



COMUNE DI ASTI

Provincia di Asti

*INTERVENTO DI MANUTENZIONE
STRAORDINARIA SU
CAVALCAVIA/CAVALCAFERROVIA
"GIOLITTI"
CUP: G37H19001980004*

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE DI CALCOLO

IL PROGETTISTA:

DOTT. ING. BOERO ELIO

appartenente allo stato tecnico E.C. di
Dott. Ing. BOERO ELIO e Dott. Ing. ZAPPA FELICE
Via Don Givogno, 15 - Villanova d'Asti - AT
Tel/Fax 0141.943366 e-mail elio.boero@tin.it



L'AMMINISTRAZIONE:

TAVOLA N.12

DATA: Novembre 2021

1 - DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA

Le opere trattate nella presente relazione sono relative all' intervento di manutenzione straordinaria al cavalcavia/cavalcaferrovia Giolitti, corrente nel centro abitato della città di Asti.

Nello specifico verranno esaminati i seguenti elementi di dettaglio:

- gli elementi principali costituenti l'intelaiatura di supporto da realizzare intorno ai piloni del cavalcavia grazie alla quale potrà realizzarsi il sollevamento dell'impalcato tramite cilindri di sollevamento;
- i nuovi apparecchi di appoggio in neoprene armato.

2 - NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le fasi di analisi e verifica della struttura sono state condotte in accordo alle seguenti disposizioni normative, per quanto applicabili in relazione al criterio di calcolo adottato dal progettista, evidenziato nel prosieguo della presente relazione:

Legge 5 novembre 1971 n. 1086 (G. U. 21 dicembre 1971 n. 321)

"Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica".

Legge 2 febbraio 1974 n. 64 (G. U. 21 marzo 1974 n. 76)

"Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche".

Indicazioni progettive per le nuove costruzioni in zone sismiche a cura del Ministero per la Ricerca scientifica - Roma 1981.

D. M. Infrastrutture Trasporti 17/01/2018 (G.U. 20/02/2018 n. 42 - Suppl. Ord. n. 8)

"Aggiornamento delle Norme tecniche per le Costruzioni".

Inoltre, in mancanza di specifiche indicazioni, ad integrazione della norma precedente e per quanto con esse non in contrasto, sono state utilizzate le indicazioni contenute nelle seguenti norme:

Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP. (G.U. Serie Generale n. 35 del 11/02/2019 - Suppl. Ord. n. 5)
Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.

3 - ANALISI DEI CARICHI

PESO PROPRIO STRUTTURALE

$P_{PTR} = 1,282 \cdot 4 \cdot 19,50 =$	100,00 t	peso proprio travi
$P_{PTV} = [2 \cdot (9,00 \cdot 0,20) + 2 \cdot (3,00 \cdot 0,30) + 2 \cdot (6,00 \cdot 0,20)] \cdot 2,50 =$	19,50 t	peso proprio traversi
$P_{PS} = m^2 3,68 \cdot m 19,50 \cdot 2,50 \text{ t/m}^3 =$	179,40 t	peso proprio soletta

SOVRACCARICHI PERMANENTI

$S_{PA} = m^2 1,18 \cdot m 19,50 \cdot 2,10 \text{ t/m}^3 =$	48,32 t	peso pavim. bitum.
$S_{PB} = n.4 \cdot m 19,50 \cdot 0,035 \text{ t/m} =$	2,80 t	peso barriere di prot.

Σ pp strutt. e carichi permanenti 350,02 t

SOVRACCARICHI ACCIDENTALI



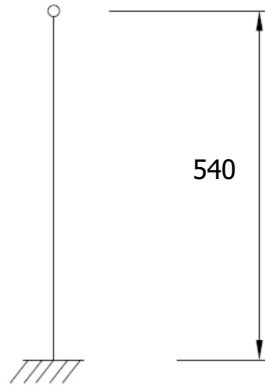
...

