

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO

NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA

U.O. INFRASTRUTTURE SUD

PROGETTO DEFINITIVO

TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)

INTERFERENZE IDRAULICHE

IN72 - Tombino Scatolare 2X2 (A SPINTA SU LS) (Km 40+010,06)

Relazione di calcolo scatolare

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

RS3T 30 D 78 CL IN7200 001 A

| Rev. | Descrizione | Redatto | Data | Verificato | Data | Approvato | Data | Autorizzato Data |
|------|---------------------|---------------------------------|----------|---------------------------------------|----------|---------------------------------|----------|------------------------|
| A | Emissione Esecutiva | ATI Sintagma Rocksoll - Edin | Gen-2020 | A. Donnarumma <i>A. Donnarumma</i> | Gen-2020 | A. Barreca <i>A. Barreca</i> | Gen-2020 | D. Tiberti Gen-2020 |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |



INDICE

| | |
|---|-----------|
| 1. PREMESSA | 3 |
| 2. GEOMETRIA DELLA STRUTTURA | 4 |
| 3. PROGETTO NUOVO TOMBINO | 5 |
| 3.1. NORMATIVA DI RIFERIMENTO | 5 |
| 3.2. UNITA' DI MISURA E SIMBOLOGIA | 6 |
| 3.3. GEOMETRIA..... | 6 |
| 3.4. MATERIALI..... | 7 |
| 3.5. INTERAZIONE TERRENO-STRUTTURA..... | 8 |
| 3.6. ANALISI DEI CARICHI | 9 |
| 3.7. VERIFICA REQUISITI S.T.I..... | 17 |
| 3.8. COMBINAZIONI DI CARICO | 19 |
| 3.9. CARATTERISTICHE DELLE SOLLECITAZIONI..... | 26 |
| 3.9.1. INVILUPPO SLU-SLV..... | 26 |
| 3.9.2. INVILUPPO SLE (RARA) | 30 |
| 3.10. VERIFICHE | 33 |
| 3.11. VERIFICHE DELLE SEZIONI | 34 |

1. PREMESSA

Nella presente relazione di calcolo è sviluppato il progetto, ai sensi delle norme attualmente vigenti NTC18, di un sottopasso lungo la linea ferroviaria “Messina-Catania-Palermo”, facente parte del nuovo collegamento Palermo-Catania, tratta Lercara –Caltanissetta Xirbi (Lotto 3).

Lo scatolare in oggetto è situato alla progressiva 40 + 010.07.

Quanto riportato di seguito consentirà di verificare che il dimensionamento della struttura è stato effettuato nel rispetto dei requisiti di resistenza richiesti all’opera.

Si riportano di seguito una sezione longitudinale e una trasversale dello scatolare tipo, volte ad individuare le grandezze impiegate nel dimensionamento.

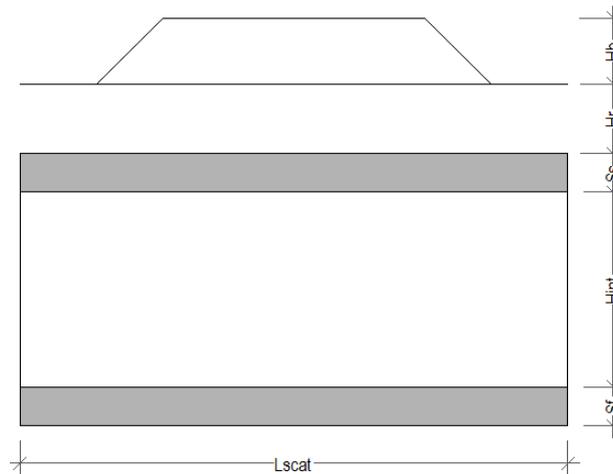


Figura 1. Sezione longitudinale dello scatolare

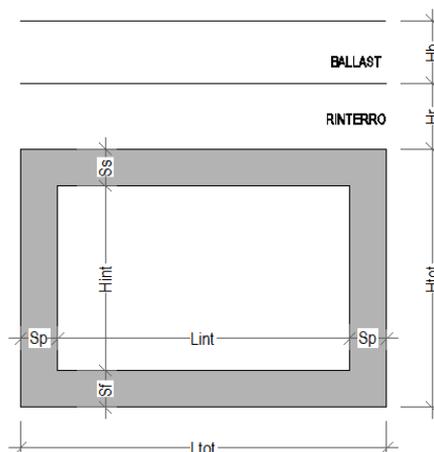


Figura 2. Sezione trasversale dello scatolare

2. GEOMETRIA DELLA STRUTTURA

Il tombino sottopassa la linea ferroviaria ad una distanza fra piano ferro ed estradosso soletta pari ad H_{ric} , di cui spessore medio ballast più armamento pari a 0.80 m e la rimanente parte il rinterro. Esso ha dimensioni interne 2.00×2.00 m, con piedritti e soletta superiore di spessore 0.30 m, soletta inferiore di spessore 0.40 m. Nel seguito verrà esaminata una striscia di scatolare avente lunghezza di 1.00 m. Nella figura [Fig. 2] di cui al paragrafo precedente sono riportate schematicamente la geometria dell'opera e la simbologia adottata.

Le caratteristiche geometriche hanno la seguente simbologia:

| | | |
|--|-----------|-----|
| Spessore medio del ballast + armamento | H_b | [m] |
| Spessore traversina + rotaie (35 cm) | H_{tb} | [m] |
| Larghezza traversina | L_{tb} | [m] |
| Spessore del rinterro | H_r | [m] |
| Larghezza totale del sottopasso | L_{tot} | [m] |
| Larghezza utile del sottopasso | L_{int} | [m] |
| Spessore della soletta | S_s | [m] |
| Spessore piedritti | S_p | [m] |
| Spessore fondazione | S_f | [m] |
| Altezza libera del sottopasso | H_{int} | [m] |
| Altezza totale del sottopasso | H_{tot} | [m] |
| Larghezza striscia di calcolo | b | [m] |

3. PROGETTO NUOVO TOMBINO

Nel presente paragrafo si riportano i calcoli volti alla progettazione di un nuovo tombino nel rispetto della norma attualmente vigente NTC18.

3.1. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Tutte le calcolazioni sono state eseguite nel rispetto delle normativa NTC18 attualmente vigente.. In particolare si è fatto riferimento:

- D.M. 17.01.2018 Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni
- Circolare 21 Gennaio 2019, Istruzione per l'applicazione dell'Aggiornamento n. 7 delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al DM 17 gennaio 2018
- RFI DTC INC PO SP IFS 001 A Specifica per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sottobinario
- RFI DTC INC CS SP IFS 001 A Specifica per la progettazione geotecnica delle opere civili ferroviarie
- EN 1992-1-1-1:2004 Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules of building
- RFI DTC SI PS MA IFS 001 C Manuale di progettazione delle opere civili - Parte II - Sezione 2 Ponti e Strutture
- RFI DTC SI SP IFS 001 C Capitolato Generale Tecnico di Appalto delle Opere Civili
- EC08 Eurocodice 8.
- Regolamento (UE) Specifiche tecniche di interoperabilità per il N.1299/2014 del 18 novembre sottosistema "infrastruttura" del sistema ferroviario 2014 della Commissione dell'Unione Europea.
 Europea

3.2. UNITA' DI MISURA E SIMBOLOGIA

Si utilizza il Sistema Internazionale (SI):

Unità di misura principali

- N (Newton) unità di forza
- m (metro) unità di lunghezza
- kg (kilogrammo) unità di massa
- s (secondo) unità di tempo

Unità di misura derivate da N

- (kiloNewton) 10³ N

Si utilizzano i seguenti principali simboli con le relative unità di misura normalmente adottate:

| | | |
|-------------------------|---------------------------|------------------------------|
| γ (gamma) | peso dell'unità di volume | (kN/m ³) |
| σ (sigma) | tensione normale | (N/mm ²) |
| τ (tau) | tensione tangenziale | (N / mm ²) |
| ε (epsilon) | deformazione | (m/m) - |
| ϕ (fi) | angolo di resistenza | (° sessagesimali) |

3.3. GEOMETRIA

| | | | |
|----------------------|------|--------|----------------------------------|
| Larghezza utile | Lint | 2.00 m | <i>luce interna scatolare</i> |
| Altezza libera | Hint | 2.00 m | <i>altezza interna scatolare</i> |
| Spessore piedritti | Sp | 0.30 m | |
| Spessore soletta | Ss | 0.30 m | |
| Spessore fondazione | Sf | 0.40 m | |
| Altezza ballast | Hb | 0.80 m | |
| Rinterro (superiore) | Hr | 1.20 m | |
| Lunghezza traversa | Ltb | 2.40 m | |
| Altezza traversa | Htb | 0.40 m | |
| Ricoprimento | Hric | 2.00 m | <i>Hb+Hr</i> |
| Larghezza totale | Ltot | 2.60 m | <i>Lint+2xSPp</i> |
| Altezza totale | Htot | 2.70 m | <i>Hint+SPs+SPf</i> |

3.4. MATERIALI

Per le opere in c.a. si adotta:

Calcestruzzo C (30/37) le cui caratteristiche principali sono:

- Resistenza cilindrica caratteristica: $f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza di calcolo a compressione semplice: $f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_m$, dove:
 - $\alpha_{cc} = 0.85$ e $\gamma_m = 1.5$;
 - $f_{cd} = 17 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza di calcolo a trazione semplice: $f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_m$, dove:
 - $\gamma_m = 1.5$;
 - $f_{ctd} = 1,35 \text{ N/mm}^2$.
- Modulo elastico: $E_c = 32836 \text{ N/mm}^2$.
- Tolleranza di posa del copriferro = 10 mm;
- Classe di esposizione XA1
- Copriferro = 40 mm
- Condizioni ambientali: aggressive
- Apertura fessure limite: $w_1 = 0.2 \text{ mm}$

Acciaio da cemento armato normale B450C controllato in stabilimento. Le barre sono ad aderenza migliorata. Le caratteristiche meccaniche sono:

- Tensione caratteristica di snervamento: $f_{yk} = 450 \text{ Nmm}^2$
- Resistenza di calcolo dell'acciaio: $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$ dove
 - $\gamma_s = 1.15$ = 391 Nmm²
- Allungamento $D1 > 12\%$
- Modulo di elasticità: $E_s = 206000 \text{ Nmm}^2$
- Sovrapposizioni barre $\geq 40\phi$

3.5. INTERAZIONE TERRENO-STRUTTURA

Di seguito sono trattati gli aspetti di natura geotecnica riguardanti l'interazione terreno-struttura relativamente all'opera in esame.

Per la determinazione della costante di sottofondo si può fare riferimento alle seguenti formulazioni assimilando il comportamento del terreno a quello di un mezzo elastico omogeneo:

- $s = B \cdot c_t \cdot (q - \sigma_{v0}) \cdot (1 - \nu^2) / E$

dove:

- s = cedimento elastico totale;
- B = lato minore della fondazione;
- c_t = coefficiente adimensionale di forma ottenuto dalla interpolazione dei valori dei coefficienti proposti dal Bowles, 1960 (L = lato maggiore della fondazione):

| | |
|----------------------------------|----------------------------------|
| $c_t = 0.853 + 0.534 \ln(L / B)$ | rettangolare con $L / B \leq 10$ |
| $c_t = 2 + 0.0089 (L / B)$ | rettangolare con $L / B > 10$ |
- q = pressione media agente sul terreno;
- σ_{v0} = tensione litostatica verticale alla quota di posa della fondazione;
- ν = coefficiente di Poisson del terreno;
- E = modulo elastico medio del terreno sottostante.

Il valore della costante di sottofondo k_w è valutato attraverso il rapporto tra il carico applicato ed il corrispondente cedimento pertanto, si ottiene:

- $k_w = E / [(1 - \nu^2) \cdot B \cdot c_t]$

Il litotipo presente nella zona oggetto di intervento è il seguente :

- **TERRENO a2** alluvioni (argilla e argilla limosa) E=20 MPa

Di seguito si riportano in forma tabellare i risultati delle valutazioni effettuate per il caso in esame, avendo considerato per E un valore medio.

| | |
|----------|-------------------------|
| Terreno: | a2 |
| E= | 20000 kN/m ² |
| ν = | 0.3 |
| B= | 2 m |
| L= | 10 m |
| L/B= | 5 |
| c_t = | 1.712 |
| k_w = | 6417 kN/m ³ |

3.6. ANALISI DEI CARICHI

Si riportano di seguito i carichi utilizzati per il calcolo delle sollecitazioni e le verifiche delle sezioni della struttura in esame.

Peso proprio della struttura (condizione DEAD)

Il *peso proprio* delle solette e dei piedritti viene calcolato automaticamente dal programma di calcolo utilizzato considerando per il calcestruzzo $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$.

Il peso proprio della struttura viene calcolato automaticamente dal programma di calcolo utilizzato.

| | | | |
|------------------------------------|---------------|----------------------|---------------------------|
| Peso specifico calcestruzzo armato | γ_{ds} | 25 kN/m ³ | |
| peso singolo piedritto | P_p | 7.50 kN/m | $\gamma_{cls} \times S_p$ |
| peso soletta superiore | P_{ss} | 7.50 kN/m | $\gamma_{cls} \times S_s$ |
| peso fondazione | P_{sf} | 10.00 kN/m | $\gamma_{cls} \times S_f$ |

Carichi permanenti portati (condizione PERM)

| | | | |
|-------------------------|------------|----------------------|-------------------------|
| peso specifico ballast | γ_b | 18 kN/m ³ | |
| altezza ballast | H_b | 0.80 m | |
| peso ballast | P_b | 14.40 kN/m | $\gamma_b \times H_b$ |
| peso specifico rinterro | γ_r | 19 kN/m ³ | |
| altezza rinterro | H_r | 1.20 m | |
| peso rinterro | P_r | 22.80 kN/m | $\gamma_r \times H_r$ |
| Permanente totale | G_{2p} | 37.20 kN/m | $P_b + P_r$ |
| Permanente nodi 1 e 2 | G_{2P} | 5.58 kN | $G_{2p} \times S_p / 2$ |

I carichi concentrati nei nodi 1 e 2 (i nodi tra la soletta superiore e i piedritti), rappresentano il carico permanente sulla soletta di copertura dovuto al peso della zona sovrastante la metà dello spessore del piedritto (la modellazione dello scatolare è stata fatta in asse piedritto).

