

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. INFRASTRUTTURE NORD

PROGETTO DEFINITIVO

DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO  
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA

RADDOPPIO TRATTA FIUME TORTO – LERCARA DIRAMAZIONE  
LOTTO 1 + 2

FABBRICATI DI STAZIONE

FV03 - Stazione di Lercara dir - km 29+147

Relazione di calcolo ponte pedonale 1/2

SCALA:

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

RS3Z 00 D 26 CL FV0300 006 B

| Rev. | Descrizione                  | Redatto    | Data         | Verificato | Data         | Approvato  | Data         | Autorizzato                                                                                                                                                  | Data |
|------|------------------------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| A    | EMISSIONE ESECUTIVA          | C. INTEGRA | Gennaio 2020 | F. COPPINI | Gennaio 2020 | A. BARRECA | Gennaio 2020 | F. S. S. HI<br>Maggiore<br>ITALFERR - UO INFRASTRUTTURE NORD<br>Dott. Ing. Francesco S. HI<br>Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma<br>n. 25172/Sgr |      |
| B    | 1° AGG. A CONSEGNA<br>CSLLPP | C. INTEGRA | Maggio 2020  | F. COPPINI | Maggio 2020  | A. BARRECA | Maggio 2020  |                                                                                                                                                              |      |
|      |                              |            |              |            |              |            |              |                                                                                                                                                              |      |
|      |                              |            |              |            |              |            |              |                                                                                                                                                              |      |

File: RS3Z00D26FV0300006B

n. Elab.:

## INDICE

|                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| 1. PREMESSA .....                                               | 2  |
| 2. NORMATIVE DI RIFERIMENTO .....                               | 3  |
| 3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI .....                          | 4  |
| 4. PARAMETRI GEOTECNICI DEL SITO .....                          | 6  |
| 5. UBICAZIONE DELL'INTERVENTO .....                             | 7  |
| 6. ANALISI DEI CARICHI .....                                    | 9  |
| 6.1 PESO PROPRIO DELLA STRUTTURA .....                          | 9  |
| 6.2 CARICHI PERMANENTI NON STRUTTURALI .....                    | 10 |
| 6.3 SOVRACCARICO SULL'IMPALCATO .....                           | 10 |
| 6.4 CARICO VARIABILE SULLA COPERTURA .....                      | 10 |
| 6.5 CARICO VARIABILE DELLE SCALE .....                          | 11 |
| 6.6 CARICO NEVE SULLA COPERTURA .....                           | 11 |
| 6.7 AZIONE DEL VENTO .....                                      | 12 |
| 6.8 PRESSIONE AEREODINAMICA DOVUTA AL PASSAGGIO DEI TRENI ..... | 19 |
| 6.9 AZIONI TERMICHE .....                                       | 21 |
| 6.10 URTI DA TRAFFICO FERROVIARIO .....                         | 22 |
| 6.11 AZIONE SISMICA .....                                       | 22 |
| 7. COMBINAZIONI DI CARICO .....                                 | 25 |
| 8. MODELLAZIONE STRUTTURALE .....                               | 27 |

|       |                                                        |    |
|-------|--------------------------------------------------------|----|
| 8.1   | CODICE DI CALCOLO .....                                | 27 |
| 8.2   | DESCRIZIONE GENERALE DEI MODELLI STRUTTURALI.....      | 27 |
| 8.3   | CARICHI APPLICATI.....                                 | 29 |
| 8.3.1 | <i>Peso proprio degli elementi</i> .....               | 29 |
| 8.3.2 | <i>Carichi variabili</i> .....                         | 29 |
| 8.3.3 | <i>Azioni eccezionali – Urto</i> .....                 | 33 |
| 8.4   | VINCOLI E SVINCOLI.....                                | 33 |
| 8.5   | LUNGHEZZE LIBERE DI INFLESSIONE DEGLI ELEMENTI.....    | 34 |
| 8.6   | AFFIDABILITÀ DEI CODICI DI CALCOLO .....               | 35 |
| 8.7   | INFORMAZIONI GENERALI SULL'ELABORAZIONE .....          | 35 |
| 8.8   | GIUDIZIO MOTIVATO DI ACCETTABILITÀ DEI RISULTATI ..... | 35 |
| 9.    | Conclusioni .....                                      | 37 |

## 1. PREMESSA

L'oggetto della presente relazione è la struttura di collegamento ed accesso ai diversi binari della stazione di Lercara (PA).

Si tratta di una struttura metallica mono-piano di lunghezza complessiva pari a circa 44,05 m e larghezza 9,45 m poggiata su:

- 4 pile in c.a. di altezza pari a 7.85 m, con sezione cava, posizionate su 2 allineamenti fondati su pali;
- pareti in c.a che costituiscono il fabbricato viaggiatori (non trattate in questo documento, di cui si tiene conto tramite il sistema di vincoli adottato).

La struttura metallica è composta da 2 travi principali continue, disposte longitudinalmente alla struttura, di tipo laminato a caldo con altezza pari a 800 mm e piattabanda di larghezza 300 mm. Su tali travi si innestano perpendicolarmente delle travi secondarie IPE 500. Le travi secondarie sono, infine, collegate a profili tubolari di dimensione 500x300x6 mm che realizzano i portali trasversali che costituiscono la copertura.

|                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                |       |           |             |      |         |
|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-----------|-------------|------|---------|
|  | <b>PROGETTO DEFINITIVO</b><br><b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA–CATANIA–PALERMO</b><br><b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO–CATANIA</b><br><b>RADDOPPIO    TRATTA    FIUMETORTO    –    LERCARA</b><br><b>DIRAMAZIONE – LOTTO 1+2</b> |       |           |             |      |         |
| <i>Relazione di calcolo ponte pedonale 1/2</i>                                   | COMMESSA                                                                                                                                                                                                                       | LOTTO | FASE-ENTE | DOCUMENTO   | REV. | FOGLIO  |
|                                                                                  | RS3Z                                                                                                                                                                                                                           | 00    | D 26      | CLFV0300006 | B    | 3 di 39 |

## 2. NORMATIVE DI RIFERIMENTO

La progettazione è conforme alle normative vigenti nonché alle Istruzioni dell'Ente FF.SS.

I calcoli e le disposizioni esecutive sono conformi alle norme attualmente in vigore e di seguito elencate:

- Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018: Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni;
- Circolare 21 gennaio 2019, n.7 C.S.LL.PP.: Istruzioni per l'applicazione dell'“Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 17 gennaio 2018;
- Circolare 15 ottobre 1996, n.252 AA.GG./S.T.C..: Istruzioni per l'applicazione delle “Nuove norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche” di cui al decreto ministeriale 9 gennaio 1996;
- RFI DTC SI MA IFS 001 B: “Manuale di progettazione delle opere civili” del 22/12/2017.
- RFI DTC SI PS MA IFS 001 B: Sezione 2 – Ponti e Strutture
- RFI DTC SI CS MA IFS 002 B: Manuale di Progettazione delle Opere Civili - Parte II - Sezione 5 – Prescrizioni per marciapiedi e pensiline delle stazioni ferroviarie a servizio dei viaggiatori
- Regolamento (UE) N.1299/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario dell'Unione europea
- Eurocodice 3: Progettazione delle strutture di acciaio – Parte 1.1: Regole generali e regole per gli edifici
- UNI EN 11104 marzo 2004: “Calcestruzzo: specificazione. prestazione. produzione e conformità” Istruzioni complementari per l'applicazione delle EN 206-1
- UNI EN 206-1 ottobre 2006: “Calcestruzzo: specificazione. prestazione. produzione e conformità”
- UNI EN 1992-1-1 (Eurocodice 2) novembre 2005: “Progettazione delle strutture di calcestruzzo Parte 1: Regole generali e regole per edifici”
- UNI EN 1998-5 (Eurocodice 8) gennaio 2005: “Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni. strutture di contenimento ed aspetti geotecnici”
- UIC CODE 777-2:2002: Structures built over railways lines – Construction requirements in the track zone.

Riferimenti STI:

- Regolamento (UE) N. 1299/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario dell'Unione europea, modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019.

### 3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

#### • ACCIAIO PER CARPENTERIA METALLICA: S355

Tab. 4.2.I – Laminati a caldo con profili a sezione aperta piani e lunghi

| Norme e qualità degli acciai | Spessore nominale "t" dell'elemento |                               |                               |                               |
|------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
|                              | t ≤ 40 mm                           |                               | 40 mm < t ≤ 80 mm             |                               |
|                              | $f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]       | $f_{tk}$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $f_{tk}$ [N/mm <sup>2</sup> ] |
| UNI EN 10025-2               |                                     |                               |                               |                               |
| S 235                        | 235                                 | 360                           | 215                           | 360                           |
| S 275                        | 275                                 | 430                           | 255                           | 410                           |
| <b>S 355</b>                 | <b>355</b>                          | <b>510</b>                    | <b>335</b>                    | <b>470</b>                    |
| S 450                        | 440                                 | 550                           | 420                           | 550                           |
| UNI EN 10025-3               |                                     |                               |                               |                               |
| S 275 N/NL                   | 275                                 | 390                           | 255                           | 370                           |
| S 355 N/NL                   | 355                                 | 490                           | 335                           | 470                           |
| S 420 N/NL                   | 420                                 | 520                           | 390                           | 520                           |
| S 460 N/NL                   | 460                                 | 540                           | 430                           | 540                           |
| UNI EN 10025-4               |                                     |                               |                               |                               |
| S 275 M/ML                   | 275                                 | 370                           | 255                           | 360                           |
| S 355 M/ML                   | 355                                 | 470                           | 335                           | 450                           |
| S 420 M/ML                   | 420                                 | 520                           | 390                           | 500                           |
| S 460 M/ML                   | 460                                 | 540                           | 430                           | 530                           |
| S460 Q/QL/QL1                | 460                                 | 570                           | 440                           | 580                           |
| UNI EN 10025-5               |                                     |                               |                               |                               |
| S 235 W                      | 235                                 | 360                           | 215                           | 340                           |
| S 355 W                      | 355                                 | 510                           | 335                           | 490                           |

#### • ACCIAIO PER BULLONI E DADI

- Bulloni del tipo "ad alta resistenza" ai sensi del DM 2018 e
- Viti secondo EN 14399-4
- Dadi secondo EN 14399-4
- Rondelle (Rosette) EN 14399-6
- Piastrine secondo UNI 5715 - 5716

La classe del bullone sarà selezionata in funzione del tipo di giunto da realizzare. In particolare, per giunti con bulloni a taglio:

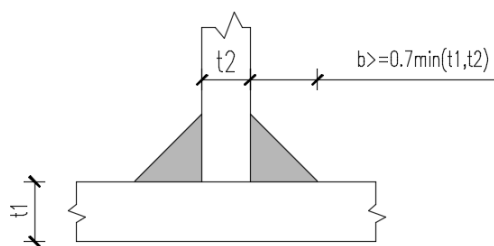
- Viti di classe 8.8 UNI EN ISO 898 - 1
- Dadi di classe 8 UNI EN 20898 -2

- SALDATURE**

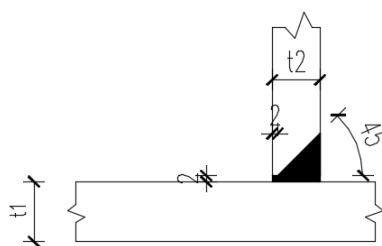
Procedimenti di saldatura omologati e qualificati (tipo automatico ad arco sommerso o altri che verranno concordati e accettati dall'Ente Appaltante} conformi a DM 2018 e al capitolato RFI DTC SI PS SP IFS 001 A.

