

CORSO DI TECNICA DELLE COSTRUZIONI  
ESERCITAZIONE n° 4 del 6/11/2009

PROGETTO DI UN CAPANNONE INDUSTRIALE

PARTE 1: CONTROLLO DEI RISULTATI DELL'ESERCITAZIONE 3

3.1) VERIFICA DELLE ASTE DELLA TRAVE RETICOLARE: COMBINAZIONE NEVE

3.1.1) VERIFICA A TRAZIONE

CORRENTE INFERIORE:

La forza massima di trazione nelle aste del corrente inferiore è:  $N_{Ed} = 462.1kN$  (asta 5). Si deve controllare

che:  $\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$ .

Nel caso di collegamento tra le aste realizzato tramite saldatura si ha:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

Invertendo quest'ultima espressione è possibile ricavare direttamente l'area minima del corrente inferiore e scegliere i profilati:

$$A \geq \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{f_{yk}} = \frac{462.1 \cdot 10^3 \cdot 1.05}{235} = 2064.7 \text{ mm}^2$$

Si adottano 2 profilati accoppiati a L a lati uguali 90 x 90 x 6 mm aventi area totale  $A = 2100 \text{ mm}^2$ .

Nel caso di collegamento tra le aste realizzato tramite bullonatura (con bulloni M 24, in prima ipotesi), scegliendo gli stessi profilati a L a lati uguali 90 x 90 x 6, si ha:

$$N_{t,Rd} = \min \left\{ \frac{A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}}; \frac{0.9 A_{net} f_{tk}}{\gamma_{M2}} \right\} = \min \left\{ \frac{2100 \cdot 235}{1.05}; \frac{0.9 \cdot (2100 - 2 \cdot 25.5 \cdot 6) \cdot 360}{1.25} \right\} =$$

$$= \min \{470.0kN; 465.0kN\} = 465kN$$

Poiché  $\frac{462.1}{465.0} = 0.99 \leq 1$  la verifica è soddisfatta e, anche in questo caso, la scelta di profilati accoppiati 90 x 90 x 6 mm è appropriata.

DIAGONALI:

La forza massima di trazione è  $N_{Ed} = 153.61 KN$  (asta 21).

Nel caso di collegamento tra le aste realizzato tramite saldatura è possibile ricavare direttamente l'area minima del corrente inferiore e scegliere i profilati:

$$A \geq \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{f_{yk}} = \frac{153.6 \cdot 10^3 \cdot 1.05}{235} = 686.3 \text{ mm}^2$$

Si adottano 2 profilati accoppiati a L a lati uguali 40 x 40 x 5 mm aventi area complessiva  $A = 758 \text{ mm}^2$ .

Nel caso di collegamento tra le aste realizzato tramite bullonatura con bulloni M 14 (in prima ipotesi), scegliendo sempre profilati a L a lati uguali 40 x 40 x 5 mm, si ha:

$$N_{t,Rd} = \min \left\{ \frac{A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}}; \frac{0.9 A_{net} f_{tk}}{\gamma_{M2}} \right\} = \min \left\{ \frac{758 \cdot 235}{1.05}; \frac{0.9 \cdot 608 \cdot 360}{1.25} \right\} = \min \{169.6; 157.6\} = 157.6 \text{ kN}$$

Quindi  $\frac{153.6}{157.6} = 0.97 \leq 1$ . La verifica è soddisfatta.

Anche in questo caso la scelta di profilati accoppiati 40 x 40 x 5 mm è appropriata.

Poiché i diagonali 24 e 25 sono soggetti a compressione, per poter stabilire se è opportuna la scelta dei 2 profilati ad L accoppiati 40 x 40 x 5 mm si deve effettuare anche la verifica a stabilità. In questa sede, per brevità, si omette tale verifica che si lascia allo studente come utile esercizio.