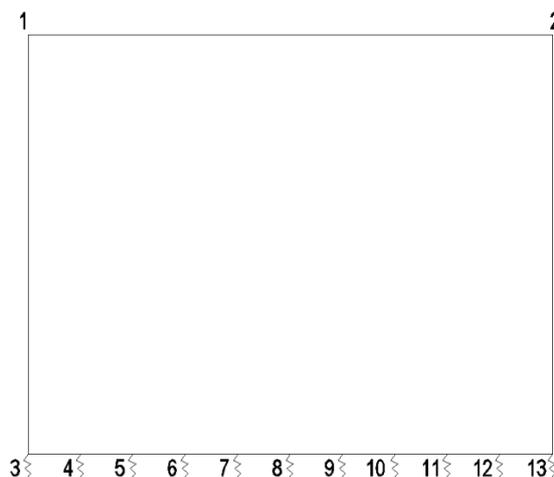


Figura 3. Numerazione dei nodi nel modello strutturale.

Spinta del terreno (condizioni SPTSX eSPTDX)

Le caratteristiche del rinterro, di seguito riportate, sono state determinate con indagini in sito SPT:

$\phi=38^\circ$ Angolo di attrito
 $\gamma_r= 19 \text{ kN/m}^3$ Peso specifico rinterro
 $C_u = 0$ Coesione non drenata

| | | | |
|--|---------|--------------------------------|--|
| angolo di attrito rinterro | ϕ' | 38 [°] | 0.663 [rad] |
| coefficiente spinta attiva k_a | k_a | 0.238 | $(1 - \text{sen}\phi) / (1 + \text{sen}\phi)$ |
| coefficiente spinta riposo k_o | k_o | 0.384 | $(1 - \text{sen}\phi)$ |
| coefficiente spinta passiva k_p | k_p | 4.204 | $(1 + \text{sen}\phi) / (1 - \text{sen}\phi)$ |
| Pressione estradosso soletta superiore | P_1 | 14.30 kN/m ² | $k_o \times (P_b + P_r)$ |
| Pressione asse soletta superiore | P_2 | 15.39 kN/m ² | $k_o \times (P_b + P_r + \gamma_r \times S_s / 2)$ |
| Pressione asse soletta inferiore | P_3 | 32.55 kN/m ² | $k_o \times [P_b + P_r + \gamma_r \times (S_s + H_{int} + S_f / 2)]$ |
| Pressione intradosso soletta inferiore | P_4 | 34.01 kN/m ² | $k_o \times (P_b + P_r + \gamma_r \times H_{tot})$ |
| Forza concentrata asse soletta superiore | F_1 | 2.23 kN/m | $(P_1 + P_2) / 2 \times S_s / 2$ |
| Forza concentrata asse soletta inferiore | F_2 | 6.66 kN/m | $(P_3 + P_4) / 2 \times S_f / 2$ |

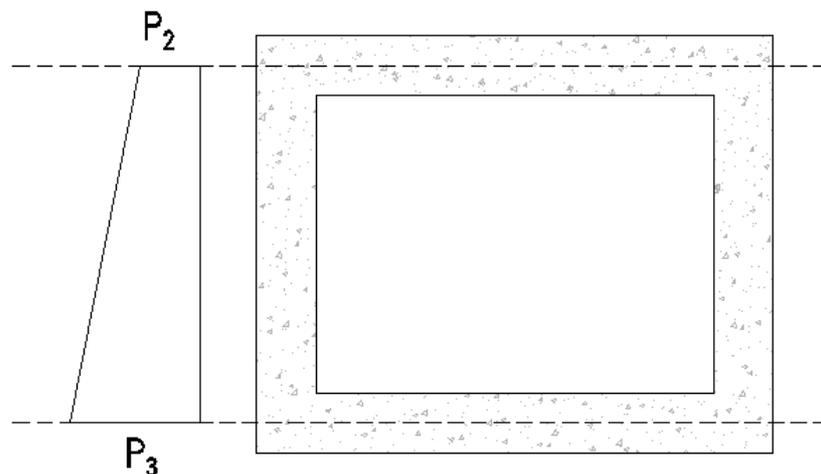


Figura 4. Spinte del terreno

I carichi concentrati nei nodi 1 e 3 (per la SPTSX) oppure 2 e 13 (per la SPTDX) rappresentano la parte di spinta del terreno esercitata su 1/2 spessore della soletta sup. e su 1/2 spessore della soletta inferiore.

Carichi accidentali, ripartizione carichi verticali (condizione ACCM)

In funzione delle caratteristiche geometriche dell'opera risulta più sfavorevole il carico dovuto al treno LM 71 rispetto al carico dovuto al treno SW/2.

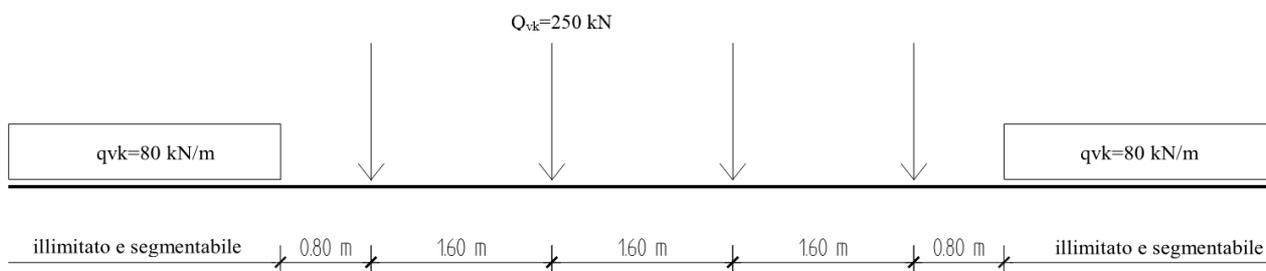


Figura 5. Treno LM71

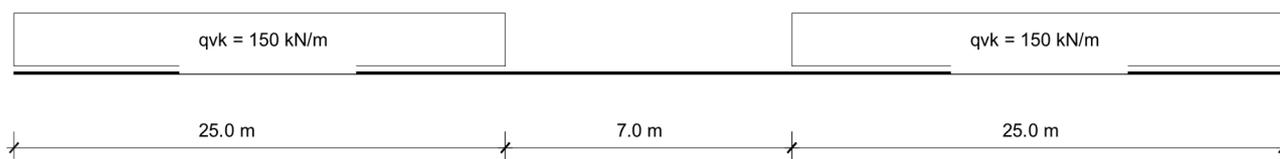


Figura 6. Treno SW/2

Per il calcolo del coefficiente dinamico Φ si fa riferimento al paragrafo 1.4.2 “effetti dinamici” delle istruzioni per la progettazione e l’esecuzione dei ponti ferroviari.

poiché risulta:

$H_{int} < 5 \text{ m}$

$L_{int} < 8 \text{ m}$

Si ottiene considerando un ridotto standar manutentivo $\Phi_3 = 1.35$. In accordo al §5.2.2.2.3 NTC18 tale coefficiente dinamico nei casi di scatolari, con o senza solettone, aventi copertura $h > 1,0$ può essere ridotto nella seguente maniera:

$$\Phi_{rid} = \Phi - \frac{h - 1,00}{10} \geq 1,0$$

dove h , in metri, è l’altezza della copertura dall’estradosso della struttura alla faccia superiore delle traverse [H_{ric}]. Per le strutture dotate di una copertura maggiore di 2,50 m può assumersi un coefficiente di incremento dinamico unitario.

Si riporta di seguito una schematizzazione della diffusione dei carichi ferroviari (LM71 e SW2) rispettivamente attraverso ballast, rinterro e soletta.

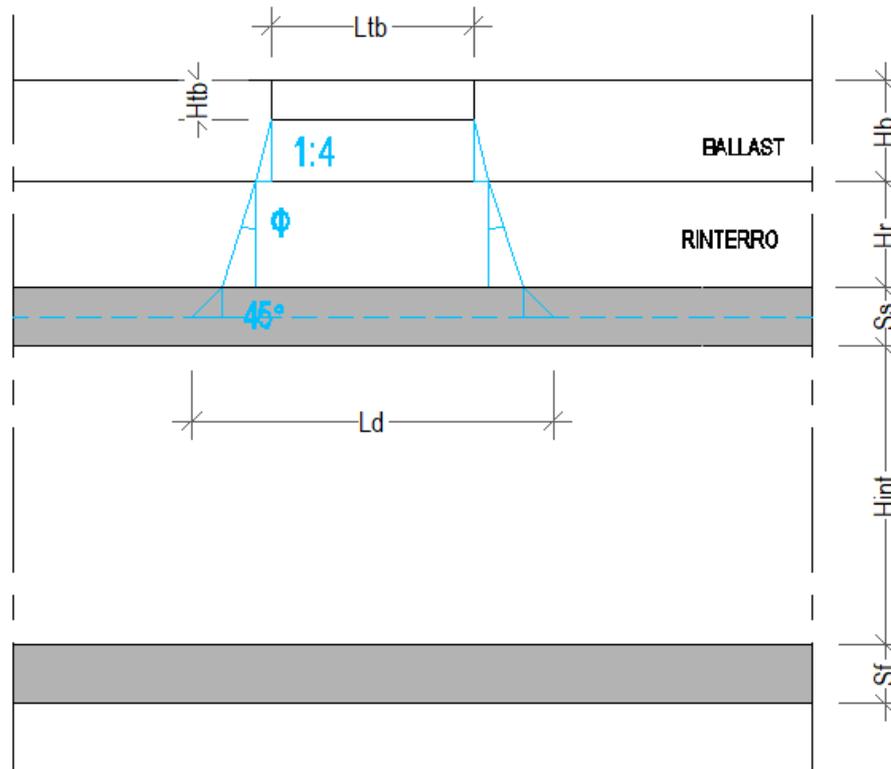


Figura 7. Schema modalità di diffusione dei carichi ferroviari

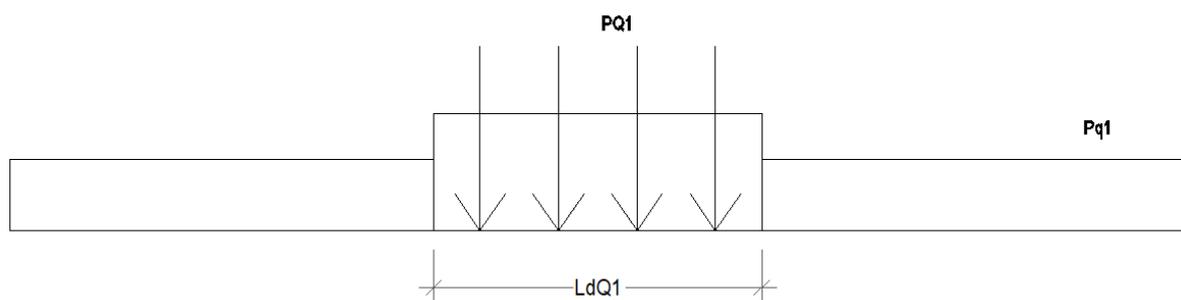


Figura 8. Carichi Treno LM71 su L_d

Sia per il calcolo delle sollecitazioni massime in mezzeria della soletta superiore che per quelle massime all'incastro con i piedritti di detta soletta, il carico dovuto al treno LM71 viene distribuito per tutta la larghezza L_{dQ1} del treno di carico.

| | | | |
|---|------------|-------------------------|--|
| Incremento dinamico | $\Phi 3^*$ | 1.35 | <i>* valido per $H_{int} < 5m$, $L_{int} < 8m$</i> |
| Incremento dinamico con ricoprimento | $\Phi 3$ | 1.25 | <i>$\Phi 3 = 1$ per $H_{ric} > 2,5m$</i> |
| Lunghezza caratteristica | $L\phi$ | 2.00 m | <i>tab. 5.2.II - NTC2018</i> |
| Coefficiente di adattamento | α | 1.10 | |
| Larghezza di diffusione nel ballast | Ldb | 0.20 m | <i>Diffusione 1:4 nel ballast</i> |
| Larghezza di diffusione nel rinterro | Ldr | 1.88 m | <i>Diffusione secondo angolo attrito</i> |
| Larghezza di diffusione nel cls | Ldc | 0.30 m | <i>Diffusione 45° nel cls</i> |
| Larghezza trasv. di diffusione del carico | Ld | 4.78 m | <i>$Ldb + Ldr + Ldc$</i> |
| Carico distribuito per treno LM71 | q1 | 80.00 kN/m | |
| Carico concentrato per treno LM71 | Q1 | 250.00 kN | |
| N°. carichi concentrati per treno LM71 | NQ1 | 4 | |
| Larghezza applicazione carichi conc. Q1 | LaQ1 | 6.40 m | |
| Larghezza distribuzione carichi conc. Q1 | LdQ1 | 6.40 m | |
| Carico ripartito verticale per LM71 (q1) | Pq1 | 23.04 kN/m ² | <i>$q1 \times \Phi 3 \times \alpha / Ld$</i> |
| Carico ripartito verticale per LM71 (Q1) | PQ1 | 44.99 kN/m ² | <i>$Q1 \times NQ1 \times \Phi 3 \times \alpha / (Ld \times LdQ1)$</i> |