Tutti gli elementi lavorati dovranno essere controllati ed accettati in accordo alla istruzione UNI EN 1090-2 (classe di esecuzione exc3).

Saldature cordone d'angolo



Saldature a piena penetrazione



#### 4. PARAMETRI GEOTECNICI DEL SITO

L'opera in esame ricade nella Zona 3 di cui alla relazione geotecnica RS3Z00D26GEOC0000001, la categoria del sottosuolo assunta ai fini sismici è la B.

Si riportano di seguito i parametri geotecnici utilizzati nei calcoli eseguiti.

| ZONA | SONDAGGIO DI RIFERIMENTO | PROFONDITA'   | UNITA' TERRENO | $\gamma_{sat}$ [kN/m <sup>3</sup> ] | $\phi$ [°] |     |          | Cu [kPa] |     |          | c' [kPa] | Vs [m/s] |     |          | Vs,eq [m/s] | Categoria di sottosuolo | G <sub>0</sub> [MPa] |     |          | E <sub>i</sub> /E <sub>u</sub> [MPa] | E <sub>i</sub> [MPa] |
|------|--------------------------|---------------|----------------|-------------------------------------|------------|-----|----------|----------|-----|----------|----------|----------|-----|----------|-------------|-------------------------|----------------------|-----|----------|--------------------------------------|----------------------|
|      |                          |               |                |                                     | max        | min | di prog. | max      | min | di prog. |          | max      | min | di prog. |             |                         | max                  | min | di prog. |                                      |                      |
| 3    | 2SR03                    | da 0 a 17m    | C              | 22                                  | 35         | 29  | 25       | 147      | 29  | 100      | 42       | 265      | 155 | 155      | 363         | B                       | 143                  | 49  | 70       | 80                                   | 61                   |
|      |                          | da 17m a 31m  | Sb,1           | 22                                  | 35         | 35  | 35       | 0        | 0   | 0        | 0        | 420      | 263 | 263      | 363         | B                       | 359                  | 141 | 150      | 130                                  | 130                  |
|      |                          | da 31m in poi | Sb,2           | 22                                  | 35         | 35  | 35       | 0        | 0   | 0        | 0        | 420      | 263 | 263      | 363         | B                       | 359                  | 141 | 200      | 173                                  | 173                  |

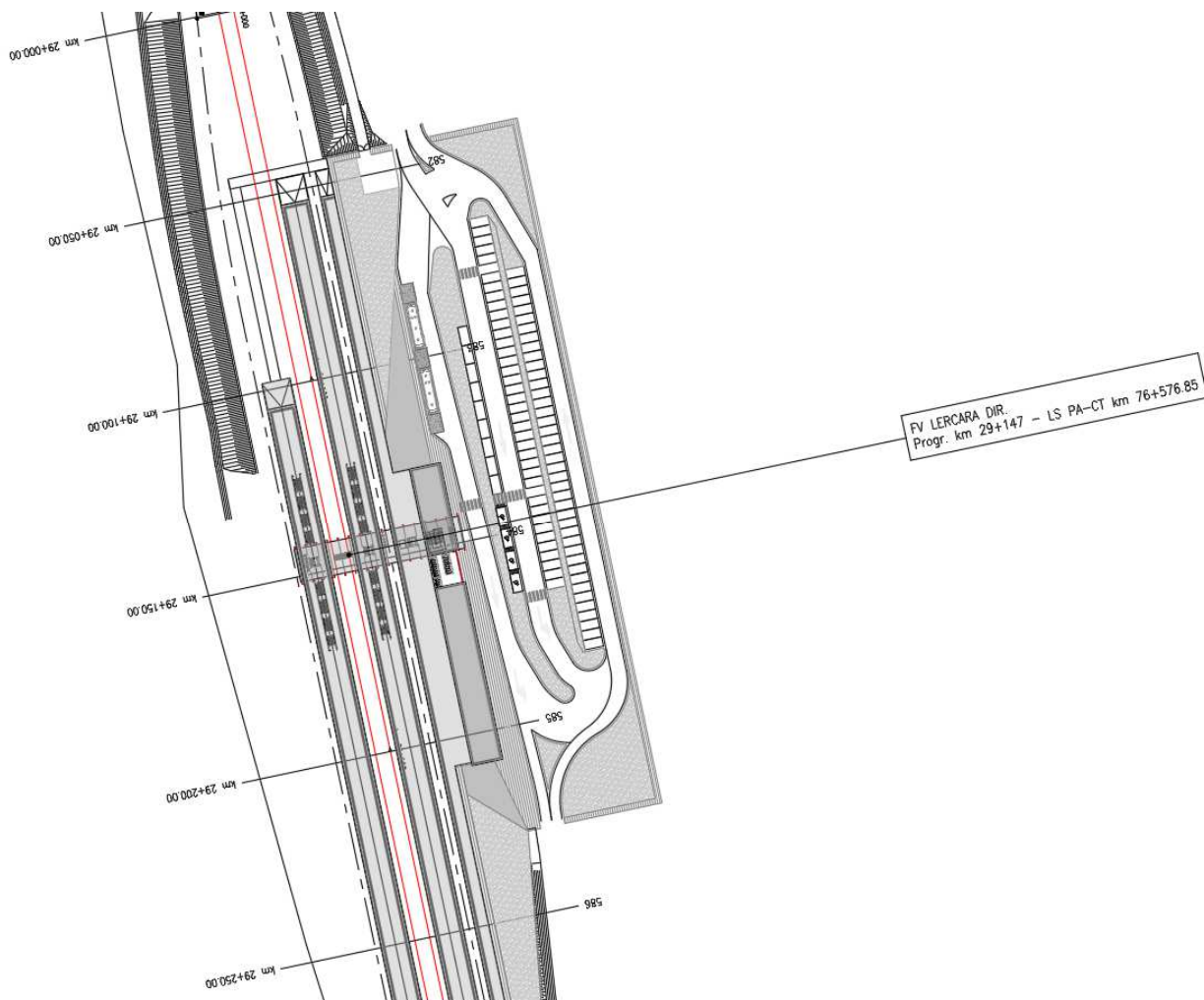
Per ulteriori informazioni riguardo la geologia e la geotecnica di sito, consultare gli elaborati RS3Z00D26F7OC0000001 e RS3Z00D26F7OC0000002.



|          |       |           |             |      |         |
|----------|-------|-----------|-------------|------|---------|
| COMMESSA | LOTTO | FASE-ENTE | DOCUMENTO   | REV. | FOGLIO  |
| RS3Z     | 00    | D 26      | CLFV0300006 | B    | 7 di 39 |

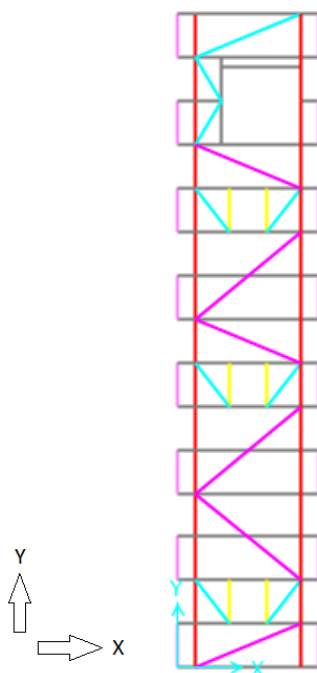
|                                                     |                        |                          |
|-----------------------------------------------------|------------------------|--------------------------|
| <input type="radio"/> Ricerca per coordinate        | LONGITUDINE<br>13,6057 | LATITUDINE<br>37,748     |
| <input checked="" type="radio"/> Ricerca per comune | REGIONE<br>Sicilia     | PROVINCIA<br>Palermo     |
|                                                     |                        | COMUNE<br>Lercara Friddi |

Si riporta di seguito uno stralcio della planimetria di progetto in cui è individuata l'opera in oggetto.



## 6. ANALISI DEI CARICHI

Nel modello di calcolo sono state così definite le direzioni degli assi X e Y nel piano, con asse Z diretto verso l'alto.



Si riportano di seguito i carichi utilizzati per il calcolo delle sollecitazioni e degli spostamenti della struttura in esame.

### 6.1 Peso proprio della struttura

Il peso proprio dei differenti elementi strutturali viene calcolato automaticamente dal programma di calcolo utilizzando i seguenti pesi specifici:

- Calcestruzzo armato 25.0 kN/mc
- Acciaio 78.6 kN/mc

Sono stati, inoltre, utilizzati i seguenti carichi permanenti strutturali:

- Soletta lam. grec. Marcegaglia EGB 2000 sp. tot. 25 cm 4.06 kN/mq

## 6.2 Carichi permanenti non strutturali

Di seguito si riportano i carichi permanenti non strutturali considerati nelle analisi.

### Piano Stazione

- Pavimentazione, massetto sp. 10 cm e tramezzi: 2.50 kN/mq

### Copertura passerella

- Pannelli di copertura sandwich: 0.15 kN/mq
- Impianti: 0.15 kN/mq

### Copertura bassa

- massetto pendenze sp. medio 7.5 cm: 1.50 kN/mq
- guaina e isolante: 0.20 kN/mq
- manto di protezione guaina: 0.50 kN/mq

### Pareti

- Lamiera microforata: 0.20 kN/mq
- Vetrate: 0.50 kN/mq

## 6.3 Sovraccarico sull'impalcato

Considerata la destinazione d'uso della struttura sopraelevata si assume una categoria d'uso della costruzione Cat. C3 ovvero “*Ambienti privi di ostacoli al movimento delle persone, quali musei, sale per esposizioni, aree d'accesso a uffici, ad alberghi e ospedali, ad atri di stazioni ferroviarie*”.

