



Anas SpA

Direzione Centrale Progettazione

AUTOSTRADA A3 SALERNO - REGGIO CALABRIA AMMODERNAMENTO DEL TRONCO 1°- TRATTO 6° - LOTTO 3°

NUOVO SVINCOLO DI PADULA-BUONABITACOLO AL KM 103+200
(COLLEGAMENTO DELLA S.S. 517 "BUSSENTINA" CON LA A3)

PROGETTO DEFINITIVO

PROGETTAZIONE: ANAS - DIREZIONE CENTRALE PROGETTAZIONE

| | | | |
|---|------|---|--|
| I PROGETTISTI: Dott. Ing. PIA IASIELLO Dott. Ing. GIANFRANCO FUSANI <i>Ordine Ing. di Foggia n. 1895</i> <i>Ordine Ing. di Roma n. 18008</i> Dott. Arch. GIANLUCA BONOLI <i>Ordine Arch. di Roma n. 16639</i> | | GRUPPO DI PROGETTAZIONE ANAS Ing. Luca Zampaglione - Responsabile di Progetto Ing. Francesca Bario - Strutture Ing. Francesco Bezzi - Impianti Ing. Pierluigi Fabbro - Interferenze Ing. Fiorenzo Forcone - Monitoraggio Ambientale Ing. Gabriele Giovannini - Cartografia Ing. Attilio Petrillo - Idraulica Arch. Roberto Roggi - Sicurezza Geom. Valerio Altomare - Espropri Geom. Alessandro Cortese - Geotecnica Geom. Michele Pacelli - Strade Geom. Marco Spinucci - Computi, Stime e Capitolati | |
| IL GEOLOGO: Dott. Geol. STEFANO SERANGELI <i>Ordine Geol. del Lazio n. 659</i> | | RESPONSABILI UNITA' DI INGEGNERIA : Ing. Fulvio Maria Soccodato - Ingegneria Territorio Ing. Alessandro Micheli - Ingegneria Geotecnica e Impianti Ing. Achille Devitofranceschi - Ingegneria Opere Civili Geom. Fabio Quondam - Ingegneria Computi, Stime e Capitolati | |
| IL RESPONSABILE DEL S.I.A. Dott. Arch. FRANCESCA IETTO Dott. Ing. GINEVRA BERETTA <i>Ordine Arch. di Roma n. 15857</i> <i>Ordine Ing. di Roma n. 20458</i> | | | |
| IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE Geom. FABIO QUONDAM | | | |
| VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO : Dott. Ing. ANTONIO VALENTE | | | |
| PROTOCOLLO | DATA | | |

OPERE D'ARTE MAGGIORI PONTI E VIADOTTI PONTE SULL'ACQUA DELL'IMPERATORE RELAZIONE DI CALCOLO

| | | | | | |
|-----------------|-------------|-----------|-----------------------------|---------------|----------------------|
| CODICE PROGETTO | | NOME FILE | | REVISIONE | SCALA: |
| PROGETTO | LIV. PROG. | N. PROG. | T00_VI03_STR_RE01_A | | |
| LO411J | D | 1101 | CODICE ELAB. T00VI03STRRE01 | A | 1:50 |
| D | - | - | - | - | - |
| C | - | - | - | - | - |
| B | - | - | - | - | - |
| A | EMISSIONE | GIU 2012 | Arch. G. Bonolfi | Ing. F. Bario | Ing.Devitofranceschi |
| REV. | DESCRIZIONE | DATA | REDATTO | VERIFICATO | APPROVATO |

SOMMARIO

| | |
|---|-----------|
| 1. GENERALITA' | 3 |
| 1.1 PREMESSA | 3 |
| 1.2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO | 4 |
| 1.3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI | 4 |
| 2. IMPALCATO | 6 |
| 2.1 CARATTERISTICHE STRUTTURALI IMPALCATO..... | 6 |
| 2.1.1 TRAVI PRINCIPALI | 7 |
| 2.1.2 TRASVERSI | 7 |
| 2.1.3 SOLETTA IN CALCESTRUZZO ARMATO SU PREDALLES | 7 |
| 2.1.4 SCHEMA GEOMETRICO-STATICO DELL'IMPALCATO..... | 7 |
| 2.1.5 CARATTERISTICHE DEL MONTAGGIO E FASI COSTRUTTIVE..... | 8 |
| 2.2 ANALISI DEI CARICHI | 9 |
| 2.2.1 CARICHI PERMANENTI..... | 9 |
| 2.2.2 AZIONI VARIABILI DA TRAFFICO..... | 9 |
| 2.2.3 AZIONE LONGITUDINALE DI FRENAMENTO O ACCELERAZIONE..... | 11 |
| 2.2.4 AZIONE DEL VENTO | 11 |
| 2.2.5 RITIRO E VISCOSITÀ..... | 12 |
| 2.2.6 VARIAZIONI TERMICHE..... | 12 |
| 2.2.7 AZIONE SISMICA | 13 |
| 2.3 COMBINAZIONI DI CARICO | 17 |
| 2.4 MODELLAZIONE DELLA STRUTTURA..... | 18 |
| 2.5 VERIFICHE DELLE TRAVI PRINCIPALI..... | 21 |
| 2.5.1 VERIFICHE STRUTTURALI – STATI LIMITE DI ESERCIZIO | 22 |
| 2.5.2 VERIFICHE STRUTTURALI – STATI LIMITE ULTIMI..... | 30 |
| 2.5.3 VERIFICA A TAGLIO DEL TRASVERSO | 32 |
| 2.6 APPOGGI E GIUNTI..... | 33 |
| 3. SPALLE E PALI | 34 |
| 3.1 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E CRITERI DI CALCOLO | 34 |
| 3.2 SPALLA A | 35 |
| 3.3 SPALLA B | 37 |
| 3.4 VERIFICHE DI RESISTENZA DEL PALO | 39 |

1. GENERALITA'

1.1 *PREMESSA*

La relazione seguente riporta le verifiche di stabilità e di resistenza del Ponte sull'Acqua dell'Imperatore previsto per il nuovo svincolo di Padula-Buonabitacolo nell'ambito dei lavori di ammodernamento dell'autostrada A3 Salerno – Reggio Calabria al km 103+200.

Si tratta di un ponte a singola campata di luce pari a 30,0m, costituito da un'impalcato con 7 travi in c.a.p. e soletta in c.a., e spalle passanti fondate ciascuna su pali trivellati in c.a..

Le travi in c.a.p. hanno sezione a doppio T con altezza pari a 1,60m e larghezza di 1,45m e sono disposte ad interasse di 1,60m; la soletta in c.a. ha altezza media di 27cm con pendenza trasversale 2,5% ed una larghezza complessiva variabile tra 12,5m e 13,86m con due cordoli da 75cm alle estremità della sezione trasversale per il posizionamento dei dispositivi di ritenuta. Al di sopra della soletta è prevista una piattaforma bitumata di 11cm che contiene la carreggiata di larghezza variabile tra 11,0m e 12,36m.

Sono inoltre previsti quattro traversi in c.a. 30x160cm (due in corrispondenza delle sezioni di appoggio e due intermedi) con il compito di aumentare la rigidità trasversale dell'impalcato.

Gli appoggi di ogni trave sono costituiti da isolatori in elastomero armato ancorati tramite piastre di acciaio alle travi soprastanti e ai baggioli in c.a. da realizzare sulle spalle. Essi sono dimensionati in modo da aumentare in maniera consistente i periodi di vibrazione sotto sisma e dissipando l'energia sismica, garantendo allo stesso tempo degli spostamenti compatibili con la funzionalità dell'opera .

Le spalle sono costituite da una trave cuscino 230x155cm su una palificata costituita da 4 pali trivellati in c.a. \varnothing 120cm per la spalla A, mentre per la spalla B la trave cuscino con dimensioni 230x260cm è realizzata su una palificata costituita da 5 pali trivellati in c.a. \varnothing 120cm.

L'analisi delle sollecitazioni è stata condotta a mezzo di programmi di calcolo automatico secondo un'analisi elastica lineare mentre le verifiche di resistenza e di stabilità sono state condotte con il metodo semiprobabilistico agli stati limite.

1.2 *NORMATIVA DI RIFERIMENTO*

Le verifiche e le calcolazioni, di cui alle pagine seguenti fanno riferimento alla vigente normativa qui di seguito indicata:

- D.Min.Infr. 14/01/2008 “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”, in seguito indicate con NTC.
- EN 1337-3:2005: “Appoggi strutturali. Parte 3: Appoggi elastomerici”

1.3 *CARATTERISTICHE DEI MATERIALI*

Calcestruzzo per Travi in c.a.p. e baggioli:

classe C 45/55

$$f_{ck} = 45 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ckj} = 32 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ctm} = 0,3 \times f_{ck}^{2/3}$$

$$\text{Resistenza di calcolo a compressione agli SLU : } f_{cd} = 0,85 \times f_{ck} / \gamma_c = 25,5 \text{ N/mm}^2$$

Tensioni ammissibili agli SLE (+ compressione, - trazione):

iniziali $\sigma^+ = 0,7 \times f_{ckj} = 22,4 \text{ N/mm}^2$

$$\sigma^- = f_{ctmj} / 1,2 = -2,5 \text{ N/mm}^2$$

esercizio $\sigma^+ = 0,45 \times f_{ck} = 20,2 \text{ N/mm}^2$ (a ponte scarico, comb. quasi perm.)

$$\sigma^+ = 0,6 \times f_{ck} = 27 \text{ N/mm}^2 \text{ (a ponte carico, comb. caratteristica rara)}$$

$$\sigma^- = f_{ctm} / 1,2 = -3,2 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Modulo elastico } E_c = 22.000 \times [(f_{ck}+8)/10]^{0,3} = 36.300 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Coefficiente di dilatazione termica } 1,0 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$$

Calcestruzzo per predalles prefabbricate, soletta e trasversi:

classe C 32/40

$$f_{ck} = 32 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Resistenza di calcolo a compressione agli SLU : } f_{cd} = 0,85 \times f_{ck} / \gamma_c = 18,1 \text{ N/mm}^2$$

Tensioni ammissibili agli SLE:

esercizio $\sigma^+ = 0,45 \times f_{ck} = 14,4 \text{ N/mm}^2$ (a ponte scarico, comb. quasi perm)

$$\sigma^+ = 0,6 \times f_{ck} = 19,2 \text{ N/mm}^2 \text{ (a ponte carico, comb. caratteristica (rara))}$$

Modulo elastico $E_c = 22.000 \times [(f_{ck}+8)/10]^{0.3} = 33.300 \text{ N/mm}^2$

Coefficiente di dilatazione termica $1,0 \times 10^{-5} /^\circ\text{C}$ $n_{sol} = 0,9$

Calcestruzzo per spalle e pali trivellati in c.a.:

classe C 25/30

$f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$

Resistenza di calcolo a compressione agli SLU : $f_{cd} = 0.85 \times f_{ck} / \gamma_c = 14,2 \text{ N/mm}^2$

Modulo elastico $E_c = 22.000 \times [(f_{ck}+8)/10]^{0.3} = 31.500 \text{ N/mm}^2$

Coefficiente di dilatazione termica $1,0 \times 10^{-5} /^\circ\text{C}$

Acciaio armonico in trefoli stabilizzati a basso rilassamento

$f_{ptk} = 1.860 \text{ N/mm}^2$ $f_{p(1)k} = 1.670 \text{ N/mm}^2$

Resistenza di calcolo a trazione agli SLU : $f_{pd} = f_{p(1)k} / \gamma_s = 1452 \text{ N/mm}^2$

Tensioni ammissibili agli SLE:

iniziali $\sigma_{spi} = 0,8 f_{ptk} = 1.488 \text{ N/mm}^2$

esercizio $\sigma_{sp} = 0,8 f_{p(1)k} = 1.336 \text{ N/mm}^2$

Modulo elastico: $E_p = 210.000 \text{ N/mm}^2$ $n_p = 5,8$

Coefficiente di dilatazione termica $1,2 \times 10^{-5} /^\circ\text{C}$

Acciaio ordinario in barre ad a.m. e armatura lenta per travi in c.a.p.:

B450C

$f_{yk} = 450 \text{ N/mm}^2$

Resistenza di calcolo a trazione agli SLU : $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 391 \text{ N/mm}^2$

Modulo elastico: $E_p = 210.000 \text{ N/mm}^2$ $n_p = 5,8$

Coefficiente di dilatazione termica $1,2 \times 10^{-5} /^\circ\text{C}$

Copriferri min. netti

Baggioli: $c = 2,0\text{cm}$

Travi in c.a.p., soletta, trasversi : $c = 2,5\text{cm}$

Spalle e pali: $c = 4\text{cm}$

2. IMPALCATO

2.1 CARATTERISTICHE STRUTTURALI IMPALCATO

L'impalcato viene realizzato con travi prefabbricate in c.a.p. e getto in opera di traversi e soletta collaboranti. Le travi sono autoportanti, non necessitano quindi di alcun rompitratta o puntellamento provvisorio durante l'esecuzione dell'impalcato.

Si distinguono due fasi successive di lavoro:

- **Prima fase:** le travi semplicemente appoggiate agli estremi resistono da sole al peso proprio e al peso della soletta gettata in opera; lo schema statico previsto è quello di trave semplicemente appoggiata alle spalle con luce di calcolo pari a 30,0m.
- **Seconda fase:** in questa fase si passa ad uno schema a grigliato su unica campata; tale continuità viene realizzata con la maturazione del getto di solidarizzazione della soletta e dei trasversi.

Quindi il sistema misto travi precomprese e soletta gettata in opera, resiste al peso delle sovrastrutture e dei carichi accidentali. L'impalcato è costituito da una unica campata di 30m con appoggi sulle spalle.