La struttura si comporrà dei seguenti elementi in acciaio S275:

- Sezione tipo della struttura

ANALISI COLONNA HEB 300

Schema statico



Analisi carichi:

- Carico impalcato 44.000,00 kg
- Peso proprio elemento strutturale (HEB 450) 171,00 kg

Carico gravante Ned = $1,35 \times (44.000,00 + 171,00) = \mathbf{59.630,85 \text{ kg}}$

Valutazione carico critico euleriano:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J}{L_0^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2.100.000 \cdot 8.563}{378^2} = 1.242.114 \text{ kg}$$

$J = 8.563 \text{ cm}^3$	momento inerzia minore della sezione
$E = 2.100.000 \text{ kg/cm}^2$	modulo elasticità
$L_0 = 0,7 \times L = 0,7 \times 540 = 378 \text{ cm}$	lunghezza libera di inflessione

Secondo il punto 4.2.4.1.3.1 delle NTC 2018 se è verificata la condizione $N_{ed} < 0,04 N_{cr}$ possono essere trascurati gli effetti dovuti a fenomeni di instabilità, ne consegue:

$$59.630,85 \text{ kg} > 0,04 \times 1.242.114 \text{ kg} = 49.685 \text{ kg}$$

Il calcolo deve procedere considerando i fenomeni di instabilità per le aste compresse.

Si procede con la valutazione della snellezza normalizzata

$$\lambda = \sqrt{\frac{A \cdot f_{yk}}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{149 \cdot 2.750}{1.242.114}} = 0,57$$

Si calcola il coefficiente χ

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^2}} = \frac{1}{0,725 + \sqrt{0,725^2 - 0,57^2}} = 0,85$$

$$\text{Con } \Phi = 0,5 \times [1 + \alpha \times (\lambda - 0,2) + \lambda^2] = 0,5 \times [1 + 0,34 \times (0,57 - 0,2) + 0,57^2] = 0,725$$

Condizione di verifica:

$$\frac{N_{ed}}{N_{bRd}} \leq 1$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,85 \cdot 149 \cdot 2.750}{1,05} = 331.702 \text{ kg}$$

$A = 149 \text{ cm}^2$ area della sezione del profilo

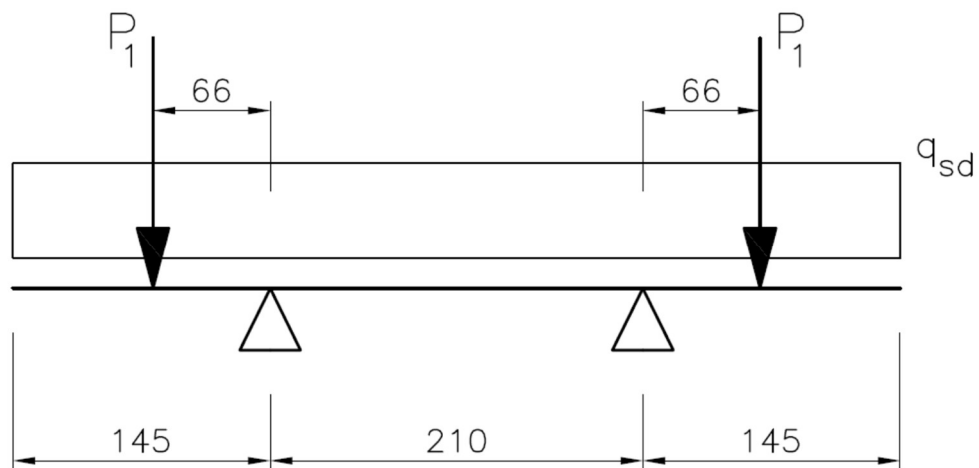
$f_{yk} = 2.750 \text{ kg/cm}^2$ tensione di snervamento acciaio S275