### 3.1.2) VERIFICA A STABILITA' DELLE ASTE COMPRESSE

#### DIAGONALI:

L'unico diagonale compresso nella combinazione con neve dominante è il numero 26 per il quale si ha  $N_{Ed} = -124.2 \text{ kN}$ . Solo per questo diagonale si sceglie di utilizzare profilati accoppiati a L a lati uguali 80 x 80 x 6 mm. In tal caso si ha:

$$\lambda_y = \frac{l_{0y}}{\sqrt{J_y/A}} = \frac{2865}{\sqrt{2 \cdot (55.82 \cdot 10^4 + 9.35 \cdot 10^2 \cdot 25.7^2)} / (2 \cdot 9.35 \cdot 10^2)} = 80.8$$

$$\lambda_{eq,y} = \sqrt{\lambda_y^2 + \lambda_1^2} = \sqrt{\lambda_y^2 + \left(\frac{L_0}{i_{\min}}\right)^2} = \sqrt{80.8^2 + \left(\frac{955}{15.7}\right)^2} = 101.1$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 E \cdot 2 \cdot A}{\lambda_{eq,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 2 \cdot 9.35 \cdot 10^2}{101.1^2} = 379191 \text{ N}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{2 \cdot A \cdot f_{yk}}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 935 \cdot 235}{379191}} = 1.077$$

$$\alpha = 0.34$$

$$\Phi_y = 0.5 \left[ 1 + \alpha (\bar{\lambda}_y - 0.2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] = 0.5 \left[ 1 + 0.34 (1.077 - 0.2) + 1.077^2 \right] = 1.229$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1.229 + \sqrt{1.229^2 - 1.077^2}} = 0.549$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot 2 \cdot A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M1}} = \frac{0.549 \cdot 2 \cdot 935 \cdot 235}{1.05} = 229770 \text{ N}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{124.2}{229.8} = 0.54 \leq 1$$

## CORRENTE SUPERIORE:

La forza massima di compressione sulle aste del corrente superiore è:  $N_{Ed} = -463.53 \text{ KN}$  (asta 10). Per la verifica a stabilità si deve controllare che:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

Si ipotizza di utilizzare un profilato ad L a lati uguali 120 x 120 x 15 (classe 1). Si deve effettuare la verifica a instabilità sia per inflessione nel piano della trave reticolare (asse neutro x-x) che in quello della falda (asse neutro y-y). Nel nostro caso la luce libera di inflessione nel piano della trave reticolare è pari alla luce dell'asta (incernierata agli estremi), mentre quella nel piano della falda è doppia. In questo caso infatti i controventi di falda (che rappresentano le cerniere fisse) vincolano lateralmente un nodo ogni due della trave reticolare.

Si effettua la verifica nel piano della falda poiché risulta la più gravosa.

La snellezza dell'asta composta, supposta indeformabile a taglio, per inflessione nel piano della falda, considerando lo spessore dell'imbottitura di 0.8 cm, è pari a:

$$\lambda_y = \frac{l_{0y}}{\sqrt{J_y/A}} = \frac{2 \cdot 2510}{\sqrt{(444.9 \cdot 10^4 + 33.9 \cdot 10^2 \cdot 39.1^2)/33.9 \cdot 10^2}} = 94.2$$

Fissando un passo tra le imbottiture  $L_0 = 2510/3 = 837 \text{ mm}$  si ottiene una snellezza equivalente per l'asta composta pari a:

$$\lambda_{eq,y} = \sqrt{\lambda_y^2 + \lambda_1^2} = \sqrt{\lambda_y^2 + \left(\frac{L_0}{i_{\min}}\right)^2} = \sqrt{94.2^2 + \left(\frac{837}{23.3}\right)^2} = 100.8$$

A tale valore di snellezza equivalente corrisponde il carico critico Euleriano:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 E \cdot 2 \cdot A}{\lambda_{eq,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 2 \cdot 33.9 \cdot 10^2}{100.8^2} = 1383017 \text{ N}$$

La snellezza adimensionale è:

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{2 \cdot A \cdot f_{yk}}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 3390 \cdot 235}{1383017}} = 1.073$$

Il fattore di imperfezione  $\alpha$  è:

$$\alpha = 0.34$$

Il coefficiente  $\Phi_y$  è:

$$\Phi_y = 0.5 \left[ 1 + \alpha (\bar{\lambda}_y - 0.2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] = 0.5 \left[ 1 + 0.34 (1.073 - 0.2) + 1.073^2 \right] = 1.224$$

Il coefficiente  $\chi_y$  è:

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1.224 + \sqrt{1.224^2 - 1.073^2}} = 0.552$$