A tale categoria corrisponde un sovraccarico  $Q_k$  di **5.0 kN/mq**.

## 6.4 Carico variabile sulla copertura

Trattandosi di copertura accessibile per sola manutenzione e riparazione (Cat. H), si considera un sovraccarico di **0.5 kN/mq**.

| Cat.  | Ambienti                                                                       | $q_k$<br>[kN/m <sup>2</sup> ]     | $Q_k$<br>[kN] | $H_k$<br>[kN/m] |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------|-----------------|
| H-I-K | Coperture                                                                      |                                   |               |                 |
|       | Cat. H Coperture accessibili per sola manutenzione e riparazione               | 0,50                              | 1,20          | 1,00            |
|       | Cat. I Coperture praticabili di ambienti di categoria d'uso compresa fra A e D | secondo categorie di appartenenza |               |                 |
|       | Cat. K Coperture per usi speciali, quali impianti, eliporti.                   | da valutarsi caso per caso        |               |                 |

## 6.5 Carico variabile delle scale

L'accesso alla quota dell'impalcato avverrà mediante rampe di scale appoggiate sui nuclei in c.a.. Le rampe avranno larghezza di 1.7 m e saranno realizzate con struttura, gradini e parapetti in acciaio.

Considerando un carico permanente strutturale  $G_1$  di 3 kN/m<sup>2</sup> ed un sovraccarico variabile  $Q_1$  di 5 kN/m<sup>2</sup> si hanno i seguenti carichi concentrati in funzione della semi-lunghezza della rampa:

$$\text{lunghezza } 17.7 / 2 = 8.85 \text{ m: carico } G_1: 3 \text{ kN/m}^2 \times 8.85 \text{ m} \times 1.7 / 2 \text{ m} = 22.57 \text{ kN}$$

$$\text{carico } Q_1: 5 \text{ kN/m}^2 \times 8.85 \text{ m} \times 1.7 / 2 \text{ m} = 37.61 \text{ kN}$$

## 6.6 Carico neve sulla copertura

Le azioni della neve sono definite al capitolo 3.4 delle NTC2018.

Il carico provocato dalla neve sulle coperture sarà valutato mediante la seguente espressione:

$$q_s = q_{sk} \cdot \mu_i \cdot C_E \cdot C_t$$

dove:

- $q_{sk}$  è il valore di riferimento del carico della neve al suolo;
- $\mu_i$  è il coefficiente di forma della copertura;
- $C_E$  è il coefficiente di esposizione;
- $C_t$  è il coefficiente termico ( $C_t = 1$ ).

### Valore di riferimento del carico neve al suolo

Ubicazione dell'opera:

- Zona III (Palermo)
- $a_s \approx 670 \text{ m}$

$$\rightarrow q_{sk} = 0.51 \cdot (1 + (a_s / 481)^2) = 1.500 \text{ kN/m}_2$$

## Coefficiente di forma

La copertura della pensilina è del tipo a una falda con giacitura orizzontale ( $\alpha \approx 0^\circ$ ).

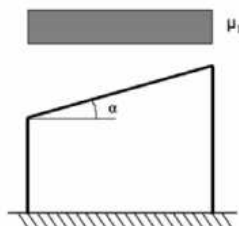


Fig. 3.4.2 - Condizioni di carico per coperture ad una falda

Tab. 3.4.II – Valori del coefficiente di forma

| Coefficiente di forma | $0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$ | $30^\circ < \alpha < 60^\circ$       | $\alpha \geq 60^\circ$ |
|-----------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|------------------------|
| $\mu_1$               | 0,8                                 | $0,8 \cdot \frac{(60 - \alpha)}{30}$ | 0,0                    |

## Coefficiente di esposizione

Tab. 3.4.I – Valori di  $C_E$  per diverse classi di esposizione

| Topografia        | Descrizione                                                                                                                                          | $C_E$ |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Battuta dai venti | Aree pianeggianti non ostruite esposte su tutti i lati, senza costruzioni o alberi più alti                                                          | 0,9   |
| Normale           | Aree in cui non è presente una significativa rimozione di neve sulla costruzione prodotta dal vento, a causa del terreno, altre costruzioni o alberi | 1,0   |
| Riparata          | Aree in cui la costruzione considerata è sensibilmente più bassa del circostante terreno o circondata da costruzioni o alberi più alti               | 1,1   |

In definitiva si ha:

$$q_s = 1.500 \cdot 0,8 \cdot 1,00 \cdot 1,00 = \mathbf{1.200 \text{ kN/m}^2}$$

## 6.7 Azione del vento

Il vento, la cui direzione si considera generalmente orizzontale, esercita sulle costruzioni azioni che variano nel tempo e nello spazio provocando, in generale, effetti dinamici.

Per le costruzioni usuali tali azioni sono convenzionalmente ricondotte ad azioni statiche equivalenti, costituite da pressioni e depressioni agenti normalmente alle superfici, sia esterne che interne, degli elementi che compongono le costruzioni stesse.

La pressione del vento è data dall'espressione:

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

dove:



- $q_r$  è la pressione cinetica di riferimento;
- $c_e$  è il coefficiente di esposizione;
- $c_p$  è il coefficiente di pressione;
- $c_d$  è il coefficiente dinamico ( $c_d = 1$ ).

### Pressione cinetica di riferimento

$$q_r = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_r^2$$

dove:

- $\rho$  è la densità dell'aria assunta convenzionalmente costante e pari a  $1.25 \text{ kg/m}^3$ ;
- $v_r$  è la velocità di riferimento del vento:

$$v_r = v_b \cdot c_r$$

con:

- $v_b$  = la velocità base di riferimento (valore medio della velocità del vento su 10 minuti, a 10 m di altezza sul suolo su un terreno pianeggiante e omogeneo di categoria di esposizione II, riferito a un periodo di ritorno  $T_R = 50$  anni);
- $c_r$  = coefficiente di ritorno, funzione del periodo di ritorno di progetto TR ( $TR = 50$  anni  $\rightarrow c_r = 1 \rightarrow v_r = v_b$ )

### Velocità base di riferimento

$$v_b = v_{b,0} \cdot c_a$$

- $v_{b,0}$  è la velocità base di riferimento al livello del mare;
- $c_a$  è il coefficiente di altitudine fornito dalla relazione:

$$c_a = 1 \text{ per } a_s \leq a_0$$

$$c_a = 1 + k_s \cdot (a_s / a_0 - 1) \text{ per } a_0 < a_s \leq 1500 \text{ m}$$

dove:

- $a_0, k_s$  sono parametri forniti in funzione della zona in cui sorge la costruzione;
- $a_s$  è l'altitudine sul livello del mare del sito ove sorge la costruzione ( $a_s \approx 200 \text{ m s.l.m.}$ ).

**Tab. 3.3.I -Valori dei parametri  $v_{b,0}$ ,  $a_0$ ,  $k_s$**

| Zona | Descrizione                                                                                                                         | $v_{b,0}$ [m/s] | $a_0$ [m] | $k_s$ |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------|-------|
| 1    | Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste) | 25              | 1000      | 0,40  |
| 2    | Emilia Romagna                                                                                                                      | 25              | 750       | 0,45  |
| 3    | Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)   | 27              | 500       | 0,37  |
| 4    | Sicilia e provincia di Reggio Calabria                                                                                              | 28              | 500       | 0,36  |
| 5    | Sardegna (zona a oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)                                            | 28              | 750       | 0,40  |
| 6    | Sardegna (zona a occidente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)                                          | 28              | 500       | 0,36  |
| 7    | Liguria                                                                                                                             | 28              | 1000      | 0,54  |
| 8    | Provincia di Trieste                                                                                                                | 30              | 1500      | 0,50  |
| 9    | Isole (con l'eccezione di Sicilia e Sardegna) e mare aperto                                                                         | 31              | 500       | 0,32  |

$$\rightarrow v_b = 28 \cdot 1 = 28 \text{ m/s} \rightarrow q_r = \frac{1}{2} \cdot 1.25 \cdot 28^2 = 490 \text{ N/m}^2$$

### Coefficiente di esposizione

Il coefficiente di esposizione dipende dall'altezza "z" sul suolo del punto considerato, dalla topografia del terreno e dalla categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione. Per altezze sul suolo non maggiori di  $z = 200$  m esso è dato dalla formula:

$$c_e(z) = k_r^2 \cdot c_t \cdot \ln(z/z_0) \cdot [7 + c_t \cdot \ln(z/z_0)] \text{ per } z \geq z_{\min}$$

$$c_e(z) = c_e(z_{\min}) \text{ per } z < z_{\min}$$

dove:

- $k_r$ ,  $z_0$ ,  $z_{\min}$  sono assegnati in funzione della categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione;
- $c_t$  è il coefficiente di topografia ( $c_t = 1$ ).

L'altezza massima della costruzione sul suolo è di circa 13,7 m, quindi si ha:

$$c_e(z=13.7 \text{ m}) = 0.202 \cdot 1 \cdot \ln(13.7/0.10) \cdot [7 + 1 \cdot \ln(13.7/0.10)] \approx 2.35$$



**Tab. 3.3.III - Classi di rugosità del terreno**

| Classe di rugosità del terreno | Descrizione                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A                              | Aree urbane in cui almeno il 15% della superficie sia coperto da edifici la cui altezza media superi i 15 m                                                                                                                                                                                                                                                   |
| B                              | Aree urbane (non di classe A), suburbane, industriali e boschive                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| C                              | Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri, recinzioni,...); aree con rugosità non riconducibile alle classi A, B, D                                                                                                                                                                                                                                       |
| D                              | a) Mare e relativa fascia costiera (entro 2 km dalla costa);<br>b) Lago (con larghezza massima pari ad almeno 1 km) e relativa fascia costiera (entro 1 km dalla costa)<br>c) Aree prive di ostacoli o con al più rari ostacoli isolati (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, ....) |

L'assegnazione della classe di rugosità non dipende dalla conformazione orografica e topografica del terreno. Si può assumere che il sito appartenga alla Classe A o B, purché la costruzione si trovi nell'area relativa per non meno di 1 km e comunque per non meno di 20 volte l'altezza della costruzione, per tutti i settori di provenienza del vento ampi almeno 30°. Si deve assumere che il sito appartenga alla Classe D, qualora la costruzione sorga nelle aree indicate con le lettere a) o b), oppure entro un raggio di 1 km da essa vi sia un settore ampio 30°, dove il 90% del terreno sia del tipo indicato con la lettera c). Laddove sussistano dubbi sulla scelta della classe di rugosità, si deve assegnare la classe più sfavorevole (l'azione del vento è in genere minima in Classe A e massima in Classe D).