$$\frac{59.630,85}{331.702} \leq 0,18 \quad \text{VERIFICATO}$$

ANALISI TRAVE HEB 450

Profilato in acciaio S275

Schema statico



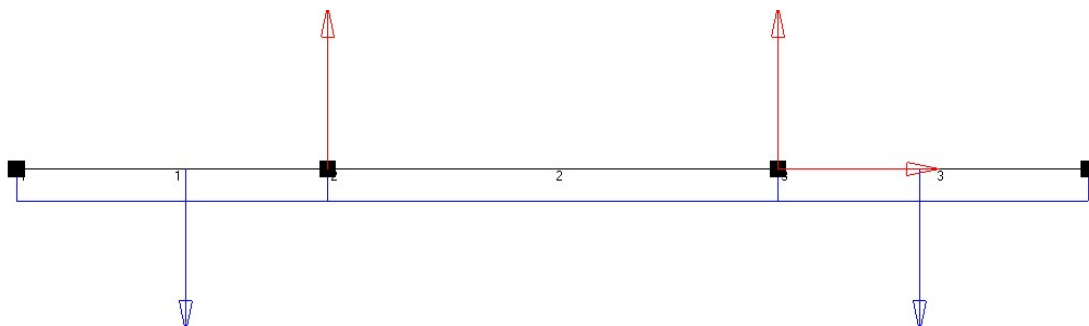
Analisi carichi:

- Carico impalcato P_1 44.000,00 kg
- Peso proprio elemento strutturale (q_{sd}) 171,00 kg/m

$$P_{1slu} = 44.000 \times 1,35 = 59.400 \text{ kg}$$

$$q_{sdslu} = 171 \times 1,35 = 230,85 \text{ kg/m}$$

Si procede tramite l'ausilio del software SDC all' analisi delle sollecitazioni della trave:



Modulo elastico: $E = 2100000 \text{ kg/cm}^2$

Nodi e reazioni vincolari

Nodo 1 (0 , 0) cm
Nodo 2 (145 , 0) cm Vincolo: Appoggio inclinazione 0°
Rx = 0 kg Ry = 59977,5 kg
Nodo 3 (355 , 0) cm Vincolo: Cerniera
Rx = 0 kg Ry = 59977,5 kg
Nodo 4 (500 , 0) cm

Carichi concentrati

1 Trave: 1 Posizione= 79 cm Fx=0 kg Fy=-59400 kg C=0 kg·cm
2 Trave: 3 Posizione= 66 cm Fx=0 kg Fy=-59400 kg C=0 kg·cm

Carichi distribuiti

1 Trave: 1 Tra 0 cm e 145 cm px= 0 kg/cm py= -2,31 kg/cm
2 Trave: 2 Tra 0 cm e 210 cm px= 0 kg/cm py= -2,31 kg/cm
3 Trave: 3 Tra 0 cm e 145 cm px= 0 kg/cm py= -2,31 kg/cm

Sollecitazioni nelle travi

Trave 1

Lunghezza = 145 cm Momento d'inerzia = 79887 cm⁴ Area = 218 cm²
Z=0 cm N=0 kg T=5,009326E-12 kg M=9,044925E-10 kg·cm
Ux=0 cm Uy=-0,4528367 cm Rot=3,241766E-03 rad
Z=2,168539E-12 cm N=0 kg T=-8,077936E-28 kg M=9,044925E-10 kg·cm
Ux=0 cm Uy=-0,4528367 cm Rot=3,241766E-03 rad
Z=79 cm N=0 kg T=-182,49 kg M=-7208,355 kg·cm
Ux=0 cm Uy=-0,1967596 cm Rot=3,24065E-03 rad
Z=79 cm N=0 kg T=-59582,49 kg M=-7208,364 kg·cm
Ux=0 cm Uy=-0,1967596 cm Rot=3,24065E-03 rad
Z=145 cm N=0 kg T=-59734,95 kg M=-3944684 kg·cm
Ux=0 cm Uy=0 cm Rot=2,463602E-03 rad

