

Progettazione di una passerella pedonale in acciaio presso il Presidio Ospedaliero di Esine (BS)

Ing. Salvatore Bonfiglio, Asola (MN) – ing.salvobonfiglio@gmail.com

PREMESSA

Di seguito verrà riportata una descrizione sintetica della modellazione, dei calcoli e delle relative verifiche strutturali dei manufatti in c.a. gettati in opera e delle opere in acciaio facenti parte della passerella pedonale in acciaio realizzata presso il Presidio Ospedaliero di Esine, così come previsto al §10.1 del Decreto ministeriale (infrastrutture) 14 gennaio 2008: “Norme Tecniche per le Costruzioni” di seguito denominato NTC08.

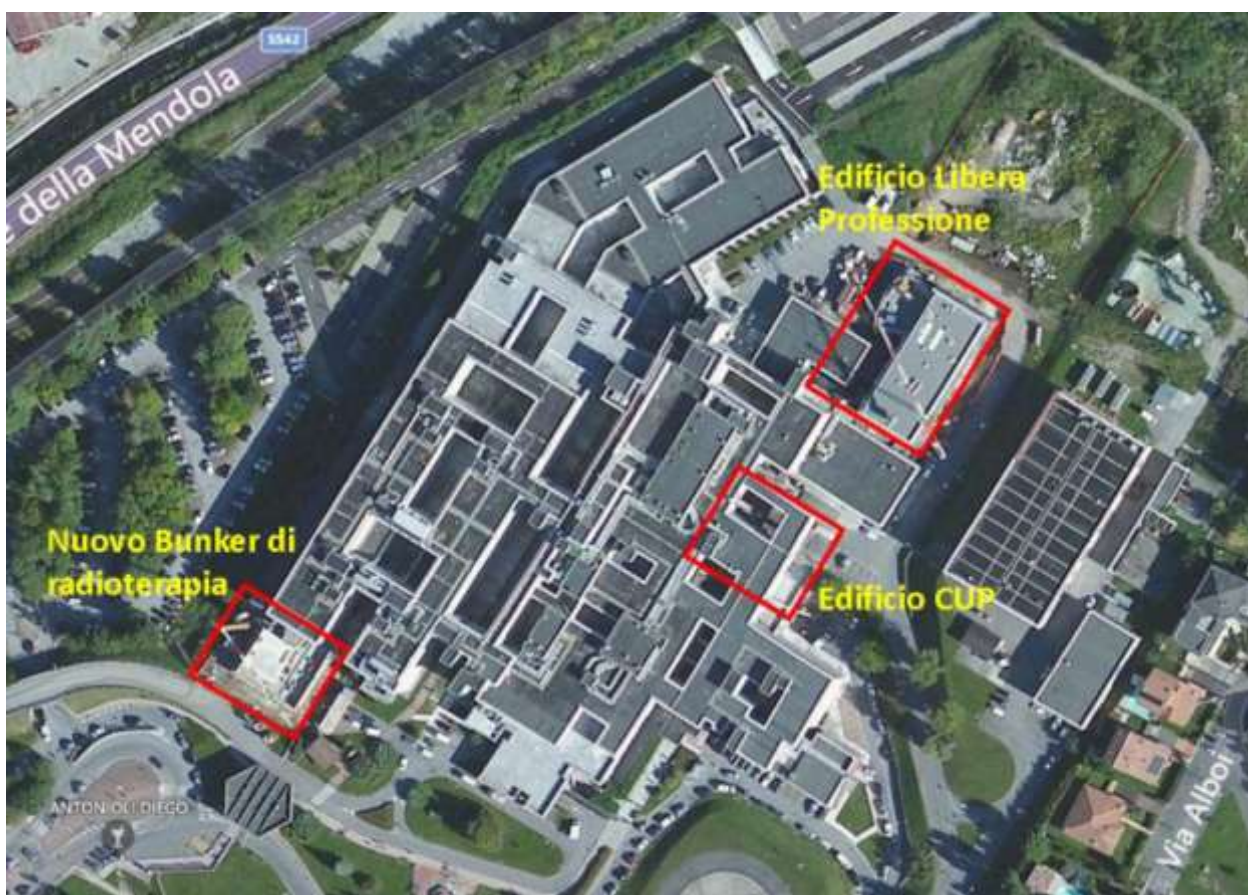


Figura 1: ubicazione dell'intervento.

La passerella collegherà l'edificio CUP esistente ed il nuovo edificio adibito ad uffici per la libera professione e scuola infermieri. Di quest'ultimo è già stata personalmente sviluppata la parte strutturale, come del resto, sempre all'interno del complesso dell'Ospedale di Esine, anche per le strutture in c.a. baritico del bunker di radioterapia.

I lavori di realizzazione della passerella sono iniziati in data 30/12/2013 e le opere strutturali sono state ultimate in data 31/07/2014.

DESCRIZIONE DELLE OPERE STRUTTURALI

Le figure 2 e 3 riportano delle viste 3D del modello di calcolo della passerella di collegamento, realizzato con il software ad elementi finiti MasterSap di AMV.