Spinta sui piedritti prodotta dal sovraccarico (condizioni SPACCSX e SPACCDX)

| | | | |
|---------------------------------------|--------|-------------------------|--|
| Carico distribuito per treno LM71 | Sq1 | 7.08 kN/m ² | <i>$(q1 \times \alpha / Ld) \times Ko$</i> |
| Carico concentrato per treno LM71 | SQ1 | 13.83 kN/m ² | <i>$Q1 \times NQ1 \times \alpha / (Ld \times LdQ1) \times Ko$</i> |
| Spinta semispessore soletta superiore | Fq1sup | 2.08 kN/m | <i>$SPQ1 \times SPs / 2$</i> |
| spinta semispessore soletta inferiore | Fq1inf | 2.77 kN/m | <i>$SPQ1 \times SPi / 2$</i> |

Frenatura e avviamento (condizione AVV)

La forza di frenatura del modello SW/2 agente su tutta la larghezza dello scatolare è pari a 35 kN/m, mentre quella di avviamento del modello LM71 è di 33 kN/m. Visto che il treno sfavorevole è quello LM71, anche per il calcolo della frenatura si considera il carico LM71 in avviamento. Distribuendo tale forza sulla larghezza di diffusione del carico si avrà:

| | | | |
|---|-----|------------|-----------------------------|
| Avviamento e frenatura LM71 | Av | 33.00 kN/m | |
| Avviamento e frenatura LM71 distribuiti | qAv | 6.91 kN/m | <i>Av / Ld</i> |

Azioni termiche (condizione:TERM)

Alla soletta superiore si applica una variazione termica uniforme pari a $\Delta t = \pm 15^\circ C$ ed una variazione nello spessore tra estradosso ed intradosso pari a $\Delta t = \pm 5^\circ C$.

| | | | |
|----------------------------------|-------------------|---------------------|--------------------------------|
| Variatione termica uniforme | ΔT_{unif} | +15.00 [°] | <i>Sulla soletta superiore</i> |
| Variatione termica differenziale | ΔT_{diff} | +5.00 [°] | <i>Sulla soletta superiore</i> |
| | Gradiente | +16.67 [°/m] | $\Delta T_{diff} / S_s$ |

Ritiro (condizione: RITIRO)

Gli effetti del ritiro vanno valutati a “lungo termine” attraverso il calcolo dei coefficienti di ritiro finale $\epsilon_{cs}(t, t_0)$ e di viscosità $\phi(t, t_0)$, come definiti nell'EUROCODICE 2- UNI EN 1992-1-1 Novembre 2005 e D. M. 17-01-2018.

I fenomeni di ritiro vengono considerati agenti solo sulla soletta di copertura ed applicati nel modello come una variazione termica uniforme equivalente agli effetti del ritiro:

| | | | |
|---|---------------------|------------------|--------------------------------|
| Variatione termica uniforme equivalente | ΔT_{ritiro} | -[11.29°] | <i>Sulla soletta superiore</i> |
|---|---------------------|------------------|--------------------------------|

Azioni sismiche

Per il calcolo dell'azione sismica si utilizza il metodo dell' analisi pseudostatica in cui l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico k . Le forze sismiche sono pertanto le seguenti:

$$\text{Forza sismica orizzontale } F_h = k_h * W$$

$$\text{Forza sismica verticale } F_v = k_v * W$$

I valori dei coefficienti sismici orizzontale k_h e verticale k_v

$$k_h = a_{max} / g$$

$$k_v = \pm 0,5 * k_h$$

Con riferimento alla nuova classificazione sismica del territorio nazionale, ai fini del calcolo dell'azione sismica secondo il DM 17/01/2018 viene assegnata all'opera una vita nominale $V_N \geq 75$ anni ed una III classe d'uso $C_u = 1,5$;

segue un periodo di riferimento $V_R = V_N * C_u = 112,5$ anni

A seguito di tale assunzione si ottiene allo stato limite ultimo SLV in funzione della Latitudine e Longitudine del sito in esame un valore dell'accelerazione pari ad a_g , il cui valore è di seguito riportato, come desunto anche dalla relazione geotecnica.

In assenza di analisi specifiche della risposta sismica locale, l'accelerazione massima può essere valutata con la relazione:

$$a_{max} = S * a = S_s * S_t * a_g$$

dove assumendo un terreno del tipo ed in base al fattore di amplificazione del sito F_0 si ottiene:

Le forze di inerzia sullo **scatolare** (masse di peso proprio soletta superiore e piedritti, rinterro e ballast, 20% treno di carico...) sono pari alle masse moltiplicate per kh e kv ove: $kh = \beta_M \times S \times ag/g$ e $kv = kh / 2$. Essendo lo scatolare non libero di subire spostamenti relativi rispetto al terreno, $\beta_M = 1$.

| | | |
|---|----------|------------|
| vita nominale | V_N | 75 anni |
| classe d'uso | CL | III |
| coefficiente d'uso | C_U | 1.50 |
| vita di riferimento = $C_U * V_N$ | V_R | 112.5 anni |
| probabilità di superamento nel periodo di riferimento | P_{VR} | 10% |
| periodo di ritorno del sisma | T_R | 1068 anni |

spettro di risposta in accelerazione della componente orizzontale

| | | |
|---|--------|-----------|
| accelerazione massima orizzontale al bedrock | ago | 0.093 g |
| fattore amplificazione massima spettro accelerazione | F_0 | 2.670 sec |
| periodo inizio tratto a velocità costante spettro acc. orizz. | T^*c | 0.449 |
| categoria sottosuolo | | C |
| categoria topografica | | T1 |
| amplificazione topografica | S_T | 1.000 |
| smorzamento viscoso convenzionale | ξ | 5% |
| fattore di correzione per $\xi <> 5\%$ | η | 1.000 |

| Tab.3.2.V | S_s | C_c | S_s | C_c |
|-----------|-------|-------|-------|-------|
| A | 1.00 | 1.00 | 1.50 | 1.37 |
| B | 1.20 | 1.29 | | |
| C | 1.50 | 1.37 | | |
| D | 1.80 | 1.87 | | |
| E | 1.60 | 1.58 | | |

| | | |
|---|---------|-----------|
| coefficiente amplificazione stratigrafica | S_s | 1.500 |
| coefficiente di amplificazione | S | 1.500 |
| coefficiente categoria sottosuolo | C_C | 1.368 |
| periodo inizio tratto a accelerazione costante = $T_c / 3$ | T_B | 0.205 sec |
| periodo inizio tratto a velocità costante = $C_c * T^*c$ | T_C | 0.614 sec |
| periodo inizio tratto a spostamento costante = $4 * ag/g + 1,6$ | T_D | 1.972 sec |
| accelerazione massima orizzontale al suolo = $S_s \times S_t \times ag/g$ | ago,max | 0.140 g |

Accelerazioni per il calcolo delle forze di inerzia agenti sullo scatolare

| | | |
|---|------------|----------|
| Coefficiente di riduzione dell'acc max attesa al sito | β | 1.000 |
| $a_o = kh = a_{go,max} = S \times ag/g$ | $a_o = kh$ | 0.1395 g |
| $a_v = kv = kh / 2$ | $a_v = kv$ | 0.0698 g |

Forze di inerzia (condizione SismaH)

| | | | |
|--|---------|------------------------|-----------------------------------|
| Forza di inerzia treno di carico - (%) | % | 20% | |
| Forza orizzontale sulla soletta di copertura | F^h | 7.49 kN/m | $(P_{ss}+P_b+P_r+%PQ1) \times kb$ |
| Forza orizzontale su singolo piedritto | F''^h | 1.05 kN/m ² | $Pp \times kb$ |

Forze di inerzia (condizione SismaV)

| | | | |
|--|-------|------------------------|-----------------------------------|
| Forza di inerzia treno di carico - (%) | % | 20% | |
| Forza verticale sulla soletta di copertura | F^v | 3.75 kN/m ² | $(P_{ss}+P_b+P_r+%PQ1) \times kv$ |

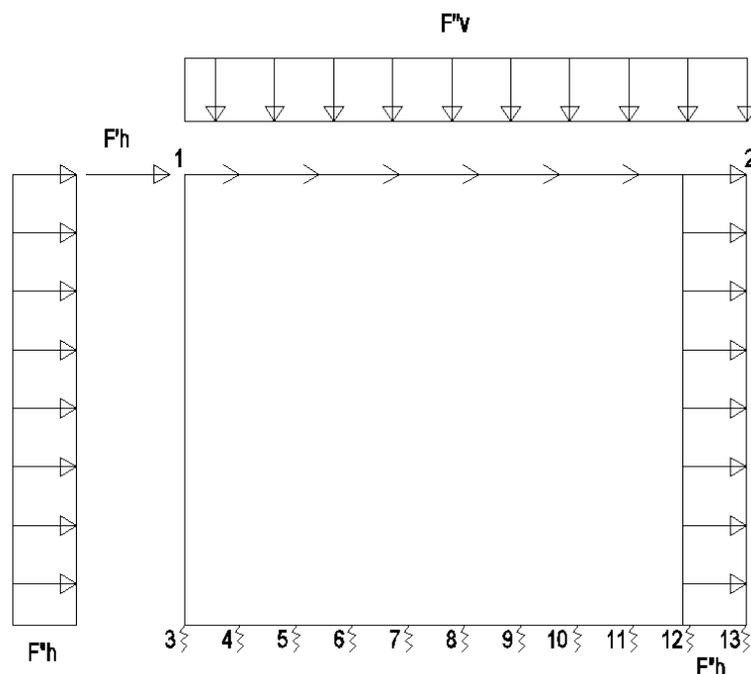


Figura 9. Forze sismiche agenti sulla struttura

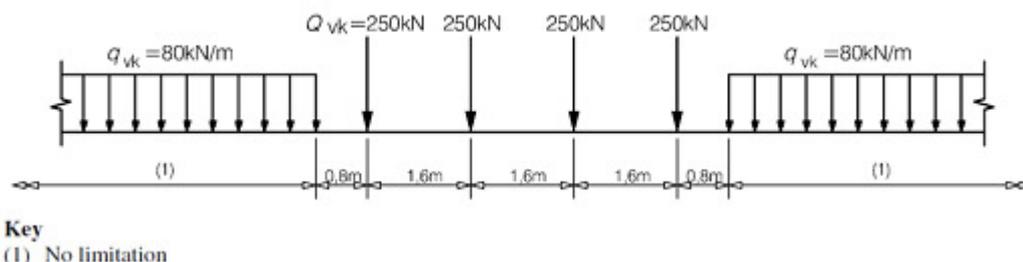
Spinta sismica terreno - Teoria di WOOD (condizioni SPSSX e SPSSX)

| | | | |
|---|------------|-------------------------|--|
| Forza distribuita su uno solo dei piedritti | qW | 13.60 kN/m ² | $(%PQ1+G2p+\gamma r \times H_{tot}) \times (a_{go,max})$ |
| Forza concentrata nodo superiore piedritto | QW_{sup} | 2.04 kN | $qW \times S_s / 2$ |
| Forza concentrata nodo inferiore piedritto | QW_{inf} | 2.72 kN | $qW \times S_f / 2$ |

3.7. VERIFICA REQUISITI S.T.I.

Di seguito si effettua la valutazione del carico equivalente previsto dalle Specifiche Tecniche di Interoperabilita con cui si da evidenza che l'opera in esame è idonea a sostenere tale carico.

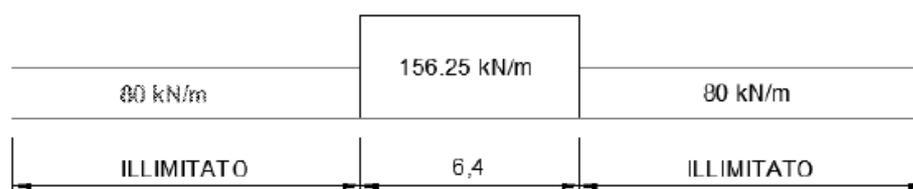
Il modello di carico LM71 citato dalle S.T.I. è definito nella norma EN 1991-2:2003/AC:2010.



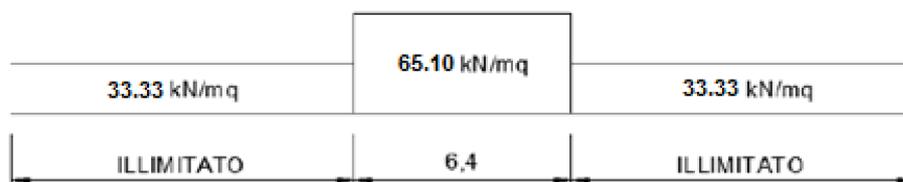
Il carico equivalente si ricava dalla ripartizione trasversale e longitudinale dei carichi per effetto delle traverse e del ballast previsti dalla stessa norma EN 1991-2:2003/AC:2010.

