito interno: $\phi_k = 35^\circ$

Si ha

$$k_0^{STR} = 1 - \sin \phi_d = 1 - \sin 35^\circ = 0.426$$

A livello della linea mediana della soletta superiore si ha:

$$p_{ts} = 20.13 \text{ kN/m}^2$$

A livello della linea mediana della soletta inferiore si ha:

$$p_{ts} = 42.49 \text{ kN/m}^2$$

Si considera infine la spinta orizzontale dovuta al sovraccarico verticale $q = 20.00 \text{ kN/m}^2$

$$P_{\text{hacc}} = 20.00 \text{ KN/m}^2 \times 0.426 = 8.52 \text{ KN/m}$$

VARIAZIONE TERMICA UNIFORME

Per lo scatolare in esame è stata considerata una variazione termica uniforme di $\pm 15^\circ\text{C}$ sulla soletta superiore; per il coefficiente di dilatazione termica si assume:

$$\alpha = 15 \times 10^{-6}$$

SALTO TERMICO FRA ESTRADOSSO E INTRADOSSO

Si ipotizza un salto termico pari a 5° fra estradosso ed intradosso della struttura, applicata alla soletta superiore.

Il valore introdotto nel calcolo è pari al gradiente termico di 5° calcolato sullo spessore dell'elemento.

AZIONI SISMICHE

E' stata inoltre considerata l'azione sismica, così come indicato al p.to 6 del presente documento.

RITIRO DELLA SOLETTA

Vengono considerati i fenomeni da ritiro del cls della soletta: in particolare si applica una variazione termica equivalente (ΔT_{ritiro}) tale da generare 1/3 della deformazione totale da ritiro (il coefficiente riduttivo è posto pari ad 1/3 poichè si considerano gli effetti a lungo termine). La forza termica equivalente viene considerata calcolata secondo la seguente formula:

$$\Delta T_{\text{ritiro}} = -\frac{\varepsilon_{cs}}{3 \cdot \alpha_t}$$

dove: α_t = coefficiente di dilatazione termica del cls (pari a 10×10^{-6}).
 ε_{cs} = deformazione totale da ritiro:

$$\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca}$$

con: ε_{cd} = deformazione per ritiro da essiccamento;
 ε_{ca} = deformazione per ritiro autogeno;

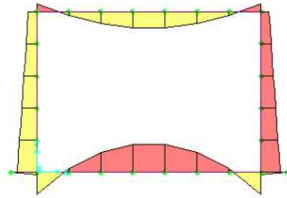
Considerando un'umidità relativa pari a 75%, nel modello di calcolo si considera pertanto il seguente valore di ΔT equivalente:

| | | |
|---|--------------|-----------|
| Variaz. uniforme di temperatura equival. (ΔT_{ritiro}) | 10.00 | °C |
|---|--------------|-----------|

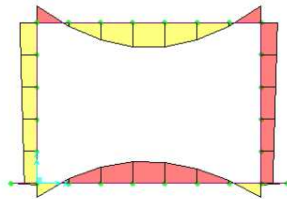
AZIONI SULLA STRUTTURA E VERIFICHE

A titolo indicativo si riportano di seguito alcuni diagrammi delle sollecitazioni indotte dai carichi elementari applicati

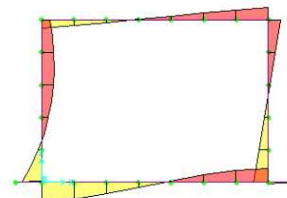
Peso proprio M_f



Traffico in copertura M_f



Spinta terreno su piedritto sx M_f



In accordo a quanto prescritto al § 10.2 delle NTC 2018 sono state effettuati controlli atti a verificare l'accettabilità dei risultati ottenuti, in termini di confronto fra azioni elementari e reazioni vincolari, oltre a comparazione fra i risultati delle analisi e quelli di valutazioni su schemi semplificati, ottenendo esito positivo e giudicando quindi positivamente i risultati ottenuti dall'analisi.

Le sollecitazioni di verifica, per le combinazioni più gravose, sono riportate qui di seguito:

SOLETTA SUPERIORE

SLU

M⁻max = -200 KNm/m (appoggio)
M⁺max = 145 KNm/m (campata)

Tmax = 225 KN/m

SLE_comb rara

M⁻max = - 150 KNm/m (appoggio)
M⁺max = 100 KNm/m (campata)

SLE_comb freq

M⁻max = - 122 KNm/m (appoggio)
M⁺max = 86 KNm/m (campata)

SLE_comb qp

M⁻max = -60 KNm/m (appoggio)
M⁺max = 56 KNm/m (campata)

Sisma

M⁻max = -60 KNm/m (appoggio)
M⁺max = 50 KNm/m (campata)

Tmax = 115 KN/m

La soletta superiore viene armata con barre $\Phi 18/20$ all'intradosso all'estradosso. Non sono necessarie armature a presidio dell'azione di taglio, come emerge dalle verifiche riportate qui di seguito.

L'armatura longitudinale è formata da barre $\Phi 12/20$ all'estradosso e all'intradosso.

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

Descrizione Sezione:

Metodo di calcolo resistenza: Stati Limite Ultimi

Normativa di riferimento: N.T.C.

Tipologia sezione: Sezione predefinita di trave (solette, nervature solai) senza staffe

Forma della sezione: Rettangolare

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: | C30/37 |
| | Resistenza compress. di progetto fcd: | 17.00 MPa |
| | Deform. unitaria max resistenza ec2: | 0.0020 |
| | Deformazione unitaria ultima ecu: | 0.0035 |
| | Diagramma tensioni-deformaz.: | Parabola-Rettangolo |
| | Modulo Elastico Normale Ec: | 32836.0 MPa |
| | Resis. media a trazione fctm: | 2.90 MPa |
| | Coeff.Omogen. S.L.E.: | 15.00 |
| | Sc limite S.L.E. comb. Rare: | 18.0 MPa |
| | Sc limite S.L.E. comb. Frequenti: | 18.0 MPa |
| | Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti: | 0.400 mm |
| | Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti: | 13.5 MPa |
| | Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.: | 0.300 mm |
| ACCIAIO - | Tipo: | B450C |
| | Resist. caratt. a snervamento fyk: | 450.0 MPa |
| | Resist. caratt. a rottura ftk: | 450.0 MPa |
| | Resist. a snerv. di progetto fyd: | 391.3 MPa |
| | Resist. ultima di progetto ftd: | 391.3 MPa |
| | Deform. ultima di progetto Epu: | 0.068 |
| | Modulo Elastico Ef: | 200000.0 MPa |
| | Diagramma tensioni-deformaz.: | Bilineare finito |
| | Coeff. Aderenza istant. $\beta_1*\beta_2$: | 1.00 |
| | Coeff. Aderenza differito $\beta_1*\beta_2$: | 0.50 |
| | Comb.Rare - Sf Limite: | 360.0 MPa |

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

| | | |
|--------------------------------|-------|-------------------------|
| Base: | 100.0 | cm |
| Altezza: | 50.0 | cm |
| Barre inferiori: | 5Ø18 | (12.7 cm ²) |
| Barre superiori: | 5Ø18 | (12.7 cm ²) |
| Coprif.Inf.(dal baric. barre): | 4.0 | cm |
| Coprif.Sup.(dal baric. barre): | 4.0 | cm |
| Coprif.Lat. (dal baric.barre): | 4.0 | cm |

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione
con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione
Vy Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale
MT Momento torcente [kN m]

| N°Comb. | N | Mx | Vy | MT |
|---------|------|---------|--------|------|
| 1 | 0.00 | -200.00 | 225.00 | 0.00 |
| 2 | 0.00 | 145.00 | 225.00 | 0.00 |
| 3 | 0.00 | -60.00 | 115.00 | 0.00 |
| 4 | 0.00 | 50.00 | 115.00 | 0.00 |

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

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

| N°Comb. | N | Mx |
|---------|------|---------|
| 1 | 0.00 | -150.00 |
| 2 | 0.00 | 100.00 |

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

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

| N°Comb. | N | Mx |
|---------|------|-------------------|
| 1 | 0.00 | -122.00 (-140.36) |
| 2 | 0.00 | 86.00 (140.36) |

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

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

| N°Comb. | N | Mx |
|---------|------|------------------|
| 1 | 0.00 | -60.00 (-140.36) |
| 2 | 0.00 | 56.00 (140.36) |

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)
Mx Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico
N Ult Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx rd Momento resistente ultimo [kNm] riferito all'asse x baricentrico
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N rd, Mx rd) e (N, Mx)
Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000
Yn Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez.
x/d Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC]
As Tesa Area armature long. trave [cm²] in zona tesa. (tra parentesi l'area minima di normativa)

| N°Comb | Ver | N | Mx | N rd | Mx rd | Mis.Sic. | Yn | x/d | C.Rid. | As Tesa |
|--------|-----|------|---------|-------|---------|----------|------|------|--------|---------|
| 1 | S | 0.00 | -200.00 | -0.27 | -221.66 | 1.108 | 3.8 | 0.08 | 0.70 | 25.4 |
| 2 | S | 0.00 | 145.00 | -0.27 | 221.66 | 1.529 | 46.2 | 0.08 | 0.70 | 25.4 |
| 3 | S | 0.00 | -60.00 | -0.27 | -221.66 | 3.694 | 3.8 | 0.08 | 0.70 | 25.4 |
| 4 | S | 0.00 | 50.00 | -0.27 | 221.66 | 4.433 | 46.2 | 0.08 | 0.70 | 25.4 |

DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione
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)
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 compressione)
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

| N°Comb | ec max | Yc max | es min | Ys min | es max | Ys max |
|--------|---------|--------|----------|--------|----------|--------|
| 1 | 0.00350 | 0.0 | -0.00014 | 4.0 | -0.03838 | 46.0 |
| 2 | 0.00350 | 50.0 | -0.00014 | 46.0 | -0.03838 | 4.0 |
| 3 | 0.00350 | 0.0 | -0.00014 | 4.0 | -0.03838 | 46.0 |
| 4 | 0.00350 | 50.0 | -0.00014 | 46.0 | -0.03838 | 4.0 |

VERIFICHE A TAGLIO SENZA ARMATURE TRASVERSALI (§ 4.1.2.1.3.1 NTC)

Ver S = comb.verificata a taglio/ N = comb. non verificata
Ved Taglio agente [daN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)
Vwct Taglio trazione resistente [kN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)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 | Ved | Vwct | d | bw | Ro | Scp |
|--------|-----|--------|--------|------|-------|--------|------|
| 1 | S | 225.00 | 233.64 | 46.0 | 100.0 | 0.0055 | 0.00 |
| 2 | S | 225.00 | 233.64 | 46.0 | 100.0 | 0.0055 | 0.00 |
| 3 | S | 115.00 | 233.64 | 46.0 | 100.0 | 0.0055 | 0.00 |
| 4 | S | 115.00 | 233.64 | 46.0 | 100.0 | 0.0055 | 0.00 |

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
 Sc max Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([MPa])
 Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
 Sc min Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([MPa])
 Yc min Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)
 Ss min Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [MPa]
 Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a Ss min (sistema rif. X,Y,O)
 Dw Eff. Spessore di calcestruzzo [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre
 Ac eff. Area di congl. [cm²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
 As eff. Area Barre tese di acciaio [cm²] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)
 D barre Distanza in cm tra le barre tese efficaci.
 (D barre = 0 indica spaziatura superiore a $5(c+\emptyset/2)$ e nel calcolo di fess. si usa la (C4.1.11)NTC/(7.14)EC2)

| N°Comb | Ver | Sc max | Yc max | Sc min | Yc min | Ss min | Ys min | Dw Eff. | Ac Eff. | As Eff. | D barre |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | S | 5.50 | 0.0 | 0.00 | 10.5 | -278.0 | 4.0 | 10.0 | 1000 | 12.7 | 0.0 |
| 2 | S | 3.66 | 50.0 | 0.00 | 39.5 | -185.3 | 46.0 | 10.0 | 1000 | 12.7 | 0.0 |

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver Esito verifica
 e1 Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata
 e2 Massima deformazione unitaria (compress.: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata
 e3 Deformazione unitaria al limite dell'area tesa efficace di calcestruzzo
 K2 = $(e1 + e3)/(2*e3)$ secondo la (7.13) dell'EC2 e la (C4.1.19)NTC
 Kt fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2
 e sm Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = 0.6 Ss/Es
 srm Distanza massima in mm tra le fessure
 wk Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite.
 M fess. Momento di prima fessurazione [kNm]

| N°Comb | Ver | e1 | e2 | e3 | K2 | Kt | e sm | srm | wk | M Fess. |
|--------|-----|----------|---------|----------|------|------|---------------------|-----|----------------|---------|
| 1 | S | -0.00155 | 0.00041 | -0.00116 | 0.87 | 0.60 | 0.000834 (0.000834) | 513 | 0.428 (990.00) | - |
| 140.36 | | | | | | | | | | |
| 2 | S | -0.00103 | 0.00027 | -0.00077 | 0.87 | 0.60 | 0.000556 (0.000556) | 513 | 0.285 (990.00) | - |
| 140.36 | | | | | | | | | | |

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

| N°Comb | Ver | Sc max | Yc max | Sc min | Yc min | Ss min | Ys min | Dw Eff. | Ac Eff. | As Eff. | D barre |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | S | 4.47 | 0.0 | 0.00 | 10.5 | -226.1 | 4.0 | 10.0 | 1000 | 12.7 | 0.0 |
| 2 | S | 3.15 | 50.0 | 0.00 | 39.5 | -159.4 | 46.0 | 10.0 | 1000 | 12.7 | 0.0 |

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

| N°Comb | Ver | e1 | e2 | e3 | K2 | Kt | e sm | srm | wk | M Fess. |
|--------|-----|----------|---------|----------|------|------|---------------------|-----|--------------|---------|
| 1 | S | -0.00126 | 0.00034 | -0.00094 | 0.87 | 0.60 | 0.000678 (0.000678) | 513 | 0.348 (0.40) | - |
| 140.36 | | | | | | | | | | |
| 2 | S | -0.00089 | 0.00024 | -0.00066 | 0.87 | 0.60 | 0.000478 (0.000478) | 513 | 0.245 (0.40) | - |
| 140.36 | | | | | | | | | | |

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

| N°Comb | Ver | Sc max | Yc max | Sc min | Yc min | Ss min | Ys min | Dw Eff. | Ac Eff. | As Eff. | D barre |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|------|------|------|------|--------|------|------|------|------|-----|
| 1 | S | 2.20 | 0.0 | 0.00 | 10.5 | -111.2 | 4.0 | 10.0 | 1000 | 12.7 | 0.0 |
| 2 | S | 2.05 | 50.0 | 0.00 | 39.5 | -103.8 | 46.0 | 10.0 | 1000 | 12.7 | 0.0 |

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

| N°Comb | Ver | e1 | e2 | e3 | K2 | Kt | e sm | srm | wk | M Fess. |
|--------|-----|----------|---------|----------|------|------|---------------------|-----|--------------|---------|
| 1 | S | -0.00062 | 0.00016 | -0.00046 | 0.87 | 0.40 | 0.000334 (0.000334) | 513 | 0.171 (0.30) | - |
| 140.36 | | | | | | | | | | |
| 2 | S | -0.00058 | 0.00015 | -0.00043 | 0.87 | 0.40 | 0.000311 (0.000311) | 513 | 0.160 (0.30) | - |
| 140.36 | | | | | | | | | | |

SOLETTA INFERIORE

SLU

M⁻max = 200 KNm/m (appoggio)

M⁺max = 195 KNm/m (campata)

Tmax = 230 KN/m

SLE_comb rara

M⁻max = 160 KNm/m (appoggio)

M⁺max = -132 KNm/m (campata)

SLE_comb freq

M⁻max = 125 KNm/m (appoggio)

M⁺max = -110 KNm/m (campata)

SLE_comb qp

M⁻max = 65 KNm/m (appoggio)

M⁺max = -76 KNm/m (campata)

Sisma

M⁻max = 75 KNm/m (appoggio)

M⁺max = 75 KNm/m (campata)

Tmax = 120 KN/m

La soletta inferiore viene armata con barre $\Phi 18/20$ all'intradosso all'estradosso. Non sono necessarie armature a presidio dell'azione di taglio, come emerge dalle verifiche riportate qui di seguito.