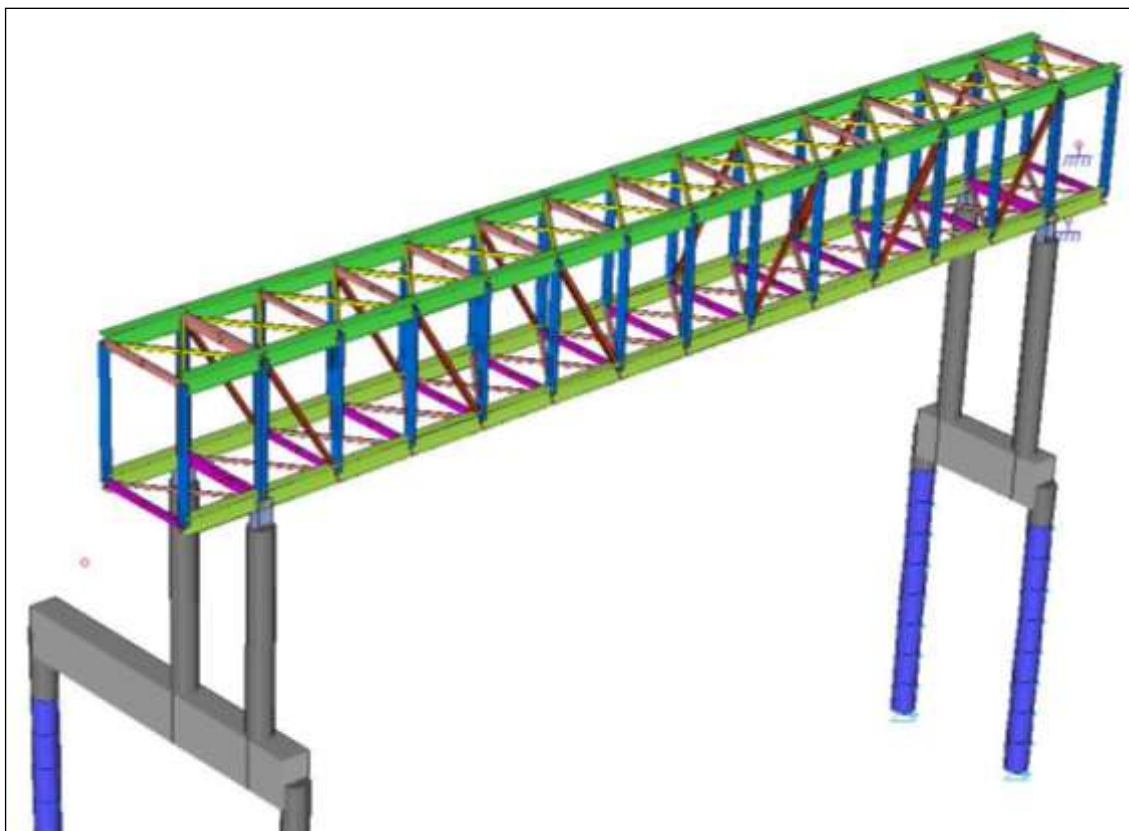


Figura 2: vista assometrica del modello di calcolo ad elementi finiti, realizzato con MasterSap di AMV.

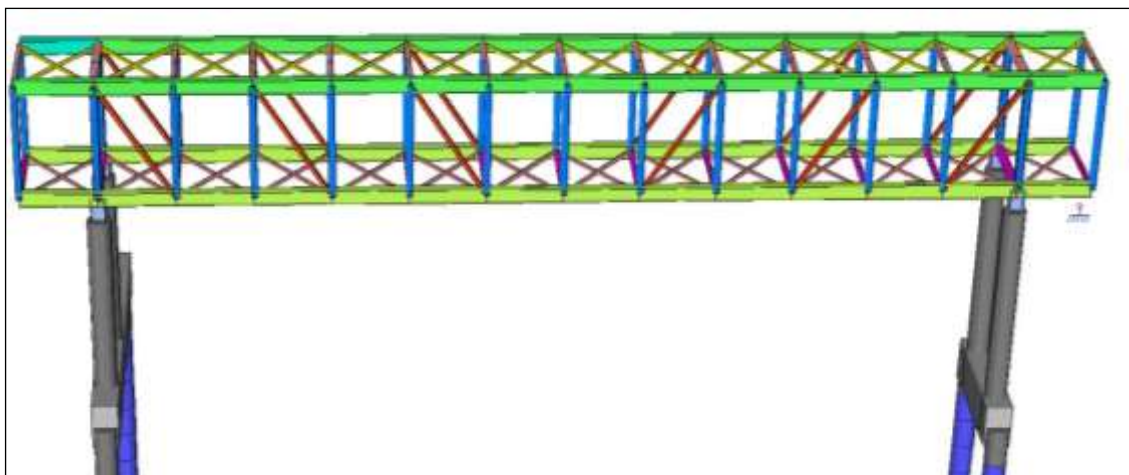


Figura 3: vista frontale del modello di calcolo ad elementi finiti, realizzato con MasterSap di AMV.

L'opera è composta da un impalcato realizzato con due coppie di correnti HE450A di lunghezza 32 m circa. Il corrente inferiore è connesso al rispettivo corrente superiore da puntoni realizzati con profili HE180B disposti con passo regolare di 230 cm e formanti n.14 campate. Per limitare gli spostamenti verticali sono stati predisposti n.6 diagonali, disposti simmetricamente rispetto la mezzeria dei correnti e composti da n.2 UPN120 bullonati a piastre di spessore 8 mm.

L'asse del corrente inferiore dista dall'asse del rispettivo corrente superiore di 367 cm.

Planimetricamente l'interasse dei correnti è di 291cm.

Il solaio a quota 266,89 (-0,05) è realizzato da una lamiera grecata tipo HiBond 55 di spessore 8/10 e da un getto di calcestruzzo Rck 35 MPa e presenta una altezza totale di 9cm.

La lamiera grecata è poggiata su delle travi HE140A saldate ai correnti e connessi con la lamiera stessa tramite connettori tipo Tecnaria CTF 12/70 disposti in numero di 9 per ogni trave con un passo di 30cm.