Considerando i 4 carichi assiali da 250 kN e la relativa distribuzione longitudinale, il carico verticale equivalente a metro lineare agente alla quota della piattaforma ferroviaria (convenzionalmente a 70 cm dal piano del ferro) risulta pari a:

$$p = \frac{4 \times 250}{4 \times 1.60} = 156.25 \text{ kPa}$$



Considerando che la distribuzione trasversale dei carichi è su una larghezza massima di 3 m secondo quanto previsto da EN 1991 – 2:2003/AC:2010, si utilizza una larghezza di progetto pari a $2,40 \text{ m}$ in quanto risulta cautelativo rispetto a quanto previsto dalla norma sopra citata. Si ricava, quindi, il carico equivalente unitario agente alla quota della piattaforma ferroviaria:



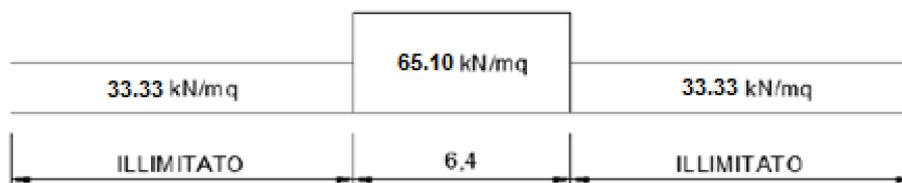
A tali carichi si deve applicare il coefficiente α relativo alle categorie S.T.I. come indicato nella tabella 11 di seguito riportata:

Tabella 11

Fattore alfa (α) per la progettazione di strutture nuove

| Tipo di traffico | Valore minimo del fattore alfa (α) |
|------------------|---|
| P1, P2, P3, P4 | 1,0 |
| P5 | 0,91 |
| P6 | 0,83 |
| P1520 | Punto in sospenso |
| P1600 | 1,1 |
| F1, F2, F3 | 1,0 |
| F4 | 0,91 |
| F1520 | Punto in sospenso |
| F1600 | 1,1 |

Nel caso in esame, il coefficiente α è pari ad 1.0 perché le categorie di traffico sono P4 per il traffico passeggeri ed F2 per il traffico merci per cui alle opere si applicano i seguenti carichi equivalenti:



In conclusione nell'opera in oggetto la ripartizione del carico a quota del piano di regolamento è stata effettuata considerando una distribuzione in senso trasversale secondo una pendenza di 1 a 4 all'interno del ballast per cui risulta:

$$Ld = 2.4 + 0.40 / 4 * 2 = 2.60 \text{ m}$$

anziché:

$$Ld = 3.0 + 0.40 / 4 * 2 = 3.20 \text{ m}$$

come previsto dalla EN 1991 – 2:2003/AC:2010 che risulterebbe meno gravoso.

Longitudinalmente invece i carichi assiali sono stati distribuiti uniformemente su 6.4 m.

A tali carichi è stato applicato un coefficiente α pari a 1.1 come indicato nel manuale di

progettazione per cui in definitiva il carico considerato a quota della piattaforma ferroviaria è pari a:

- $q_1 = 4 \cdot 250 / 6.4 / 2.60 = 60.10 \text{ kN/m}^2$
- $q_2 = 80 / 2.60 = 30.77 \text{ kN/m}^2$

a vantaggio di sicurezza rispetto ai carichi calcolati con riferimento alle STI.

3.8. COMBINAZIONI DI CARICO

Gli effetti dei carichi verticali, dovuti alla presenza dei convogli, vengono sempre combinati con le altre azioni derivanti dal traffico ferroviario, adottando i coefficienti di cui alla Tabella 5.2.IV del DM 17/01/2018 di seguito riportata. In particolare, per ogni gruppo viene individuata una azione dominante che verrà considerata per intero; per le altre azioni, vengono definiti diversi coefficienti di combinazione. Ogni gruppo massimizza una particolare condizione alla quale la struttura dovrà essere verificata.

Tab. 5.2.III - Carichi mobili in funzione del numero di binari presenti sul ponte

| Numero di binari | Binari Carichi | Traffico normale | | Traffico pesante ⁽²⁾ |
|------------------|----------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------------|
| | | caso a ⁽¹⁾ | caso b ⁽¹⁾ | |
| 1 | Primo | 1,0 (LM 71"++SW/0) | - | 1,0 SW/2 |
| | Primo | 1,0 (LM 71"++SW/0) | - | 1,0 SW/2 |
| 2 | secondo | 1,0 (LM 71"++SW/0) | - | 1,0 (LM 71"++SW/0) |
| | Primo | 1,0 (LM 71"++SW/0) | 0,75 (LM 71"++SW/0) | 1,0 SW/2 |
| ≥3 | secondo | 1,0 (LM 71"++SW/0) | 0,75 (LM 71"++SW/0) | 1,0 (LM 71"++SW/0) |
| | Altri | - | 0,75 (LM 71"++SW/0) | - |

⁽¹⁾ LM71 "++" SW/0 significa considerare il più sfavorevole fra i treni LM 71, SW/0

⁽²⁾ Salvo i casi in cui sia esplicitamente escluso

Tab. 5.2.IV -Valutazione dei carichi da traffico

| TIPO DI CARICO | Azioni verticali | | Azioni orizzontali | | | Commenti |
|----------------|----------------------|---------------|------------------------|---------------|---------------|-------------------------------------|
| | Carico verticale (1) | Treno scarico | Frenatura e avviamento | Centrifuga | Serpeggio | |
| Gruppo 1 (2) | 1,0 | - | 0,5 (0,0) | 1,0 (0,0) | 1,0 (0,0) | massima azione verticale e laterale |
| Gruppo 2 (2) | - | 1,0 | 0,0 | 1,0 (0,0) | 1,0 (0,0) | stabilità laterale |
| Gruppo 3 (2) | 1,0 (0,5) | - | 1,0 | 0,5 (0,0) | 0,5 (0,0) | massima azione longitudinale |
| Gruppo 4 | 0,8 (0,6;0,4) | - | 0,8 (0,6;0,4) | 0,8 (0,6;0,4) | 0,8 (0,6;0,4) | Fessurazione |

(1) Includendo tutti i valori (F; a; etc..)

(2) La simultaneità di due o tre valori caratteristici interi (assunzione di diversi coefficienti pari ad 1.0), sebbene improbabile, è stata considerata come semplificazione per i gruppi di carico 1,2 e 3 senza che ciò abbia significative conseguenze progettuali

I valori campiti in grigio rappresentano l'azione dominante.

Nelle tabelle sopra riportate è indicato un coefficiente per gli effetti a sfavore di sicurezza e, tra parentesi, un coefficiente, minore del precedente, per gli effetti a favore di sicurezza.

In fase di combinazione, ai fini delle verifiche degli SLU e SLE per la verifica delle tensioni, si sono considerati i soli Gruppo 1 e 3, mentre per la verifica a fessurazione è stato utilizzato il Gruppo 4. Nella tabella 5.2.III vengono riportati i carichi da utilizzare in caso di impalcati con due, tre o più binari caricati.

I Gruppi definiscono le azioni che nelle diverse combinazioni sono generalmente definite come Q_{ki} .

I coefficienti di amplificazione dei carichi γ e i coefficienti di combinazione ψ sono riportati nelle tabelle seguenti.

In particolare nel calcolo della struttura scatolare si fa riferimento alla combinazione A1 STR.

Tab. 5.2.V - Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

| Coefficiente | | | EQU ⁽¹⁾ | A1 | A2 |
|---|-------------|----------------|---------------------|---------------------|------|
| Azioni permanenti | favorevoli | γ_{G1} | 0,90 | 1,00 | 1,00 |
| | sfavorevoli | | 1,10 | 1,35 | 1,00 |
| Azioni permanenti non strutturali ⁽²⁾ | favorevoli | γ_{G2} | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | sfavorevoli | | 1,50 | 1,50 | 1,30 |
| Ballast ⁽³⁾ | favorevoli | γ_B | 0,90 | 1,00 | 1,00 |
| | sfavorevoli | | 1,50 | 1,50 | 1,30 |
| Azioni variabili da traffico ⁽⁴⁾ | favorevoli | γ_Q | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | sfavorevoli | | 1,45 | 1,45 | 1,25 |
| Azioni variabili | favorevoli | γ_{Qi} | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | sfavorevoli | | 1,50 | 1,50 | 1,30 |
| Precompressione | favorevole | γ_P | 0,90 | 1,00 | 1,00 |
| | sfavorevole | | 1,00 ⁽⁵⁾ | 1,00 ⁽⁶⁾ | 1,00 |
| Ritiro, viscosità e cedimenti non imposti appositamente | favorevole | γ_{Ced} | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | sfavorevole | | 1,20 | 1,20 | 1,00 |

⁽¹⁾ Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori della colonna A2.

⁽²⁾ Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali, o di una parte di essi (ad esempio carichi permanenti portati), sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

⁽³⁾ Quando si prevedano variazioni significative del carico dovuto al ballast, se ne dovrà tener conto esplicitamente nelle verifiche.

⁽⁴⁾ Le componenti delle azioni da traffico sono introdotte in combinazione considerando uno dei gruppi di carico gr della Tab. 5.2.IV.

⁽⁵⁾ 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna

⁽⁶⁾ 1,20 per effetti locali

 Tab. 5.2.VI - Coefficienti di combinazione Ψ delle azioni

| Azioni | | Ψ_0 | Ψ_1 | Ψ_2 |
|------------------|---|---------------------|---------------------|----------|
| Azioni singole | Carico sul rilevato a tergo delle spalle | 0,80 | 0,50 | 0,0 |
| da traffico | Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli | 0,80 | 0,50 | 0,0 |
| | gr_1 | 0,80 ⁽¹⁾ | 0,80 ⁽¹⁾ | 0,0 |
| Gruppi di | gr_2 | 0,80 ⁽¹⁾ | 0,80 ⁽¹⁾ | - |
| carico | gr_3 | 0,80 ⁽¹⁾ | 0,80 ⁽¹⁾ | 0,0 |
| | gr_4 | 1,00 | 1,00 ⁽¹⁾ | 0,0 |
| Azioni del vento | F_{Wk} | 0,60 | 0,50 | 0,0 |
| Azioni da | in fase di esecuzione | 0,80 | 0,0 | 0,0 |
| neve | SLU e SLE | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Azioni termiche | T_k | 0,60 | 0,60 | 0,50 |

⁽¹⁾ 0,80 se è carico solo un binario, 0,60 se sono carichi due binari e 0,40 se sono carichi tre o più binari.

⁽²⁾ Quando come azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti Ψ_0 relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico vanno assunti pari a 0,0.

Le azioni descritte nel paragrafo precedente ed utilizzate nelle combinazioni di carico vengono di seguito riassunte:

| | |
|--|---------|
| Pesoproprio | DEAD |
| Carichi permanenti | PERM |
| Spinta del terreno sulla parete sinistra | SPTSX |
| Spinta del terreno sulla parete destra | SPTDX |
| Carico Accidentale LM71 | ACCM |
| Spinta del carico acc. (LM71) Sulla | SPACCSX |

| | |
|------------------------------------|----------|
| Spinta del carico acc. (LM71)Sulla | SPACCDX |
| Avviamento efrenatura | AVV |
| Variazione termica sulla | ENV_TERM |
| Ritiro | RITIRO |
| Azione sismicaorizzontale | Sisma H |
| Azione sismicaVerticale | Sisma V |
| Incremento sismico della spinta | SPSDX/SX |

La 4 condizioni di carico:

$$\Delta T_{\text{uniforme}} = \pm 15^\circ$$

$$\Delta T_{\text{differenziale}} = \pm 5^\circ$$

e le loro 4 combinazioni sono state preventivamente involuppate nella condizione ENV_TERM, la quale viene impiegata nelle successive combinazioni di carico per massimizzare gli effetti termici.

Si riportano di seguito le combinazioni allo SLU di carico ritenute più significative in base all'esperienza. Combinazione fondamentale

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

| Combinazioni di carico SLU (nonsismiche) | | | | | | | | | | | | | |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| | 1slu | 2slu | 3slu | 4slu | 5slu | 6slu | 7slu | 8slu | 9slu | 10slu | 11slu | 12slu | 13slu |
| DEAD | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 |
| PERM | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 |
| SPTSX | 1 | 1 | 1 | 1 | 1.35 | 1.35 | 1 | 1 | 1 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 |
| SPTDX | 1 | 1 | 1 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| ACCM | 1.45 | 1.45 | 1.45 | 1.45 | 1.45 | 0 | 1.45 | 0 | 1.45 | 1.45 | 1.16 | 1.16 | 1.015 |
| SPACCSX | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.45 | 0 | 0 | 0 |
| SPACCDX | 1.45 | 0 | 0 | 1.45 | 1.45 | 1.45 | 1.45 | 1.45 | 1.45 | 0 | 1.16 | 1.16 | 1.015 |
| AVV | 1.45 | 1.45 | 1.45 | 1.45 | 1.45 | 0 | 1.45 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.45 |
| ENV_TERM | 0 | -0.9 | 0 | 0 | 0 | 0 | -0.9 | 0 | 0.9 | -0.9 | -1.5 | 1.5 | 0.9 |
| RITIRO | 0 | 1.2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 |

Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

dove:

$$E = \pm 1.00 \times E_Y \pm 0.30 \times E_Z \quad \text{oppure} \quad E = \pm 0.30 \times E_Y \pm 1.00 \times E_Z$$

| Combinazioni di CaricoSismiche | | | | | | | | |
|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | SH1 | SH2 | SH3 | SH4 | SV1 | SV2 | SV3 | SV4 |
| DEAD | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| PERM | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| SPTSX | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| SPTDX | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| ACCM | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| SPACCSX | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SPACCDX | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| AVV | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| ENV_TERM | -0.5 | -0.5 | -0.5 | -0.5 | -0.5 | -0.5 | -0.5 | -0.5 |
| RITIRO | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sisma H | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| Sisma V | 0.3 | -0.3 | 0.3 | -0.3 | -1 | 1 | -1 | 1 |
| SPSDX | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0.3 | 0.3 |
| SPSSX | 1 | 1 | 0 | 0 | 0.3 | 0.3 | 0 | 0 |

Le combinazioni sismiche vanno eseguite in entrambe le direzioni pertanto le combinazioni SH vanno ripetute per Sisma H = -1 e le combinazioni SV per Sisma V=-0.3.

Si riportano infine,le combinazioni di carico agli stati limite di esercizio SLE ritenute più significative.

Combinazione rara

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

| Combinazioni di caricoSLE | | | |
|---------------------------|------|------|------|
| | 1sle | 2sle | 3sle |
| DEAD | 1 | 1 | 1 |
| PERM | 1 | 1 | 1 |
| SPTSX | 1 | 1 | 1 |
| SPTDX | 0.8 | 0.8 | 0.8 |
| ACCM | 0.8 | 0.8 | 0.8 |
| SPACCSX | 0.8 | 0.8 | 0 |
| SPACCDX | 0.8 | 0.8 | 0.8 |
| AVV | -0.8 | 0.8 | -0.8 |
| ENV_TERM | -0.6 | 0.6 | -0.6 |
| RITIRO | 0 | 0 | 1 |

Modellazione adottata

Il modello di calcolo attraverso il quale viene schematizzata la struttura è quello di telaio chiuso su letto di molle alla Winkler. Il programma di calcolo utilizzato è un programma ad elementi finiti, il Sap 2000.