La resistenza all'instabilità dell'asta è:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot 2 \cdot A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M1}} = \frac{0.552 \cdot 2 \cdot 3390 \cdot 235}{1.05} = 837621 \text{ N}$$

la verifica si scrive:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{463.5}{837.6} = 0.55 \leq 1$$

### MONTANTI:

La forza massima di compressione sui montanti è:  $N_{Ed} = -78.17kN$  (asta 13). Si ipotizza di utilizzare un profilato ad L a lati uguali 70 x 70 x 6 (classe 2).

$$N_{cr,x} = \frac{\pi^2 E \cdot J_x}{l_{0x}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 2 \cdot 36.88 \cdot 10^4}{1200^2} = 1061640 \text{ N}$$

$$\bar{\lambda}_x = \sqrt{\frac{2 \cdot A \cdot f_{yk}}{N_{cr,x}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 813 \cdot 235}{1061640}} = 0.600$$

$$\alpha = 0.34$$

$$\Phi_x = 0.5 \left[ 1 + \alpha (\bar{\lambda}_x - 0.2) + \bar{\lambda}_x^2 \right] = 0.5 \left[ 1 + 0.34 (0.600 - 0.2) + 0.600^2 \right] = 0.748$$

$$\chi_x = \frac{1}{\Phi_x + \sqrt{\Phi_x^2 - \bar{\lambda}_x^2}} = \frac{1}{0.748 + \sqrt{0.748^2 - 0.600^2}} = 0.837$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_x \cdot 2 \cdot A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M1}} = \frac{0.837 \cdot 2 \cdot 813 \cdot 235}{1.05} = 304596 \text{ N}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{75.1}{304.6} = 0.25 \leq 1$$

Per maggiore completezza si può effettuare la verifica anche nel piano della falda.

La forza massima di compressione sui montanti è:  $N_{Ed} = -75.05kN$  (asta 15). Si ipotizza di utilizzare un profilato ad L a lati uguali 70 x 70 x 6 (classe 2).

Poiché la luce libera di inflessione è uguale in entrambe le direzioni di inflessione, si considera solo il caso più gravoso di inflessione intorno all'asse x-x (nel piano della trave reticolare).

$$N_{cr,x} = \frac{\pi^2 E \cdot J_x}{l_{0x}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 2 \cdot 36.88 \cdot 10^4}{1600^2} = 597173 \text{ N}$$

$$\bar{\lambda}_x = \sqrt{\frac{2 \cdot A \cdot f_{yk}}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 813 \cdot 235}{597173}} = 0.800$$

$$\alpha = 0.34$$

$$\Phi_x = 0.5 \left[ 1 + \alpha (\bar{\lambda}_x - 0.2) + \bar{\lambda}_x^2 \right] = 0.5 \left[ 1 + 0.34 (0.800 - 0.2) + 0.800^2 \right] = 0.922$$

$$\chi_x = \frac{1}{\Phi_x + \sqrt{\Phi_x^2 - \bar{\lambda}_x^2}} = \frac{1}{0.922 + \sqrt{0.922^2 - 0.800^2}} = 0.724$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_x \cdot 2 \cdot A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M1}} = \frac{0.724 \cdot 2 \cdot 813 \cdot 235}{1.05} = 263474 \text{ N}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{75.1}{263.5} = 0.29 \leq 1$$

Per maggiore completezza si può effettuare la verifica anche nel piano della falda.

Può essere un utile esercizio verificare l'adeguatezza del profilo scelto anche nei confronti delle verifiche a stabilità relative agli altri montanti che, anche se meno sollecitati, presentano luci libere di inflessione diverse. Si deve inoltre verificare a trazione l'asta 19.

### 3.2) VERIFICA DELLE ASTE DELLA TRAVE RETICOLARE: COMBINAZIONE VENTO

Nella combinazione con vento dominante le sollecitazioni nelle aste cambiano sia per intensità che per segno (si invertono trazioni e compressioni). Si devono quindi ripetere le verifiche, modificando, se necessario, le dimensioni dei profili scelti.

