

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile

Tesi di Laurea Magistrale

Ponti e passerelle pedonali in alluminio



Relatore

Bernardino Chiaia

Azienda

St Facade Technology Srl

Candidato

Daniele Koetting

Anno Accademico 2019/2020

INDICE

PREMESSA	5
INTRODUZIONE	6
CAPITOLO 1: L'ALLUMINIO.....	7
1.1 PRODUZIONE	7
1.2 LE LEGHE DI ALLUMINIO	9
1.3 CARATTERISTICHE FISICHE	14
1.4 I PROFILI IN LEGA DI ALLUMINIO.....	22
1.5 LE UNIONI.....	24
1.5.1 Le unioni chiodate	24
1.5.2 Le unioni bullonate.....	25
1.5.3 Le unioni saldate	28
1.5.4 I collegamenti fra le membrature	35
CAPITOLO 2: LE PASSERELLE PEDONALI	36
2.1 CLASSIFICAZIONE DEI PONTI	36
2.2 AZIONI SULLE PASSERELLE PEDONALI	47
CAPITOLO 3: LE PROPOSTE DI PASSERELLE PEDONALI MODULARI	49
3.1 RELAZIONE STRUTTURALE DELLA PRIMA PROPOSTA DI PASSERELLA PEDONALE IN ALLUMINIO MODULARE.....	50
3.1.1 Descrizione	50
3.1.2 Software di analisi strutturale.....	55
3.1.3 Principi di progettazione	56
3.1.4 Materiali e sezioni	56
3.1.5 Casi di carico e combinazioni	58
3.1.6 Metodo di analisi	65
3.1.7 Deformazioni.....	65
3.1.8 Verifica delle membrature.....	69
3.1.9 Verifica dei collegamenti	83
3.2 RELAZIONE STRUTTURALE DELLA SECONDA PROPOSTA DI PASSERELLA PEDONALE IN ALLUMINIO MODULARE.....	102

3.2.1	Descrizione	102
3.2.2	Software di analisi strutturale	107
3.2.3	Principi di progettazione	107
3.2.4	Materiali e sezioni	108
3.2.5	Casi di carico e combinazioni	111
3.2.6	Metodo di analisi	118
3.2.7	Deformazioni	118
3.2.8	Verifica delle membrature	122
3.2.9	Verifica dei collegamenti	136
3.3	RELAZIONE STRUTTURALE DELLA TERZA PROPOSTA DI PASSERELLA PEDONALE IN ACCIAIO MODULARE.....	154
3.3.1	Descrizione	154
3.3.2	Software di analisi strutturale	159
3.3.3	Principi di progettazione	159
3.3.4	Materiali e sezioni	160
3.3.5	Casi di carico e combinazioni	161
3.3.6	Metodo di analisi	169
3.3.7	Deformazioni	169
3.3.8	Verifica delle membrature	172
3.3.9	Verifica dei collegamenti	187
	CONCLUSIONI.....	206
	BIBLIOGRAFIA	208

PREMESSA

L'obiettivo principale dello studio è quello di ottenere più opzioni di passerelle pedonali in alluminio modulari.

Lo studio è commissionato dall'Associazione dell'Alluminio e dalla UC Rusal, la maggior produttrice mondiale di alluminio e di prodotti di allumina, e l'intermediazione è svolta da St Facade Technology Srl.

Le passerelle pedonali in alluminio modulari dovranno essere dotate di copertura di protezione da neve e pioggia.

Il materiale deve essere esclusivamente l'alluminio, escluso bulloneria, basamento e strutture principali, eseguibili in calcestruzzo armato o acciaio.

Lo studio può seguire due casi:

- passerelle per l'attraversamento della tangenziale di Mosca (43 m di luce);
- passerelle per l'attraversamento dei binari ferroviari (15 m di luce).

INTRODUZIONE

I materiali tradizionali impiegati nella costruzione di ponti sono il calcestruzzo armato e l'acciaio.

I principali svantaggi che si hanno con l'impiego di questi due materiali sono:

- l'uso di mezzi per il trasporto eccezionale;
- l'uso di attrezzature per il sollevamento pesante;
- l'insorgenza di fenomeni corrosivi.

La costruzione di ponti in lega di alluminio consente un notevole risparmio economico durante il ciclo di vita dell'opera.

Le proprietà meccaniche delle leghe di alluminio consentono di progettare e fabbricare strutture con un basso peso proprio così da ridurre il carico in fondazione. Inoltre è possibile montare la struttura con grandi blocchi o l'intera struttura in aree difficili utilizzando meno attrezzature di sollevamento.

I principali vantaggi dell'alluminio sono:

- il peso ridotto: il peso dell'alluminio è circa un terzo di quello dell'acciaio; questo rende più facile il trasporto e l'installazione delle strutture in alluminio;
- l'elevata resistenza meccanica: la resistenza a trazione delle leghe strutturali è paragonabile a quella degli acciai strutturali;
- l'ottima resistenza alla corrosione: in genere nessun rivestimento è necessario;
- la non emissione di sostanze nocive se riscaldato e le basse emissioni di CO₂ nell'atmosfera in fase di produzione;
- la facilità di pulizia: le strutture in alluminio non attraggono lo sporco e la polvere e non richiedono strumenti speciali per la pulizia;
- la possibilità di riciclo con risorse minime.

CAPITOLO 1: L'ALLUMINIO

1.1 PRODUZIONE

L'alluminio è estratto dalla bauxite, una roccia sedimentaria che costituisce la principale fonte per la produzione dell'alluminio. I componenti principali di questo minerale sono gli ossidi e gli idrossidi di alluminio e di ferro.

L'estrazione della bauxite è relativamente semplice ma il processo per ottenere l'alluminio grezzo è complesso e prevede due fasi:

- una chimica che permette di ottenere l'allumina;
- una elettrolitica in cui dall'allumina si ottiene il metallo.

Il metallo grezzo viene colato in apposite forme così da ottenere il lingotto, il prodotto grezzo. A partire dai lingotti si ottengono i semilavorati, prodotti intermedi, da cui ha inizio la fabbricazione dei semiprodotti.

I semilavorati vengono laminati a caldo così da ottenere le lamiere. Per ridurre lo spessore della lamiera si esegue una laminazione a freddo, che migliora la resistenza meccanica del materiale lavorato.

Gli elementi costruttivi in lega di alluminio possono essere prodotti per:

- laminazione;
- trafilatura;
- fusione;
- estrusione mediante una pressa.

L'estrusione, a differenza della laminazione, consente di produrre pezzi a sezione costante, profili, di forma qualsiasi.

L'estrusione consente inoltre di:

- migliorare le caratteristiche geometriche delle sezioni;

- ottenere profilati nervati ed irrigiditi.

Il procedimento di estrusione prevede le seguenti fasi:

- il riscaldamento della billetta nel forno;
- l'estrusione del profilo per mezzo del passaggio della billetta spinta dalla pressa attraverso la matrice;
- il raffreddamento e il taglio del profilo;
- il raddrizzamento del profilo.

1.2 LE LEGHE DI ALLUMINIO

Le leghe di alluminio, leghe leggere, possiedono un'ottima duttilità, un'ottima resistenza alla corrosione e una resistenza meccanica maggiore di quella dell'alluminio puro.

Gli elementi che si possono aggiungere in lega all'alluminio si distinguono in:

- leganti: elementi che determinano le caratteristiche della lega;
- additivi: elementi che modificano le proprietà della lega.

I leganti sono:

- il magnesio: riduce la temperatura di fusione, rende più efficace l'incrudimento, rafforzamento in seguito a deformazione plastica a freddo, e conferisce resistenza alla corrosione marina;
- il silicio: riduce la temperatura di fusione, rende possibile l'indurimento per precipitazione, insieme di trattamenti termici atti al miglioramento delle caratteristiche meccaniche, del suo composto se addizionato con il magnesio e aumenta la resistenza meccanica e la duttilità;
- lo zinco: rende possibile l'indurimento per precipitazione del suo composto e aumenta notevolmente la resistenza meccanica ma può aumentare la sensibilità alla tensocorrosione, fenomeno di degrado dovuto all'azione combinata di corrosione e applicazione di un carico costante;
- il rame: rende possibile l'indurimento per precipitazione del suo composto e aumenta la resistenza meccanica ma riduce la resistenza alla corrosione, la duttilità, capacità di deformazione plastica, e la saldabilità.

Gli additivi sono:

- il nickel: aumenta la resistenza meccanica;
- il titanio: produce un affinamento dei grani cristallini con il conseguente rafforzamento del materiale dato che i bordi di grano impediscono il movimento delle dislocazioni;
- lo zirconio: stabilizza;
- il cromo: riduce la sensibilità alla tensocorrosione;

- il ferro: un'impurezza che in piccole quantità può aumentare la resistenza a trazione.

In base alle modalità di produzione, le leghe leggere si suddividono in:

- leghe da fonderia;
- leghe da lavorazioni plastiche.

In relazione al trattamento subito, le leghe di alluminio si distinguono in:

- leghe da incrudimento;
- leghe da trattamento termico.

Le caratteristiche meccaniche delle leghe da incrudimento possono essere aumentate solo mediante deformazione plastica a freddo e appartengono a questa categoria l'alluminio puro e le leghe Al-Mn, Al-Mg, Al-Mg-Mn.

Le caratteristiche meccaniche delle leghe da trattamento termico possono essere aumentate mediante l'esecuzione di opportuni trattamenti termici e appartengono a questa categoria le leghe Al-Mg-Si, Al-Zn-Mg-(Cu), Al-Cu-Mg.

Le leghe di alluminio formano famiglie di leghe che si differenziano per composizione chimica e comportamento:

- serie 1000 (alluminio puro o debolmente legato): l'alluminio puro possiede eccellente resistenza alla corrosione, elevata conducibilità termica, elevata conducibilità elettrica, buona lavorabilità, modeste caratteristiche meccaniche ($f_{0,2} \cong 30MPa$) e ottima duttilità ($\varepsilon_t \cong 30 \div 40\%$); le caratteristiche meccaniche possono essere migliorate (fino a $f_{0,2} \cong 100MPa$) con l'incrudimento ma la duttilità del materiale si riduce (fino a $\varepsilon_t \cong 3 \div 4\%$);
- serie 2000 (leghe alluminio-rame-magnesio) (Avional): le leghe di questa famiglia possono raggiungere caratteristiche meccaniche elevate ($f_{0,2} \cong 300MPa$) e una discreta duttilità ($\varepsilon_t \cong 10\%$) con i trattamenti termici e possiedono modesta resistenza alla corrosione, a causa della presenza del rame, e scarsa saldabilità;

- serie 3000 (leghe alluminio-manganese): le leghe di questa famiglia possiedono resistenza meccanica di poco superiore a quella dell'alluminio puro e buona resistenza alla corrosione;
- serie 4000 (leghe alluminio-silicio): le leghe di questa famiglia possiedono caratteristiche simili a quelle della serie 3000;
- serie 5000 (leghe alluminio-magnesio) (Peraluman): le leghe di questa famiglia possiedono ottima resistenza alla corrosione atmosferica e chimica e all'attacco della salsedine marina e caratteristiche meccaniche superiori a quelle delle serie 1000, 3000 e 4000 ($f_{0,2} \cong 100MPa$); le caratteristiche meccaniche possono essere migliorate (fino a $f_{0,2} \cong 250MPa$) con l'incrudimento ma la duttilità del materiale si riduce ($\varepsilon_t \cong 10\%$);
- serie 6000 (leghe alluminio-silicio-magnesio) (Anticorodal): le leghe di questa famiglia possono raggiungere caratteristiche meccaniche elevate (fino a $f_{0,2} \cong 250MPa$) con una discreta duttilità ($\varepsilon_t \cong 10\%$) con i trattamenti termici e possiedono buona resistenza all'attacco degli agenti atmosferici e chimici anche in ambiente marino;
- serie 7000 (leghe alluminio-zinco-magnesio) (Ergal): le leghe di questa famiglia se contengono rame possono raggiungere le caratteristiche meccaniche migliori tra tutte le leghe di alluminio (fino a $f_{0,2} \cong 500MPa$) con i trattamenti termici ma possiedono una scarsa resistenza all'attacco degli agenti atmosferici e chimici mentre se non contengono rame possiedono buone caratteristiche meccaniche ($f_{0,2} \cong 200MPa$), discreta duttilità ($\varepsilon_t \cong 10\%$) e buona resistenza alla corrosione atmosferica e chimica;
- serie 8000 (leghe miste): le leghe Al-Li possiedono bassa densità ($2,5 \div 2,6 \text{ gcm}^{-3}$), buona resistenza a fatica e buona tenacità;
- serie 9000 (serie sperimentale).

Le leghe di alluminio disponibili sono tante. Tuttavia le famiglie di leghe impiegate nella realizzazione dei ponti sono solo tre e possiedono buona resistenza alla corrosione e buona resistenza meccanica e sono:

- le leghe della serie 5000;

- le leghe della serie 6000;
- le leghe della serie 7000.

L'International Alloy Designation System (IADS) stabilisce la classificazione delle leghe di alluminio.

La classificazione delle leghe da lavorazioni plastiche utilizza un numero di quattro cifre.

La prima cifra indica il gruppo di lega:

- 1xxx – Alluminio puro al 99%;
- 2xxx – Leghe Al-Cu;
- 3xxx – Leghe Al-Mn;
- 4xxx – Leghe Al-Si;
- 5xxx – Leghe Al-Mg;
- 6xxx – Leghe Al-Mg-Si;
- 7xxx – Leghe Al-Zn;
- 8xxx – Leghe Al-altri elementi;
- 9xxx – Serie sperimentale.

La seconda cifra indica le modificazioni della lega originale. Se non ci sono modifiche la seconda cifra è 0.

Per il gruppo 1 le ultime due cifre indicano il livello di purezza della lega. Ad esempio la lega 1070 è caratterizzata da un contenuto di alluminio del 99,7%.

La classificazione delle leghe da fonderia utilizza un numero di quattro cifre con un punto decimale che separa la terza e la quarta cifra.

La prima cifra indica il gruppo di lega, l'elemento di lega principale:

- 1xx.x – Alluminio puro al 99%;
- 2xx.x – Leghe Al-Cu;
- 3xx.x – Leghe Al-Si-Cu, leghe Al-Si-Mg e leghe Al-Si-Cu-Mg;
- 4xx.x – Leghe Al-Si;
- 5xx.x – Leghe Al-Mg;
- 7xx.x – Leghe Al-Zn;

- 8xx.x – Leghe Al-Sn;
- 9xx.x – Leghe Al-altri elementi.

Per il gruppo 1 le seconde due cifre indicano il livello di purezza della lega. Ad esempio la lega 150.0 è caratterizzata da un contenuto di alluminio del 99,5%.

L'ultima cifra indica la forma del prodotto.

Lo stato metallurgico di una lega consiste in un simbolo che segue quello della composizione chimica e l'Associazione dell'Alluminio prevede:

- F - stato grezzo di fabbricazione;
- O - stato ricotto;
- H - stato incrudito;
- W - stato temprato;
- T - stato trattato termicamente.

1.3 CARATTERISTICHE FISICHE

Le proprietà più importanti dell'alluminio sono:

- leggerezza;
- eccellente resistenza alla corrosione: quando esposto agli agenti atmosferici il metallo si ricopre di un sottile strato protettivo di ossido che previene la corrosione;
- eccellente duttilità ($\varepsilon_t \cong 40\%$);
- scarsa resistenza meccanica ($f_{0,2} \cong 30MPa$).

La leggerezza consente:

- il facile montaggio della struttura;
- il trasporto di elementi interamente prefabbricati;
- la riduzione dei carichi in fondazione.

L'eccellente resistenza alla corrosione consente la riduzione delle spese di manutenzione.

Le caratteristiche meccaniche dell'alluminio puro possono essere migliorate (fino a $f_{0,2} \cong 100MPa$) con l'incrudimento ma la duttilità del materiale si riduce (fino a $\varepsilon_t \cong 3\div 4\%$). Per mantenere una buona duttilità la resistenza meccanica dell'alluminio può essere migliorata legandolo con altri metalli ma la resistenza alla corrosione si riduce. Per ottenere resistenze meccaniche elevate si possono trattare termicamente le leghe di alluminio.

Nella tabella di **figura 1.1** si riportano le proprietà fisiche a temperatura ambiente dell'alluminio puro e dell'acciaio.

PROPRIETA'	ALLUMINIO	ACCIAIO
Densità [kgm^{-3}]	2700	7850
Punto di fusione	660	1350

[°C]		
Coefficiente di dilatazione termica lineare [°C ⁻¹]	2×10^{-5}	10^{-5}
Calore specifico [cal / (g · °C)]	0,215	0,12
Conducibilità termica [cal · s ⁻¹ · cm ⁻¹ · °C ⁻¹]	0,55	0,06
Resistività elettrica [Ω cm]	$2,75 \times 10^{-6}$	15×10^{-6}
Modulo elastico [MPa]	68500	210000

Figura 1.1

Dalla tabella di **figura 1.1** si nota che:

- la densità dell'alluminio è circa un terzo di quella dell'acciaio;
- il modulo elastico è circa un terzo di quello dell'acciaio;
- il coefficiente di dilatazione termica lineare è doppio rispetto a quello dell'acciaio.

Nelle due tabelle di **figura 1.2** si riportano le caratteristiche fisiche di alcune leghe di alluminio e di alcuni acciai strutturali.

LEGA DI ALLUMINIO	2024-T3	7075-T6
$f_{0,2}$ [MPa]	320	500
f_t [MPa]	480	570
E [GPa]	70	

ε_t [%]	10 ÷ 25
γ [Nm^{-3}]	27000
α [$^{\circ}C^{-1}$]	2×10^{-5}

ACCIAIO	S 235	S 355
$f_{0,2}$ [MPa]	235	355
f_t [MPa]	360	510
E [GPa]	200	
ε_t [%]	25 ÷ 30	
γ [Nm^{-3}]	78500	
α [$^{\circ}C^{-1}$]	10^{-5}	

Figura 1.2

Dalla tabella di **figura 1.2** si nota che:

- le leghe della serie 2000 possiedono praticamente lo stesso limite elastico degli acciai S 355;
- il modulo elastico delle leghe di alluminio è circa un terzo di quello dell'acciaio;
- il coefficiente di dilatazione termica lineare α delle leghe di alluminio ha un valore doppio rispetto a quello dell'acciaio.

In generale le leghe di alluminio forniscono una vasta gamma di resistenze. Per contro, a causa del basso modulo di elasticità, il materiale risulta molto deformabile e sensibile ai fenomeni d'instabilità dell'equilibrio.

A causa dell'elevato coefficiente di dilatazione termica lineare, le strutture in lega di alluminio risultano molto sensibili alle variazioni termiche.

La **figura 1.3** riporta il diagramma σ - ε per un acciaio dolce e una lega di alluminio.

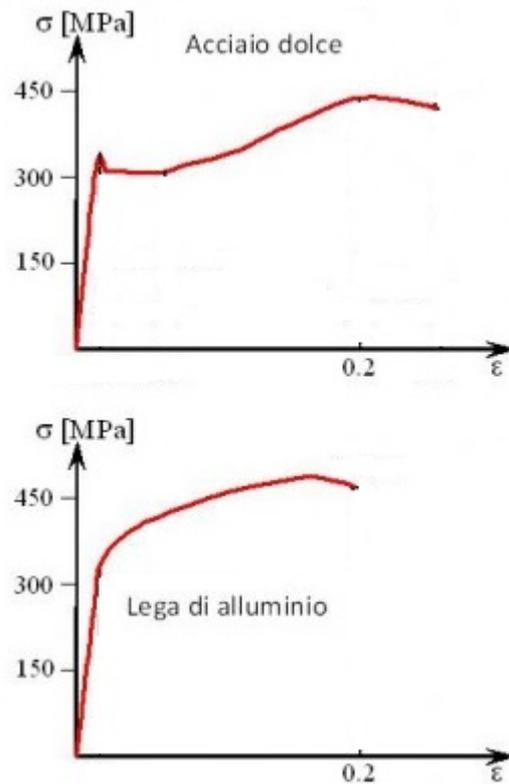


Figura 1.3

Il diagramma σ - ϵ delle leghe di alluminio è continuo e privo in genere del fenomeno dello snervamento.

Il primo tratto del diagramma è elastico lineare fino alla tensione di proporzionalità f_p , convenzionalmente corrispondente ad una deformazione residua dello 0,01%. Superata la tensione di proporzionalità il diagramma mostra un comportamento non lineare.

La tensione limite del comportamento elastico $f_{0,2}$ è convenzionalmente corrispondente ad una deformazione residua dello 0,2% ed è analoga alla tensione di snervamento dell' acciaio f_y .

Quando durante la prova di trazione si raggiunge la tensione di rottura f_t ha inizio il fenomeno della strizione e la deformazione e la tensione continuano ad aumentare nonostante la macchina di prova registri un carico decrescente fino alla rottura vera e propria del provino che avviene all'allungamento unitario a rottura.

Dalla **figura 1.3** si nota che:

- la lega di alluminio presenta un andamento incoerente privo del tratto orizzontale caratteristico dello snervamento;
- l'allungamento unitario a rottura ε_t della lega di alluminio è inferiore a quello dell'acciaio;
- entrambi i materiali presentano un comportamento elastico lineare fino al limite elastico;
- i due materiali differiscono nel campo di comportamento anelastico.

I diagrammi $\sigma-\varepsilon$ di **figura 1.4** mostrano per le leghe Al-Zn-Mg come il trattamento termico modifichi i parametri di resistenza meccanica e il valore dell'allungamento unitario a rottura ε_t .

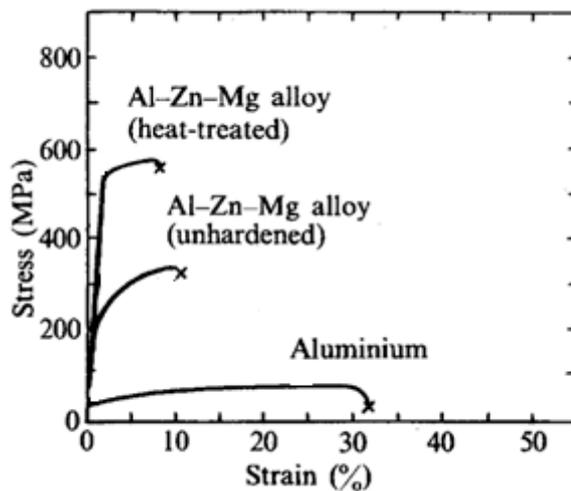


Figura 1.4

Il grafico di **figura 1.5** mostra il comportamento al variare della temperatura dell'acciaio e dell'alluminio.

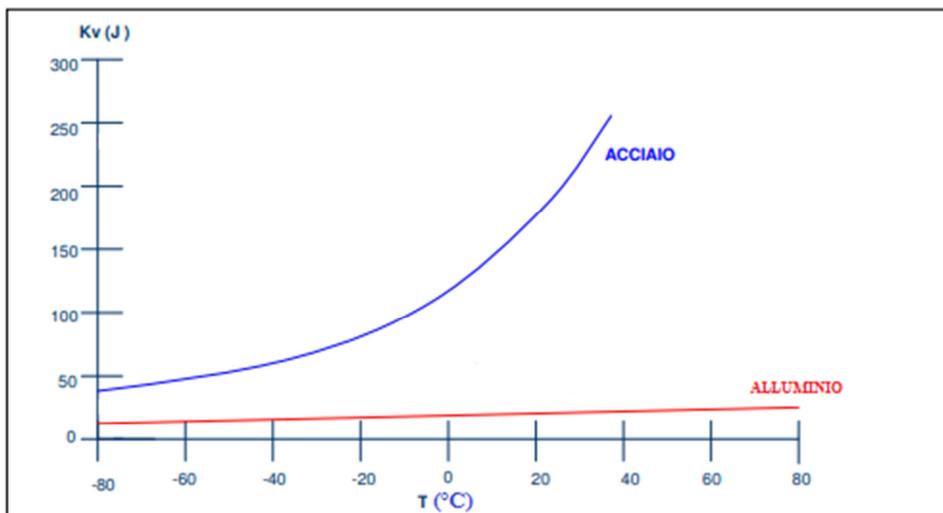


Figura 1.5

Le leghe di alluminio conservano le caratteristiche di resilienza alle basse temperature ad eccezione delle leghe alluminio-magnesio in cui esse aumentano.