L'armatura longitudinale è formata da barre $\Phi 12/20$ all'estradosso e all'intradosso.

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: SCAT 3X2 SOLETTA INFERIORE

Descrizione Sezione:

Metodo di calcolo resistenza: Stati Limite Ultimi

Normativa di riferimento: N.T.C.

Tipologia sezione: Sezione predefinita di trave (solette, nervature solai) senza staffe

Forma della sezione: Rettangolare
 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: | C30/37 |
| | Resistenza compress. di progetto fcd: | 17.00 MPa |
| | Deform. unitaria max resistenza ec2: | 0.0020 |
| | Deformazione unitaria ultima ecu: | 0.0035 |
| | Diagramma tensioni-deformaz.: | Parabola-Rettangolo |
| | Modulo Elastico Normale Ec: | 32836.0 MPa |
| | Resis. media a trazione fctm: | 2.90 MPa |
| | Coeff.Omogen. S.L.E.: | 15.00 |
| | Sc limite S.L.E. comb. Rare: | 18.0 MPa |
| | Sc limite S.L.E. comb. Frequenti: | 18.0 MPa |
| | Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti: | 0.400 mm |
| | Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti: | 13.5 MPa |
| | Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.: | 0.300 mm |
| ACCIAIO - | Tipo: | B450C |
| | Resist. caratt. a snervamento fyk: | 450.0 MPa |
| | Resist. caratt. a rottura ftk: | 450.0 MPa |
| | Resist. a snerv. di progetto fyd: | 391.3 MPa |
| | Resist. ultima di progetto ftd: | 391.3 MPa |
| | Deform. ultima di progetto Epu: | 0.068 |
| | Modulo Elastico Ef: | 200000.0 MPa |
| | Diagramma tensioni-deformaz.: | Bilineare finito |
| | Coeff. Aderenza istant. $\beta_1*\beta_2$: | 1.00 |
| | Coeff. Aderenza differito $\beta_1*\beta_2$: | 0.50 |
| | Comb.Rare - Sf Limite: | 360.0 MPa |

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

| | | |
|--------------------------------|-------|-------------------------|
| Base: | 100.0 | cm |
| Altezza: | 50.0 | cm |
| Barre inferiori: | 5Ø18 | (12.7 cm ²) |
| Barre superiori: | 5Ø18 | (12.7 cm ²) |
| Coprif.Inf.(dal baric. barre): | 4.0 | cm |
| Coprif.Sup.(dal baric. barre): | 4.0 | cm |
| Coprif.Lat. (dal baric.barre): | 4.0 | cm |

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione
 Vy Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale
 MT Momento torcente [kN m]

| N°Comb. | N | Mx | Vy | MT |
|---------|------|---------|--------|------|
| 1 | 0.00 | 200.00 | 230.00 | 0.00 |
| 2 | 0.00 | -195.00 | 230.00 | 0.00 |
| 3 | 0.00 | 75.00 | 120.00 | 0.00 |
| 4 | 0.00 | -75.00 | 120.00 | 0.00 |

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

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
 Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

| N°Comb. | N | Mx |
|---------|------|---------|
| 1 | 0.00 | 160.00 |
| 2 | 0.00 | -132.00 |

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

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
 Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

| N°Comb. | N | Mx |
|---------|------|-------------------|
| 1 | 0.00 | 125.00 (140.36) |
| 2 | 0.00 | -110.00 (-140.36) |

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

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
 Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

| N°Comb. | N | Mx |
|---------|------|------------------|
| 1 | 0.00 | 65.00 (140.36) |
| 2 | 0.00 | -76.00 (-140.36) |

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
 N Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)
 Mx Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico
 N Ult Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.)
 Mx rd Momento resistente ultimo [kNm] riferito all'asse x baricentrico
 Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N rd, Mx rd) e (N, Mx)
 Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000
 Yn Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez.
 x/d Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
 C.Rid. Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC]
 As Tesa Area armature long. trave [cm²] in zona tesa. (tra parentesi l'area minima di normativa)

| N°Comb | Ver | N | Mx | N rd | Mx rd | Mis.Sic. | Yn | x/d | C.Rid. | As Tesa |
|--------|-----|------|---------|-------|---------|----------|------|------|--------|---------|
| 1 | S | 0.00 | 200.00 | -0.27 | 221.66 | 1.108 | 46.2 | 0.08 | 0.70 | 25.4 |
| 2 | S | 0.00 | -195.00 | -0.27 | -221.66 | 1.137 | 3.8 | 0.08 | 0.70 | 25.4 |
| 3 | S | 0.00 | 75.00 | -0.27 | 221.66 | 2.955 | 46.2 | 0.08 | 0.70 | 25.4 |
| 4 | S | 0.00 | -75.00 | -0.27 | -221.66 | 2.955 | 3.8 | 0.08 | 0.70 | 25.4 |

DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione
 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)
 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 compressione)
 Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

| N°Comb | ec max | Yc max | es min | Ys min | es max | Ys max |
|--------|---------|--------|----------|--------|----------|--------|
| 1 | 0.00350 | 50.0 | -0.00014 | 46.0 | -0.03838 | 4.0 |
| 2 | 0.00350 | 0.0 | -0.00014 | 4.0 | -0.03838 | 46.0 |
| 3 | 0.00350 | 50.0 | -0.00014 | 46.0 | -0.03838 | 4.0 |
| 4 | 0.00350 | 0.0 | -0.00014 | 4.0 | -0.03838 | 46.0 |

VERIFICHE A TAGLIO SENZA ARMATURE TRASVERSALI (§ 4.1.2.1.3.1 NTC)

| | |
|------|--|
| Ver | S = comb.verificata a taglio/ N = comb. non verificata |
| Ved | Taglio agente [daN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta) |
| Vwct | Taglio trazione resistente [kN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)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 | Ved | Vwct | d | bw | Ro | Scp |
|--------|-----|--------|--------|------|-------|--------|------|
| 1 | S | 230.00 | 233.64 | 46.0 | 100.0 | 0.0055 | 0.00 |
| 2 | S | 230.00 | 233.64 | 46.0 | 100.0 | 0.0055 | 0.00 |
| 3 | S | 120.00 | 233.64 | 46.0 | 100.0 | 0.0055 | 0.00 |
| 4 | S | 120.00 | 233.64 | 46.0 | 100.0 | 0.0055 | 0.00 |

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

| | |
|---------|--|
| Ver | S = combinazione verificata / N = combin. non verificata |
| Sc max | Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([MPa]) |
| Yc max | Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O) |
| Sc min | Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([MPa]) |
| Yc min | Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O) |
| Ss min | Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [MPa] |
| Ys min | Ordinata in cm della barra corrisp. a Ss min (sistema rif. X,Y,O) |
| Dw Eff. | Spessore di calcestruzzo [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre |
| Ac eff. | Area di congl. [cm ²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.) |
| As eff. | Area Barre tese di acciaio [cm ²] ricadente nell'area efficace(verifica fess.) |
| D barre | Distanza in cm tra le barre tese efficaci. (D barre = 0 indica spaziatura superiore a $5(c+\varnothing/2)$ e nel calcolo di fess. si usa la (C4.1.11)NTC/(7.14)EC2) |

| N°Comb | Ver | Sc max | Yc max | Sc min | Yc min | Ss min | Ys min | Dw Eff. | Ac Eff. | As Eff. | D barre |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | S | 5.86 | 50.0 | 0.00 | 39.5 | -296.6 | 46.0 | 10.0 | 1000 | 12.7 | 0.0 |
| 2 | S | 4.84 | 0.0 | 0.00 | 10.5 | -244.7 | 4.0 | 10.0 | 1000 | 12.7 | 0.0 |

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

| | |
|---------|---|
| Ver | Esito verifica |
| e1 | Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata |
| e2 | Massima deformazione unitaria (compress.: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata |
| e3 | Deformazione unitaria al limite dell'area tesa efficace di calcestruzzo |
| K2 | $= (e1 + e3)/(2*e3)$ secondo la (7.13) dell'EC2 e la (C4.1.19)NTC |
| Kt | fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2 |
| e sm | Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = 0.6 Ss/Es |
| srm | Distanza massima in mm tra le fessure |
| wk | Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite. |
| M fess. | Momento di prima fessurazione [kNm] |

| N°Comb | Ver | e1 | e2 | e3 | K2 | Kt | e sm | srm | wk | M Fess. |
|--------|-----|----------|---------|----------|------|------|---------------------|-----|----------------|---------|
| 1 | S | -0.00165 | 0.00044 | -0.00123 | 0.87 | 0.60 | 0.000890 (0.000890) | 513 | 0.457 (990.00) | |
| 140.36 | | | | | | | | | | |
| 2 | S | -0.00136 | 0.00036 | -0.00102 | 0.87 | 0.60 | 0.000734 (0.000734) | 513 | 0.377 (990.00) | - |
| 140.36 | | | | | | | | | | |

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

| N°Comb | Ver | Sc max | Yc max | Sc min | Yc min | Ss min | Ys min | Dw Eff. | Ac Eff. | As Eff. | D barre |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | S | 4.58 | 50.0 | 0.00 | 39.5 | -231.7 | 46.0 | 10.0 | 1000 | 12.7 | 0.0 |
| 2 | S | 4.03 | 0.0 | 0.00 | 10.5 | -203.9 | 4.0 | 10.0 | 1000 | 12.7 | 0.0 |

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

| N°Comb | Ver | e1 | e2 | e3 | K2 | Kt | e sm | srm | wk | M Fess. |
|--------|-----|----------|---------|----------|------|------|---------------------|-----|--------------|---------|
| 1 | S | -0.00129 | 0.00034 | -0.00096 | 0.87 | 0.60 | 0.000695 (0.000695) | 513 | 0.357 (0.40) | |
| 140.36 | | | | | | | | | | |
| 2 | S | -0.00113 | 0.00030 | -0.00085 | 0.87 | 0.60 | 0.000612 (0.000612) | 513 | 0.314 (0.40) | - |
| 140.36 | | | | | | | | | | |

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

| N°Comb | Ver | Sc max | Yc max | Sc min | Yc min | Ss min | Ys min | Dw Eff. | Ac Eff. | As Eff. | D barre |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | S | 2.38 | 50.0 | 0.00 | 39.5 | -120.5 | 46.0 | 10.0 | 1000 | 12.7 | 0.0 |
| 2 | S | 2.78 | 0.0 | 0.00 | 10.5 | -140.9 | 4.0 | 10.0 | 1000 | 12.7 | 0.0 |

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

| N°Comb | Ver | e1 | e2 | e3 | K2 | Kt | e sm | srm | wk | M Fess. |
|--------|-----|----------|---------|----------|------|------|---------------------|-----|--------------|---------|
| 1 | S | -0.00067 | 0.00018 | -0.00050 | 0.87 | 0.40 | 0.000361 (0.000361) | 513 | 0.186 (0.30) | |
| 140.36 | | | | | | | | | | |
| 2 | S | -0.00078 | 0.00021 | -0.00059 | 0.87 | 0.40 | 0.000423 (0.000423) | 513 | 0.217 (0.30) | - |
| 140.36 | | | | | | | | | | |

PIEDRITTI

SLU

Mmax+ = -240 KNm/m ; N = - 315 kN/m
Mmax- = 225 KNm/m ; N = - 310 kN/m

Tmax = 190 KN/m

SLE_comb rara

Mmax+ = -150 KNm/m ; N = - 220 kN/m
Mmax- = 170 KNm/m ; N = - 150 kN/m

SLE_comb freq

Mmax+ = 135 KNm/m ; N = - 150 kN/m
Mmax- = -120 KNm/m ; N = - 190 kN/m

SLE_comb qp

Mmax+ = 80 KNm/m ; N = - 130 kN/m

Sisma

Mmax+ 85 KNm/m ; N = - 120 kN/m

Tmax = 135 KN/m

La soletta inferiore viene armata con barre $\Phi 18/20$ su entrambi i lati. Non sono necessarie armature a presidio dell'azione di taglio, come emerge dalle verifiche riportate qui di seguito.

L'armatura longitudinale è formata da barre $\Phi 12/20$ su entrambi i lati.

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: SCAT 3X2 PIEDRITTI

Descrizione Sezione:
 Metodo di calcolo resistenza: Stati Limite Ultimi
 Normativa di riferimento: N.T.C.
 Tipologia sezione: Sezione predefinita di trave (solette, nervature solai) senza staffe
 Forma della sezione: Rettangolare
 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: | C30/37 | |
| | Resistenza compress. di progetto fcd: | 17.00 | MPa |
| | Deform. unitaria max resistenza ec2: | 0.0020 | |
| | Deformazione unitaria ultima ecu: | 0.0035 | |
| | Diagramma tensioni-deformaz.: | Parabola-Rettangolo | |
| | Modulo Elastico Normale Ec: | 32836.0 | MPa |
| | Resis. media a trazione fctm: | 2.90 | MPa |
| | Coeff.Omogen. S.L.E.: | 15.00 | |
| | Sc limite S.L.E. comb. Rare: | 18.0 | MPa |
| | Sc limite S.L.E. comb. Frequenti: | 18.0 | MPa |
| | Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti: | 0.400 | mm |
| | Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti: | 13.5 | MPa |
| | Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.: | 0.300 | mm |
| | ACCIAIO - | Tipo: | B450C |
| Resist. caratt. a snervamento fyk: | | 450.0 | MPa |
| Resist. caratt. a rottura ftk: | | 450.0 | MPa |
| Resist. a snerv. di progetto fyd: | | 391.3 | MPa |
| Resist. ultima di progetto ftd: | | 391.3 | MPa |
| Deform. ultima di progetto Epu: | | 0.068 | |
| Modulo Elastico Ef: | | 200000.0 | MPa |
| Diagramma tensioni-deformaz.: | | Bilineare finito | |
| Coeff. Aderenza istant. $\beta_1*\beta_2$: | | 1.00 | |
| Coeff. Aderenza differito $\beta_1*\beta_2$: | | 0.50 | |
| Comb.Rare - Sf Limite: | 360.0 | MPa | |

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

| | | |
|--------------------------------|-------|-------------------------|
| Base: | 100.0 | cm |
| Altezza: | 50.0 | cm |
| Barre inferiori: | 5Ø18 | (12.7 cm ²) |
| Barre superiori: | 5Ø18 | (12.7 cm ²) |
| Coprif.Inf.(dal baric. barre): | 4.0 | cm |
| Coprif.Sup.(dal baric. barre): | 4.0 | cm |
| Coprif.Lat. (dal baric.barre): | 4.0 | cm |

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione
 Vy Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale
 MT Momento torcente [kN m]

| N°Comb. | N | Mx | Vy | MT |
|---------|--------|---------|--------|------|
| 1 | 315.00 | -240.00 | 190.00 | 0.00 |
| 2 | 210.00 | 225.00 | 190.00 | 0.00 |
| 3 | 135.00 | 85.00 | 120.00 | 0.00 |

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

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
 Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

| N°Comb. | N | Mx |
|---------|---|----|
|---------|---|----|

| | | |
|---|--------|---------|
| 1 | 220.00 | -150.00 |
| 2 | 150.00 | 170.00 |

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

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

| N°Comb. | N | Mx |
|---------|--------|-------------------|
| 1 | 150.00 | 135.00 (155.94) |
| 2 | 190.00 | -120.00 (-163.66) |

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

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

| N°Comb. | N | Mx |
|---------|--------|----------------|
| 1 | 130.00 | 80.00 (164.38) |

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)
Mx Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico
N Ult Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx rd Momento resistente ultimo [kNm] riferito all'asse x baricentrico
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N rd, Mx rd) e (N, Mx)
Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000
Yn Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez.
x/d Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC]
As Tesa Area armature long. trave [cm²] in zona tesa. (tra parentesi l'area minima di normativa)

| N°Comb | Ver | N | Mx | N rd | Mx rd | Mis.Sic. | Yn | x/d | C.Rid. | As Tesa |
|--------|-----|--------|---------|--------|---------|----------|------|------|--------|------------|
| 1 | S | 315.00 | -240.00 | 315.27 | -288.43 | 1.202 | 4.8 | 0.10 | 0.70 | 12.7 (7.7) |
| 2 | S | 210.00 | 225.00 | 210.01 | 266.36 | 1.184 | 45.5 | 0.10 | 0.70 | 12.7 (7.7) |
| 3 | S | 135.00 | 85.00 | 134.83 | 250.40 | 2.946 | 45.8 | 0.09 | 0.70 | 12.7 (7.7) |

DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione
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)
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 compressione)
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

| N°Comb | ec max | Yc max | es min | Ys min | es max | Ys max |
|--------|---------|--------|---------|--------|----------|--------|
| 1 | 0.00350 | 0.0 | 0.00059 | 4.0 | -0.03002 | 46.0 |
| 2 | 0.00350 | 50.0 | 0.00039 | 46.0 | -0.03226 | 4.0 |
| 3 | 0.00350 | 50.0 | 0.00019 | 46.0 | -0.03454 | 4.0 |

VERIFICHE A TAGLIO SENZA ARMATURE TRASVERSALI (§ 4.1.2.1.3.1 NTC)

| | |
|------|--|
| Ver | S = comb.verificata a taglio/ N = comb. non verificata |
| Ved | Taglio agente [daN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta) |
| Vwct | Taglio trazione resistente [kN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)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 | Ved | Vwct | d | bw | Ro | Scp |
|--------|-----|--------|--------|------|-------|--------|------|
| 1 | S | 190.00 | 228.91 | 46.0 | 100.0 | 0.0028 | 0.06 |
| 2 | S | 190.00 | 214.42 | 46.0 | 100.0 | 0.0028 | 0.04 |
| 3 | S | 120.00 | 204.07 | 46.0 | 100.0 | 0.0028 | 0.03 |

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

| | |
|---------|--|
| Ver | S = combinazione verificata / N = combin. non verificata |
| Sc max | Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([MPa]) |
| Yc max | Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O) |
| Sc min | Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([MPa]) |
| Yc min | Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O) |
| Ss min | Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [MPa] |
| Ys min | Ordinata in cm della barra corrisp. a Ss min (sistema rif. X,Y,O) |
| Dw Eff. | Spessore di calcestruzzo [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre |
| Ac eff. | Area di congl. [cm ²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.) |
| As eff. | Area Barre tese di acciaio [cm ²] ricadente nell'area efficace(verifica fess.) |
| D barre | Distanza in cm tra le barre tese efficaci. (D barre = 0 indica spaziatura superiore a $5(c+\varnothing/2)$ e nel calcolo di fess. si usa la (C4.1.11)NTC/(7.14)EC2) |

| N°Comb | Ver | Sc max | Yc max | Sc min | Yc min | Ss min | Ys min | Dw Eff. | Ac Eff. | As Eff. | D barre |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | S | 5.71 | 0.0 | 0.00 | 13.9 | -198.8 | 4.0 | 10.0 | 1000 | 12.7 | 0.0 |
| 2 | S | 6.41 | 50.0 | 0.00 | 37.6 | -260.2 | 46.0 | 10.0 | 1000 | 12.7 | 0.0 |

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

| | |
|---------|---|
| Ver | Esito verifica |
| e1 | Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata |
| e2 | Massima deformazione unitaria (compress.: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata |
| e3 | Deformazione unitaria al limite dell'area tesa efficace di calcestruzzo |
| K2 | = $(e1 + e3)/(2 \cdot e3)$ secondo la (7.13) dell'EC2 e la (C4.1.19)NTC |
| Kt | fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2 |
| e sm | Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = $0.6 Ss/Es$ |
| srm | Distanza massima in mm tra le fessure |
| wk | Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite. |
| M fess. | Momento di prima fessurazione [kNm] |

| N°Comb | Ver | e1 | e2 | e3 | K2 | Kt | e sm | srm | wk | M Fess. |
|--------|-----|----------|---------|----------|------|------|---------------------|-----|----------------|---------|
| 1 | S | -0.00112 | 0.00043 | -0.00081 | 0.86 | 0.60 | 0.000596 (0.000596) | 470 | 0.280 (990.00) | - |
| 161.69 | | | | | | | | | | |
| 2 | S | -0.00146 | 0.00048 | -0.00107 | 0.87 | 0.60 | 0.000781 (0.000781) | 489 | 0.381 (990.00) | - |
| 152.46 | | | | | | | | | | |

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO-VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

| N°Comb | Ver | Sc max | Yc max | Sc min | Yc min | Ss min | Ys min | Dw Eff. | Ac Eff. | As Eff. | D barre |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | S | 5.12 | 50.0 | 0.00 | 37.0 | -195.7 | 46.0 | 10.0 | 1000 | 12.7 | 0.0 |
| 2 | S | 4.57 | 0.0 | 0.00 | 14.2 | -154.2 | 4.0 | 10.0 | 1000 | 12.7 | 0.0 |

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

| N°Comb | Ver | e1 | e2 | e3 | K2 | Kt | e sm | srm | wk | M Fess. |
|--------|-----|----------|---------|----------|------|------|---------------------|-----|--------------|---------|
| 1 | S | -0.00110 | 0.00038 | -0.00080 | 0.87 | 0.60 | 0.000587 (0.000587) | 482 | 0.283 (0.40) | - |
| 155.94 | | | | | | | | | | |
| 2 | S | -0.00087 | 0.00034 | -0.00063 | 0.86 | 0.60 | 0.000463 (0.000463) | 466 | 0.216 (0.40) | - |
| 163.66 | | | | | | | | | | |

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

| N°Comb | Ver | Sc max | Yc max | Sc min | Yc min | Ss min | Ys min | Dw Eff. | Ac Eff. | As Eff. | D barre |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | S | 3.05 | 50.0 | 0.00 | 35.7 | -101.7 | 46.0 | 10.0 | 1000 | 12.7 | 0.0 |

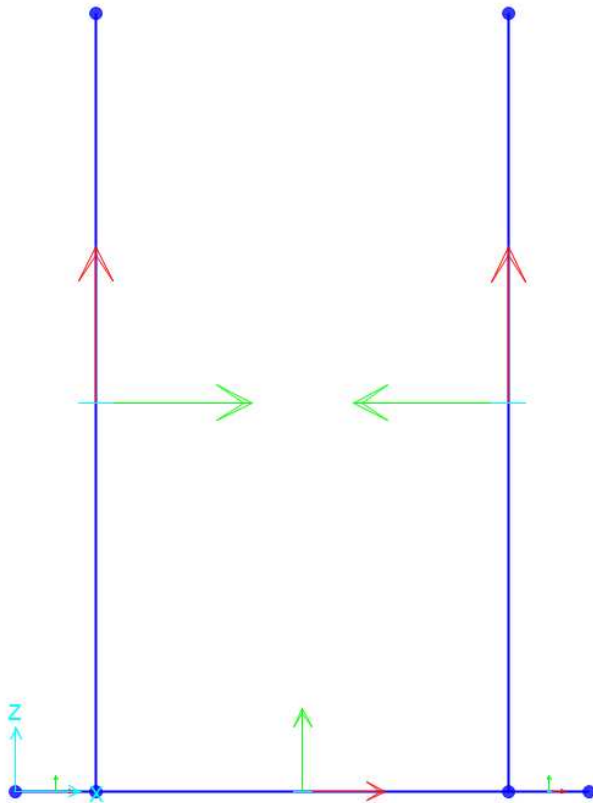
COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

| N°Comb | Ver | e1 | e2 | e3 | K2 | Kt | e sm | srm | wk | M Fess. |
|--------|-----|----------|---------|----------|------|------|---------------------|-----|--------------|---------|
| 1 | S | -0.00057 | 0.00023 | -0.00041 | 0.86 | 0.40 | 0.000305 (0.000305) | 465 | 0.142 (0.30) | 164.38 |

Le verifiche risultano soddisfatte

9.2 Analisi e verifica della Struttura a U – H massima 6.43 m

Si esegue un'analisi statica lineare dello scatolare su modello piano composto da *elementi beam* che descrivono in dettaglio la sezione oggetto di verifica. Il calcolo delle sollecitazioni è sviluppato utilizzando il programma di calcolo SAP2000 prodotto dalla Computers and Structures, Inc., le cui caratteristiche sono state descritte al § 9.



ANALISI DEI CARICHI

CARICHI DOVUTI A PESO PROPRIO STRUTTURALE

Il peso proprio è valutato in ragione di 25.0 kN/m³ ed è computato automaticamente dal programma di calcolo.

SPINTA ORIZZONTALE SUI PIEDRITTI

Si valuta la spinta in base all'assunzione del terreno di ricoprimento avente proprietà meccaniche con i seguenti valori caratteristici:

- peso caratteristico per unità di volume: $\gamma_k = 19.0 \text{ kN/m}^3$
- angolo caratteristico di attrito interno: $\phi_k = 35^\circ$

Si ha

$$k_0^{STR} = 1 - \sin \phi_d = 1 - \sin 35^\circ = 0.426$$

A livello degli estremi superiori del muro si ha:

$$p_{ts} = 0 \text{ kN/m}^2$$

A livello della linea mediana della soletta inferiore si ha:

$$p_{ts} = 51.45 \text{ kN/m}^2$$

Si considera infine la spinta orizzontale dovuta al sovraccarico verticale $q = 20.00 \text{ kN/m}^2$

$$P_{hacc} = 20.00 \text{ kN/m}^2 \times 0.426 = 8.52 \text{ kN/m}$$

AZIONI SISMICHE

E' stata inoltre considerata l'azione sismica, così come indicato al p.to 6.2 del presente documento

Sisma orizzontale

| | |
|--------------------------------------|-------------------------------------|
| Stato limite | Salvaguardia della vita - SLU - SLV |
| Vita nominale | $V_r = 50$ anni |
| Classe d'uso | Cu IV |
| Accelerazione orizzontale | $a_g/g = 0.288$ |
| Amplificazione spettrale | $F_o = 2.397$ |
| Categoria sottosuolo (A, B, C, D, E) | B |
| Coeff. Amplificazione stratigrafica | $S_s = 1.124$ |
| Coeff. Amplificazione topografica | $S_t = 1.2$ |
| Coefficiente S | $S = S_s \cdot S_t = 1.349$ |
| Accelerazione orizzontale max | $a_{max}/g = a_g/g \cdot S = 0.388$ |
| Fattore di struttura | $q = 1.00$ |

$$\text{Forza orizz. sui piedritti } FH_p = 0.388 \cdot (0.60 \cdot 25) / 1.00 = 5.83 \text{ kN/m}^2$$

Spinta sismica del terreno

$$\text{Coefficiente sismico orizzontale} \quad k_{sisma} = k_0 + (k_{as} - k_a) = 0.841$$

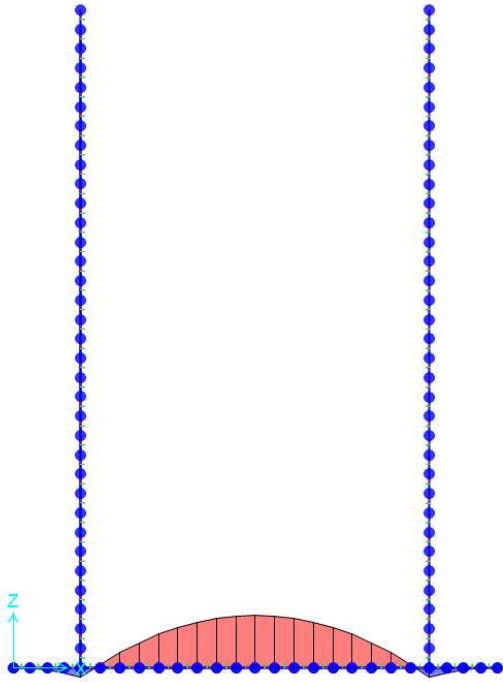
$$\text{Forza orizz. terreno} = k_{sisma} \cdot \gamma \cdot (H_{rint})^2 / 2 = 322.15 \text{ kN}$$

Applicato come carico triangolare distribuito con valore massimo nell'estremo inferiore con valore:
S base sisma terreno = 101.47 kN/m

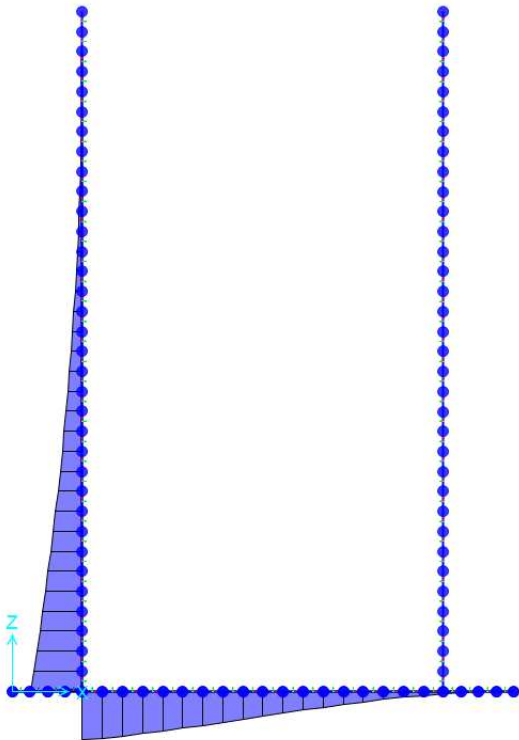
AZIONI SULLA STRUTTURA E VERIFICHE

A titolo indicativo si riportano di seguito alcuni diagrammi delle sollecitazioni indotte dai carichi elementari applicati

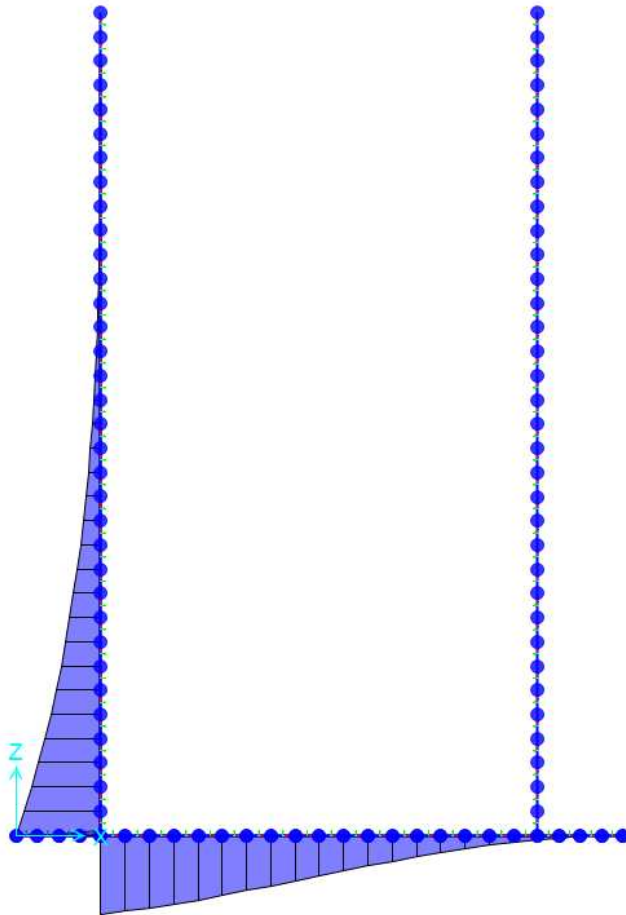
Peso proprio Mf



Carico accidentale su piedritto sx M_f



Spinta terreno su piedritto sx M_f



In accordo a quanto prescritto al § 10.2 delle NTC 2018 sono state effettuati controlli atti a verificare l'accettabilità dei risultati ottenuti, in termini di confronto fra azioni elementari e reazioni vincolari, oltre a comparazione fra i risultati delle analisi e quelli di valutazioni su schemi semplificati, ottenendo esito positivo e giudicando quindi positivamente i risultati ottenuti dall'analisi.

Le sollecitazioni di verifica, per le combinazioni più gravose, sono riportate qui di seguito:

SOLETTA INFERIORE

SLU

M_{max} = 758.1 KNm/m (appoggio)

T_{max} = 112.35 KN/m

SLE_comb rara

M_{max} = 523 KNm/m (appoggio)

SLE_comb freq

M_{max} = 480.8 KNm/m (appoggio)

SLE_comb qp

M_{max} = 386.9 KNm/m (appoggio)

SLV_sisma

M_{max} = 762.7 KNm/m (appoggio)

T_{max} = 256 KN/m

La soletta inferiore viene armata con barre $\Phi 26/10$ all'intradosso e con barre $\Phi 26/20$ all'estradosso. Non sono necessarie armature a presidio dell'azione di taglio, come emerge dalle verifiche riportate qui di seguito.

L'armatura longitudinale è formata da barre $\Phi 12/20$ all'estradosso e all'intradosso.