| ZONE 1,2,3,4,5                                             |       |       |       |      |      |    |
|------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|------|------|----|
|                                                            | costa |       |       |      |      |    |
|                                                            | mare  |       |       |      |      |    |
|                                                            | 2 km  | 10 km | 30 km | 500m | 750m |    |
| A                                                          | --    | IV    | IV    | V    | V    | V  |
| B                                                          | --    | III   | III   | IV   | IV   | IV |
| C                                                          | --    | *     | III   | III  | IV   | IV |
| D                                                          | I     | II    | II    | II   | III  | ** |
| * Categoria II in zona 1,2,3,4<br>Categoria III in zona 5  |       |       |       |      |      |    |
| ** Categoria III in zona 2,3,4,5<br>Categoria IV in zona 1 |       |       |       |      |      |    |

**Tab. 3.3.II - Parametri per la definizione del coefficiente di esposizione**

| Categoria di esposizione del sito | $K_r$ | $z_0$ [m] | $z_{min}$ [m] |
|-----------------------------------|-------|-----------|---------------|
| I                                 | 0,17  | 0,01      | 2             |
| II                                | 0,19  | 0,05      | 4             |
| III                               | 0,20  | 0,10      | 5             |
| IV                                | 0,22  | 0,30      | 8             |
| V                                 | 0,23  | 0,70      | 12            |

## Coefficiente di pressione aerodinamico

Il coefficiente di pressione dipende dalla tipologia della costruzione e dal suo orientamento rispetto alla direzione del vento.

### Copertura

L'azione del vento in copertura viene calcolata considerando la stessa come copertura piana essendo la sua inclinazione media sull'orizzontale inferiore a 5°. Per il calcolo della pressione del vento vengono utilizzati i coefficienti  $c_{pe}$  secondo lo schema riportato nelle immagini seguenti, tratte dalla Circolare 7 relativa alle NTC 2018. In tal caso come riportato nella Tabella C3.3.IV della stessa circolare, si hanno coefficienti di esposizione distinti sulle diverse zone della copertura. La spinta del vento in copertura vale quindi:

**Zona F**  $p = +490 \cdot 2.35 \cdot (-1.8) \cdot 10^{-3} = -2.073 \text{ kN/m}^2$

**Zona G**  $p = +490 \cdot 2.35 \cdot (-1.2) \cdot 10^{-3} = -1.382 \text{ kN/m}^2$

**Zona H**  $p = +490 \cdot 2.35 \cdot (-0.7) \cdot 10^{-3} = -0.806 \text{ kN/m}^2$

**Zona I**  $p = +490 \cdot 2.35 \cdot (+0.2) \cdot 10^{-3} = +0.230 \text{ kN/m}^2$

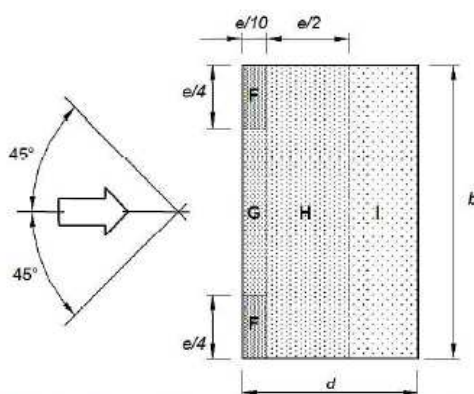


Figura H.5 – Suddivisione delle coperture piane in zone di uguale pressione.

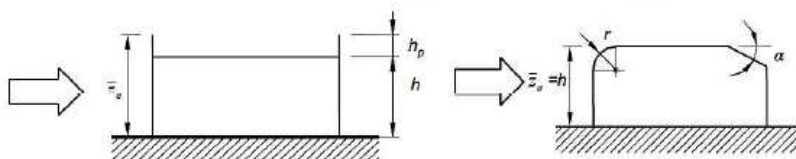


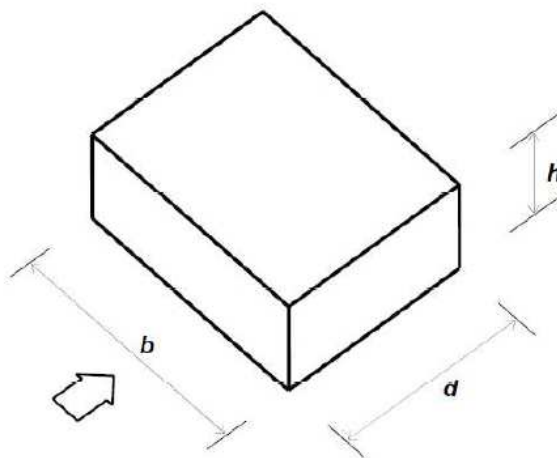
Figura H.6 – Altezza di riferimento per coperture piane con parapetti o raccordi (curvi e piani).

**Tabella H.III – Coefficienti di pressione per coperture piane.**

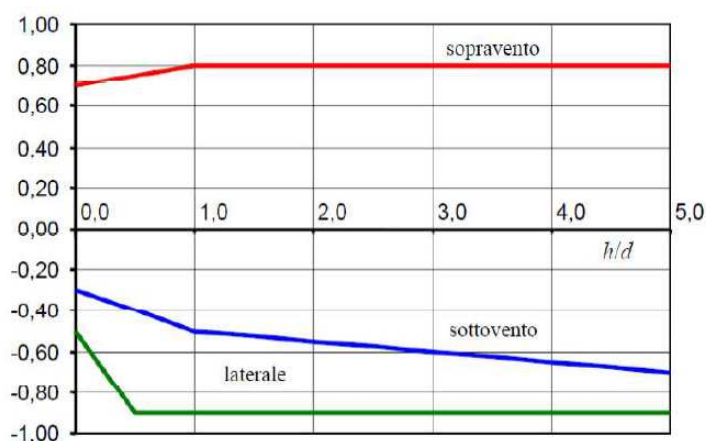
|                |                     | Zona        |            |             |            |             |            |             |            |
|----------------|---------------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|
|                |                     | F           |            | G           |            | H           |            | I           |            |
|                |                     | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ |
| Spigoli vivi   |                     | -1,8        | -2,5       | -1,2        | -2,0       | -0,7        | -1,2       | $\pm 0,2$   |            |
| Con parapetti  | $h_p/h = 0,025$     | -1,6        | -2,2       | -1,1        | -1,8       | -0,7        | -1,2       | $\pm 0,2$   |            |
|                | $h_p/h = 0,05$      | -1,4        | -2,0       | -0,9        | -1,6       | -0,7        | -1,2       |             |            |
|                | $h_p/h = 0,10$      | -1,2        | -1,8       | -0,8        | -1,4       | -0,7        | -1,2       |             |            |
| Raccordi curvi | $r/h = 0,05$        | -1,0        | -1,5       | -1,2        | -1,8       | -0,4        |            | $\pm 0,2$   |            |
|                | $r/h = 0,10$        | -0,7        | -1,2       | -0,8        | -1,4       | -0,3        |            |             |            |
|                | $r/h = 0,20$        | -0,5        | -0,8       | -0,5        | -0,8       | -0,3        |            |             |            |
| Raccordi piani | $\alpha = 30^\circ$ | -1,0        | -1,5       | -1,0        | -1,5       | -0,3        |            | $\pm 0,2$   |            |
|                | $\alpha = 45^\circ$ | -1,2        | -1,8       | -1,3        | -1,9       | -0,4        |            |             |            |
|                | $\alpha = 60^\circ$ | -1,3        | -1,9       | -1,3        | -1,9       | -0,5        |            |             |            |

### Pareti laterali passerella

Per quanto riguarda le azioni orizzontali sulle pareti verticali della costruzione, si fa riferimento alle indicazioni di cui al § C3.3.8.1.1 della CIRC. n. 7/2019 (le stesse indicazioni si trovano nel CNR-DT 207/2008 al § G.2.2).


**Figura G.1 – Parametri caratteristici di edifici a pianta rettangolare.**
**Tabella G.I – Edifici a pianta rettangolare:  $c_{pe}$  per facce sopravvento, sottovento e laterali.**

| Faccia sopravvento                            | Facce laterali                                   | Faccia sottovento                                         |
|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| $h/d \leq 1$ : $c_{pe} = 0,7 + 0,1 \cdot h/d$ | $h/d \leq 0,5$ : $c_{pe} = -0,5 - 0,8 \cdot h/d$ | $h/d \leq 1$ : $c_{pe} = -0,3 - 0,2 \cdot h/d$            |
| $h/d > 1$ : $c_{pe} = 0,8$                    | $h/d > 0,5$ : $c_{pe} = -0,9$                    | $1 < h/d \leq 5$ : $c_{pe} = -0,5 - 0,05 \cdot (h/d - 1)$ |



**Figura G.2** – Edifici a pianta rettangolare:  $c_{pe}$  per facce sopravento, sottovento e laterali.

In direzione X si ha:

$$h/d = 13.7/9.45 = 1.45$$

Faccia sopravento:  $c_{pe} = +0.8$

$$p = +490 \cdot 2.35 \cdot 0.8 \cdot 10^{-3} = +0.921 \text{ kN/m}^2$$

Faccia sottovento:  $c_{pe} = -0.5 - 0.05 \cdot (0.145-1) = -0.522$

$$p = +490 \cdot 2.35 \cdot (-0.522) \cdot 10^{-3} = -0.602 \text{ kN/m}^2$$

Facce laterali:  $c_{pe} = -0.5 - 0.8 \cdot 0.145 = -0.90$

$$p = +490 \cdot 2.35 \cdot (-0.9) \cdot 10^{-3} = +1.036 \text{ kN/m}^2$$

In direzione Y si ha:

$$h/d = 13.7/44.25 = 0.31$$

Faccia sopravento:  $c_{pe} = +0.7 + 0.1 \cdot 0.31 = +0.731$

$$p = +490 \cdot 2.35 \cdot 0.731 \cdot 10^{-3} = +0.842 \text{ kN/m}^2$$

Faccia sottovento:  $c_{pe} = +0.7 + 0.1 \cdot 0.31 = -0.361$

$$p = +490 \cdot 2.35 \cdot (-0.361) \cdot 10^{-3} = -0.417 \text{ kN/m}^2$$

Facce laterali:  $c_{pe} = +0.7 + 0.1 \cdot 0.31 = +0.252$

$$p = +490 \cdot 2.35 \cdot 0.252 \cdot 10^{-3} = 0.290 \text{ kN/m}^2$$

|                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                |       |           |             |      |          |
|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-----------|-------------|------|----------|
|  | <b>PROGETTO DEFINITIVO</b><br><b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA–CATANIA–PALERMO</b><br><b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO–CATANIA</b><br><b>RADDOPPIO    TRATTA    FIUMETORTO    –    LERCARA</b><br><b>DIRAMAZIONE – LOTTO 1+2</b> |       |           |             |      |          |
| <i>Relazione di calcolo ponte pedonale 1/2</i>                                   | COMMESSA                                                                                                                                                                                                                       | LOTTO | FASE-ENTE | DOCUMENTO   | REV. | FOGLIO   |
|                                                                                  | RS3Z                                                                                                                                                                                                                           | 00    | D 26      | CLFV0300006 | B    | 19 di 39 |