In genere l'alluminio non richiede protezione nei riguardi degli attacchi degli agenti atmosferici e chimici, grazie al film di ossido protettivo che si forma naturalmente all'esposizione all'aria. Il film è solitamente invisibile, relativamente inerte e aderisce fortemente alla superficie metallica. Una volta formato previene ulteriore ossidazione e si riforma naturalmente se danneggiato.

La corrosione dell'alluminio compromette l'estetica ma non la sicurezza strutturale per il fatto che la pellicola di ossido che si genera è molto più stabile dell'alluminio stesso, aderisce saldamente alla superficie e ne protegge l'interno.

Si possono distinguere i seguenti tipi di corrosione:

- corrosione di superficie: quando tutta la superficie del materiale è interessata dalla corrosione; tale tipo di corrosione in genere si arresta molto velocemente con la formazione dello strato di ossido protettivo;
- corrosione localizzata: quando la corrosione interessa solo alcune zone del materiale; tale tipo di corrosione in genere si arresta a meno che non sia causata da un'azione chimica che si ripete nel tempo;
- corrosione intergranulare (o intercristallina): in corrispondenza dei bordi di grano; tale tipo di corrosione interessa alcune leghe della serie 2000 e può essere eliminata per mezzo di appositi trattamenti termici;
- tensocorrosione: quando gli effetti della corrosione vengono amplificati dall'applicazione di un carico costante nel tempo; tale tipo di corrosione interessa le leghe sensibili alla corrosione intercristallina;
- corrosione elettrochimica: quando la corrosione avviene tra due parti metalliche poste a contatto; è quindi meglio evitare il contatto diretto tra acciaio ed alluminio proteggendo superficialmente; la corrosione elettrochimica tra acciaio inossidabile e alluminio, i quali possiedono una grande differenza di potenziale, non si ha nella maggior parte degli ambienti poiché il contatto è tra due strati di ossido inerti; il film di ossido sulla lega di alluminio agisce come barriera naturale e la corrosione elettrochimica si attiva solo se questo si rompe a causa dell'umidità acida o alcalina; collegamenti tra metalli diversi soggetti a sfregamento o movimento

relativo possono corrodersi rapidamente, poiché il film di ossido protettivo viene ripetutamente consumato; isolando i metalli diversi con una barriera inerte non assorbente si può prevenire questo tipo di corrosione.

Gli effetti dell'attacco corrosivo dipendono dalla composizione chimica della lega, dal suo processo produttivo, dal trattamento termico subito e dal suo stato tensionale.

Quanto più l'alluminio è puro tanto maggiore è la resistenza alla corrosione e con l'aggiunta di:

- manganese in piccole quantità non varia;
- magnesio in piccole quantità aumenta;
- silicio in certi casi può diminuire;
- silicio e magnesio diminuisce di poco;
- zinco e magnesio non varia se il trattamento termico è eseguito correttamente;
- nichel, ferro o rame diminuisce di molto.

Se si ritiene opportuno proteggere la superficie del metallo si può ricorrere:

- alla verniciatura che conferisce una notevole resistenza alla corrosione;
- all'anodizzazione che consiste in un processo elettrochimico non spontaneo mediante il quale uno strato protettivo di ossido si forma sulla superficie del metallo trattato e lo protegge dalla corrosione;
- alla metallizzazione che consiste nell'applicazione di uno strato di zinco sulla superficie del metallo;
- alla plastificazione.

Per la maggior parte dei materiali le zone che raccolgono umidità sono suscettibili a deterioramento e l'alluminio non fa eccezione. Infatti il contatto con il calcestruzzo e il legno può causare la corrosione dell'alluminio. Per prevenirla si esegue la verniciatura della superficie di alluminio.

1.4 I PROFILI IN LEGA DI ALLUMINIO

I profili in lega di alluminio possono essere ottenuti per:

- estrusione;
- sagomatura;
- composizione saldata.

Per fusione si ottengono i pezzi speciali in lega di alluminio.

I profili in lega di alluminio possono essere a:

- T;
- doppio T;
- C;
- Y;
- L;
- sezione cava (profili cavi).

Dalle sezioni a C derivano le sezioni ad Ω .

I profili in lega di alluminio sopra elencati possono essere modificati con l'aggiunta di nervature che aumentano la rigidità flessionale.

Data la possibilità di produrre profili di forma qualsiasi con l'estrusione, non esiste un catalogo per i profili in lega di alluminio come quello esistente per i profili in acciaio e il materiale è collocato dove è più efficacemente utilizzato.

L'estrusione non consente la produzione di profili a sezione di grandi dimensioni. Profili a sezione di grandi dimensioni possono essere ottenuti per composizione saldata.

Il profilo a doppio T può essere ottenuto per composizione saldata di:

- due profili a T e di una lamiera;
- tre lamiere.

I profili sottili possono essere ottenuti per sagomatura mediante una piegatrice a partire dalle lamiere. I profili sottili possono essere:

- a L;
- a C;
- a Z;
- a Ω ;
- lamiere.

Le sezioni sottili resistono essenzialmente per forma ma sono sensibili ai fenomeni di instabilità locale (imbozzamento delle pareti).

1.5 LE UNIONI

1.5.1 Le unioni chiodate

La chiodatura è un sistema per realizzare collegamenti permanenti tra i componenti di una struttura metallica. Nelle strutture in acciaio l'unione chiodata (**figura 1.6**) non viene più realizzata.

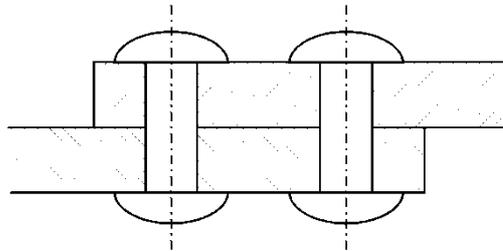


Figura 1.6

L'organo meccanico di unione è chiamato:

- chiodo se possiede un diametro maggiore di 8 mm;
- ribattino se possiede un diametro minore di 8 mm.

I principali chiodi e ribattini impiegati nella realizzazione di unioni in lega leggera sono a testa:

- tonda (semisferica);
- ellittica;
- svasata (tronco-conica);
- svasata piana (rasa);
- svasata con calotta (colma);
- cilindrica (piana).

La lunghezza del chiodo deve essere tale da permettere la formazione della controtesta (testa ribadita).

Per realizzare un'unione chiodata occorre:

- realizzare i fori di alloggiamento dei chiodi sugli elementi da unire;
- fissare gli elementi da unire nella giusta posizione;
- inserire i chiodi nei fori;
- eseguire la ribaditura dell'estremità senza testa dei chiodi.

La ribaditura può essere eseguita con:

- martello pneumatico;
- pressa.

I chiodi possono essere in:

- lega di alluminio;
- acciaio;
- acciaio inossidabile.

Quando si usano chiodi in lega di alluminio la chiodatura è eseguita a freddo. Quando si usano chiodi in acciaio od in acciaio inossidabile la chiodatura è eseguita a caldo.

Se si usano chiodi in acciaio nelle unioni delle strutture in lega di alluminio bisogna prevenire il fenomeno della corrosione elettrochimica proteggendo superficialmente.

1.5.2 Le unioni bullonate

Il bullone (**figura 1.7**) è un organo di unione costituito da:

- una vite;
- un dado;

- una rondella.

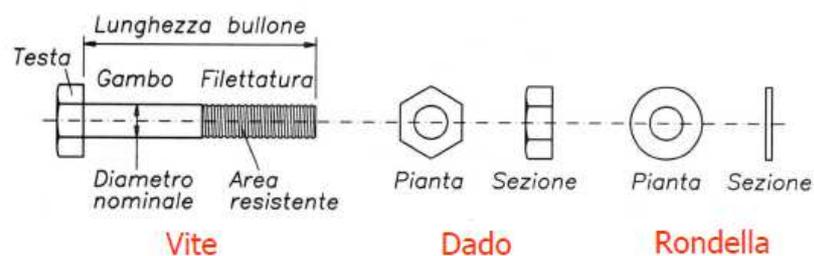


Figura 1.7

La rondella viene posta al di sotto del dado. Il gambo della vite può essere completamente o parzialmente filettato.

Per evitare il disserraggio del dado, causato dalle vibrazioni, si può usare:

- il controdado (**figura 1.8**);
- la rondella elastica (**figura 1.9**).

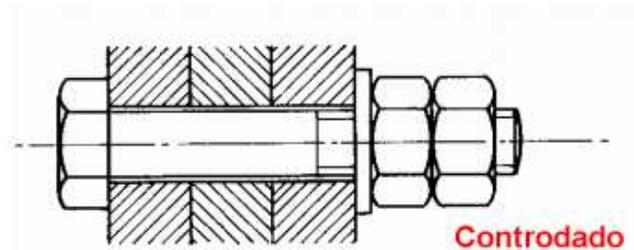


Figura 1.8

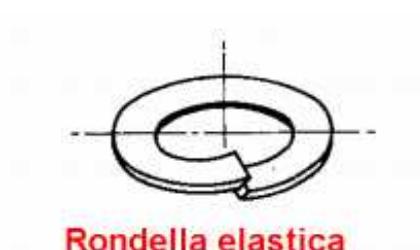


Figura 1.9

Generalmente la differenza tra la dimensione del bullone e quella del foro nelle strutture in alluminio è minore di quella che si ha nelle strutture in acciaio: tipicamente questa differenza è di 1 mm.

Nelle strutture in lega di alluminio i bulloni possono essere in:

- lega di alluminio;
- acciaio;
- acciaio inossidabile.

Se si usano bulloni in acciaio nelle unioni delle strutture in lega di alluminio bisogna prevenire il fenomeno della corrosione elettrochimica proteggendo superficialmente.

Le unioni bullonate possono essere a:

- trazione quando il bullone è impegnato da forze parallele al gambo;
- taglio quando il bullone è impegnato da forze perpendicolari al gambo;
- taglio e trazione.

Nelle unioni bullonate a taglio il bullone può lavorare:

- a taglio: il bullone risulta attivo quando la superficie laterale del gambo è a contatto con la superficie del foro. La crisi si ha per superamento della resistenza a taglio del bullone o per il cedimento della lamiera;
- ad attrito: il bullone viene preventivamente serrato e preme le piastre del collegamento tra di loro.

La crisi di una unione bullonata a taglio può essere causata, oltre che dalla rottura del bullone:

- dal rifollamento della lamiera;
- dalla trazione della lamiera;
- dal taglio della lamiera.

La rottura per rifollamento consiste nell'ovalizzazione del foro che può portare alla rottura della lamiera.

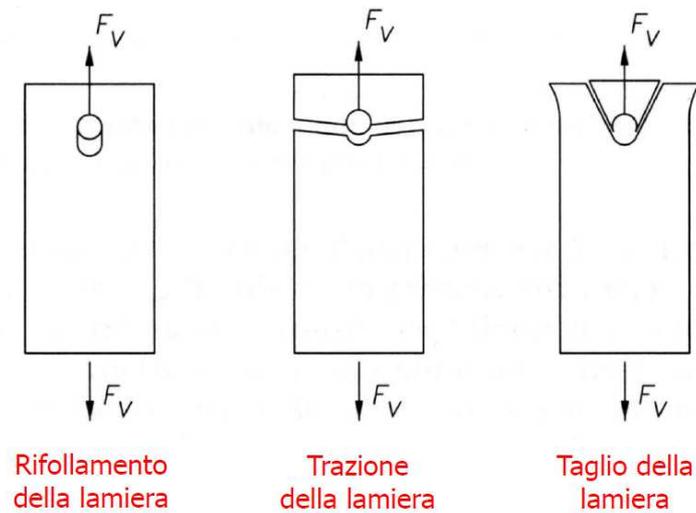


Figura 1.10

La resistenza di una unione ad attrito è funzione:

- dell'attrito tra le lamiere;
- del trattamento eseguito sulle superfici a contatto;
- del grado di serraggio.

Le unioni bullonate ad attrito vengono frequentemente usate nei ponti.

Nelle unioni bullonate importante risulta l'operazione del serraggio. Nelle unioni in cui il bullone lavora a taglio il serraggio non modifica la resistenza ultima del giunto ma lo rende più rigido e compatto.

1.5.3 Le unioni saldate

La saldatura è una tecnica di giunzione che realizza l'unione permanente di due pezzi metallici con o senza materiale d'apporto e sotto l'azione del calore.

Il materiale d'apporto viene distribuito allo stato fuso tra i lembi che possono essere opportunamente preparati mediante cianfrinatura.

La cianfrinatura è un'operazione che si esegue per:

- assicurare la buona penetrazione del bagno fuso;
- facilitare l'operazione di saldatura.

Il bagno di fusione è la parte di metallo che durante la fusione si trova allo stato liquido.

Il cordone di saldatura è costituito da tutto il metallo, sia di base sia di apporto, solidificato per raffreddamento dopo essere stato fuso nella saldatura.

La saldatura può essere:

- autogena: il materiale dei pezzi da collegare partecipa per fusione con l'eventuale materiale di apporto alla realizzazione dell'unione;
- eterogena: si ha fusione del solo materiale di apporto ad una temperatura di fusione inferiore a quella del materiale di base.

Le saldature autogene in funzione della fonte di calore e della modalità di protezione del bagno di fusione possono essere:

- ossiacetileniche;
- ad arco sommerso;
- ad arco con elettrodi rivestiti;
- con protezione di gas;
- ad elettroscoria.

Sono saldature ad arco sotto protezione di gas:

- la saldatura TIG (Tungsten Inert Gas);
- la saldatura MIG (Metal-arc Inert Gas).

La saldatura delle comuni leghe di alluminio strutturali è simile a quella dell'acciaio e avviene attraverso i processi ad arco sotto protezione di gas TIG e MIG.

In funzione della posizione relativa dei piatti da collegare la saldatura può essere:

- di testa;
- a L;
- a T;
- di spigolo;
- a sovrapposizione.



Figura 1.11

In funzione della posizione del cordone rispetto all'operatore la saldatura può essere:

- in piano;
- verticale;
- frontale;
- sopratesta.

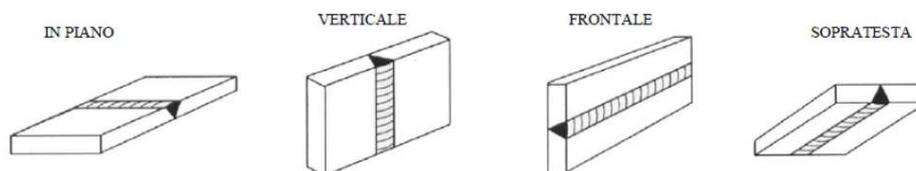


Figura 1.12

In funzione della geometria la saldatura può essere:

- a completa penetrazione (**figura 1.13**);
- a cordone d'angolo (**figura 1.14**).

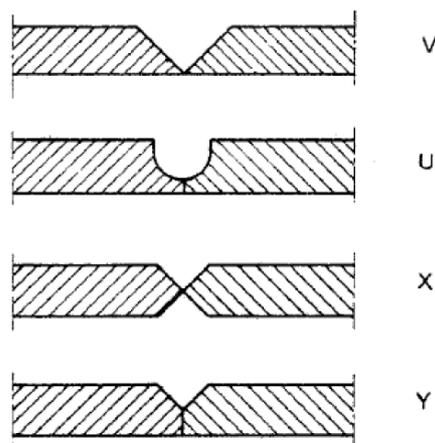


Figura 1.13



Figura 1.14

Nelle saldature a completa penetrazione si ha:

- completa fusione del materiale di base e del materiale di apporto attraverso lo spessore del collegamento tra i piatti;
- necessità di preparare opportunamente i lembi da unire mediante cianfrinatura.

Per ottenere un giunto a completa penetrazione la spalla rettilinea deve essere piccola in modo da essere fusa e far parte della saldatura. Se la spalla rettilinea non è piccola non si ottiene una completa unione tra i pezzi saldati e quindi si ottiene una saldatura a parziale penetrazione.

Nelle saldature a cordone d'angolo si ha:

- assenza di penetrazione del materiale di fusione nello spessore degli elementi;
- presenza di elementi formanti angoli compresi fra 60° e 120° ;
- un'altezza di gola del cordone.

Le saldature sono caratterizzate da difetti di natura:

- metallurgica;
- geometrica.

I difetti di natura metallurgica sono:

- le cricche a caldo (**figura 1.15**): fessure indotte da sforzi di ritiro generati dalla solidificazione di segregazioni di impurezze a temperature inferiori a quelle del metallo di base;
- le cricche a freddo (**figura 1.16**): causate dall'elevata velocità di raffreddamento;
- gli strappi lamellari (**figura 1.17**): cricche nel materiale di base indotte da sforzi di trazione ortogonali al piano di laminazione;
- le inclusioni: zone anomale contenenti sostanze diverse da quelle del materiale di base e di apporto. Esse si dividono in inclusioni solide (scorie) e inclusioni gassose (gas intrappolati nel bagno di saldatura).

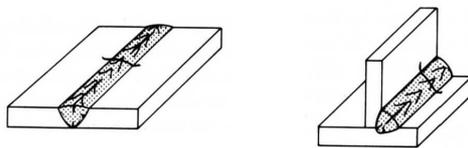


Figura 1.15



Figura 1.16

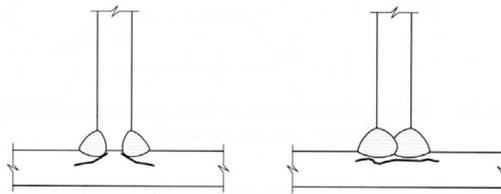


Figura 1.17

I difetti di natura geometrica sono:

- l'eccesso di sovrametallo: spessore eccessivo del materiale di apporto;
- la mancanza di penetrazione: mancanza di penetrazione del materiale fuso (**figura 1.18**);
- il disassamento dei lembi: montaggio imperfetto delle parti da unire (**figura 1.19**).

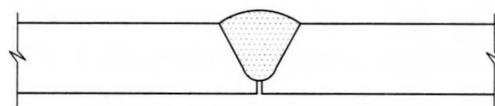


Figura 1.18

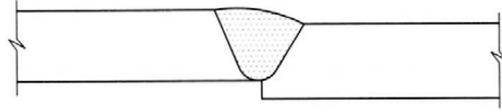


Figura 1.19

Le saldature vengono controllate mediante:

- esame con liquidi penetranti: la tecnica sfrutta la capacità dei liquidi a bassa tensione superficiale di penetrare per capillarità all'interno dei difetti superficiali non visibili a occhio nudo;
- esame magnetoscopico: la tecnica consiste nella generazione di un campo magnetico che, con l'ausilio di polveri magnetizzabili (o liquido contenente in sospensione particelle magnetiche), consente l'individuazione di cricche superficiali;
- raggi X o γ : la tecnica sfrutta le proprietà dei raggi x o dei raggi γ , onde elettromagnetiche caratterizzate da una lunghezza d'onda molto più bassa rispetto a quella della luce visibile (stesso ordine di grandezza della distanza fra i reticoli cristallini di un metallo), di penetrare in tutti i materiali (anche quelli opachi alla luce);
- ultrasuoni: il metodo più utilizzato è quello ad impulso-eco (tecnica per riflessione) e si basa sull'emissione di onde ultrasonore da parte di una piccola sonda (trasduttore) posta a contatto con la superficie del pezzo esaminato (in corrispondenza del metallo base).

Anche se l'alluminio possiede un punto di fusione più basso rispetto all'acciaio la quantità di calore necessaria per eseguire una saldatura è all'incirca la stessa a parità di sezione trasversale del cordone. Questo perché l'alluminio possiede una conducibilità termica più elevata rispetto all'acciaio. Quindi nell'alluminio si produce una dispersione di calore molto grande. L'estensione della zona alterata termicamente (HAZ) dipende dal processo di saldatura e dallo spessore del materiale. Nelle saldature continue all'aumentare della velocità di saldatura diminuisce l'estensione della zona di metallo prossima al cordone alterata termicamente.

Per effetto dell'apporto termico dovuto al calore della saldatura le caratteristiche meccaniche delle leghe di alluminio si modificano. Infatti nella zona di metallo prossima al cordone alterata termicamente si riducono:

- la tensione limite del comportamento elastico;
- la tensione di rottura;
- l'allungamento unitario a rottura.

La diminuzione delle caratteristiche meccaniche con il processo di saldatura dipende dalla lega e dal grado di trattamento termico o di invecchiamento. Per effetto dell'invecchiamento le leghe di alluminio recuperano in parte le caratteristiche meccaniche originarie e mediante invecchiamento artificiale si ottengono caratteristiche meccaniche elevate ma la duttilità si riduce.

Oltre alle leghe della serie 1000, risultano saldabili alcune leghe della serie:

- 5000;
- 6000;
- 7000.

1.5.4 I collegamenti fra le membrature

Possono essere realizzati prevedendo l'utilizzo di unioni saldate, bullonate o chiodate.

I collegamenti si dividono in:

- giunti a parziale ripristino di sollecitazione;
- giunti a completo ripristino di sollecitazione.

I collegamenti si dividono anche in:

- collegamenti di estremità: necessari per l'assemblaggio degli elementi costituenti la struttura;
- collegamenti intermedi.

CAPITOLO 2: LE PASSERELLE PEDONALI

2.1 CLASSIFICAZIONE DEI PONTI

Le parti che costituiscono un ponte sono:

- le spalle: supportano l'impalcato all'inizio e alla fine del ponte;
- l'impalcato: trasferisce le azioni indotte dal traffico alle colonne e alle spalle;
- le colonne: supportano l'impalcato e trasferiscono i carichi alle fondazioni.

I ponti sono classificabili in funzione:

- del tipo di ostacolo da attraversare;
- della classe di servizio;
- del materiale;
- dello schema statico.

In funzione del tipo di ostacolo da attraversare i ponti si dividono in:

- ponti: realizzati per superare corsi d'acqua;
- viadotti;
- sovrappassaggi e sottopassaggi: realizzati per superare altre strade o ferrovie;
- cavalcavia.

In funzione della classe di servizio i ponti si dividono in:

- ponti stradali: interessati dal transito di veicoli stradali (automobili, camion, ecc...);
- passerelle pedonali: interessate principalmente dal transito di pedoni;
- ponti ferroviari: interessati dal traffico ferroviario;
- ponti canale: sorreggono tubazioni oppure costituiscono essi stessi la via d'acqua.

I ponti stradali si dividono a loro volta in ponti stradali di:

- prima categoria;
- seconda categoria.

I ponti stradali di prima categoria sono interessati da carichi maggiori di quelli di seconda categoria.

In funzione dello schema statico i ponti si dividono in:

- ponti a travata;
- ponti ad arco;
- ponti a telaio;
- ponti a cavalletto;
- ponti di Maillart (**figura 2.1.1**);
- ponti strallati;
- ponti sospesi;
- ponti con travi ad arco.