Nel seguito, si riportano le principali caratteristiche morfologiche, costruttive e statiche.

2.1.1 Travi principali

L'impalcato è costituito da 7 travi a doppio T in c.a.p. a trefoli aderenti poste ad interasse trasversale pari a 1,60m, di altezza pari a 1,60m e larghezza delle ali di 1,45m. La luce di calcolo è pari a 30m e le travi presentano due retro travi da 50cm, per una lunghezza complessiva di 31,0m.

I trefoli che costituiscono l'armatura di precompressione vengono tesati sino alla tensione σ_{spi} prevista nella presente relazione. Disposta l'armatura lenta per gli sforzi di taglio, ultimata la tesatura e fissata la cassetatura, si procede al getto del calcestruzzo. La maturazione del calcestruzzo avviene con ciclo termico a vapore opportunamente tarato in funzione del mix-design e della resistenza f_{ckj} che è richiesta al momento del taglio dei trefoli. Una volta raggiunta la resistenza f_{ckj} si procede all'allentamento delle armature di precompressione ed allo stoccaggio del manufatto.

2.1.2 Trasversi

Le travi principali sono collegate mediante 4 trasversi in c.a. di cui due di estremità e due intermedi con dimensioni pari a 30x160 cm.

2.1.3 Soletta in calcestruzzo armato su predalles

La soletta d'impalcato è realizzata mediante l'utilizzo di lastre prefabbricate e tralicciate in calcestruzzo (predalles) autoportanti in fase di getto, di spessore pari a 4cm, le quali contengono un getto in opera di calcestruzzo di spessore medio pari a 27cm con pendenza trasversale di 2,5%.

2.1.4 Schema geometrico-statico dell'impalcato

L'impalcato è costituito da n.7 travi principali affiancate poste ad interasse di 1,60m per una larghezza complessiva di 12,5m con una carreggiata stradale di larghezza pari a 11,0m.

Ciascuna trave in prima fase si comporta come trave semplicemente appoggiata indipendentemente dalle altre.

In seconda fase l'intero impalcato si comporta come un grigliato di travi composte su più appoggi.

Gli appoggi sono realizzati con isolatori elastomerici con rigidezze tali da aumentare i periodi di vibrazione e da dissipare l'energia sismica.

2.1.5 *Caratteristiche del montaggio e fasi costruttive*

Le fasi di montaggio seguono la seguente procedura:

- prefabbricazione delle travi precomprese a trefoli aderenti;
- varo delle travi in c.a.p. autoportanti;
- getto dei trasversi e della soletta in c.a.
- ad avvenuta solidarizzazione della soletta, completamento dell'impalcato con pavimentazione e finiture.

Ai fini del calcolo, si definiscono le seguenti fasi costruttive, ognuna con proprie caratteristiche geometrico-statiche e relative condizioni di carico, per tener presente le modalità di costruzione e montaggio dell'impalcato:

FASE I (Costruzione)

Struttura: 7 travi in c.a.p. indipendenti

Carichi: Per ciascuna trave, peso proprio e sovraccarico di soletta e trasversi

FASE II (Completamento ed esercizio)

Struttura: Grigliato piano costituito da 7 travi in c.a.p. + trasversi + soletta collaborante in c.a.

Carichi: Sovraccarichi permanenti + Effetti ritiro, viscosità e rilassamento acciaio + Carichi variabili (mobili, vento, sisma, accidentali, coazioni dovute a variazioni di temperatura ecc.).

2.2 ANALISI DEI CARICHI

2.2.1 Carichi Permanenti

Nella determinazione dei valori delle azioni si terrà conto dei seguenti valori elementari di progetto:

- *Pesi propri permanenti g_1 (I FASE)*

| | | |
|---|---|------------------------|
| Peso proprio trave | $25 \text{ kN/m}^3 \times 0,573 \text{ m}^2 =$ | 14,33 kN/m |
| Peso proprio soletta $h_{\text{med}}=27\text{cm}$ | $25 \text{ kN/m}^3 \times 0,27 \text{ m}^2 =$ | 6,75 kN/m ² |
| Peso proprio trasverso | $25 \text{ kN/m}^3 \times 0,30 \text{ m} \times 1,60 \text{ m} =$ | 12,0 kN/m |

- *Carichi permanenti portati g_2 (II FASE)*

| | | |
|------------------------------|---|------------------------|
| Pavimentazione stradale | $22 \text{ kN/m}^3 \times 0,11 \text{ m} =$ | 2,42 kN/m ² |
| Cordolo | $25 \text{ kN/m}^3 \times 0,75 \text{ m} \times 0,20 \text{ m} =$ | 3,75 kN/m |
| Veletta in c.a.v. e barriera | | 2,25 kN/m |

2.2.2 Azioni Variabili da Traffico

Sono state considerate il numero massimo di corsie compatibili con la larghezza della carreggiata stradale tenendo conto della larghezza di ingombro convenzionale per ciascuna colonna di 3,0m.

Corsia n.1 Q_{1k} :

| | |
|---|---|
| N.2 Carichi concentrati mobili in tandem a 1,20m: | $2 \times Q_{1k} = 2 \times 300 \text{ kN}$ |
| Carico distribuito: | $q_{1k} = 9,0 \text{ kN/m}^2$ |

Corsia n.2 Q_{2k} :

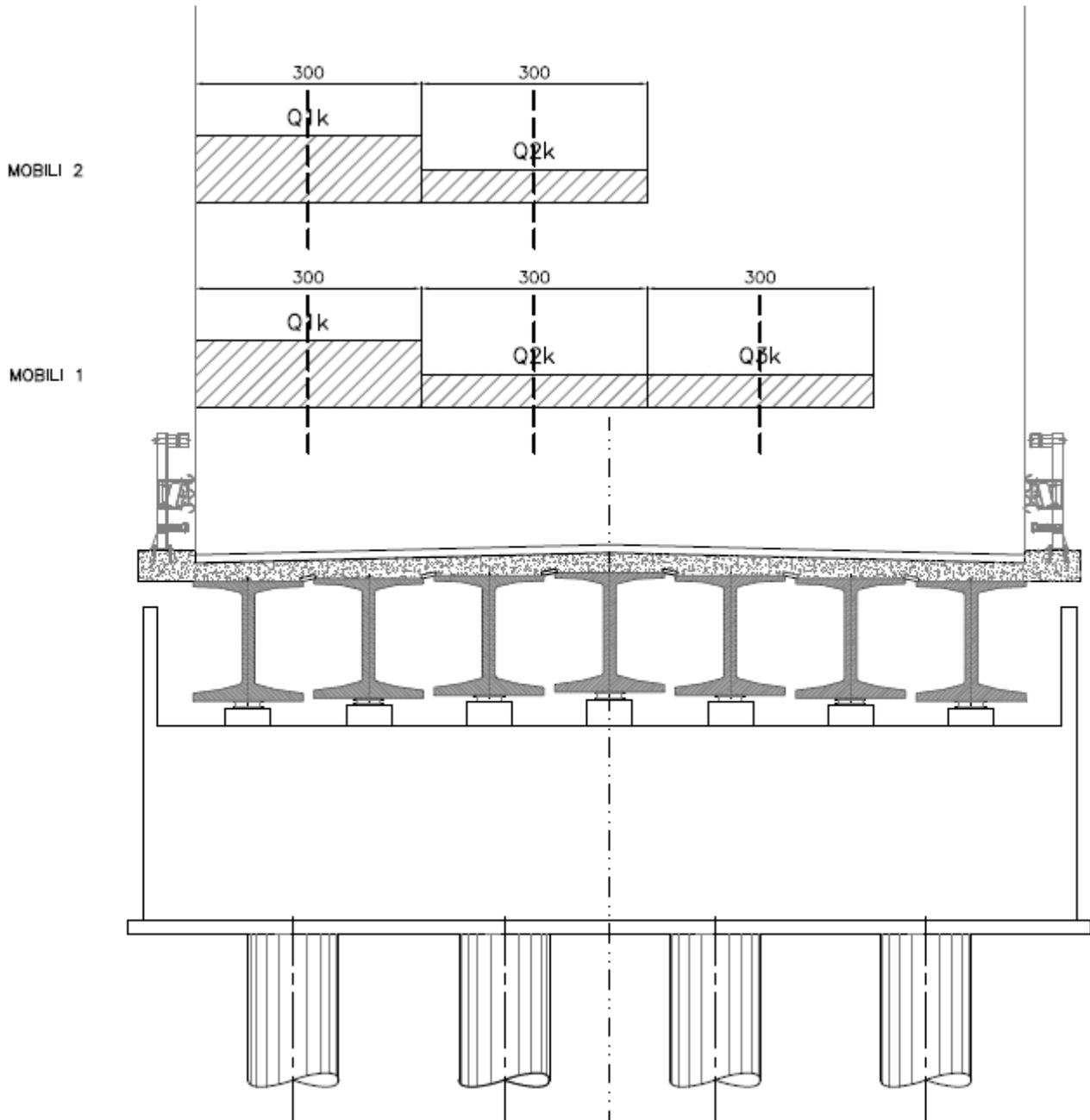
| | |
|---|---|
| N.2 Carichi concentrati mobili in tandem a 1,20m: | $2 \times Q_{2k} = 2 \times 200 \text{ kN}$ |
| Carico distribuito: | $q_{2k} = 2,5 \text{ kN/m}^2$ |

Corsia n.3 Q_{3k} :

| | |
|---|---|
| N.2 Carichi concentrati mobili in tandem a 1,20m: | $2 \times Q_{3k} = 2 \times 100 \text{ kN}$ |
| Carico distribuito: | $q_{3k} = 2,5 \text{ kN/m}^2$ |

Sono state considerate due differenti combinazioni dei carichi mobili per massimizzare gli effetti sulle travi:

- Mobili 1: massimo carico
- Mobili 2: massima eccentricità



2.2.3 Azione Longitudinale di Frenamento o Accelerazione

La forza di frenamento o di accelerazione q_3 è funzione del carico verticale totale agente sulla corsia convenzionale n. 1 ed è uguale a :

$$q_3 = 0,6 \times (2 Q_{1k}) + 0,10 q_{1k} \times w_1 \times L =$$

$$= 0,6 \times (2 \times 300\text{kN}) + 0,10 \times 9,0 \text{ kN/m}^2 \times 3,0\text{m} \times 30\text{m} = 441\text{kN}$$

L'azione è stata ripartita sulle travi interessate applicando un carico uniformemente distribuito:

$$q_{3,TRAVE} = 441\text{kN} / (2 \times 30,0\text{m}) = 7,35 \text{ kN/m}$$

2.2.4 Azione del Vento

| Azione del vento D.M. 14 / 01 / 2008 | | | |
|---|-----------------|--|--|
| Regione | Campania | | |
| a_s (m) | 500 | | |
| Zona | 3 | | |
| $v_{b,0}$ (m/s) | 27 | | |
| a_0 (m) | 500 | | |
| k_a (1/s) | 0,020 | | |
| v_b (m/s) | 27 | <i>Velocità di Riferimento</i> | |
| q_b (kN/m ²) | 0,456 | <i>Pressione Cinetica di Riferimento</i> | |
| <i>Determinazione del Coefficiente di Esposizione</i> | | | |
| Classe di Rugosità | D | | |
| Categoria di Esposizione | II | | |
| Coefficiente di Topografia c_t | 1,00 | | |
| Parametri | k_r | 0,19 | |
| | z_o (m) | 0,05 | |
| | z_{min} (m) | 4 | |
| c_d | 1,00 | <i>Coefficiente dinamico</i> | |
| c_p | 1,40 | | |

| PONTE SCARICO | |
|---------------------------------------|---------------|
| Altezza massima sul suolo z (m) | 6,5 |
| $c_e(z_{max})$ per $z > z_{min}$ | 1,801 |
| Pression p (kN/m²) | $z < z_{min}$ |
| | 1,15 |
| $z > z_{min}$ | 1,33 |
| Altezza Superficie Esposta (m) | 3,50 |
| Carico Trave p (kN/m) | 4,66 |
| PONTE CARICO | |
| Altezza massima sul suolo z (m) | 7,5 |
| $c_e(z_{max})$ per $z > z_{min}$ | 1,801 |
| Pression p (kN/m²) | $z < z_{min}$ |
| | 1,15 |
| $z > z_{min}$ | 1,39 |
| Altezza Superficie Esposta (m) | 5,00 |
| Carico Trave p (kN/m) | 6,93 |

2.2.5 Ritiro e Viscosità

Gli effetti del ritiro sono stati valutati secondo le indicazioni della Normativa considerando la deformazione totale:

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

dove:

ε_{cd} è la deformazione per ritiro da essiccamento

ε_{ca} è la deformazione per ritiro autogeno

La deformazione viscosa è stata valutata mediante il coefficiente di viscosità $\phi(\infty, t_0)$ a tempo infinito in funzione dell'umidità relativa.

