

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N.443/01

DIREZIONE TECNICA – CENTRO DI PRODUZIONE MILANO

PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO INTEGRATO

POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA. TRATTA RHO-GALLARATE
QUADRUPLICAMENTO RHO-PARABIAGO E RACCORDO Y

OPERE PRINCIPALI – INTERFERENZE VIARIE

PROLUNGAMENTO SOTTOVIA AGRICOLO KM 0+771.94-PREGNANA MILANESE
Relazione di calcolo impalcato

SCALA:

-

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

MDL1 12 D 26 CL IN0300 001 A

| Rev. | Descrizione | Redatto | Data | Verificato | Data | Approvato | Data | Autorizzato | Data |
|------|---------------------|------------|-----------|------------|-----------|------------|------|-------------|------|
| X | Emissione Esecutiva | L. Infante | Nov. 2010 | | Nov. 2010 | S. Borelli | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |

File: MDL112D26CLIN0300001_A.doc

n. Elab.: X

INDICE

| | | |
|-------|---|-----------|
| 1 | GENERALITA' | 5 |
| 1.1 | DESCRIZIONE DELL'IMPALCATO | 5 |
| 1.2 | MATERIALI | 6 |
| 1.3 | NORMATIVA..... | 8 |
| 1.4 | CRITERI DI CALCOLO | 9 |
| 1.5 | SCHEMI DI CALCOLO..... | 9 |
| 2 | ANALISI DEI CARICHI | 11 |
| 2.1 | CARICHI PERMANENTI | 11 |
| 2.1.1 | <i>Pesi propri Impalcato</i> | <i>11</i> |
| 2.2 | CARICHI ACCIDENTALI | 11 |
| 2.2.1 | <i>Treno LM 71 :</i> | <i>12</i> |
| 2.2.2 | <i>Treno SW2 :</i> | <i>12</i> |
| 2.2.3 | <i>Sovraccarico sui marciapiedi:</i> | <i>12</i> |
| 2.2.4 | <i>Vento (Q= 2,50 kN/m2):.....</i> | <i>13</i> |
| 2.2.5 | <i>Forza centrifuga:</i> | <i>13</i> |
| 2.2.6 | <i>Azione di frenatura.....</i> | <i>13</i> |
| 2.2.7 | <i>Azione di avviamento</i> | <i>13</i> |
| 2.2.8 | <i>Coefficiente di incremento dinamico.....</i> | <i>14</i> |
| 2.2.9 | <i>Azione laterale</i> | <i>14</i> |
| 2.3 | AZIONI ECCEZIONALI | 14 |
| 2.3.1 | <i>Azioni Sismiche</i> | <i>14</i> |
| 2.3.2 | <i>Deragliamento.....</i> | <i>16</i> |
| 2.3.3 | <i>Variazioni termiche.....</i> | <i>16</i> |

| | | |
|-------|---|----|
| 2.4 | COMBINAZIONI DI CARICO | 16 |
| 3 | CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI SULLA FASCIA BRS | 18 |
| 3.1 | MOMENTO FLETTENTE IN MEZZERIA..... | 18 |
| 3.1.1 | <i>Permanenti:</i> | 18 |
| 3.1.2 | <i>Accidentali:</i> | 18 |
| 3.1.3 | <i>Incremento dinamico:</i> | 18 |
| 3.1.4 | <i>Frenatura / Avviamento:</i> | 18 |
| 3.2 | TAGLIO AGLI APPOGGI | 19 |
| 3.2.1 | <i>Permanenti:</i> | 19 |
| 3.2.2 | <i>Accidentali:</i> | 19 |
| 3.2.3 | <i>Incremento dinamico:</i> | 19 |
| 3.2.4 | <i>Frenatura / Avviamento:</i> | 19 |
| 3.3 | COPPIE TORCENTI UNITARIE | 19 |
| 3.3.1 | <i>Centrifuga:</i> | 19 |
| 3.3.2 | <i>Eccentricità di carico:</i> | 20 |
| 3.3.3 | <i>Vento:</i> | 20 |
| 3.3.4 | <i>Azione laterale:</i> | 20 |
| 4 | SOLLECITAZIONI SULLA TRAVE DI BORDO FASCIA..... | 21 |
| 4.1 | MOMENTO FLETTENTE IN MEZZERIA:..... | 21 |
| 4.1.1 | <i>Permanenti:</i> | 21 |
| 4.1.2 | <i>Accidentali:</i> | 21 |
| 4.1.3 | <i>Incremento dinamico:</i> | 21 |
| 4.1.4 | <i>Frenatura / Avviamento:</i> | 21 |
| 4.1.5 | <i>Centrifuga:</i> | 22 |
| 4.1.6 | <i>Eccentricità di carico LM71:</i> | 22 |

| | | |
|-------|--|----|
| 4.1.7 | Effetto della sovravelevazione: | 22 |
| 4.1.8 | Vento: | 22 |
| 4.1.9 | Azione laterale: | 22 |
| 4.2 | TAGLIO ALL'APPOGGIO | 22 |
| 4.2.1 | Permanenti: | 22 |
| 4.2.2 | Accidentali: | 23 |
| 4.2.3 | Incremento dinamico: | 23 |
| 4.2.4 | Frenatura / Avviamento: | 23 |
| 4.2.5 | Centrifuga: | 23 |
| 4.2.6 | Eccentricità di carico LM71: | 23 |
| 4.2.7 | Effetto della sovravelevazione: | 23 |
| 4.2.8 | Vento: | 24 |
| 4.2.9 | Azione laterale: | 24 |
| 4.3 | SFORZO NORMALE..... | 24 |
| 4.3.1 | Frenatura / Avviamento: | 24 |
| 5 | RIEPILOGO SOLLECITAZIONI PER TRAVE DI BORDO FASCIA | 25 |
| 5.1 | MODELLO DI CARICO: TRENO LM71 | 25 |
| 5.2 | MODELLO DI CARICO: TRENO SW/2..... | 25 |
| 6 | VERIFICHE DI RESISTENZA | 26 |
| 7 | CALCOLO DELLA FREQUENZA PROPRIA DELL'IMPALCATO | 27 |
| 8 | VERIFICHE DI DEFORMABILITA' | 28 |
| 8.1 | FRECCIA PER I SOVRACCARICHI DINAMIZZATI DEL TRENO LM71:..... | 28 |
| 8.2 | ROTAZIONE AGLI APPOGGI | 28 |
| 9 | SCARICHI APPOGGI | 30 |

1 GENERALITA'

Scopo della presente relazione è la verifica degli elementi strutturali del ponte ferroviario da costruirsi per il potenziamento della linea Rho-Arona al km 0+771.94

La nuova opera sarà realizzata in adiacenza del ponte esistente di larghezza 5.33 m e ne costituisce un prolungamento di larghezza 18.14 m.