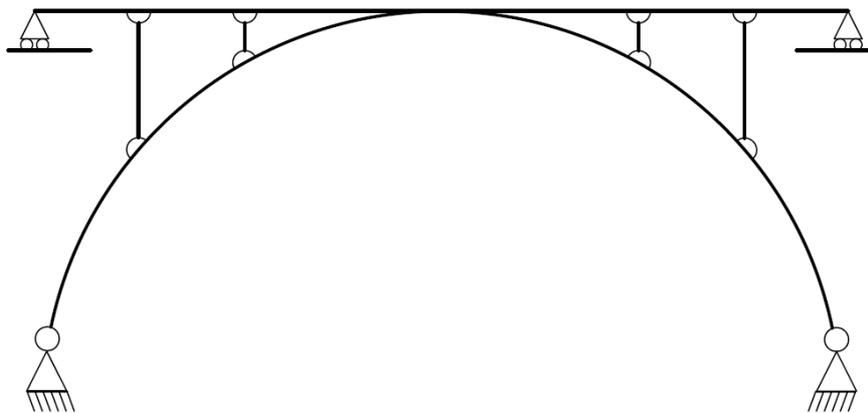


Figura 2.1.1

Nei ponti a travata l'impalcato è sostenuto da travi principali disposte longitudinalmente che, a loro volta, sono sostenute dalle spalle o dalle spalle e dalle pile. Le travi lavorano principalmente a flessione in direzione longitudinale. I ponti a travata si dividono in:

- ponti a travata semplicemente appoggiata (**figura 2.1.2**);

- ponti a travata tipo Gerber (**figura 2.1.3**);
- ponti a travata continua (**figura 2.1.4**);

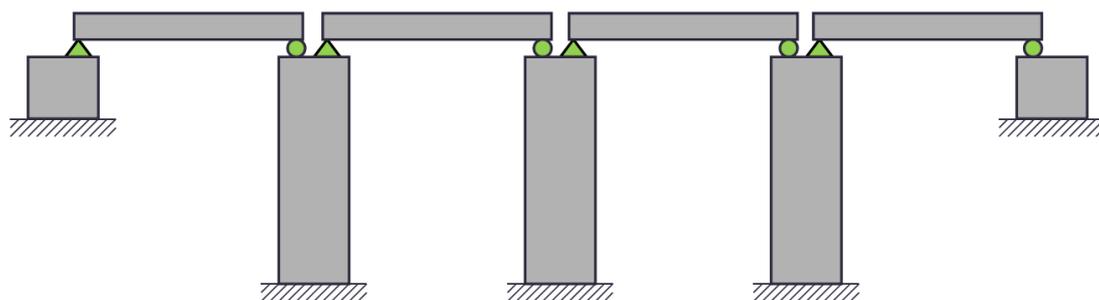


Figura 2.1.2

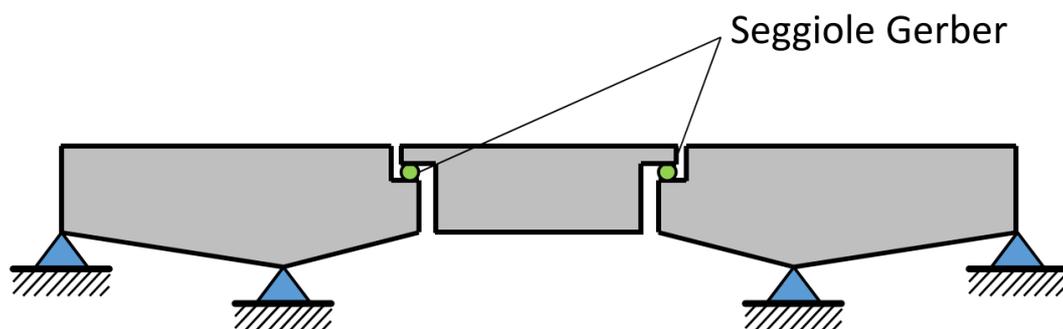


Figura 2.1.3

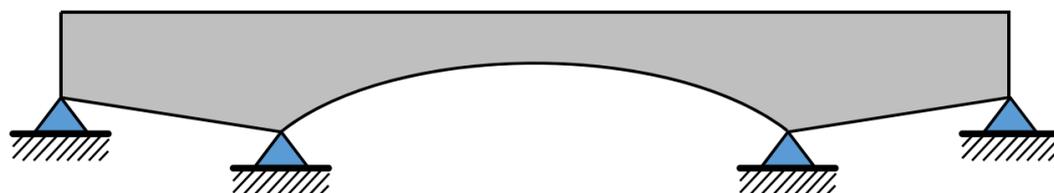


Figura 2.1.4

Nei ponti ad arco la struttura principale è ad asse curvilineo. I ponti ad arco si dividono in:

- ponti ad arco incastrato (**figura 2.1.5**);
- ponti ad arco a due cerniere (**figura 2.1.6**);
- ponti ad arco a tre cerniere (**figura 2.1.7**);
- ponti ad arco a spinta eliminata (**figura 2.1.8**);

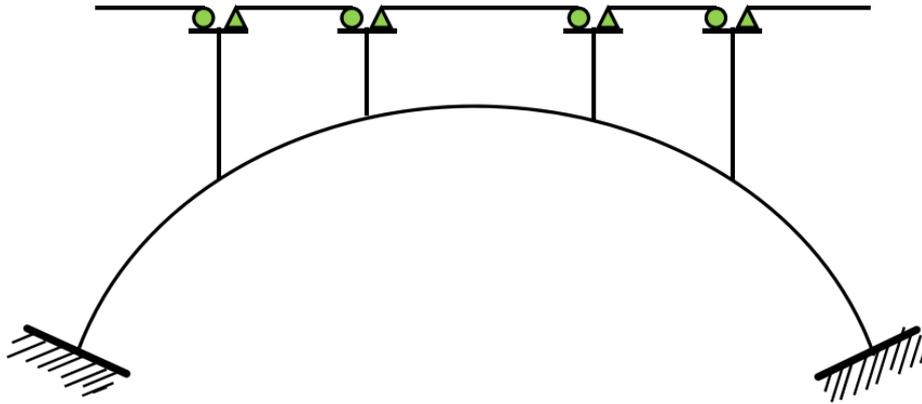


Figura 2.1.5

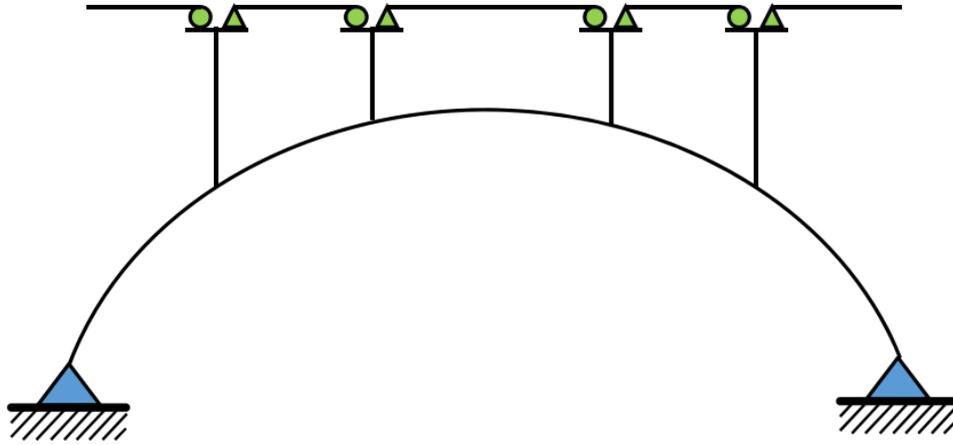


Figura 2.1.6

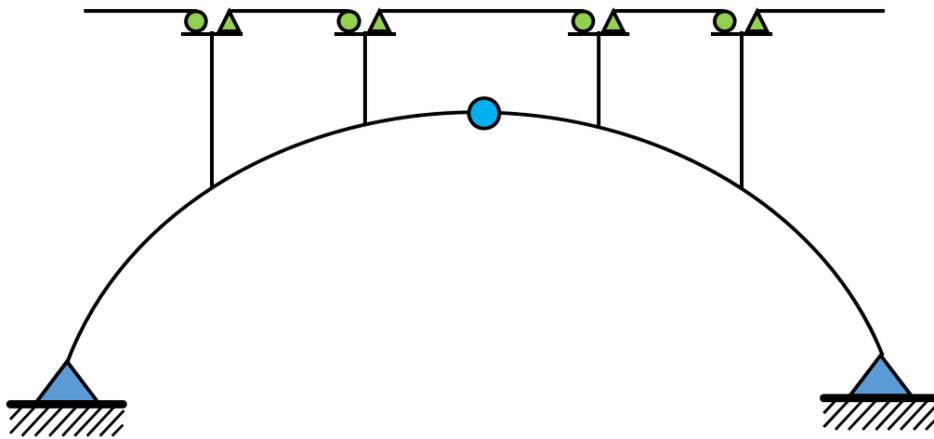


Figura 2.1.7

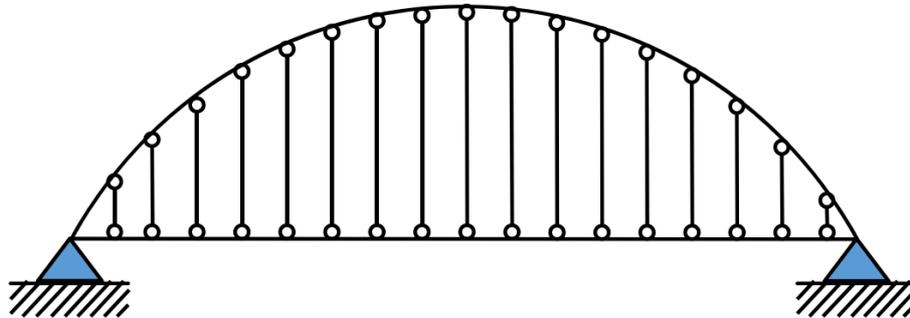


Figura 2.1.8

I ponti a telaio possiedono piedritti verticali e si dividono in:

- ponti a telaio con travi di collegamento (**figura 2.1.9**);
- ponti a telai connessi da pendoli (**figura 2.1.10**);
- ponti a telaio continui (**figura 2.1.11**);
- ponti a martello con travi di collegamento (**figura 2.1.12**);

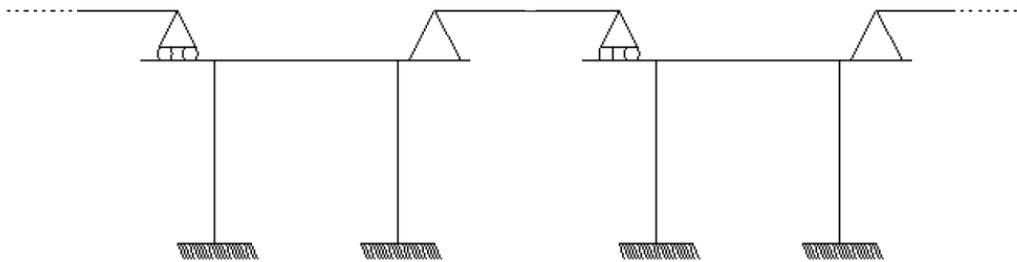


Figura 2.1.9

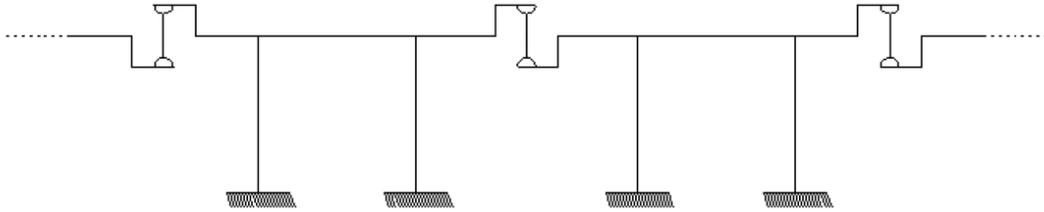


Figura 2.1.10



Figura 2.1.11



Figura 2.1.12

I ponti a cavalletto possiedono piedritti inclinati e si dividono in:

- a singolo cavalletto (**figura 2.1.13**);
- a cavalletto legato (**figura 2.1.14**);



Figura 2.1.13



Figura 2.1.14

I ponti strallati sono costituiti da una trave sostenuta da un numero limitato di funi pressoché rettilinee. Le funi sono collegate ad un pilone (o antenna). I ponti strallati possono avere schema ad arpa o a ventaglio e si dividono in:

- ponti strallati con stralli ancorati a terra (**figura 2.1.15**);
- ponti strallati con stralli ancorati all'impalcato (**figura 2.1.16**);

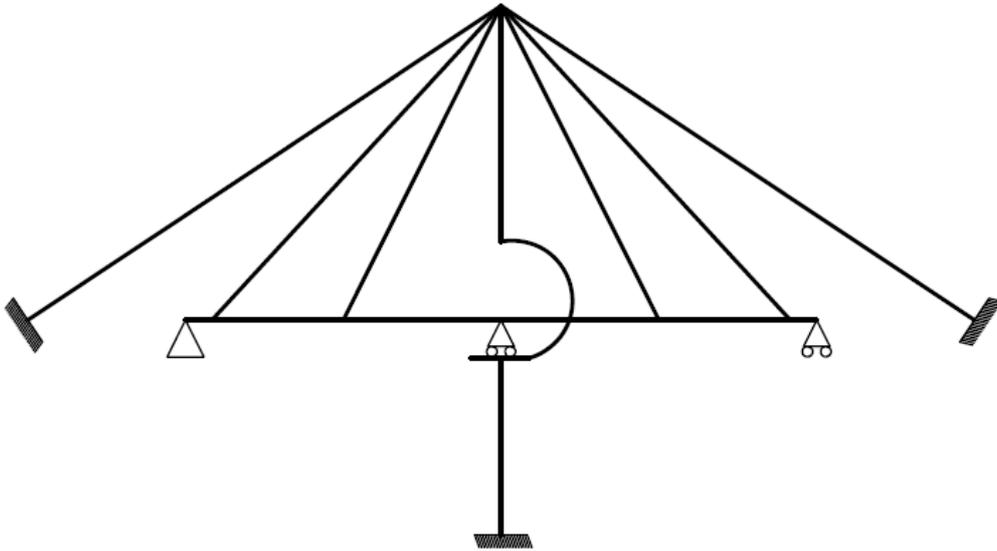


Figura 2.1.15

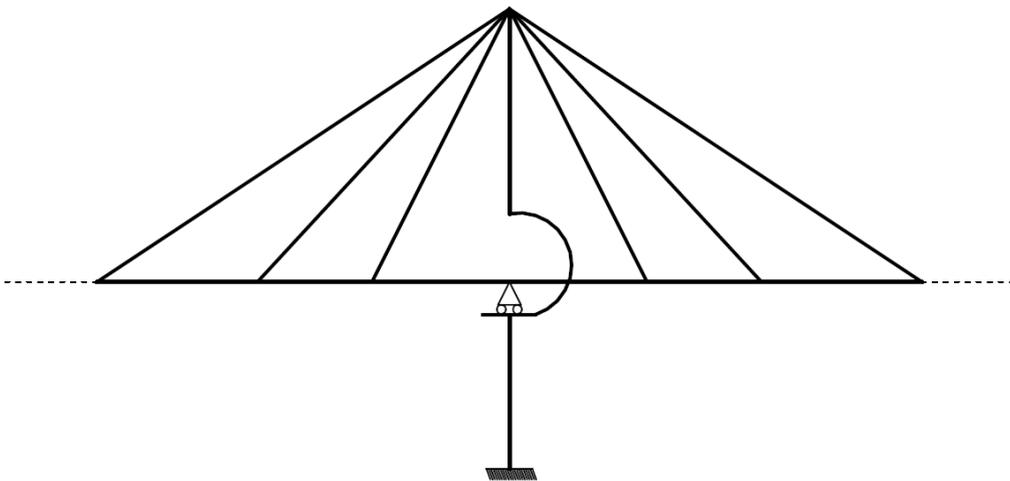


Figura 2.1.16

I ponti sospesi possiedono una struttura principale costituita da funi disposte secondo una configurazione curvilinea. L'impalcato è costituito generalmente da una travata. I ponti sospesi si dividono in:

- ponti sospesi ancorati a terra (**figura 2.1.17**);
- ponti sospesi ancorati all'impalcato (**figura 2.1.18**);

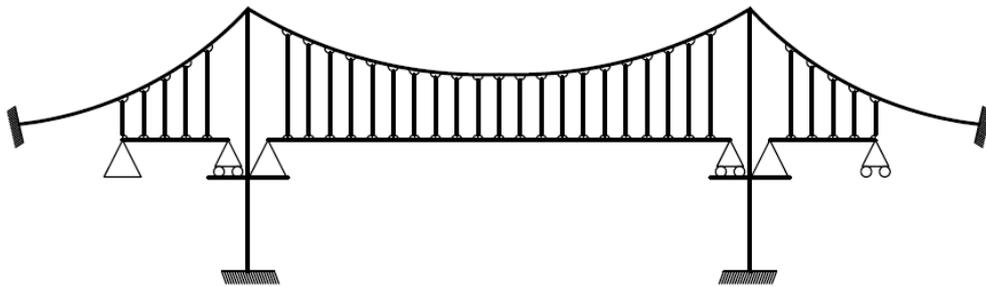


Figura 2.1.17

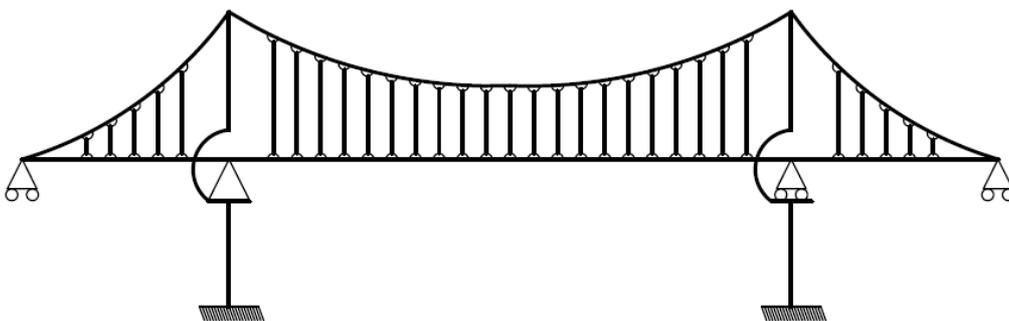


Figura 2.1.18

I ponti con trave ad arco (**figura 2.1.19**) sono dei ponti sospesi invertiti.

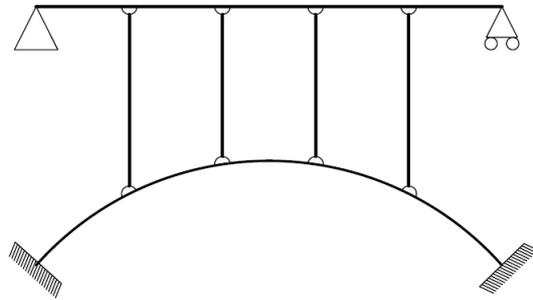


Figura 2.1.19

2.2 AZIONI SULLE PASSERELLE PEDONALI

Le azioni che interessano le passerelle pedonali sono:

- le azioni permanenti;
- le deformazioni imposte;
- le azioni variabili dal traffico;
- le azioni ambientali;
- le azioni sismiche;
- le azioni eccezionali.

Le azioni permanenti sono:

- il peso proprio degli elementi strutturali;
- i carichi permanenti portati;
- altri carichi permanenti.

Le deformazioni imposte sono:

- le azioni termiche;
- i cedimenti del terreno.

Per le azioni variabili dal traffico che interessano le passerelle pedonali si può fare riferimento agli schemi di carico previsti dal codice europeo “Eurocodice 1: azioni sulle strutture”:

- schema di carico 4: costituito da un carico concentrato di 10 kN con impronta quadrata di lato 0,10 m; utilizzato per verifiche locali sui marciapiedi protetti e sulle passerelle pedonali;
- schema di carico 5: costituito da un carico uniformemente distribuito (comprensivo degli effetti dinamici) di $5 \text{ kN}/\text{m}^2$; utilizzato per verifiche globali e locali.

Il carico concentrato da considerare ai fini delle verifiche locali ed associato allo schema di carico 4 si assume uniformemente distribuito sulla superficie dell'impronta. La diffusione attraverso la pavimentazione avviene secondo un angolo di 45° . Tale

carico può non essere preso in considerazione se sono presenti dispositivi fissi (ostacoli non rimovibili) in grado di impedire l'accesso alla passerelle di veicoli.

Le azioni ambientali sono:

- il vento;
- la neve.

Il vento esercita azioni che variano nel tempo e nello spazio provocando effetti dinamici. Tali azioni possono essere ricondotte ad azioni statiche equivalenti.

Le passerelle pedonali sono sensibili all'azione dei pedoni e all'azione del vento che possono causare problemi vibratorii. Le vibrazioni possono avvenire sia verticalmente che orizzontalmente. Nella maggior parte dei casi le vibrazioni indotte dall'azione dei pedoni conducono a problemi di funzionalità dell'opera, riducendo il comfort dei pedoni e, in casi estremi, rendendo necessaria la chiusura. Sono al contrario rari i casi di problemi di sicurezza.

CAPITOLO 3: LE PROPOSTE DI PASSERELLE PEDONALI MODULARI

Visto che lo studio può seguire due casi (passerelle per l'attraversamento della tangenziale di Mosca e passerelle per l'attraversamento dei binari ferroviari) e per una valida sperimentazione dell'uso dell'alluminio nella costruzione di ponti, si sono studiate tre opzioni di passerelle pedonali modulari per l'attraversamento della tangenziale di Mosca (43 m di luce).

Date le dimensioni massime utili dei bilici (lunghezza 13,60 m, larghezza 2,55 m e altezza 2,64 m) i moduli di base devono rispettare:

- una lunghezza di 12,00 m;
- una larghezza di 2,40 m;
- un'altezza di 2,40 m.

Per le tre opzioni di passerelle pedonali modulari i moduli di base sono di due tipi e rispettano le dimensioni massime consentite (lunghezza 12 m, larghezza 2,40 m e altezza 2,40m), date le dimensioni massime utili dei bilici. Inoltre, le tre opzioni di passerelle pedonali modulari possiedono lo stesso schema. Ciò che le differenzia sono i profili adottati e il materiale. Le prime due proposte di passerelle pedonali modulari sono in alluminio. La prima proposta di passerella pedonale in alluminio modulare presenta i classici profili a doppio T delle strutture in acciaio mentre la seconda presenta profili cavi. Le sezioni a doppio T in alluminio sono caratterizzate da valori di carico critico molto bassi mentre le sezioni cave sono poco suscettibili a fenomeni di instabilità torsionale e flesso-torsionale. La terza proposta di passerella pedonale modulare è in acciaio.

3.1 RELAZIONE STRUTTURALE DELLA PRIMA PROPOSTA DI PASSERELLA PEDONALE IN ALLUMINIO MODULARE

3.1.1 Descrizione

L'oggetto di questa relazione è la struttura in alluminio della prima proposta di passerella pedonale in alluminio modulare da realizzare a Mosca (Russia).

La prima proposta di passerella pedonale in alluminio modulare ha le seguenti dimensioni e forma.