2.2.6 Variazioni termiche

Tipologia impalcato **TIPO 3: Impalcato in c.a.**

Componente di temperatura uniforme

| | | |
|--------------------|-------|--|
| T_{min} | -7,0 | temperatura minima dell'aria all'ombra |
| T_{max} | 42,0 | temperatura massima dell'aria all'ombra |
| $T_{e,min}$ | 2,0 | temperatura minima effettiva del ponte |
| $T_{e,max}$ | 44,0 | temperatura massima effettiva del ponte |
| T_0 | 15,0 | temperatura effettiva probabile |
| $\Delta T_{N,neg}$ | -13,0 | valore caratteristico dell'intervallo massimo della temperatura negativa effettiva |
| $\Delta T_{N,pos}$ | 29,0 | valore caratteristico dell'intervallo massimo della temperatura positiva effettiva |

Componente lineare della temperatura

Gruppo 3 - Ponti stradali

| | | |
|--------------------|------|------------------------------------|
| $\Delta T_{M,neg}$ | -8,0 | differenza di temperatura negativa |
| $\Delta T_{M,pos}$ | 15,0 | differenza di temperatura positiva |

| | TR. H=160cm |
|---------------------------|--------------------|
| Altezza trave (m) | 1,6 |
| Soletta (m) | 0,27 |
| $\Delta T_{M,neg}$ (°C/m) | -4,278 |
| $\Delta T_{M,pos}$ | 8,021 |

2.2.7 Azione Sismica

L'azione sismica è stata valutata attraverso un'analisi dinamica modale inserendo gli spettri elastici in termini di accelerazione relativi agli Stati Limite considerati.

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- a_g accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale.
- T^*_C periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli stati limite ultimi considerati sono così definiti:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.
- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali e un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Lo spettro di risposta elastico della componente orizzontale è definito dalle seguenti espressioni nelle quali T ed S_e sono, rispettivamente, periodo di vibrazione ed accelerazione spettrale orizzontale

$$\begin{array}{ll}
 0 \leq T < T_B & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\
 T_B \leq T < T_C & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \\
 T_C \leq T < T_D & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right) \\
 T_D \leq T & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)
 \end{array}$$

S è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo

η è il fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali ξ diversi dal 5%

F_0 è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima

$$T_C = C_C \times T^*_C ; T_B = T_C / 3 ; T_D = 4,0 \times (a_g / g) + 1,6$$

Lo spettro elastico è stato ridotto per tutto il campo di periodi $T \geq 0,8 T_{is}$ assunto per il coefficiente riduttivo η un valore corrispondente al coefficiente di smorzamento viscoso equivalente $\xi = 15\%$.

Si riportano di seguito i parametri sismici relativi alla struttura ed al sito in esame ed i diagrammi dei relativi spettri di progetto.

- Coordinate geografiche **Long. 15°;6445 Lat. 40°;3060**
- Vita nominale **≥ 50 anni**
- Classe d'uso **IV** (Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione particolarmente dopo un evento sismico)
- Coefficiente d'uso **$C_u = 2,0$**
- Categoria di sottosuolo **C** (Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o di terreni a grana fine mediamente consistenti)
- Categoria topografica **T1** (Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $\leq 15^\circ$)

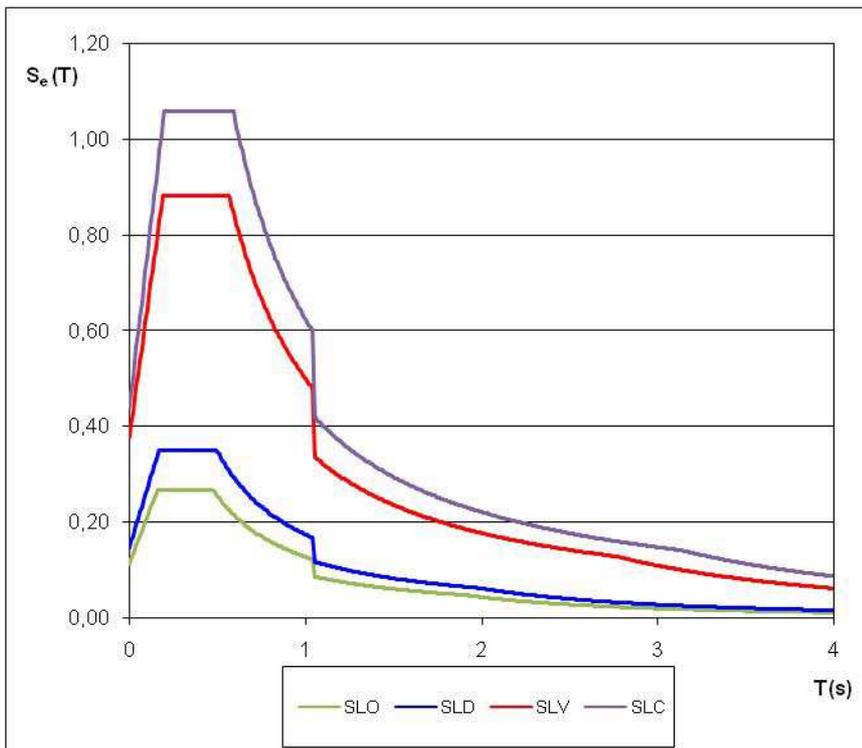
I dispositivi di isolamento sono stati progettati per sostenere gli spostamenti determinati dall'azione sismica derivante dallo spettro di risposta allo Stato Limite Ultimo di Collasso (SLC).

ANAS SPA - AUTOSTRADA A3 SA RC
 NUOVO SVINCOLO DI PADULA-BUONABITACOLO
 PONTE SULL'ACQUA DELL'IMPERATORE - RELAZIONE DI CALCOLO

| DATI GENERALI | |
|----------------------------------|-----------|
| Comune | PADULA |
| Latitudine | 40,306° |
| Longitudine | 15,6445° |
| Classi d'uso | Classe IV |
| C_u | 2,00 |
| Vita Nominale (V_N) | 50 |
| Periodo di riferimento (V_R) | 100 |
| Categoria sottosuolo | C |
| Categoria topografica | T1 |
| Coefficiente di smorzamento | 5,00% |
| η | 1,00 |
| T_{is} | 1,310 |
| Coefficiente di smorzamento | 15,00% |
| η | 0,71 |

| Determinazione coefficiente S | SLO | SLD | SLV | SLC |
|--|------|------|------|------|
| S_s | 1,50 | 1,50 | 1,29 | 1,15 |
| $h/H \leq 1,00$ ($h=Q_{sito}$; $H=Q_{rilievo}$) | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| S_T | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| $S = S_s \times S_T$ | 1,50 | 1,50 | 1,29 | 1,15 |

| Parametri che definiscono l'azione sismica | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|
| Stato Limite | SLO | SLD | SLV | SLC |
| P_{VR} | 81% | 63% | 10% | 5% |
| T_R | 60 | 101 | 949 | 1950 |
| a_g | 0,075 | 0,098 | 0,292 | 0,383 |
| F_0 | 2,375 | 2,373 | 2,341 | 2,41 |
| T_C^* | 0,307 | 0,328 | 0,398 | 0,422 |
| T_B | 0,159 | 0,166 | 0,189 | 0,196 |
| T_C | 0,476 | 0,498 | 0,566 | 0,589 |
| T_D | 1,900 | 1,992 | 2,768 | 3,132 |

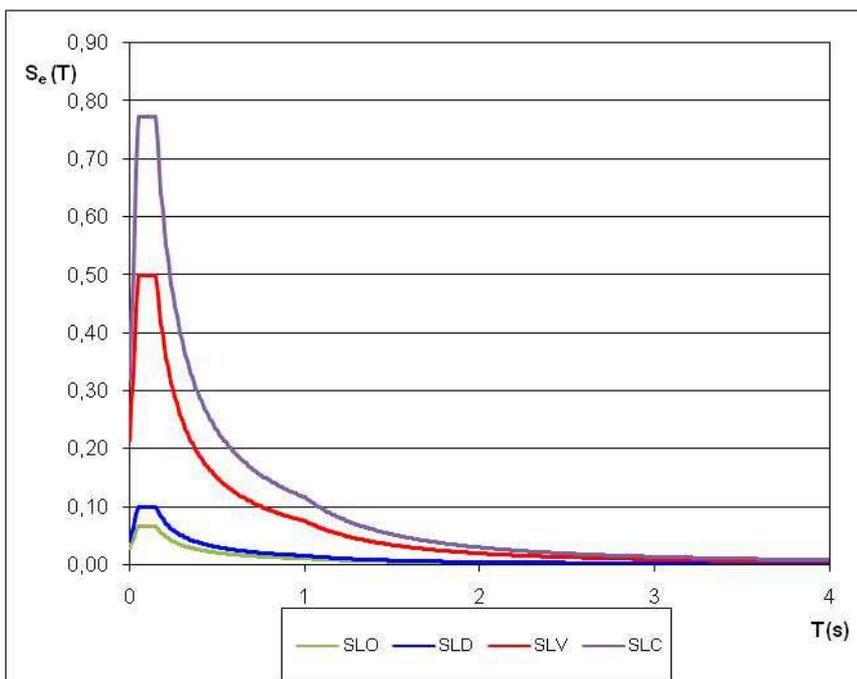


E' stato inoltre considerato lo spettro elastico per l'azione verticale determinato attraverso i seguenti parametri.

| DATI GENERALI | |
|----------------------------------|-----------|
| Comune | PADULA |
| Latitudine | 40,306° |
| Longitudine | 15,6445° |
| Classi d'uso | Classe IV |
| C_u | 2,00 |
| Vita Nominale (V_N) | 50 |
| Periodo di riferimento (V_R) | 100 |
| Categoria sottosuolo | C |
| Categoria topografica | T1 |
| Coefficiente di smorzamento | 5,00% |
| η | 1,00 |

| Determinazione coefficiente S | SLO | SLD | SLV | SLC |
|--|------|------|------|------|
| S_s | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| $h/H \leq 1,00$ ($h=Q_{sito}$; $H=Q_{rilievo}$) | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| S_T | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| $S = S_s \times S_T$ | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |

| Parametri che definiscono l'azione sismica | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|
| Stato Limite | SLO | SLD | SLV | SLC |
| P_{VR} | 81% | 63% | 10% | 5% |
| T_R | 60 | 101 | 949 | 1950 |
| a_g | 0,075 | 0,098 | 0,292 | 0,383 |
| F_0 | 2,375 | 2,373 | 2,341 | 2,410 |
| F_v | 0,878 | 1,003 | 1,708 | 2,013 |
| T_B | 0,050 | 0,050 | 0,050 | 0,050 |
| T_C | 0,150 | 0,150 | 0,150 | 0,150 |
| T_D | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |



2.3 COMBINAZIONI DI CARICO

Le azioni caratteristiche precedentemente definite, nelle singole combinazioni di carico sono poi combinate secondo i seguenti coefficienti parziali:

| | COMBINAZIONI | | PERMANENTI | AZIONI DA TRAFFICO | | | VARIABILI | | AZIONE SISMICA | | |
|---------------------------|---------------|---------|------------|--------------------|----------|------------|-----------|-------------|----------------|---------|---------|
| | Tipo | Nome | | Mobili 1 | Mobili 2 | Frenamento | Vento | Temperatura | Sisma X | Sisma Y | Sisma Z |
| STATI LIMITE DI ESERCIZIO | Mobili 1 | 1-M1 | 1,00 | 1,00 | | | 0,60 | 0,60 | | | |
| | Mobili 2 | 1-M2 | 1,00 | | 1,00 | | 0,60 | 0,60 | | | |
| | Frenamento | 2a-M1 | 1,00 | 0,75 | | 1,00 | 0,60 | 0,60 | | | |
| | Vento scarico | CVENTO | 1,00 | | | | 1,00 | 0,60 | | | |
| | | SISMA X | 1,00 | | | | | | 1,00 | 0,30 | 0,30 |
| | Sisma | SISMA Y | 1,00 | | | | | | 0,30 | 1,00 | 0,30 |
| | SISMA Z | 1,00 | | | | | | 0,30 | 0,30 | 1,00 | |
| STATI LIMITE ULTIMI | Mobili 1 | 1-M1 | 1,35 | 1,35 | | | 0,6x1,5 | 0,6x1,2 | | | |
| | Mobili 2 | 1-M2 | 1,35 | | 1,35 | | 0,6x1,5 | 0,6x1,2 | | | |
| | Frenamento | 2a-M1 | 1,35 | 0,75x1,35 | | 1,35 | 0,6x1,5 | 0,6x1,2 | | | |
| | Vento scarico | CVENTO | 1,00 | | | | 1,50 | 0,6x1,2 | | | |
| | | SISMA X | 1,00 | | | | | | 1,00 | 0,30 | 0,30 |
| | Sisma | SISMA Y | 1,00 | | | | | | 0,30 | 1,00 | 0,30 |
| | SISMA Z | 1,00 | | | | | | 0,30 | 0,30 | 1,00 | |

2.4 *MODELLAZIONE DELLA STRUTTURA*

Le sollecitazioni di progetto nelle varie combinazioni di carico sono state determinate attraverso la costruzione di un modello tridimensionale della struttura utilizzando il programma di calcolo strutturale agli elementi finiti CSI - SAP2000.

I materiali sono stati definiti attraverso le seguenti caratteristiche:

- modulo di elasticità
- il peso specifico
- il coefficiente di Poisson
- il coefficiente di dilatazione termica.

Gli elementi costituenti il grigliato sono stati definiti mediante le caratteristiche inerziali determinate considerando il coefficiente di omogeneizzazione ottenuto dal rapporto dei moduli di elasticità dei differenti calcestruzzi.