Le caratteristiche delle aste modellate con elementi frame sono le seguenti:

Asta 1 = Sezione 100 x 40 cmq (soletta inferiore)

Aste 2,4 = Sezione 100 x 30 cmq (piedritti)

Aste 3 = Sezione 100 x 30 cmq (soletta superiore)

L'opera è stata considerata vincolata alla base mediante dei vincoli cedevoli in funzione delle caratteristiche elastiche del terreno di sottofondo.

La soletta inferiore viene divisa in 10 elementi per poter schematizzare, tramite le molle applicate, l'interazione terreno-struttura. Per la rigidità delle molle, nel il caso in esame, si assume il valore del Modulo di reazione verticale desunto dalla relazione geotecnica:

Rigidità molle nodali SAP

| | | |
|----------------------------|----------------------|------------------------|
| ks | | 6417 kN/m ³ |
| nodi centrali (6,7,8,9,10) | | |
| Linfl | | 0.230 m |
| Kcentrale | ks x Linfl x 1 | 1476 kN/m |
| nodi intermedi (4,5,11,12) | | |
| Linfl | | 0.230 m |
| Kintermedio | 1,5 x ks x Linfl x 1 | 2214 kN/m |
| nodi estremità (3,13) | | |
| Linfl | | 0.265 m |
| Kestremità | 2,0 x ks x Linfl x 1 | 3401 kN/m |

Nodi

| | |
|-------------|--------|
| N.nodi | 13 |
| N.nodi sup | 2 |
| N.nodi inf | 11 |
| N.spazi inf | 10 |
| Linterasse | 2.30 m |
| Hinterasse | 2.35 m |

| Nodo | X | Z |
|------|-------|-------|
| 1 | 0.000 | 2.350 |
| 2 | 2.300 | 2.350 |
| 3 | 0.000 | 0.000 |
| 4 | 0.230 | 0.000 |
| 5 | 0.460 | 0.000 |
| 6 | 0.690 | 0.000 |
| 7 | 0.920 | 0.000 |
| 8 | 1.150 | 0.000 |
| 9 | 1.380 | 0.000 |
| 10 | 1.610 | 0.000 |
| 11 | 1.840 | 0.000 |
| 12 | 2.070 | 0.000 |
| 13 | 2.300 | 0.000 |

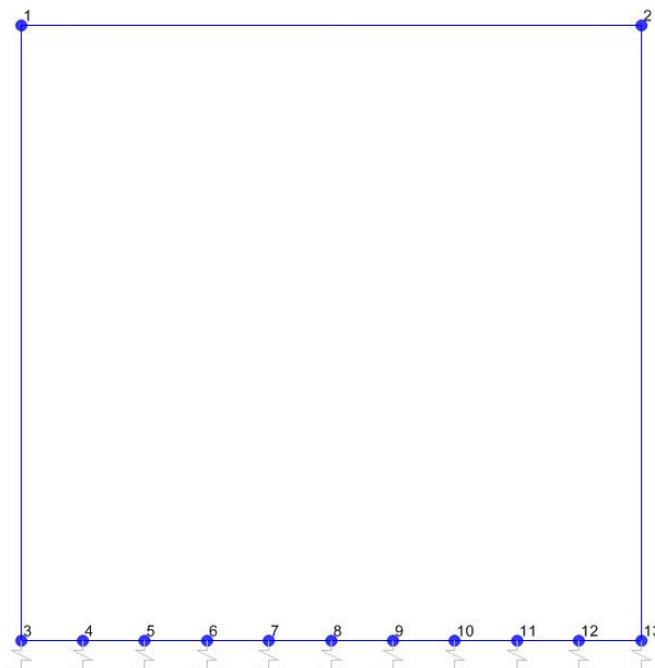


Figura 10. Numerazione nodi modello SAP

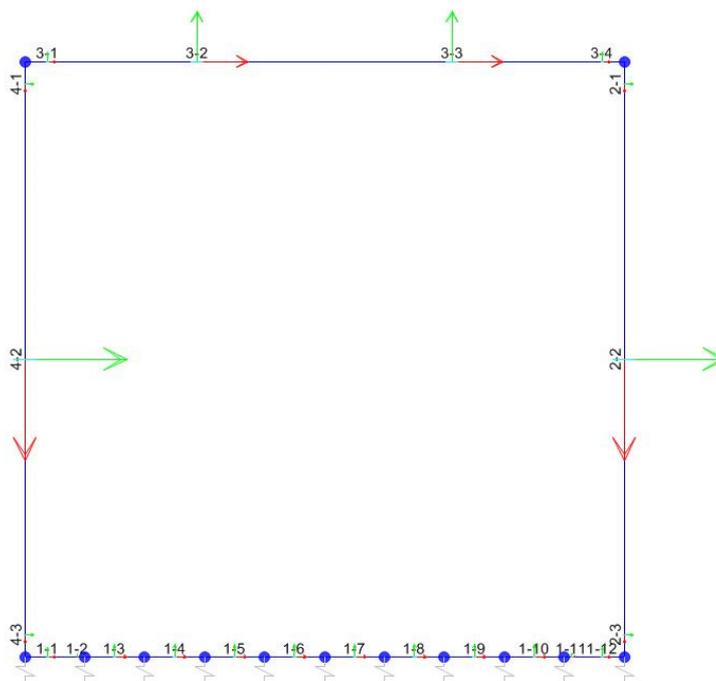


Figura 11: Individuazione elementi modello SAP

3.9. CARATTERISTICHE DELLE SOLLECITAZIONI

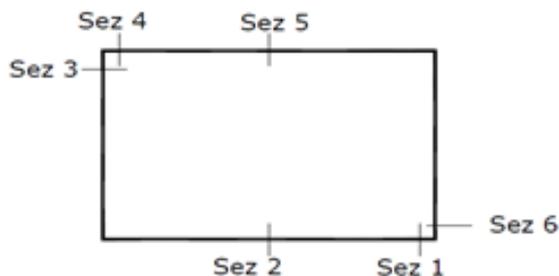
3.9.1. Inviluppo SLU-SLV

| Frame | Station | OutputCase | CaseType | StepType | P | V2 | M3 | |
|-------|---------|------------------|-------------|----------|---|-----|--------|-------|
| 1 | 0.15 | ENVELOPE SLU SLV | Combination | Max | | 0.0 | 135.4 | 46.3 |
| 1 | 0.25526 | ENVELOPE SLU SLV | Combination | Max | | 0.0 | 109.7 | 32.7 |
| 1 | 0.36053 | ENVELOPE SLU SLV | Combination | Max | | 0.0 | 111.1 | 26.1 |
| 1 | 0.46579 | ENVELOPE SLU SLV | Combination | Max | | 0.0 | 82.6 | 20.0 |
| 1 | 0.57105 | ENVELOPE SLU SLV | Combination | Max | | 0.0 | 84.1 | 14.6 |
| 1 | 0.67632 | ENVELOPE SLU SLV | Combination | Max | | 0.0 | 85.5 | 9.2 |
| 1 | 0.78158 | ENVELOPE SLU SLV | Combination | Max | | 0.0 | 65.2 | 4.4 |
| 1 | 0.88684 | ENVELOPE SLU SLV | Combination | Max | | 0.0 | 66.6 | -0.3 |
| 1 | 0.99211 | ENVELOPE SLU SLV | Combination | Max | | 0.0 | 44.4 | -4.5 |
| 1 | 1.09737 | ENVELOPE SLU SLV | Combination | Max | | 0.0 | 45.9 | -8.4 |
| 1 | 1.20263 | ENVELOPE SLU SLV | Combination | Max | | 0.0 | 26.5 | -6.8 |
| 1 | 1.30789 | ENVELOPE SLU SLV | Combination | Max | | 0.0 | 27.6 | -2.7 |
| 1 | 1.41316 | ENVELOPE SLU SLV | Combination | Max | | 0.0 | 14.6 | 1.5 |
| 1 | 1.51842 | ENVELOPE SLU SLV | Combination | Max | | 0.0 | 15.6 | 6.3 |
| 1 | 1.62368 | ENVELOPE SLU SLV | Combination | Max | | 0.0 | 0.7 | 11.0 |
| 1 | 1.72895 | ENVELOPE SLU SLV | Combination | Max | | 0.0 | 1.8 | 16.4 |
| 1 | 1.83421 | ENVELOPE SLU SLV | Combination | Max | | 0.0 | 2.8 | 21.6 |
| 1 | 1.93947 | ENVELOPE SLU SLV | Combination | Max | | 0.0 | -23.0 | 27.5 |
| 1 | 2.04474 | ENVELOPE SLU SLV | Combination | Max | | 0.0 | -21.9 | 33.4 |
| 1 | 2.15 | ENVELOPE SLU SLV | Combination | Max | | 0.0 | -50.6 | 46.3 |
| 1 | 0.15 | ENVELOPE SLU SLV | Combination | Min | | 0.0 | 41.6 | -23.2 |
| 1 | 0.25526 | ENVELOPE SLU SLV | Combination | Min | | 0.0 | 15.1 | -34.3 |
| 1 | 0.36053 | ENVELOPE SLU SLV | Combination | Min | | 0.0 | 16.1 | -41.7 |
| 1 | 0.46579 | ENVELOPE SLU SLV | Combination | Min | | 0.0 | -7.6 | -49.0 |
| 1 | 0.57105 | ENVELOPE SLU SLV | Combination | Min | | 0.0 | -6.6 | -51.8 |
| 1 | 0.67632 | ENVELOPE SLU SLV | Combination | Min | | 0.0 | -5.5 | -54.8 |
| 1 | 0.78158 | ENVELOPE SLU SLV | Combination | Min | | 0.0 | -19.2 | -55.2 |
| 1 | 0.88684 | ENVELOPE SLU SLV | Combination | Min | | 0.0 | -18.1 | -56.0 |
| 1 | 0.99211 | ENVELOPE SLU SLV | Combination | Min | | 0.0 | -29.9 | -56.3 |
| 1 | 1.09737 | ENVELOPE SLU SLV | Combination | Min | | 0.0 | -28.9 | -55.8 |
| 1 | 1.20263 | ENVELOPE SLU SLV | Combination | Min | | 0.0 | -45.9 | -56.3 |
| 1 | 1.30789 | ENVELOPE SLU SLV | Combination | Min | | 0.0 | -44.4 | -57.1 |
| 1 | 1.41316 | ENVELOPE SLU SLV | Combination | Min | | 0.0 | -66.6 | -57.1 |
| 1 | 1.51842 | ENVELOPE SLU SLV | Combination | Min | | 0.0 | -65.2 | -55.3 |
| 1 | 1.62368 | ENVELOPE SLU SLV | Combination | Min | | 0.0 | -85.5 | -54.8 |
| 1 | 1.72895 | ENVELOPE SLU SLV | Combination | Min | | 0.0 | -84.1 | -51.8 |
| 1 | 1.83421 | ENVELOPE SLU SLV | Combination | Min | | 0.0 | -82.6 | -49.0 |
| 1 | 1.93947 | ENVELOPE SLU SLV | Combination | Min | | 0.0 | -111.1 | -41.7 |
| 1 | 2.04474 | ENVELOPE SLU SLV | Combination | Min | | 0.0 | -109.7 | -34.3 |

IN72 - Tombino Scatolare 2x2 (pk 40+010.07): Relazione di calcolo scatolare

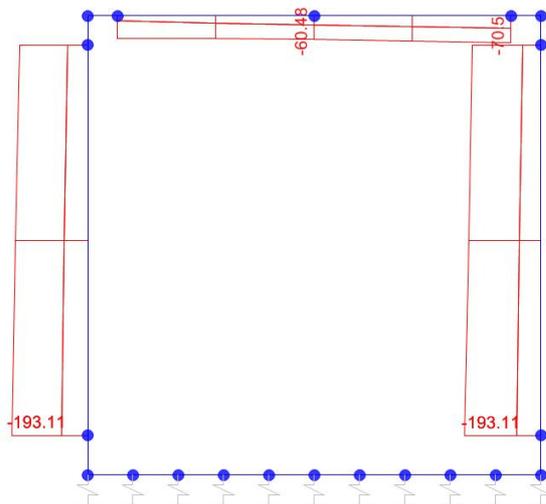
| | | | | | |
|------------------|-------------------|----------------|----------------------------|-----------|--------------------|
| COMMESSA RS3T | LOTTO 3 0 D 78 | CODIFICA CL | DOCUMENTO IN.72.0.0.001 | REV. A | FOGLIO 27 di 39 |
|------------------|-------------------|----------------|----------------------------|-----------|--------------------|

| | | | | | | | |
|---|------|------------------|-------------|-----|--------|--------|-------|
| 1 | 2.15 | ENVELOPE SLU SLV | Combination | Min | 0.0 | -135.4 | -23.2 |
| 2 | 0.15 | ENVELOPE SLU SLV | Combination | Max | -46.0 | -22.3 | -0.1 |
| 2 | 1.15 | ENVELOPE SLU SLV | Combination | Max | -53.5 | 18.8 | 9.6 |
| 2 | 2.15 | ENVELOPE SLU SLV | Combination | Max | -61.0 | 75.9 | 13.6 |
| 2 | 0.15 | ENVELOPE SLU SLV | Combination | Min | -172.9 | -59.7 | -55.6 |
| 2 | 1.15 | ENVELOPE SLU SLV | Combination | Min | -183.0 | -31.8 | -16.4 |
| 2 | 2.15 | ENVELOPE SLU SLV | Combination | Min | -193.1 | -4.3 | -50.1 |
| 3 | 0.15 | ENVELOPE SLU SLV | Combination | Max | -13.9 | -37.2 | 9.6 |
| 3 | 0.65 | ENVELOPE SLU SLV | Combination | Max | -18.9 | -10.9 | 50.8 |
| 3 | 1.15 | ENVELOPE SLU SLV | Combination | Max | -23.9 | 15.4 | 61.7 |
| 3 | 1.65 | ENVELOPE SLU SLV | Combination | Max | -28.9 | 77.7 | 48.7 |
| 3 | 2.15 | ENVELOPE SLU SLV | Combination | Max | -31.7 | 143.3 | 6.5 |
| 3 | 0.15 | ENVELOPE SLU SLV | Combination | Min | -58.1 | -143.3 | -40.6 |
| 3 | 0.65 | ENVELOPE SLU SLV | Combination | Min | -58.1 | -77.7 | -1.5 |
| 3 | 1.15 | ENVELOPE SLU SLV | Combination | Min | -60.5 | -12.1 | 8.4 |
| 3 | 1.65 | ENVELOPE SLU SLV | Combination | Min | -65.5 | 10.2 | -5.9 |
| 3 | 2.15 | ENVELOPE SLU SLV | Combination | Min | -70.5 | 32.6 | -40.6 |
| 4 | 0.15 | ENVELOPE SLU SLV | Combination | Max | -51.7 | 51.9 | 55.6 |
| 4 | 1.15 | ENVELOPE SLU SLV | Combination | Max | -59.2 | 31.8 | 17.7 |
| 4 | 2.15 | ENVELOPE SLU SLV | Combination | Max | -66.7 | 4.3 | 50.1 |
| 4 | 0.15 | ENVELOPE SLU SLV | Combination | Min | -172.9 | 7.8 | -6.1 |
| 4 | 1.15 | ENVELOPE SLU SLV | Combination | Min | -183.0 | -19.3 | -5.5 |
| 4 | 2.15 | ENVELOPE SLU SLV | Combination | Min | -193.1 | -75.9 | -10.4 |