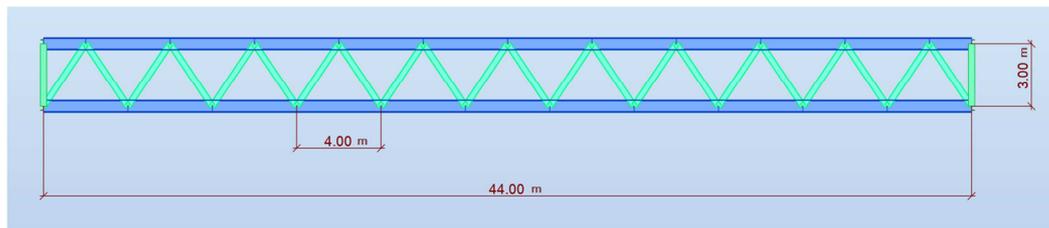


Figura 3.1.1.1

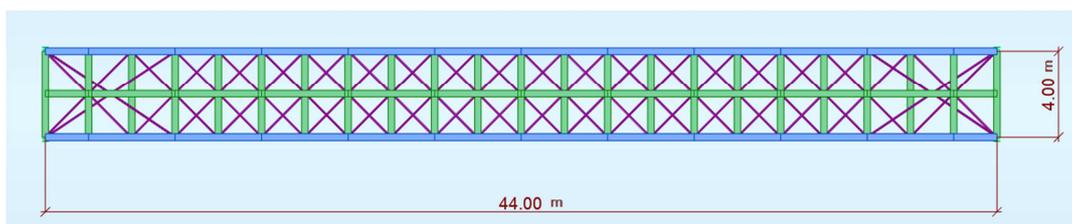


Figura 3.1.1.2

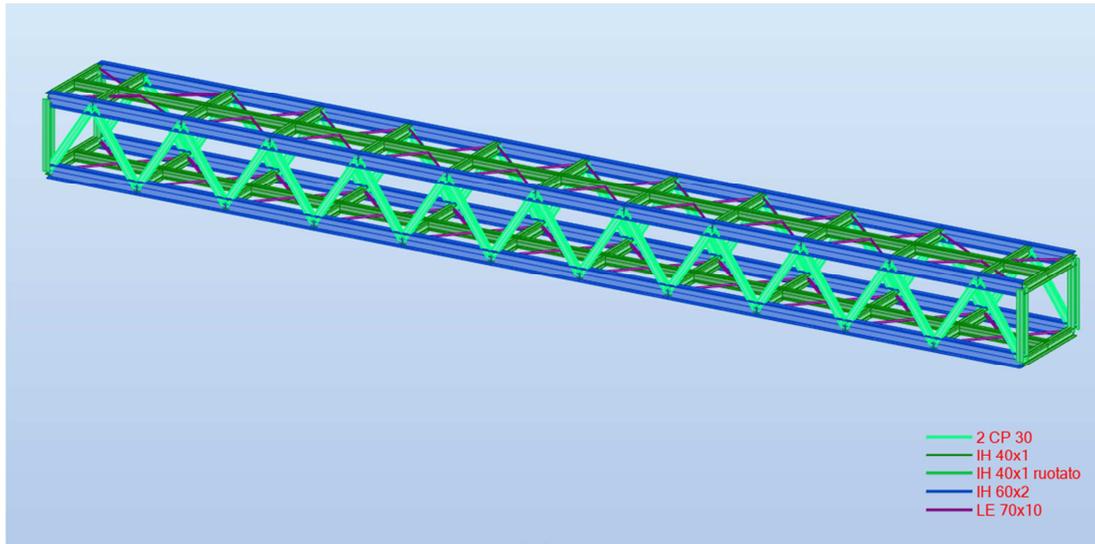


Figura 3.1.1.3

I moduli di base della prima proposta di passerella pedonale in alluminio modulare sono di due tipi e hanno le seguenti dimensioni e forma.

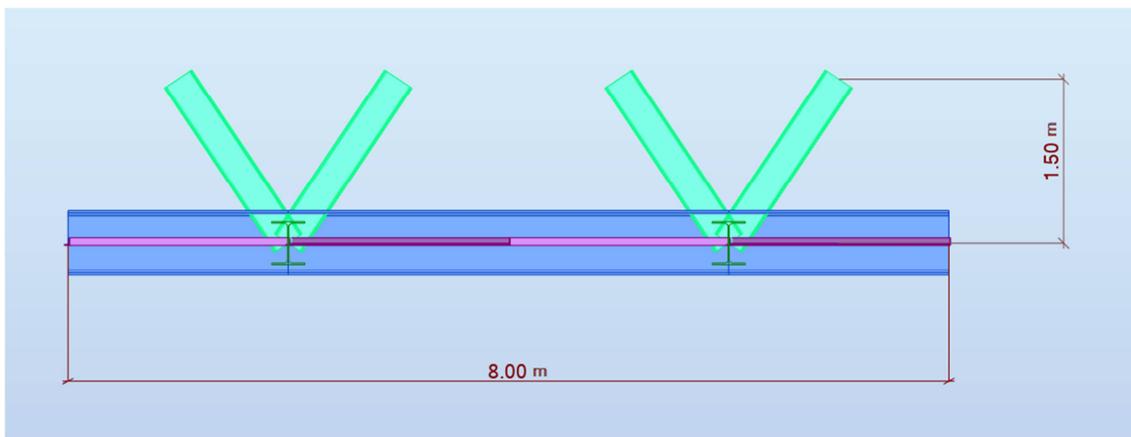


Figura 3.1.1.4

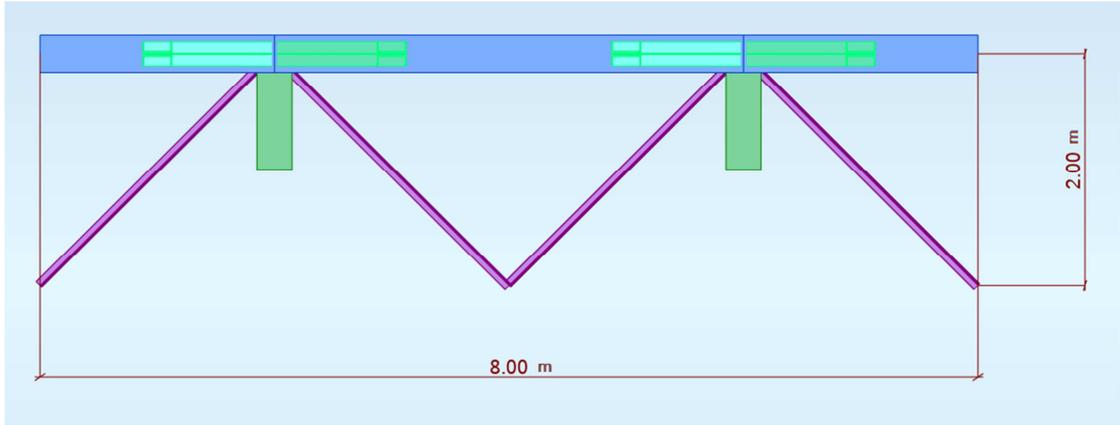


Figura 3.1.1.5

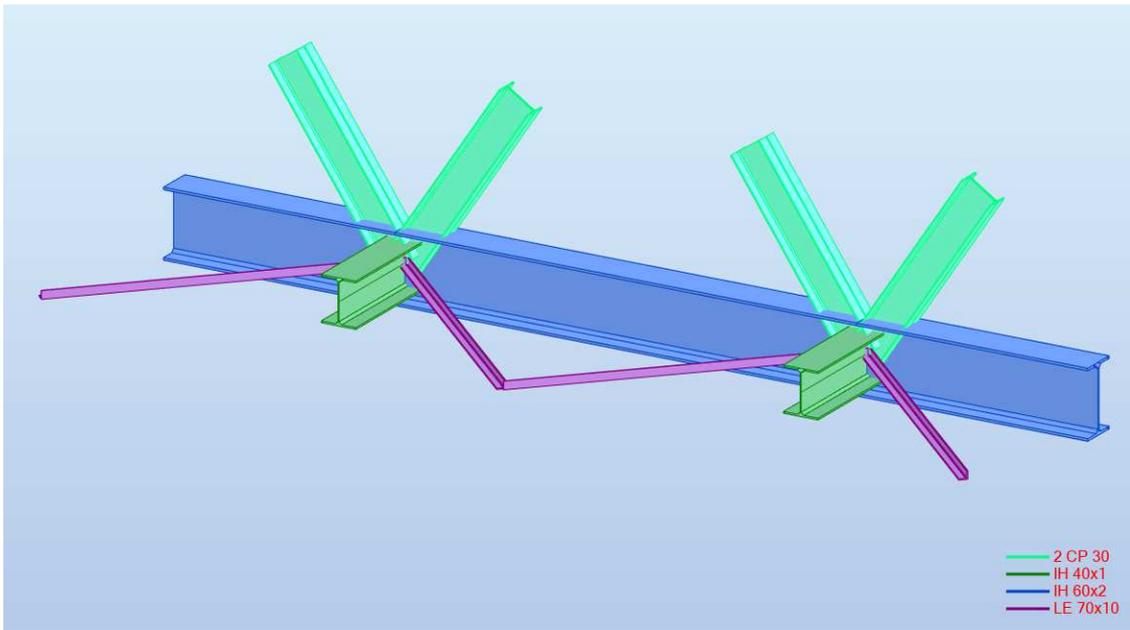


Figura 3.1.1.6

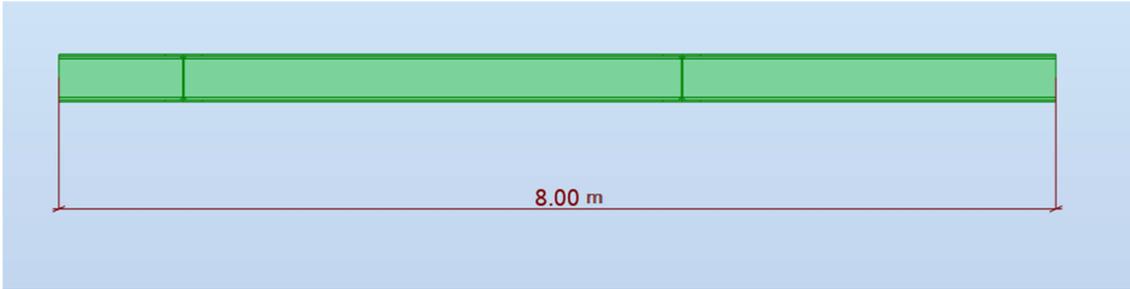


Figura 3.1.1.7

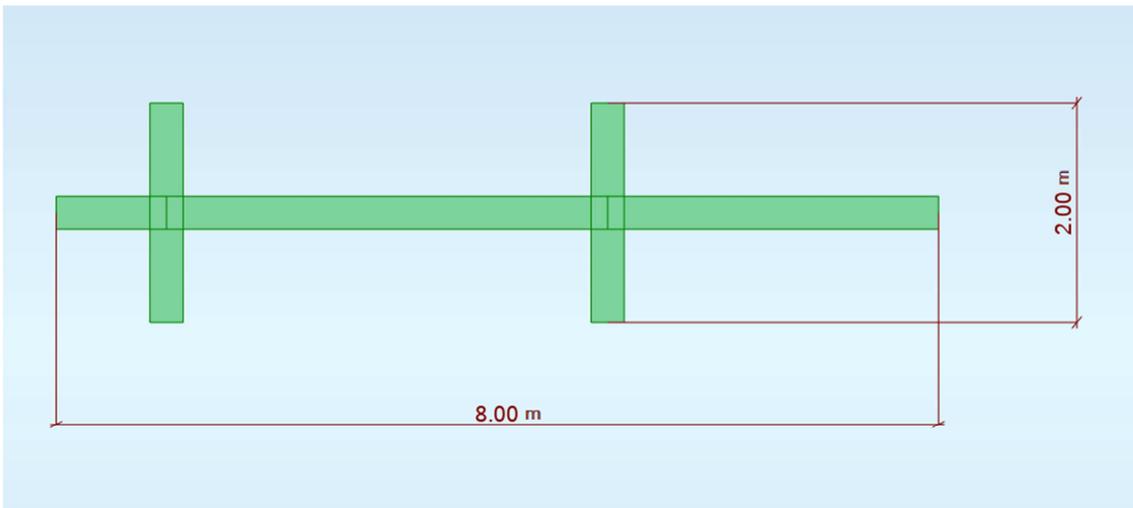


Figura 3.1.1.8

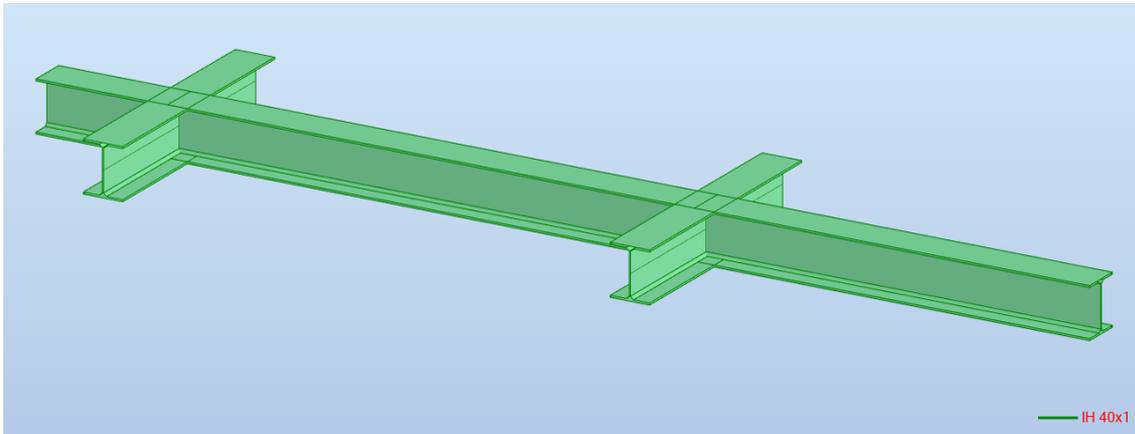


Figura 3.1.1.9

I moduli di base rispettano le dimensioni massime consentite (lunghezza 12,00 m, larghezza 2,40 m e altezza 2,40 m), date le dimensioni massime utili dei bilici.

Per realizzare la prima proposta di passerella pedonale in alluminio modulare oltre ad assemblare i diversi moduli tra di loro bisogna anche montare ulteriori elementi, i quali costituiscono le due estremità del ponte.

La struttura in alluminio della prima proposta di passerella pedonale in alluminio modulare è composta dai seguenti elementi:

Tipo	No elem	Lungh. (m)	Peso unitario (kG/m)	Peso della barra (kG)	Peso totale (kG)	Superf. pittura (m2)
2 CP 30	44	158,84	22,30	3542,32	3542	313,55
IH 40x1	48	188,00	33,70	6335,52	6336	349,12
IH 40x1 r	4	12,00	33,70	404,39	404	22,28
IH 60x2	46	176,00	62,03	10917,34	10917	426,27
LE 70x10	42	243,96	3,61	880,57	881	68,31
Totale					22080	1179,53

Per il piano di calpestio viene utilizzato un grigliato in acciaio inossidabile AISI 304 con le seguenti caratteristiche:

Maglia	17 x 76 mm
Sezione barra portante	70 x 4 mm
Interasse barre portanti	17 mm
Peso	1,35 kN/m ²
Materiale	AISI 304

Tabella 3.1.1.1

Per la copertura di protezione da neve e pioggia viene utilizzata una lamiera grecata tipo OR 38/732-915 in acciaio inossidabile AISI 304 con uno spessore di 1 mm e un peso di 0,1072 kN/m².

Per il parapetto viene utilizzata una struttura costituita da traversi e montanti con le seguenti caratteristiche:

Altezza parapetto	1,10 m
Passo montanti	0,50 m
Sezione traversi	50x50x6
Sezione montanti	50x50x6
Peso	0,21 kN/m
Materiale	EN AW-6082 T6

Tabella 3.1.1.2

3.1.2 Software di analisi strutturale

La struttura è stata calcolata con un modello 3D completo e un'analisi statica usando il software di analisi strutturale Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2019 della Autodesk (numero di serie licenza 901-21997543).

3.1.3 Principi di progettazione

Il progetto strutturale della struttura è stato sviluppato in conformità ai seguenti codici:

- SP 16.13330.2011: strutture in acciaio;
- SP 20.13330.2016: carichi e impatti;
- Eurocodice 1: azioni sulle strutture;
- Eurocodice 3: progettazione delle strutture di acciaio;
- Eurocodice 9: progettazione delle strutture di alluminio.

3.1.4 Materiali e sezioni

Tutti gli elementi strutturali in alluminio sono stati introdotti come EN AW-6082 T6 con i seguenti dati tecnici:

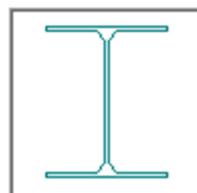
Nome :	EN AW-6082 T6	Descrizione :	EN AW-6082 T6
Elasticità		Resistenza	
modulo di Young, E :	70000,00 (MPa)	Caratteristica	260 (MPa)
coefficiente di Poisson, ν :	0,3	Coeff. riduzione per taglio:	1,66
Modulo di taglio, G:	27000,00 (MPa)		
Peso specifico (peso unitario):	27,00 (kN/m ³)	<input type="checkbox"/> Trattamento termico	
Dilatazione termica :	0,000023 (1/°C)		
Coefficiente di smorzamento :	0,05		

Le sezioni delle colonne e delle travi principali e secondarie in alluminio sono come di seguito:

IH 40x1

Dimensioni:

HY (cm)	HZ (cm)
30,0	38,8



Proprietà di sezione:

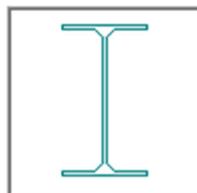
AX (cm ²)	IX (cm ⁴)	IY (cm ⁴)	IZ (cm ⁴)
122,40	64,54	34360,00	6306,00

Le sezioni dei correnti in alluminio sono come di seguito:

IH 60x2

Dimensioni:

HY (cm)	HZ (cm)
32,0	58,7



Proprietà di sezione:

AX (cm ²)	IX (cm ⁴)	IY (cm ⁴)	IZ (cm ⁴)
225,30	263,93	131800,00	11230,00

Le sezioni delle diagonali verticali in alluminio sono come di seguito:

2 CP 30

Dimensioni:

HY (cm)	HZ (cm)
21,0	30,0



Proprietà di sezione:

AX (cm ²)	IX (cm ⁴)	IY (cm ⁴)	IZ (cm ⁴)
81,00	22,46	11660,00	1684,20

Le sezioni delle diagonali orizzontali in alluminio sono come di seguito:

LE 70x10

Dimensioni:

HY (cm)	HZ (cm)
7,0	7,0



Proprietà di sezione:

AX (cm ²)	IX (cm ⁴)	IY (cm ⁴)	IZ (cm ⁴)
13,11	4,33	57,90	57,90

3.1.5 Casi di carico e combinazioni

Il riferimento per i carichi, ad eccezione del carico variabile, e le combinazioni di carico assunto per questa struttura è la norma russa “SP 20.13330.2016: carichi e impatti”. Per il carico variabile si è fatto riferimento al codice europeo “Eurocodice 1: azioni sulle strutture”.

PESI PROPRI

I pesi propri delle strutture in alluminio sono automaticamente calcolati dal software per un peso per unità di volume dell’alluminio di 27 kN/m^3 .

CARICHI PERMANENTI

I carichi permanenti considerati nel modello della struttura sono:

- un carico lineare uniforme di $1,6 \text{ kN/m}$ e uno di $2,7 \text{ kN/m}$ agenti rispettivamente sui correnti e sulle travi secondarie inferiori e che includono il peso del grigliato e del parapetto;
- un carico lineare uniforme di $0,1 \text{ kN/m}$ e uno di $0,2 \text{ kN/m}$ agenti rispettivamente sui correnti e sulle travi secondarie superiori e che includono il peso della lamiera grecata.

CARICHI VARIABILI

I carichi variabili considerati nel modello della struttura sono:

- un carico lineare uniforme di 5 kN/m e uno di 10 kN/m agenti rispettivamente sui correnti e sulle travi secondarie inferiori.

AZIONE DELLA NEVE

L'azione della neve è stata calcolata con la formula seguente:

$$S_0 = c_e c_t \mu S_g$$

Dove S_g , il peso del manto nevoso per 1 m^2 di superficie orizzontale, per la zona III, è $1,5 \text{ kPa}$ e c_e , c_t e μ sono dei coefficienti uguali a 1.

Quindi S_0 , il valore standard del carico di neve sulla proiezione orizzontale del rivestimento, risulta pari a $1,5 \text{ kPa}$.

AZIONE DEL VENTO

L'azione del vento è stata calcolata con la formula seguente:

$$w = w_m + w_p$$

w_m è stato calcolato con la formula seguente:

$$w_m = w_0 k c$$

Dove w_0 , il valore standard della pressione del vento, per la zona I, è 0,23 kPa e k e c sono dei coefficienti uguali a 1.

Quindi w_m risulta pari a 0,23 kPa.

w_p è stato calcolato con la formula seguente:

$$w_p = w_m \xi \zeta v$$

Dove ξ , ζ e v sono dei coefficienti rispettivamente uguali a 1,5, 0,76 e 1.

Quindi w_p e w risultano rispettivamente pari a 0,17 kPa e 0,40 kPa.

CARICHI SISMICI

I carichi sismici non sono stati considerati nel modello di calcolo strutturale perché a Mosca l'attività sismica è 5.

Riassunto dei casi di carico:

Caso	Nome del caso	Descrizione
1	PP	Peso proprio dell'intera struttura
2	PERMANENTI	Carichi permanenti
4	VARIABLE	Carichi variabili
6	Pressione del vento - Y	Pressione del vento agente in direzione Y
3	Azione della neve	Azione della neve agente sul piano del tetto

L'applicazione dei carichi sulla struttura è mostrata nelle figure seguenti:

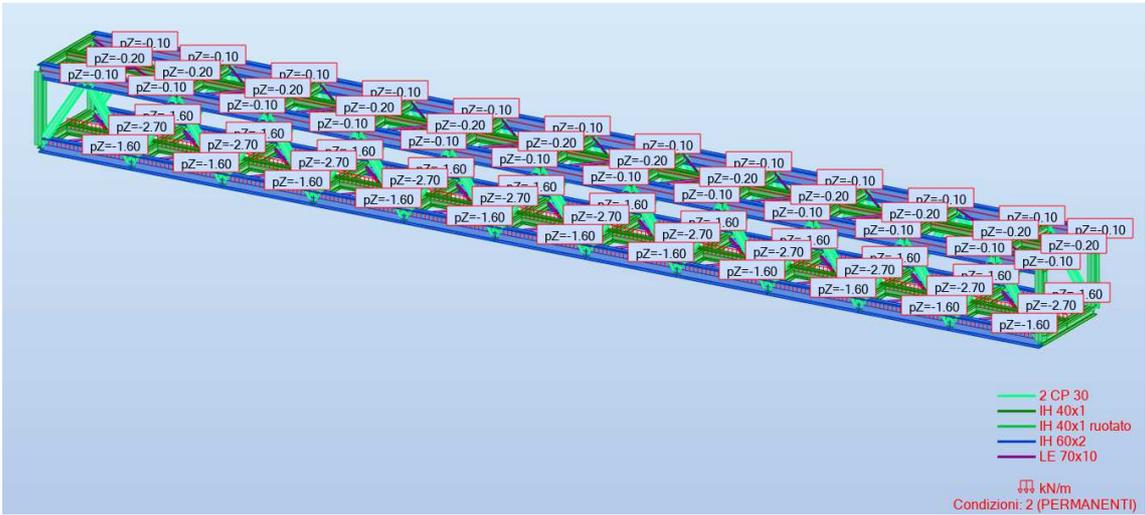


Figura 3.1.5.1

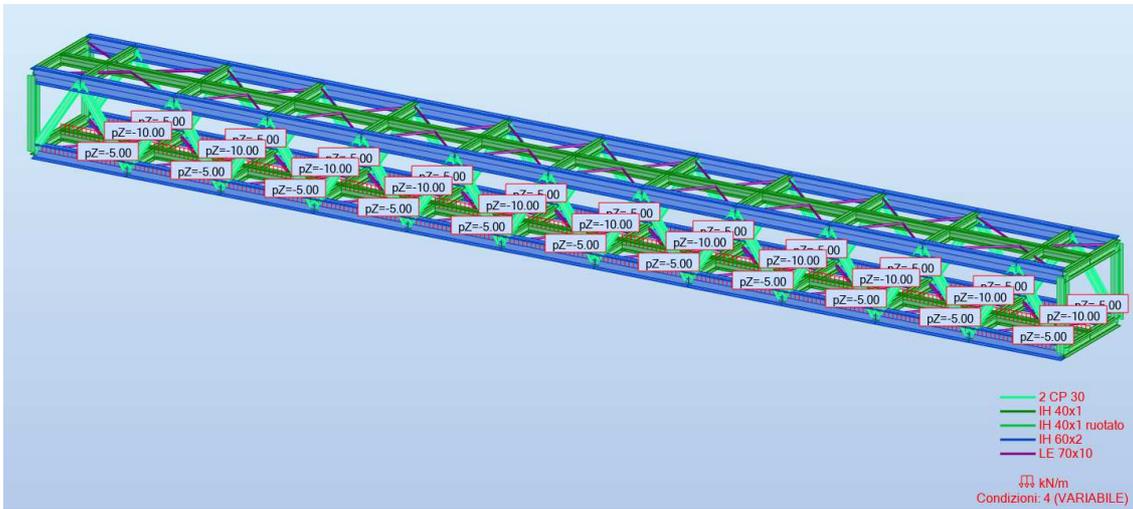


Figura 3.1.5.2

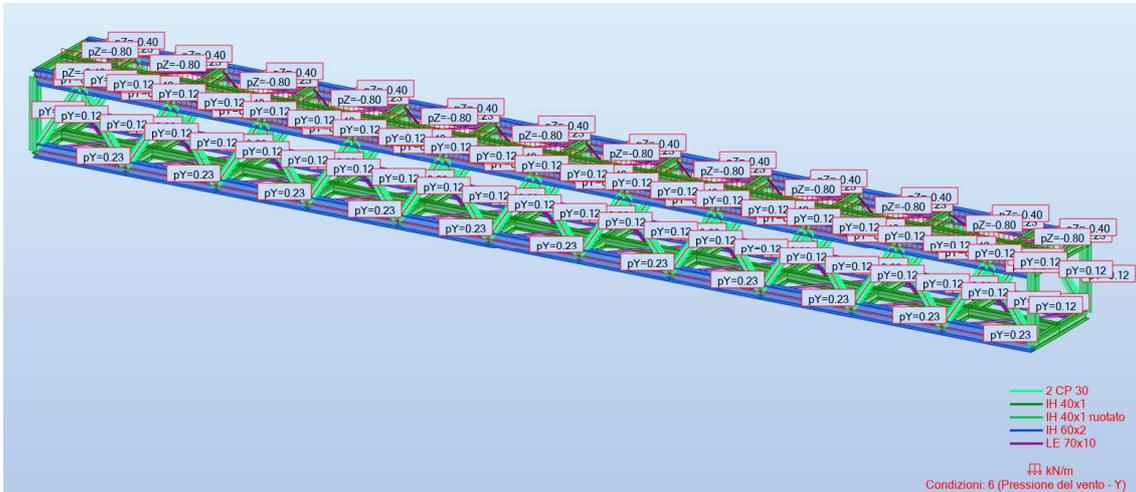


Figura 3.1.5.3

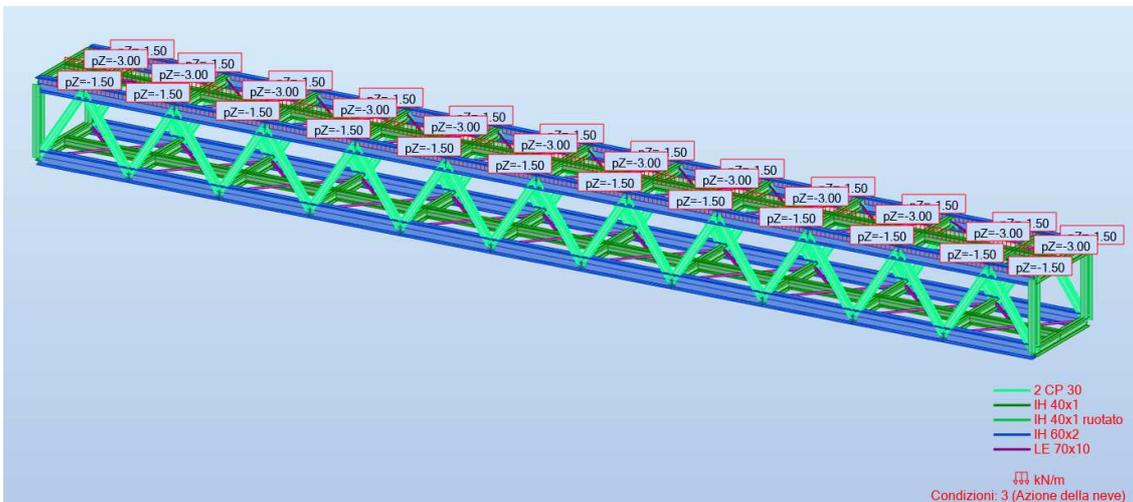


Figura 3.1.5.4

Sia il piano del tetto che quello di calpestio vengono irrigiditi mediante un sistema di controvento.

Nell'analisi dei sistemi di controvento, ai quali è richiesto di assicurare la stabilità delle travi, gli effetti delle imperfezioni devono essere inclusi attraverso una imperfezione geometrica equivalente delle membrature da vincolare, sotto forma di una imperfezione locale in termini di curvatura iniziale:

$$e_0 = \frac{\alpha_m \cdot L}{500}$$

dove L è la luce del sistema di controvento.

α_m è stato calcolato con la formula seguente:

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{m}\right)}$$

dove m è il numero delle membrature da vincolare. Nel caso in esame $m = 2$.

Quindi si ottiene un valore di α_m pari a 0,87 e un valore di e_0 pari a 76 mm.

Per semplicità, gli effetti delle imperfezioni locali in termini di curvatura iniziale delle membrature da vincolare mediante un sistema di controvento possono essere sostituiti dalla forza stabilizzante equivalente mostrata di seguito:

$$q_d = \sum N_{Ed} \cdot 8 \cdot \frac{e_0 + \delta_q}{L^2}$$

dove δ_q è lo spostamento nel piano del sistema di controvento dovuto al carico q più altri eventuali carichi esterni, valutati con l'analisi del primo ordine.

Al termine del processo iterativo si ottengono le forze finali da applicare al sistema di controvento.

Nella **tabella 3.1.5.1** sono riassunti i passaggi del processo iterativo.

$\sum N_{Ed}$ [kN]	3606
δ_{q0} [mm]	16
q_{d0} [kN/m]	1,37
F_1 [kN]	5,5
δ_{q1} [mm]	33
q_{d1} [kN/m]	1,63
F_2 [kN]	6,5
δ_{q2} [mm]	36
q_{d2} [kN/m]	1,67
F_3 [kN]	6,7
δ_{q3} [mm]	37

Tabella 3.1.5.1

Le combinazioni di carico di SLU e SLE sono le seguenti:

Comb.	Nome	Tipo	Definizione
19	SLU Normale =PP*1,05+PERMANENTI* 1,20	SLU	1*1,05+2*1,2 0
20	SLU Variabile=PP*1,05+PERM ANENTI*1,20+VARIABIL E*1,40	SLU	1*1,05+2*1,2 0+4*1,40
17	SLU Pressione del vento – Y=PP*1,05+PERMANENT I*1,20+VARIABILE*1,40+	SLU	1*1,05+2*1,2 0+(4+6+3)*1 ,40

	Pressione del vento – Y*1,40+Azione della neve*1,40		
21	SLE Normale=PP*1,00+PERMA NENTI*1,00	SLE	(1+2)*1,00
22	SLE Variabile=PP*1,00+PERM ANENTI*1,00+VARIABIL E*1,00	SLE	(1+2+4)*1,00
18	SLE Pressione del vento – Y=PP*1,00+PERMANENT I*1,00+VARIABILE*1,00+ Pressione del vento – Y*1,00+Azione della neve*1,00	SLE	(1+2+4+6+3) *1,00

3.1.6 Metodo di analisi

Le forze interne e i momenti sono stati determinati con un'analisi globale elastica usando un modello FEM.

3.1.7 Deformazioni

Nelle figure seguenti sono visibili le deflessioni della struttura per tutti i singoli casi di carico.

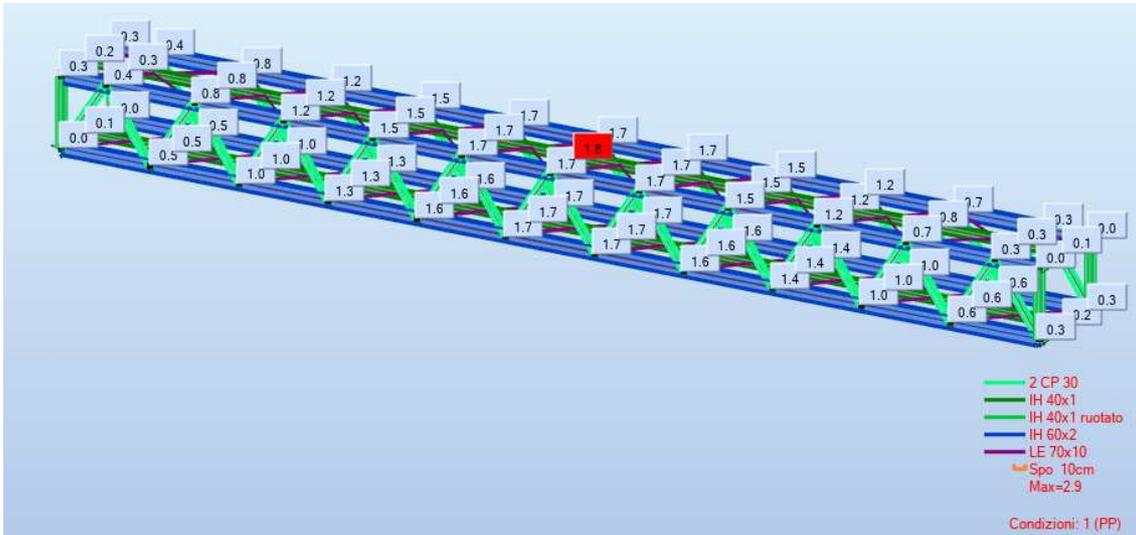


Figura 3.1.7.1

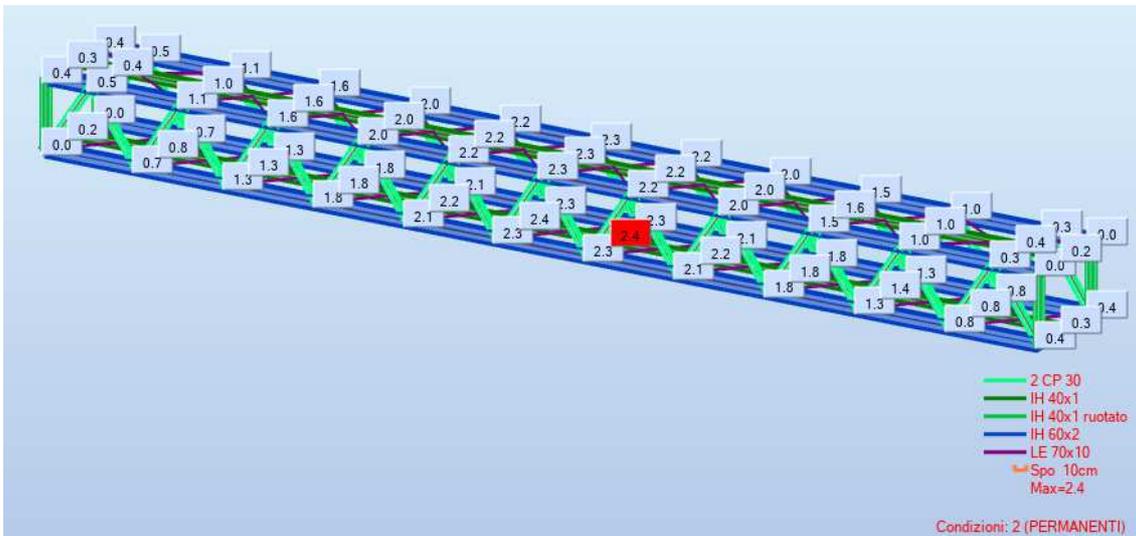


Figura 3.1.7.2

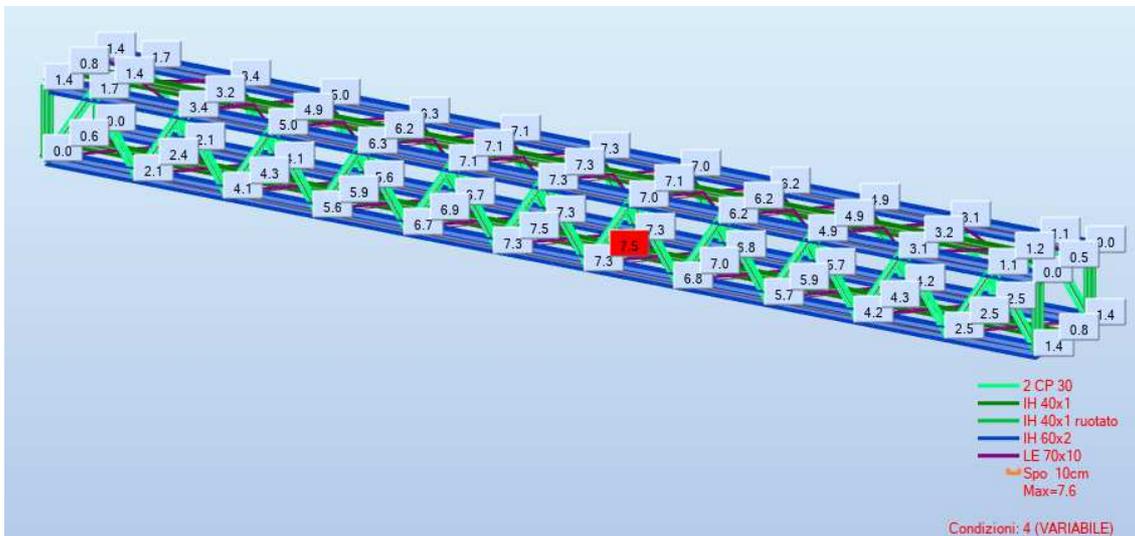


Figura 3.1.7.3

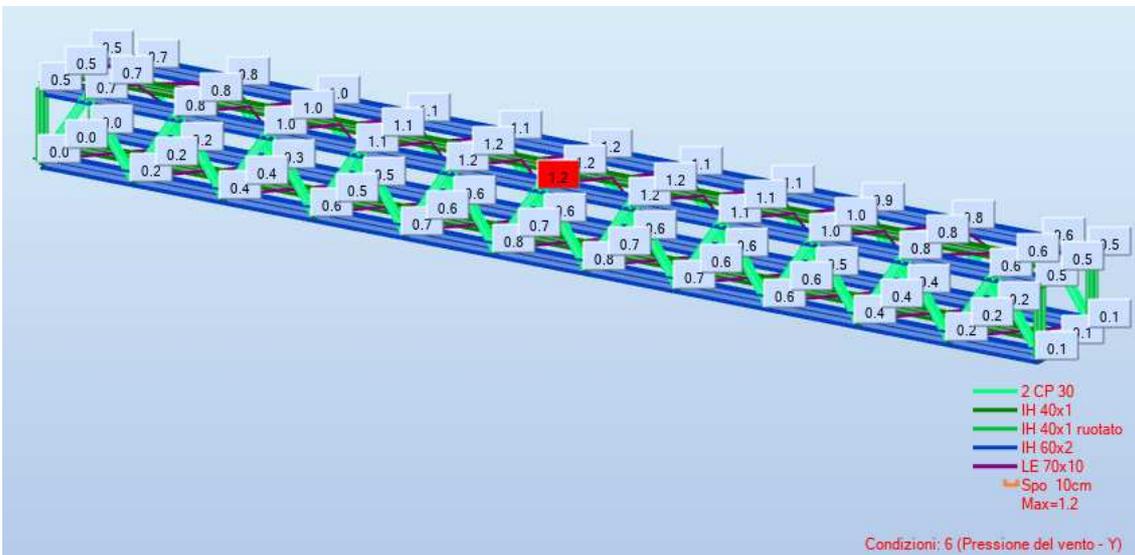


Figura 3.1.7.4

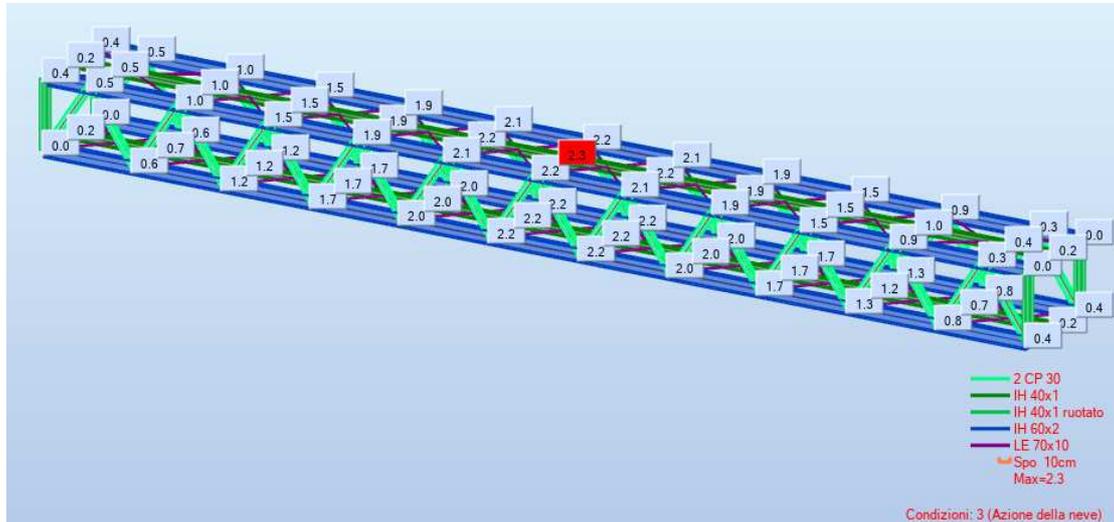


Figura 3.1.7.5

Nel caso di strutture reticolari un importante contributo deformativo è quello associato agli scorrimenti foro-bullone:

$$v_{FB} = v_C + v_D = \frac{n}{6} \cdot \frac{L}{h} \cdot (\phi - d) + \frac{L}{p} \cdot \frac{L_d}{h} \cdot (\phi - d)$$

dove:

- v_C è l'assestamento dei giunti dei correnti;
- v_D è l'assestamento dei giunti estremi delle diagonali;
- n è il numero totale dei giunti nei correnti;
- p è il passo dei nodi delle aste di parete;
- L_d è la lunghezza delle diagonali.

Nel caso in esame si ha:

n	8
p [m]	2
$\phi - d$ [mm]	1
L / h	15
v_C [mm]	27
v_D [mm]	26
v_{FB} [mm]	53

Tutti i valori di spostamento sono inferiori ai limiti suggeriti dalla norma.

3.1.8 Verifica delle membrature

La verifica delle membrature, in conformità al codice russo “SP 16.13330.2011: strutture in acciaio”, è stata fatta per tutti gli elementi (tabella seguente). Il calcolo completo è stato sviluppato per le barre più sollecitate di ogni tipologia.

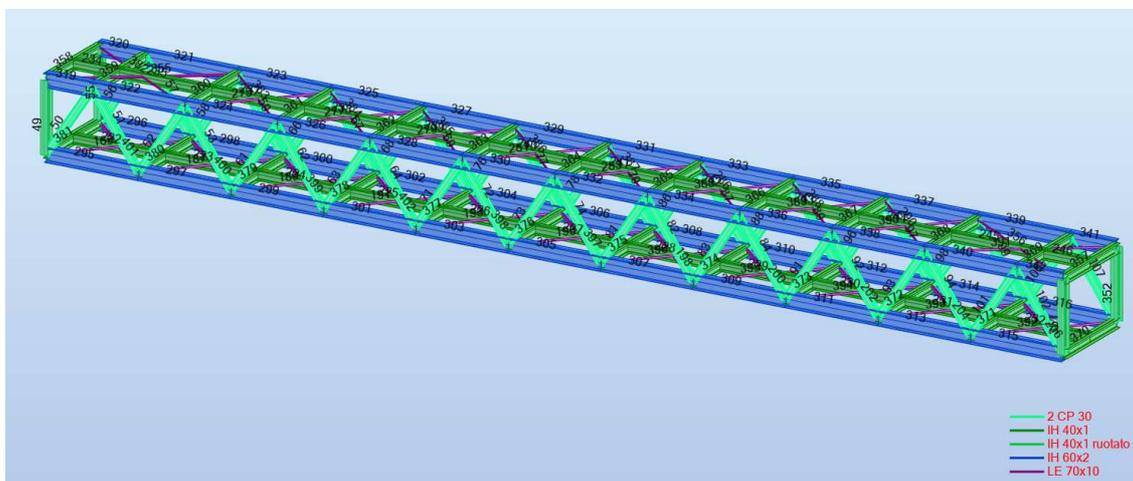


Figura 3.1.8.1

Barra	Profilato	Materiale	Resist.
49 B_49	OK IH 40x1	EN AW-6082	0.20
50 B_50	OK 2 CP 30	EN AW ^{T6} -6082	0.96
51 B_51	OK 2 CP 30	EN AW ^{T6} -6082	0.31
52 B_52	OK 2 CP 30	EN AW ^{T6} -6082	0.79
53 B_53	OK 2 CP 30	EN AW ^{T6} -6082	0.24
55 B_55	OK IH 40x1	EN AW ^{T6} -6082	0.23
56 B_56	OK 2 CP 30	EN AW ^{T6} -6082	0.96
57 B_57	OK 2 CP 30	EN AW ^{T8} -6082	0.30
58 B_58	OK 2 CP 30	EN AW ^{T8} -6082	0.78
59 B_59	OK 2 CP 30	EN AW ^{T6} -6082	0.24
61 B_61	OK 2 CP 30	EN AW ^{T6} -6082	0.60
62 B_62	OK 2 CP 30	EN AW ^{T6} -6082	0.18
63 B_63	OK 2 CP 30	EN AW ^{T6} -6082	0.41
64 B_64	OK 2 CP 30	EN AW ^{T6} -6082	0.12
66 B_66	OK 2 CP 30	EN AW ^{T6} -6082	0.59
67 B_67	OK 2 CP 30	EN AW ^{T6} -6082	0.18
68 B_68	OK 2 CP 30	EN AW ^{T6} -6082	0.40
69 B_69	OK 2 CP 30	EN AW ^{T6} -6082	0.12
71 B_71	OK 2 CP 30	EN AW ^{T6} -6082	0.22
72 B_72	OK 2 CP 30	EN AW ^{T8} -6082	0.06
73 B_73	OK 2 CP 30	EN AW ^{T8} -6082	0.03
74 B_74	OK 2 CP 30	EN AW ^{T6} -6082	0.03
76 B_76	OK 2 CP 30	EN AW ^{T6} -6082	0.21
77 B_77	OK 2 CP 30	EN AW ^{T6} -6082	0.06
78 B_78	OK 2 CP 30	EN AW ^{T6} -6082	0.03

79 B_79	OK	2 CP 30	EN AW-6082	0.03
81 B_81	OK	2 CP 30	EN AW-T6-6082	0.06
82 B_82	OK	2 CP 30	EN AW-T6-6082	0.21
83 B_83	OK	2 CP 30	EN AW-T6-6082	0.12
84 B_84	OK	2 CP 30	EN AW-T6-6082	0.40
86 B_86	OK	2 CP 30	EN AW-T6-6082	0.06
87 B_87	OK	2 CP 30	EN AW-T8-6082	0.22
88 B_88	OK	2 CP 30	EN AW-T8-6082	0.12
89 B_89	OK	2 CP 30	EN AW-T6-6082	0.41
91 B_91	OK	2 CP 30	EN AW-T6-6082	0.18
92 B_92	OK	2 CP 30	EN AW-T6-6082	0.59
93 B_93	OK	2 CP 30	EN AW-T6-6082	0.24
94 B_94	OK	2 CP 30	EN AW-T6-6082	0.78
96 B_96	OK	2 CP 30	EN AW-T6-6082	0.18
97 B_97	OK	2 CP 30	EN AW-T6-6082	0.60
98 B_98	OK	2 CP 30	EN AW-T6-6082	0.24
99 B_99	OK	2 CP 30	EN AW-T6-6082	0.79
101 B_101	OK	2 CP 30	EN AW-T6-6082	0.30
102 B_102	OK	2 CP 30	EN AW-T8-6082	0.96
106 B_106	OK	2 CP 30	EN AW-T8-6082	0.31
107 B_107	OK	2 CP 30	EN AW-T6-6082	0.97
165 B_165	OK	LE 70x10	EN AW-T6-6082 T6	0.14