1.1 DESCRIZIONE DELL'IMPALCATO

Il ponte oggetto di verifica rientra nella cat. A e presenta una campata unica di lunghezza 5.33 m e interasse appoggi 6.330 m.

L'impalcato sarà realizzato con travi incorporate in un getto di cls, ed avrà una larghezza di 18.14m, tale da consentire la disposizione di n. 2 binari.

Si utilizzano n. 32 profili HEB 400 ad interasse di 5.3 cm.

L'altezza massima della sola struttura dell'impalcato è pari a 0,52 m.

I binari sull'impalcato si presenteranno in rettilineo.

La velocità di progetto è stata fissata in 200 km/h.

I dati di progetto per la verifica dell'impalcato sono:

| | |
|-------------------------------|---------------------|
| Ponte di categoria: | Cat= A |
| Numero binari: | $n_b = 2$ |
| Lunghezza dell'impalcato: | $L_{imp} = 7.53$ m |
| Luce teorica | $L = 6.33$ |
| Raggio della curva: | $R_b = \infty$ m |
| Sovraelevazione della rotaia: | $E_b = 0$ cm |
| Velocità di progetto LM71: | $V_{b1} = 200$ km/h |
| Velocità di progetto SW/2: | $V_{b2} = 100$ km/h |

Prolungamento sottovia Agricolo km 0+771.94-
 Pregnana Milanese: Relazione di calcolo impalcato

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|--------------|------|---------|
| MDL1 | 12 | D 26 CL | IN 03 00 001 | A | 6 di 30 |

| | |
|---|----------------------------------|
| Larghezza strutt. dell'impalcato: | $B_i = 18.14$ m |
| Larghezza del ballast: | $B_b = 15.20$ m |
| Spessore medio del ballast: | $S_b = 75$ cm |
| Larghezza di ripartizione per tensioni: | $B_{rs} = 4.0$ m |
| Larghezza di ripart. per deformazioni: | $B_{rd} = 5.0$ m |
| Profilo delle travi in acciaio: | HEB 400 |
| Numero totale travi: | $n_{pt} = 32$ |
| Interasse delle travi: | $I_p = 51.3$ cm |
| Spessori dell'impalcato: min e max: | $S_{sn} = 46$ e $S_{sm} = 52$ cm |
| medio: | $S_s = 49$ cm |
| Altezza delle barriere dal piano del ferro: $H_b = 4.0$ m | |

1.2 MATERIALI

a) Calcestruzzo per impalcato, spalle:

resistenza $R_{ck} = 35$ N/mm²

I valori delle tensioni ammissibili sono:

| | |
|--|------------------------|
| massima compressione: | $\sigma_{ci} = 11$ MPa |
| massima tensione per taglio in assenza di armature: | $\tau_{c0} = 0.67$ MPa |
| massima tensione per taglio in presenza di armature: | $\tau_{c1} = 1.97$ MPa |
| massima tensione per taglio e torsione: | $\tau_{c1} = 2.17$ MPa |

b) Calcestruzzo per fondazioni:

resistenza $R_{ck} = 30$ N/mm²

Prolungamento sottovia Agricolo km 0+771.94-
 Pregnana Milanese: Relazione di calcolo impalcato

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|--------------|------|---------|
| MDL1 | 12 | D 26 CL | IN 03 00 001 | A | 7 di 30 |

I valori delle tensioni ammissibili sono:

| | |
|---|-----------------------|
| <i>massima compressione:</i> | $\sigma_{ci}=9.8$ MPa |
| <i>massima tensione per taglio in assenza di armature:</i> | $\tau_{c0}=0.6$ MPa |
| <i>massima tensione per taglio in presenza di armature:</i> | $\tau_{c1}=1.83$ MPa |
| <i>massima tensione per taglio e torsione:</i> | $\tau_{c1}=2.01$ MPa |

c) Acciaio in tondi ad aderenza migliorata

Si utilizza acciaio di tipo Fe B44 k avente:

| | |
|---|--------------------|
| <i>tensione alla soglia di snervamento:</i> | $f_{yk}=430$ MPa |
| <i>tensione ammissibile massima:</i> | $\sigma_f=255$ MPa |

d) Acciaio per reti elettrosaldate

Si utilizza acciaio avente:

| | |
|---|--------------------|
| <i>tensione alla soglia di snervamento:</i> | $f_{yk} > 375$ MPa |
| <i>tensione alla soglia di rottura:</i> | $f_{tk} > 430$ MPa |

e) Acciaio travi ed elementi saldati

I profili sono in acciaio di qualita' S275 della UNI EN 10025 (ex Fe 430):

S275JR UNI-EN 10025/95 per profili laminati,

S275J2G3 o S275J2G4 UNI-EN 10025/95 per profili saldati a completa

penetrazione, i cui valori ammissibili delle tensioni sono:

$$\sigma_{amm} = 190 \text{ MPa} \quad \tau_{amm} = 0,577 \cdot 190 = 110 \text{ MPa}$$



POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA
PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO INTEGRATO
QUADRUPPLICAMENTO RHO-PARABIAGO E RACCORDO Y

Prolungamento sottovia Agricolo km 0+771.94-
Pregnana Milanese: Relazione di calcolo impalcato

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|--------------|------|---------|
| MDL1 | 12 | D 26 CL | IN 03 00 001 | A | 8 di 30 |

Per la condizione di carico II di Normativa, i valori delle tensioni ammissibili sono amplificati per il coefficiente 1.125.

Con riferimento alle usuali simbologie, le caratteristiche geometriche del profilo scelto sono le seguenti:

| | | | |
|----------------|---|--|---------------------------------|
| altezza: | $H_p = 40$ cm | area sezione: | $A_p = 198$ cm ² |
| largh. ala: | $B_p = 30$ cm | momento inerzia: | $J_p = 57680$ cm ⁴ |
| spess. anima: | $S_p = 13.5.0$ cm | modulo resistenza: | $W_p = 2880$ cm ³ |
| spess. ala: | $T_p = 2.4$ cm | momento statico di mezza sezione rispetto all'asse baricentrico | $S_{xp} = 1616$ cm ³ |
| peso unitario: | $P_p = 1.55$ kN/m (peso unitario di HEB 400) | | |

1.3 NORMATIVA

I calcoli sono svolti in ottemperanza alla Normativa vigente ed in particolare:

DM LL.PP. 16.01.1996: *Norme Tecniche relative ai "Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi."*

DM LL.PP. 16.01.1996: *Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche.*

DM LL.PP. 09.01.1996: *Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche.*

DM LL.PP. 11.03.1988: *Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione".*

ISTRUZIONE FF.SS. I/SC/PS-OM/2298 aggiornamento 13 gennaio 1997:

Sovraccarichi per il calcolo dei ponti ferroviari.