#### 3.2.1) VERIFICA A TRAZIONE

##### CORRENTE SUPERIORE:

La forza massima di trazione nelle aste del corrente superiore è:  $N_{Ed} = 148.0kN$  (asta 11). Nel caso di profilati ad L a lati uguali 120 x 120 x 15, ipotizzando di realizzare i giunti con saldature o mediante l'utilizzo di bulloni M24, si ha:

$$N_{t,Rd} = \min \left\{ \frac{A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}}; \frac{0.9 A_{net} f_{tk}}{\gamma_{M2}} \right\} = \min \left\{ \frac{3390 \cdot 235}{1.05}; \frac{0.9 \cdot (3390 - 2 \cdot 25.5 \cdot 15) \cdot 360}{1.25} \right\} =$$

$$= \min \{758.7kN; 680.4kN\} = 680.4kN$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{148.0}{680.4} = 0.22 \leq 1$$

I profilati scelti per il corrente superiore soddisfano anche le verifiche relative alla combinazione con vento dominante.

##### MONTANTI:

La forza massima di trazione sui montanti è:  $N_{Ed} = 29.4kN$  (asta 13). Nel caso di profilati ad L a lati uguali 70 x 70 x 6, ipotizzando di realizzare i giunti con saldature o mediante l'utilizzo di bulloni M14, si ha:

$$N_{t,Rd} = \min \left\{ \frac{A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}}; \frac{0.9 A_{net} f_{tk}}{\gamma_{M2}} \right\} = \min \left\{ \frac{1626 \cdot 235}{1.05}; \frac{0.9 \cdot (1626 - 2 \cdot 15 \cdot 6) \cdot 360}{1.25} \right\} =$$

$$= \min \{363.9kN; 374.8kN\} = 363.9kN$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{29.4}{363.9} = 0.08 \leq 1$$

I profilati scelti per i montanti soddisfano anche le verifiche relative alla combinazione con vento dominante.

### 3.2.2) VERIFICA A STABILITA' DELLE ASTE COMPRESSE

#### CORRENTE INFERIORE:

La forza massima di compressione nelle aste del corrente inferiore è:  $N_{Ed} = -147.55 \text{ KN}$  (asta 6). Avendo ipotizzato profilati accoppiati a L a lati uguali 90 x 90 x 6 mm si ha:

$$\lambda_y = \frac{l_{0y}}{\sqrt{J_y/A}} = \frac{2 \cdot 2500}{\sqrt{(80.72 \cdot 10^4 + 10.5 \cdot 10^2 \cdot 28.2^2)/10.5 \cdot 10^2}} = 126.4$$

$$\lambda_{eq,y} = \sqrt{\lambda_y^2 + \lambda_1^2} = \sqrt{\lambda_y^2 + \left(\frac{L_0}{i_{\min}}\right)^2} = \sqrt{126.4^2 + \left(\frac{837}{17.7}\right)^2} = 135.0$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 E \cdot 2 \cdot A}{\lambda_{eq,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 2 \cdot 10.5 \cdot 10^2}{135.0^2} = 238820 \text{ N}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{2 \cdot A \cdot f_{yk}}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1050 \cdot 235}{238830}} = 1.438$$

$$\alpha = 0.34$$

$$\Phi_y = 0.5 \left[ 1 + \alpha (\bar{\lambda}_y - 0.2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] = 0.5 \left[ 1 + 0.34 (1.438 - 0.2) + 1.438^2 \right] = 1.744$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1.744 + \sqrt{1.744^2 - 1.438^2}} = 0.366$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot 2 \cdot A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M1}} = \frac{0.366 \cdot 2 \cdot 1850 \cdot 235}{1.05} = 172020 \text{ N}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{147.55}{172.02} = 0.86 \leq 1$$

Si omette la verifica a stabilità del corrente inferiore nel piano della trave reticolare, che si lascia come esercizio allo studente.