187	B_187	OK	LE 70x10	EN AW-6082	0.12
189	B_189	OK	LE 70x10	EN AW-T6-6082	0.10
191	B_191	OK	LE 70x10	EN AW-T6-6082	0.09
193	B_193	OK	LE 70x10	EN AW-T6-6082	0.06
195	B_195	OK	LE 70x10	EN AW-T6-6082	0.07
198	B_198	OK	LE 70x10	EN AW-T6-6082	0.04
200	B_200	OK	LE 70x10	EN AW-T6-6082	0.05
202	B_202	OK	LE 70x10	EN AW-T8-6082	0.05
204	B_204	OK	LE 70x10	EN AW-T8-6082	0.06
206	B_206	OK	LE 70x10	EN AW-T6-6082	0.08
222	B_222	OK	IH 40x1	EN AW-T6-6082	0.10
223	B_223	OK	IH 40x1	EN AW-T6-6082	0.12
224	B_224	OK	IH 40x1	EN AW-T6-6082	0.13
225	B_225	OK	IH 40x1	EN AW-T6-6082	0.14
226	B_226	OK	IH 40x1	EN AW-T6-6082	0.15
227	B_227	OK	IH 40x1	EN AW-T6-6082	0.15
228	B_228	OK	IH 40x1	EN AW-T6-6082	0.15
229	B_229	OK	IH 40x1	EN AW-T6-6082	0.14
230	B_230	OK	IH 40x1	EN AW-T6-6082	0.13
231	B_231	OK	IH 40x1	EN AW-T8-6082	0.12
232	B_232	OK	IH 40x1	EN AW-T8-6082	0.10
234	B_234	OK	IH 40x1	EN AW-T6-6082	0.02
235	B_235	OK	IH 40x1	EN AW-T6-6082	0.09
237	B_237	OK	IH 40x1	EN AW-T6-6082	0.11
238	B_238	OK	IH 40x1	EN AW-T6-6082	0.13

239	B_239	OK	IH 40x1	EN AW-6082	0.15
240	B_240	OK	IH 40x1	EN AW- ^{T6} 6082	0.15
241	B_241	OK	IH 40x1	EN AW- ^{T6} 6082	0.15
242	B_242	OK	IH 40x1	EN AW- ^{T6} 6082	0.15
243	B_243	OK	IH 40x1	EN AW- ^{T6} 6082	0.13
244	B_244	OK	IH 40x1	EN AW- ^{T6} 6082	0.11
245	B_245	OK	IH 40x1	EN AW- ^{T8} 6082	0.09
246	B_246	OK	IH 40x1	EN AW- ^{T8} 6082	0.02
275	B_275	OK	LE 70x10	EN AW- ^{T6} 6082	0.18
277	B_277	OK	LE 70x10	EN AW- ^{T6} 6082	0.13
279	B_279	OK	LE 70x10	EN AW- ^{T6} 6082	0.08
281	B_281	OK	LE 70x10	EN AW- ^{T6} 6082 T6	0.04
286	B_286	OK	LE 70x10	EN AW- ^{T6} 6082	0.09
288	B_288	OK	LE 70x10	EN AW- ^{T6} 6082	0.16
290	B_290	OK	LE 70x10	EN AW- ^{T6} 6082	0.20
295	B_295	OK	IH 60x2	EN AW- ^{T6} 6082	0.10
296	B_296	OK	IH 60x2	EN AW- ^{T6} 6082	0.09
297	B_297	OK	IH 60x2	EN AW- ^{T8} 6082	0.19
298	B_298	OK	IH 60x2	EN AW- ^{T8} 6082	0.18
299	B_299	OK	IH 60x2	EN AW- ^{T6} 6082	0.27
300	B_300	OK	IH 60x2	EN AW- ^{T6} 6082 T6	0.27

301	B_301	OK	IH 60x2	EN AW-6082	0.33
302	B_302	OK	IH 60x2	EN AW ^{T6} -6082	0.34
303	B_303	OK	IH 60x2	EN AW ^{T6} -6082	0.37
304	B_304	OK	IH 60x2	EN AW ^{T6} -6082	0.38
305	B_305	OK	IH 60x2	EN AW ^{T6} -6082	0.38
306	B_306	OK	IH 60x2	EN AW ^{T6} -6082	0.39
307	B_307	OK	IH 60x2	EN AW ^{T6} -6082	0.37
308	B_308	OK	IH 60x2	EN AW ^{T8} -6082	0.38
309	B_309	OK	IH 60x2	EN AW ^{T8} -6082	0.33
310	B_310	OK	IH 60x2	EN AW ^{T6} -6082	0.34
311	B_311	OK	IH 60x2	EN AW ^{T6} -6082	0.27
312	B_312	OK	IH 60x2	EN AW ^{T6} -6082	0.28
313	B_313	OK	IH 60x2	EN AW ^{T6} -6082	0.18
314	B_314	OK	IH 60x2	EN AW ^{T6} -6082	0.19
315	B_315	OK	IH 60x2	EN AW ^{T6} -6082	0.09
316	B_316	OK	IH 60x2	EN AW ^{T6} -6082	0.09
319	B_319	OK	IH 60x2	EN AW ^{T6} -6082	0.06
320	B_320	OK	IH 60x2	EN AW ^{T6} -6082	0.05
321	B_321	OK	IH 60x2	EN AW ^{T6} -6082	0.24
322	B_322	OK	IH 60x2	EN AW ^{T8} -6082	0.27
323	B_323	OK	IH 60x2	EN AW ^{T8} -6082	0.40
324	B_324	OK	IH 60x2	EN AW ^{T6} -6082	0.47
325	B_325	OK	IH 60x2	EN AW ^{T6} -6082	0.53
326	B_326	OK	IH 60x2	EN AW ^{T6} -6082	0.61
327	B_327	OK	IH 60x2	EN AW ^{T6} -6082	0.61

T6

328	B_328	OK	IH 60x2	EN AW-6082	0.71
329	B_329	OK	IH 60x2	EN AW ^{T6} -6082	0.65
330	B_330	OK	IH 60x2	EN AW ^{T6} -6082	0.76
331	B_331	OK	IH 60x2	EN AW ^{T6} -6082	0.65
332	B_332	OK	IH 60x2	EN AW ^{T6} -6082	0.75
333	B_333	OK	IH 60x2	EN AW ^{T6} -6082	0.61
334	B_334	OK	IH 60x2	EN AW ^{T8} -6082	0.71
335	B_335	OK	IH 60x2	EN AW ^{T8} -6082	0.53
336	B_336	OK	IH 60x2	EN AW ^{T6} -6082	0.61
337	B_337	OK	IH 60x2	EN AW ^{T6} -6082	0.40
338	B_338	OK	IH 60x2	EN AW ^{T6} -6082	0.47
339	B_339	OK	IH 60x2	EN AW ^{T6} -6082	0.24
340	B_340	OK	IH 60x2	EN AW ^{T6} -6082	0.27
341	B_341	OK	IH 60x2	EN AW ^{T6} -6082	0.05
342	B_342	OK	IH 60x2	EN AW ^{T6} -6082	0.06
351	B_351	OK	IH 40x1	EN AW ^{T6} -6082	0.22
352	B_352	OK	IH 40x1	EN AW ^{T6} -6082	0.24
355	B_355	OK	LE 70x10	EN AW ^{T6} -6082	0.32
356	B_356	OK	LE 70x10	EN AW ^{T8} -6082	0.34
357	B_357	OK	IH 40x1	EN AW ^{T8} -6082	0.48
358	B_358	OK	IH 40x1	EN AW ^{T6} -6082	0.48
359	B_359	OK	IH 40x1	EN AW ^{T6} -6082	0.51

360	B_360	OK	IH 40x1	EN AW-6082	0.50
361	B_361	OK	IH 40x1	EN AW ^{T6} -6082	0.42
362	B_362	OK	IH 40x1	EN AW ^{T6} -6082	0.31
363	B_363	OK	IH 40x1	EN AW ^{T6} -6082	0.19
364	B_364	OK	IH 40x1	EN AW ^{T6} -6082	0.06
365	B_365	OK	IH 40x1	EN AW ^{T6} -6082	0.19
366	B_366	OK	IH 40x1	EN AW ^{T6} -6082	0.31
367	B_367	OK	IH 40x1	EN AW ^{T8} -6082	0.42
368	B_368	OK	IH 40x1	EN AW ^{T8} -6082	0.50
369	B_369	OK	IH 40x1	EN AW ^{T6} -6082	0.51
370	B_370	OK	IH 40x1	EN AW ^{T6} -6082	0.58
371	B_371	OK	IH 40x1	EN AW ^{T6} -6082	0.63
372	B_372	OK	IH 40x1	EN AW ^{T6} -6082	0.57
373	B_373	OK	IH 40x1	EN AW ^{T6} -6082	0.48
374	B_374	OK	IH 40x1	EN AW ^{T6} -6082	0.36
375	B_375	OK	IH 40x1	EN AW ^{T6} -6082	0.24
376	B_376	OK	IH 40x1	EN AW ^{T6} -6082	0.24
377	B_377	OK	IH 40x1	EN AW ^{T6} -6082	0.37
378	B_378	OK	IH 40x1	EN AW ^{T6} -6082	0.48
379	B_379	OK	IH 40x1	EN AW ^{T8} -6082	0.57
380	B_380	OK	IH 40x1	EN AW ^{T8} -6082	0.64
381	B_381	OK	IH 40x1	EN AW ^{T6} -6082	0.58

NORMA: Strutture in acciaio SP 16.13330.2011*

TIPO DI ANALISI: Verifica delle barre

GRUPPO:

BARRA: 352 B_352

PUNTO: 3

COORDINATA: x = 1.00 L = 3.00 m

CARICHI:

Condizione di carico decisiva: 17 SLU Pressione del vento - Y 1*1.05+2*1.20+(3+4)*1.40+15*1.00

MATERIAL

EN AW-6082 T6

Ry = 236.00 MPa

gs = 1.30

Ra = 136.88 MPa

gc1 = 1.00

Ra = 236.00 MPa

gc2 = 1.00

E = 70000.00 MPa

gn = 1.00



PARAMETRI DELLA SEZIONE: IH 40x1

hw=38.8 cm

bf=30.0 cm

t=0.9 cm

tf=1.4 cm

Anima:

Ala:

Ay=94.00 cm²

Iy=34360.00 cm⁴

Wely=1771.13 cm³

heft=33.26

heftf=8.80

Aw=36.86 cm²

Iw=6306.00 cm⁴

Wew=420.40 cm³

Lam_uw=87.80

Lam_uf=10.38

Ax=122.40 cm²

Ix=64.54 cm⁴

AZIONI INTERNE E COEFFICIENTI

N = 58.91 kN

My = 93.26 kN*m

mefy = 15.09

Qy = 0.00 kN

Mz = -0.00 kN*m

mefz = 0.00

Qz = 30.84 kN

TENSIONI NEI PUNTI CARATTERISTICI DELLA SEZIONE

SigN = 4.81 MPa

SigMy = 52.66 MPa

SigMz = 0.01 MPa

Ty,max = 0.00 MPa

Ty,mid = 0.00 MPa

Tr,max = 9.18 MPa

Tr,mid = 8.37 MPa



PARAMETRI IN STABILITÀ LATERALE:

PARAMETRI DI IN STABILITÀ:



rispetto all'asse Y:

ly = 3.00 m

Fiy = 0.94

lefy = 3.00 m

Ny = 1.38

Lamy = 17.91

Fiey = 0.10

Lam_y = 1.04



rispetto all'asse Z:

lz = 3.00 m

Fiz = 0.75

leflz = 3.00 m

Fic = 0.98

Lamz = 41.80

Fieyz = 0.43

Lam_z = 2.43

c = 0.15

FORMULE DI VERIFICA:

Verifica della sezione della barra

Anima: Lam_w/Lam_uw = 0.38 < 1.0; Ala: Lam_f/Lam_uf = 0.85 < 1.0 [9.4] SEZIONE COMPATTA

$(N/A_n + M_y/W_{yn} + M_z/W_{zn}) / (R_y \cdot g_{c1} \cdot g_n) = 0.24 < 1.00$ [9.1.1-(106)]

$T_{y,max} / (R_s \cdot g_{c1} \cdot g_n) = 0.00 < 1.00$ [8.2.1-(42)]; $T_{z,max} / (R_s \cdot g_{c1} \cdot g_n) = 0.07 < 1.00$ [8.2.1-(42)]

Verifica della stabilità della barra

$N / (F_{iey} \cdot A \cdot R_y \cdot g_{c2} \cdot g_n) = 0.21 < 1.00$ [9.2.2-(109)]

$N / (c \cdot F_{iz} \cdot A \cdot R_y \cdot g_{c2} \cdot g_n) = 0.18 < 1.00$ [9.2.4-(111)]

Profilato corretto !!!

NORMA: [Strutture In acciaio SP 10.13330.2011](#)

TIPO DI ANALISI: [Verifica delle barre](#)

GRUPPO:

BARRA: 380 B_380

PUNTO: 1

COORDINATA: $x = 0.50 L = 2.00 \text{ m}$

CARICHI:

Condizione di carico decisiva: 17 SLU Pressione del vento - Y $1*1.05+2*1.20+(3+4)*1.40+15*1.00$

MATERIAL

EN AW-6082 T6

$R_y = 236.00 \text{ MPa}$

$g_y = 1.30$

$R_s = 136.88 \text{ MPa}$

$g_{c1} = 1.00$

$R_u = 236.00 \text{ MPa}$

$g_{c2} = 1.00$

$E = 70000.00 \text{ MPa}$

$g_n = 1.00$



PARAMETRI DELLA SEZIONE: IH 40x1

$h_t = 38.8 \text{ cm}$

$b_f = 30.0 \text{ cm}$

$t_w = 0.9 \text{ cm}$

$t_f = 1.4 \text{ cm}$

Anima:

Ala:

$A_y = 84.00 \text{ cm}^2$

$I_y = 34360.00 \text{ cm}^4$

$W_{ely} = 1771.13 \text{ cm}^3$

$h_{ef} = 33.26$

$b_{ef} = 8.80$

$A_z = 36.86 \text{ cm}^2$

$I_z = 6306.00 \text{ cm}^4$

$W_{elz} = 420.40 \text{ cm}^3$

$L_{am,w} = 91.01$

$L_{am,uf} = 8.99$

$A_x = 122.40 \text{ cm}^2$

$I_x = 64.54 \text{ cm}^4$

AZIONI INTERNE E COEFFICIENTI

$N = 23.10 \text{ kN}$

$M_y = 71.04 \text{ kN}^*\text{m}$

$m_{efy} = 21.26$

$Q_y = -22.72 \text{ kN}$

$M_z = -45.44 \text{ kN}^*\text{m}$

$m_{efz} = 57.28$

$Q_z = -35.17 \text{ kN}$

TENSIONI NEI PUNTI CARATTERISTICI DELLA SEZIONE

$\text{Sig}_N = 1.89 \text{ MPa}$

$\text{Sig}_{My} = 40.11 \text{ MPa}$

$\text{Sig}_{Mz} = 108.09 \text{ MPa}$

$T_{y,max} = -3.92 \text{ MPa}$

$T_{y,mid} = -2.70 \text{ MPa}$

$T_{z,max} = -10.48 \text{ MPa}$

$T_{z,mid} = -9.54 \text{ MPa}$



PARAMETRI IN STABILITÀ LATERALE:

PARAMETRI DI INSTABILITÀ:



rispetto all'asse Y:

$l_y = 4.00 \text{ m}$

$F_{iy} = 0.91$

$l_{efy} = 4.00 \text{ m}$

$L_{amy} = 23.87$

$L_{m_y} = 1.39$

$F_{ieyz} = 0.03$



rispetto all'asse Z:

$l_z = 4.00 \text{ m}$

$F_{iz} = 0.88$

$l_{efz} = 2.00 \text{ m}$

$L_{amz} = 27.86$

$L_{m_z} = 1.62$

$F_{icz} = 1.00$

$F_{ieyz} = 0.03$

FORMULE DI VERIFICA:

Verifica della sezione della barra

Anima: $L_{am,w}/L_{am,uv} = 0.37 < 1.0$; Ala: $L_{am,f}/L_{am,uf} = 0.98 < 1.0$ [9.4] SEZIONE COMPATTA

$(N/A_n + M_y/W_{yn} + M_z/W_{zn}) / (R_y * g_{c1} / g_n) = 0.64 < 1.00$ [9.1.1-(106)]

$T_{y,max} / (R_s * g_{c1} / g_n) = 0.03 < 1.00$ [9.2.1-(42)]; $T_{z,max} / (R_s * g_{c1} / g_n) = 0.08 < 1.00$ [9.2.1-(42)]

Verifica della stabilità della barra

$N / (\min(F_{iy}, F_{iz}, F_{ic}) * A * R_y * g_{c2} / g_n) = 0.01 < 1.00$ [7.1-(7),(10)]

$N / (F_{ieyz} * A * R_y * g_{c2} / g_n) = 0.25 < 1.00$ [9.2.9-(116)]

Profilato corretto !!!

NORMA: [Strutture in acciaio SP 10.13330.2011*](#)

TIPO DI ANALISI: [Verifica delle barre](#)

GRUPPO:

BARRA: 240 B_240

PUNTO: 2

COORDINATA: $x = 0.50 L = 2.00 \text{ m}$

CARICHI:

Condizione di carico decisiva: 17 SLU Pressione del vento - Y $1*1.05+2*1.20+(3+4)*1.40+15*1.00$

MATERIAL

EN AW-6082 T6

$R_y = 236.00 \text{ MPa}$

$g_u = 1.30$

$R_s = 136.88 \text{ MPa}$

$g_{c1} = 1.00$

$R_u = 236.00 \text{ MPa}$

$g_{c2} = 1.00$

$E = 70000.00 \text{ MPa}$

$g_n = 1.00$



PARAMETRI DELLA SEZIONE: IH 40x1

$h = 38.8 \text{ cm}$

$b_f = 30.0 \text{ cm}$

$t = 0.9 \text{ cm}$

$t_f = 1.4 \text{ cm}$

Anima:

Ala:

$A_y = 84.00 \text{ cm}^2$

$I_y = 34360.00 \text{ cm}^4$

$W_{ely} = 1771.13 \text{ cm}^3$

$h_{ef} = 33.26$

$b_{ef} t_f = 8.80$

$A_z = 36.86 \text{ cm}^2$

$I_z = 6306.00 \text{ cm}^4$

$W_{elz} = 420.40 \text{ cm}^3$

$L_{am,uv} = 35.53$

$L_{am,uf} = 11.60$

$A_x = 122.40 \text{ cm}^2$

$I_x = 64.54 \text{ cm}^4$

AZIONI INTERNE E COEFFICIENTI

$N = 205.89 \text{ kN}$

$M_y = 11.81 \text{ kN} \cdot \text{m}$

$m_{efy} = 0.68$

TENSIONI NEI PUNTI CARATTERISTICI DELLA SEZIONE

$\text{Sig}N = 16.82 \text{ MPa}$

$\text{Sig}M_y = 6.67 \text{ MPa}$



PARAMETRI IN STABILITÀ LATERALE:

$l_{ef,b} = 4.00 \text{ m}$

$\Psi = 1.78$

$\text{Alfa} = 2.20$

$\text{Fil} = 0.91$

$\text{Fib} = 0.87$

PARAMETRI DI INSTABILITÀ:



rispetto all'asse Y:

$l_y = 4.00 \text{ m}$

$\text{Fiy} = 0.91$

$l_{efy} = 4.00 \text{ m}$

$\text{Niy} = 1.70$

$L_{amy} = 23.87$

$\text{Fiey} = 0.68$

$L_{am,y} = 1.39$



rispetto all'asse Z:

$l_z = 4.00 \text{ m}$

$\text{Fiz} = 0.59$

$l_{efz} = 4.00 \text{ m}$

$\text{Ficz} = 0.81$

$L_{amz} = 55.73$

$L_{am,z} = 3.24$

$c = 0.78$

FORMULE DI VERIFICA:

[Verifica della sezione della barra](#)

Anima: $L_{am,w}/L_{am,uv} = 0.94 < 1.0$; Ala: $L_{am,f}/L_{am,uf} = 0.76 < 1.0$ [9.4] SEZIONE COMPATTA

$(N \cdot A_n + M_y/W_{yn}) / (R_y \cdot g_{c1} \cdot g_n) = 0.10 < 1.00$ [9.1.1-(106)]

[Verifica della stabilità della barra](#)

$N / (\min(\text{Fiy}, \text{Fiz}, \text{Fic}) \cdot A \cdot R_y \cdot g_{c1} \cdot g_n) = 0.12 < 1.00$ [7.1-(7),(10)]

$N / (c \cdot \text{Fiz} \cdot A \cdot R_y \cdot g_{c1} \cdot g_n) = 0.15 < 1.00$ [9.2.4-(111)]

Profilato corretto !!!

NORMA: [Strutture in acciaio SP 16.13330.2011](#)

TIPO DI ANALISI: [Verifica delle barre](#)

GRUPPO:

BARRA: 330 B_330

PUNTO: 1

COORDINATA: $x = 0.00$ $L = 0.00$ m

CARICHI:

Condizione di carico decisiva: 17 SLU Pressione del vento - Y $1*1.05+2*1.20+(3+4)*1.40+15*1.00$

MATERIAL

EN AW-6082 T6

$R_y = 236.00$ MPa

$R_s = 136.88$ MPa

$R_{s2} = 236.00$ MPa

$E = 70000.00$ MPa

$g_{y1} = 1.30$

$g_{c1} = 1.00$

$g_{c2} = 1.00$

$g_n = 1.00$



PARAMETRI DELLA SEZIONE: IH 60x2

$h_t = 58.7$ cm

$b_f = 32.0$ cm

$t = 1.6$ cm

$t_f = 2.1$ cm

Anima:

A_{ia} :

$A_y = 131.20$ cm²

$I_y = 131800.00$ cm⁴

$W_{ely} = 4490.63$ cm³

$h_{ef1} = 30.62$

$b_{ef1} = 6.05$

$A_z = 93.92$ cm²

$I_z = 11230.00$ cm⁴

$W_{elz} = 701.87$ cm³

$L_{am,uv} = 38.27$

$L_{am,uf} = 11.78$

$A_x = 225.30$ cm²

$I_t = 335.81$ cm⁴

AZIONI INTERNE E COEFFICIENTI

$N = 2041.12$ kN

$M_y = 80.52$ kN*m

$M_x = 0.72$ kN*m

$m_{efy} = 0.37$

$m_{efx} = 0.01$

$Q_y = -0.28$ kN

$Q_x = 7.39$ kN

$c_y = 1.09$

$c_x = 1.47$

TENSIONI NEI PUNTI CARATTERISTICI DELLA SEZIONE

$\text{Sig}_N = 90.60$ MPa

$\text{Sig}_{M_y} = 17.93$ MPa

$\text{Sig}_{M_x} = -1.03$ MPa

$\text{Sig}_t = 108.53$ MPa

$T_{y,max} = -0.03$ MPa

$T_{x,max} = 0.89$ MPa

$T_{y,mid} = -0.02$ MPa

$T_{x,mid} = 0.79$ MPa



PARAMETRI IN STABILITÀ LATERALE:

$l_{ef,b} = 4.00$ m

$\Psi_{ai} = 1.77$

$\text{Alfa} = 2.14$

$\text{Fil} = 0.96$

$\text{Fib} = 0.88$

PARAMETRI DI IN STABILITÀ:



rispetto all'asse Y:

$l_y = 4.00$ m

$F_{iy} = 0.97$

$l_{efy} = 4.00$ m

$N_y = 1.70$

$L_{am,y} = 16.54$

$F_{iey} = 0.82$

$L_{am,y} = 0.96$



rispetto all'asse Z:

$l_z = 4.00$ m

$F_{iz} = 0.58$

$l_{efz} = 4.00$ m

$F_{icz} = 0.77$

$L_{am,z} = 56.66$

$F_{ieyz} = 0.56$

$L_{am,z} = 3.29$

$c = 0.87$

FORMULE DI VERIFICA:

Verifica della sezione della barra

Anima: $L_{am,w}/L_{am,uv} = 0.80 < 1.0$; $A_{ia}: L_{am,f}/L_{am,uf} = 0.51 < 1.0$ [9.4] SEZIONE COMPATTA

$\text{sqrt}(\text{Sig}^2 + 3.0 * T_{y,max}^2) * 0.87 / (R_y * g_{c1} * g_n) = 0.40 < 1.00$ [8.2.1-(44)]

$T_{y,max} / (R_s * g_{c1} * g_n) = 0.00 < 1.00$ [8.2.1-(42)]; $T_{x,max} / (R_s * g_{c1} * g_n) = 0.01 < 1.00$ [8.2.1-(42)]

Verifica della stabilità della barra

$N / (\min(F_{iy}, F_{iz}, F_{ic}) * A * R_y * g_{c2} * g_n) = 0.66 < 1.00$ [7.1-(7),(10)]

$N / (c * F_{iz} * A * R_y * g_{c2} * g_n) = 0.76 < 1.00$ [9.2.4-(111)]

Profilato corretto !!!