Trave 2

Lunghezza = 210 cm Momento d'inerzia = 79887 cm⁴ Area = 218 cm²
Z=0 cm N=0 kg T=242,55 kg M=-3944684 kg·cm
Ux=0 cm Uy=0 cm Rot=2,463602E-03 rad
Z=105 cm N=0 kg T=-7,389644E-13 kg M=-3931950 kg·cm
Ux=0 cm Uy=0,1292693 cm Rot=1337057 rad
Z=210 cm N=0 kg T=-242,55 kg M=-3944684 kg·cm
Ux=0 cm Uy=0 cm Rot=-2,463602E-03 rad

Trave 3

Lunghezza = 145 cm Momento d'inerzia = 79887 cm⁴ Area = 218 cm²
Z=0 cm N=0 kg T=59734,95 kg M=-3944684 kg·cm
Ux=0 cm Uy=0 cm Rot=-2,463602E-03 rad
Z=66 cm N=0 kg T=59582,49 kg M=-7208,364 kg·cm
Ux=0 cm Uy=-0,1967596 cm Rot=1,301027E+08 rad
Z=66 cm N=0 kg T=182,49 kg M=-7208,355 kg·cm
Ux=0 cm Uy=-0,1967596 cm Rot=1,301027E+08 rad
Z=145 cm N=0 kg T=6,508571E-12 kg M=7,394192E-10 kg·cm
Ux=0 cm Uy=-0,4528367 cm Rot=-3,241766E-03 rad

Med_{max} = 39.447 kgm

Condizione di verifica:

$$\frac{M_{ED}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$M_{c,Rd} = \frac{W \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{3.550 \cdot 2.750}{1,05} = 9.297.619 \text{ kgcm}$$

$$\frac{M_{ED}}{M_{c,Rd}} = \frac{39.447}{92.976} = 0,42 < 1 \quad \text{VERIFICATO}$$

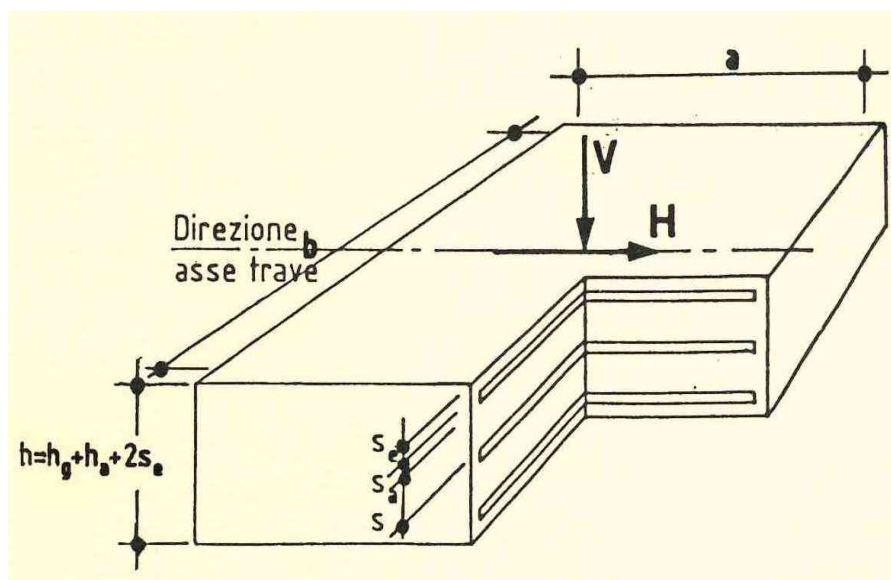
il valore massimo della freccia valutato nelle condizioni di esercizio si desume dalla precedente analisi considerando il valore $U_y = - 0,45 \text{ cm}$ e dividendolo per il coefficiente $\gamma = 1,35$ (condizione di SLU).

$$\eta = 0,45/1,35 = 0,33 \text{ cm} \longrightarrow 3,3 \text{ mm} \quad \text{valore compatibile con la tipologia di struttura}$$

VERIFICA APPARECCHI DI APPOGGIO

Gli apparecchi di appoggio previsti saranno di tipo elastomerico armato, costituiti da strati di acciaio e gomma opportunamente solidarizzati tramite processo di vulcanizzazione.