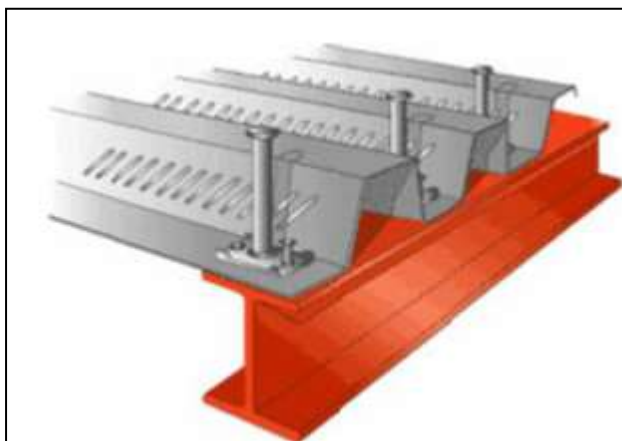
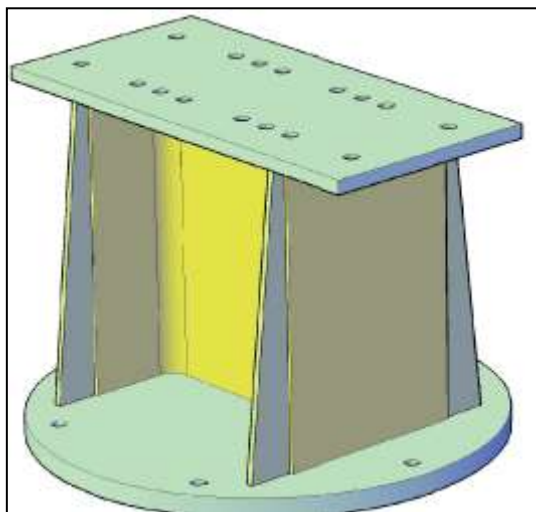


Figura 4: particolare della connessione tra lamiera e travi HE140A

Per irrigidire nel proprio piano l'impalcato a quota 266,89 (-0,05) sono state predisposte delle diagonali realizzate con profili UPN120 bullonate a piastre di spessore 5mm.

Fatta eccezione per la lamiera grecata, l'impalcato a quota 270,65 (+3,71) è perfettamente uguale all'impalcato inferiore. La copertura viene realizzata tramite un pannello sandwich tipo Isopan Isodeck 40-1000 con lamiera sp.1,0mm in acciaio, spessore totale pannello 70mm. Il pannello è caratterizzato da un opportuno potere antirombo. La finitura esterna avviene tramite un primo strato di manto in guaina impermeabile bituminosa ed un secondo strato di guaina liquida colorata tipo Oriplast Reflex.

La struttura in acciaio poggia su n.4 colonne in c.a. di diametro 70cm.



Il collegamento tra correnti inferiori e colonne in c.a. avviene tramite un capitello in acciaio con piastra di base circolare del diametro di 70cm e spessore di 30mm e n.6 tirafondi $\Phi 20$ L=125, annegati nel getto del pilastro, realizzati con tondini di acciaio B450C e aventi gli ultimi 10cm filettati.

Le colonne in c.a. sono posizionate, rispettivamente, tra la prima e la seconda campata e tra la penultima ed ultima campata. L'interasse tra gli appoggi risulta essere di 27,60m. La prima e l'ultima campata sono realizzate a sbalzo rispetto

gli appoggi.

Figura 5: particolare del capitello in acciaio.

I pilastri saranno realizzati mediante l'utilizzo di casseforme circolari in acciaio adatte alla realizzazione di opere in c.a. a facciavista. Prima del getto del pilastro denominato 1Y dovranno essere predisposte n.2 termocoppie tipo K, adatte a misurazione della temperatura di tipo aereo.

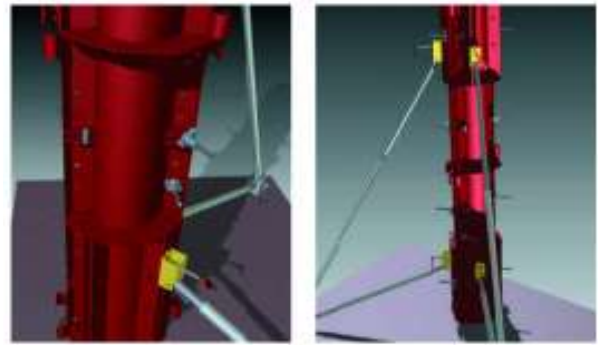


Figura 6: particolare del cassero circolare.

Le termocoppie saranno alloggiate all'interno di tubi corrugati di diametro nominale opportuno e saranno collegate ad un termometro digitale dotato di memoria interna e capace di registrare i valori della temperatura che si svilupperà all'interno del pilastro durante la maturazione del calcestruzzo.

La scasseratura dei pilastri potrà avvenire solo dopo che la D.L. avrà acquisito i dati della temperatura e, analizzati gli stessi, avrà rilasciato nulla osta scritto.

Le opere di fondazione sono costituite da n.4 pali trivellati in c.a. del diametro di 70cm. La necessità di utilizzare i pali deriva dalla presenza degli edifici esistenti che impediscono materialmente di adoperare delle fondazioni di tipo superficiali a plinto. In particolare tra l'edificio che ospita il CUP e la cucina vi è una cameretta interrata che permette il passaggio di impianti.

La presenza di questi sotto servizi impone un interasse tra i pali, in questa zona, di 963cm.

I pali, in testa, sono collegati da una trave in c.a. di sezione 80cmx140cm, di cui la foto documenta l'armatura.



Figura 7: armatura trave di collegamento dei pali.