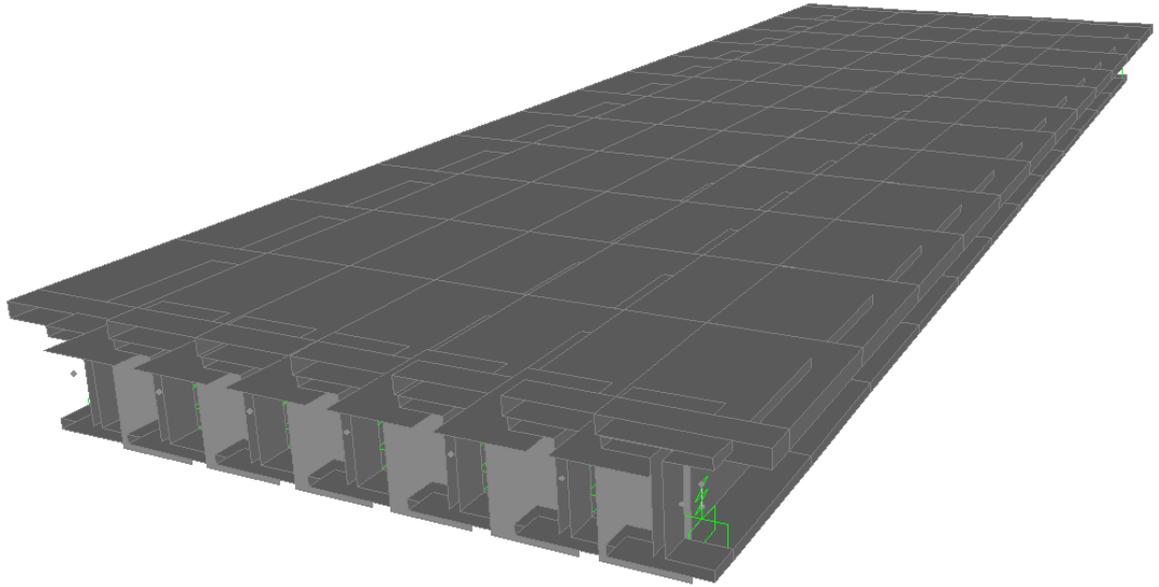
Il grigliato è costituito da n.7 travi longitudinali poste ad interasse pari a 1,60m e da n.4 trasversi posti in corrispondenza degli appoggi ed in campata. Il collegamento trasversale realizzato dalla soletta in c.a. è stato modellato collegando le travi longitudinali con delle aste aventi le caratteristiche sezionali della soletta stessa.

Gli apparecchi di appoggio, realizzati con isolatori elastomerici, sono stati modellati con elementi "link" a cui sono stati assegnate le rigidità orizzontali e verticali proprie dell'isolatore.

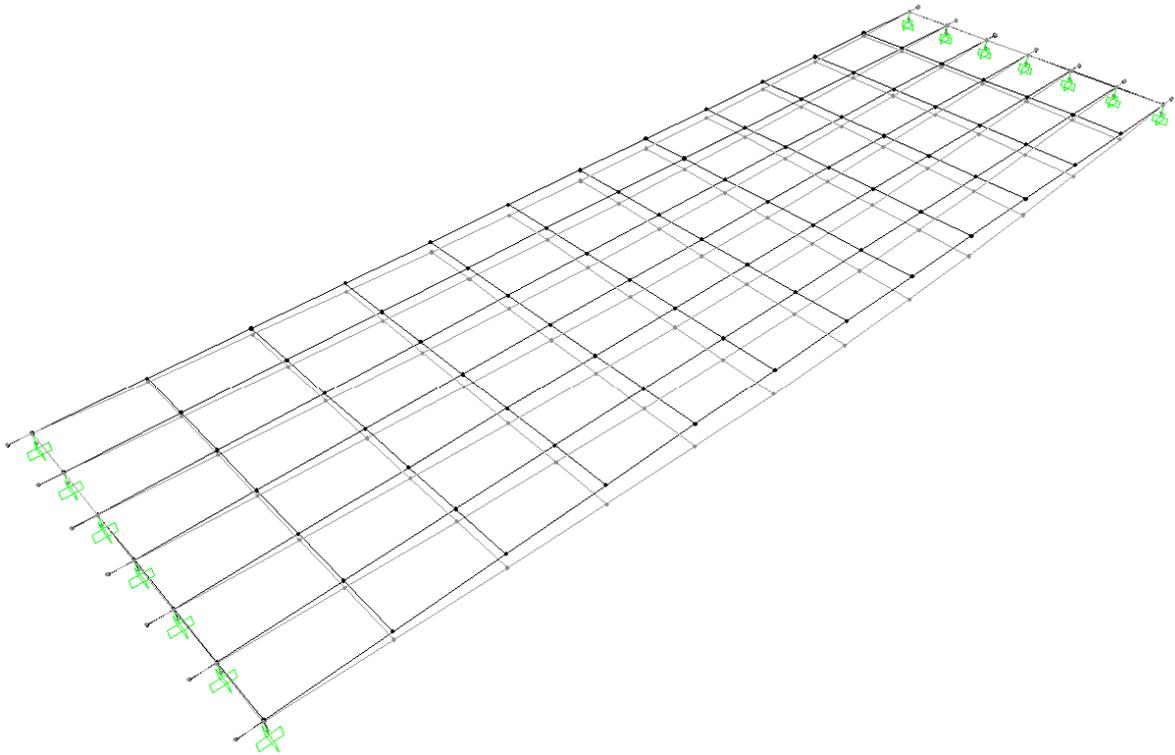
La valutazione delle sollecitazioni sismiche è stata condotta mediante un'analisi dinamica modale in cui sono stati considerati tutti i modi di vibrare significativi ed, attraverso l'inserimento degli spettri elastici definiti in precedenza e la combinazione degli effetti relativi a ciascun modo di vibrare, sono state determinate le sollecitazioni e gli spostamenti per ciascuna delle direzioni considerate.

Nelle pagine seguenti si riportano alcune immagini relative al modello utilizzato per il calcolo delle sollecitazioni e degli spostamenti.

modello di calcolo



deformata per carico MOBILI 1



momento per carico MOBILI 1

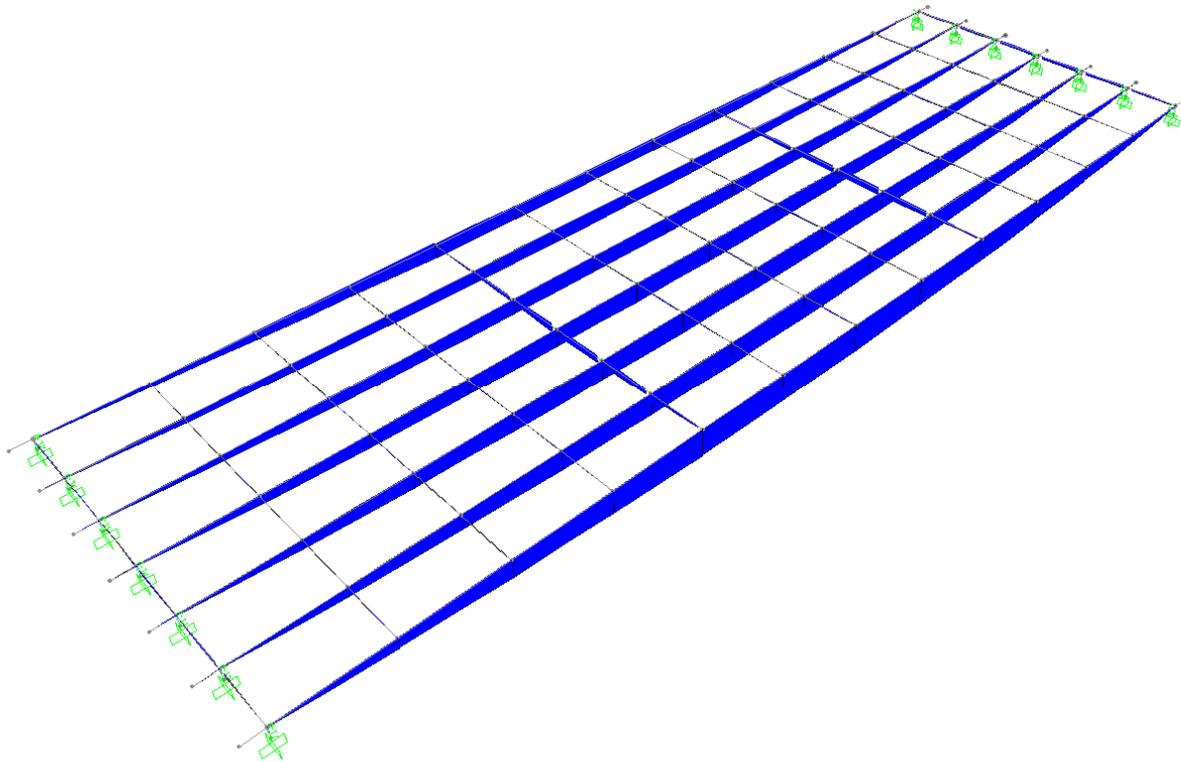
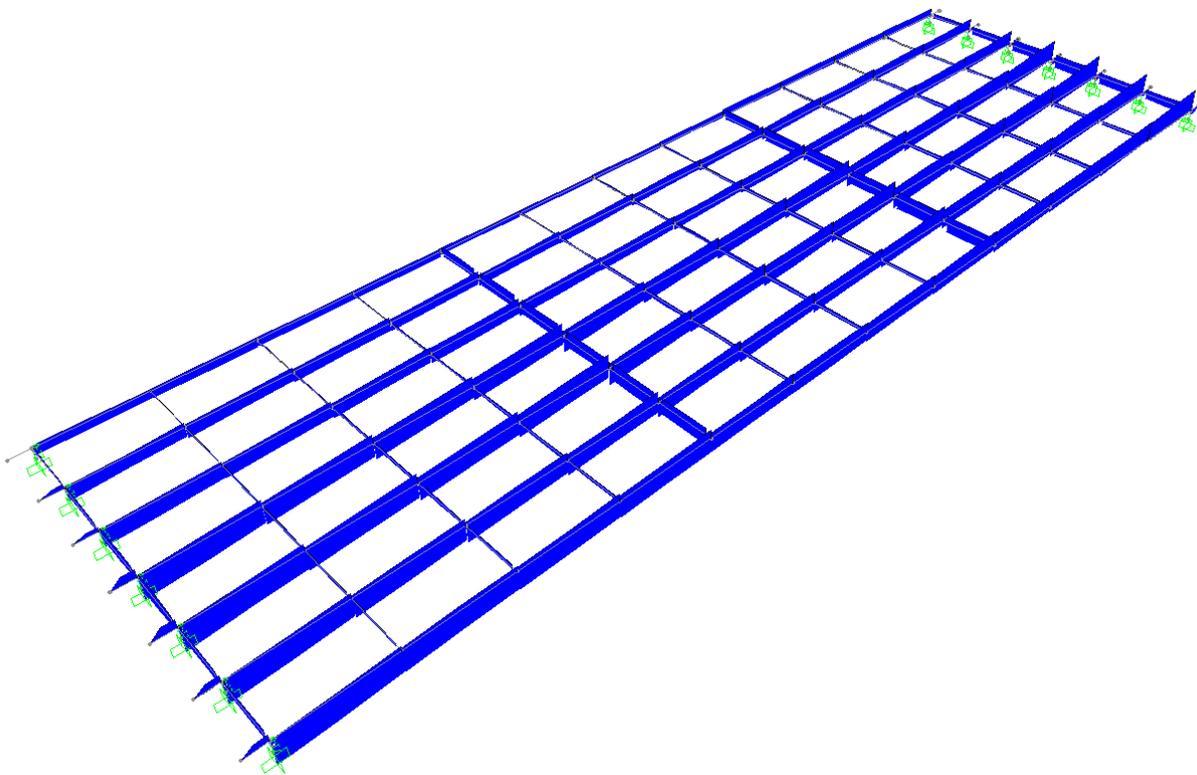


diagramma momento flettente in combinazione SLU



2.5 VERIFICHE DELLE TRAVI PRINCIPALI

Le travi principali sono del tipo a doppio T in c.a.p. con n. 40 trefoli aderenti $\phi 0,6''$ di cui 26 inguainati nelle zone di appoggio.

Si riportano nelle pagine seguenti le verifiche a pressoflessione, taglio e deformazione agli SLE nelle varie fasi e a pressoflessione e taglio agli SLU in condizione di esercizio riferite alla trave più sollecitata nella sezione di mezzeria e nella sezione di appoggio.