### Pile

Adottando gli stessi criteri del paragrafo precedente e trasformandoli in carichi lineari uniformemente distribuiti si ottiene:

In direzione X:

Faccia sopravento  $p = 2,76 \text{ kN/m}^2$

Faccia sottovento  $p = -2,49 \text{ kN/m}^2$

In direzione Y:

Faccia sopravento  $p = 3,23 \text{ kN/m}^2$

Faccia sottovento  $p = -3,04 \text{ kN/m}^2$

## **6.8 Pressione aereodinamica dovuta al passaggio dei treni**

Il passaggio dei convogli ferroviari induce sulle superfici situate in prossimità della linea ferroviaria onde di pressione e depressione secondo gli schemi riportati nel seguito.

Tali azioni possono essere schematizzate mediante carichi equivalenti agenti nelle zone prossime alla testa ed alla coda del treno.

I carichi equivalenti sono considerati valori caratteristici delle azioni.

In ogni caso, i valori delle azioni aerodinamiche dovranno essere cumulati con l'azione del vento, secondo le regole riportate nei capitoli della normativa di riferimento relativi alle combinazioni delle azioni.

### **Pressione orizzontale sulle pareti (§ 5.2.2.6.1 NTC2018)**

Le distanze minime ag delle facce delle pareti dagli assi dei binari adiacenti risultano essere pari a circa 3.50 m. Per una  $V=120 \text{ km/h}$ , può assumersi un valore cautelativo di  $q_{1k}$  pari a  $0.20 \text{ kN/m}^2$ .

Essendo la larghezza delle colonne minore di 2.50 m, l'azione  $q_{1k}$  deve essere incrementata del fattore  $k_2=1.3$ .

Valori caratteristici delle azioni  $q_{1k}$  per superfici semplici verticali parallele al binario

Legenda

X  $a_g$  [m]

Y  $q_{1k}$  [kN/m<sup>2</sup>]

1 Sezione

2 Superficie della struttura

3 Pianta

4 Superficie della struttura

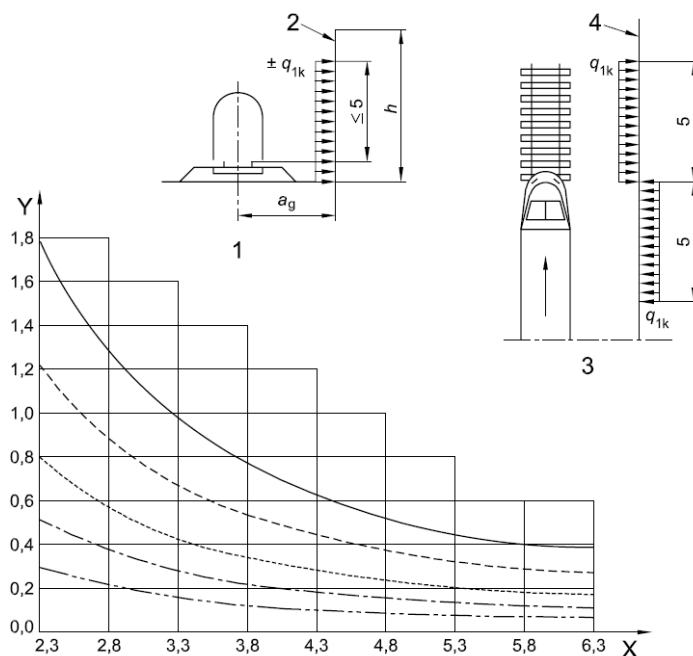
—  $V = 300$  km/h

- - -  $V = 250$  km/h

- · -  $V = 200$  km/h

- - -  $V = 160$  km/h

- - -  $V = 120$  km/h



### Depressione all'intradosso dell'impalcato

La distanza della superficie inferiore dell'impalcato è pari a circa 8.5 m. Considerando una velocità di transito in stazione  $V=120$  Km/h, assume, in via cautelativa,  $q_{2k} = 0.10$  kN/m<sup>2</sup>.

Tale modesto carico viene applicato alla zona di impalcato corrispondente al carico superficiale "Campata 2" con estensione in direzione longitudinale superiore ai 5 m previsti dalla normativa. Al fine di limitare il numero di combinazioni si applica tale carico contestualmente alla condizione Vento in direzione Y.

Valori caratteristici delle azioni  $q_{2k}$  per superfici orizzontali semplici sopra il binario

Legenda

X  $h_g$  [m]

Y  $q_{2k}$  [kN/m<sup>2</sup>]

1 Sezione

2 Profilo

3 Intradosso della struttura

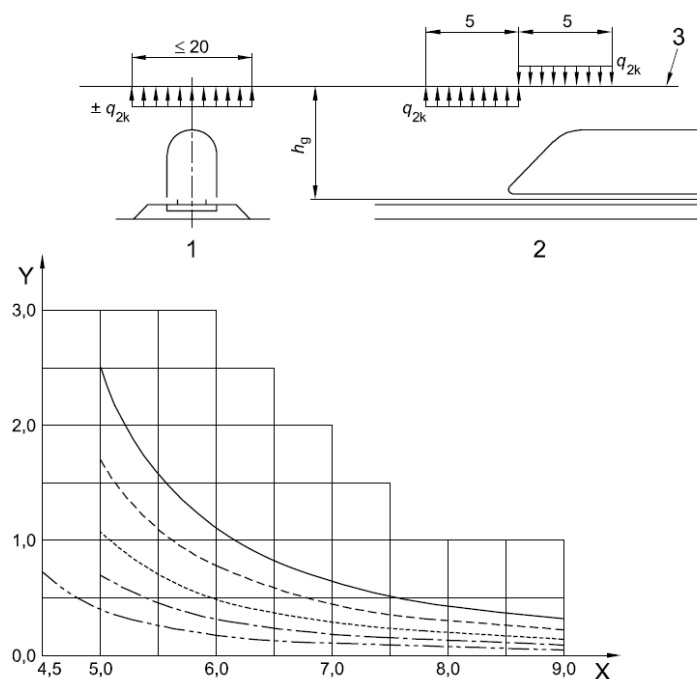
—  $V = 300$  km/h

- - -  $V = 250$  km/h

- - - -  $V = 200$  km/h

- - - - -  $V = 160$  km/h

- - - - -  $V = 120$  km/h



## 6.9 Azioni termiche

Si considera una variazione di temperatura sulle strutture metalliche composta da:

- una variazione uniforme pari a  $\pm 25$  °C conformemente alle indicazioni della Tab. 3.5.II delle NTC 2018 per strutture in acciaio esposte;
- una variazione lineare sull'altezza corrispondente ad un gradiente di  $\pm 5$  °C sull'altezza dell'elemento conformemente alle indicazioni del par. 5.2.2.4.2 delle stesse NTC 2018.

Considerando la specifica struttura in analisi e gli effetti delle diverse variazioni termiche si analizza la sola condizione DT corrispondente ad una distribuzione lineare di temperature da +27.5 °C all'estradosso a + 22.5 °C all'intradosso.

Tab. 3.5.II – Valori di  $\Delta T_u$  per gli edifici

| Tipo di struttura                   | $\Delta T_u$                     |
|-------------------------------------|----------------------------------|
| Strutture in c.a. e c.a.p. esposte  | $\pm 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ |
| Strutture in c.a. e c.a.p. protette | $+ 10\text{ }^{\circ}\text{C}$   |
| Strutture in acciaio esposte        | $\pm 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ |
| Strutture in acciaio protette       | $\pm 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ |

## 6.10 Urti da traffico ferroviario

Secondo le indicazioni del par. 3.6.3.4 delle NTC 2018 per tener conto di un eventuale deragliamento con collisione fra i veicoli deragliati e le strutture adiacenti la ferrovia andrebbero considerati i seguenti carichi eccezionali:

strutture con distanza  $d \leq 5$  m dall'asse del binario:

- 4000 kN in direzione parallela alla direzione di marcia dei convogli ferroviari;
- 1500 kN in direzione perpendicolare alla direzione di marcia dei convogli ferroviari.

strutture con distanza  $5\text{ m} < d \leq 15$  m dall'asse del binario:

- 2000 kN in direzione parallela alla direzione di marcia dei convogli ferroviari;
- 750 kN in direzione perpendicolare alla direzione di marcia dei convogli ferroviari.

Sulla base delle indicazioni contenute nel documento UIC CODE 777-2:2002, per le precedenze la velocità di percorrenza è 60 km/h per cui il treno in svio percorre una distanza massima di 9.506 m (parametro b della norma). Agli edifici posti a più di 9.6 m da tale asse binari non viene applicato alcun carico da urto.

Sono state generate 2 combinazioni SLU, una per direzione, applicando l'azione sul pilastro più sollecitato.

## 6.11 Azione sismica

Per la caratterizzazione sismica del sito si faccia riferimento al relativo § 5 della presente relazione.

Il calcolo è condotto mediante analisi dinamica lineare con spettro di risposta.

Si riportano di seguito gli spettri di progetto per lo SLD e per lo SLV.

|                     |                                                     |
|---------------------|-----------------------------------------------------|
| Metodo di analisi   | D.M. 17-01-18 (N.T.C.)                              |
| Tipo di costruzione | 2 - Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari |
| $V_n$               | 50                                                  |
| Classe d'uso        | III                                                 |
| $V_r$               | 75                                                  |



Tipo di analisi

Lineare dinamica

Categoria del suolo

B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti.