L'intradosso della trave risulta sconnessa dell'estradosso della piastra di copertura della cameretta dei sotto servizi di circa 3cm, in modo che la trave possa deformarsi senza poggiarsi sulla piastra stessa.

In prossimità della palazzina "Libera Professione" i pali sono realizzati con un interasse di 491cm. Anche questi risultano collegati in testa da una trave in c.a. di sezione 80x140. Le 4 colonne in c.a. scaricano sulle travi di collegamento dei pali.

La connessione tra la passerella e gli edifici esistenti avviene a mezzo di idonei giunti sismici, del tipo Jointec GE-AN-44, in grado di consentire gli spostamenti propri della passerella dovuti all'evento tellurico evitando fenomeni di martellamento con le altre strutture. La distanza tra le strutture contigue è stata dimensionata nel rispetto delle prescrizioni delle NTC.08. Per maggiori dettagli inerenti la posizione e le dimensioni delle cornici fare riferimento agli elaborati grafici strutturali.

L'interazione struttura terreno sarà schematizzata mediante l'utilizzo di elementi finiti "molle lineari" capaci di schematizzare la portanza laterale, la portanza di punta e la rigidezza trasversale palo-terra. La rigidezza delle molle varia con la profondità del palo e viene determinata in automatico dal programma di calcolo in funzione di alcuni parametri geomeccanici del terreno di sedime.

La relazione geotecnica del progetto è stata redatta in modo da soddisfare le prescrizioni del capitolo 6 del D.M. 14/01/08 e del punto 3.1 della OPCM n°3274.

CAPITELLO IN ACCIAIO.

Il collegamento tra pilastri in c.a. e struttura in acciaio avviene tramite un “capitello” in acciaio posto in testa ai pilastri e connesso a questi mediante n.6 tirafondi $\Phi 20$ realizzati con tondini in acciaio B450C di lunghezza totale 125cm aventi il tratto esterno filettato per una lunghezza di 10cm circa.

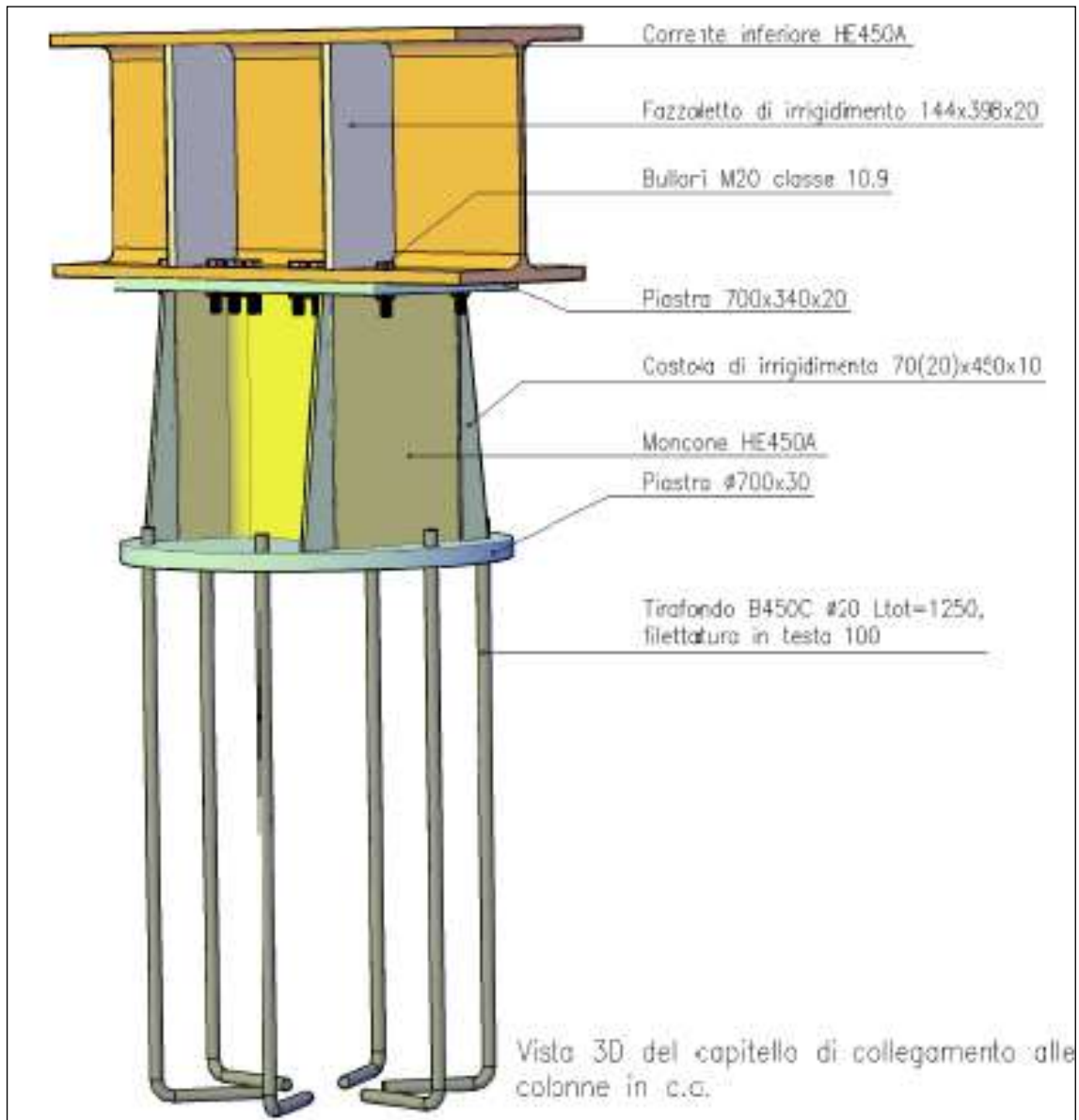


Figura 8: particolare 3D del capitello di collegamento.