Le verifiche agli Stati Limite di Esercizio sono ritenute soddisfatte se le tensioni dei calcestruzzi della trave in c.a.p. e della soletta in c.a. sono limitate tra i seguenti valori (+ compressione, - trazione):

Calcestruzzo per Travi in c.a.p.:

$$\text{Esecuzione} \quad \sigma^+ = 0,7 \times f_{ckj} \quad \sigma^- = f_{ctmj} / 1,2$$

$$\text{In esercizio a ponte carico} \quad \sigma^+ = 0,6 \times f_{ck} \quad \sigma^- = f_{ctm} / 1,2$$

$$\text{In esercizio a ponte scarico} \quad \sigma^+ = 0,45 \times f_{ck} \quad \sigma^- = f_{ctm} / 1,2$$

Calcestruzzo ordinario per soletta:

$$\text{In esercizio a ponte carico} \quad \sigma^+ = 0,6 \times f_{ck} \quad \text{comb. caratteristica rara}$$

$$\text{In esercizio a ponte scarico} \quad \sigma^+ = 0,45 \times f_{ck} \quad \text{comb. quasi frequente}$$

Le deformate dovute ai carichi permanenti sono bilanciate dalla contrefreccia dovuta alla precompressione (-49mm) e risultano in totale:

$$f_p = -39 \text{ mm} \approx L / 770$$

La verifica di funzionalità è quella relativa alle deformazioni dovute ai carichi mobili che risulta:

$$f_a = 2 \text{ mm} \approx L / 15.000$$

ANAS SPA - AUTOSTRADA A3 SA RC
 NUOVO SVINCOLO DI PADULA-BUONABITACOLO
 PONTE SULL'ACQUA DELL'IMPERATORE - RELAZIONE DI CALCOLO

| Calcolo delle Perdite | | | | |
|---|------------------------------|--------------------|---------------|-------------|
| | $\Delta\sigma / \sigma_{pi}$ | Δ tiro (kN) | | |
| Deformazione elastica cls $\Delta\sigma_{pel}(t_0)$ | 6,11% | 474 | | |
| Rilassamento $\Delta\sigma_{pr}(t_0)$ | 1,09% | 84 | | |
| Totale perdite istantanee (t_0) | 7,20% | 558 | | |
| | D.M. 2008 | | EC2 | |
| Rilassamento Residuo $\Delta\sigma_{pr}(t_0, t = \infty)$ | 4,87% | 293 | 2,05% | 159 |
| Ritiro cls ($t = \infty$) | 3,96% | 307 | 3,19% | 247 |
| Viscosità cls ($t = \infty$) | 12,49% | 968 | 10,06% | 780 |
| Totale perdite a $t = \infty$ | 21,31% | 1.569 | 15,30% | 1186 |

| Condizioni elementari | N (kN) | M (kNm) | σ_{inf} (N/mm ²) | σ_{sup} (N/mm ²) | σ_{sol} (N/mm ²) | $\sigma_{c,h}$ cavo (N/mm ²) | V (kN) |
|--|--------|----------|--|--|--|---|--------|
| 1) Precompressione t0 | -7.756 | -3.828,0 | -22,8 | +0,5 | | -19,4 | 0 |
| 2) Peso proprio | 0 | 1.611,9 | +4,5 | -5,3 | | +3,0 | 0 |
| 3) Perdite istantanee | 558 | 275,5 | +1,6 | -0,0 | | +1,4 | 0 |
| 4) Peso soletta | 0 | 1.215,0 | +3,4 | -4,0 | | +2,3 | 0 |
| 5) Ritiro diff. soletta-trave | -549 | 339,7 | +0,1 | -2,0 | +0,32 | -0,2 | 0 |
| 6) Sovraccarichi Permanenti | 0 | 601,7 | +1,3 | -0,6 | -0,8 | +1,0 | 0 |
| 7) Perdite $t = \infty$ D.M. 2008 | 1.569 | 1.382,1 | +4,5 | +0,2 | -0,5 | +3,9 | 0 |
| 8) Sovraccarichi Accidentali | 0 | 3.769,0 | +8,2 | -3,6 | -5,1 | +6,5 | 0 |

| Coefficienti di Combinazione Azioni Variabili ψ | |
|--|------|
| Combinazione caratteristica (rara) | 1,00 |
| Combinazione quasi permanente | 0,00 |

| Combinazioni | | N (kN) | M (kNm) | σ_{inf} (N/mm ²) | σ_{sup} (N/mm ²) | σ_{sol} (N/mm ²) | σ_p (N/mm ²) |
|--------------------------------|----------------------------------|--------|---------|--|--|--|------------------------------------|
| A) 1+2+3 | A vuoto | -7.198 | -1.941 | -16,7 | -4,9 | 0,0 | 1421 |
| B) 1+2+3+4 | Getto in opera | -7.198 | -726 | -13,4 | -8,9 | 0,0 | 1434 |
| C) 1+2+3+4+5+6+7+ $\psi_{21}8$ | Ponte scarico (quasi permanente) | -6.178 | 1.598 | -7,4 | -11,3 | -1,0 | 1168 |
| D) 1+2+3+4+5+6+7+8 | Ponte carico (caratteristica) | -6.178 | 5.367 | +0,8 | -14,8 | -6,1 | 1205 |

ANAS SPA - AUTOSTRADA A3 SA RC
 NUOVO SVINCOLO DI PADULA-BUONABITACOLO
 PONTE SULL'ACQUA DELL'IMPERATORE - RELAZIONE DI CALCOLO

| Calcolo delle Perdite | | | |
|---|------------------------------|--------------------|-------------------|
| | $\Delta\sigma / \sigma_{pi}$ | Δ tiro (kN) | |
| Deformazione elastica cls $\Delta\sigma_{pe}(t_0)$ | 2,13% | 58 | |
| Rilassamento $\Delta\sigma_{pr}(t_0)$ | 1,09% | 30 | |
| Totale perdite istantanee (t_0) | 3,22% | 87 | |
| | D.M. 2008 | | EC2 |
| Rilassamento Residuo $\Delta\sigma_{pr}(t_0, t = \infty)$ | 4,87% | 103 | 2,58% 70 |
| Ritiro cls ($t = \infty$) | 3,94% | 107 | 3,71% 101 |
| Viscosità cls ($t = \infty$) | 5,82% | 158 | 5,47% 149 |
| Totale perdite a $t = \infty$ | 14,63% | 368 | 11,76% 319 |

| Condizioni elementari | N (kN) | M (kNm) | σ_{inf} (N/mm ²) | σ_{sup} (N/mm ²) | σ_{sol} (N/mm ²) | $\sigma_{c,h\ cavo}$ (N/mm ²) | T (kN) |
|--|--------|---------|--|--|--|--|--------|
| 1) Precompressione t0 | -2.715 | -728,6 | -6,5 | -2,0 | | -5,2 | 0 |
| 2) Peso proprio | 0 | 0,0 | +0,0 | +0,0 | | +0,0 | 215,6 |
| 3) Perdite istantanee | 87 | 23,4 | +0,2 | +0,1 | | +0,2 | 0 |
| 4) Peso soletta | 0 | 0,0 | +0,0 | +0,0 | | +0,0 | 162 |
| 5) Ritiro diff. soletta-trave | -550 | 329,2 | +0,1 | -2,0 | +0,32 | -0,6 | 0 |
| 6) Sovraccarichi Permanenti | 0 | 0,0 | +0,0 | +0,0 | +0,0 | +0,0 | 77,4 |
| 7) Perdite $t = \infty$ D.M. 2008 | 368 | 240,5 | +0,9 | +0,1 | +0,0 | +0,7 | 0 |
| 8) Sovraccarichi Accidentali | 0 | -120,4 | -0,3 | +0,1 | +0,2 | -0,2 | 735 |

| Coefficienti di Combinazione Azioni Variabili ψ | |
|--|------|
| Combinazione caratteristica (rara) | 1,00 |
| Combinazione quasi permanente | 0,00 |

| Combinazioni | | N (kN) | M (kNm) | σ_{inf} (N/mm ²) | σ_{sup} (N/mm ²) | σ_{sol} (N/mm ²) | σ_p (N/mm ²) |
|---------------------------------|----------------------------------|--------|---------|--|--|--|------------------------------------|
| A) 1+2+3 | A vuoto | -2.627 | -705 | -6,3 | -1,9 | 0,0 | 1396 |
| B) 1+2+3+4 | Getto in opera | -2.627 | -705 | -6,3 | -1,9 | 0,0 | 1396 |
| C) 1+2+3+4+5+6+7+ $\psi_{21,8}$ | Ponte scarico (quasi permanente) | -2.810 | -135 | -5,3 | -3,8 | 0,3 | 1294 |
| D) 1+2+3+4+5+6+7+8 | Ponte carico (caratteristica) | -2.810 | -256 | -5,6 | -3,7 | 0,5 | 1293 |

Md (SLU) -179

| | M_t (kNm) | Ω (cm ²) | δ (cm) | $\tau_{tor.}$ (N/mm ²) |
|---------------------------------|-------------|-----------------------------|---------------|---------------------------------------|
| D) 1+2+3+4+5+6+7+8 Ponte carico | 127 | 8.995 | 14 | 0,51 |

| Combinazioni | | T (kN) | $y = y_{gpo}$ | | | |
|--------------------|----------------|--------|-------------------------------|-----------------------------|---|--|
| | | | σ (N/mm ²) | τ (N/mm ²) | $\sigma_{id I}$ (N/mm ²) | $\sigma_{id II}$ (N/mm ²) |
| A) 1+2+3 | A vuoto | 216 | -4,3 | 0,2 | 0,0 | -4,3 |
| B) 1+2+3+4 | Getto in opera | 378 | -4,3 | 0,4 | 0,0 | -4,3 |
| C) 1+2+3+4+5+6+7 | Ponte scarico | 455 | -4,2 | 0,6 | 0,1 | -4,3 |
| D) 1+2+3+4+5+6+7+8 | Ponte carico | 1.190 | -4,2 | 2,07 | 0,8 | -5,1 |

ANAS SPA - AUTOSTRADA A3 SA RC
 NUOVO SVINCOLO DI PADULA-BUONABITACOLO
 PONTE SULL'ACQUA DELL'IMPERATORE - RELAZIONE DI CALCOLO

| Calcolo delle Perdite | | | |
|---|------------------------------|--------------------|--------------------|
| | $\Delta\sigma / \sigma_{pi}$ | Δ tiro (kN) | |
| Deformazione elastica cls $\Delta\sigma_{pei}(t_0)$ | 6,11% | 474 | |
| Rilassamento $\Delta\sigma_{pr}(t_0)$ | 1,09% | 84 | |
| Totale perdite istantanee (t_0) | 7,20% | 558 | |
| | D.M. 2008 | | EC2 |
| Rilassamento Residuo $\Delta\sigma_{pr}(t_0, t = \infty)$ | 4,87% | 293 | 2,06% 160 |
| Ritiro cls ($t = \infty$) | 3,86% | 300 | 3,12% 242 |
| Viscosità cls ($t = \infty$) | 11,44% | 887 | 9,24% 717 |
| Totale perdite a $t = \infty$ | 20,18% | 1.481 | 14,42% 1118 |

| Condizioni elementari | N (kN) | M (kNm) | σ_{inf} (N/mm ²) | σ_{sup} (N/mm ²) | σ_{sol} (N/mm ²) | $\sigma_{c,h}$ cavo (N/mm ²) | V (kN) |
|--|--------|----------|--|--|--|---|--------|
| 1) Precompressione t0 | -7.756 | -3.958,6 | -22,8 | +0,4 | | -19,4 | 0 |
| 2) Peso proprio | 0 | 1.611,9 | +4,4 | -5,0 | | +3,0 | 0 |
| 3) Perdite istantanee | 558 | 284,9 | +1,6 | -0,0 | | +1,4 | 0 |
| 4) Peso soletta | 0 | 1.708,6 | +4,7 | -5,3 | | +3,2 | 0 |
| 5) Ritiro diff. soletta-trave | -777 | 412,4 | -0,1 | -2,5 | +0,24 | -0,4 | 0 |
| 6) Sovraccarichi Permanenti | | 672,0 | +1,4 | -0,5 | -0,7 | +1,1 | 0 |
| 7) Perdite $t = \infty$ D.M. 2008 | 1.481 | 1.435,4 | +4,3 | +0,2 | -0,4 | +3,7 | 0 |
| 8) Sovraccarichi Accidentali | | 4.575,0 | +9,7 | -3,2 | -4,9 | +7,8 | 0 |

| Coefficienti di Combinazione Azioni Variabili ψ | |
|--|------|
| Combinazione caratteristica (rara) | 1,00 |
| Combinazione quasi permanente | 0,00 |

| Combinazioni | | N (kN) | M (kNm) | σ_{inf} (N/mm ²) | σ_{sup} (N/mm ²) | σ_{sol} (N/mm ²) | σ_p (N/mm ²) |
|--------------------------------|----------------------------------|--------|---------|--|--|--|------------------------------------|
| A) 1+2+3 | A vuoto | -7.198 | -2.062 | -16,8 | -4,7 | 0,0 | 1420 |
| B) 1+2+3+4 | Getto in opera | -7.198 | -353 | -12,1 | -10,1 | 0,0 | 1439 |
| C) 1+2+3+4+5+6+7+ $\psi_{2,8}$ | Ponte scarico (quasi permanente) | -6.495 | 2.167 | -6,5 | -12,8 | -0,9 | 1171 |
| D) 1+2+3+4+5+6+7+8 | Ponte carico (caratteristica) | -6.495 | 6.742 | +3,15 | -16,0 | -5,8 | 1216 |