Uno schema dell'apparecchio di appoggio è raffigurato nello schema seguente



Le caratteristiche dimensionali dell'elemento impiegato sono:

$a = 250 \text{ mm}$	dimensione parallela all'asse della trave
$b = 350 \text{ mm}$	dimensione perpendicolare all'asse della trave
$h = 39 \text{ mm}$	spessore totale dell'appoggio
$s_a = 2 \text{ mm}$	spessore del singolo strato di lamiera di acciaio
$s = 6 \text{ mm}$	spessore del singolo strato di gomma interno
$h_g = 24 \text{ mm}$	spessore totale degli strati interni di gomma

Lo sforzo orizzontale H agente sull'apparecchio di appoggio si ricava dall'analisi dell'azione frenante dei carichi mobili viaggianti sul cavalcavia ed è pari secondo il punto 5.1.3.4 delle NTC 2018 a:

$$\begin{aligned} q_3 &= 0,6 \times (2Q_{1k}) + 0,10 \times q_{1k} \times w_1 \times L \\ &= 0,6 \times (2 \times 30) + 0,10 \times 0,9 \times 3 \times 19,50 = 41,265 \text{ t} \end{aligned}$$

L'azione ripartita su n.16 apparecchi di appoggio è pari a : $41,265/16 = 2,58 \text{ t}$

Lo spostamento orizzontale elastico dovuto allo sforzo orizzontale H agente sull'apparecchio è pari a:

$$u = h_g \times \tan \gamma = 24 \times 0,14 = 3,4 \text{ mm}$$

dove

$$\tan \gamma = \tau_H / G = 0,15 / 1,1 = 0,14$$

$$G = 1,1 \text{ N/mm}^2$$

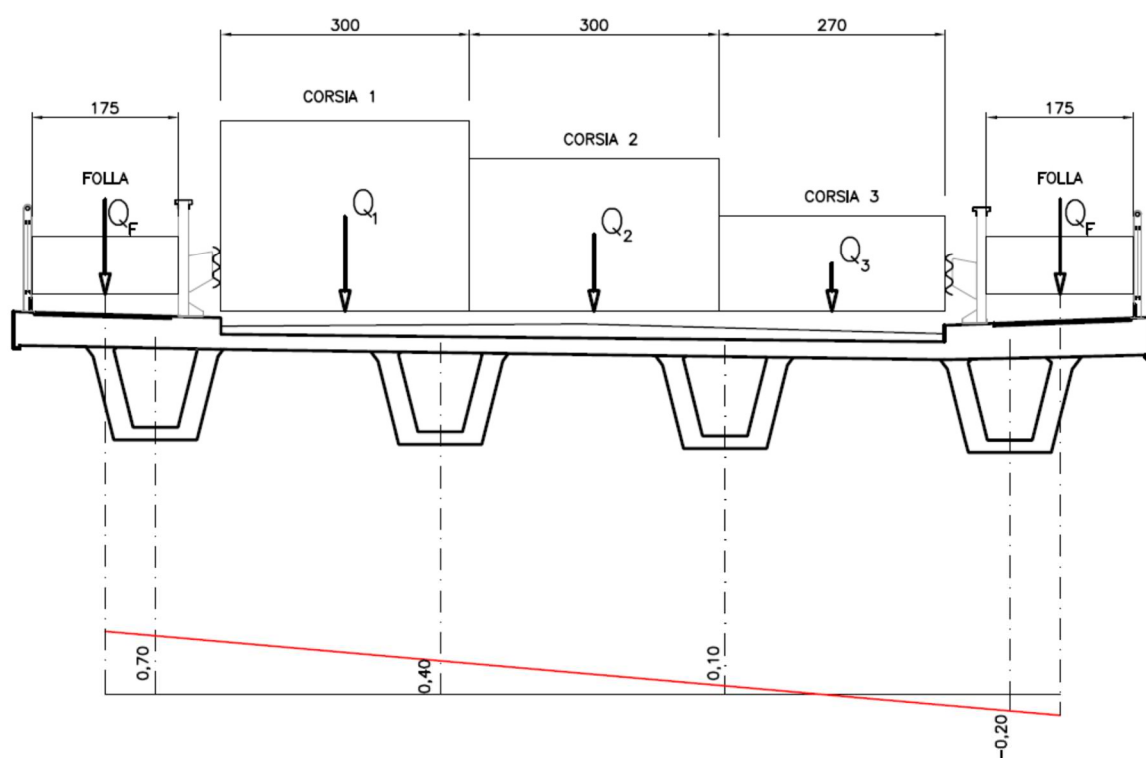
$$\tau_H = 0,5 H / A_c = 0,15 \text{ N/mm}^2$$