VERIFICA AGLI STATI LIMITE DI VIBRAZIONE DEL SOLAIO.

Come già detto, il solaio a quota 266,89 (-0,05) è realizzato da una lamiera grecata tipo HiBond 55 di spessore 8/10 e da un getto di calcestruzzo Rck 35 MPa e presenta una altezza totale di 9cm.

La lamiera grecata è poggiata su delle travi HE140A saldate ai correnti e connessi con la lamiera stessa tramite connettori tipo Tecnaria CTF 12/70 disposti in numero di 9 per ogni trave con un passo di 30cm. Di seguito si affronteranno le verifiche agli stati limite di vibrazione del solaio. Queste verifiche hanno lo scopo di controllare che la frequenza di vibrazione del solaio sia tale da garantire il comfort dell'utenza.

La frequenza propria di un solaio semplicemente appoggiato alle estremità, in campo lineare elastico, ovvero in assenza di parzializzazione della sezione, in assenza di sforzo normale e di oscillazioni longitudinali e torsionali, ma solo per flessione retta verticale, risulta:

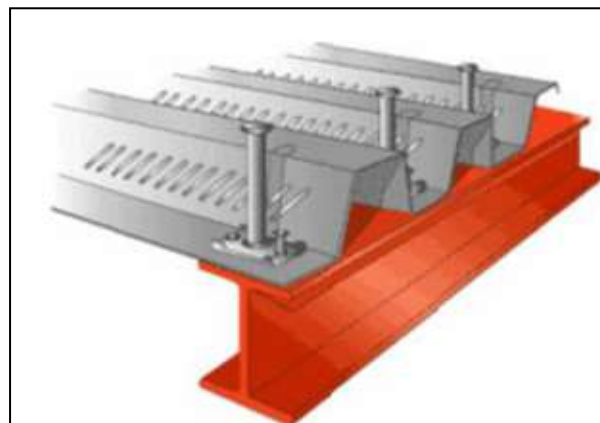


Figura 9: particolare dell'attacco fra trave HEA e lamiera grecata.

		$f = \frac{2}{\pi} \sqrt{\frac{3 EI}{0.49 \mu l^4}}$	$M_{mod} = 0.5 \mu l$
E	Young's modulus [N/m ²]		
I	Moment of inertia [m ⁴]		
μ	Distributed mass m of the floor (see page 33) multiplied by the floor width [kg/m]		
l	Length of beam [m]		
E lamiera	2100000	[kg/cmq]	
E cls	337217	[kg/cmq]	
J lamiera	187,75	[cm ⁴]	
A lamiera	36,30	[cm ²]	
g lamiera	2,81	[cm]	
P lamiera	28,50	[kg]	
J cls	11145,00	[cm ⁴]	
A cls	1781,83	[cm ²]	
q cls	5,46	[cm]	
P cls	445,46	[kg]	
L	230	[cm]	
p	281	[kg/mq]	
q	300	[kg/mq]	
n	6,23		
A	322,43	[cm ²]	
Y_g	5,16	[cm]	
J	2204,48	[cm ⁴]	
f	15,6	[Hz]	Frequenza fondamentale del solaio
M_{mod}	1944	[kg]	

Figura 10: calcolo della frequenza fondamentale del solaio.

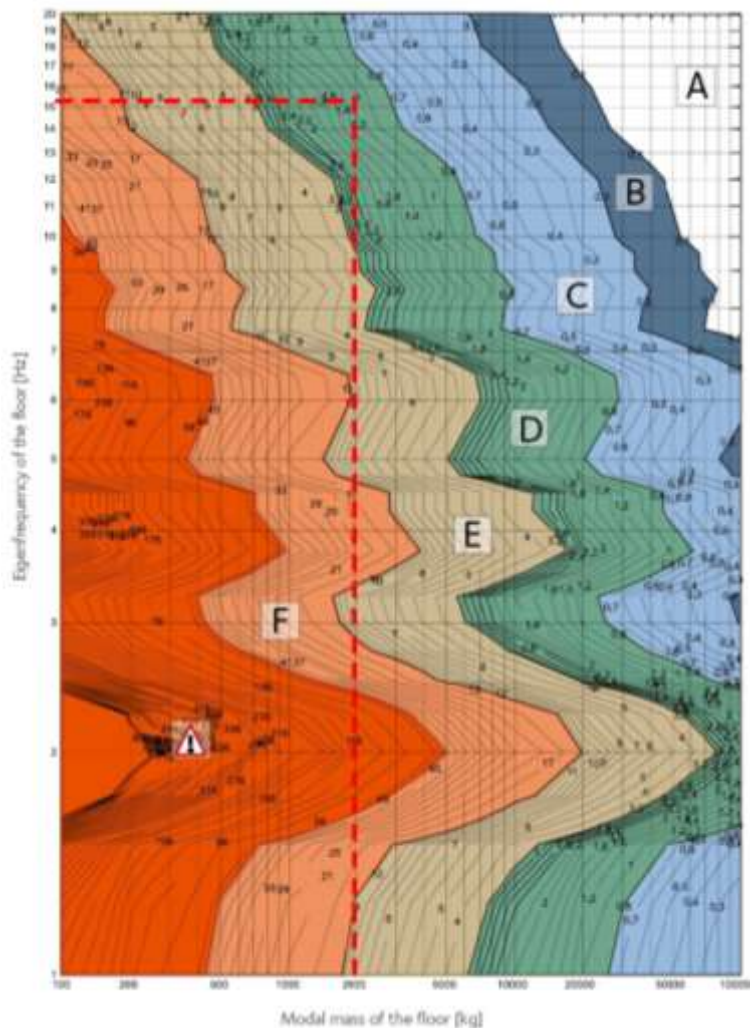


Figura 11: diagramma che associa la massa eccitata alla frequenza di vibrazione del solaio, individuando uno stato d'essere del solaio.