Istruzioni per la progettazione l'esecuzione e il collaudo.

ISTRUZIONE FF.SS. 44 b aggiornamento 14 novembre 1996:

Istruzioni tecniche per manufatti sotto binario da costruire in zona sismica.

ISTRUZIONE FF.SS. 44 d aggiornamento 25 luglio 2000:



POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA
PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO INTEGRATO
QUADRUPPLICAMENTO RHO-PARABIAGO E RACCORDO Y

Prolungamento sottovia Agricolo km 0+771.94-
Pregnana Milanese: Relazione di calcolo impalcato

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|--------------|------|---------|
| MDL1 | 12 | D 26 CL | IN 03 00 001 | A | 9 di 30 |

Istruzione tecnica per la progettazione e l'esecuzione di impalcati ferroviari a travi in ferro a doppio T incorporate nel calcestruzzo

ISTRUZIONE FF.SS. 44 e :

Verifiche a fatica dei ponti ferroviari

ISTRUZIONE FF.SS. 44 f :

Istruzioni tecniche per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la posa in opera dei dispositivi di vincolo e dei coprighiunti negli impalcati ferroviari.

CNR UNI 10011:

Costruzioni in acciaio. Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione.

FERROVIE DELLO STATO:

Manuale di progettazione sez. VII.

1.4 CRITERI DI CALCOLO

Secondo L'Istruzione FF.SS. 44/d, il peso dei convogli ferroviari, ai fini del calcolo delle tensioni, viene ripartito sulla larghezza: $B_{rs} = 4.0$ m.

Per cui il numero di travi comprese in tale fascia e':

$$N_{ps} = B_{rs}/I_p = 4.0/0.513 = 7.80$$

Per le verifiche delle deformazioni, si considera resistente una striscia longitudinale larga $B_{rd} = 5.0$ m, nella quale sono poste n° 9 travi.

Le azioni vengono combinate in modo da determinare le massime sollecitazioni negli elementi strutturali.

1.5 SCHEMI DI CALCOLO

Lo schema di calcolo che viene considerato è stato determinato in relazione alla geometria della struttura, alle fasi costruttive, al tipo di carichi agenti e delle sollecitazioni che ne derivano.

Pertanto l'impalcato è stato schematizzato con uno schema di trave appoggiata.



POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA
PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO INTEGRATO
QUADRUPPLICAMENTO RHO-PARABIAGO E RACCORDO Y

Prolungamento sottovia Agricolo km 0+771.94-
Pregnana Milanese: Relazione di calcolo impalcato

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|--------------|------|----------|
| MDL1 | 12 | D 26 CL | IN 03 00 001 | A | 10 di 30 |

Le azioni verticali prodotte dai carichi permanenti e accidentali e quelle prodotte dalle azioni di frenatura e avviamento sono ugualmente ripartite sulle Nps travi contenute nella fascia resistente $Brs = 4.0$ m. Le azioni orizzontali trasversali, invece, riportate al baricentro delle travi, producono delle coppie torcenti lungo l'asse dell'impalcato che hanno come effetto quello di caricare maggiormente le travi più esterne della fascia considerata. Analoghi effetti hanno l'eccentricità di carico del treno LM71 (8 cm) e l'eventuale sopraelevazione della rotaia esterna.

Prolungamento sottovia Agricolo km 0+771.94-
 Pregnana Milanese: Relazione di calcolo impalcato

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|--------------|------|----------|
| MDL1 | 12 | D 26 CL | IN 03 00 001 | A | 11 di 30 |

2 ANALISI DEI CARICHI

2.1 CARICHI PERMANENTI

2.1.1 Pesi propri Impalcato

Peso totale delle travi in acciaio: $Q_{1t} = N_{pt} * P_p = 32 * 1.55 = 49.60 \text{ kN/m}$

Peso calcestruzzo in opera: $Q_{1s} = 18.4 * 25 * 0.49 = 225.4.00 \text{ kN/m}$

Peso permanenti portati: $Q_{1p} = \underline{265 \text{ kN/m}}$

Peso totale impalcato: $Q_1 = \underline{540.0 \text{ kN/m}}$

2.2 CARICHI ACCIDENTALI

I sovraccarichi di servizio sono costituiti dai treni **LM 71** e **SW/2**, con *coefficienti di adattamento α* rispettivamente pari a 1.1 per il treno LM 71 e 1.0 per il treno SW/2, validi per ponti di categoria A. Per tali coefficienti verranno amplificati i valori dei carichi verticali e le azioni di frenatura e avviamento.

Gli schemi di carico previsti sono:

a) treno LM 71:

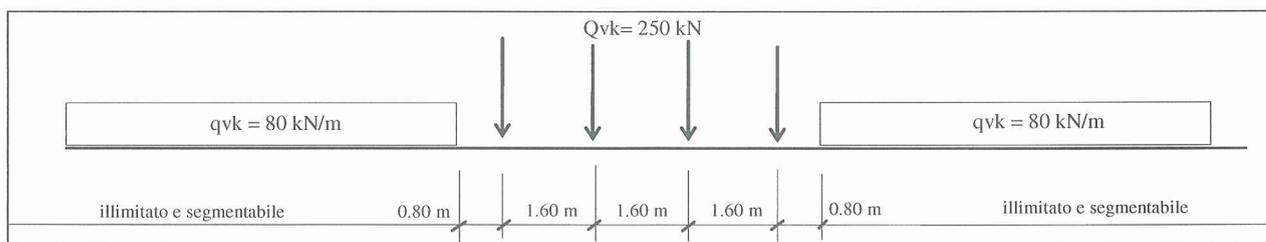


Figura 1

con eccentricità' $e_t = 1435 / 18 = \mathbf{80 \text{ mm}}$ rispetto all'asse del binario.

b) treno SW/2:

Prolungamento sottovia Agricolo km 0+771.94-
 Pregnana Milanese: Relazione di calcolo impalcato

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|--------------|------|----------|
| MDL1 | 12 | D 26 CL | IN 03 00 001 | A | 12 di 30 |

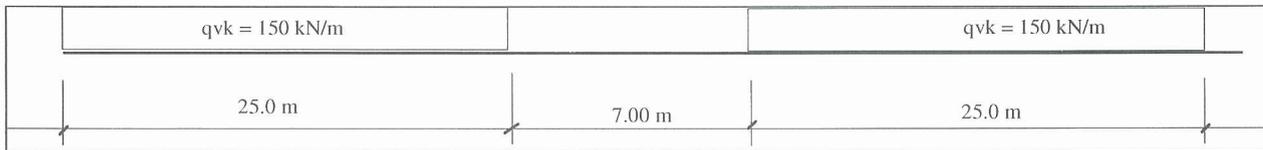


Figura 2

2.2.1 *Treno LM 71 :*

Carico equivalente flettente: $Q_{21f} = 179.00 \text{ kN/m}$

Carico equivalente tagliante: $Q_{21t} = 220.00 \text{ kN/m}$

Nota: I valori dei sovraccarichi sono già incrementati del coefficiente di adattamento $\alpha = 1.1$.