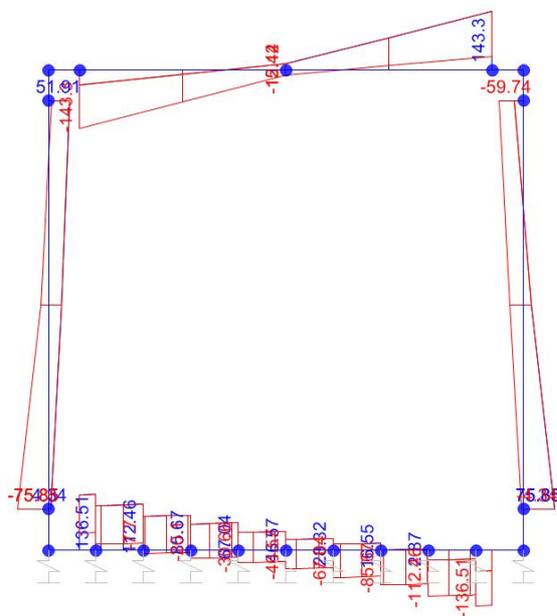


| SEZIONE | P | V2 | M3 |
|---------|-------|-------|------|
| 01 | 0.0 | 135.4 | 46.3 |
| 02 | 0.0 | 0.0 | 57.1 |
| 03 | -46.0 | 75.9 | 55.6 |
| 04 | 0.0 | 143.3 | 40.6 |
| 05 | 0.0 | 0.0 | 61.7 |
| 06 | -61.0 | 75.9 | 50.1 |

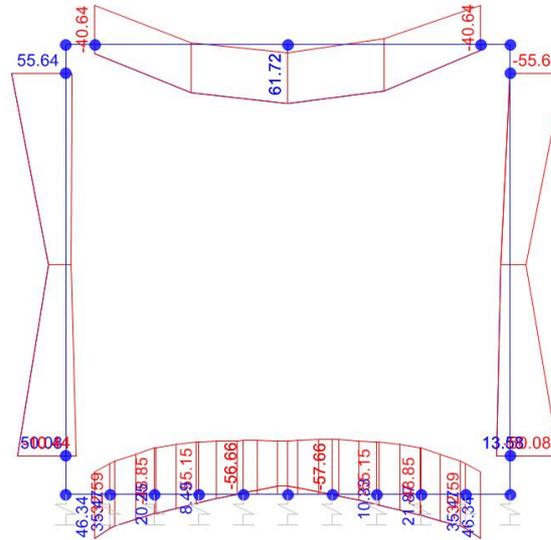
Diagrammi di involuppo delle sollecitazioni: ENVELOPE SLU-SLV



Sforzo normale



Taglio



Momento Flettente

I valori V e M dei diagrammi corrispondono a quelli riportati nella tabella, mentre il valore dello sforzo normale P nei diagrammi (valore massimo) differisce da quello di verifica della tabella, pari a quello di compressione minimo.

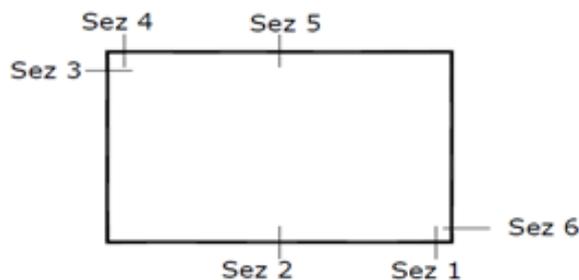
3.9.2. Inviluppo SLE (rara)

| Frame | Station | OutputCase | CaseType | StepType | P | V2 | M3 |
|-------|---------|------------------|-------------|----------|-----|-------|-------|
| 1 | 0.15 | ENVELOPE SLERARA | Combination | Max | 0.0 | 82.7 | 24.6 |
| 1 | 0.25526 | ENVELOPE SLERARA | Combination | Max | 0.0 | 64.8 | 16.3 |
| 1 | 0.36053 | ENVELOPE SLERARA | Combination | Max | 0.0 | 65.9 | 9.5 |
| 1 | 0.46579 | ENVELOPE SLERARA | Combination | Max | 0.0 | 46.6 | 2.6 |
| 1 | 0.57105 | ENVELOPE SLERARA | Combination | Max | 0.0 | 47.6 | -2.4 |
| 1 | 0.67632 | ENVELOPE SLERARA | Combination | Max | 0.0 | 48.7 | -7.4 |
| 1 | 0.78158 | ENVELOPE SLERARA | Combination | Max | 0.0 | 35.2 | -11.3 |
| 1 | 0.88684 | ENVELOPE SLERARA | Combination | Max | 0.0 | 36.3 | -15.1 |
| 1 | 0.99211 | ENVELOPE SLERARA | Combination | Max | 0.0 | 21.9 | -17.8 |
| 1 | 1.09737 | ENVELOPE SLERARA | Combination | Max | 0.0 | 23.0 | -19.7 |
| 1 | 1.20263 | ENVELOPE SLERARA | Combination | Max | 0.0 | 7.7 | -17.7 |
| 1 | 1.30789 | ENVELOPE SLERARA | Combination | Max | 0.0 | 8.8 | -15.0 |
| 1 | 1.41316 | ENVELOPE SLERARA | Combination | Max | 0.0 | -7.4 | -11.9 |
| 1 | 1.51842 | ENVELOPE SLERARA | Combination | Max | 0.0 | -6.3 | -7.8 |
| 1 | 1.62368 | ENVELOPE SLERARA | Combination | Max | 0.0 | -23.4 | -3.6 |
| 1 | 1.72895 | ENVELOPE SLERARA | Combination | Max | 0.0 | -22.4 | 1.8 |
| 1 | 1.83421 | ENVELOPE SLERARA | Combination | Max | 0.0 | -21.3 | 7.0 |
| 1 | 1.93947 | ENVELOPE SLERARA | Combination | Max | 0.0 | -49.0 | 14.1 |
| 1 | 2.04474 | ENVELOPE SLERARA | Combination | Max | 0.0 | -47.9 | 21.2 |
| 1 | 2.15 | ENVELOPE SLERARA | Combination | Max | 0.0 | -76.9 | 29.6 |
| 1 | 0.15 | ENVELOPE SLERARA | Combination | Min | 0.0 | 76.2 | -9.8 |
| 1 | 0.25526 | ENVELOPE SLERARA | Combination | Min | 0.0 | 46.0 | -17.1 |
| 1 | 0.36053 | ENVELOPE SLERARA | Combination | Min | 0.0 | 47.1 | -22.0 |
| 1 | 0.46579 | ENVELOPE SLERARA | Combination | Min | 0.0 | 18.6 | -26.9 |
| 1 | 0.57105 | ENVELOPE SLERARA | Combination | Min | 0.0 | 19.6 | -28.9 |
| 1 | 0.67632 | ENVELOPE SLERARA | Combination | Min | 0.0 | 20.7 | -31.0 |
| 1 | 0.78158 | ENVELOPE SLERARA | Combination | Min | 0.0 | 3.2 | -31.5 |
| 1 | 0.88684 | ENVELOPE SLERARA | Combination | Min | 0.0 | 4.2 | -31.9 |
| 1 | 0.99211 | ENVELOPE SLERARA | Combination | Min | 0.0 | -12.1 | -31.3 |
| 1 | 1.09737 | ENVELOPE SLERARA | Combination | Min | 0.0 | -11.1 | -31.5 |
| 1 | 1.20263 | ENVELOPE SLERARA | Combination | Min | 0.0 | -26.3 | -32.1 |
| 1 | 1.30789 | ENVELOPE SLERARA | Combination | Min | 0.0 | -25.3 | -33.0 |
| 1 | 1.41316 | ENVELOPE SLERARA | Combination | Min | 0.0 | -39.4 | -33.4 |
| 1 | 1.51842 | ENVELOPE SLERARA | Combination | Min | 0.0 | -38.4 | -32.7 |
| 1 | 1.62368 | ENVELOPE SLERARA | Combination | Min | 0.0 | -51.4 | -31.8 |
| 1 | 1.72895 | ENVELOPE SLERARA | Combination | Min | 0.0 | -50.4 | -29.4 |
| 1 | 1.83421 | ENVELOPE SLERARA | Combination | Min | 0.0 | -49.3 | -27.1 |
| 1 | 1.93947 | ENVELOPE SLERARA | Combination | Min | 0.0 | -67.7 | -22.0 |
| 1 | 2.04474 | ENVELOPE SLERARA | Combination | Min | 0.0 | -66.7 | -16.9 |

IN72 - Tombino Scatolare 2x2 (pk 40+010.07): Relazione di calcolo scatolare

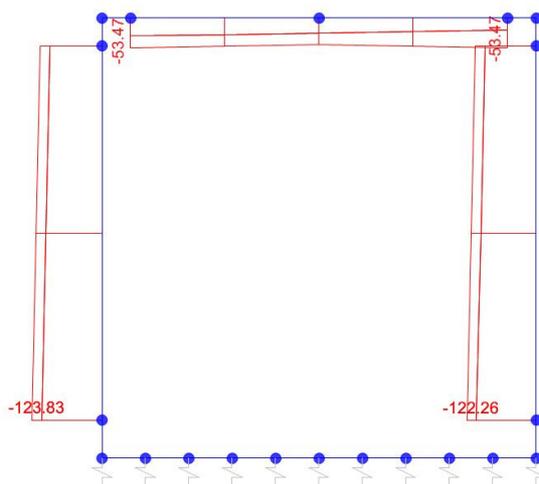
| | | | | | |
|------------------|-------------------|----------------|----------------------------|-----------|--------------------|
| COMMESSA RS3T | LOTTO 3 0 D 78 | CODIFICA CL | DOCUMENTO IN.72.0.0.001 | REV. A | FOGLIO 31 di 39 |
|------------------|-------------------|----------------|----------------------------|-----------|--------------------|

| | | | | | | |
|---|-----------------------|-------------|-----|--------|-------|-------|
| 1 | 2.15 ENVELOPE SLERARA | Combination | Min | 0.0 | -83.4 | -9.5 |
| 2 | 0.15 ENVELOPE SLERARA | Combination | Max | -90.2 | -13.9 | -3.4 |
| 2 | 1.15 ENVELOPE SLERARA | Combination | Max | -97.7 | 13.3 | 0.6 |
| 2 | 2.15 ENVELOPE SLERARA | Combination | Max | -105.2 | 46.3 | 1.4 |
| 2 | 0.15 ENVELOPE SLERARA | Combination | Min | -107.3 | -47.3 | -36.9 |
| 2 | 1.15 ENVELOPE SLERARA | Combination | Min | -114.8 | -20.1 | -5.9 |
| 2 | 2.15 ENVELOPE SLERARA | Combination | Min | -122.3 | 12.9 | -32.0 |
| 3 | 0.15 ENVELOPE SLERARA | Combination | Max | -31.9 | -72.9 | -0.1 |
| 3 | 0.65 ENVELOPE SLERARA | Combination | Max | -30.0 | -32.6 | 26.3 |
| 3 | 1.15 ENVELOPE SLERARA | Combination | Max | -27.2 | 7.8 | 36.9 |
| 3 | 1.65 ENVELOPE SLERARA | Combination | Max | -24.5 | 48.1 | 31.5 |
| 3 | 2.15 ENVELOPE SLERARA | Combination | Max | -21.7 | 88.5 | 5.9 |
| 3 | 0.15 ENVELOPE SLERARA | Combination | Min | -53.5 | -90.0 | -27.2 |
| 3 | 0.65 ENVELOPE SLERARA | Combination | Min | -50.7 | -49.7 | 5.8 |
| 3 | 1.15 ENVELOPE SLERARA | Combination | Min | -47.9 | -9.3 | 18.1 |
| 3 | 1.65 ENVELOPE SLERARA | Combination | Min | -50.7 | 31.0 | 4.1 |
| 3 | 2.15 ENVELOPE SLERARA | Combination | Min | -53.5 | 71.4 | -30.0 |
| 4 | 0.15 ENVELOPE SLERARA | Combination | Max | -91.7 | 46.4 | 35.5 |
| 4 | 1.15 ENVELOPE SLERARA | Combination | Max | -99.2 | 19.4 | 6.4 |
| 4 | 2.15 ENVELOPE SLERARA | Combination | Max | -106.7 | -8.1 | 26.7 |
| 4 | 0.15 ENVELOPE SLERARA | Combination | Min | -108.8 | 23.1 | 8.1 |
| 4 | 1.15 ENVELOPE SLERARA | Combination | Min | -116.3 | -8.1 | -1.7 |
| 4 | 2.15 ENVELOPE SLERARA | Combination | Min | -123.8 | -46.6 | -0.8 |