Categoria topografica

 T1 - Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$ 

Ss orizzontale SLO

1,2

Tb orizzontale SLO

0.120 [s]

Tc orizzontale SLO

0.361 [s]

Td orizzontale SLO

1.756 [s]

Ss orizzontale SLD

1,2

Tb orizzontale SLD

0.132 [s]

Tc orizzontale SLD

0.395 [s]

Td orizzontale SLD

1.795 [s]

Ss orizzontale SLV

1,2

Tb orizzontale SLV

0.160 [s]

Tc orizzontale SLV

0.480 [s]

Td orizzontale SLV

2.007 [s]

St

1

PVr SLO (%)

81

Tr SLO

45

Ag/g SLO

0.039

Fo SLO

2.447

Tc\* SLO

0.249 [s]

PVr SLD (%)

63

Tr SLD

75

Ag/g SLD

0.049

Fo SLD

2.434

Tc\* SLD

0.278 [s]

PVr SLV (%)

10

Tr SLV

712

Ag/g SLV

0.102

Fo SLV

2.622

Tc\* SLV

0.355 [s]

Smorzamento viscoso (%)

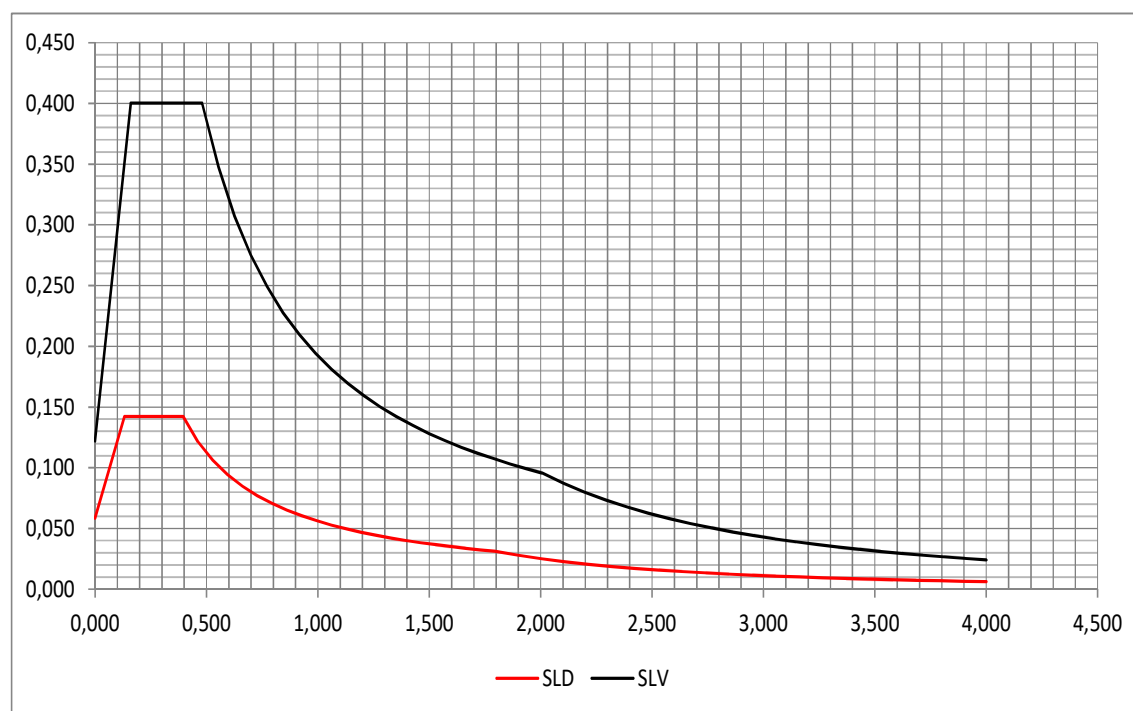
5

T1,x

0.157 [s]

|                                          |           |
|------------------------------------------|-----------|
| $T_{1,y}$                                | 0.231 [s] |
| $\lambda_{SLO,x}$                        | 0.85      |
| $\lambda_{SLO,y}$                        | 0.85      |
| $\lambda_{SLD,x}$                        | 0.85      |
| $\lambda_{SLD,y}$                        | 0.85      |
| $\lambda_{SLV,x}$                        | 0.85      |
| $\lambda_{SLV,y}$                        | 0.85      |
| Numero modi                              | 50        |
| Fattore di comportamento per sisma SLD X | 1.5       |
| Fattore di comportamento per sisma SLD Y | 1.5       |
| Fattore di comportamento per sisma SLV X | 1.5       |
| Fattore di comportamento per sisma SLV Y | 1.5       |

Spettro di risposta di progetto in accelerazione delle componenti X e Y SLD § 3.2.3.5 (di colore rosso) e  
Spettro di risposta di progetto in accelerazione delle componenti X e Y SLV § 3.2.3.5 (di colore nero):



## 7. COMBINAZIONI DI CARICO

Le combinazioni di carico usate per l'analisi della struttura sono state ottenute secondo le indicazioni del § 2.5.3 delle NTC2018:

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

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.1]$$

- Combinazione caratteristica, cosiddetta rara, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.2]$$

- Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.3]$$

- Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

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

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

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad [2.5.5]$$

- Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali A:

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad [2.5.6]$$

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj} \quad [2.5.7]$$

I coefficienti parziali sulle azioni ( $\gamma_F$ ) e i coefficienti di combinazione ( $\psi_0, \psi_1, \psi_2$ ) sono quelli definiti nel § 5.2.3.2 delle NTC2018:

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

| Coefficiente                                            |             |               | EQU <sup>(1)</sup>  | A1                  | A2   |
|---------------------------------------------------------|-------------|---------------|---------------------|---------------------|------|
| Azioni permanenti                                       | favorevoli  | $\gamma_{G1}$ | 0,90                | 1,00                | 1,00 |
|                                                         | sfavorevoli |               | 1,10                | 1,35                | 1,00 |
| Azioni permanenti non strutturali <sup>(2)</sup>        | favorevoli  | $\gamma_{G2}$ | 0,00                | 0,00                | 0,00 |
|                                                         | sfavorevoli |               | 1,50                | 1,50                | 1,30 |
| Ballast <sup>(3)</sup>                                  | favorevoli  | $\gamma_B$    | 0,90                | 1,00                | 1,00 |
|                                                         | sfavorevoli |               | 1,50                | 1,50                | 1,30 |
| Azioni variabili da traffico <sup>(4)</sup>             | favorevoli  | $\gamma_Q$    | 0,00                | 0,00                | 0,00 |
|                                                         | sfavorevoli |               | 1,45                | 1,45                | 1,25 |
| Azioni variabili                                        | favorevoli  | $\gamma_{Qi}$ | 0,00                | 0,00                | 0,00 |
|                                                         | sfavorevoli |               | 1,50                | 1,50                | 1,30 |
| Precompressione                                         | favorevole  | $\gamma_P$    | 0,90                | 1,00                | 1,00 |
|                                                         | sfavorevole |               | 1,00 <sup>(5)</sup> | 1,00 <sup>(6)</sup> | 1,00 |
| Ritiro, viscosità e cedimenti non imposti appositamente | favorevole  | $\gamma_{Ce}$ | 0,00                | 0,00                | 0,00 |
|                                                         | sfavorevole | d             | 1,20                | 1,20                | 1,00 |

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

<sup>(2)</sup> 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.

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

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

<sup>(5)</sup> 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna

<sup>(6)</sup> 1,20 per effetti locali

**Tab. 5.2.VI - Coefficienti di combinazione  $\Psi$  delle azioni**

| Azioni           |                                                         | $\Psi_0$            | $\Psi_1$            | $\Psi_2$ |
|------------------|---------------------------------------------------------|---------------------|---------------------|----------|
| 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 <sup>(1)</sup> | 0,80 <sup>(1)</sup> | 0,0      |
| Gruppi di        | $gr_2$                                                  | 0,80 <sup>(2)</sup> | 0,80 <sup>(1)</sup> | -        |
| carico           | $gr_3$                                                  | 0,80 <sup>(2)</sup> | 0,80 <sup>(1)</sup> | 0,0      |
|                  | $gr_4$                                                  | 1,00                | 1,00 <sup>(1)</sup> | 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     |

<sup>(1)</sup> 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.

<sup>(2)</sup> Quando come azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti  $\Psi_0$  relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico vanno assunti pari a 0,0.

## Definizione delle condizioni di carico

- **G<sub>1</sub>**: pesi degli elementi strutturali
- **G<sub>2</sub>**: carichi permanenti portati (non strutturali)
- **Q<sub>i</sub>**: sovraccarichi variabili:
  - **Q<sub>1a</sub>**: sovraccarico cat. C3 disposto su tutte le campate dell'impalcato
  - **Q<sub>1b</sub>**: sovraccarico cat. C3 disposto sulla prima e sulla seconda campata dell'impalcato
  - **Q<sub>1c</sub>**: sovraccarico cat. C3 disposto sulla prima e sulla terza campata dell'impalcato
  - **Q<sub>2</sub>**: carico neve sulle coperture
  - **Q<sub>3a</sub>**: azioni dovute al vento in direzione X
  - **Q<sub>3b</sub>**: azioni dovute al vento in direzione Y
  - **Q<sub>4</sub>**: azione termica ( $\Delta T_{estr} = +27.5^\circ$ ,  $\Delta T_{intr} = +22.5^\circ$ )
  - **Q<sub>5</sub>**: pressioni aerodinamiche associate al transito dei convogli
- **E**: azioni sismiche:
  - **E<sub>x</sub>**: azione sismica in direzione  $\pm X$
  - **E<sub>y</sub>**: azione sismica in direzione  $\pm Y$
  - **E<sub>z</sub>**: azione sismica in direzione  $\pm Z$
- **U**: urto traffico ferroviario:
  - **U<sub>1y</sub>**: urto punto 1 direzione Y
  - **U<sub>1x</sub>**: urto punto 1 direzione -X
  - **U<sub>2y</sub>**: urto punto 2 direzione -Y
  - **U<sub>2x</sub>**: urto punto 2 direzione -X

La componente verticale del sisma viene trascurata, giusto quanto previsto al § 3.2.3.1 delle NTC 2018 essendo il sito nel quale sorge la costruzione caratterizzato da un'accelerazione al suolo  $a_g$  inferiore a 0,15 g.

|                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                |       |           |             |      |          |
|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-----------|-------------|------|----------|
|  | <b>PROGETTO DEFINITIVO</b><br><b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA–CATANIA–PALERMO</b><br><b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO–CATANIA</b><br><b>RADDOPPIO    TRATTA    FIUMETORTO    –    LERCARA</b><br><b>DIRAMAZIONE – LOTTO 1+2</b> |       |           |             |      |          |
| <i>Relazione di calcolo ponte pedonale 1/2</i>                                   | COMMESSA                                                                                                                                                                                                                       | LOTTO | FASE-ENTE | DOCUMENTO   | REV. | FOGLIO   |
|                                                                                  | RS3Z                                                                                                                                                                                                                           | 00    | D 26      | CLFV0300006 | B    | 27 di 39 |

## 8. MODELLAZIONE STRUTTURALE

### 8.1 Codice di calcolo

L'analisi della struttura è stata condotta con il seguente codice di calcolo agli elementi finiti:

Titolo                      SAP 2000

Produttore                CSI Italia s.r.l.