ANAS SPA - AUTOSTRADA A3 SA RC
 NUOVO SVINCOLO DI PADULA-BUONABITACOLO
 PONTE SULL'ACQUA DELL'IMPERATORE - RELAZIONE DI CALCOLO

| Calcolo delle Perdite | | | |
|---|------------------------------|--------------------|-------------------|
| | $\Delta\sigma / \sigma_{pi}$ | Δ tiro (kN) | |
| Deformazione elastica cls $\Delta\sigma_{pei}(t_0)$ | 2,13% | 58 | |
| Rilassamento $\Delta\sigma_{pr}(t_0)$ | 1,09% | 30 | |
| Totale perdite istantanee (t_0) | 3,22% | 87 | |
| | D.M. 2008 | | EC2 |
| Rilassamento Residuo $\Delta\sigma_{pr}(t_0, t = \infty)$ | 4,87% | 103 | 2,58% 70 |
| Ritiro cls ($t = \infty$) | 3,86% | 105 | 3,63% 99 |
| Viscosità cls ($t = \infty$) | 6,05% | 164 | 5,69% 155 |
| Totale perdite a $t = \infty$ | 14,78% | 372 | 11,91% 323 |

| Condizioni elementari | N (kN) | M (kNm) | σ_{inf} (N/mm ²) | σ_{sup} (N/mm ²) | σ_{sol} (N/mm ²) | $\sigma_{c,h\ cavo}$ (N/mm ²) | T (kN) |
|--|--------|---------|--|--|--|--|--------|
| 1) Precompressione t0 | -2.715 | -644,0 | -6,5 | -2,2 | | -5,2 | 0,0 |
| 2) Peso proprio | 0 | 0,0 | +0,0 | +0,0 | | +0,0 | 215,6 |
| 3) Perdite istantanee | 87 | 20,7 | +0,2 | +0,1 | | +0,2 | 0,0 |
| 4) Peso soletta | 0 | 0,0 | +0,0 | +0,0 | | +0,0 | 227,8 |
| 5) Ritiro diff. soletta-trave | -776 | 454,1 | +0,1 | -3,0 | +0,13 | -0,8 | 0,0 |
| 6) Sovraccarichi Permanenti | 0 | -6 | -0,0 | +0,0 | +0,0 | -0,0 | 102,2 |
| 7) Perdite $t = \infty$ D.M. 2008 | 372 | 277,7 | +0,9 | +0,1 | -0,0 | +0,7 | 0,0 |
| 8) Sovraccarichi Accidentali | 0 | -183,8 | -0,4 | +0,1 | +0,2 | -0,2 | 814,8 |

| Coefficienti di Combinazione Azioni Variabili ψ | |
|--|------|
| Combinazione caratteristica (rara) | 1,00 |
| Combinazione quasi permanente | 0,00 |

| Combinazioni | | N (kN) | M (kNm) | σ_{inf} (N/mm ²) | σ_{sup} (N/mm ²) | σ_{sol} (N/mm ²) | σ_p (N/mm ²) |
|---------------------------------|----------------------------------|--------|---------|--|--|--|------------------------------------|
| A) 1+2+3 | A vuoto | -2.627 | -623 | -6,3 | -2,1 | 0,0 | 1396 |
| B) 1+2+3+4 | Getto in opera | -2.627 | -623 | -6,3 | -2,1 | 0,0 | 1396 |
| C) 1+2+3+4+5+6+7+ $\psi_{21,8}$ | Ponte scarico (quasi permanente) | -3.032 | 103 | -5,3 | -4,9 | 0,1 | 1292 |
| D) 1+2+3+4+5+6+7+8 | Ponte carico (caratteristica) | -3.032 | -81 | -5,7 | -4,8 | 0,3 | 1291 |

Md (SLU)

3

| | M_t (kNm) | Ω (cm ²) | δ (cm) | $\tau_{tor.}$ (N/mm ²) |
|---------------------------------|-------------|-----------------------------|---------------|---------------------------------------|
| D) 1+2+3+4+5+6+7+8 Ponte carico | 141 | 8.995 | 14 | 0,56 |

| Combinazioni | | T (kN) | $y = y_{gpo}$ | | | |
|--------------------|----------------|--------|-------------------------------|-----------------------------|--|---|
| | | | σ (N/mm ²) | τ (N/mm ²) | $\sigma_{id\ I}$ (N/mm ²) | $\sigma_{id\ II}$ (N/mm ²) |
| A) 1+2+3 | A vuoto | 216 | -4,4 | 0,2 | 0,0 | -4,4 |
| B) 1+2+3+4 | Getto in opera | 443 | -4,4 | 0,5 | 0,1 | -4,5 |
| C) 1+2+3+4+5+6+7 | Ponte scarico | 546 | -5,0 | 0,7 | 0,1 | -5,1 |
| D) 1+2+3+4+5+6+7+8 | Ponte carico | 1.360 | -5,0 | 2,39 | 1,0 | -6,0 |

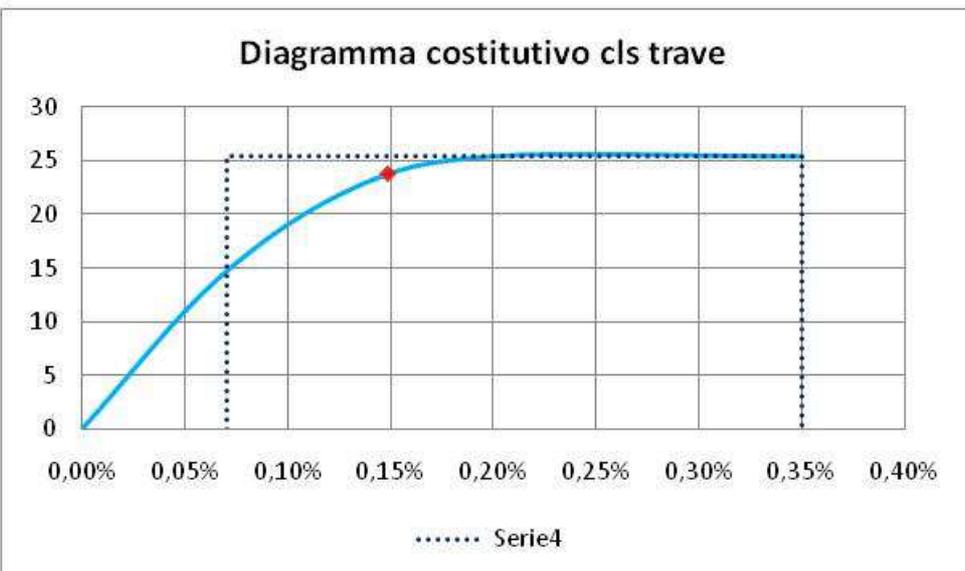
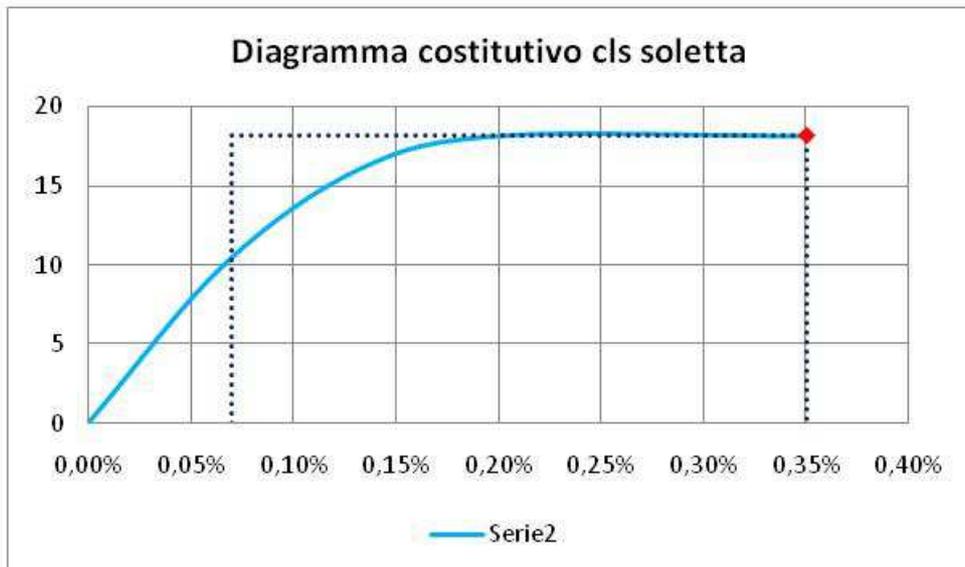
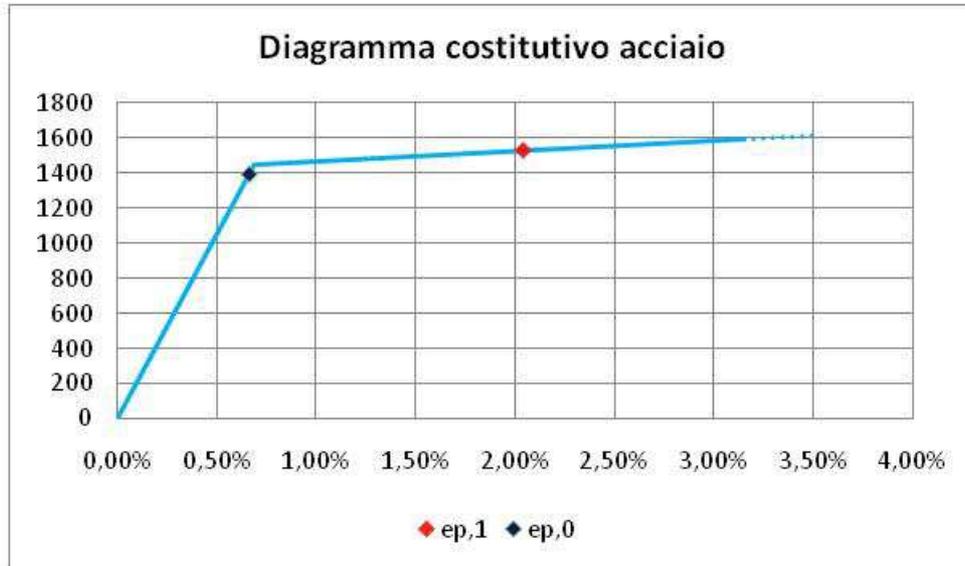
2.5.2 Verifiche Strutturali – Stati Limite Ultimi

| |
|------------------------|
| Trave in c.a.p. |
| Verifiche a Rottura |

| Caratteristiche Calcestruzzi | | |
|-------------------------------|------------------------------|---------------------------|
| | Calcestruzzo Precompresso | Calcestruzzo Ordinario |
| f_{ck} (N/mm ²) | 45 | 32 |
| γ_c | 1,5 | 1,5 |
| f_{cd} (N/mm ²) | 25,50 | 18,13 |
| $\epsilon_{c,0}$ | 0,002 | 0,002 |
| $\epsilon_{c,1}$ | 0,0035 | 0,0035 |

| Caratteristiche Acciaio da Precompressione | | | |
|---|--------|---|---------|
| f_{ptk} (N/mm ²) | 1.860 | f_{ptd} (N/mm ²) | 1.617 |
| $f_{p(1)k}$ (N/mm ²) | 1.670 | f_{yd} (N/mm ²) | 1.452 |
| γ_s | 1,15 | $f(\epsilon_{p,ud})$ (N/mm ²) | 1.597 |
| σ_{p0} (N/mm ²) | 1.395 | $\epsilon_{p,0}$ | 0,0066 |
| $\epsilon_{p,ud}$ | 0,0315 | E_p (N/mm ²) | 210.000 |
| $\epsilon_{p,uk}$ | 0,0350 | $\epsilon_{p,e}$ | 0,0069 |

| Caratteristiche geometriche | | |
|---|--|--------|
| Altezza totale trave in c.a.p. (cm) | 160,0 | |
| Larghezza anima (cm) | 16,0 | |
| Spessore ali superiori (cm) | 10,0 | |
| Larghezza ali superiori (cm) | 145,0 | |
| Spessore soletta collaborante (cm) | 27,0 | |
| Larghezza soletta collaborante (cm) | 160,0 | |
| Area trefoli precompressione (cm ²) | 50,2 | |
| Distanza baricentro trefoli lembo inferiore Y_{tr} (cm) | 23,5 | |
| Distanza trefoli lembo compresso h (cm) | 163,50 | |
| Rottura contemporanea acciaio-cls. | | |
| Distanza asse neutro lembo compr. X_o (cm) | 20,18 | |
| Porzione compressa $0,8 \times X_o$ (cm) | 16,14 | |
| Compressione calcestruzzo C_o (kN) | 4.684 | |
| Massima trazione acciaio T_o (kN) | 8.022 | |
| $X > X_o$ - Rottura Calcestruzzo | | |
| Distanza asse neutro lembo compr. X (cm) | 33,15 | |
| Porzione compressa $0,8 \times X$ (cm) | 26,520 | |
| Lembo sup.soletta | $\epsilon_{c,sol}$ | 0,0035 |
| | $\sigma_{c,sol}$ (N/mm ²) | 18,13 |
| Lembo sup.trave | $\epsilon_{c,tr sup}$ | 0,0015 |
| | $\sigma_{c,tr sup}$ (N/mm ²) | 23,82 |
| | $\Delta\epsilon_p$ | 0,0138 |
| Trefoli | $\epsilon_{p,1}$ | 0,0204 |
| | $\sigma_{p,tref}$ (N/mm ²) | 1.532 |
| Sforzo compressione calcestruzzo C (kN) | | 7.694 |
| Sorzo trazione acciaio T (kN) | | 7.694 |
| Verifica | | |
| Momento di rottura C=T M_r (kNm) | | 11.560 |
| Momento agente s.l.u. M_d (kNm) | | 9.930 |
| $\mu_r = M_r / M_d > 1,0$ | | 1,16 |



2.5.3 Verifica a taglio del trasverso

| | |
|---|--|
| Trasverso in C.A. | |
| Verifiche allo stato limite ultimo di taglio-torsione | |
| SEZIONE RETTANGOLARE | |

| Materiali (Unità N,mm) | | | |
|-------------------------------|-------|--------------|------|
| Calcestruzzo | | Acciaio | |
| $f_{ck} =$ | 32 | $f_{yk} =$ | 450 |
| $\gamma_c =$ | 1,50 | $\gamma_s =$ | 1,15 |
| $f_{cd} =$ | 18,13 | $f_{ywd} =$ | 391 |

| Dati sezione | |
|--|-------------|
| Altezza totale sezione (cm) | 120 |
| Larghezza esterna (cm) | 30 |
| Area calcestruzzo (cm ²) | 3600 |
| Copriferro (cm) | 5 |
| u perimetro esterno (cm) | 300 |
| $t_{ef,i}$ spessore efficace | 12 |
| u_k (cm) | 252 |
| A_k (cm ²) | 1944 |
| Armatura longitudinale (cm ²) | 18,84 |
| Diametro staffe (mm) | 12 |
| Passo (cm) | 10 |
| n° bracci efficaci x taglio | 2 |
| Area staffe al metro (cm ² /m) | 22,62 |
| Sollecitazioni | |
| Sforzo Normale di compressione (kN) | 0 |
| Taglio di calcolo V_{Ed} (kN) | 221 |
| Momento torcente di calcolo T_{Ed} (kNm) | 105 |
| $\tau_{t,i}$ (N/mm ²) | 2,25 |
| $V_{Ed,v}$ (kN) incremento di taglio x torsione | 292 |
| σ_{cp} tensione media di compressione (N/mm ²) | 0,00 |
| α_{cw} | 1,00 |
| τ_v tensione di taglio alla corda baricentrica (N/mm ²) | 0,92 |
| σ_1 tensione principale di trazione (N/mm ²) | 3,17 |
| θ angolo bielle compresse | 45,00 |
| $\cot \theta$ ($1 < \cot \theta < 2,5$) | 1,00 |
| Verifiche allo SLU per Taglio-Torsione | |
| V_{Rdc} (kN) | 1408 |
| T_{Rdc} (kNm) | 212 |
| $V_{Ed} / V_{Rdc} + T_{Ed} / T_{Rdc} \leq 1$ | 0,65 |
| $V_{Rd,staffe}$ (kN) (in caso di solo taglio) | 916 |
| $T_{Rd,staffe}$ (kNm) (in caso di sola torsione) | 172 |
| $V_{Ed} / V_{Rd,staffe} + T_{Ed} / T_{Rd,staffe} \leq 1$ | 0,85 |
| T_{RdL} (kNm) | 114 |
| Armatura longitudinale minima (cm ²) | 17,39 |
| $T_{Ed} / T_{Rd,L} \leq 1$ | 0,92 |
| Coefficiente di Sicurezza a Taglio Torsione | 0,92 |

2.6 APPOGGI E GIUNTI

Gli apparecchi di appoggio sono di tipo elastomerico armato ancorati alle singole travi ed ai baggioli realizzati sulle spalle e sono progettati per supportare le azioni nella combinazione caratteristica (SLU) e le azioni e gli spostamenti nelle combinazioni sismiche allo Stato Limite di Collasso (SLC).