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: Soletta sp 0.7 SEZ C

| | |
|-------------------------------|--|
| Descrizione Sezione: | SEZ C |
| Metodo di calcolo resistenza: | Stati Limite Ultimi |
| Normativa di riferimento: | N.T.C. |
| Tipologia sezione: | Sezione predefinita di trave (solette, nervature solai) senza staffe |
| Forma della sezione: | Rettangolare |
| Percorso sollecitazione: | A Sforzo Norm. costante |
| Condizioni Ambientali: | Moderat. aggressive |
| Riferimento Sforzi assegnati: | Assi x,y principali d'inerzia |

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

| | | |
|--------------------------------------|---|---------------------|
| CALCESTRUZZO - | Classe: | C30/37 |
| | Resistenza compress. di progetto fcd: | 17.00 MPa |
| | Deform. unitaria max resistenza ec2: | 0.0020 |
| | Deformazione unitaria ultima ecu: | 0.0035 |
| | Diagramma tensioni-deformaz.: | Parabola-Rettangolo |
| | Modulo Elastico Normale Ec: | 32836.0 MPa |
| | Resis. media a trazione fctm: | 2.90 MPa |
| | Coeff.Omogen. S.L.E.: | 15.00 |
| | Sc limite S.L.E. comb. Rare: | 18.0 MPa |
| | Sc limite S.L.E. comb. Frequenti: | 18.0 MPa |
| | Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti: | 0.300 mm |
| | Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti: | 13.5 MPa |
| Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.: | 0.200 mm | |
| ACCIAIO - | Tipo: | B450C |
| | Resist. caratt. a snervamento fyk: | 450.0 MPa |
| | Resist. caratt. a rottura ftk: | 450.0 MPa |
| | Resist. a snerv. di progetto fyd: | 391.3 MPa |
| | Resist. ultima di progetto ftd: | 391.3 MPa |
| | Deform. ultima di progetto Epu: | 0.068 |
| | Modulo Elastico Ef: | 200000.0 MPa |
| | Diagramma tensioni-deformaz.: | Bilineare finito |
| | Coeff. Aderenza istant. $\beta 1 * \beta 2$: | 1.00 |
| | Coeff. Aderenza differito $\beta 1 * \beta 2$: | 0.50 |
| Comb.Rare - Sf Limite: | 360.0 MPa | |

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

| | | |
|--------------------------------|--------------|-------------------------|
| Base: | 100.0 | cm |
| Altezza: | 70.0 | cm |
| Barre inferiori: | 10 $\Phi 26$ | (53.1 cm ²) |
| Barre superiori: | 5 $\Phi 26$ | (26.5 cm ²) |
| Coprif.Inf.(dal baric. barre): | 5.3 | cm |
| Coprif.Sup.(dal baric. barre): | 5.3 | cm |
| Coprif.Lat. (dal baric.barre): | 5.0 | cm |

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione
 VY Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale
 MT Momento torcente [kN m]

| N°Comb. | N | Mx | Vy | MT |
|---------|------|--------|--------|------|
| 1 | 0.00 | 758.10 | 112.35 | 0.00 |
| 2 | 0.00 | 762.70 | 222.00 | 0.00 |
| 3 | 0.00 | 478.00 | 256.00 | 0.00 |

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

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
 Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

| N°Comb. | N | Mx |
|---------|------|--------|
| 1 | 0.00 | 523.00 |

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

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
 Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

| N°Comb. | N | Mx |
|---------|------|-----------------|
| 1 | 0.00 | 480.80 (336.61) |

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

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
 Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

| N°Comb. | N | Mx |
|---------|------|-----------------|
| 1 | 0.00 | 386.90 (336.61) |

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
 N Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)
 Mx Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico
 N Ult Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.)
 Mx rd Momento resistente ultimo [kNm] riferito all'asse x baricentrico
 Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N rd, Mx rd) e (N, Mx)
 Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000
 Yn Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez.
 x/d Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
 C.Rid. Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC]
 As Tesa Area armature long. trave [cm²] in zona tesa. (tra parentesi l'area minima di normativa)

| N°Comb | Ver | N | Mx | N rd | Mx rd | Mis.Sic. | Yn | x/d | C.Rid. | As Tesa |
|--------|-----|------|--------|-------|---------|----------|------|------|--------|-------------|
| 1 | S | 0.00 | 758.10 | -0.29 | 1252.31 | 1.652 | 60.7 | 0.14 | 0.70 | 53.1 (10.8) |
| 2 | S | 0.00 | 762.70 | -0.29 | 1252.31 | 1.642 | 60.7 | 0.14 | 0.70 | 53.1 (10.8) |
| 3 | S | 0.00 | 478.00 | -0.29 | 1252.31 | 2.620 | 60.7 | 0.14 | 0.70 | 53.1 (10.8) |

DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

| | |
|--------|--|
| ec max | Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione |
| 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) |
| 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 compressione) |
| Ys max | Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.) |

| N°Comb | ec max | Yc max | es min | Ys min | es max | Ys max |
|--------|---------|--------|---------|--------|----------|--------|
| 1 | 0.00350 | 70.0 | 0.00150 | 64.7 | -0.02086 | 5.3 |
| 2 | 0.00350 | 70.0 | 0.00150 | 64.7 | -0.02086 | 5.3 |
| 3 | 0.00350 | 70.0 | 0.00150 | 64.7 | -0.02086 | 5.3 |

VERIFICHE A TAGLIO SENZA ARMATURE TRASVERSALI (§ 4.1.2.1.3.1 NTC)

| | |
|------|--|
| Ver | S = comb.verificata a taglio/ N = comb. non verificata |
| Ved | Taglio agente [daN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta) |
| Vwct | Taglio trazione resistente [kN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)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 | Ved | Vwct | d | bw | Ro | Scp |
|--------|-----|--------|--------|------|-------|--------|------|
| 1 | S | 112.35 | 351.43 | 64.7 | 100.0 | 0.0082 | 0.00 |
| 2 | S | 222.00 | 351.43 | 64.7 | 100.0 | 0.0082 | 0.00 |
| 3 | S | 256.00 | 351.43 | 64.7 | 100.0 | 0.0082 | 0.00 |

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

| | |
|---------|--|
| Ver | S = combinazione verificata / N = combin. non verificata |
| Sc max | Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([MPa]) |
| Yc max | Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O) |
| Sc min | Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([MPa]) |
| Yc min | Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O) |
| Ss min | Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [MPa] |
| Ys min | Ordinata in cm della barra corrisp. a Ss min (sistema rif. X,Y,O) |
| Dw Eff. | Spessore di calcestruzzo [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre |
| Ac eff. | Area di congl. [cm ²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.) |
| As eff. | Area Barre tese di acciaio [cm ²] ricadente nell'area efficace(verifica fess.) |
| D barre | Distanza in cm tra le barre tese efficaci. (D barre = 0 indica spaziatura superiore a $5(c+\varnothing/2)$ e nel calcolo di fess. si usa la (C4.1.11)NTC/(7.14)EC2) |

| N°Comb | Ver | Sc max | Yc max | Sc min | Yc min | Ss min | Ys min | Dw Eff. | Ac Eff. | As Eff. | D barre |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | S | 6.26 | 70.0 | 0.00 | 47.1 | -171.2 | 64.7 | 13.3 | 1325 | 53.1 | 9.9 |

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

| | |
|---------|---|
| Ver | Esito verifica |
| e1 | Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata |
| e2 | Massima deformazione unitaria (compress.: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata |
| K2 | = 0.5 per flessione; $= (e1 + e2)/(2 * e2)$ in trazione eccentrica per la (7.13)EC2 e la (C4.1.11)NTC |
| Kt | fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2 |
| e sm | Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = 0.6 Ss/Es |
| srm | Distanza massima in mm tra le fessure |
| wk | Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite. |
| M fess. | Momento di prima fessurazione [kNm] |

| N°Comb | Ver | e1 | e2 | K2 | Kt | e sm | srm | wk | M Fess. |
|--------|-----|----------|---------|------|------|---------------------|-----|----------------|---------|
| 1 | S | -0.00096 | 0.00047 | 0.50 | 0.60 | 0.000586 (0.000513) | 246 | 0.144 (990.00) | |

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

| N°Comb | Ver | Sc max | Yc max | Sc min | Yc min | Ss min | Ys min | Dw Eff. | Ac Eff. | As Eff. | D barre |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|------|------|------|------|--------|------|------|------|------|-----|
| 1 | S | 5.75 | 70.0 | 0.00 | 47.1 | -157.3 | 64.7 | 13.3 | 1325 | 53.1 | 9.9 |
|---|---|------|------|------|------|--------|------|------|------|------|-----|

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

| N°Comb | Ver | e1 | e2 | K2 | Kt | e sm | srm | wk | M Fess. |
|--------|-----|----------|---------|------|------|---------------------|-----|--------------|---------|
| 1 | S | -0.00089 | 0.00043 | 0.50 | 0.60 | 0.000517 (0.000472) | 246 | 0.127 (0.30) | |

336.61

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

| N°Comb | Ver | Sc max | Yc max | Sc min | Yc min | Ss min | Ys min | Dw Eff. | Ac Eff. | As Eff. | D barre |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | S | 4.64 | 70.0 | 0.00 | 47.0 | -126.6 | 64.7 | 13.3 | 1325 | 53.1 | 9.9 |

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

| N°Comb | Ver | e1 | e2 | K2 | Kt | e sm | srm | wk | M Fess. |
|--------|-----|----------|---------|------|------|---------------------|-----|--------------|---------|
| 1 | S | -0.00071 | 0.00035 | 0.50 | 0.40 | 0.000453 (0.000380) | 246 | 0.112 (0.20) | |

336.61

PIEDRITTI

SLU

Mma = 751.1 KNm/m ; N = -133.2 kN/m

Tmax = 300.75 KN/m

SLE_comb rara

Mmax = 517.9 KNm/m ; N = - 98.6 kN/m

SLE_comb freq

Mmax= 479.9 KNm/m ; N = - 98.6 kN/m

SLE_comb qp

Mmax+ = 380.2 KNm/m ; N = - 98.6 kN/m

SLV_sisma

Mmax = 799.6 KNm/m ; N = - 98.6 kN/m

I piedritti viengono armati con barre $\Phi 26/10$ sul lato controterra e con barre $\Phi 26/20$ sull'altro lato. Non sono necessarie armature a presidio dell'azione di taglio, come emerge dalle verifiche riportate qui di seguito.

L'armatura longitudinale è formata da barre $\Phi 12/20$ su entrambi i lati.

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.
NOME SEZIONE: Parete sp 0.6 SEZ C BASE

| | |
|-------------------------------|--|
| Descrizione Sezione: | Parete sp 0.6 - SEZ C |
| Metodo di calcolo resistenza: | Stati Limite Ultimi |
| Normativa di riferimento: | N.T.C. |
| Tipologia sezione: | Sezione predefinita di trave (solette, nervature solai) senza staffe |
| Forma della sezione: | Rettangolare |
| Percorso sollecitazione: | A Sforzo Norm. costante |
| Condizioni Ambientali: | Moderat. aggressive |
| Riferimento Sforzi assegnati: | Assi x,y principali d'inerzia |

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

| | | |
|---|---|---------------------|
| CALCESTRUZZO - | Classe: | C30/37 |
| | Resistenza compress. di progetto fcd: | 17.00 MPa |
| | Deform. unitaria max resistenza ec2: | 0.0020 |
| | Deformazione unitaria ultima ecu: | 0.0035 |
| | Diagramma tensioni-deformaz.: | Parabola-Rettangolo |
| | Modulo Elastico Normale Ec: | 32836.0 MPa |
| | Resis. media a trazione fctm: | 2.90 MPa |
| | Coeff.Omogen. S.L.E.: | 15.00 |
| | Sc limite S.L.E. comb. Rare: | 18.0 MPa |
| | Sc limite S.L.E. comb. Frequenti: | 18.0 MPa |
| | Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti: | 0.300 mm |
| | Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti: | 13.5 MPa |
| | Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.: | 0.200 mm |
| | ACCIAIO - | Tipo: |
| Resist. caratt. a snervamento fyk: | | 450.0 MPa |
| Resist. caratt. a rottura ftk: | | 450.0 MPa |
| Resist. a snerv. di progetto fyd: | | 391.3 MPa |
| Resist. ultima di progetto ftd: | | 391.3 MPa |
| Deform. ultima di progetto Epu: | | 0.068 |
| Modulo Elastico Ef: | | 200000.0 MPa |
| Diagramma tensioni-deformaz.: | | Bilineare finito |
| Coeff. Aderenza istant. $\beta_1*\beta_2$: | | 1.00 |
| Coeff. Aderenza differito $\beta_1*\beta_2$: | | 0.50 |
| Comb.Rare - Sf Limite: | | 360.0 MPa |

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

| | | |
|--------------------------------|-------|-------------------------|
| Base: | 100.0 | cm |
| Altezza: | 60.0 | cm |
| Barre inferiori: | 10Ø26 | (53.1 cm ²) |
| Barre superiori: | 5Ø26 | (26.5 cm ²) |
| Coprif.Inf.(dal baric. barre): | 5.3 | cm |
| Coprif.Sup.(dal baric. barre): | 5.3 | cm |
| Coprif.Lat. (dal baric.barre): | 5.0 | cm |

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

| | |
|----|--|
| N | Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.) |
| Mx | Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione |
| Vy | Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale |
| MT | Momento torcente [kN m] |

| N°Comb. | N | Mx | Vy | MT |
|---------|--------|--------|--------|------|
| 1 | 133.00 | 751.10 | 300.75 | 0.00 |
| 2 | 98.70 | 799.60 | 321.80 | 0.00 |

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

| | |
|----|---|
| N | Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.) |
| Mx | Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione |

| N°Comb. | N | Mx |
|---------|-------|--------|
| 1 | 98.60 | 517.98 |

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

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

| N°Comb. | N | Mx |
|---------|-------|-----------------|
| 1 | 98.60 | 479.90 (260.57) |

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

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

| N°Comb. | N | Mx |
|---------|-------|-----------------|
| 1 | 98.60 | 380.20 (262.13) |

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)
Mx Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico
N Ult Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx rd Momento resistente ultimo [kNm] riferito all'asse x baricentrico
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N rd, Mx rd) e (N, Mx)
Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000
Yn Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X, Y, O sez.
x/d Rapp. di duttilità (travi e solette) [§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC]
As Tesa Area armature long. trave [cm²] in zona tesa. (tra parentesi l'area minima di normativa)

| N°Comb | Ver | N | Mx | N rd | Mx rd | Mis.Sic. | Yn | x/d | C.Rid. | As Tesa |
|--------|-----|--------|--------|--------|---------|----------|------|------|--------|------------|
| 1 | S | 133.00 | 751.10 | 132.87 | 1075.46 | 1.430 | 50.2 | 0.18 | 0.70 | 53.1 (9.2) |
| 2 | S | 98.70 | 799.60 | 98.73 | 1067.60 | 1.334 | 50.3 | 0.18 | 0.70 | 53.1 (9.2) |

DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione
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)
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 compressione)
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X, Y, O sez.)

| N°Comb | ec max | Yc max | es min | Ys min | es max | Ys max |
|--------|---------|--------|---------|--------|----------|--------|
| 1 | 0.00350 | 60.0 | 0.00161 | 54.7 | -0.01596 | 5.3 |
| 2 | 0.00350 | 60.0 | 0.00159 | 54.7 | -0.01625 | 5.3 |

VERIFICHE A TAGLIO SENZA ARMATURE TRASVERSALI (§ 4.1.2.1.3.1 NTC)

Ver S = comb.verificata a taglio/ N = comb. non verificata
Ved Taglio agente [daN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)
Vwct Taglio trazione resistente [kN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)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 | Ved | Vwct | d | bw | Ro | Scp |

| | | | | | | | |
|---|---|--------|--------|------|-------|--------|------|
| 1 | S | 300.75 | 342.24 | 54.7 | 100.0 | 0.0097 | 0.02 |
| 2 | S | 321.80 | 337.55 | 54.7 | 100.0 | 0.0097 | 0.02 |