2.2.2 *Treno SW2 :*

Carico equivalente flettente: $Q_{22f} = 150.00 \text{ kN/m}$

Carico equivalente tagliante: $Q_{22t} = 150.00 \text{ kN/m}$

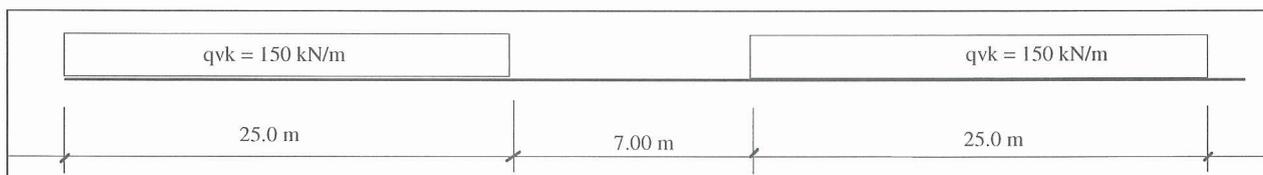


Figura 3

2.2.3 *Sovraccarico sui marciapiedi:*

$Q_{23} = 10 \text{ kN/m}$ non concomitante con il transito dei treni.



POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA
PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO INTEGRATO
QUADRUPPLICAMENTO RHO-PARABIAGO E RACCORDO Y

Prolungamento sottovia Agricolo km 0+771.94-
Pregnana Milanese: Relazione di calcolo impalcato

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|--------------|------|----------|
| MDL1 | 12 | D 26 CL | IN 03 00 001 | A | 13 di 30 |

2.2.4 Vento ($Q = 2,50 \text{ kN/m}^2$):

Viene considerato agente sulla superficie del treno (o barriere) e su quella del ponte. Il centro di spinta H_{g4} si trova a:

$$H_{g4} = (H_b + S_b + S_{sn})/2 - H_p/2 = 2.465 \text{ m}$$

dal baricentro delle travi.

La spinta del vento risulta:

$$Q24 = Q_v * (H_b + S_b + S_{sn}) = 13.33 \text{ kN/m}$$

2.2.5 Forza centrifuga:

Le forze centrifughe risultano nulle

2.2.6 Azione di frenatura

Viene considerata agente a livello del piano del ferro e quindi a:

$$H_{gp} = S_{pfi} - H_p/2 = 1.13 \text{ m}$$

dal baricentro delle travi.

Treno LM71:

$$Q2261 = Ff1 * L_b = 150.6 \text{ kN}$$

Treno SW/2:

$$Q2262 = Ff2 * L_b = 263.6 \text{ kN}$$

2.2.7 Azione di avviamento

Viene considerata agente a livello del piano del ferro e quindi a:

$H_{gp} = 1.13 \text{ m}$ dal baricentro delle travi.



POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA
PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO INTEGRATO
QUADRUPPLICAMENTO RHO-PARABIAGO E RACCORDO Y

Prolungamento sottovia Agricolo km 0+771.94-
Pregnana Milanese: Relazione di calcolo impalcato

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|--------------|------|----------|
| MDL1 | 12 | D 26 CL | IN 03 00 001 | A | 14 di 30 |

Treno LM71

$$Q_{2271} = F_{a1} * L_b = 248.5 \text{ kg}$$

Treno SW/2

$$Q_{2271} = F_{a1} * L_b = 248.5 \text{ kg}$$

2.2.8 Coefficiente di incremento dinamico

Per la luce del ponte $L_b = 6.33 \text{ m}$, esso risulta:

$$\Phi_3 = \frac{2.16}{\sqrt{L_\phi} - 0.2} + 0.73 = 1.66$$

2.2.9 Azione laterale

Azione di serpeggio: $F_l = 100 \text{ kN}$.

Viene considerata agente a livello del piano del ferro e quindi a:

$H_{gpl} = 1.13 \text{ m}$ dal baricentro delle travi.

2.3 AZIONI ECCEZIONALI

2.3.1 Azioni Sismiche

Le azioni sismiche verticali, da associare al sovraccarico dovuto al transito di treni di peso ridotto $p = s Q_t$, sono valutate con:

$$F_v = m C I \varepsilon W \quad \text{con: } m = 2;$$

$C = 0.04$ per la zona in esame;

$$I = 1.0$$

$$\varepsilon = 1.0$$

Prolungamento sottovia Agricolo km 0+771.94-
 Pregnana Milanese: Relazione di calcolo impalcato

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|--------------|------|----------|
| MDL1 | 12 | D 26 CL | IN 03 00 001 | A | 15 di 30 |

$$W = P + s Q_t \quad \text{con}$$

$P = p.p.$ e carichi permanenti

$s = 2$ per $n = 3$ binari

$$Q_t = 80.0 \text{ kN/m}$$

I carichi permanenti sono:

$$P = 540 \text{ KN/m}$$

Le azioni sismiche verticali sono quindi pari a:

$$F_v = 2 * 0.04 * 1.0 * 1.0 * (540 + 2 * 80.0) = \mathbf{56.0 \text{ kN/m}}$$

per cui i carichi verticali da considerare durante il sisma sono pari a:

$$F_{v\text{-tot}} = (P + s * Q_t) + F_v = 540 + 2 * 80.0 + 56 = \mathbf{756.0 \text{ kN/m}}$$

Si nota che in fase statica (in assenza di sisma), il massimo carico complessivo da considerare sull'impalcato, per i treni:

- SW/2 con $q = \phi_3 * 150 = 1.66 * 150 = 249 \text{ kN/m}$
- LM 71 con $q = \alpha * \phi_3 * [4 * 250 + 80 * (7.5 - 6.4)] / 7.5 = 265 \text{ kN/m}$

e' pari a:

$$F_{v\text{-tot}} = P + Q[\text{SW/2} + \text{LM 71}] = 540 + [249 + 265] = \mathbf{1054 \text{ kN/m.}}$$

Dal confronto fra i due valori di $F_{v\text{-tot}}$ in fase sismica ed in fase statica, si nota che le azioni relative alla prima non sono dimensionanti ($635.7 < 922$), per cui non verranno considerate le azioni sismiche in direzione verticale.