La tabella riportata nella pagina precedente ed il diagramma riportato in questa pagina sono stati sviluppati dal RFCS-Project “Vibration of floor”. Sviluppando le formule per il caso in esame e calcolando la frequenza fondamentale di vibrazione del solaio e la massa modale eccitata si individua un punto all’interno del diagramma. Per il caso in esame tale punto ricade in una zona di “comfort”.

VERIFICHE DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI IN ACCIAIO.

Viene qui riportato un breve estratto delle verifiche delle strutture in acciaio.

Nelle prime immagini sono rappresentati gli stati di sollecitazione sul telaio e sulle diagonali, ottenuti dal modello di calcolo ad elementi finiti realizzato con MasterSap di AMV.

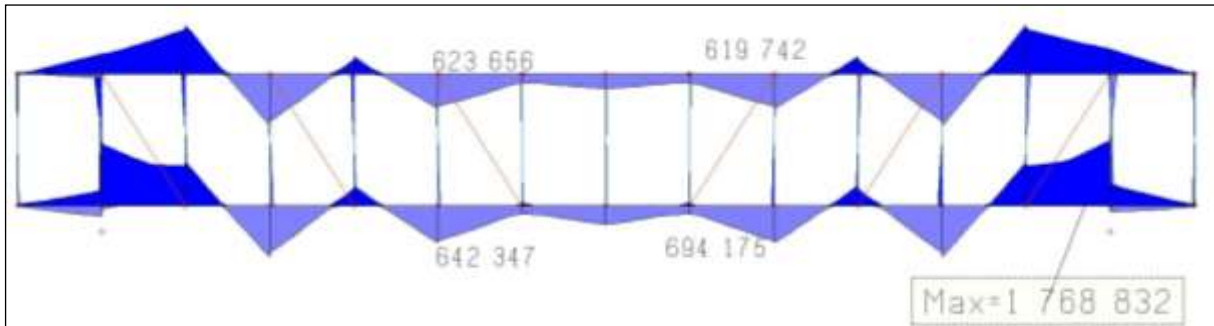


Figura 12: momento flettente M_z sul piano verticale.

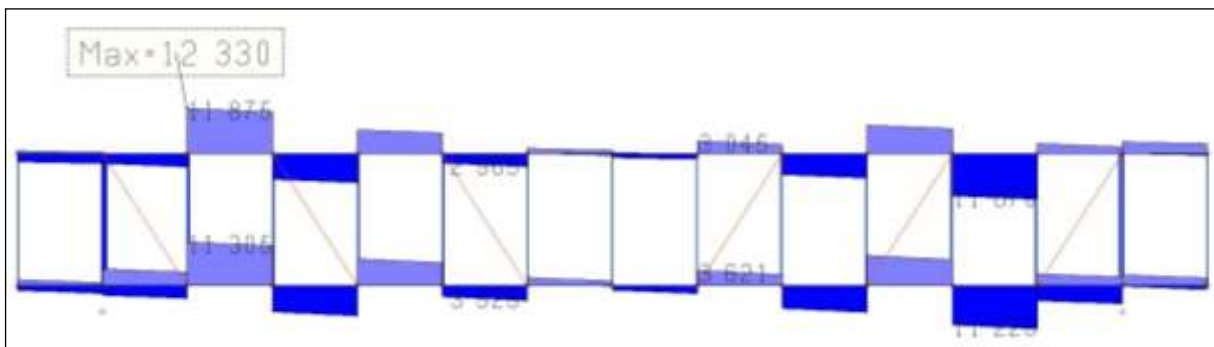


Figura 13: momento flettente M_y sul piano orizzontale.

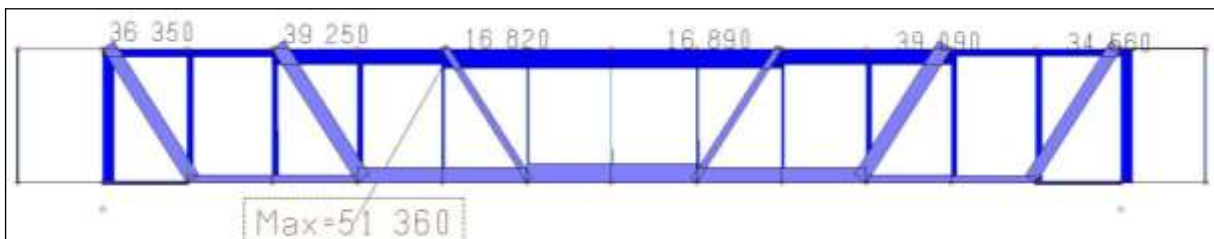


Figura 14: sforzo normale N .

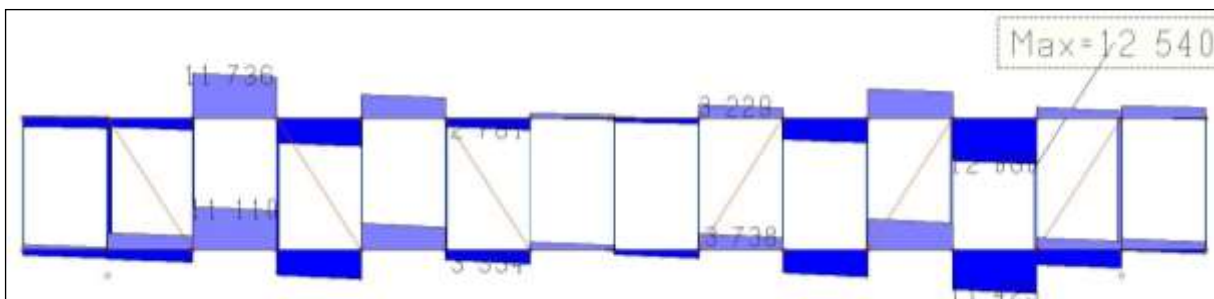


Figura 15: taglio F_y .