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

| | |
|---------|--|
| Ver | S = combinazione verificata / N = combin. non verificata |
| Sc max | Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([MPa] |
| Yc max | Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O) |
| Sc min | Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([MPa] |
| Yc min | Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O) |
| Ss min | Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [MPa] |
| Ys min | Ordinata in cm della barra corrisp. a Ss min (sistema rif. X,Y,O) |
| Dw Eff. | Spessore di calcestruzzo [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre |
| Ac eff. | Area di congl. [cm ²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.) |
| As eff. | Area Barre tese di acciaio [cm ²] ricadente nell'area efficace(verifica fess.) |
| D barre | Distanza in cm tra le barre tese efficaci. (D barre = 0 indica spaziatura superiore a $5(c+\emptyset/2)$ e nel calcolo di fess. si usa la (C4.1.11)NTC/(7.14)EC2) |

| N°Comb | Ver | Sc max | Yc max | Sc min | Yc min | Ss min | Ys min | Dw Eff. | Ac Eff. | As Eff. | D barre |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | S | 8.29 | 60.0 | 0.00 | 38.6 | -194.3 | 54.7 | 12.9 | 1289 | 53.1 | 9.9 |

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

| | |
|---------|---|
| Ver | Esito verifica |
| e1 | Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata |
| e2 | Massima deformazione unitaria (compress.: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata |
| K2 | = 0.5 per flessione; $=(e1 + e2)/(2*e2)$ in trazione eccentrica per la (7.13)EC2 e la (C4.1.11)NTC |
| Kt | fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2 |
| e sm | Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = 0.6 Ss/Es |
| srm | Distanza massima in mm tra le fessure |
| wk | Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite. |
| M fess. | Momento di prima fessurazione [kNm] |

| N°Comb | Ver | e1 | e2 | K2 | Kt | e sm | srm | wk | M Fess. |
|--------|-----|----------|---------|------|------|---------------------|-----|----------------|---------|
| 1 | S | -0.00113 | 0.00062 | 0.50 | 0.60 | 0.000707 (0.000583) | 243 | 0.172 (990.00) | |

260.13

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

| N°Comb | Ver | Sc max | Yc max | Sc min | Yc min | Ss min | Ys min | Dw Eff. | Ac Eff. | As Eff. | D barre |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | S | 7.69 | 60.0 | 0.00 | 38.6 | -179.4 | 54.7 | 12.9 | 1287 | 53.1 | 9.9 |

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

| N°Comb | Ver | e1 | e2 | K2 | Kt | e sm | srm | wk | M Fess. |
|--------|-----|----------|---------|------|------|---------------------|-----|--------------|---------|
| 1 | S | -0.00104 | 0.00058 | 0.50 | 0.60 | 0.000633 (0.000538) | 243 | 0.154 (0.30) | |

260.57

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

| N°Comb | Ver | Sc max | Yc max | Sc min | Yc min | Ss min | Ys min | Dw Eff. | Ac Eff. | As Eff. | D barre |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | S | 6.12 | 60.0 | 0.00 | 38.4 | -140.5 | 54.7 | 12.8 | 1280 | 53.1 | 9.9 |

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

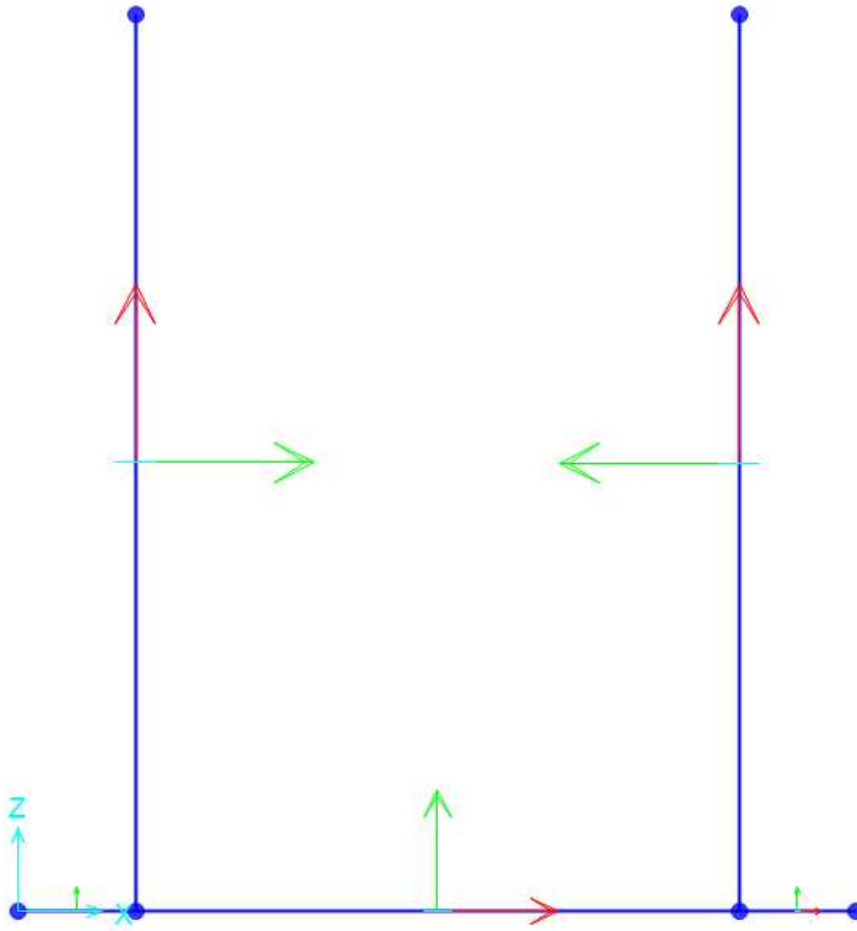
| N°Comb | Ver | e1 | e2 | K2 | Kt | e sm | srm | wk | M Fess. |
|--------|-----|----------|---------|------|------|---------------------|-----|--------------|---------|
| 1 | S | -0.00081 | 0.00046 | 0.50 | 0.40 | 0.000527 (0.000421) | 243 | 0.128 (0.20) | |

262.13

9.3 Analisi e verifica della Struttura a U – H massima 5.18 m

Si esegue un'analisi statica lineare dello scatolare su modello piano composto da *elementi beam* che descrivono in dettaglio la sezione oggetto di verifica.

Il calcolo delle sollecitazioni è sviluppato utilizzando il programma di calcolo SAP2000 prodotto dalla Computers and Structures, Inc., le cui caratteristiche sono state descritte al § 9.



ANALISI DEI CARICHI

CARICHI DOVUTI A PESO PROPRIO STRUTTURALE

Il peso proprio è valutato in ragione di 25.0 kN/m³ ed è computato automaticamente dal programma di calcolo.

SPINTA ORIZZONTALE SUI PIEDRITTI

Si valuta la spinta in base all'assunzione del terreno di ricoprimento avente proprietà meccaniche con i seguenti valori caratteristici:

- peso caratteristico per unità di volume: $\gamma_k = 19.0 \text{ kN/m}^3$
- angolo caratteristico di attrito interno: $\phi_k = 35^\circ$

Si ha

$$k_0^{STR} = 1 - \sin \phi_d = 1 - \sin 35^\circ = 0.426$$

A livello degli estremi superiori del muro si ha:

$$p_{ts} = 0 \text{ kN/m}^2$$

A livello della linea mediana della soletta inferiore si ha:

$$p_{ts} = 43.35 \text{ kN/m}^2$$

Si considera infine la spinta orizzontale dovuta al sovraccarico verticale $q = 20.00 \text{ kN/m}^2$

$$P_{hacc} = 20.00 \text{ kN/m}^2 \times 0.426 = 8.52 \text{ kN/m}$$

AZIONI SISMICHE

E' stata inoltre considerata l'azione sismica, così come indicato al p.to 6 del presente documento

Sisma orizzontale

| | |
|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Stato limite | Salvaguardia della vita - SLU - SLV |
| Vita nominale | Vr=50 anni |
| Classe d'uso | Cu IV |
| Accelerazione orizzontale | ag/g=0.288 |
| Amplificazione spettrale | Fo=2.397 |
| Categoria sottosuolo(A, B, C, D, E) | B |
| Coeff. Amplificazione stratigrafica | Ss=1.124 |
| Coeff. Amplificazione topografica | St=1.2 |
| Coefficiente S | S = Ss · St = 1.349 |
| Accelerazione orizzontale max | amax/g = ag/g · S = 0.388 |
| Fattore di struttura | q=1.00 |

$$\text{Forza orizz. sui piedritti FH} = 0.388 \cdot (0.60 \cdot 25) / 1.00 = 5.83 \text{ kN/m}^2$$

Spinta sismica del terreno

$$\text{Coefficiente sismico orizzontale} \quad k_{sisma} = k_0 + (k_a - k_0) = 0.841$$

$$\text{Forza orizz. terreno} = k_{sisma} \cdot \gamma \cdot (H_{rint})^2 / 2 = 228.7 \text{ kN}$$

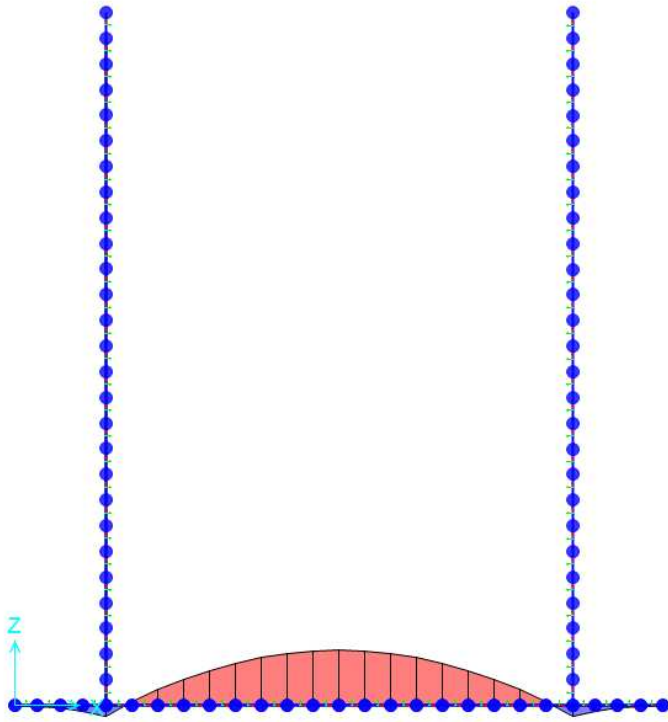
Applicato come carico triangolare distribuito con valore massimo nell'estremo inferiore:

$$S \text{ base sisma terreno} = 85.49 \text{ kN/m}$$

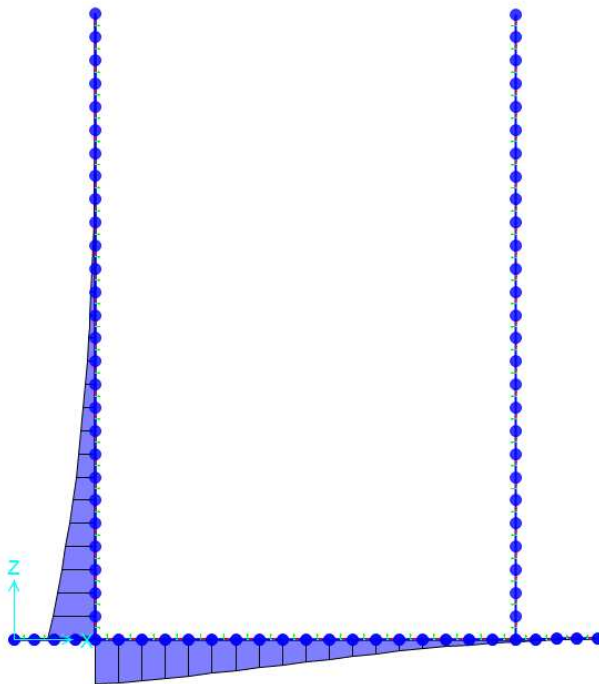
AZIONI SULLA STRUTTURA E VERIFICHE

A titolo indicativo si riportano di seguito alcuni diagrammi delle sollecitazioni indotte dai carichi elementari applicati

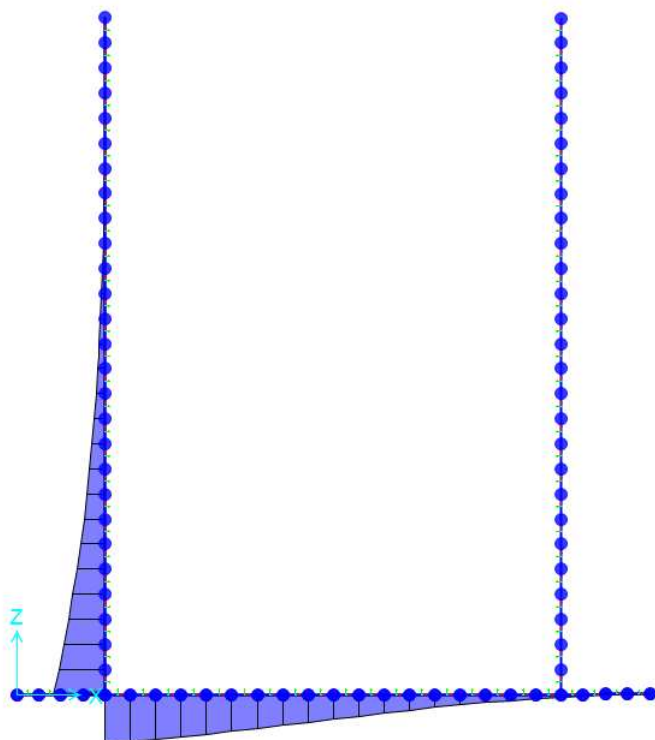
Peso proprio Mf



Carico accidentale su piedritto sx M_f



Spinta terreno su piedritto sx M_f



In accordo a quanto prescritto al § 10.2 delle NTC 2018 sono state effettuati controlli atti a verificare l'accettabilità dei risultati ottenuti, in termini di confronto fra azioni elementari e reazioni vincolari, oltre a comparazione fra i risultati delle analisi e quelli di valutazioni su schemi semplificati, ottenendo esito positivo e giudicando quindi positivamente i risultati ottenuti dall'analisi.

Le sollecitazioni di verifica, per le combinazioni più gravose, sono riportate qui di seguito:

SOLETTA INFERIORE

SLU

$M_{max} = 480.4 \text{ KNm/m}$ (appoggio)

$T_{max} = 86.3 \text{ KN/m}$

SLE_comb rara

$M_{max} = 333.2 \text{ KNm/m}$ (appoggio)

SLE_comb freq

$M_{max} = 302.9 \text{ KNm/m}$ (appoggio)

SLE_comb qp

$M_{max} = 236.4 \text{ KNm/m}$ (appoggio)

SLV_sisma

$M_{max} = 468.9 \text{ KNm/m}$ (appoggio), $T=141.2 \text{ kN}$

Tmax = 256 KN/m, M=316.7 KN7m

La soletta inferiore viene armata con barre $\Phi 24/10$ all'intradosso e con barre $\Phi 24/20$ all'estradosso. Non sono necessarie armature a presidio dell'azione di taglio, come emerge dalle verifiche riportate qui di seguito.

L'armatura longitudinale è formata da barre $\Phi 12/20$ all'estradosso e all'intradosso.