Le azioni sismiche orizzontali, da associare al sovraccarico dovuto al transito di treni di peso ridotto $p = s Q_t$, sono valutate con:

$$F_o = C R I \epsilon \beta W \quad \text{con:} \quad \mathbf{R = 1.0 \text{ e:}}$$

- $\beta = 1.2$ per strutture isostatiche
- $\beta = 2.5$ per calcolo e verifica degli apparecchi d'appoggio (in favore di sicurezza anche per le spalle)

applicate ai propri centri di massa ed, in particolare, le azioni orizzontali sismiche competenti al transito dei treni sono applicate alla quota di 2.0 m dal P.F.

Con considerazioni analoghe a quelle svolte al punto precedente si trova che *gli effetti verticali* relativi al momento ribaltante della forza sismica del treno, associati con il *sovraccarico verticale ridotto* $p = s Q_t$, non sono

Prolungamento sottovia Agricolo km 0+771.94-
 Pregnana Milanese: Relazione di calcolo impalcato

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|--------------|------|----------|
| MDL1 | 12 | D 26 CL | IN 03 00 001 | A | 16 di 30 |

dimensionanti per gli elementi principali dell'impalcato, per cui le azioni sismiche in direzione orizzontali verranno utilizzate esclusivamente per il dimensionamento delle spalle e degli apparecchi di appoggio.

Con i dati ricavati al punto precedente, si ha:

$$F_0 = 0.04 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot \beta \cdot (540 + 2 \cdot 80) = \beta \cdot 33.6 \text{ kN/m}$$

2.3.2 Deragliamento

Per le verifiche di stabilità globale dell'opera si prenderà in considerazione il carico convenzionale di **80 KN/m** esteso per 7.5 m e disposto con una eccentricità massima di 1.5 s rispetto all'asse del binario, e cioè pari a $1.5 \cdot 1435 = 2153$ mm rispetto all'asse del binario.

2.3.3 Variazioni termiche

Tale condizione non comporta sollecitazione nell'impalcato.

2.4 COMBINAZIONI DI CARICO

Le verifiche verranno condotte con il metodo delle **Tensioni Ammissibili**.

Le combinazioni di Carico che verranno considerate per le verifiche con il metodo delle Tensioni Ammissibili sono riportate nella tabella seguente:

| Comb: | AZIONE | | | | | | | |
|-------|---------------|-----------------|-------------------|----------|-----------------|---------------|-------|------------------------|
| | G_k | Q_k | | | | T_k | W_k | A_k |
| | Carichi perm. | Carichi vertic. | Frenat. e avviam. | Centrif. | Azione laterale | Variaz. term. | Vento | Eccez. sisma /deragl.) |
| TA1: | 1.0 | 1.0 | 0.5 | 1.0 | 1.0 | 0 | 0.6 | 0 |

$Q_k = LM71 + SW/2$ - Gruppo carico 1 - Verifiche impalcato

Tabella 1

con:

G_k = valore caratteristico delle azioni per i pesi propri e sovraccarichi permanenti;



POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA
PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO INTEGRATO
QUADRUPPLICAMENTO RHO-PARABIAGO E RACCORDO Y

Prolungamento sottovia Agricolo km 0+771.94-
Pregnana Milanese: Relazione di calcolo impalcato

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|--------------|------|----------|
| MDL1 | 12 | D 26 CL | IN 03 00 001 | A | 17 di 30 |

Q_k = valore caratteristico delle azioni per transito dei treni;

T_k = valore caratteristico delle azioni per variazioni termiche;

W_k = valore caratteristico delle azioni del vento;

A_k = valore caratteristico delle azioni eccezionali;

Rispetto alle Combinazioni di Normativa, non si considerano le combinazioni TA2, TA3, TA4, TA5 in quanto non significative.

3 CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI SULLA FASCIA BRS

3.1 MOMENTO FLETTENTE IN MEZZERIA

3.1.1 *Permanenti:*

$$Mf1 = \frac{Q1 \cdot L_b^2}{8 \cdot B_i} \cdot B_{rs} = 685 \text{ kNm}$$

3.1.2 *Accidentali:*

$$\text{Treno LM71: } Mf21 = \frac{Q21f \cdot L_b^2}{8} = 897 \text{ kNm}$$

$$\text{Treno SW/2: } Mf22 = \frac{Q22f \cdot L_b^2}{8} = 751 \text{ kNm}$$

3.1.3 *Incremento dinamico:*

$$\text{Treno LM71: } Mf31 = (\Phi_3 - 1) \cdot Mf21 = 591 \text{ kNm}$$

$$\text{Treno SW/2: } Mf32 = (\Phi_3 - 1) \cdot Mf22 = 495 \text{ kNm}$$

3.1.4 *Frenatura / Avviamento:*

$$\text{Treno LM71: } Mf41 = \frac{Q2271 \cdot H_p / 2}{2} = 24.85 \text{ kNm}$$

$$\text{Treno SW/2: } Mf42 = \frac{Q2272 \cdot H_p / 2}{2} = 26.35 \text{ kNm}$$

Prolungamento sottovia Agricolo km 0+771.94-
Pregnana Milanese: Relazione di calcolo impalcato

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|--------------|------|----------|
| MDL1 | 12 | D 26 CL | IN 03 00 001 | A | 19 di 30 |

3.2 TAGLIO AGLI APPOGGI

3.2.1 *Permanenti:*

$$T1 = \frac{Q1 \cdot L_b}{2 \cdot B_i} \cdot B_{rs} = 432 \text{ kN}$$

3.2.2 *Accidentali:*

$$\text{Treno LM71: } T21 = \frac{Q21f \cdot L_b}{2} = 696 \text{ kN}$$

$$\text{Treno SW/2: } T22 = \frac{Q22f \cdot L_b}{2} = 474 \text{ kN}$$

3.2.3 *Incremento dinamico:*

$$\text{Treno LM71: } T31 = (\Phi_3 - 1) \cdot Q21 = 459 \text{ kN}$$

$$\text{Treno SW/2: } T32 = (\Phi_3 - 1) \cdot Q22 = 312 \text{ kN}$$

3.2.4 *Frenatura / Avviamento:*

$$\text{Treno LM71: } T41 = \frac{Q2271 \cdot S_{pfi}}{2} = 43 \text{ kNm}$$

$$\text{Treno SW/2: } T42 = \frac{Q2272 \cdot S_{pfi}}{2} = 46 \text{ kNm}$$

3.3 COPPIE TORCENTI UNITARIE

3.3.1 *Centrifuga:*

$$\text{Treno LM71: azioni flettenti: } Mt11f = Q2251f \cdot H_{g5} = 0 \text{ kNm/m}$$