#### DIAGONALI

La forza massima di compressione è  $N_{Ed} = -37.75 \text{ kN}$  (asta 21). Avendo ipotizzato profilati accoppiati a L a lati uguali 40 x 40 x 5 mm si ha (il passo tra le imbottiture è pari a 955 mm):

$$N_{cr,x} = \frac{\pi^2 E \cdot J_x}{l_{0x}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 2 \cdot 5.43 \cdot 10^4}{2865^2} = 27422 \text{ N}$$

Poiché il carico critico Euleriano è già minore della sollecitazione  $N_{Ed}$ , non può essere soddisfatta la verifica a stabilità dell'asta reale composta. Si sceglie pertanto di utilizzare profilati accoppiati a L a lati uguali 60 x 60 x 5 mm. In tal caso si ottiene:

$$N_{cr,x} = \frac{\pi^2 E \cdot J_x}{l_{0x}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 2 \cdot 19.37 \cdot 10^4}{2865^2} = 97820 \text{ N}$$

$$\bar{\lambda}_x = \sqrt{\frac{2 \cdot A \cdot f_{yk}}{N_{cr,x}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 582 \cdot 235}{97820}} = 1.672$$

$$\alpha = 0.34$$

$$\Phi_x = 0.5 \left[ 1 + \alpha (\bar{\lambda}_x - 0.2) + \bar{\lambda}_x^2 \right] = 0.5 \left[ 1 + 0.34 (1.672 - 0.2) + 1.672^2 \right] = 2.148$$

$$\chi_x = \frac{1}{\Phi_x + \sqrt{\Phi_x^2 - \bar{\lambda}_x^2}} = \frac{1}{2.148 + \sqrt{2.148^2 - 1.672^2}} = 0.345$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot 2 \cdot A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M1}} = \frac{0.345 \cdot 2 \cdot 582 \cdot 235}{1.05} = 89877 \text{ N}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{37.75}{89.88} = 0.42 \leq 1$$

Si omette la verifica a stabilità del corrente inferiore nel piano della falda, che si lascia come esercizio allo studente.

Ricapitolando, la scelta dei profili da adottare è riassunta nella tabella seguente:

Categoria di aste	Profilo adottato
Corrente superiore	2 profili a L 120 x 120 x 15
Corrente inferiore	2 profili a L 90 x 90 x 6
Montanti	2 profili a L 70 x 70 x 6
Diagonali (esclusa asta 26)	2 profili a L 60 x 60 x 5
Diagonale 26	2 profili a L 80 x 80 x 6

## PARTE 2: PROGETTO DELLA TRAVE DI SCORRIMENTO DEL CARROPONTE

### 7.1) CARATTERISTICHE DEL CARROPONTE

Le caratteristiche geometriche e meccaniche del carroponte sono state desunte dal catalogo di una ditta specializzata a partire dallo scartamento (29 m) e dalla portata (50 kN) richiesti. Scegliendo una gru a ponte bitrave, che presenta una coppia di ruote motrici e una coppia di ruote folli (si veda la figura seguente a titolo esemplificativo), è possibile ricavare dalla tabella riportata di seguito i valori delle reazioni massime e minime in corrispondenza delle ruote (al variare della posizione del carrello).