### 8.2 Descrizione generale dei modelli strutturali

Per l'analisi della struttura, sono stati sviluppati n. 2 modelli di calcolo, uno per la parte strutturale in carpenteria metallica relativa al ponte pedonale dal quale sono state determinate le azioni da applicare al modello delle elevazioni del fabbricato viaggiatori e sulle pile in c.a..

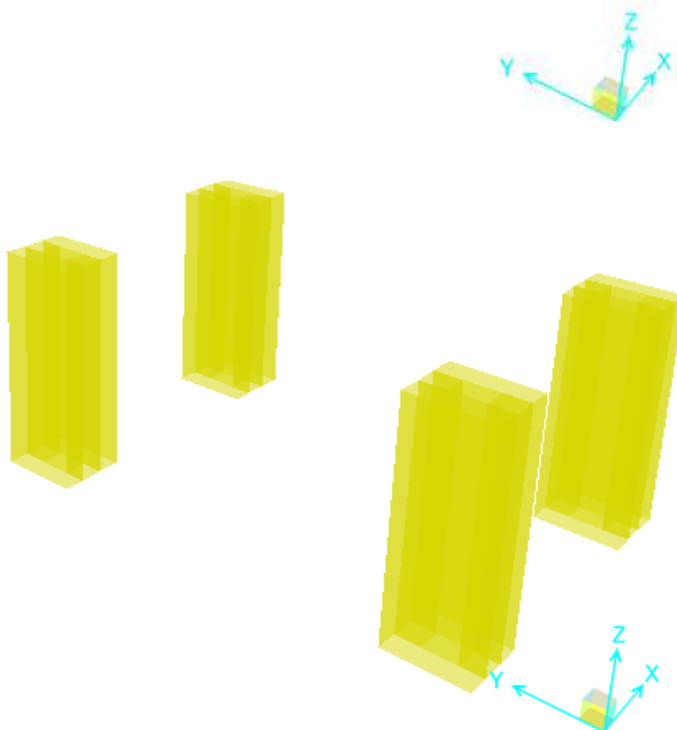
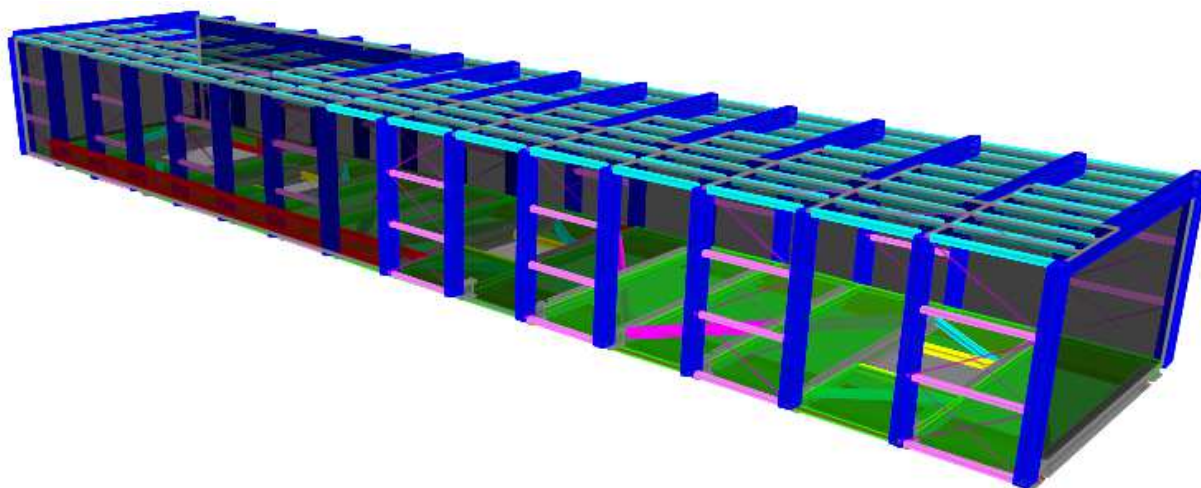
Il modello FEM relativo al ponte pedonale è un modello di calcolo tridimensionale avente dimensioni in pianta di 44.25 m x 9.45 m ed altezza pari a circa 5.1 m.

I modelli realizzati contengono:

- elementi di tipo “frame” (elementi monodimensionali lineari a due nodi) per la modellazione di colonne e travi in c.a. e di profili in acciaio;
- elementi di tipo “shell” (elementi bidimensionali piani a quattro nodi) per la modellazione di chiusure e lamiera grecata;
- bracci rigidi per la modellazione dei dispositivi di appoggio e degli elementi di diffusione di carichi concentrati.

Qualora necessario sono stati inseriti rilasci rotazionali (cerniere) alle estremità degli elementi per simulare il grado di vincolo di semplice appoggio.

Vengono riportate di seguito le viste estruse dei modelli di calcolo.



|                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                |       |           |             |      |          |
|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-----------|-------------|------|----------|
|  | <b>PROGETTO DEFINITIVO</b><br><b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA–CATANIA–PALERMO</b><br><b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO–CATANIA</b><br><b>RADDOPPIO    TRATTA    FIUMETORTO    –    LERCARA</b><br><b>DIRAMAZIONE – LOTTO 1+2</b> |       |           |             |      |          |
| <i>Relazione di calcolo ponte pedonale 1/2</i>                                   | COMMESSA                                                                                                                                                                                                                       | LOTTO | FASE-ENTE | DOCUMENTO   | REV. | FOGLIO   |
|                                                                                  | RS3Z                                                                                                                                                                                                                           | 00    | D 26      | CLFV0300006 | B    | 29 di 39 |

## 8.3 Carichi applicati

### 8.3.1 Peso proprio degli elementi

I pesi degli elementi frame sono calcolati direttamente dal software, tramite le sezioni e i materiali ad essi assegnati, congruenti con quelli di progetto.

Il peso degli elementi shell è invece assegnato come carico per unità di superficie sugli stessi..

### 8.3.2 Carichi variabili

Le azioni dovute ai sovraccarichi permanenti e variabili, alla neve, al vento e alle pressioni aerodinamiche associate al transito dei convogli sono state inserite sotto forma di carichi superficiali applicati agli elementi “shell” utilizzando l’opzione di distribuzione uniforme su un’unica direzione, così da garantire un percorso dei carichi coerente con l’ordine gerarchico delle travi.

Si riportano di seguito le distribuzioni dei carichi variabili sugli impalcati:

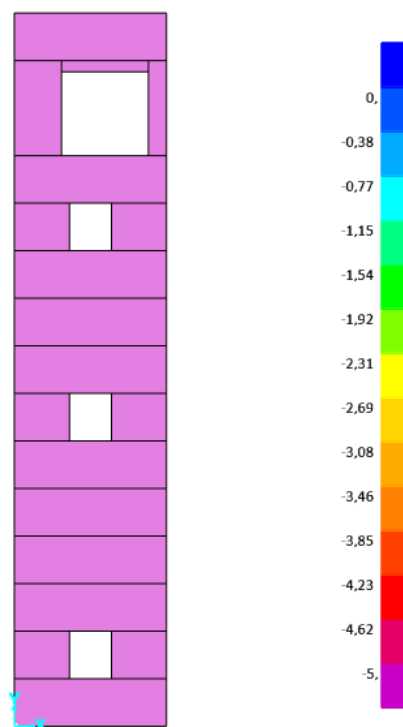


Figura 1:  $q_{\text{affollamento}}$  (kN/m<sup>2</sup>)

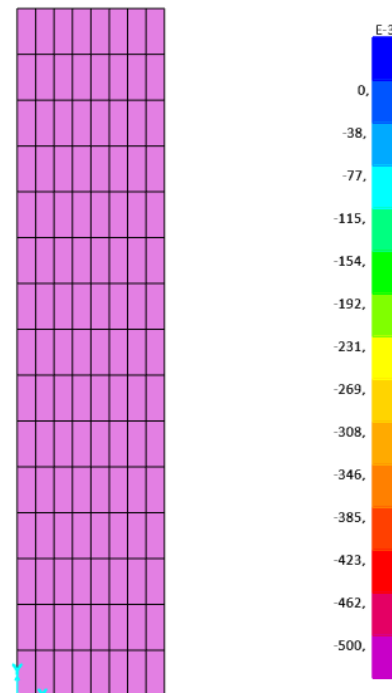


Figura 2:  $q_{copertura}$  ( $kN/m^2$ )

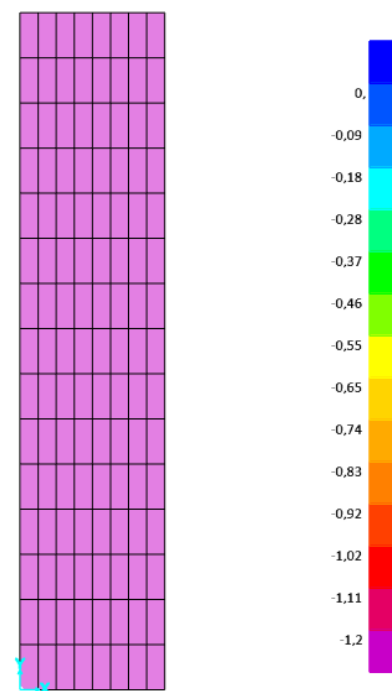
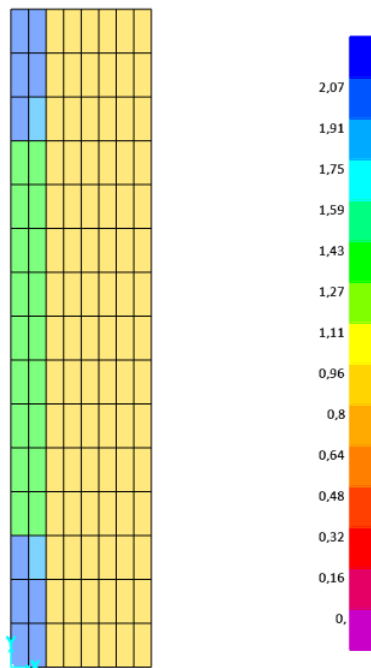


Figura 3:  $q_{neve}$  ( $kN/m^2$ )





*Figura 4:  $q_{\text{vento } x+}$  ( $\text{kN/m}^2$ )*



*Figura 5:  $q_{\text{vento } x-}$  ( $\text{kN/m}^2$ )*

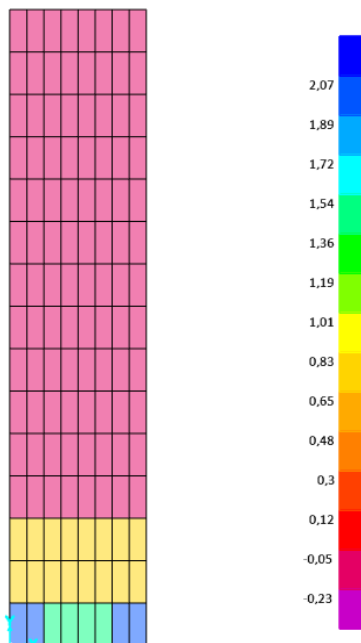


Figura 6:  $:q_{\text{vento } y+}$  ( $\text{kN/m}^2$ )



Figura 7:  $:q_{\text{vento } y-}$  ( $\text{kN/m}^2$ )

### 8.3.3 Azioni eccezionali – Urto

L'urto è stato applicato come forza puntuale sul pilastro più caricato.