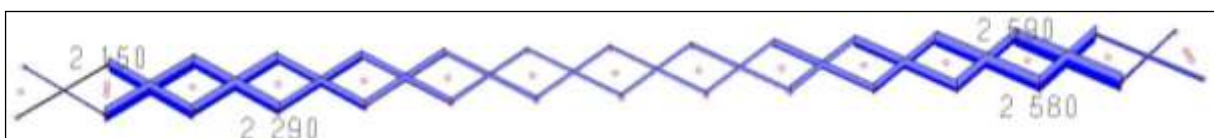


Figura 16: sforzo normale N sulle diagonali inferiori.

Le precedenti immagini raffigurano gli involuipi per tutte le combinazioni di carico agli SLV dei diagrammi del Momento flettente, Azione tagliante, Sforzo normale rispettivamente per il telaio X e per il telaio Y.

Le verifiche puntuali sono effettuate in automatico dal programma di calcolo. Di seguito si riporta il diagramma del coefficiente di utilizzo delle sezioni strutturali.

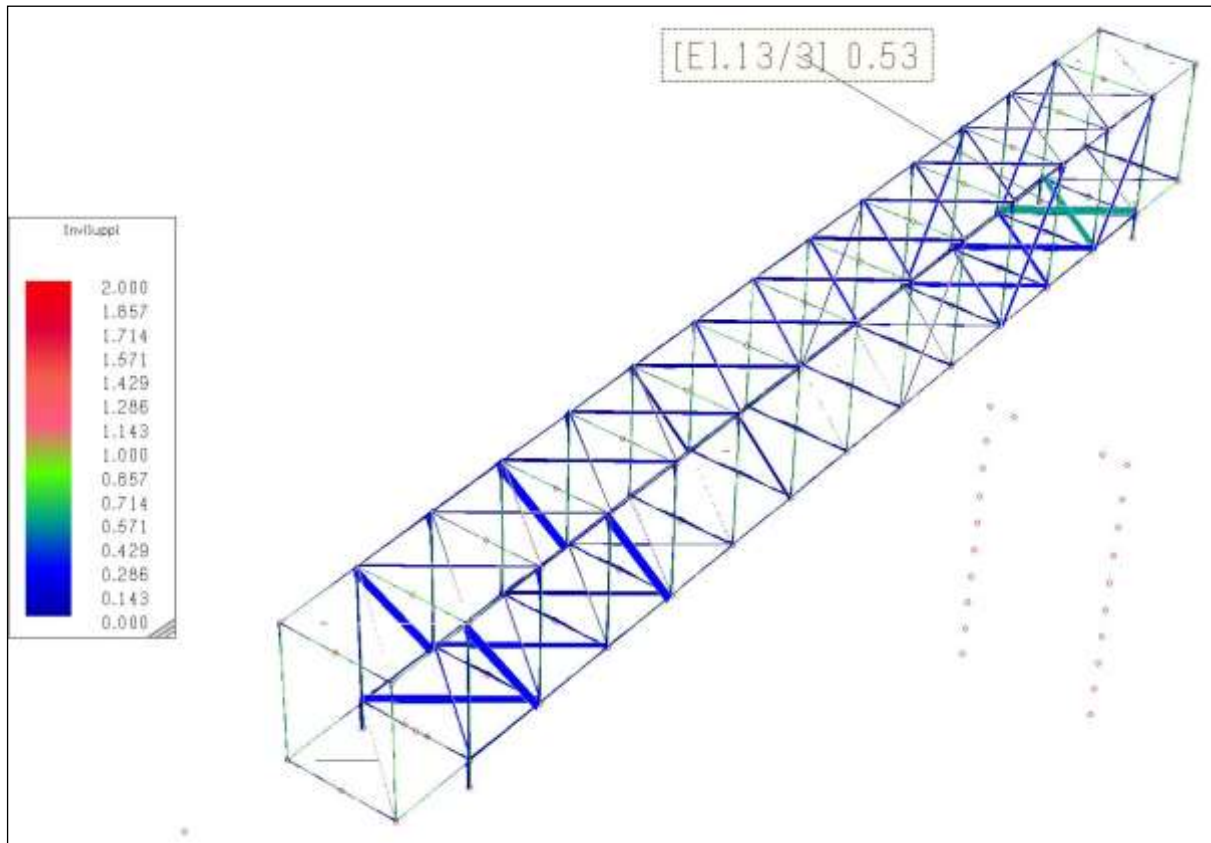


Figura 17: coefficienti di utilizzo della struttura metallica.

Da quanto riportato nella figura precedente l'elemento in acciaio della passerella più sfruttato risulta avere un coefficiente di utilizzo pari a 53% della propria resistenza ultima di progetto, e pertanto l'intera struttura risulta essere largamente verificata.