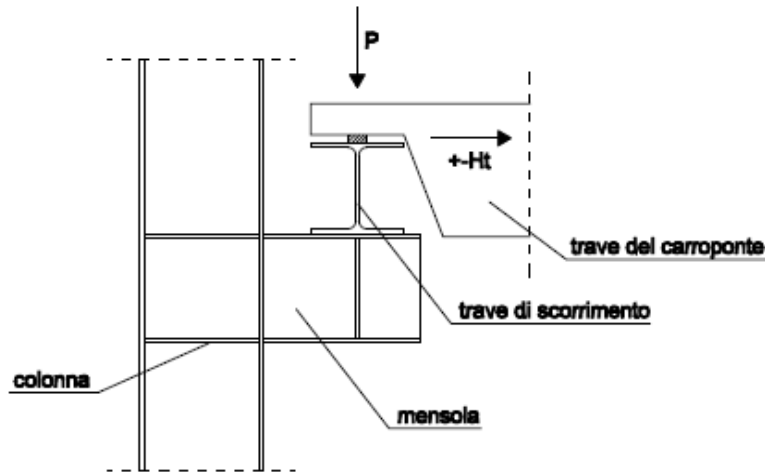


Por- tata (Kg)	SC=scartamento (m)																																													
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30																							
1000	1050	1050	1100	1150	1200	1200	1250	1300	1350	1400	1500	1550	1600	1650	1750	1800	1900	1950	2000	2200	2300	2400	2500	400	400	450	500	500	550	600	650	700	700	800	850	900	950	1050	1100	1200	1250	1350	1500	1600	1700	1850
	2000	1500	1550	1600	1650	1700	1750	1800	1900	1950	2000	2100	2150	2250	2350	2500	2600	2700	2800	2850	3000	3150	3250	3450	400	450	500	550	600	650	700	750	800	900	1000	1100	1150	1300	1400	1500	1600	1650	1800	2000	2050	2250
2500		1750	1800	1850	1900	1950	2050	2100	2150	2200	2300	2400	2500	2600	2700	2850	2900	3000	3150	3200	3450	3600	3700	3800	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	1000	1100	1200	1250	1400	1500	1550	1750	1800	2000	2150	2250
	3200	2100	2150	2250	2300	2350	2400	2450	2550	2650	2750	2900	3000	3050	3150	3350	3400	3550	3700	3850	4050	4150	4300	4450	450	500	500	550	600	650	700	800	900	950	1100	1200	1250	1350	1550	1600	1750	1900	2000	2250	2300	2500
4000		2600	2550	2650	2700	2750	2850	2950	3050	3150	3250	3350	3450	3550	3650	3850	4000	4150	4250	4400	4650	4800	4900	5150	450	500	550	600	650	700	800	850	950	1050	1150	1250	1400	1450	1650	1800	1950	2050	2150	2400	2600	2650
	5000	2950	3050	3150	3200	3300	3350	3500	3600	3700	3750	3950	4050	4200	4300	4500	4650	4800	4950	5100	5350	5550	5700	5900	450	500	550	600	700	750	850	950	1050	1100	1250	1350	1500	1650	1800	1950	2100	2250	2400	2650	2850	2950

Reazione massima (kg forza)  
 Reazione minima (kg forza)

Le caratteristiche tecniche del carroponte scelto sono riportate nella tabella seguente. Una vista di dettaglio della mensola di appoggio che sostiene la trave di scorrimento del carroponte è riportata nella figura seguente.

Caratteristica	Valore
Portata	50 kN
Scartamento sc	29 m
Passo rigido delle ruote s	4.5 m
Max carico trasmesso dalle ruote alla rotaia $R_{max}$	57 kN
Min carico trasmesso dalle ruote alla rotaia $R_{min}$	29.5 kN



## 7.2) ANALISI DEI CARICHI

Si considerano due condizioni di carico:

Condizione di carico I

Carichi permanenti

Azioni verticali statiche delle ruote, maggiorate di un coefficiente di incremento dinamico M

Condizione di carico II

Carichi permanenti

Azioni verticali statiche delle ruote

Azioni orizzontali trasversali

Azioni orizzontali longitudinali

Per la valutazione del coefficiente di incremento dinamico M si fa riferimento alle istruzioni CNR 20021/85. L'apparecchio utilizzato risulta di classe A5 (gru a ponte), a cui competono i seguenti coefficienti di incremento dinamico:

$M_{vc} = 1.11$  per le vie di corsa

$M_c = 1.08$  per le colonne

$M_f = 1$  per le fondazioni

In seguito per maggior sicurezza verrà sempre utilizzato come coefficiente  $M=M_{vc}=1.11$ .

Si ottengono i seguenti carichi caratteristici agenti sulla struttura:

Carichi permanenti:

Peso proprio trave di scorrimento (HEA 260 in prima approssimazione)

$$p_{ts} = 682 \text{ N/m}$$

Peso rotaia (quadro 40x40)

$$p_q = 130 \text{ N/m}$$

Azioni verticali statiche delle ruote, maggiorate del coefficiente M:

Forza verticale massima

$$P_{max} = M \cdot R_{max} = 63.27 \text{ kN}$$

Forza verticale minima

$$P_{min} = M \cdot R_{min} = 32.75 \text{ kN}$$

Azioni orizzontali:

Forza di serpeggiamento

$$H_T = 1/10 \cdot R_{max} = 1/10 \cdot 57 = 5.7 \text{ kN}$$

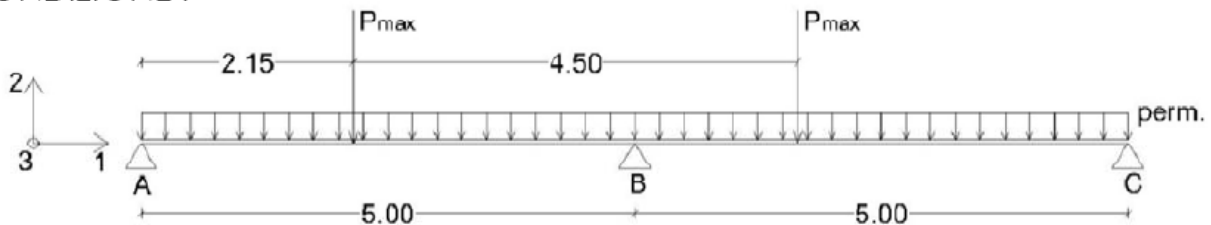
Forza di frenatura

$$H_L = 1/7 \cdot R_{max} = 1/7 \cdot 57 = 8.1 \text{ kN}$$

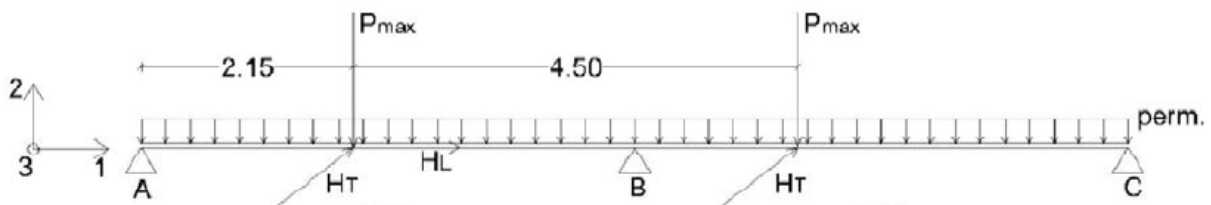
### 7.3) SCHEMA STATICO E CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI

La trave di scorrimento del carro ponte viene modellata come una trave continua su tre appoggi, caricata come in figura, avendo disposto le ruote nella posizione più sfavorevole per la trave.

#### CONDIZIONE I



#### CONDIZIONE II



### 7.4) VERIFICHE DI SICUREZZA

Si effettuano verifiche di resistenza della trave di scorrimento in corrispondenza della sezione B per entrambe le condizioni di carico. L'asse principale di inerzia associato alla flessione nel piano verticale è indicato con x (in flessione nel piano dell'anima). L'asse di inerzia associato alla flessione nel piano orizzontale (piano delle ali) è indicato con y.

In primo luogo si deve verificare che il taglio di calcolo nel piano dell'anima e il taglio di calcolo nel piano delle ali non superino il 50% delle corrispondenti resistenze a taglio. Se tali condizioni sono verificate è lecito trascurare l'effetto del taglio nella resistenza a flessione, altrimenti è necessario considerarlo riducendo la tensione di snervamento mediante un coefficiente pari a  $1-\rho$ .

Supponendo che la condizione precedente sia soddisfatta, la verifica si effettuerà considerando la seguente relazione (pressoflessione deviata trascurando gli effetti del II ordine), valida per profili di classe 1 o 2:

$$\frac{M_{x,Ed}}{M_{N,x,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \leq 1$$

in cui il pedice N indica che stiamo tenendo conto dell'effetto dello sforzo normale nel calcolo del momento resistente.

I momenti resistenti valgono:

$$M_{N,x,Rd} = M_{x,Rd} \frac{1-n}{1-0.5a} \leq M_{x,Rd}$$

$$M_{N,y,Rd} = M_{y,Rd} \text{ per } n \leq a$$

$$M_{N,y,Rd} = M_{y,Rd} \left[ 1 - \left( \frac{n-a}{1-a} \right)^2 \right] \text{ per } n > a$$

in cui il coefficiente  $a$  è definito al paragrafo 4.2.4.1.2 delle NTC 2008 e il coefficiente  $n$  vale:

$$n = \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{A f_{yk}}$$

### Verifiche di deformabilità

Si devono confrontare le frecce associate alle due combinazioni di carico considerate (combinazioni di servizio caratteristiche o rare) con i seguenti valori ammissibili:

$$\text{freccia verticale ammissibile: } f_{\max,v} = \frac{L}{800} .$$

$$\text{freccia orizzontale ammissibile: } f_{\max,h} = \frac{L}{1600} .$$