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: Soletta sp 0.7 SEZ B

| | |
|-------------------------------|--|
| Descrizione Sezione: | Parete sp 0.6 - SEZ B |
| Metodo di calcolo resistenza: | Stati Limite Ultimi |
| Normativa di riferimento: | N.T.C. |
| Tipologia sezione: | Sezione predefinita di trave (solette, nervature solai) senza staffe |
| Forma della sezione: | Rettangolare |
| Percorso sollecitazione: | A Sforzo Norm. costante |
| Condizioni Ambientali: | Moderat. aggressive |
| Riferimento Sforzi assegnati: | Assi x,y principali d'inerzia |

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

| | | |
|------------------------|---|---------------------|
| CALCESTRUZZO - | Classe: | C30/37 |
| | Resistenza compress. di progetto fcd: | 17.00 MPa |
| | Deform. unitaria max resistenza ec2: | 0.0020 |
| | Deformazione unitaria ultima ecu: | 0.0035 |
| | Diagramma tensioni-deformaz.: | Parabola-Rettangolo |
| | Modulo Elastico Normale Ec: | 32836.0 MPa |
| | Resis. media a trazione fctm: | 2.90 MPa |
| | Coeff.Omogen. S.L.E.: | 15.00 |
| | Sc limite S.L.E. comb. Rare: | 18.0 MPa |
| | Sc limite S.L.E. comb. Frequenti: | 18.0 MPa |
| | Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti: | 0.300 mm |
| | Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti: | 13.5 MPa |
| | Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.: | 0.200 mm |
| ACCIAIO - | Tipo: | B450C |
| | Resist. caratt. a snervamento fyk: | 450.0 MPa |
| | Resist. caratt. a rottura ftk: | 450.0 MPa |
| | Resist. a snerv. di progetto fyd: | 391.3 MPa |
| | Resist. ultima di progetto ftd: | 391.3 MPa |
| | Deform. ultima di progetto Epu: | 0.068 |
| | Modulo Elastico Ef: | 200000.0 MPa |
| | Diagramma tensioni-deformaz.: | Bilineare finito |
| | Coeff. Aderenza istant. $\beta 1 * \beta 2$: | 1.00 |
| | Coeff. Aderenza differito $\beta 1 * \beta 2$: | 0.50 |
| Comb.Rare - Sf Limite: | 360.0 MPa | |

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

| | | |
|--------------------------------|--------------|-------------------------|
| Base: | 100.0 | cm |
| Altezza: | 70.0 | cm |
| Barre inferiori: | 10 $\Phi 24$ | (45.2 cm ²) |
| Barre superiori: | 5 $\Phi 24$ | (22.6 cm ²) |
| Coprif.Inf.(dal baric. barre): | 5.2 | cm |
| Coprif.Sup.(dal baric. barre): | 5.2 | cm |
| Coprif.Lat. (dal baric.barre): | 5.0 | cm |

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

| | |
|----|--|
| N | Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.) |
| Mx | Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione |
| VY | Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale |
| MT | Momento torcente [kN m] |

| N°Comb. | N | Mx | Vy | MT |
|---------|------|--------|--------|------|
| 1 | 0.00 | 480.40 | 86.30 | 0.00 |
| 2 | 0.00 | 468.90 | 141.20 | 0.00 |
| 3 | 0.00 | 316.70 | 162.40 | 0.00 |

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

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

| N°Comb. | N | Mx |
|---------|------|--------|
| 1 | 0.00 | 333.20 |

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

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

| N°Comb. | N | Mx |
|---------|------|-----------------|
| 1 | 0.00 | 302.90 (322.28) |

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

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

| N°Comb. | N | Mx |
|---------|------|-----------------|
| 1 | 0.00 | 236.40 (322.28) |

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)
Mx Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico
N Ult Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx rd Momento resistente ultimo [kNm] riferito all'asse x baricentrico
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N rd, Mx rd) e (N, Mx)
Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000
Yn Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez.
x/d Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC]
As Tesa Area armature long. trave [cm²] in zona tesa. (tra parentesi l'area minima di normativa)

| N°Comb | Ver | N | Mx | N rd | Mx rd | Mis.Sic. | Yn | x/d | C.Rid. | As Tesa |
|--------|-----|------|--------|-------|---------|----------|------|------|--------|-------------|
| 1 | S | 0.00 | 480.40 | -0.20 | 1074.56 | 2.237 | 61.6 | 0.13 | 0.70 | 45.2 (10.9) |
| 2 | S | 0.00 | 468.90 | -0.20 | 1074.56 | 2.292 | 61.6 | 0.13 | 0.70 | 45.2 (10.9) |
| 3 | S | 0.00 | 316.70 | -0.20 | 1074.56 | 3.393 | 61.6 | 0.13 | 0.70 | 45.2 (10.9) |

DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione
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)
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 compressione)

| Ys max | Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.) | | | | | |
|--------|--|--------|---------|--------|----------|--------|
| N°Comb | ec max | Yc max | es min | Ys min | es max | Ys max |
| 1 | 0.00350 | 70.0 | 0.00134 | 64.8 | -0.02337 | 5.2 |
| 2 | 0.00350 | 70.0 | 0.00134 | 64.8 | -0.02337 | 5.2 |
| 3 | 0.00350 | 70.0 | 0.00134 | 64.8 | -0.02337 | 5.2 |

VERIFICHE A TAGLIO SENZA ARMATURE TRASVERSALI (§ 4.1.2.1.3.1 NTC)

| | |
|------|--|
| Ver | S = comb.verificata a taglio/ N = comb. non verificata |
| Ved | Taglio agente [daN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta) |
| Vwct | Taglio trazione resistente [kN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)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 | Ved | Vwct | d | bw | Ro | Scp |
|--------|-----|--------|--------|------|-------|--------|------|
| 1 | S | 86.30 | 333.42 | 64.8 | 100.0 | 0.0070 | 0.00 |
| 2 | S | 141.20 | 333.42 | 64.8 | 100.0 | 0.0070 | 0.00 |
| 3 | S | 162.40 | 333.42 | 64.8 | 100.0 | 0.0070 | 0.00 |

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

| | |
|---------|--|
| Ver | S = combinazione verificata / N = combin. non verificata |
| Sc max | Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([MPa]) |
| Yc max | Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O) |
| Sc min | Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([MPa]) |
| Yc min | Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O) |
| Ss min | Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [MPa] |
| Ys min | Ordinata in cm della barra corrisp. a Ss min (sistema rif. X,Y,O) |
| Dw Eff. | Spessore di calcestruzzo [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre |
| Ac eff. | Area di congl. [cm ²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.) |
| As eff. | Area Barre tese di acciaio [cm ²] ricadente nell'area efficace(verifica fess.) |
| D barre | Distanza in cm tra le barre tese efficaci. (D barre = 0 indica spaziatura superiore a $5(c+\emptyset/2)$ e nel calcolo di fess. si usa la (C4.1.11)NTC/(7.14)EC2) |

| N°Comb | Ver | Sc max | Yc max | Sc min | Yc min | Ss min | Ys min | Dw Eff. | Ac Eff. | As Eff. | D barre |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | S | 4.28 | 70.0 | 0.00 | 48.3 | -127.1 | 64.8 | 13.0 | 1300 | 45.2 | 10.0 |

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

| | |
|---------|---|
| Ver | Esito verifica |
| e1 | Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata |
| e2 | Massima deformazione unitaria (compress.: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata |
| K2 | = 0.5 per flessione; $= (e1 + e2)/(2 * e2)$ in trazione eccentrica per la (7.13)EC2 e la (C4.1.11)NTC |
| Kt | fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2 |
| e sm | Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = $0.6 Ss/Es$ |
| srm | Distanza massima in mm tra le fessure |
| wk | Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite. |
| M fess. | Momento di prima fessurazione [kNm] |

| N°Comb | Ver | e1 | e2 | K2 | Kt | e sm | srm | wk | M Fess. |
|--------|-----|----------|---------|------|------|---------------------|-----|----------------|---------|
| 1 | S | -0.00071 | 0.00032 | 0.50 | 0.60 | 0.000381 (0.000381) | 253 | 0.097 (990.00) | 322.28 |

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

| N°Comb | Ver | Sc max | Yc max | Sc min | Yc min | Ss min | Ys min | Dw Eff. | Ac Eff. | As Eff. | D barre |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | S | 3.89 | 70.0 | 0.00 | 48.3 | -115.5 | 64.8 | 13.0 | 1300 | 45.2 | 10.0 |

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

| N°Comb | Ver | e1 | e2 | K2 | Kt | e sm | srm | wk | M Fess. |
|--------|-----|----|----|----|----|------|-----|----|---------|
|--------|-----|----|----|----|----|------|-----|----|---------|

1 S -0.00065 0.00029 0.50 0.60 0.000347 (0.000347) 253 0.088 (0.30)
322.28

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

| N°Comb | Ver | Sc max | Yc max | Sc min | Yc min | Ss min | Ys min | Dw Eff. | Ac Eff. | As Eff. | D barre |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | S | 3.04 | 70.0 | 0.00 | 48.2 | -90.2 | 64.8 | 13.0 | 1300 | 45.2 | 10.0 |

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

| N°Comb | Ver | e1 | e2 | K2 | Kt | e sm | srm | wk | M Fess. |
|--------|-----|----------|---------|------|------|---------------------|-----|--------------|---------|
| 1 | S | -0.00051 | 0.00023 | 0.50 | 0.40 | 0.000271 (0.000271) | 253 | 0.069 (0.20) | |

322.28

PIEDRITTI

SLU

Mmax = 473.8 KNm/m ; N = -108.32 kN/m

Tmax = 220.28 KN/m

SLE_comb rara

Mmax = 328 KNm/m ; N = - 80.2 kN/m

SLE_comb freq

Mmax= 297.6 KNm/m ; N = - 80.2 kN/m

SLE_comb qp

Mmax+ = 230.4 KNm/m ; N = - 80.2 kN/m

SLV_sisma

Mmax = 489.7 KNm/m ; N = -80.2 kN/m

I piedritti viengono armati con barre $\Phi 24/10$ sul lato controterra e con barre $\Phi 24/20$ sull'altro lato. Non sono necessarie armature a presidio dell'azione di taglio, come emerge dalle verifiche riportate qui di seguito.

L'armatura longitudinale è formata da barre $\Phi 12/20$ su entrambi i lati.

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: Parete sp 0.6 SEZ B BASE

| | |
|-------------------------------|---|
| Descrizione Sezione: | Parete sp 0.6 - SEZ B |
| Metodo di calcolo resistenza: | Stati Limite Ultimi |
| Normativa di riferimento: | N.T.C. |
| Tipologia sezione: | Sezione predefinita di trave (solette, nervature solai)senza staffe |
| Forma della sezione: | Rettangolare |

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

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO - Classe: C30/37
 Resistenza compress. di progetto f_{cd} : 17.00 MPa
 Deform. unitaria max resistenza ϵ_{c2} : 0.0020
 Deformazione unitaria ultima ϵ_{cu} : 0.0035
 Diagramma tensioni-deformaz.: Parabola-Rettangolo
 Modulo Elastico Normale E_c : 32836.0 MPa
 Resis. media a trazione f_{ctm} : 2.90 MPa
 Coeff.Omogen. S.L.E.: 15.00
 Sc limite S.L.E. comb. Rare: 18.0 MPa
 Sc limite S.L.E. comb. Frequenti: 18.0 MPa
 Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti: 0.300 mm
 Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti: 13.5 MPa
 Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.: 0.200 mm

ACCIAIO - Tipo: B450C
 Resist. caratt. a snervamento f_{yk} : 450.0 MPa
 Resist. caratt. a rottura f_{tk} : 450.0 MPa
 Resist. a snerv. di progetto f_{yd} : 391.3 MPa
 Resist. ultima di progetto f_{td} : 391.3 MPa
 Deform. ultima di progetto E_{pu} : 0.068
 Modulo Elastico E_f : 200000.0 MPa
 Diagramma tensioni-deformaz.: Bilineare finito
 Coeff. Aderenza istant. $\beta_1*\beta_2$: 1.00
 Coeff. Aderenza differito $\beta_1*\beta_2$: 0.50
 Comb.Rare - Sf Limite: 360.0 MPa

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Base: 100.0 cm
 Altezza: 60.0 cm
 Barre inferiori: 10Ø24 (45.2 cm²)
 Barre superiori: 5Ø24 (22.6 cm²)
 Coprif.Inf.(dal baric. barre): 5.2 cm
 Coprif.Sup.(dal baric. barre): 5.2 cm
 Coprif.Lat. (dal baric.barre): 5.0 cm

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione
 Vy Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale
 MT Momento torcente [kN m]

| N°Comb. | N | Mx | Vy | MT |
|---------|--------|--------|--------|------|
| 1 | 108.30 | 437.80 | 220.28 | 0.00 |
| 2 | 80.20 | 489.70 | 227.50 | 0.00 |

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

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
 Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

| N°Comb. | N | Mx |
|---------|-------|--------|
| 1 | 80.20 | 328.00 |

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

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
 Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)

con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

| N°Comb. | N | Mx |
|---------|-------|-----------------|
| 1 | 80.20 | 297.60 (250.52) |

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

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

| N°Comb. | N | Mx |
|---------|-------|-----------------|
| 1 | 80.20 | 230.40 (252.72) |

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)
Mx Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico
N Ult Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx rd Momento resistente ultimo [kNm] riferito all'asse x baricentrico
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N rd, Mx rd) e (N, Mx)
Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000
Yn Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez.
x/d Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC]
As Tesa Area armature long. trave [cm²] in zona tesa. (tra parentesi l'area minima di normativa)

| N°Comb | Ver | N | Mx | N rd | Mx rd | Mis.Sic. | Yn | x/d | C.Rid. | As Tesa |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|----------|------|------|--------|------------|
| 1 | S | 108.30 | 437.80 | 108.57 | 923.32 | 2.104 | 51.1 | 0.16 | 0.70 | 45.2 (9.2) |
| 2 | S | 80.20 | 489.70 | 80.27 | 916.68 | 1.869 | 51.2 | 0.16 | 0.70 | 45.2 (9.2) |

DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione
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)
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 compressione)
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

| N°Comb | ec max | Yc max | es min | Ys min | es max | Ys max |
|--------|---------|--------|---------|--------|----------|--------|
| 1 | 0.00350 | 60.0 | 0.00145 | 54.8 | -0.01810 | 5.2 |
| 2 | 0.00350 | 60.0 | 0.00142 | 54.8 | -0.01837 | 5.2 |

VERIFICHE A TAGLIO SENZA ARMATURE TRASVERSALI (§ 4.1.2.1.3.1 NTC)

Ver S = comb.verificata a taglio/ N = comb. non verificata
Ved Taglio agente [daN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)
Vwct Taglio trazione resistente [kN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)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 | Ved | Vwct | d | bw | Ro | Scp |
|--------|-----|-----|------|---|----|----|-----|
|--------|-----|-----|------|---|----|----|-----|

| | | | | | | | |
|---|---|--------|--------|------|-------|--------|------|
| 1 | S | 220.28 | 322.32 | 54.8 | 100.0 | 0.0083 | 0.02 |
| 2 | S | 227.50 | 318.47 | 54.8 | 100.0 | 0.0083 | 0.01 |

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

| | |
|---------|--|
| Ver | S = combinazione verificata / N = combin. non verificata |
| Sc max | Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([MPa] |
| Yc max | Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O) |
| Sc min | Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([MPa] |
| Yc min | Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O) |
| Ss min | Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [MPa] |
| Ys min | Ordinata in cm della barra corrisp. a Ss min (sistema rif. X,Y,O) |
| Dw Eff. | Spessore di calcestruzzo [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre |
| Ac eff. | Area di congl. [cm ²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.) |
| As eff. | Area Barre tese di acciaio [cm ²] ricadente nell'area efficace(verifica fess.) |
| D barre | Distanza in cm tra le barre tese efficaci. (D barre = 0 indica spaziatura superiore a 5(c+Ø/2) e nel calcolo di fess. si usa la (C4.1.11)NTC/(7.14)EC2) |

| N°Comb | Ver | Sc max | Yc max | Sc min | Yc min | Ss min | Ys min | Dw Eff. | Ac Eff. | As Eff. | D barre |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | S | 5.64 | 60.0 | 0.00 | 39.5 | -141.5 | 54.8 | 13.0 | 1300 | 45.2 | 10.0 |

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

| | |
|---------|---|
| Ver | Esito verifica |
| e1 | Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata |
| e2 | Massima deformazione unitaria (compress.: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata |
| K2 | = 0.5 per flessione; =(e1 + e2)/(2*e2)in trazione eccentrica per la (7.13)EC2 e la (C4.1.11)NTC |
| Kt | fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2 |
| e sm | Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = 0.6 Ss/Es |
| srm | Distanza massima in mm tra le fessure |
| wk | Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite. |
| M fess. | Momento di prima fessurazione [kNm] |

| N°Comb | Ver | e1 | e2 | K2 | Kt | e sm | srm | wk | M Fess. |
|--------|-----|----------|---------|------|------|---------------------|-----|----------------|---------|
| 1 | S | -0.00081 | 0.00042 | 0.50 | 0.60 | 0.000425 (0.000425) | 253 | 0.108 (990.00) | |

249.83

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

| N°Comb | Ver | Sc max | Yc max | Sc min | Yc min | Ss min | Ys min | Dw Eff. | Ac Eff. | As Eff. | D barre |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | S | 5.13 | 60.0 | 0.00 | 39.4 | -127.7 | 54.8 | 13.0 | 1300 | 45.2 | 10.0 |