Prolungamento sottovia Agricolo km 0+771.94-
Pregnana Milanese: Relazione di calcolo impalcato

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|--------------|------|----------|
| MDL1 | 12 | D 26 CL | IN 03 00 001 | A | 20 di 30 |

azioni taglianti: $Mt11t = Q2251t \cdot H_{g5} = 0 \text{ kNm/m}$

Treno SW/2: azioni flettenti: $Mt12f = Q2252f \cdot H_{g5} = 0 \text{ kNm/m}$

azioni taglianti: $Mt12t = Q2252t \cdot H_{g5} = 0 \text{ kNm/m}$

3.3.2 *Eccentricità di carico:*

Treno LM71: si assume pari a 8 cm come da Normativa.

azioni flettenti: $Mt21f = Q21f \cdot 0.08 = 14.32 \text{ kNm/m}$

azioni taglianti: $Mt21t = Q21t \cdot 0.08 = 17.6 \text{ kNm/m}$

3.3.3 *Vento:*

$Mt4 = Q24 \cdot H_{g4} = 32.85 \text{ kNm/m}$

3.3.4 *Azione laterale:*

$Mt5 = Fl \cdot H_{gpf} = 100 \cdot 1.13 = 113 \text{ kNm/m}$

Prolungamento sottovia Agricolo km 0+771.94-
 Pregnana Milanese: Relazione di calcolo impalcato

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|--------------|------|----------|
| MDL1 | 12 | D 26 CL | IN 03 00 001 | A | 21 di 30 |

4 SOLLECITAZIONI SULLA TRAVE DI BORDO FASCIA

4.1 MOMENTO FLETTENTE IN MEZZERIA:

4.1.1 *Permanenti:*

$$Mu1 = Mf1/N_{ps} = 85.6 \text{ kNm}$$

4.1.2 *Accidentali:*

Treno LM71: $Mu21 = Mf21/N_{ps} = 112 \text{ kNm}$

Treno SW/2: $Mu22 = Mf22/N_{ps} = 94 \text{ kNm}$

4.1.3 *Incremento dinamico:*

Treno LM71: $Mu31 = (\Phi_3 - 1) * Mu21 = 74 \text{ kNm}$

Treno SW/2: $Mu32 = (\Phi_3 - 1) * Mu22 = 62 \text{ kNm}$

4.1.4 *Frenatura / Avviamento:*

Treno LM71: $Mu41 = Mf41/N_{ps} = 3.1 \text{ kNm}$

Treno SW/2: $Mu42 = Mf42/N_{ps} = 3.29 \text{ kNm}$

L'incremento di carico verticale prodotto sulle travi di bordo dalle coppie torcenti si valuta, in prima approssimazione, considerando la flessione su una striscia unitaria trasversale di impalcato avente sezione $b \cdot h$ pari a: $1.0 \cdot Brs = 1.0 \cdot 4.0 \text{ m}$, con momento d'inerzia: $J_u = 1.0 \cdot 4.0^3 / 12 = 5.33333 \text{ m}^3$. L'incremento di carico sulla trave a bordo fascia e' dato da: $\Delta q = Mt / J_u \cdot \Delta p \cdot I_p$. Per l'interasse delle travi $I_p = 0.513 \text{ m}$ e per la distanza Δp tra gli assi della striscia longitudinale e della ipotetica trave il cui interasse di influenza e' posto al limite del bordo fascia, si ha:

$$\Delta p = (Brs - I_p) / 2 = (4.00 - 0.513) / 2 = 1.74 \text{ m, e quindi:}$$

$$\Delta q = Mt / 5.33333 \cdot 1.72 \cdot 0.53 \text{ kg/m}$$

$$\text{Calcolando si ottiene: } \Delta q = Kt \cdot Mt = 0.170 \cdot Mt.$$

Prolungamento sottovia Agricolo km 0+771.94-
Pregnana Milanese: Relazione di calcolo impalcato

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|--------------|------|----------|
| MDL1 | 12 | D 26 CL | IN 03 00 001 | A | 22 di 30 |

4.1.5 *Centrifuga:*

Treno LM71: $Mu51 = 1/8 * (Kt * Mt11f) * L_b^2 = 0 \text{ kNm}$

Treno SW/2: $Mu52 = 1/8 * (Kt * Mt12f) * L_b^2 = 0 \text{ kNm}$

4.1.6 *Eccentricità di carico LM71:*

Treno LM71: $Mu61 = 1/8 * (Kt * Mt21f) * L_b^2 = 12.19 \text{ kNm}$

4.1.7 *Effetto della sovravelevazione:*

Treno LM71: $Mu71 = 1/8 * (Kt * Mt31f) * L_b^2 = 0 \text{ kNm}$

Treno SW/2: $Mu72 = 1/8 * (Kt * Mt32f) * L_b^2 = 0 \text{ kNm}$

4.1.8 *Vento:*

$Mu8 = 1/8 * (Kt * Mt4) * L_b^2 = 32.34 \text{ kNm/m}$

4.1.9 *Azione laterale:*

$Mu9 = 1/4 * (Kt * Mt5) * L_b = 30.40 \text{ kNm/m}$

4.2 TAGLIO ALL'APPOGGIO

4.2.1 *Permanenti:*

$Tu1 = T1 / N_{ps} = 54 \text{ kN}$

Prolungamento sottovia Agricolo km 0+771.94-
Pregnana Milanese: Relazione di calcolo impalcato

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|--------------|------|----------|
| MDL1 | 12 | D 26 CL | IN 03 00 001 | A | 23 di 30 |