$$A_c = 250 \times 350 = 87.500 \text{ mm}^2$$

Il carico verticale su ogni singolo apparecchio di appoggio indotto dai carichi permanenti allo SLU è pari a $22.000 \times 1,35 = 29.700 \text{ kg}$.

L'effetto dei carichi mobili sull'appoggio più caricato deve essere effettuato con una ripartizione trasversale dei carichi tramite il metodo di Courbon.

Schema di ripartizione a quattro travi:



Si considerano gli effetti del carico indotto dalla corsia 1, corsia 2 e carico folla in quanto i rimanenti carichi apporterebbero un beneficio al valore finale.

$$Q_1 = 2 \times 30 \text{ t carichi ad interasse } 2,00 \text{ m con carico distribuito da } 900 \text{ kg/m}^2$$

$$Q_1 = 2 \times 20 \text{ t carichi ad interasse } 2,00 \text{ m con carico distribuito da } 250 \text{ kg/m}^2$$

$$Q_F = 250 \text{ kg/m}^2$$

$$Q_{\text{tot}} = 30 \cdot 0,59 \cdot 1,35 + 30 \cdot 0,41 \cdot 1,35 + 20 \cdot 0,32 \cdot 1,35 \cdot 0,75 + 20 \cdot 0,15 \cdot 1,35 \cdot 0,75 = 50,02 \text{ t}$$

$$q_{\text{tot}} = 2700 \cdot 0,50 \cdot 1,35 + 750 \cdot 0,24 \cdot 1,35 \cdot 0,40 + 438 \cdot 0,75 \cdot 1,35 \cdot 0,40 = 2.097 \text{ kg/m}$$

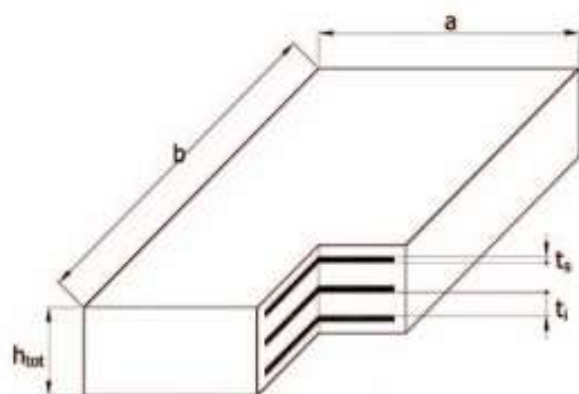
Il carico gravante sul singolo apparecchio di appoggio indotto da carichi permanenti e variabili è pari a:

$$F_{sd} = 29,70 + (25,01 + 2.097 \cdot 19,5/2)/2 = 52,43 \text{ t}$$

Conseguentemente il carico massimo verticale allo SLU sopportabile per l'apparecchio di appoggio con uno spostamento orizzontale di 3,4 mm è pari a 1985 kN = 198,5 t come da tabella di verifica Neoarm in allegato, valutato su apparecchio di misure leggermente inferiori ossia mm 250x300.