VERIFICA DELLA CONNESSIONE BULLONATA DEI CORRENTI

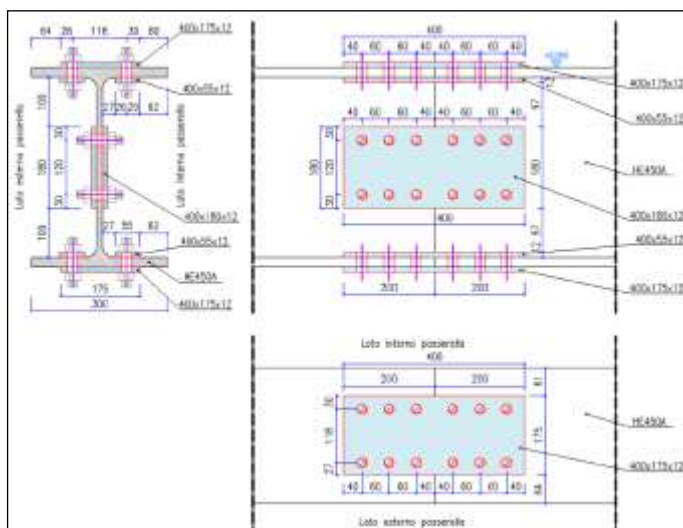


Figura 18: particolare del collegamento bullonato dei correnti.

Caratteristiche geometriche e meccaniche Bulloncino	Di	442 (mm)				
	Di	11 (mm)				
	Di	83175 (mm)				
	Di	85,72 (mm)				
	Di	3215,97 (mm)				
Valori della tensione e della deformazione	N ₁₀	39498 (kg)	12980	Valore massimo carico legante di progetto in kg	1,5	18120 N ₁₀ (kg)
	N ₁₀	94225,17 (kg/cm)	179163	Valore massimo carico del momento flessione di progetto in kg/cm	1,5	268143,5 N ₁₀ (kg)
			43850	Valore massimo Trazione di progetto in kg	1,5	91260 N ₁₀ (kg)
	M ₁₀	24420 (kg/cm)		Aspetto di momento flessione massimo dell'armatura		
	M ₁₀	24424 (kg/cm)		Aspetto di momento flessione massimo della rete		
Aspetti di calcolo	gamma ₁	1,40 (mm)				
	gamma ₂	1,40 (mm)				
	gamma ₃	1,40 (mm)				
	gamma ₄	1,40 (mm)				
	gamma ₅	1,40 (mm)				
Validità del bullone	V ₁₀ (kg)	7344 (kg)	Autore tagliando agente sulle viti sezione del viti bullone dell'armatura	74,34%	Coefficiente di utilizzo	
	V ₁₀ (kg)	8360 (kg)	Autore tagliando agente sulle viti sezione del viti bullone dell'armatura	85,33%	Coefficiente di utilizzo	
Caratteristiche del bullone	g ₁₀	1,20				
	Bullone	30 (mm)				
	Arma ₁₀	240 (mm)				
	Classe 10.9 f _{yk}	355 (MPa)				
	Classe 10.9 f _{yk}	355 (MPa)				
Caratteristiche del bullone e della piastra	N ₁₀	9950 (kg)	Resistenza di calcolo agli SLI della singola sezione del viti bullone			
	Arma ₁₀	240 (mm)				
	Arma ₁₀	240 (mm)				
	Arma ₁₀	240 (mm)				
	Arma ₁₀	240 (mm)				
Verifica e dimensionamento della piastra	gamma ₁	1,40				
	gamma ₂	1,40				
	gamma ₃	1,40				
	gamma ₄	1,40				
	gamma ₅	1,40				
Verifica e dimensionamento della piastra	gamma ₁	1,40				
	gamma ₂	1,40				
	gamma ₃	1,40				
	gamma ₄	1,40				
	gamma ₅	1,40				
Verifica e dimensionamento della piastra	gamma ₁	1,40				
	gamma ₂	1,40				
	gamma ₃	1,40				
	gamma ₄	1,40				
	gamma ₅	1,40				
Verifica e dimensionamento della piastra	gamma ₁	1,40				
	gamma ₂	1,40				
	gamma ₃	1,40				
	gamma ₄	1,40				
	gamma ₅	1,40				
Verifica e dimensionamento della piastra	gamma ₁	1,40				
	gamma ₂	1,40				
	gamma ₃	1,40				
	gamma ₄	1,40				
	gamma ₅	1,40				
Verifica e dimensionamento della piastra	gamma ₁	1,40				
	gamma ₂	1,40				
	gamma ₃	1,40				
	gamma ₄	1,40				
	gamma ₅	1,40				
Verifica e dimensionamento della piastra	gamma ₁	1,40				
	gamma ₂	1,40				
	gamma ₃	1,40				
	gamma ₄	1,40				
	gamma ₅	1,40				
Verifica e dimensionamento della piastra	gamma ₁	1,40				
	gamma ₂	1,40				
	gamma ₃	1,40				
	gamma ₄	1,40				
	gamma ₅	1,40				
Verifica e dimensionamento della piastra	gamma ₁	1,40				
	gamma ₂	1,40				
	gamma ₃	1,40				
	gamma ₄	1,40				
	gamma ₅	1,40				
Verifica e dimensionamento della piastra	gamma ₁	1,40				
	gamma ₂	1,40				
	gamma ₃	1,40				
	gamma ₄	1,40				
	gamma ₅	1,40				
Verifica e dimensionamento della piastra	gamma					

Figura 19: verifiche del collegamento in formato tabellare.

Nella precedente tabella sono state riportate in forma tabellare le verifiche del collegamento per la condizione di carico più gravosa. Sono inoltre state effettuate la verifica a taglio dei bulloni e la verifica a rifollamento della piastra. Tutte le verifiche risultano soddisfatte.

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Figura 20: fase di assemblaggio della carpenteria.



Figura 21: fase di montaggio.



Figura 22: fasi terminali del montaggio.



Figura 23: operazioni di collaudo.