NORMA: [Strutture in acciaio SP 10.13330.2011](#)

TIPO DI ANALISI: [Verifica delle barre](#)

GRUPPO:

BARRA: 107 B_107

PUNTO: 3

COORDINATA: x = 1.00 L = 3.61 m

CARICHI:

Condizione di carico decisiva: 17 SLU Pressione del vento - Y 1*1.05+2*1.20+(3+4)*1.40+15*1.00

MATERIAL

EN AW-6082 T6

Ry = 236.00 MPa

gu = 1.30

Ra = 136.88 MPa

gc1 = 1.00

Ra = 236.00 MPa

gc2 = 1.00

E = 70000.00 MPa

gn = 1.00



PARAMETRI DELLA SEZIONE: 2 CP 30

ht=30.0 cm

bf=21.0 cm

t=0.7 cm

tf=1.1 cm

Anima:

Ala:

Ay=44.00 cm²

Iy=11660.00 cm⁴

Wely=777.33 cm³

heft = 39.08

bef/ft = 7.41

Az=39.00 cm²

Iz=1684.20 cm⁴

Welz=160.40 cm³

Lam_uw = 39.61

Lam_wf = 12.92

Ax=81.00 cm²

Ix=22.46 cm⁴

AZIONI INTERNE E COEFFICIENTI

N = 610.79 kN

Qy = 0.30 kN

Qz = -0.23 kN

TENSIONI NEI PUNTI CARATTERISTICI DELLA SEZIONE

SigN = 75.41 MPa

Ty,max = 0.09 MPa

Ty,mid = 0.07 MPa

Tz,max = -0.12 MPa

Tz,mid = -0.06 MPa



PARAMETRI IN STABILITÀ LATERALE:

PARAMETRI DI IN STABILITÀ:



rispetto all'asse Y:

ly = 3.61 m

lefy = 3.61 m

Lamy = 30.05

Lam_y = 1.74

Fiy = 0.79



rispetto all'asse Z:

lz = 3.61 m

lez = 3.61 m

Lamz = 79.07

Lam_z = 4.59

Fiz = 0.33

FORMULE DI VERIFICA:

Verifica della sezione della barra

Anima: Lam_w/Lam_uw = 0.99 < 1.0; Ala: Lam_f/Lam_wf = 0.57 < 1.0 [7.3] SEZIONE COMPATTA

N/(A*Ry*gc1/gn) = 0.32 < 1.00 [7.1.1-(5)]

Ty,max / (Ra*gc1/gn) = 0.00 < 1.00 [8.2.1-(42)]; Tz,max / (Ra*gc1/gn) = 0.00 < 1.00 [8.2.1-(42)]

Verifica della stabilità della barra

N/(min(Fiy,Fiz)*A*Ry*gc2/gn) = 0.97 < 1.00 [7.1-(7)]

Profilato corretto !!!

NORMA: *Strutture in acciaio SP 16.13330.2011**.

TIPO DI ANALISI: *Verifica delle barre*

GRUPPO:

BARRA: 356 B_356

PUNTO: 2

COORDINATA: $x=0.50L=3.61$ m

CARICHI:

Condizione di carico decisiva: 17 SLU Pressione del vento - Y $1*1.05+2*1.20+(3+4)*1.40+15*1.00$

MATERIAL

EN AW-6082 T6

Ry = 236.00 MPa

gu = 1.30

Rs = 136.88 MPa

gc1 = 1.00

Ru = 236.00 MPa

gc2 = 1.00

E = 70000.00 MPa

gn = 1.00



PARAMETRI DELLA SEZIONE: LE 70x10

ht=7.0 cm

bf=7.0 cm

t=1.0 cm

tf=1.0 cm

Ay=7.00 cm²

Iy=57.90 cm⁴

Wely=11.82 cm³

Az=7.00 cm²

Iz=57.90 cm⁴

Welz=11.82 cm³

Ax=13.11 cm²

It=4.33 cm⁴

AZIONI INTERNE E COEFFICIENTI

N = -94.86 kN

M_y = 0.24 kN*m

cy = 1.00

TENSIONI NEI PUNTI CARATTERISTICI DELLA SEZIONE

SigN = -72.36 MPa

SigM_y = 20.44 MPa



PARAMETRI IN STABILITÀ LATERALE:

PARAMETRI DI INSTABILITÀ:



rispetto all'asse Y:



rispetto all'asse Z:

FORMULE DI VERIFICA:

Verifica della sezione della barra

$(N/(A_n \cdot R_y \cdot g_{c1}/g_n))^{1.00} + M_y/(c_y \cdot W_{y, \min} \cdot R_y \cdot g_{c1}/g_n) = 0.34 < 1.00$ [9.1.1-(105)]

Verifica della stabilità della barra

Analisi non effettuata

Profilato corretto !!!

3.1.9 Verifica dei collegamenti

La verifica dei collegamenti, in conformità al codice europeo “Eurocodice 9: progettazione delle strutture di alluminio”, è stata fatta per tutte le unioni. Il calcolo completo è stato sviluppato per i collegamenti più sollecitati di ogni tipologia.

TRAVE SECONDARIA IN APPOGGIO SULLA PRINCIPALE

Al fine di avere la trave secondaria in appoggio sulla principale alla stessa quota è stato utilizzato un collegamento con elementi angolari (squadrette) in alluminio EN AW-6082 T6 con mortesatura delle flange della trave secondaria. Si ha uno sforzo normale $N_{Ed} = 206 \text{ kN}$ e un taglio $V_{z,Ed} = 35 \text{ kN}$.

Si utilizzano 6 bulloni M16 in acciaio inossidabile A4-80 per ogni squadretta. In funzione dei limiti sull'interasse dei bulloni si adottano angolari di altezza 240 mm e larghezza 190 mm con spessore pari a 10 mm.

A causa delle eccentricità occorre tener conto dei momenti parassiti che nascono. Si riportano le sollecitazioni agenti sul singolo bullone delle due sezioni e le resistenze di progetto, facendo attenzione a considerare il numero corretto di sezioni resistenti:

e_1 [mm]	105
$F_{z,Ed1}$ [kN]	6
$F_{x,Ed1}$ [kN]	50
$F_{v,Sd1}$ [kN]	50
$F_{v,Rd1}$ [kN]	100

Tabella 3.1.9.1

e_2 [mm]	105
$F_{z,Ed2}$ [kN]	6
$F_{x,Ed2}$ [kN]	15
$F_{v,Sd2}$ [kN]	16

$F_{t,Sd2}$ [kN]	17
$F_{v,Rd2}$ [kN]	100
$B_{t,Rd2}$ [kN]	90

Tabella 3.1.9.2

Si procede alla verifica a rifollamento del bullone:

$$\frac{F_{x,Ed}}{F_{x,b,Rd}} + \frac{F_{z,Ed}}{F_{z,b,Rd}} \leq 1$$

$F_{x,b,Rd}$ [kN]	94
$F_{z,b,Rd}$ [kN]	94

Tabella 3.1.9.3

Il termine risulta essere 0,59. Dunque la verifica risulta soddisfatta.

La verifica sul bullone della sezione 2 terrà conto dell'effetto combinato di trazione e taglio:

$$\frac{F_{v,Sd}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Sd}}{1,4 \cdot B_{t,Rd}} \leq 1 \quad , \quad \frac{F_{t,Sd}}{B_{t,Rd}} \leq 1$$

I due termini risultano essere rispettivamente 0,30 e 0,19. Dunque la verifica risulta soddisfatta.

A seguito dell'indebolimento delle sezioni di estremità per foratura e per asportazione di parte della sezione, occorre condurre una verifica aggiuntiva, ovvero del block-tearing:

$$\frac{N_{Ed}}{V_{eff,Rdx}} + \frac{V_{z,Ed}}{V_{eff,Rdz}} \leq 1$$

f_u [MPa]	310
f_y [MPa]	260
$V_{eff,Rdz}$ [kN]	479
$V_{eff,Rdx}$ [kN]	588

Tabella 3.1.9.4

Il termine risulta essere 0,42. Dunque la verifica risulta soddisfatta.

TRAVE PRINCIPALE IN APPOGGIO SUL CORRENTE

Al fine di avere la trave principale in appoggio sul corrente alla stessa quota è stato utilizzato un collegamento con elementi angolari (squadrette) in alluminio EN AW-6082 T6 con mortesatura della flangia superiore della trave principale. Si ha uno sforzo normale $N_{Ed} = 53 \text{ kN}$, un taglio $V_{z,Ed} = 36 \text{ kN}$ e un taglio $V_{y,Ed} = 24 \text{ kN}$.

Si utilizzano 3 bulloni M16 in acciaio inossidabile A4-80 per ogni squadretta. In funzione dei limiti sull'interasse dei bulloni si adottano angolari di altezza 240 mm e larghezza 130 mm con spessore pari a 10 mm.

A causa delle eccentricità occorre tener conto dei momenti parassiti che nascono. Si riportano le sollecitazioni agenti sul singolo bullone delle due sezioni e le resistenze di progetto, facendo attenzione a considerare il numero corretto di sezioni resistenti:

e_1 [mm]	78
$F_{z,Ed1}$ [kN]	12
$F_{x,Ed1}$ [kN]	41
$F_{v,Sd1}$ [kN]	43
$F_{t,Sd1}$ [kN]	8

$F_{v,Rd1}$ [kN]	100
$B_{t,Rd1}$ [kN]	90

Tabella 3.1.9.5

e_2 [mm]	75
$F_{z,Ed2}$ [kN]	6
$F_{x,Ed2}$ [kN]	26
$F_{v,Sd2}$ [kN]	27
$F_{t,Sd2}$ [kN]	7
$F_{v,Rd2}$ [kN]	50
$B_{t,Rd2}$ [kN]	90

Tabella 3.1.9.6

Si procede alla verifica a rifollamento del bullone:

$$\frac{F_{x,Ed}}{F_{x,b,Rd}} + \frac{F_{z,Ed}}{F_{z,b,Rd}} \leq 1$$

$F_{x,b,Rd}$ [kN]	94
$F_{z,b,Rd}$ [kN]	94

Tabella 3.1.9.7

Il termine risulta essere 0,56. Dunque la verifica risulta soddisfatta.

La verifica sul bullone delle due sezioni terrà conto dell'effetto combinato di trazione e taglio:

$$\frac{F_{v,Sd}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Sd}}{1,4 \cdot B_{t,Rd}} \leq 1 \quad , \quad \frac{F_{t,Sd}}{B_{t,Rd}} \leq 1$$

I due termini risultano essere rispettivamente 0,49 e 0,08. Dunque la verifica risulta soddisfatta.

A seguito dell'indebolimento delle sezioni di estremità per foratura e per asportazione di parte della sezione, occorre condurre una verifica aggiuntiva, ovvero del block-tearing:

$$\frac{N_{Ed}}{V_{eff,Rdx}} + \frac{V_{z,Ed}}{V_{eff,Rdz}} \leq 1$$

f_u [MPa]	310
f_y [MPa]	260
$V_{eff,Rdz}$ [kN]	377
$V_{eff,Rdx}$ [kN]	532

Tabella 3.1.9.8

Il termine risulta essere 0,20. Dunque la verifica risulta soddisfatta.

UNIONE BULLONATA DIAGONALE ORIZZONTALE

Si ha uno sforzo normale $N_{Ed} = 95 \text{ kN}$.

Si utilizzano 2 bulloni M16 in acciaio inossidabile A4-80.

A causa dell'eccentricità occorre tener conto del momento parassita che nasce. Si riportano le sollecitazioni agenti sul singolo bullone e le resistenze di progetto, facendo attenzione a considerare il numero corretto di sezioni resistenti:

e [mm]	2
$F_{x,Ed}$ [kN]	48

$F_{y,Ed}$ [kN]	3
$F_{v,Sd}$ [kN]	48
$F_{v,Rd}$ [kN]	50

Tabella 3.1.9.9

Si procede alla verifica a rifollamento del bullone:

$$\frac{F_{x,Ed}}{F_{x,b,Rd}} + \frac{F_{y,Ed}}{F_{y,b,Rd}} \leq 1$$

$F_{x,b,Rd}$ [kN]	99
$F_{y,b,Rd}$ [kN]	68

Tabella 3.1.9.10

Il termine risulta essere 0,53. Dunque la verifica risulta soddisfatta.

A seguito dell'indebolimento delle sezioni di estremità per foratura, occorre condurre una verifica aggiuntiva, ovvero del block-tearing.

La resistenza a rottura per il meccanismo di collasso a block-tearing $V_{eff,Rd}$ è definita come segue:

$$V_{eff,Rd} = k_{bl} \cdot \frac{f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y \cdot A_{nv}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}}$$

f_u [MPa]	310
f_y [MPa]	260
k_{bl}	0,5

A_{nt} [mm ²]	265
A_{nv} [mm ²]	945
$V_{eff,Rd}$ [kN]	162

Tabella 3.1.9.11

UNIONE BULLONATA DIAGONALE VERTICALE

Si ha uno sforzo normale $N_{Ed} = 611 \text{ kN}$.

Si utilizzano 9 bulloni M16 in acciaio inossidabile A4-80.

Si riportano le sollecitazioni agenti sul singolo bullone e le resistenze di progetto, facendo attenzione a considerare il numero corretto di sezioni resistenti:

$F_{v,Sd}$ [kN]	68
$F_{v,Rd}$ [kN]	100

Tabella 3.1.9.12

Si procede alla verifica a rifollamento del bullone:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{Mb}}$$

f_u [MPa]	310
α_b	1,00
k_1	2,50
$F_{b,Rd}$ [kN]	99

Tabella 3.1.9.13

Con riferimento alle sollecitazioni precedentemente calcolate, la verifica risulta soddisfatta.

A seguito dell'indebolimento delle sezioni di estremità per foratura, occorre condurre una verifica aggiuntiva, ovvero del block-tearing.

La resistenza a rottura per il meccanismo di collasso a block-tearing $V_{eff,Rd}$ è definita come segue:

$$V_{eff,Rd} = k_{bl} \cdot \frac{f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y \cdot A_{nv}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}}$$

f_u [MPa]	310
f_y [MPa]	260
k_{bl}	1
A_{nt} [mm ²]	1862
A_{nv} [mm ²]	2555
$V_{eff,Rd}$ [kN]	810

Tabella 3.1.9.14

UNIONE FLANGIATA PORTALE

L'unione è soggetta ad uno sforzo normale $N_{Ed} = 25$ kN, ad un taglio $V_{z,Ed} = 49$ kN, ad un taglio $V_{y,Ed} = 23$ kN ed ad un momento $M_{y,Ed} = 93$ kNm.

Si utilizzano 6 bulloni M16 in acciaio inossidabile A4-80.

La valutazione delle sollecitazioni nel bullone viene condotta in campo elastico. In particolare è stato utilizzato il programma VCSLU:

Titolo : Unione flangiata portale

N° Vertici **Zoom** **N° barre** **Zoom**

N°	x [cm]	y [cm]
1	-15	-25.4
2	15	-25.4
3	15	25.4
4	-15	25.4

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	1.57	-7.5	-22.4
2	1.57	0	-22.4
3	1.57	7.5	-22.4
4	1.57	-7.5	22.4
5	1.57	0	22.4
6	1.57	7.5	22.4

Tipologia Sezione
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN yN

Metodo di calcolo
 S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Materiali
 B450C C25/30

ϵ_{su} <input type="text" value="67.5"/> ‰	ϵ_{c2} <input type="text" value="2"/> ‰	σ_c <input type="text" value="-35.47"/> N/mm ²
f_{yd} <input type="text" value="391.3"/> N/mm ²	ϵ_{cu} <input type="text" value="3.5"/> ‰	σ_s <input type="text" value="397.5"/> N/mm ²
E_s <input type="text" value="200 000"/> N/mm ²	f_{cd} <input type="text" value="14.17"/> ‰	ϵ_s <input type="text" value="1.987"/> ‰
E_s/E_c <input type="text" value="1"/>	f_{cc}/f_{cd} <input type="text" value="0.8"/> ?	d <input type="text" value="47.8"/> cm
ϵ_{syd} <input type="text" value="1.957"/> ‰	$\sigma_{c,adm}$ <input type="text" value="9.75"/>	x <input type="text" value="3.916"/> x/d <input type="text" value="0.08192"/>
$\sigma_{s,adm}$ <input type="text" value="255"/> N/mm ²	τ_{co} <input type="text" value="0.6"/>	δ <input type="text" value="0.7"/>
	τ_{c1} <input type="text" value="1.829"/>	

Verifica
N° iterazioni:

Precompresso

Si riportano le sollecitazioni agenti sul singolo bullone e le resistenze di progetto, facendo attenzione a considerare il numero corretto di sezioni resistenti:

$F_{z,Ed}$ [kN]	8
$F_{x,Ed}$ [kN]	4
$F_{v,Sd}$ [kN]	9
$F_{t,Sd}$ [kN]	62
$F_{v,Rd}$ [kN]	50
$B_{t,Rd}$ [kN]	90

Tabella 3.1.9.15

Si procede alla verifica a rifollamento del bullone:

$$\frac{F_{x,Ed}}{F_{x,b,Rd}} + \frac{F_{z,Ed}}{F_{z,b,Rd}} \leq 1$$

$F_{x,b,Rd}$ [kN]	99
$F_{z,b,Rd}$ [kN]	58

Tabella 3.1.9.16

Il termine risulta essere 0,18. Dunque la verifica risulta soddisfatta.

Le verifiche a taglio e trazione sono condotte con il seguente criterio di interazione lineare:

$$\frac{F_{v,Sd}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Sd}}{1,4 \cdot B_{t,Rd}} \leq 1 \quad , \quad \frac{F_{t,Sd}}{B_{t,Rd}} \leq 1$$

I due termini risultano essere rispettivamente 0,67 e 0,69. Dunque le verifiche risultano soddisfatte.

UNIONE FLANGIATA CORRENTE

L'unione è soggetta ad uno sforzo normale $N_{Ed} = 1880$ kN, ad un taglio $V_{z,Ed} = 25$ kN, ad un taglio $V_{y,Ed} = 3$ kN, ad un momento $M_{y,Ed} = 91$ kNm ed ad un momento $M_{z,Ed} = 7$ kNm.

Si utilizzano 36 bulloni M16 in acciaio inossidabile A4-80.

La valutazione delle sollecitazioni nel bullone viene condotta in campo elastico. In particolare è stato utilizzato il programma Vcaslu:

Titolo: Unione flangiata corrente

N° Vertici: 4 **Zoom** **N° barre:** 36 **Zoom**

N°	x [cm]	y [cm]
1	-16	-29.8
2	16	-29.8
3	16	29.8
4	-16	29.8

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	1.57	-10.9	-22
2	1.57	-5	-22
3	1.57	5	-22
4	1.57	10.9	-22
5	1.57	-10.9	-16.5
6	1.57	-5	-16.5

Tipo Sezione
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Sollecitazioni
 S.L.U. **Metodo n**

N_{Ed} 0 **-1880** kN
 M_{xEd} 0 **91** kNm
 M_{yEd} 0 **7**

P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

Metodo di calcolo
 S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Materiali
B450C **C25/30**
 ϵ_{su} **67.5** ‰ ϵ_{c2} **2** ‰
 f_{yd} **391.3** N/mm² ϵ_{cu} **3.5** ‰
 E_s **200 000** N/mm² f_{cd} **14.17** ‰
 E_s/E_c **1** f_{cc}/f_{cd} **0.8** ?
 ϵ_{syd} **1.957** ‰ $\sigma_{c,adm}$ **9.75**
 $\sigma_{s,adm}$ **255** N/mm² τ_{co} **0.6**
 τ_{c1} **1.829**

σ_{sMax} **527** N/mm²
 σ_{sMin} **138.2** N/mm²
 ϵ_s **2.635** ‰

Verifica
 N° iterazioni: **0**
 Precompresso

Si riportano le sollecitazioni agenti sul singolo bullone e le resistenze di progetto, facendo attenzione a considerare il numero corretto di sezioni resistenti:

$F_{z,Ed}$ [kN]	1
$F_{x,Ed}$ [kN]	1
$F_{v,Sd}$ [kN]	1
$F_{t,Sd}$ [kN]	83
$F_{v,Rd}$ [kN]	50
$B_{t,Rd}$ [kN]	90

Tabella 3.1.9.17

Si procede alla verifica a rifollamento del bullone:

$$\frac{F_{x,Ed}}{F_{x,b,Rd}} + \frac{F_{z,Ed}}{F_{z,b,Rd}} \leq 1$$

$F_{x,b,Rd}$ [kN]	99
$F_{z,b,Rd}$ [kN]	99

Tabella 3.1.9.18

Il termine risulta essere 0,01. Dunque la verifica risulta soddisfatta.

Le verifiche a taglio e trazione sono condotte con il seguente criterio di interazione lineare:

$$\frac{F_{v,Sd}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Sd}}{1,4 \cdot B_{t,Rd}} \leq 1 \quad , \quad \frac{F_{t,Sd}}{B_{t,Rd}} \leq 1$$

I due termini risultano essere rispettivamente 0,67 e 0,92. Dunque le verifiche risultano soddisfatte.

GIUNTO INTERMEDIO TRA TRAVI PRINCIPALI

Per il giunto intermedio tra travi principali si realizza un giunto con coprigiunti bullonati. Si ha uno sforzo normale $N_{Ed} = 49$ kN, un taglio $V_{z,Ed} = 36$ kN, un taglio $V_{y,Ed} = 23$ kN, un momento $M_{y,Ed} = 71$ kNm ed un momento $M_{z,Ed} = 46$ kNm.

Per i coprigiunti d'anima in totale si utilizzano 3 bulloni M16 in acciaio inossidabile A4-80 mentre per i coprigiunti d'ala esterni in totale si utilizzano 24 bulloni M16 in acciaio inossidabile A4-80.

La forza in ogni coprigiunto d'ala dovuta al momento $M_{y,Ed}$ risulta:

$$F_{f,M_y} = \frac{M_{y,Ed}}{(h_b - t_{fb})}$$

dove:

- h_b è l'altezza delle travi;
- t_{fb} è lo spessore della flangia delle travi.

La forza in ogni coprigiunto d'ala dovuta alla forza assiale N_{Ed} risulta:

$$F_{f,N} = \left(1 - \frac{A_w}{A}\right) \cdot \frac{N_{Ed}}{2}$$

dove $A_w = \frac{(h-2t_f)}{t_w}$ è l'area dell'anima delle membrature.

La forza nei coprigiunti d'anima dovuta alla forza assiale N_{Ed} risulta:

$$F_{w,N} = \left(\frac{A_w}{A} \right) \cdot N_{Ed}$$

La forza nei coprigiunti d'anima dovuta al taglio $V_{z,Ed}$ risulta:

$$F_{w,V_z} = V_{z,Ed}$$

Il calcolo delle forze nei bulloni viene fatto a partire dalle forze nei coprigiunti precedentemente calcolate.