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

| N°Comb | Ver | e1 | e2 | K2 | Kt | e sm | srm | wk | M Fess. |
|--------|-----|----------|---------|------|------|---------------------|-----|--------------|---------|
| 1 | S | -0.00074 | 0.00038 | 0.50 | 0.60 | 0.000383 (0.000383) | 253 | 0.097 (0.30) | |

250.52

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

| N°Comb | Ver | Sc max | Yc max | Sc min | Yc min | Ss min | Ys min | Dw Eff. | Ac Eff. | As Eff. | D barre |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | S | 4.00 | 60.0 | 0.00 | 39.0 | -97.1 | 54.8 | 13.0 | 1300 | 45.2 | 10.0 |

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

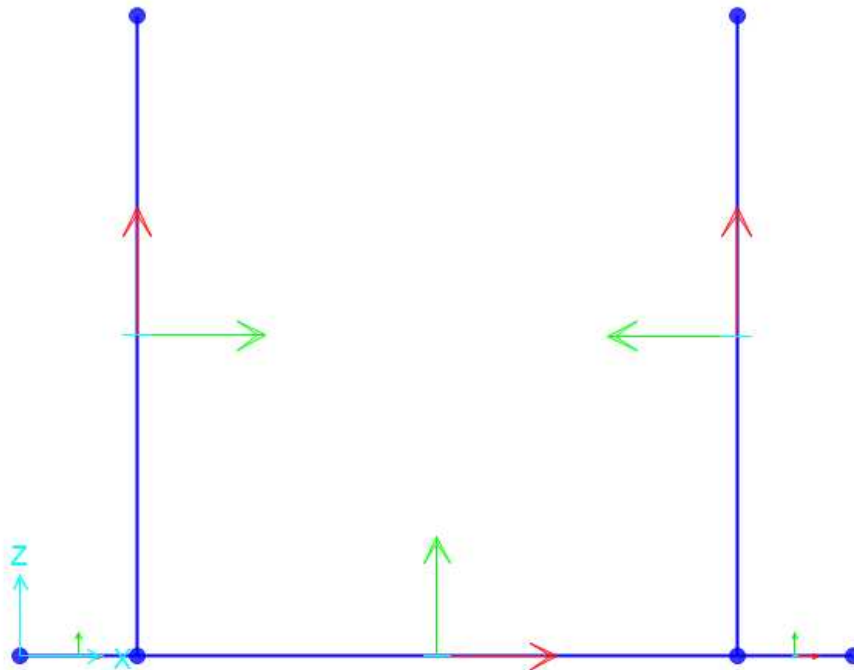
| N°Comb | Ver | e1 | e2 | K2 | Kt | e sm | srm | wk | M Fess. |
|--------|-----|----------|---------|------|------|---------------------|-----|--------------|---------|
| 1 | S | -0.00056 | 0.00030 | 0.50 | 0.40 | 0.000291 (0.000291) | 253 | 0.074 (0.20) | |

252.72

9.4 Analisi e verifica della Struttura a U – H massima 3.71 m

Si esegue un'analisi statica lineare dello scatolare su modello piano composto da *elementi beam* che descrivono in dettaglio la sezione oggetto di verifica.

Il calcolo delle sollecitazioni è sviluppato utilizzando il programma di calcolo SAP2000 prodotto dalla Computers and Structures, Inc., le cui caratteristiche sono state descritte al § 9.



ANALISI DEI CARICHI

CARICHI DOVUTI A PESO PROPRIO STRUTTURALE

Il peso proprio è valutato in ragione di 25.0 kN/m³ ed è computato automaticamente dal programma di calcolo.

SPINTA ORIZZONTALE SUI PIEDRITTI

Si valuta la spinta in base all'assunzione del terreno di ricoprimento avente proprietà meccaniche con i seguenti valori caratteristici:

- peso caratteristico per unità di volume: $\gamma_k = 19.0 \text{ kN/m}^3$
- angolo caratteristico di attrito interno: $\phi_k = 35^\circ$

Si ha

$$k_0^{STR} = 1 - \sin \phi_d = 1 - \sin 35^\circ = 0.426$$

A livello degli estremi superiori del muro si ha:

$$p_{ts} = 0 \text{ kN/m}^2$$

A livello della linea mediana della soletta inferiore si ha:

$$p_{ts} = 31.2 \text{ kN/m}^2$$

Si considera infine la spinta orizzontale dovuta al sovraccarico verticale $q = 20.00 \text{ kN/m}^2$

$$P_{hacc} = 20.00 \text{ kN/m}^2 \times 0.426 = 8.52 \text{ kN/m}$$

AZIONI SISMICHE

E' stata inoltre considerata l'azione sismica, così come indicato al p.to 6.2 del presente documento

Sisma orizzontale

| | |
|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Stato limite | Salvaguardia della vita - SLU - SLV |
| Vita nominale | $V_r=50$ anni |
| Classe d'uso | C_u IV |
| Accelerazione orizzontale | $a_g/g=0.288$ |
| Amplificazione spettrale | $F_o=2.397$ |
| Categoria sottosuolo(A, B, C, D, E) | B |
| Coeff. Amplificazione stratigrafica | $S_s=1.124$ |
| Coeff. Amplificazione topografica | $S_t=1.2$ |
| Coefficiente S | $S = S_s \cdot S_t = 1.349$ |
| Accelerazione orizzontale max | $a_{max}/g = a_g/g \cdot S = 0.388$ |
| Fattore di struttura | $q=1.00$ |

$$\text{Forza orizz. sui piedritti FH}_p = 0.388 \cdot (0.60 \cdot 25) / 1.00 = 5.83 \text{ kN/m}^2$$

Spinta sismica del terreno

$$\text{Coefficiente sismico orizzontale} \quad k_{sisma} = k_0 + (k_a - k_0) = 0.841$$

$$\text{Forza orizz. terreno} = k_{sisma} \cdot \gamma \cdot (H_{rint})^2 / 2 = 118.4 \text{ kN}$$

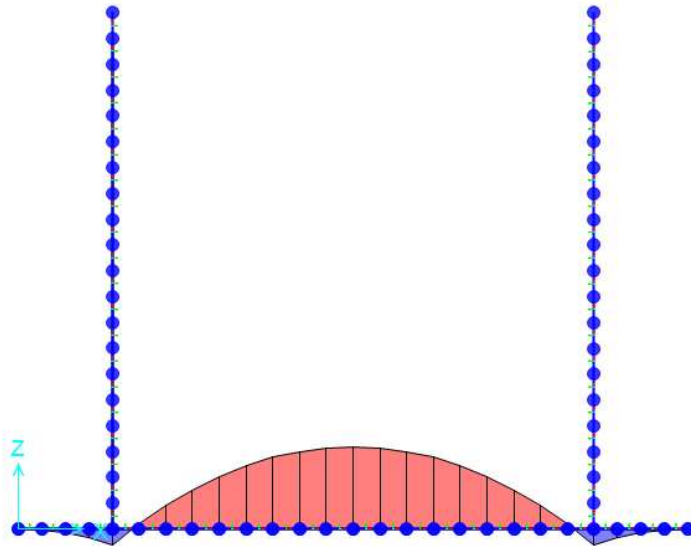
Applicato come carico triangolare distribuito con massimo nell'estremo inferiore con valore:

$$S \text{ base sisma terreno} = 61.5 \text{ kN/m}$$

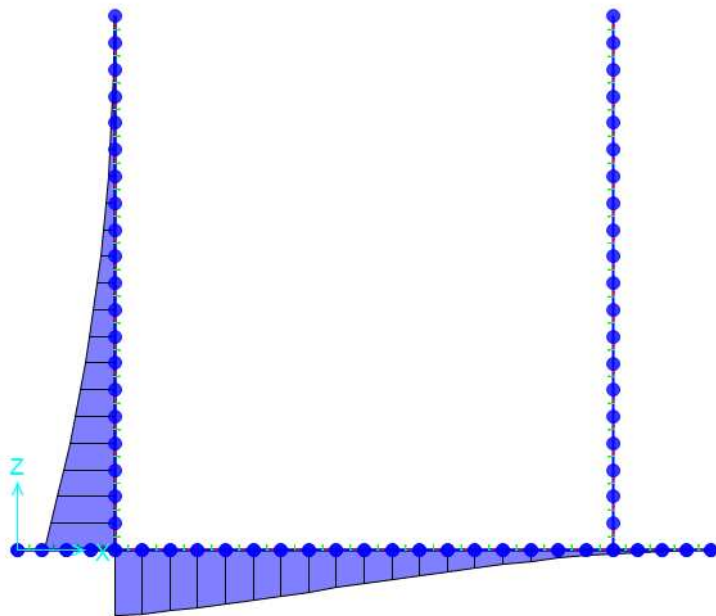
AZIONI SULLA STRUTTURA E VERIFICHE

A titolo indicativo si riportano di seguito alcuni diagrammi delle sollecitazioni indotte dai carichi elementari applicati

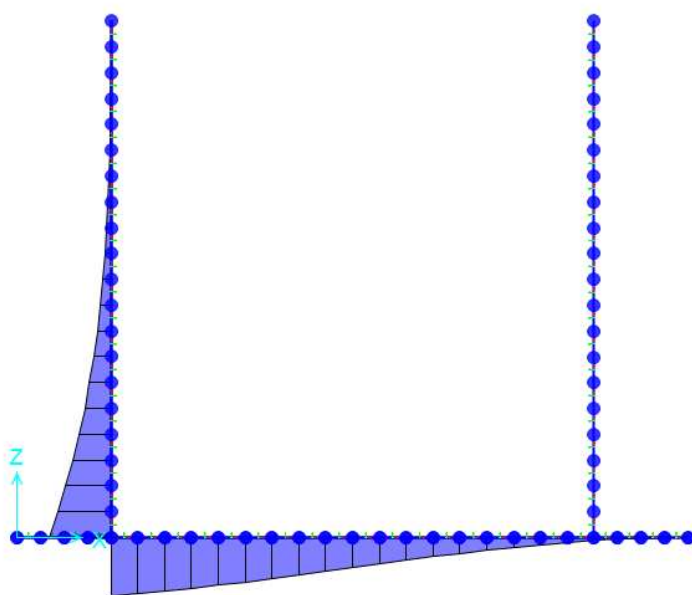
Peso proprio M_f



Carico accidentale su piedritto sx M_f



Spinta terreno su piedritto sx Mf



In accordo a quanto prescritto al § 10.2 delle NTC 2018 sono state effettuati controlli atti a verificare l'accettabilità dei risultati ottenuti, in termini di confronto fra azioni elementari e reazioni vincolari, oltre a comparazione fra i risultati delle analisi e quelli di valutazioni su schemi semplificati, ottenendo esito positivo e giudicando quindi positivamente i risultati ottenuti dall'analisi.

Le sollecitazioni di verifica, per le combinazioni più gravose, sono riportate qui di seguito:

SOLETTA INFERIORE

SLU

M_{max} = 207 KNm/m (appoggio)

T_{max} = 59.4 KN/m

SLE_comb rara

M_{max} = 144.8 KNm/m (appoggio)

SLE_comb freq

M_{max} = 129.2 KNm/m (appoggio)

SLE_comb qp

M_{max} = 94.7 KNm/m (appoggio)

SLV_sisma

M_{max} = 189.5 KNm/m (appoggio)

T_{max} = 74.5 KN/m

La soletta inferiore viene armata con barre $\Phi 24/20$ sia all'intradosso che all'estradosso. Non sono necessarie armature a presidio dell'azione di taglio, come emerge dalle verifiche riportate qui di seguito.

L'armatura longitudinale è formata da barre $\Phi 12/20$ all'estradosso e all'intradosso.

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: Soletta sp 0.7 SEZ A

| | |
|-------------------------------|--|
| Descrizione Sezione: | Parete sp 0.6 - SEZ A |
| Metodo di calcolo resistenza: | Stati Limite Ultimi |
| Normativa di riferimento: | N.T.C. |
| Tipologia sezione: | Sezione predefinita di trave (solette, nervature solai) senza staffe |
| Forma della sezione: | Rettangolare |
| Percorso sollecitazione: | A Sforzo Norm. costante |
| Condizioni Ambientali: | Moderat. aggressive |
| Riferimento Sforzi assegnati: | Assi x,y principali d'inerzia |

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

| | | |
|---|---|---------------------|
| CALCESTRUZZO - | Classe: | C30/37 |
| | Resistenza compress. di progetto fcd: | 17.00 MPa |
| | Deform. unitaria max resistenza ec2: | 0.0020 |
| | Deformazione unitaria ultima ecu: | 0.0035 |
| | Diagramma tensioni-deformaz.: | Parabola-Rettangolo |
| | Modulo Elastico Normale Ec: | 32836.0 MPa |
| | Resis. media a trazione fctm: | 2.90 MPa |
| | Coeff.Omogen. S.L.E.: | 15.00 |
| | Sc limite S.L.E. comb. Rare: | 18.0 MPa |
| | Sc limite S.L.E. comb. Frequenti: | 18.0 MPa |
| Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti: | 0.300 mm | |
| Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti: | 13.5 MPa | |
| Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.: | 0.200 mm | |
| ACCIAIO - | Tipo: | B450C |
| | Resist. caratt. a snervamento fyk: | 450.0 MPa |
| | Resist. caratt. a rottura ftk: | 450.0 MPa |
| | Resist. a snerv. di progetto fyd: | 391.3 MPa |
| | Resist. ultima di progetto ftd: | 391.3 MPa |
| | Deform. ultima di progetto Epu: | 0.068 |
| | Modulo Elastico Ef: | 200000.0 MPa |
| | Diagramma tensioni-deformaz.: | Bilineare finito |
| | Coeff. Aderenza istant. $\beta 1 * \beta 2$: | 1.00 |
| | Coeff. Aderenza differito $\beta 1 * \beta 2$: | 0.50 |
| Comb.Rare - Sf Limite: | 360.0 MPa | |

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

| | | |
|--------------------------------|-------------|-------------------------|
| Base: | 100.0 | cm |
| Altezza: | 70.0 | cm |
| Barre inferiori: | 5 $\Phi 24$ | (22.6 cm ²) |
| Barre superiori: | 5 $\Phi 24$ | (22.6 cm ²) |
| Coprif.Inf.(dal baric. barre): | 5.2 | cm |
| Coprif.Sup.(dal baric. barre): | 5.2 | cm |
| Coprif.Lat. (dal baric.barre): | 5.0 | cm |

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

| | |
|----|--|
| N | Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.) |
| Mx | Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione |
| Vy | Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale |
| MT | Momento torcente [kN m] |

N°Comb. N Mx Vy MT

| | | | | |
|---|------|--------|--------|------|
| 1 | 0.00 | 207.00 | 59.40 | 0.00 |
| 2 | 0.00 | 189.50 | 74.50 | 0.00 |
| 3 | 0.00 | 316.70 | 162.40 | 0.00 |

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

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

| N°Comb. | N | Mx |
|---------|------|--------|
| 1 | 0.00 | 144.80 |

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

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

| N°Comb. | N | Mx |
|---------|------|-----------------|
| 1 | 0.00 | 129.30 (286.76) |

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

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

| N°Comb. | N | Mx |
|---------|------|----------------|
| 1 | 0.00 | 94.70 (286.76) |

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)
Mx Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico
N Ult Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx rd Momento resistente ultimo [kNm] riferito all'asse x baricentrico
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N rd, Mx rd) e (N, Mx)
Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000
Yn Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez.
x/d Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC]
As Tesa Area armature long. trave [cm²] in zona tesa. (tra parentesi l'area minima di normativa)

| N°Comb | Ver | N | Mx | N rd | Mx rd | Mis.Sic. | Yn | x/d | C.Rid. | As Tesa |
|--------|-----|------|--------|-------|--------|----------|------|------|--------|-------------|
| 1 | S | 0.00 | 207.00 | -0.09 | 549.60 | 2.655 | 64.4 | 0.09 | 0.70 | 22.6 (10.9) |
| 2 | S | 0.00 | 189.50 | -0.09 | 549.60 | 2.900 | 64.4 | 0.09 | 0.70 | 22.6 (10.9) |
| 3 | S | 0.00 | 316.70 | -0.09 | 549.60 | 1.735 | 64.4 | 0.09 | 0.70 | 22.6 (10.9) |

DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione
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)
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 compressione)
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

| N°Comb | ec max | Yc max | es min | Ys min | es max | Ys max |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|

| | | | | | | |
|---|---------|------|---------|------|----------|-----|
| 1 | 0.00350 | 70.0 | 0.00025 | 64.8 | -0.03699 | 5.2 |
| 2 | 0.00350 | 70.0 | 0.00025 | 64.8 | -0.03699 | 5.2 |
| 3 | 0.00350 | 70.0 | 0.00025 | 64.8 | -0.03699 | 5.2 |

VERIFICHE A TAGLIO SENZA ARMATURE TRASVERSALI (§ 4.1.2.1.3.1 NTC)

| | |
|------|--|
| Ver | S = comb.verificata a taglio/ N = comb. non verificata |
| Ved | Taglio agente [daN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta) |
| Vwct | Taglio trazione resistente [kN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)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 | Ved | Vwct | d | bw | Ro | Scp |
|--------|-----|--------|--------|------|-------|--------|------|
| 1 | S | 59.40 | 264.64 | 64.8 | 100.0 | 0.0035 | 0.00 |
| 2 | S | 74.50 | 264.64 | 64.8 | 100.0 | 0.0035 | 0.00 |
| 3 | S | 162.40 | 264.64 | 64.8 | 100.0 | 0.0035 | 0.00 |

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

| | |
|---------|--|
| Ver | S = combinazione verificata / N = combin. non verificata |
| Sc max | Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([MPa]) |
| Yc max | Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O) |
| Sc min | Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([MPa]) |
| Yc min | Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O) |
| Ss min | Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [MPa] |
| Ys min | Ordinata in cm della barra corrisp. a Ss min (sistema rif. X,Y,O) |
| Dw Eff. | Spessore di calcestruzzo [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre |
| Ac eff. | Area di congl. [cm ²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.) |
| As eff. | Area Barre tese di acciaio [cm ²] ricadente nell'area efficace(verifica fess.) |
| D barre | Distanza in cm tra le barre tese efficaci. (D barre = 0 indica spaziatura superiore a $5(c+\emptyset/2)$ e nel calcolo di fess. si usa la (C4.1.11)NTC/(7.14)EC2) |

| N°Comb | Ver | Sc max | Yc max | Sc min | Yc min | Ss min | Ys min | Dw Eff. | Ac Eff. | As Eff. | D barre |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | S | 1.46 | 70.0 | -1.46 | 0.0 | -18.7 | 64.8 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0.0 |

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

| | |
|---------|---|
| Ver | Esito verifica |
| e1 | Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata |
| e2 | Massima deformazione unitaria (compress.: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata |
| K2 | = 0.5 per flessione; $=(e1 + e2)/(2 * e2)$ in trazione eccentrica per la (7.13)EC2 e la (C4.1.11)NTC |
| Kt | fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2 |
| e sm | Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = 0.6 Ss/Es |
| srm | Distanza massima in mm tra le fessure |
| wk | Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite. |
| M fess. | Momento di prima fessurazione [kNm] |

| N°Comb | Ver | e1 | e2 | K2 | Kt | e sm | srm | wk | M Fess. |
|--------|-----|---------|----------|------|------|------|------|------|---------|
| 1 | S | 0.00011 | -0.00011 | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- |

286.76

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

| N°Comb | Ver | Sc max | Yc max | Sc min | Yc min | Ss min | Ys min | Dw Eff. | Ac Eff. | As Eff. | D barre |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | S | 1.31 | 70.0 | -1.31 | 0.0 | -16.7 | 64.8 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0.0 |

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

| N°Comb | Ver | e1 | e2 | K2 | Kt | e sm | srm | wk | M Fess. |
|--------|-----|---------|----------|------|------|------|------|------|---------|
| 1 | S | 0.00010 | -0.00010 | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- |

286.76

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

| N°Comb | Ver | Sc max | Yc max | Sc min | Yc min | Ss min | Ys min | Dw Eff. | Ac Eff. | As Eff. | D barre |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | S | 0.96 | 70.0 | -0.96 | 0.0 | -12.2 | 64.8 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0.0 |

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

| N°Comb | Ver | e1 | e2 | K2 | Kt | e sm | srm | wk | M Fess. |
|--------|-----|---------|----------|------|------|------|------|------|---------|
| 1 | S | 0.00007 | -0.00007 | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | 286.76 |

PIEDRITTI

SLU

Mmax = 200.95 KNm/m ; N = -77.95 kN/m

Tmax = 123.4 KN/m

SLE_comb rara

Mmax = 140.3 KNm/m ; N = - 55 kN/m

SLE_comb freq

Mmax= 124.5 KNm/m ; N = - 55 kN/m

SLE_comb qp

Mmax+ = 89.7 KNm/m ; N = - 55 kN/m

SLV_sisma

Mmax = 195.2 KNm/m ; N = -55 kN/m

T max=128.2 KN/m

I piedritti vengono armati con barre $\Phi 24/20$ sul entrambi i lati. Non sono necessarie armature a presidio dell'azione di taglio, come emerge dalle verifiche riportate qui di seguito.

L'armatura longitudinale è formata da barre $\Phi 12/20$ su entrambi i lati.

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: Parete sp 0.6 SEZ A BASE

| | |
|-------------------------------|---|
| Descrizione Sezione: | Parete sp 0.6 - SEZ A |
| Metodo di calcolo resistenza: | Stati Limite Ultimi |
| Normativa di riferimento: | N.T.C. |
| Tipologia sezione: | Sezione predefinita di trave (solette, nervature solai)senza staffe |
| Forma della sezione: | Rettangolare |
| Percorso sollecitazione: | A Sforzo Norm. costante |
| Condizioni Ambientali: | Moderat. aggressive |
| Riferimento Sforzi assegnati: | Assi x,y principali d'inerzia |

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

| | | |
|----------------|---|---------------------|
| CALCESTRUZZO - | Classe: | C30/37 |
| | Resistenza compress. di progetto fcd: | 17.00 MPa |
| | Deform. unitaria max resistenza ec2: | 0.0020 |
| | Deformazione unitaria ultima ecu: | 0.0035 |
| | Diagramma tensioni-deformaz.: | Parabola-Rettangolo |
| | Modulo Elastico Normale Ec: | 32836.0 MPa |
| | Resis. media a trazione fctm: | 2.90 MPa |
| | Coeff.Omogen. S.L.E.: | 15.00 |
| | Sc limite S.L.E. comb. Rare: | 18.0 MPa |
| | Sc limite S.L.E. comb. Frequenti: | 18.0 MPa |
| | Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti: | 0.300 mm |
| | Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti: | 13.5 MPa |
| | Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.: | 0.200 mm |

| | | |
|-----------|---|------------------|
| ACCIAIO - | Tipo: | B450C |
| | Resist. caratt. a snervamento fyk: | 450.0 MPa |
| | Resist. caratt. a rottura ftk: | 450.0 MPa |
| | Resist. a snerv. di progetto fyd: | 391.3 MPa |
| | Resist. ultima di progetto ftd: | 391.3 MPa |
| | Deform. ultima di progetto Epu: | 0.068 |
| | Modulo Elastico Ef: | 200000.0 MPa |
| | Diagramma tensioni-deformaz.: | Bilineare finito |
| | Coeff. Aderenza istant. $\beta_1*\beta_2$: | 1.00 |
| | Coeff. Aderenza differito $\beta_1*\beta_2$: | 0.50 |
| | Comb.Rare - Sf Limite: | 360.0 MPa |

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

| | | |
|--------------------------------|-------|-------------------------|
| Base: | 100.0 | cm |
| Altezza: | 60.0 | cm |
| Barre inferiori: | 5Ø24 | (22.6 cm ²) |
| Barre superiori: | 5Ø24 | (22.6 cm ²) |
| Coprif.Inf.(dal baric. barre): | 5.2 | cm |
| Coprif.Sup.(dal baric. barre): | 5.2 | cm |
| Coprif.Lat. (dal baric.barre): | 5.0 | cm |

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

| | | | | |
|----|---|--|--|--|
| N | Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.) | | | |
| Mx | Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione | | | |
| Vy | Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale | | | |
| MT | Momento torcente [kN m] | | | |

| N°Comb. | N | Mx | Vy | MT |
|---------|-------|--------|--------|------|
| 1 | 77.95 | 200.95 | 123.40 | 0.00 |
| 2 | 55.00 | 195.20 | 128.20 | 0.00 |

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

| | | |
|----|--|--|
| N | Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.) | |
| Mx | Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione | |

| N°Comb. | N | Mx |
|---------|-------|--------|
| 1 | 55.00 | 140.30 |

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

| | | |
|----|--|--|
| N | Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.) | |
| Mx | Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione | |

| N°Comb. | N | Mx |
|---------|-------|-----------------|
| 1 | 55.00 | 124.50 (225.36) |

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

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

| N°Comb. | N | Mx |
|---------|-------|----------------|
| 1 | 55.00 | 89.70 (229.95) |

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)
Mx Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico
N Ult Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx rd Momento resistente ultimo [kNm] riferito all'asse x baricentrico
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N rd, Mx rd) e (N, Mx)
Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000
Yn Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez.
x/d Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC]
As Tesa Area armature long. trave [cm²] in zona tesa. (tra parentesi l'area minima di normativa)

| N°Comb | Ver | N | Mx | N rd | Mx rd | Mis.Sic. | Yn | x/d | C.Rid. | As Tesa |
|--------|-----|-------|--------|-------|--------|----------|------|------|--------|------------|
| 1 | S | 77.95 | 200.95 | 77.78 | 480.54 | 2.391 | 54.2 | 0.11 | 0.70 | 22.6 (9.2) |
| 2 | S | 55.00 | 195.20 | 54.93 | 474.85 | 2.433 | 54.3 | 0.10 | 0.70 | 22.6 (9.2) |

DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione
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)
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 compressione)
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

| N°Comb | ec max | Yc max | es min | Ys min | es max | Ys max |
|--------|---------|--------|---------|--------|----------|--------|
| 1 | 0.00350 | 60.0 | 0.00036 | 54.8 | -0.02954 | 5.2 |
| 2 | 0.00350 | 60.0 | 0.00033 | 54.8 | -0.02987 | 5.2 |

VERIFICHE A TAGLIO SENZA ARMATURE TRASVERSALI (§ 4.1.2.1.3.1 NTC)

Ver S = comb.verificata a taglio/ N = comb. non verificata
Ved Taglio agente [daN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)
Vwct Taglio trazione resistente [kN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)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 | Ved | Vwct | d | bw | Ro | Scp |
|--------|-----|--------|--------|------|-------|--------|------|
| 1 | S | 123.40 | 254.73 | 54.8 | 100.0 | 0.0041 | 0.01 |
| 2 | S | 128.20 | 251.58 | 54.8 | 100.0 | 0.0041 | 0.01 |

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([MPa])
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)

| | |
|---------|---|
| Sc min | Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([MPa] |
| Yc min | Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O) |
| Ss min | Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [MPa] |
| Ys min | Ordinata in cm della barra corrisp. a Ss min (sistema rif. X,Y,O) |
| Dw Eff. | Spessore di calcestruzzo [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre |
| Ac eff. | Area di congl. [cm ²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.) |
| As eff. | Area Barre tese di acciaio [cm ²] ricadente nell'area efficace(verifica fess.) |
| D barre | Distanza in cm tra le barre tese efficaci. (D barre = 0 indica spaziatura superiore a $5(c+\emptyset/2)$ e nel calcolo di fess. si usa la $(C4.1.11)NTC/(7.14)EC2$) |

| N°Comb | Ver | Sc max | Yc max | Sc min | Yc min | Ss min | Ys min | Dw Eff. | Ac Eff. | As Eff. | D barre |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | S | 1.98 | 60.0 | -1.82 | 0.0 | -22.3 | 54.8 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0.0 |

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

| | |
|---------|---|
| Ver | Esito verifica |
| e1 | Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata |
| e2 | Massima deformazione unitaria (compress.: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata |
| K2 | = 0.5 per flessione; $=(e1 + e2)/(2*e2)$ in trazione eccentrica per la (7.13)EC2 e la (C4.1.11)NTC |
| Kt | fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2 |
| e sm | Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = 0.6 Ss/Es |
| srm | Distanza massima in mm tra le fessure |
| wk | Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite. |
| M fess. | Momento di prima fessurazione [kNm] |

| N°Comb | Ver | e1 | e2 | K2 | Kt | e sm | srm | wk | M Fess. |
|--------|-----|---------|----------|------|------|------|------|------|---------|
| 1 | S | 0.00015 | -0.00014 | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | |

224.07

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

| N°Comb | Ver | Sc max | Yc max | Sc min | Yc min | Ss min | Ys min | Dw Eff. | Ac Eff. | As Eff. | D barre |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | S | 1.77 | 60.0 | -1.60 | 0.0 | -19.7 | 54.8 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0.0 |

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

| N°Comb | Ver | e1 | e2 | K2 | Kt | e sm | srm | wk | M Fess. |
|--------|-----|---------|----------|------|------|------|------|------|---------|
| 1 | S | 0.00013 | -0.00012 | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | |

225.36

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

| N°Comb | Ver | Sc max | Yc max | Sc min | Yc min | Ss min | Ys min | Dw Eff. | Ac Eff. | As Eff. | D barre |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | S | 1.30 | 60.0 | -1.13 | 0.0 | -13.8 | 54.8 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0.0 |

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

| N°Comb | Ver | e1 | e2 | K2 | Kt | e sm | srm | wk | M Fess. |
|--------|-----|---------|----------|------|------|------|------|------|---------|
| 1 | S | 0.00010 | -0.00008 | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | |

229.95

10 VERIFICHE DI CAPACITA' PORTANTE

Di seguito si riporta la verifica di capacità portante secondo la teoria di Brinch-Hansen.

| CALCOLO PORTATA LIMITE FONDAZIONE SUPERFICIALE | | | | | |
|--|-------------------------|----------------------------------|------|--|------------------------------------|
| Formulazione di Brinch-Hansen | | | | | |
| $q_{LIM} = \frac{1}{2} \cdot \gamma' \cdot B \cdot N_{\gamma} \cdot s_{\gamma} \cdot i_{\gamma} \cdot b_{\gamma} \cdot g_{\gamma} + c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q$ | | | | | |
| $\phi =$ | 35,0 ° | | | | |
| $c =$ | 0,00 kN/m ² | | | | |
| $B_R =$ | 4,80 m | -> B = 4,80 m | | | |
| $L =$ | 20,00 m | | | | |
| $e =$ | 0,00 m | | | | |
| $D =$ | 0,50 m | -> $q' = 9,00$ kN/m ² | | 1408,68 + | (contributo forze d'attrito) |
| $\gamma =$ | 21,00 kN/m ³ | | | 0,00 + | (contributo forze di coesione) |
| $\alpha =$ | 0 ° | | | 205,56 = | (contributo sovraccarico laterale) |
| $\omega =$ | 0 ° | | | $q_{LIM} = 1614,24$ kN/m² | |
| $\gamma_{fil} =$ | 18,00 kN/m ³ | | | $q_{Amm} = 701,84$ kN/m² | |
| | | | | (Portata Limite) | |
| | | | | (FS= 2,3) | |
| $N_{\phi} =$ | 3,69 | $s_{\gamma} =$ | 1,09 | $d_q =$ | 1,03 |
| $N_q =$ | 33,30 | $s_q =$ | 1,09 | $d_c =$ | 1,03 |
| $N_c =$ | 46,12 | $s_c =$ | 1,18 | $i_{\gamma} =$ | 0,53 |
| $N_{\gamma} =$ | 48,03 | Vesic | | $i_q =$ | 0,67 |
| | | | | $i_c =$ | 0,66 |
| | | | | $b_{\gamma} =$ | 1,00 |
| | | | | $b_q =$ | 1,00 |
| | | | | $b_c =$ | 1,00 |
| | | | | $g_{\gamma} =$ | 1,00 |
| | | | | $g_q =$ | 1,00 |
| | | | | $g_c =$ | 1,00 |
| | | | | $m =$ | 1,81 |

Verifica di capacità portante

La capacità portante di progetto è pari a circa 700 kPa, molto maggiore rispetto ai massimi carichi agenti ad intradosso fondazione, sia per il caso dello scatolare chiuso, sia per quanto riguarda i muri ad U. I cedimenti nella fase di esercizio risultano in tutti i casi di piccola entità ed accettabili. In fase costruttiva occorre verificare la buona consistenza del substrato (FMA Alterata) in corrispondenza delle fondazioni in progetto.