4.2.2 *Accidentali:*

Treno LM71: $Tu_{21} = T_{21}/N_{ps} = 87.0 \text{ kN}$

Treno SW/2: $Tu_{22} = T_{22}/N_{ps} = 59.0 \text{ kN}$

4.2.3 *Incremento dinamico:*

Treno LM71: $Tu_{31} = T_{31}/N_{ps} = 57.42 \text{ kN}$

Treno SW/2: $Tu_{32} = T_{32}/N_{ps} = 39.10 \text{ kN}$

4.2.4 *Frenatura / Avviamento:*

Treno LM71: $Tu_{41} = T_{41}/N_{ps} = 6 \text{ kN}$

Treno SW/2: $Tu_{42} = T_{42}/N_{ps} = 7 \text{ kN}$

4.2.5 *Centrifuga:*

Treno LM71: $Tu_{51} = 1/2 * (K_t * M_{t11t}) * L_b = 0 \text{ kN}$

Treno SW/2: $Tu_{52} = 1/2 * (K_t * M_{t12t}) * L_b = 0 \text{ kN}$

4.2.6 *Eccentricità di carico LM71:*

treno LM71: $Tu_{61} = 1/2 * (K_t * M_{t21t}) * L_b = 9.47 \text{ kN}$

4.2.7 *Effetto della sovravelevazione:*

Treno LM71: $Tu_{71} = 1/2 * (K_t * M_{t31t}) * L_b = 0 \text{ kN}$

Treno SW/2: $Tu_{72} = 1/2 * (K_t * M_{t32t}) * L_b = 0 \text{ kN}$



POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA
PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO INTEGRATO
QUADRUPPLICAMENTO RHO-PARABIAGO E RACCORDO Y

Prolungamento sottovia Agricolo km 0+771.94-
Pregnana Milanese: Relazione di calcolo impalcato

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|--------------|------|----------|
| MDL1 | 12 | D 26 CL | IN 03 00 001 | A | 24 di 30 |

4.2.8 Vento:

$$Tu8 = 1/2 * (Kt * Mt4) * L_b = 20.50 \text{ kN}$$

4.2.9 Azione laterale:

$$Tu9 = Kt * Mt5 = 19.21 \text{ kN}$$

4.3 SFORZO NORMALE

4.3.1 Frenatura / Avviamento:

$$\text{Treno LM71: } Nu41 = Q2271 / N_{ps} = 31 \text{ kN}$$

$$\text{Treno SW/2: } Nu42 = Q2262 / N_{ps} = 33 \text{ kN}$$

5 RIEPILOGO SOLLECITAZIONI PER TRAVE DI BORDO FASCIA

5.1 MODELLO DI CARICO: TRENO LM71

| MODELLO DI CARICO LM71 | | | | | | |
|-------------------------------|-----------------------------|------|----------------------------|------|--------|----|
| AZIONE | M _{mezzeria} [kNm] | | T _{appoggio} [kN] | | N [kN] | |
| Permanenti | Mu1 | 86 | Tu1 | 55 | | 0 |
| Treno LM71 | Mu21 | 112 | Tu21 | 87 | | 0 |
| Incremento dinamico | Mu31 | 74 | Tu31 | 58 | | 0 |
| Frenatura e avviamento | Mu41 | 3 | Tu41 | 5.50 | Nu41 | 31 |
| Centrifuga | Mu51 | 0 | Tu51 | 0 | | 0 |
| Eccentricità di carico | Mu61 | 13 | Tu51 | 9..5 | | 0 |
| Effetto della sopraelevazione | Mu71 | 0 | Tu61 | 0 | | 0 |
| Vento | Mu8 | 33 | Tu8 | 20.5 | | 0 |
| Azione laterale | Mu9 | 30.5 | Tu9 | 19 | | 0 |

Tabella 2

5.2 MODELLO DI CARICO: TRENO SW/2

| MODELLO DI CARICO SW/2 | | | | | | |
|-------------------------------|-----------------------------|------|----------------------------|------|--------|----|
| AZIONE | M _{mezzeria} [kNm] | | T _{appoggio} [kN] | | N [kN] | |
| Permanenti | Mu1 | 86 | Tu1 | 55 | | 0 |
| Treno LM71 | Mu22 | 94 | Tu22 | 59 | | 0 |
| Incremento dinamico | Mu32 | 62 | Tu32 | 39 | | 0 |
| Frenatura e avviamento | Mu42 | 3.5 | Tu42 | 7 | Nu42 | 40 |
| Centrifuga | Mu52 | 0 | Tu52 | 0 | | 0 |
| Effetto della sopraelevazione | Mu72 | 0 | Tu72 | 0 | | 0 |
| Vento | Mu8 | 33 | Tu8 | 29.5 | | 0 |
| Azione laterale | Mu9 | 30.5 | Tu9 | 19 | | 0 |

Tabella 3

6 VERIFICHE DI RESISTENZA

Le verifiche sono condotte con il metodo della tensioni ammissibili, facendo riferimento alla condizione di carico TA1 di tabella 1.7.3.2 della Istruzione per il calcolo dei ponti ferroviari. La condizione TA1 e': $G_k + Q_k + 0.6 \cdot W_k$ dove:

- Q_k : e' il valore caratteristico delle azioni legate al transito dei treni e per calcolarlo occorre fare riferimento ad uno dei gruppi di azioni della tabella 1.7.2.3. Si assume per la verifiche il gruppo 1 dove i coefficienti di simultaneita' delle azioni valgono: 1.0 per i carichi verticali; 0.5 per frenatura e avviamento; 1.0 per centrifuga; 1.0 per azione laterale;
- W_k e' l'azione del vento;
- G_k sono i carichi permanenti.

Le sollecitazioni risultanti sono:

$$M_{tot} = M_u1 + (M_u2 + M_u3 + 0.5 \cdot M_u4 + M_u5 + M_u6 - M_u7 + M_u9) + 0.6 \cdot M_u8$$

$$T_{tot} = T_u1 + (T_u2 + T_u3 + 0.5 \cdot T_u4 + T_u5 + T_u6 - T_u7 + T_u9) + 0.6 \cdot T_u8$$

$$N_{tot} = 0.5 \cdot N_u4$$

Per il treno LM71 si ha:

$$M_{tot1} = 340 \text{ kNm} \quad T_{tot1} = 245 \text{ kN} \quad N_{tot1} = 15 \text{ kN}$$

Per il treno SW/2 si ha:

$$M_{tot2} = 295 \text{ kNm} \quad T_{tot2} = 192 \text{ kN} \quad N_{tot2} = 16 \text{ kN}$$

Le verifiche sono eseguite con: $\sigma = M_{tot}/W_p + N_{tot}/A_p$

$$\tau = T_{tot} \cdot S_{xp} / (S_p \cdot J_p)$$

Per il treno LM71 si ha:

$$\sigma = 118 \text{ Mpa} < 185 \cdot 1.125 = 208 \text{ MPa (verifica soddisfatta)}$$

$$\tau = 39.2 \text{ Mpa} < 185 / (3)^{0.5} = 107 \text{ MPa (verifica soddisfatta)}$$

Per il treno SW/2 si ha:

$$\sigma = 103 \text{ Mpa} < 185 \cdot 1.125 = 208 \text{ MPa (verifica soddisfatta)}$$

$$\tau = 31 \text{ Mpa} < 185 / (3)^{0.5} = 107 \text{ MPa (verifica soddisfatta)}$$

7 CALCOLO DELLA FREQUENZA PROPRIA DELL'IMPALCATO

Questa verifica viene eseguita per controllare l'affidabilità del coefficiente di incremento dinamico Φ_3 assunto nei calcoli. Essa consiste nell'accertare che la frequenza propria n_0 sia contenuta all'interno del fuso indicato in fig. 1.4.2.3 dell'Istruzione per il calcolo dei ponti.