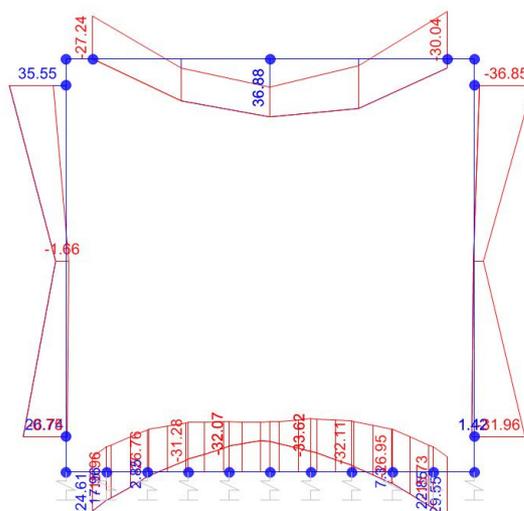


| SEZIONE | P | M3 |
|---------|--------|------|
| 01 | 0.0 | 29.6 |
| 02 | 0.0 | 33.4 |
| 03 | -90.2 | 36.9 |
| 04 | 0.0 | 30.0 |
| 05 | 0.0 | 36.9 |
| 06 | -105.2 | 32.0 |

Diagrammi di involuppo delle sollecitazioni: ENVELOPE SLE (rara)



Sforzo normale



Momento Flettente

Il valore M dei diagrammi corrisponde a quello riportato nella tabella, mentre il valore dello sforzo normale P nei diagrammi (valore massimo) differisce da quello di verifica della tabella, pari a quello di compressione minimo.

3.10. VERIFICHE

Il tombino ha:

- **Pareti di spessore pari a 30 cm** dotate di armatura principale **Ø20/20**
- **Soletta superiore di spessore pari a 30 cm** dotata di armatura principale **Ø20/20**
- **Soletta inferiore di spessore pari a 40 cm** dotata di armatura principale **Ø20/20**

La soletta superiore ha **armatura a taglio 1Ø12/15(long)/50(trasv)** (2 braccia per larghezza unitaria).

Tutti gli elementi hanno **ferri di ripartizione** nella direzione secondaria **Ø 14/20**

| SINTESI VERIFICHE SEZIONI NOTEVOLI: | | | | | | | |
|-------------------------------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SL | VERIF | SEZ01 | SEZ02 | SEZ03 | SEZ04 | SEZ05 | SEZ06 |
| SLU | Med/Mrd | 24% | 29% | 40% | 30% | 46% | 36% |
| SLU | Ved/Vrd | 79% | 0% | 50% | 59% | 0% | 50% |
| SLE | (sigse/sigsr)s | 2% | 2% | 5% | 2% | 2% | 5% |
| SLE | (sigse/sigsr)i | 18% | 20% | 24% | 27% | 33% | 19% |
| SLE | (sigce/sigcr)s | 10% | 11% | 23% | 19% | 24% | 20% |
| SLE | wk/wklim | 42% | 48% | 50% | 54% | 67% | 38% |
| | MAX | 79% | 48% | 50% | 59% | 67% | 50% |
| | MAX | 79% | | | | | |

Le verifiche risultano soddisfatte.

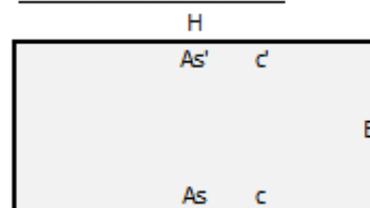
3.11. VERIFICHE DELLE SEZIONI

Sezione n° 01

Dati di Input:

| | | | | |
|-----------|--|----------------------|------------|--|
| B | Base sezione rettangolare | 1000 mm | | |
| H | Altezza sezione rettangolare | 400 mm | | |
| c' | Copriferro armatura sup. compressa | 70 mm | | |
| c | Copriferro armatura inf. Tesa | 70 mm | | |
| d | Altezza utile= H-c | 330 mm | | |
| fck | Resistenza caratt. Cilindrica calcestruzzo | 30 MPa | | |
| fyk | Resistenza caratt. Snervamento acciaio | 450 MPa | | |
| Ned | Sforzo normale di calcolo [(+)Trazione] | 0.0 kN | | |
| Med | Momento flettente di calcolo [(+)] | 46.3 kNm | | |
| Ved | Taglio di calcolo [(+)] | 135.4 kN | | |
| Ted | Torsione di calcolo [(+)] | 0 kNm | | |
| Fi1 | 1° diametro armatura tesa | 20 | | |
| Fi2 | 2° diametro armatura tesa | | | |
| n1 | N°. Barre 1° armatura tesa | 5 | | |
| n2 | N°. Barre 2° armatura tesa | | | |
| As' | Armatura superiore compressa | 1571 mmq | | |
| As | Armatura inferiore tesa | 1571 mmq | | |
| Fi Staffe | Diametro staffe | 0 mm | | |
| s. Staffe | Passo staffe | 150 mm | | |
| bracci | Numero Bracci staffe | 2 | | |
| cotθ | (proiez.orizz.)/(proiez.vert.) puntone cls | 2.0 [range: 1,0-2,5] | | |
| alpha | angolo staffe/piegati rispetto all'orizzontale | 90.0° | | |
| Asw | Area a taglio per unità di lunghezza | 0 mmq/m | 0.00 cmq/m | |
| <R-F-P> | Combinaz. SLE (rara, frequente, qperm) | R | | |
| Msle | Momento di esercizio [(+)] | 29.6 kNm | | |
| Nsle | Sforzo normale di esercizio [(+)Trazione] | 0.0 kN | | |
| wk-lim | Stato limite apertura fessure (Rara) | 0.20 mm | | |
| sigcR-lim | Tensione limite cls comb. Rara | 0.60 fck | | |
| sigcP-lim | Tensione limite cls comb. Quasi Perm. | 0.45 fck | | |
| sigsR-lim | Tensione limite acc. Comb. Rara | 0.80 fyk | | |

Geometria della Sezione:



Dati di Output:

SLU - Momento e Taglio resistenti

| | | | | |
|-----|------------------------------------|---------|---------------|-----|
| Mrd | Momento ultimo resistente | 197 kNm | Coeff.Sfrutt. | 24% |
| Vrd | Taglio ultimo resistente | 171 kN | Coeff.Sfrutt. | 79% |
| Trd | Momento torcente ultimo resistente | 0 kNm | Coeff.Sfrutt. | |

SLE - Tensioni e ampiezza fessure

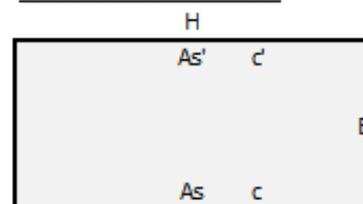
| | | | | |
|----------|--|---------|------------------|-----|
| Sigs-sup | Tensione barre superiori [(-)Compresso] | -8 Mpa | Coeff.Sfrutt. | 2% |
| Sigs-inf | Tensione barre inferiori [(+)Teso] | 64 Mpa | Coeff.Sfrutt. | 18% |
| Sigc-sup | Tensione cls superiore [(-)Compresso] | -2 Mpa | Coeff.Sfrutt. | 10% |
| Sigc-inf | Tensione cls inferiore [non reag.Trazione] | 0 Mpa | | |
| Mcr | Momento di prima fessurazione | 85 kNm | | |
| wk | Ampiezza di fessura | 0.08 mm | Coeff.Sfrutt. | 42% |
| | | | Coeff.Sfrutt.Max | 79% |

Sezione n° 02

Dati di Input:

| | | | |
|-----------|--|----------------------|------------|
| B | Base sezione rettangolare | 1000 mm | |
| H | Altezza sezione rettangolare | 400 mm | |
| c' | Copriferro armatura sup. compressa | 70 mm | |
| c | Copriferro armatura inf. Tesa | 70 mm | |
| d | Altezza utile= H-c | 330 mm | |
| fck | Resistenza caratt. Cilindrica calcestruzzo | 30 MPa | |
| fyk | Resistenza caratt. Snervamento acciaio | 450 MPa | |
| Ned | Sforzo normale di calcolo [(+)Trazione] | 0.0 kN | |
| Med | Momento flettente di calcolo [(+)] | 57.1 kNm | |
| Ved | Taglio di calcolo [(+)] | 0.0 kN | |
| Ted | Torsione di calcolo [(+)] | 0 kNm | |
| Fi1 | 1° diametro armatura tesa | 20 | |
| Fi2 | 2° diametro armatura tesa | 0 | |
| n1 | N°. Barre 1° armatura tesa | 5 | |
| n2 | N°. Barre 2° armatura tesa | 0 | |
| As' | Armatura superiore compressa | 1571 mmq | |
| As | Armatura inferiore tesa | 1571 mmq | |
| Fi Staffe | Diametro staffe | 0 mm | |
| s. Staffe | Passo staffe | 150 mm | |
| bracci | Numero Bracci staffe | 2 | |
| cotθ | (proiez.orizz.)/(proiez.vert.) puntone cls | 2.0 [range: 1,0-2,5] | |
| alpha | angolo staffe/piegati rispetto all'orizzontale | 90.0° | |
| Asw | Area a taglio per unità di lunghezza | 0 mmq/m | 0.00 cmq/m |
| <R-F-P> | Combinaz. SLE (rara, frequente, qperm) | R | |
| Msle | Momento di esercizio [(+)] | 33.4 kNm | |
| Nsle | Sforzo normale di esercizio [(+)Trazione] | 0.0 kN | |
| wk-lim | Stato limite apertura fessure (Freq.Perm) | 0.20 mm | |
| sigcR-lim | Tensione limite cls comb. Rara | 0.60 fck | |
| sigcP-lim | Tensione limite cls comb. Quasi Perm. | 0.45 fck | |
| sigcR-lim | Tensione limite acc. Comb. Rara | 0.80 fyk | |

Geometria della Sezione:



Dati di Output

SLU - Momento e Taglio resistenti

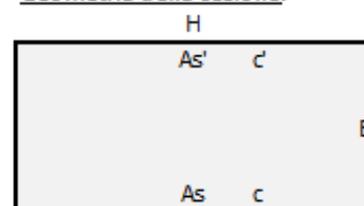
| | | | | |
|-----|------------------------------------|---------|---------------|-----|
| Mrd | Momento ultimo resistente | 197 kNm | Coeff.Sfrutt. | 29% |
| Vrd | Taglio ultimo resistente | 171 kN | Coeff.Sfrutt. | 0% |
| Trd | Momento torcente ultimo resistente | 0 kNm | Coeff.Sfrutt. | |

SLE - Tensioni e ampiezza fessure

| | | | | |
|----------|--|---------|------------------|-----|
| Sigs-sup | Tensione barre superiori [(-)Compresso] | -9 Mpa | Coeff.Sfrutt. | 2% |
| Sigs-inf | Tensione barre inferiori [(+)Teso] | 73 Mpa | Coeff.Sfrutt. | 20% |
| Sigc-sup | Tensione cls superiore [(-)Compresso] | -2 Mpa | Coeff.Sfrutt. | 11% |
| Sigc-inf | Tensione cls inferiore [non reag.Trazione] | 0 Mpa | | |
| Mcr | Momento di prima fessurazione | 85 kNm | | |
| wk | Ampiezza di fessura | 0.10 mm | Coeff.Sfrutt. | 48% |
| | | | Coeff.Sfrutt.Max | 48% |

Sezione n°. 03
Dati di Input:

| | | | |
|-----------|--|----------------------|------------|
| B | Base sezione rettangolare | 1000 mm | |
| H | Altezza sezione rettangolare | 300 mm | |
| c' | Copriferro armatura sup. compressa | 70 mm | |
| c | Copriferro armatura inf. Tesa | 70 mm | |
| d | Altezza utile = H-c | 230 mm | |
| fck | Resistenza car att. Cilindrica calcestruzzo | 30 MPa | |
| fyk | Resistenza car att. Snervamento acciaio | 450 MPa | |
| Ned | Sforzo normale di calcolo [(+)Trazione] | -46.0 kN | |
| Med | Momento flettente di calcolo [(+)] | 55.6 kNm | |
| Ved | Taglio di calcolo [(+)] | 75.9 kN | |
| Ted | Torsione di calcolo [(+)] | 0 kNm | |
| F1 | 1° diametro armatura tesa | 20 | |
| F2 | 2° diametro armatura tesa | 0 | |
| n1 | N°. Barre 1° armatura tesa | 5 | |
| n2 | N°. Barre 2° armatura tesa | 0 | |
| As' | Armatura superiore compressa | 1571 mmq | |
| As | Armatura inferiore tesa | 1571 mmq | |
| Fi Staffe | Diametro staffe | 0 mm | |
| s. Staffe | Passo staffe | 150 mm | |
| bracci | Numero Bracci staffe | 2 | |
| cotθ | (proiez. orizz.)/(proiez. vert.) puntone cls | 2.0 [range: 1,0-2,5] | |
| alpha | angolo staffe/piegati rispetto all'orizzontale | 90.0° | |
| Asw | Area a taglio per unità di lunghezza | 0 mmq/m | 0.00 cmq/m |
| <R-F-P> | Combinaz. SLE (rara, frequente, qperm) | R | |
| Msie | Momento di esercizio [(+)] | 36.9 kNm | |
| Nsie | Sforzo normale di esercizio [(+)Trazione] | -90.2 kN | |
| wk-lim | Stato limite apertura fessure (Freq.Perm) | 0.20 mm | |
| sigcR-lim | Tensione limite cls comb. Rara | 0.60 fck | |
| sigcP-lim | Tensione limite cls comb. Quasi Perm. | 0.45 fck | |
| sigcR-lim | Tensione limite acc. Comb. Rara | 0.80 fyk | |