## 8.4 Vincoli e Svincoli

La struttura metallica è connessa alle pile ed alle pareti tramite appoggi di tipologia differente come descritto nella seguenti immagini:

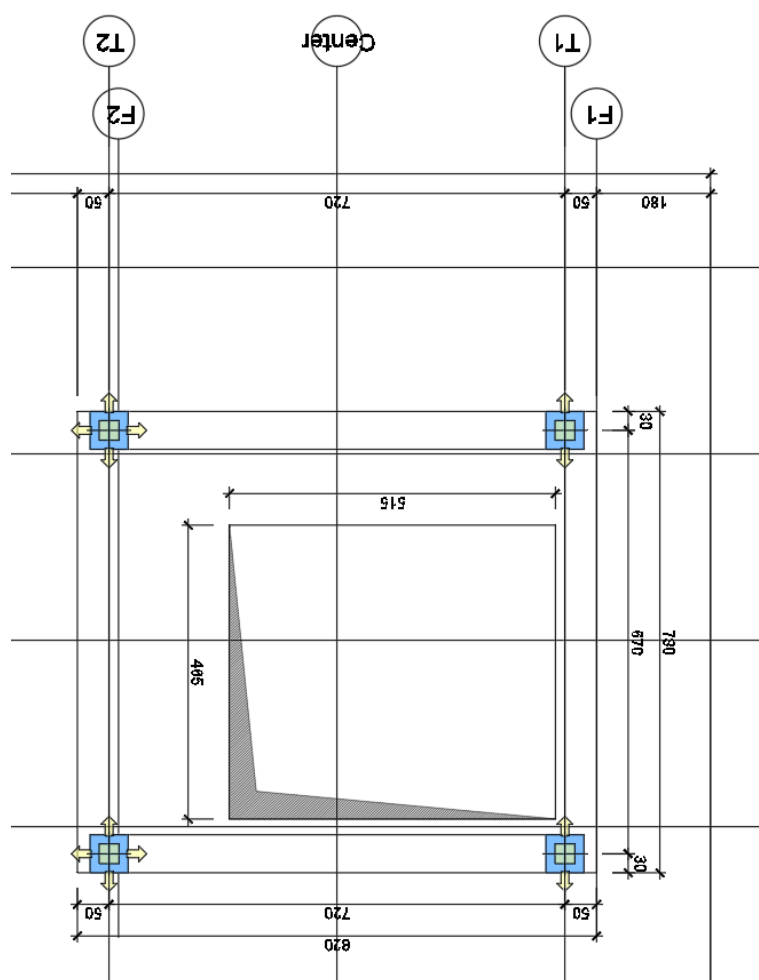
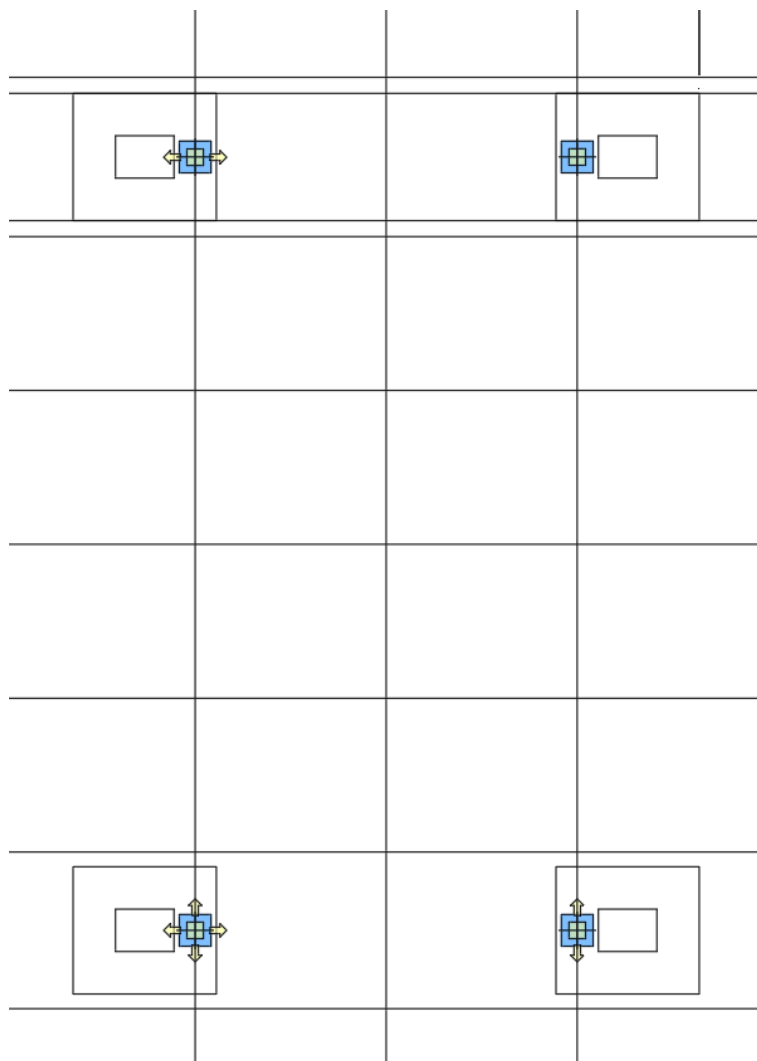


Figura 8: Svincoli su pareti in C.A.



*Figura 9: Svincoli su Pile in C.A.*

Questa condizione è stata riprodotta nel modello di calcolo tramite vincoli esterni del tipo cerniera/carrello.

## 8.5 Lunghezze libere di inflessione degli elementi

Le lunghezze libere di inflessione degli elementi in acciaio sono calcolate in automatico dal programma in accordo con la norma vigente.

## 8.6 Affidabilità dei codici di calcolo

Un attento esame preliminare della documentazione a corredo del software ha consentito di valutarne l'affidabilità. La documentazione fornita dal produttore del software contiene un'esauriente descrizione delle basi teoriche, degli algoritmi impiegati e l'individuazione dei campi d'impiego. La società produttrice ha verificato l'affidabilità e la robustezza del codice di calcolo attraverso un numero significativo di casi prova in cui i risultati dell'analisi numerica sono stati confrontati con soluzioni teoriche.

## 8.7 Informazioni generali sull'elaborazione

Il software prevede una serie di controlli automatici che consentono l'individuazione di errori di modellazione, di non rispetto di limitazioni geometriche e di armatura e di presenza di elementi non verificati. Il codice di calcolo consente, inoltre, di visualizzare e controllare, sia in forma grafica che tabellare, i dati del modello strutturale, in modo da avere una visione consapevole del comportamento corretto del modello strutturale.

## 8.8 Giudizio motivato di accettabilità dei risultati

I risultati delle elaborazioni sono stati sottoposti a controlli. Tale valutazione ha compreso il confronto con i risultati di semplici calcoli, eseguiti con analisi semplificate. Inoltre, sulla base di considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi determinati, si è valutata la validità delle scelte operate in sede di schematizzazione e di modellazione della struttura e delle azioni.

In particolare, sono stati confrontati i pesi dovuti a diversi casi di carico; sono stati calcolati manualmente i pesi propri degli elementi *DEAD*, i carichi permanenti strutturali  $G_1$  e non strutturali  $G_2$ , il sovraccarico di norma in caso di affollamento  $Q_a$  ed il sovraccarico di norma per coperture accessibili per sola manutenzione  $Q_c$ . I risultati ottenuti dai calcoli manuali sono stati confrontati con quelli ottenuti dal programma di calcolo SAP 2000. Si riportano di seguito i valori ottenuti.

| Carico | P Calcolo Manuale | P SAP 2000 | Diff % |
|--------|-------------------|------------|--------|
| -      | kN                | kN         |        |
| DEAD   | 733.86            | 797.79     | 8.0%   |
| $G_1$  | 1745.97           | 1826.909   | 4.4%   |
| $G_2$  | 385.75            | 374.736    | 2.9%   |
| $Q_a$  | 1879.78           | 1883.558   | 0.2%   |
| $Q_c$  | 220.64            | 209.081    | 5.2%   |
| COMB   | 4965.99           | 5092.073   | 2.5%   |

Come è possibile osservare dalla tabella precedente, la maggior differenza percentuale tra i due metodi di calcolo si ha per i carichi dovuti al peso proprio, questo perché nel calcolo manuale sono state considerate le lunghezze nette dei profili, mentre nel programma di calcolo non vengono escluse le sovrapposizioni tra i profili in acciaio. In ogni caso, sommando linearmente i diversi contributi, si ottiene una differenza tra le due metodologie di calcolo pari al 2.5%, ritenuta accettabile ai fini della progettazione.

## 9. CONCLUSIONI

I modelli di calcolo descritti, coerentemente con il livello di progettazione definitiva, sono stati realizzati con livello di dettaglio tale da cogliere completamente il comportamento globale delle strutture, nonché di ritenere affidabili dimensionamento e verifiche delle sezioni in acciaio e delle pile in c.a.. Occorrerà, nelle successive fasi progettuali, porre attenzione ai nodi, alle connessioni, nonché a zone di diffusione del carico per cui il modello di trave non è in grado di coglierne in maniera affidabile il comportamento.