I dispositivi adottati hanno le seguenti rigidezze:

| | |
|------------------------------------|-----------------------------|
| Spostamento massimo | 200 mm |
| Rigidezza orizzontale equivalente: | $K_e = 0,77 \text{ kN/mm}$ |
| Rigidezza verticale | $K_v = 1.038 \text{ kN/mm}$ |

Le azioni e gli spostamenti sui singoli appoggi sono riepilogati nelle tabelle che seguono, in cui sono evidenziate le azioni, gli spostamenti orizzontali massime.

| Risultati Modello | | | | | |
|---|------------------|--------------|---|------------------|--------------|
| Azioni orizzontali sugli isolatori | | | Azioni verticali sugli isolatori | | |
| | Esercizio | Sisma | | Esercizio | Sisma |
| H_{media} (kN) | 26 | 94 | V_{media} (kN) | -791 | -522 |
| H_{min} (kN) | 14 | 47 | V_{min} (kN) | -514 | -397 |
| H_{max} (kN) | 66 | 117 | V_{max} (kN) | -1.466 | -652 |

| Spostamenti massimi (SLC) | | | |
|----------------------------------|--------|----------|--------|
| Spalla A | 189 mm | Spalla B | 189 mm |

Escursioni degli appoggi e dei giunti

L'ampiezza del giunto sulla spalla è stato fissato in 20cm > 18,9cm (escursione massima sotto sisma).

3. SPALLE E PALI

3.1 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E CRITERI DI CALCOLO

Le spalle del ponticello sono del tipo passanti su pali con una trave cuscino fondata su pali trivellati in c.a. del diametro pari a 120cm posti sull'asse di appoggio dell'impalcato ad un interasse di 2,80m.

La spalla A è caratterizzata da una trave cuscino di lunghezza in asse agli appoggi pari a 13,94m e dimensioni trasversali pari a 2,30x1,55m realizzata su n.5 pali trivellati.

La spalla B è caratterizzata da una trave cuscino di lunghezza pari a 12,5m e dimensioni trasversali pari a 2,30x2,60m realizzata su n.4 pali trivellati.

Entrambe sono completate da una parete paraghiaia di spessore pari a 40 cm e di altezza pari a circa 2,55m.

Su ciascuna di esse agiscono, oltre alle azioni derivanti dall'impalcato tramite gli apparecchi di appoggio, i pesi propri della spalla stessa, la spinta statica del terreno retrostante, la sovraspinta determinata da un carico accidentale di 20 kN/m² e, in condizioni sismiche, le forze inerziali e le sovra spinte sismiche del terreno.

I coefficienti di spinta in condizioni statiche e sismiche, sono determinati secondo la teoria di Mononobe-Okabe, in funzione delle caratteristiche geotecniche del terreno e dei parametri sismici.

Per la determinazione delle sollecitazioni agente sui pali si è considerato l'effetto "shadowing" secondo il quale risulta, nell'ipotesi di trave cuscino infinitamente più rigida rispetto al singolo palo, che sul primo palo di una palificata l'effetto di una forza orizzontale diretta secondo l'asse della palificata risulta essere maggiorato.

L'azione orizzontale trasversale F_y sul palo di bordo maggiormente sollecitato vale può essere valutata attraverso la seguente formula:

$$V_y^* = F_y / [1 + 0,5 \times (n - 1)]$$

Le sollecitazioni sul palo sono state determinate nell'ipotesi di palo lungo ($L > 5D$) immerso in un terreno alla Winkler con costante elastica $K_h = 25.000 \text{ kN/m}^3$ con la testa del palo perfettamente incastrata alla trave cuscino (molto più rigida).

Il momento massimo M_x sul palo risulta essere:

$$M_x = V_y \times \lambda / 2$$

$$\text{essendo } \lambda = [4E_c \times J / (K_h \times D)]^{1/4}$$

ANAS SPA - AUTOSTRADA A3 SA RC
 NUOVO SVINCOLO DI PADULA-BUONABITACOLO
 PONTE SULL'ACQUA DELL'IMPERATORE - RELAZIONE DI CALCOLO

3.2 SPALLA A

| Forze Verticali | | | | | | | | | |
|------------------------------|--------------------------|--------|--------|------|-----|-----|-------|-------|--------|
| | | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | Totale |
| Eccentricità trasversale (m) | | -4,8 | -3,2 | -1,6 | 0 | 1,6 | 3,2 | 4,8 | |
| Permanenti | F _z (kN) | 528 | 525 | 518 | 515 | 518 | 525 | 528 | 3.657 |
| | M _{trasv} (kNm) | -2.534 | -1.680 | -829 | 0 | 829 | 1.680 | 2.534 | 0 |
| Carichi Mobili | F _z (kN) | 546 | 443 | 367 | 290 | 208 | 121 | 90 | 2.065 |
| | M _{trasv} (kNm) | -2.621 | -1.418 | -587 | 0 | 333 | 387 | 432 | -3.474 |

| Forze Orizzontali | | |
|-------------------|------------------------|-------------------------|
| | F _{long} (kN) | F _{trasv} (kN) |
| Frenamento | 228 | |
| Temperatura | 24 | |
| Vento Carico | | 107 |
| Vento Scarico | | 72 |
| Sisma X | 782 | 234 |
| Sisma Y | 235 | 781 |
| Sisma Z | 235 | 234 |

| COMBINAZIONI Nome | Permanenti Spinte Terre | AZIONI DA TRAFFICO | | VARIABILI | | AZIONE SISMICA | | | Variabile Monte |
|----------------------|----------------------------|--------------------|------------|-----------|-------------|----------------|---------|---------|--------------------|
| | | Mobili | Frenamento | Vento | Temperatura | Sisma X | Sisma Y | Sisma Z | |
| 1-M1 | 1,35 | 1,35 | | 0,90 | 0,72 | | | | 1,5 |
| 2a | 1,35 | 1,01 | 1,35 | 0,90 | 0,72 | | | | 1,5 |
| CVENTO | 1,00 | | | 1,50 | 0,72 | | | | |
| SISMA X | 1,00 | | | | | 1,00 | | | |
| SISMA Y | 1,00 | | | | | | 1,00 | | |
| SISMA Z | 1,00 | | | | | | | 1,00 | |

| Azioni dall'impalcato sulla spalla (alla quota appoggi) | | | | |
|---|------------------------|-------------------------|---------------------|--------------------------|
| COMBINAZIONI | F _{long} (kN) | F _{trasv} (kN) | F _z (kN) | M _{trasv} (kNm) |
| 1-M1 | 17,28 | 96,3 | 7.725 | 4.689 |
| 2a | 325,08 | 96,3 | 7.028 | 3.517 |
| CVENTO | 17,28 | 108 | 3.657 | 0 |
| SISMA X | 782 | 234 | 3.657 | 0 |
| SISMA Y | 235 | 781 | 3.657 | 0 |
| SISMA Z | 235 | 234 | 3.657 | 0 |

| Azioni derivanti dalla spalla | | | | | | | | | |
|--|-------|-------------------------------------|------|------------------------|-------------------------|---------------------|--------|--------------------------|-------------------------|
| L(m) | 13,95 | γ _t (kN/m ³) | 18 | a _g /g | 0,292 | β _s | 0,31 | Kst | 0,271 |
| γ _{cls} (kN/m ³) | 25 | φk° | 35 | S _s | 1,29 | Kh | 0,1168 | Ks+ | 0,334 |
| q (kN/m ²) | 20 | δk° | 0 | S _T | 1 | Kv | 0,0584 | Ks- | 0,343 |
| | K | b (W) | h | F _{long} (kN) | F _{trasv} (kN) | F _z (kN) | e | M _{trasv} (kNm) | M _{long} (kNm) |
| Paraghiaia | | 0,4 | 2,54 | | | 354 | -1,00 | | -354 |
| Trave cuscino | | 2,3 | 1,55 | | | 1243 | 0,00 | | 0 |
| Platea | | | | | | 0 | | | 0 |
| Muri d'ala | | | | | | 0 | | | 0 |
| Spinta terreno statica | 0,271 | | 4,09 | 569 | | | 1,36 | | 776 |
| PERMA (g₁+g₂) | | | | 569 | | 1598 | | | 422 |
| Spinta terreno sovraccarico | 0,271 | | 4,09 | 309 | | | 2,05 | | 632 |
| ACCIDENTALE (q_{ik}) | | | | 309 | | | | | 632 |
| Sovraspinta terreno sismica | 0,354 | | 4,09 | 173 | | | 1,36 | | 236 |
| Inerzia paraghiaia orizz. | 0,117 | 354 | | 41 | | | 2,82 | | 117 |
| Inerzia trave cuscino orizz. | 0,117 | 1243 | | 145 | | | 0,78 | | 113 |
| Platea | 0,117 | | | 0 | | | 0,00 | | 0 |
| Muri d'ala | 0,117 | | | 0 | | | 0,00 | | 0 |
| SISMA X (q_{6x}) | | | | 360 | | | | | 465 |
| Inerzia paraghiaia orizz. | 0,117 | 354 | | 41 | | | 2,82 | | 117 |
| Inerzia trave cuscino orizz. | 0,117 | 1243 | | 145 | | | 0,78 | | 113 |
| Platea | 0,117 | | | 0 | | | 0,00 | | 0 |
| Muri d'ala | 0,117 | | | 0 | | | 0,00 | | 0 |
| SISMA Y (q_{6y}) | | | | | 187 | | | 229 | |
| Inerzia paraghiaia vert. | 0,058 | 354 | | | | 21 | -1,00 | | -21 |
| Inerzia trave cuscino vert. | 0,058 | 1243 | | | | 73 | 0,00 | | 0 |
| SISMA Z (q_{6z}) | | | | | | 93 | | | -21 |

ANAS SPA - AUTOSTRADA A3 SA RC
 NUOVO SVINCOLO DI PADULA-BUONABITACOLO
 PONTE SULL'ACQUA DELL'IMPERATORE - RELAZIONE DI CALCOLO

| Azioni da impalcato e spalla sulla palificata (alla quota testa pali) | | | | | |
|---|------------------------|-------------------------|---------------------|--------------------------|-------------------------|
| COMBINAZIONI | F _{long} (kN) | F _{trasv} (kN) | F _z (kN) | M _{trasv} (kNm) | M _{long} (kNm) |
| 1-M1 | 1.250 | 96 | 9.881 | 4.839 | 1.545 |
| 2a | 1.557 | 96 | 9.185 | 3.666 | 2.022 |
| CVENTO | 586 | 108 | 5.255 | 167 | 448 |
| SISMA X | 1.711 | 234 | 5.255 | 363 | 2.099 |
| SISMA Y | 804 | 968 | 5.255 | 1.440 | 786 |
| SISMA Z | 804 | 234 | 5.348 | 363 | 765 |

| Azioni di progetto sul singolo palo | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|------------------|------------------|------------------------|----------------|------------------|------|-------------------|----------------|-----|
| N.pali | | 4 | k (kN/m ³) | 25.000 | D (m) | 1,20 | | | |
| interasse | | 2,8 | E (kN/m ²) | 32.300.000 | λ (m) | 4,58 | | | |
| | N _{med} | N _{max} | N _{min} | V _x | V _y * | V | M _x ** | M _y | M |
| 1-M1 | 2470 | 1952 | 2989 | 312 | 39 | 315 | 88 | 386 | 396 |
| 2a | 2296 | 1903 | 2689 | 389 | 39 | 391 | 88 | 505 | 513 |
| CVENTO | 1314 | 1296 | 1332 | 147 | 43 | 153 | 99 | 112 | 149 |
| SISMA X | 1314 | 1275 | 1353 | 428 | 94 | 438 | 214 | 525 | 567 |
| SISMA Y | 1314 | 1159 | 1468 | 201 | 387 | 436 | 885 | 196 | 907 |
| SISMA Z | 1337 | 1298 | 1376 | 201 | 94 | 222 | 214 | 191 | 287 |