Il limite superiore del fuso è: $L_{sf} = 94.76 \cdot L_b^{-0.748} = 23.83$ Hz

Il limite inferiore del fuso è: $L_{if} = 80/L = 12.64$ Hz

Considerando resistente l'intero impalcato con il calcestruzzo omogeneizzato con $n = 6$, si ottiene il momento d'inerzia:

$$J_f = [Bi \cdot S_{sn}^3 / 12 + (n - 1) \cdot N_{pt} \cdot J_p] / n = 12.169.113 \text{ cm}^4$$

La frequenza propria è data da: $n_0 = 17.75 / (f_0)^{0.5}$

dove f_0 è la freccia dell'impalcato per i carichi permanenti $Q_1 = 540$ kN/m

Si ha: $f_0 = 5 / 384 \cdot Q_1 \cdot L_b^4 / (E_p \cdot J_f) = 1.9$ mm

e quindi $n_0 = 17.75 / 3.05^{0.5} = 10.16$ Hz

Si hanno i confronti: $n_0 = 11.92 < 23.83$ (verifica soddisfatta)

$n_0 = 12.87 > 12.64$ (verifica soddisfatta)



POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA
PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO INTEGRATO
QUADRUPPLICAMENTO RHO-PARABIAGO E RACCORDO Y

Prolungamento sottovia Agricolo km 0+771.94-
Pregnana Milanese: Relazione di calcolo impalcato

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|--------------|------|----------|
| MDL1 | 12 | D 26 CL | IN 03 00 001 | A | 28 di 30 |

8 VERIFICHE DI DEFORMABILITA'

Le verifiche di deformabilità sono condotte agli stati limite di servizio con la combinazione rara delle azioni fornita dalla:

$$F_d = S_j(G_{kj}) + Q_{kl} + S_{(j=2)} P_{0j} * Q_{ki}$$

Assumendo come azione di base Q_{kl} l'azione da traffico ferroviario, le azioni dovute al vento e alla termica vanno moltiplicate per $P_0 = 0.6$. Per il calcolo di Q_{kl} si fa riferimento ancora al gruppo di carico 1. Le verifiche di deformabilità si effettuano considerando reagente una striscia longitudinale di impalcato larga 5.0 metri, includendo anche il calcestruzzo omogeneizzato con $n = 6$. Le travi in tale striscia sono: $N_{pd} = 9.5$.

Con tali premesse, il momento d'inerzia vale:

$$J_d = [B_{rd} * S_{sn}^3 / 12 + (n - 1) * N_{pd} * J_p] / n = 4.272.841 \text{ cm}^4$$

8.1 FRECCIA PER I SOVRACCARICHI DINAMIZZATI DEL TRENO LM71:

Il valore limite nel caso di velocità di LM71 pari a 160 km/h vale:

$$F_{dl} = L_b / K_{dl} = 6330 / 1200 = 5.25 \text{ mm per ponti a una campata con luce minore di 30 m.}$$

$$Q_d = \phi_3 * Q_{21f} = 297.7 \text{ kN/m}$$

$$F_d = 5/384 * Q_d * L_b^4 / (E_p * J_d) = 3.06 \text{ mm}$$

$$F_d = 3.83 \text{ mm} < 5.25 \text{ mm (verifica soddisfatta)}$$

8.2 ROTAZIONE AGLI APPOGGI

Il valore limite per ponti con n. 3 binari, una campata e $V = 160 \text{ km/h}$ vale:

$$\vartheta_{il} = 0.002 \text{ rad, all'estremità dell'impalcato.}$$

$$\text{Effetto del treno LM71 dinamizzato: } \vartheta_1 = 1/24 * Q_d * L_b^3 / (E_p * J_d) = 0.00101 \text{ rad.}$$

Effetto del gradiente termico $\Delta_{gt} = 10^\circ$ gradi tra estradosso e intradosso:



POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA
PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO INTEGRATO
QUADRUPPLICAMENTO RHO-PARABIAGO E RACCORDO Y

Prolungamento sottovia Agricolo km 0+771.94-
Pregnana Milanese: Relazione di calcolo impalcato

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|--------------|------|----------|
| MDL1 | 12 | D 26 CL | IN 03 00 001 | A | 29 di 30 |

$$\vartheta_2 = L_b/2 * \alpha * \Delta_{gt}/S_{sn} = 0.00071 \text{ rad.}$$

$$\vartheta = \vartheta_1 + 0.6 * \vartheta_2 = 0.00144 \text{ rad}$$

$\vartheta = 0.00144 \text{ rad} < 0.002 \text{ rad.}$ (verifica soddisfatta)

9 SCARICHI APPOGGI

Si riporta di seguito le tabelle degli scarichi agli appoggi nelle condizioni di carico di esercizio, sismiche e per soli carichi permanenti, avendo considerato il carico verticale ripartito sul 100% del numero totale di appoggi, mentre le forze longitudinali e trasversali ripartite solo sul 50%. Nel calcolo delle azioni sismiche è stato adoperato un coefficiente di struttura $\beta=2.5$.

Nella relazione di calcolo delle spalle cautelativamente le azioni orizzontali sono state considerate al 100% su una o sull'altra spalla adoperando un coefficiente $\beta=2$.

| SCARICHI DI APPOGGIO IN NEOPRENE ARMATO ($b = 2.5$ ripartizione delle azioni orizzontali sul 50% dei vincoli) | | | | | | | | |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------------------------|---------------------|---------------------|
| Condizioni di esercizio non sismiche | | | Condizioni sismiche | | | Condizioni di soli carichi permanenti | | |
| N [kN] | T _L [kN] | T _T [kN] | N [kN] | T _L [kN] | T _T [kN] | N [kN] | T _L [kN] | T _T [kN] |
| 45 | 6 | 3 | -16 | 17 | 0 | 73 | - | - |
| 245 | 38 | 5 | 296 | 4 | 7 | 73 | - | - |
| 231 | 38 | 5 | -16 | 17 | 0 | - | - | - |
| 245 | 38 | 5 | 396 | 4 | 7 | - | - | - |

Tabella 4