52,43 t < 198,5 t **VERIFICATO**

CARATTERISTICHE								
Dimensioni	Altezza	Lamierini	Elastomero		Rigidità orizzontale	Volume	Peso	Codice appoggio
a x b mm	h_{tot} mm	t_s mm	t_i mm	n n	K_o kN/mm	Vol dm ³	W kg	NEOARM
100 x 100	23	2	6	2	0,53	0,2	1	100 x 100 x 23
	31			3	0,39	0,3	1	100 x 100 x 31
100 x 150	23	2	6	2	0,79	0,3	1	100 x 150 x 23
	31			3	0,59	0,5	1	100 x 150 x 31
100 x 200	23	2	6	2	1,06	0,5	1	100 x 200 x 23
	31			3	0,78	0,6	2	100 x 200 x 31
150 x 200	23	2	6	2	1,59	0,7	2	150 x 200 x 23
	31			3	1,17	0,9	2	150 x 200 x 31
150 x 250	23	2	6	2	1,99	0,9	2	150 x 250 x 23
	31			3	1,47	1,2	3	150 x 250 x 31
150 x 300	23	2	6	2	2,38	1,0	3	150 x 300 x 23
	31			3	1,76	1,4	4	150 x 300 x 31
200 x 250	31	2	6	3	1,96	1,6	4	200 x 250 x 31
	39			4	1,55	2,0	5	200 x 250 x 39
	47			5	1,29	2,4	6	200 x 250 x 47
200 x 300	31	2	6	3	2,35	1,9	5	200 x 300 x 31
	39			4	1,86	2,3	6	200 x 300 x 39
	47			5	1,54	2,8	8	200 x 300 x 47
200 x 350	31	2	6	3	2,74	2,2	6	200 x 350 x 31
	39			4	2,17	2,7	7	200 x 350 x 39
	47			5	1,80	3,3	9	200 x 350 x 47
200 x 400	31	2	6	3	3,13	2,5	7	200 x 400 x 31
	39			4	2,48	3,1	8	200 x 400 x 39
	47			5	2,06	3,8	10	200 x 400 x 47
250 x 300	31	2	6	3	2,93	2,3	6	250 x 300 x 31
	39			4	2,33	2,9	8	250 x 300 x 39
	47			5	1,93	3,5	10	250 x 300 x 47
	55			6	1,65	4,1	11	250 x 300 x 55
250 x 400	31	2	6	3	3,91	3,1	8	250 x 400 x 31
	39			4	3,10	3,9	11	250 x 400 x 39
	47			5	2,57	4,7	13	250 x 400 x 47
	55			6	2,20	5,5	15	250 x 400 x 55



CARICO MASSIMO VERTICALE											
v_x (± mm)											
0	5	10	15	20	30	40	50	75	100	125	150
$F_{z, ULS}$ kN											
60	56										
44	41	38									
121	113	106									
89	83	78									
187	175	160									
138	130	120									
510	465	425	385								
499	475	460	430	395							
720	660	600	540								
701	670	645	610	560							
940	855	780	705								
913	875	840	795	730							
1145	1070	995	925	860							
1225	1155	1090	1025	960							
1075	1045	1015	985	955	895						
1515	1415	1320	1225	1135							
1620	1530	1440	1355	1270							
1419	1360	1340	1300	1260	1180						
1900	1775	1650	1535	1420							
2030	1915	1805	1695	1590							
1779	1725	1680	1630	1580	1480						
2295	2145	1995	1855	1715							
2415	2315	2180	2050	1925							
2148	2085	2025	1965	1905	1790						
1850	1720	1600	1480	1365							
2095	1985	1870	1765	1660							
2245	2140	2035	1935	1840	1650						
2275	2225	2150	2055	1960	1780	1610					
2845	2650	2465	2280	2100							
3085	3020	2885	2715	2555							
3085	3020	2950	2885	2820	2540						
3085	3020	2950	2885	2820	2685	2480					

LEGENDA

a	larghezza (dimensione minore)
b	lunghezza (dimensione maggiore)
h_{tot}	altezza totale
t_s	spessore lamierini interni
t_i	spessore singolo strato in elastomero
n	numero strati in elastomero interni
K_x	rigidezza orizzontale
Vol	volume
W	peso
v	spostamento massimo orizzontale in direzione della dimensione a
$F_{z, ULS}$	carico massimo verticale