* effetto shadowing: il palo estremo assorbe un'azione di taglio lungo l'asse della palificata pari a: $V_y = F_y [1 + 0,5(n-1)]$

** ipotesi testa palo impedita di ruotare: $M_x = V_y \lambda / 2$

ANAS SPA - AUTOSTRADA A3 SA RC
 NUOVO SVINCOLO DI PADULA-BUONABITACOLO
 PONTE SULL'ACQUA DELL'IMPERATORE - RELAZIONE DI CALCOLO

3.3 SPALLA B

| Forze Verticali | | | | | | | | | |
|------------------------------|--------------------------|--------|--------|------|-----|-----|-------|-------|--------|
| | | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | Totale |
| Eccentricità trasversale (m) | | -4,8 | -3,2 | -1,6 | 0 | 1,6 | 3,2 | 4,8 | |
| Permanenti | F _z (kN) | 528 | 525 | 518 | 515 | 518 | 525 | 528 | 3.657 |
| | M _{trasy} (kNm) | -2.534 | -1.680 | -829 | 0 | 829 | 1.680 | 2.534 | 0 |
| Carichi Mobili | F _z (kN) | 546 | 443 | 367 | 290 | 208 | 121 | 90 | 2.065 |
| | M _{trasy} (kNm) | -2.621 | -1.418 | -587 | 0 | 333 | 387 | 432 | -3.474 |

| Forze Orizzontali | | |
|-------------------|------------------------|-------------------------|
| | F _{long} (kN) | F _{trasy} (kN) |
| Frenamento | 228 | |
| Temperatura | 24 | |
| Vento Carico | | 107 |
| Vento Scarico | | 72 |
| Sisma X | 782 | 234 |
| Sisma Y | 235 | 781 |
| Sisma Z | 235 | 234 |

| COMBINAZIONI Nome | Permanenti Spinte Terre | AZIONI DA TRAFFICO | | VARIABILI | | AZIONE SISMICA | | | Variabile Monte |
|----------------------|----------------------------|--------------------|------------|-----------|-------------|----------------|---------|---------|--------------------|
| | | Mobili | Frenamento | Vento | Temperatura | Sisma X | Sisma Y | Sisma Z | |
| 1-M1 | 1,35 | 1,35 | | 0,90 | 0,72 | | | | 1,5 |
| 2a | 1,35 | 1,01 | 1,35 | 0,90 | 0,72 | | | | 1,5 |
| CVENTO | 1,00 | | | 1,50 | 0,72 | | | | |
| SISMA X | 1,00 | | | | | 1,00 | | | 0,2 |
| SISMA Y | 1,00 | | | | | | 1,00 | | 0,2 |
| SISMA Z | 1,00 | | | | | | | 1,00 | 0,2 |

| Azioni dall'impalcato sulla spalla (alla quota appoggi) | | | | |
|---|------------------------|-------------------------|---------------------|--------------------------|
| COMBINAZIONI | F _{long} (kN) | F _{trasy} (kN) | F _z (kN) | M _{trasy} (kNm) |
| 1-M1 | 17,28 | 96,3 | 7.725 | 4.689 |
| 2a | 325,08 | 96,3 | 7.028 | 3.517 |
| CVENTO | 17,28 | 108 | 3.657 | 0 |
| SISMA X | 782 | 234 | 3.657 | 0 |
| SISMA Y | 235 | 781 | 3.657 | 0 |
| SISMA Z | 235 | 234 | 3.657 | 0 |

| Azioni derivanti dalla spalla | | | | | | | | | | | | |
|--|--------|--------------------------------------|------------------------|-------------------------------------|-------------------------|---------------------|-------------------|--------------------------|-------------------------|-----|-----|-------------|
| | L(m) | γ _{cl} (kN/m ³) | q (kN/m ²) | γ _t (kN/m ³) | φk° | δk° | a _g /g | S _s | β _s | Kst | Ks+ | Ks- |
| | K | b (W) | h | F _{long} (kN) | F _{trasy} (kN) | F _z (kN) | e | M _{trasy} (kNm) | M _{long} (kNm) | | | |
| Paraghiaia | | 0,4 | 2,57 | | | | 321 | -1,00 | | | | -321 |
| Trave cuscino | | 2,3 | 2,6 | | | | 1869 | 0,00 | | | | 0 |
| Platea | | | | | | | 0 | | | | | 0 |
| Muri d'ala | | | | | | | 0 | | | | | 0 |
| Spinta terreno statica | 0,271 | | 5,17 | 815 | | | | 1,72 | | | | 1404 |
| PERMA (g₁+g₂) | | | | 815 | | | 2190 | | | | | 1083 |
| Spinta terreno sovraccarico | 0,271 | | 5,17 | 350 | | | | 2,59 | | | | 905 |
| ACCIDENTALE (q_{in}) | | | | 350 | | | | | | | | 905 |
| Sovraspinta terreno sismica | 0,354 | | 5,17 | 248 | | | | 1,72 | | | | 428 |
| Inerzia paraghiaia orizz. | 0,1168 | 321 | | 38 | | | | 3,89 | | | | 146 |
| Inerzia trave cuscino orizz. | 0,1168 | 1869 | | 218 | | | | 1,30 | | | | 284 |
| Platea | 0,1168 | | | 0 | | | | 0,00 | | | | 0 |
| Muri d'ala | 0,1168 | | | 0 | | | | 0,00 | | | | 0 |
| SISMA X (q_{ex}) | | | | 504 | | | | | | | | 857 |
| Inerzia paraghiaia orizz. | 0,1168 | 321 | | | 38 | | | 3,89 | | | | 146 |
| Inerzia trave cuscino orizz. | 0,1168 | 1869 | | | 218 | | | 1,30 | | | | 284 |
| Platea | 0,1168 | | | | 0 | | | 0,00 | | | | 0 |
| Muri d'ala | 0,1168 | | | | 0 | | | 0,00 | | | | 0 |
| SISMA Y (q_{ey}) | | | | | 256 | | | | | | | 430 |
| Inerzia paraghiaia vert. | 0,0584 | 321 | | | | 19 | | -1,00 | | | | -19 |
| Inerzia trave cuscino vert. | 0,0584 | 1869 | | | | 109 | | 0,00 | | | | 0 |
| SISMA Z (q_{ez}) | | | | | | 128 | | | | | | -19 |

ANAS SPA - AUTOSTRADA A3 SA RC
 NUOVO SVINCOLO DI PADULA-BUONABITACOLO
 PONTE SULL'ACQUA DELL'IMPERATORE - RELAZIONE DI CALCOLO

| Azioni da impalcato e spalla sulla palificata (alla quota testa pali) | | | | | |
|---|------------------------|-------------------------|---------------------|--------------------------|-------------------------|
| COMBINAZIONI | F _{long} (kN) | F _{trasv} (kN) | F _z (kN) | M _{trasv} (kNm) | M _{long} (kNm) |
| 1-M1 | 1.643 | 96 | 10.681 | 4.940 | 2.865 |
| 2a | 1.951 | 96 | 9.984 | 3.767 | 3.666 |
| CVENTO | 832 | 108 | 5.847 | 281 | 1.128 |
| SISMA X | 2.171 | 234 | 5.847 | 608 | 4.154 |
| SISMA Y | 1.120 | 1.037 | 5.847 | 2.460 | 1.875 |
| SISMA Z | 1.120 | 234 | 5.975 | 608 | 1.856 |

| Azioni di progetto sul singolo palo | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|------------------|------------------------|------------------|----------------|------------------|-----|-------------------|----------------|-----|
| N.pali | 5 | k (kN/m ³) | 25.000 | D (m) | 1,20 | | | | |
| interasse | 2,8 | E (kN/m ²) | 32.300.000 | λ (m) | 4,58 | | | | |
| | N _{med} | N _{max} | N _{min} | V _x | V _y * | V | M _x ** | M _y | M |
| 1-M1 | 2136 | 1783 | 2489 | 329 | 32 | 330 | 73 | 573 | 578 |
| 2a | 1997 | 1728 | 2266 | 390 | 32 | 391 | 73 | 733 | 737 |
| CVENTO | 1169 | 1149 | 1189 | 166 | 36 | 170 | 82 | 226 | 240 |
| SISMA X | 1169 | 1126 | 1213 | 434 | 78 | 441 | 178 | 831 | 850 |
| SISMA Y | 1169 | 994 | 1345 | 224 | 346 | 412 | 791 | 375 | 875 |
| SISMA Z | 1195 | 1152 | 1238 | 224 | 78 | 237 | 178 | 371 | 412 |

* effetto shadowing: il palo estremo assorbe un'azione di taglio lungo l'asse della palificata pari a: $V_y = F_y / [1 + 0,5(n-1)]$

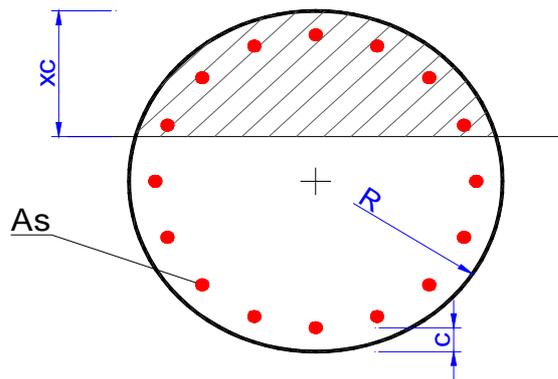
** ipotesi testa palo impedita di ruotare: $M_x = V_y \lambda / 2$

3.4 VERIFICHE DI RESISTENZA DEL PALO

Si riportano le verifiche di resistenza del palo $\Phi 120\text{cm}$ maggiormente caricato.

Verifiche a Presso-Flessione

Si operano le verifiche a pressoflessione nella sezione di testa per i pali della spalla nella condizione di carico più gravosa



| Geometria della sezione | | |
|-------------------------|---|------|
| | | [cm] |
| Raggio | R | 60 |

| Sollecitazioni | | |
|----------------|------|-------|
| M | 907 | [kNm] |
| N | 1159 | [kN] |

| Armatura As | | | |
|-------------|---------------|-------------------------|-----------------|
| n°ferri | Diametro [mm] | Area [cm ²] | copriferro [cm] |
| 18 | 26 | 95,57 | 8 |
| | | 0,00 | |
| | | 0,00 | |
| | | 95,57 | |

| Materiali | | | | | | | | |
|-----------|------------|---------------|-----------|-----------|-----------------|-----------------|-----------------|--|
| C25/30 ▼ | γ_c | α_{cc} | Rck [Mpa] | fck [Mpa] | fcd [Mpa] | fcc/fcd | ϵ_{c2} | ϵ_{cu2} |
| | 1,5 | 0,85 | 30 | 25 | 14,2 | 1,0 | 0,200% | 0,350% |
| FeB32k ▼ | γ_s | Es [Mpa] | fyk [Mpa] | fyd [Mpa] | ϵ_{ys} | ϵ_{uk} | α_s | $\epsilon_{ud} = \epsilon_{uk} \alpha_s$ |
| | 1,15 | 200000 | 315 | 273,9 | 0,137% | 1,000% | 1 | 1,000% |

- N costante
 e costante

N ultimo
1159,0 [kN]

xc
29,09 [cm]

M ultimo
1699,6 [kNm]

FS
1,87

Verifica a taglio

Si verifica il palo relativo alla spalla fissa sotto l'azione del taglio massimo nella peggiore condizione di carico:

$V_{max} = 438 \text{ kN}$ $N = 1.275 \text{ kN}$

Le altre combinazioni di carico comportano sollecitazioni taglianti inferiori.

| |
|--|
| Sezione circolare in C.A. |
| Verifiche allo stato limite ultimo di taglio |
| VERIFICA CON STAFFE |

| Materiali (Unità N,mm) | | | |
|------------------------|-------|--------------|------|
| Calcestruzzo ord. | | Acciaio | |
| $f_{ck} =$ | 25 | $f_{yk} =$ | 450 |
| $\gamma_c =$ | 1,50 | $\gamma_s =$ | 1,15 |
| $f_{cd} =$ | 14,17 | $f_{ywd} =$ | 391 |

| Dati sezione | |
|---|--------|
| Diametro sezione (cm) | 120 |
| Copriferro (cm) | 7 |
| Altezza utile sezione $d=D/2 + 2x(D/2-c)/\pi$ | 94 |
| Armatura longitudinale (cm ²) | 135,20 |
| Diametro staffe (mm) | 12 |
| Bracci | 2 |
| Passo (cm) | 10 |
| Area staffe al metro (cm ² /m) | 22,62 |

| Sollecitazioni | |
|---|-------|
| Sforzo Normale di compressione (kN) | 1275 |
| Taglio di calcolo V_{sd} (kN) | 438 |
| σ_{cp} tensione media di compressione (N/mm ²) | 0,96 |
| α_{cw} | 1,07 |
| τ_{media} tensione di taglio media (N/mm ²) | 0,43 |
| σ_1 tensione principale di trazione (N/mm ²) | 1,12 |
| θ angolo bielle compresse | 21,03 |
| $\cot \theta$ ($1 < \cot \theta < 2,5$) | 2,50 |

| Verifiche allo SLU per taglio $V_{Rd} > V_{sd}$ | |
|---|-------------|
| $V_{Rd,s}$ (kN) | 1873 |
| $V_{Rd,max}$ (kN) | 2649 |
| V_{Rd} (kN) = $\min(V_{Rd,s}; V_{Rd,max})$ | 1873 |
| Coefficiente di sicurezza (V_{Rd} / V_{sd}) | 4,28 |