Geometria della Sezione:

Dati di Output
SLU - Momento e Taglio resistenti

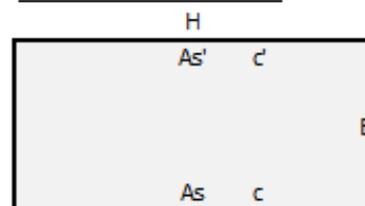
| | | | | |
|-----|------------------------------------|---------|---------------|-----|
| Mrd | Momento ultimo resistente | 139 kNm | Coeff.Sfrutt. | 40% |
| Vrd | Taglio ultimo resistente | 151 kN | Coeff.Sfrutt. | 50% |
| Trd | Momento torcente ultimo resistente | 0 kNm | Coeff.Sfrutt. | |

SLE - Tensioni e ampiezza fessure

| | | | | |
|----------|--|---------|------------------|-----|
| Sigs-sup | Tensione barre superiori [(-)Compresso] | -17 Mpa | Coeff.Sfrutt. | 5% |
| Sigs-inf | Tensione barre inferiori [(+)Teso] | 88 Mpa | Coeff.Sfrutt. | 24% |
| Sigc-sup | Tensione cls superiore [(-)Compresso] | -4 Mpa | Coeff.Sfrutt. | 23% |
| Sigc-inf | Tensione cls inferiore [non reag.Trazione] | 0 Mpa | | |
| Mcr | Momento di prima fessurazione | 54 kNm | | |
| wk | Ampiezza di fessura | 0.10 mm | Coeff.Sfrutt. | 50% |
| | | | Coeff.Sfrutt.Max | 50% |

Sezione n° 04
Dati di Input:

| | | | | |
|-----------|--|----------------------|-------------|--|
| B | Base sezione rettangolare | 1000 mm | | |
| H | Altezza sezione rettangolare | 300 mm | | |
| c' | Copri ferro armatura sup. compressa | 70 mm | | |
| c | Copri ferro armatura inf. Tesa | 70 mm | | |
| d | Altezza utile = H-c | 230 mm | | |
| fck | Resistenza caratt. Cilindrica calcestruzzo | 30 MPa | | |
| fyk | Resistenza caratt. Snervamento acciaio | 450 MPa | | |
| Ned | Sforzo normale di calcolo [(+)Trazione] | 0.0 kN | | |
| Med | Momento flettente di calcolo [(+)] | 40.6 kNm | | |
| Ved | Taglio di calcolo [(+)] | 143.3 kN | | |
| Ted | Torsione di calcolo [(+)] | 0 kNm | | |
| F1 | 1° diametro armatura tesa | 20 | | |
| F2 | 2° diametro armatura tesa | 0 | | |
| n1 | N°. Barre 1° armatura tesa | 5 | | |
| n2 | N°. Barre 2° armatura tesa | | | |
| As' | Armatura superiore compressa | 1571 mmq | | |
| As | Armatura inferiore tesa | 1571 mmq | | |
| Fi Staffe | Diametro staffe | 12 mm | | |
| s. Staffe | Passo staffe | 150 mm | | |
| bracci | Numero Bracci staffe | 2 | | |
| cotθ | (proiez. orizz.)/(proiez. vert.) puntone cls | 2.0 [range: 1,0-2,5] | | |
| alpha | angolo staffe/piegati rispetto all'orizzontale | 90.0° | | |
| Asw | Area a taglio per unità di lunghezza | 1508 mmq/m | 15.08 cmq/m | |
| <R-F-P> | Combinaz. SLE (rara, frequente, qperm) | R | | |
| Mse | Momento di esercizio [(+)] | 30.0 kNm | | |
| Nse | Sforzo normale di esercizio [(+)Trazione] | 0.0 kN | | |
| wk-lim | Stato limite apertura fessure (Freq.Perm) | 0.20 mm | | |
| sigcR-lim | Tensione limite cls comb. Rara | 0.60 fck | | |
| sigcP-lim | Tensione limite cls comb. Quasi Perm. | 0.45 fck | | |
| sigcR-lim | Tensione limite acc. Comb. Rara | 0.80 fyk | | |

Geometria della Sezione:

Dati di Output:
SLU - Momento e Taglio resistenti

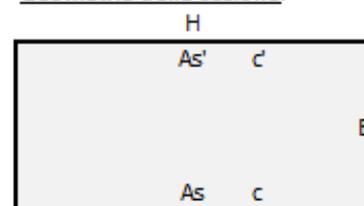
| | | | | |
|-----|------------------------------------|---------|---------------|-----|
| Mrd | Momento ultimo resistente | 135 kNm | Coeff.Sfrutt. | 30% |
| Vrd | Taglio ultimo resistente | 244 kN | Coeff.Sfrutt. | 59% |
| Trd | Momento torcente ultimo resistente | 2 kNm | Coeff.Sfrutt. | |

SLE - Tensioni e ampiezza fessure

| | | | | |
|----------|--|---------|------------------|-----|
| Sigs-sup | Tensione barre superiori [(-)Compresso] | -7 Mpa | Coeff.Sfrutt. | 2% |
| Sigs-inf | Tensione barre inferiori [(+)Teso] | 96 Mpa | Coeff.Sfrutt. | 27% |
| Sigc-sup | Tensione cls superiore [(-)Compresso] | -3 Mpa | Coeff.Sfrutt. | 19% |
| Sigc-inf | Tensione cls inferiore [non reag.Trazione] | 0 Mpa | | |
| Mcr | Momento di prima fessurazione | 49 kNm | | |
| wk | Ampiezza di fessura | 0.11 mm | Coeff.Sfrutt. | 54% |
| | | | Coeff.Sfrutt.Max | 59% |

Sezione n°. 05
Dati di Input:

| | | | |
|-----------|--|----------------------|-------------|
| B | Base sezione rettangolare | 1000 mm | |
| H | Altezza sezione rettangolare | 300 mm | |
| c' | Copri ferro armatura sup. compressa | 70 mm | |
| c | Copri ferro armatura inf. Tesa | 70 mm | |
| d | Altezza utile = H-c | 230 mm | |
| fck | Resistenza caratt. Cilindrica calcestruzzo | 30 MPa | |
| fyk | Resistenza caratt. Snervamento acciaio | 450 MPa | |
| Ned | Sforzo normale di calcolo [(+)Trazione] | 0.0 kN | |
| Med | Momento flettente di calcolo [(+)] | 61.7 kNm | |
| Ved | Taglio di calcolo [(+)] | 0.0 kN | |
| Ted | Torsione di calcolo [(+)] | 0 kNm | |
| Fi1 | 1° diametro armatura tesa | 20 | |
| Fi2 | 2° diametro armatura tesa | 0 | |
| n1 | N°. Barre 1° armatura tesa | 5 | |
| n2 | N°. Barre 2° armatura tesa | 0 | |
| As' | Armatura superiore compressa | 1571 mmq | |
| As | Armatura inferiore tesa | 1571 mmq | |
| Fi Staffe | Diametro staffe | 12 mm | |
| s. Staffe | Passo staffe | 150 mm | |
| bracci | Numero Bracci staffe | 2 | |
| cotθ | (proiez.orizz.)/(proiez.vert.) puntone cls | 2.0 [range: 1,0-2,5] | |
| alpha | angolo staffe/piegati rispetto all'orizzontale | 90.0° | |
| Asw | Area a taglio per unità di lunghezza | 1508 mmq/m | 15.08 cmq/m |
| <R-F-P> | Combinaz. SLE (rara, frequente, qperm) | R | |
| Msle | Momento di esercizio [(+)] | 36.9 kNm | |
| Nsle | Sforzo normale di esercizio [(+)Trazione] | 0.0 kN | |
| wk-lim | Stato limite apertura fessure (Freq.Perm) | 0.20 mm | |
| sigcR-lim | Tensione limite cls comb. Rara | 0.60 fck | |
| sigcP-lim | Tensione limite cls comb. Quasi Perm. | 0.45 fck | |
| sigsR-lim | Tensione limite acc. Comb. Rara | 0.80 fyk | |

Geometria della Sezione:

Dati di Output:
SLU - Momento e Taglio resistenti

| | | | | |
|-----|------------------------------------|---------|---------------|-----|
| Mrd | Momento ultimo resistente | 135 kNm | Coeff.Sfrutt. | 46% |
| Vrd | Taglio ultimo resistente | 244 kN | Coeff.Sfrutt. | 0% |
| Trd | Momento torcente ultimo resistente | 2 kNm | Coeff.Sfrutt. | |

SLE - Tensioni e ampiezza fessure

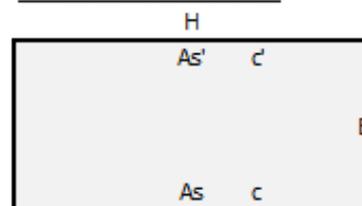
| | | | | |
|----------|--|---------|------------------|-----|
| Sigs-sup | Tensione barre superiori [(-)Compresso] | -8 Mpa | Coeff.Sfrutt. | 2% |
| Sigs-inf | Tensione barre inferiori [(+)Teso] | 117 Mpa | Coeff.Sfrutt. | 33% |
| Sigc-sup | Tensione cls superiore [(-)Compresso] | -4 Mpa | Coeff.Sfrutt. | 24% |
| Sigc-inf | Tensione cls inferiore [non reag.Trazione] | 0 Mpa | | |
| Mcr | Momento di prima fessurazione | 49 kNm | | |
| wk | Ampiezza di fessura | 0.13 mm | Coeff.Sfrutt. | 67% |
| | | | Coeff.Sfrutt.Max | 67% |

Sezione n°. 06

Dati di Input:

| | | | |
|-----------|--|----------------------|------------|
| B | Base sezione rettangolare | 1000 mm | |
| H | Altezza sezione rettangolare | 300 mm | |
| c' | Copriferro armatura sup. compressa | 70 mm | |
| c | Copriferro armatura inf. Tesa | 70 mm | |
| d | Altezza utile = H-c | 230 mm | |
| fck | Resistenza caratt. Cilindrica calcestruzzo | 30 MPa | |
| fyk | Resistenza caratt. Snervamento acciaio | 450 MPa | |
| Ned | Sforzo normale di calcolo [(+)Trazione] | -61.0 kN | |
| Med | Momento flettente di calcolo [(+)] | 50.1 kNm | |
| Ved | Taglio di calcolo [(+)] | 75.9 kN | |
| Ted | Torsione di calcolo [(+)] | 0 kNm | |
| F1 | 1° diametro armatura tesa | 20 | |
| F2 | 2° diametro armatura tesa | 0 | |
| n1 | N°. Barre 1° armatura tesa | 5 | |
| n2 | N°. Barre 2° armatura tesa | 0 | |
| As' | Armatura superiore compressa | 1571 mmq | |
| As | Armatura inferiore tesa | 1571 mmq | |
| Fi Staffe | Diametro staffe | 0 mm | |
| s. Staffe | Passo staffe | 150 mm | |
| bracci | Numero Bracci staffe | 2 | |
| cotθ | (proiez.orizz.)/(proiez.vert.) puntone cls | 2.0 [range: 1,0-2,5] | |
| alpha | angolo staffe/piegati rispetto all'orizzontale | 90.0° | |
| Asw | Area a taglio per unità di lunghezza | 0 mmq/m | 0.00 cmq/m |
| <R-F-P> | Combinaz. SLE (rara, frequente, qperm) | R | |
| Msle | Momento di esercizio [(+)] | 32.0 kNm | |
| Nsle | Sforzo normale di esercizio [(+)Trazione] | -105.2 kN | |
| wk-lim | Stato limite apertura fessure (Freq,Perm) | 0.20 mm | |
| sigcR-lim | Tensione limite cls comb. Rara | 0.60 fck | |
| sigcP-lim | Tensione limite cls comb. Quasi Perm. | 0.45 fck | |
| sigsR-lim | Tensione limite acc. Comb. Rara | 0.80 fyk | |

Geometria della Sezione:



Dati di Output:

SLU - Momento e Taglio resistenti

| | | | | |
|-----|------------------------------------|---------|---------------|-----|
| Mrd | Momento ultimo resistente | 141 kNm | Coeff.Sfrutt. | 36% |
| Vrd | Taglio ultimo resistente | 153 kN | Coeff.Sfrutt. | 50% |
| Trd | Momento torcente ultimo resistente | 0 kNm | Coeff.Sfrutt. | |

SLE - Tensioni e ampiezza fessure

| | | | | |
|----------|--|---------|------------------|-----|
| Sigs-sup | Tensione barre superiori [(-)Compresso] | -17 Mpa | Coeff.Sfrutt. | 5% |
| Sigs-inf | Tensione barre inferiori [(+)Teso] | 67 Mpa | Coeff.Sfrutt. | 19% |
| Sigc-sup | Tensione cls superiore [(-)Compresso] | -4 Mpa | Coeff.Sfrutt. | 20% |
| Sigc-inf | Tensione cls inferiore [non reag.Trazione] | 0 Mpa | | |
| Mcr | Momento di prima fessurazione | 54 kNm | | |
| wk | Ampiezza di fessura | 0.08 mm | Coeff.Sfrutt. | 38% |
| | | | Coeff.Sfrutt.Max | 50% |