Si riportano le sollecitazioni agenti sul singolo bullone dei due tipi di coprigiunto e le resistenze di progetto, facendo attenzione a considerare il numero corretto di sezioni resistenti:

$F_{z,Edw}$ [kN]	12
$F_{x,Edw}$ [kN]	22
$F_{v,Sdw}$ [kN]	25
$F_{t,Sdw}$ [kN]	8
$F_{v,Rdw}$ [kN]	100
$B_{t,Rdw}$ [kN]	90

Tabella 3.1.9.19

$F_{v,Sdf}$ [kN]	41
$F_{v,Rdf}$ [kN]	50

Tabella 3.1.9.20

Si procede alla verifica a rifollamento del bullone dei coprigiunti d'anima:

$$\frac{F_{x,Ed}}{F_{x,b,Rd}} + \frac{F_{z,Ed}}{F_{z,b,Rd}} \leq 1$$

$F_{x,b,Rd}$ [kN]	94
$F_{z,b,Rd}$ [kN]	94

Tabella 3.1.9.21

Il termine risulta essere 0,36. Dunque la verifica risulta soddisfatta.

La verifica sul bullone dei coprigiunti d'anima terrà conto dell'effetto combinato di trazione e taglio:

$$\frac{F_{v,Sd}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Sd}}{1,4 \cdot B_{t,Rd}} \leq 1 \quad , \quad \frac{F_{t,Sd}}{B_{t,Rd}} \leq 1$$

I due termini risultano essere rispettivamente 0,31 e 0,08. Dunque la verifica risulta soddisfatta.

Si procede alla verifica a rifollamento del bullone del coprigiunto d'ala:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{Mb}}$$

f_u [MPa]	310
α_b	1,00
k_1	2,50
$F_{b,Rd}$ [kN]	99

Tabella 3.1.9.22

Con riferimento alle sollecitazioni precedentemente calcolate, la verifica risulta soddisfatta.

La resistenza a rottura per il meccanismo di collasso a block-tearing $V_{eff,Rd}$ del coprigiunto d'ala è definita come segue:

$$V_{eff,Rd} = \frac{f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y \cdot A_{nv}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}}$$

f_u [MPa]	310
f_y [MPa]	260
A_{nt} [mm ²]	630
A_{nv} [mm ²]	1375
$V_{eff,Rd}$ [kN]	344

Tabella 3.1.9.23

GIUNTO INTERMEDIO TRA TRAVI SECONDARIE

Per il giunto intermedio tra travi secondarie si realizza un giunto con coprigiunti bullonati. Si ha uno sforzo normale $N_{Ed} = 206$ kN, un taglio $V_{z,Ed} = 35$ kN ed un momento $M_{y,Ed} = 35$ kNm.

Per i coprigiunti d'anima in totale si utilizzano 3 bulloni M16 in acciaio inossidabile A4-80 mentre per i coprigiunti d'ala esterni in totale si utilizzano 8 bulloni M16 in acciaio inossidabile A4-80.

La forza in ogni coprigiunto d'ala dovuta al momento $M_{y,Ed}$ risulta:

$$F_{f,M_y} = \frac{M_{y,Ed}}{(h_b - t_{fb})}$$

dove:

- h_b è l'altezza delle travi;
- t_{fb} è lo spessore della flangia delle travi.

La forza in ogni coprigiunto d'ala dovuta alla forza assiale N_{Ed} risulta:

$$F_{f,N} = \left(1 - \frac{A_w}{A}\right) \cdot \frac{N_{Ed}}{2}$$

dove $A_w = \frac{(h-2t_f)}{t_w}$ è l'area dell'anima delle membrature.

La forza nei coprigiunti d'anima dovuta alla forza assiale N_{Ed} risulta:

$$F_{w,N} = \left(\frac{A_w}{A}\right) \cdot N_{Ed}$$

La forza nei coprigiunti d'anima dovuta al taglio $V_{z,Ed}$ risulta:

$$F_{w,V_z} = V_{z,Ed}$$

Il calcolo delle forze nei bulloni viene fatto a partire dalle forze nei coprigiunti precedentemente calcolate.

Si riportano le sollecitazioni agenti sul singolo bullone dei due tipi di coprighiunto e le resistenze di progetto, facendo attenzione a considerare il numero corretto di sezioni resistenti:

$F_{z,Edw}$ [kN]	12
$F_{x,Edw}$ [kN]	36
$F_{v,Sdw}$ [kN]	38
$F_{v,Rdw}$ [kN]	100

Tabella 3.1.9.24

$F_{v,Sdf}$ [kN]	42
$F_{v,Rdf}$ [kN]	50

Tabella 3.1.9.25

Si procede alla verifica a rifollamento del bullone dei coprighiunti d'anima:

$$\frac{F_{x,Ed}}{F_{x,b,Rd}} + \frac{F_{z,Ed}}{F_{z,b,Rd}} \leq 1$$

$F_{x,b,Rd}$ [kN]	94
$F_{z,b,Rd}$ [kN]	94

Tabella 3.1.9.26

Il termine risulta essere 0,50. Dunque la verifica risulta soddisfatta.

Si procede alla verifica a rifollamento del bullone del coprighiunto d'ala:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{Mb}}$$

f_u [MPa]	310
α_b	1,00
k_1	2,50
$F_{b,Rd}$ [kN]	99

Tabella 3.1.9.27

Con riferimento alle sollecitazioni precedentemente calcolate, la verifica risulta soddisfatta.

La resistenza a rottura per il meccanismo di collasso a block-tearing $V_{eff,Rd}$ del coprigiunto d'ala è definita come segue:

$$V_{eff,Rd} = \frac{f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y \cdot A_{nv}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}}$$

f_u [MPa]	310
f_y [MPa]	260
A_{nt} [mm ²]	630
A_{nv} [mm ²]	515
$V_{eff,Rd}$ [kN]	227

Tabella 3.1.9.28

3.2 RELAZIONE STRUTTURALE DELLA SECONDA PROPOSTA DI PASSERELLA PEDONALE IN ALLUMINIO MODULARE

3.2.1 Descrizione

L'oggetto di questa relazione è la struttura in alluminio della seconda proposta di passerella pedonale in alluminio modulare da realizzare a Mosca (Russia).

La seconda proposta di passerella pedonale in alluminio modulare ha le seguenti dimensioni e forma.

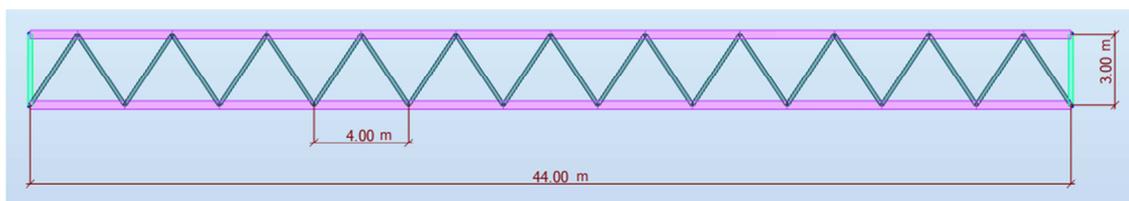


Figura 3.2.1.1

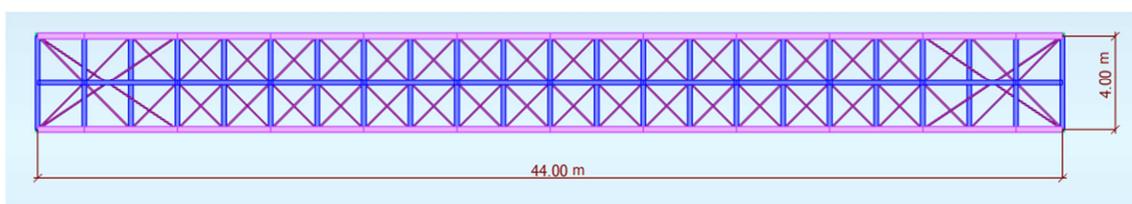


Figura 3.2.1.2

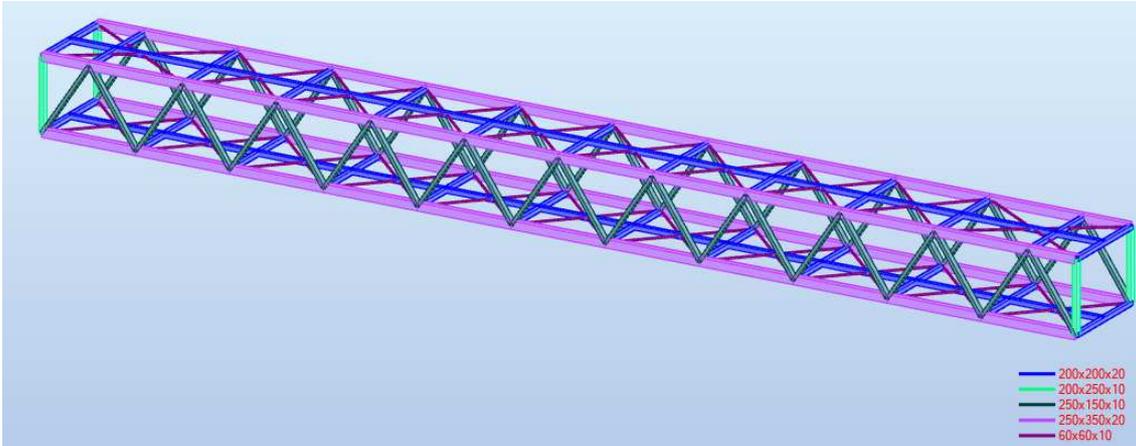


Figura 3.2.1.3

I moduli di base della seconda proposta di passerella pedonale in alluminio modulare sono di due tipi e hanno le seguenti dimensioni e forma.

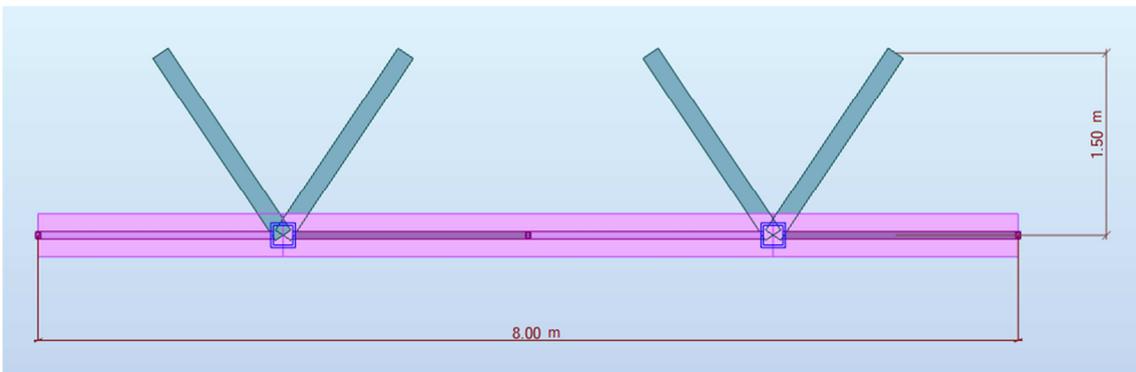


Figura 3.2.1.4

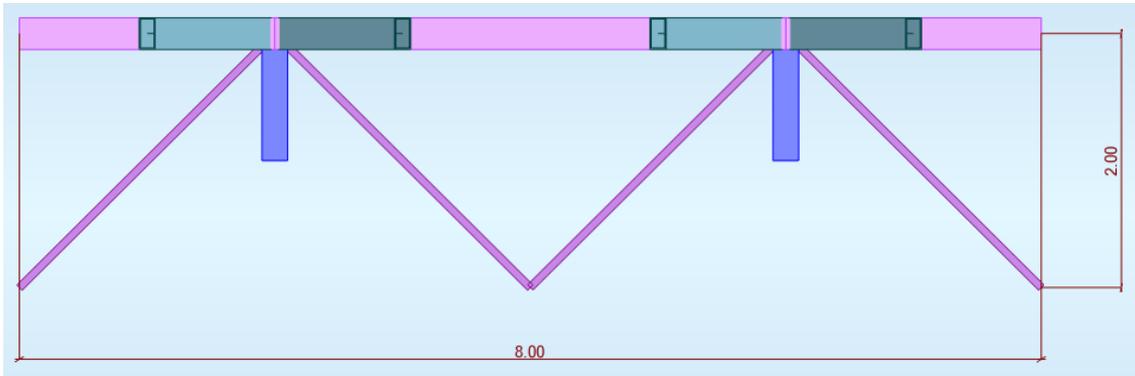


Figura 3.2.1.5

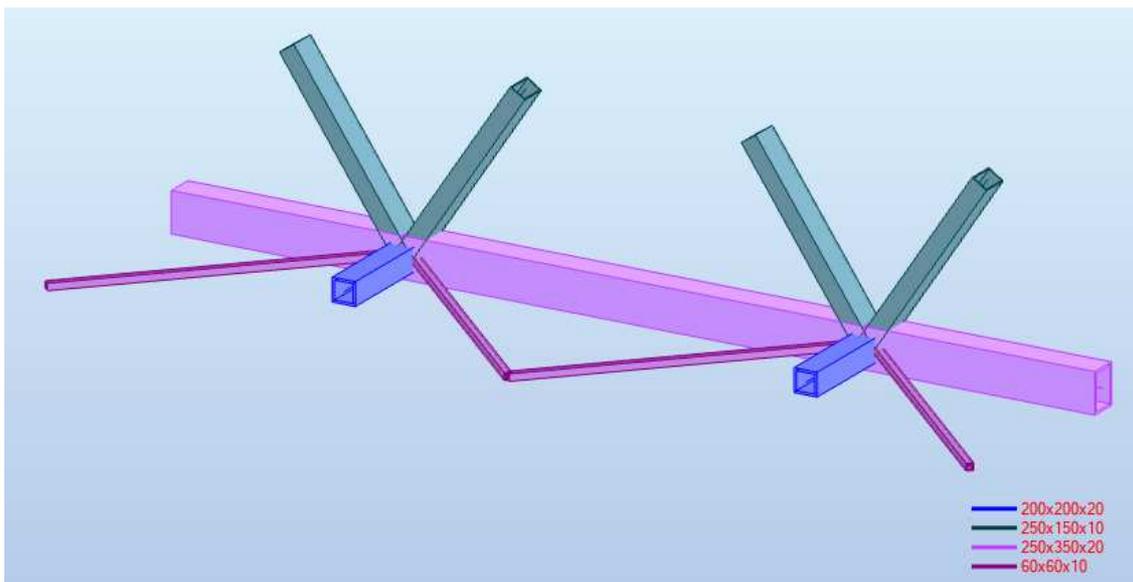


Figura 3.2.1.6

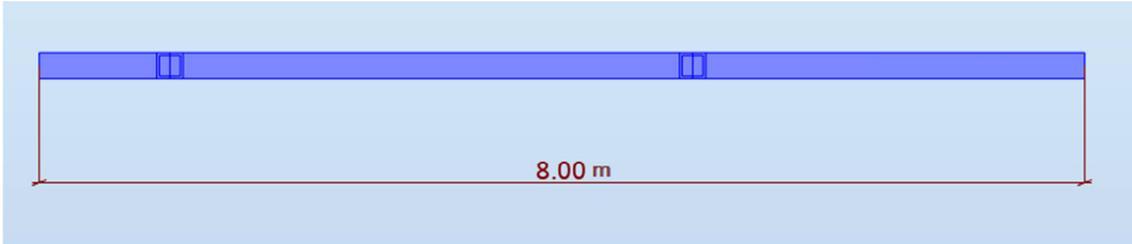


Figura 3.2.1.7

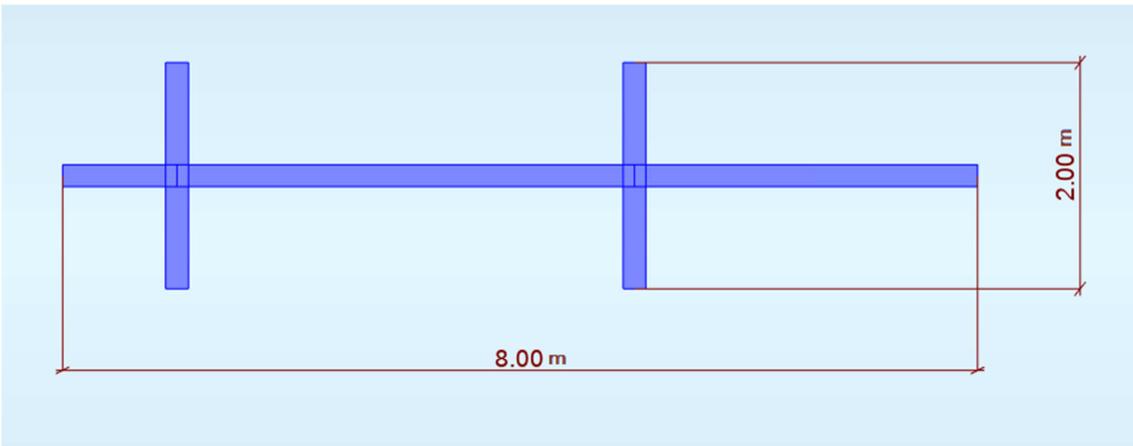


Figura 3.2.1.8

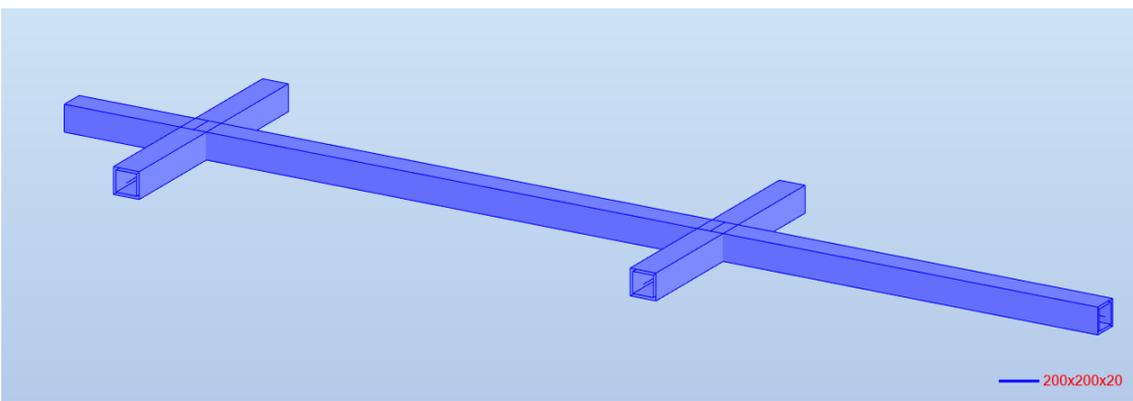


Figura 3.2.1.9

I moduli di base rispettano le dimensioni massime consentite (lunghezza 12,00 m, larghezza 2,40 m e altezza 2,40 m), date le dimensioni massime utili dei bilici.

Per realizzare la seconda proposta di passerella pedonale in alluminio modulare oltre ad assemblare i diversi moduli tra di loro bisogna anche montare ulteriori elementi, i quali costituiscono le due estremità del ponte.

La struttura in alluminio della seconda proposta di passerella pedonale in alluminio modulare è composta dai seguenti elementi:

Tipo	No elem	Lungh. (m)	Peso unitario (kG/m)	Peso della barra (kG)	Peso totale (kG)	Superf. pittura (m2)
60x60x1	42	243.96	5.51	1343.36	1343	58.55
200x200	48	188.00	39.65	7453.55	7454	150.40
200x250	4	12.00	23.68	284.13	284	10.80
250x150	44	158.84	20.92	3323.66	3324	127.07
250x350	46	176.00	61.67	10854.35	10854	211.20
Totale					23259	558.02

Per il piano di calpestio, la copertura di protezione da neve e pioggia e il parapetto come materiale non è stato utilizzato l'acciaio per prevenire la corrosione elettrochimica.

Per il piano di calpestio viene utilizzato un grigliato in acciaio inossidabile AISI 304 con le seguenti caratteristiche:

Maglia	17 x 76 mm
Sezione barra portante	70 x 4 mm
Interasse barre portanti	17 mm
Peso	1,35 kN/m ²
Materiale	AISI 304

Tabella 3.2.1.1

Per la copertura di protezione da neve e pioggia viene utilizzata una lamiera grecata tipo OR 38/732-915 in acciaio inossidabile AISI 304 con uno spessore di 1 mm e un peso di $0,1072 \text{ kN/m}^2$.

Per il parapetto viene utilizzata una struttura costituita da traversi e montanti con le seguenti caratteristiche:

Altezza parapetto	1,10 m
Passo montanti	0,50 m
Sezione traversi	50x50x6
Sezione montanti	50x50x6
Peso	0,21 kN/m
Materiale	EN AW-6082 T6

Tabella 3.2.1.2

3.2.2 Software di analisi strutturale

La struttura è stata calcolata con un modello 3D completo e un'analisi statica usando il software di analisi strutturale Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2019 della Autodesk (numero di serie licenza 901-21997543).

3.2.3 Principi di progettazione

Il progetto strutturale della struttura è stato sviluppato in conformità ai seguenti codici:

- SP 16.13330.2011: strutture in acciaio;
- SP 20.13330.2016: carichi e impatti;
- Eurocodice 1: azioni sulle strutture;

- Eurocodice 3: progettazione delle strutture di acciaio;
- Eurocodice 9: progettazione delle strutture di alluminio.

3.2.4 Materiali e sezioni

Tutti gli elementi strutturali in alluminio sono stati introdotti come EN AW-6082 T6 con i seguenti dati tecnici:

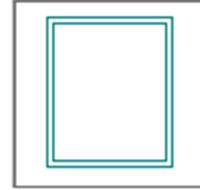
Nome :	<input type="text" value="EN AW-6082 T6"/>	Descrizione :	<input type="text" value="EN AW-6082 T6"/>
Elasticità		Resistenza	
modulo di Young, E :	<input type="text" value="70000,00"/> (MPa)	<input type="text" value="Caratteristica"/> <input type="text" value="260"/> (MPa)	
coefficiente di Poisson, ν :	<input type="text" value="0,3"/>	Coeff. riduzione per taglio:	<input type="text" value="1,66"/>
Modulo di taglio, G:	<input type="text" value="27000,00"/> (MPa)		
Peso specifico (peso unitario):	<input type="text" value="27,00"/> (kN/m ³)	<input type="checkbox"/> Trattamento termico	
Dilatazione termica :	<input type="text" value="0,000023"/> (1/°C)		
Coefficiente di smorzamento :	<input type="text" value="0,05"/>		

Le sezioni delle colonne in alluminio sono come di seguito:

200x250x10

Dimensioni:

HY (cm)	HZ (cm)
20,0	25,0



Proprietà di sezione:

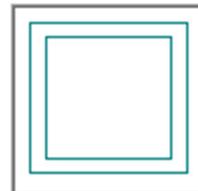
AX (cm ²)	IX (cm ⁴)	IY (cm ⁴)	IZ (cm ⁴)
86,00	9671,44	7791,17	5488,67

Le sezioni delle travi principali e secondarie in alluminio sono come di seguito:

200x200x20

Dimensioni:

HY (cm)	HZ (cm)
20,0	20,0



Proprietà di sezione:

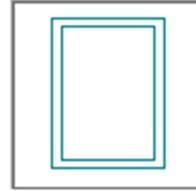
AX (cm ²)	IX (cm ⁴)	IY (cm ⁴)	IZ (cm ⁴)
144,00	13280,04	7872,00	7872,00

Le sezioni dei correnti in alluminio sono come di seguito:

250x350x20

Dimensioni:

HY (cm)	HZ (cm)
25.0	35.0



Proprietà di sezione:

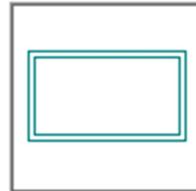
AX (cm ²)	IX (cm ⁴)	IY (cm ⁴)	IZ (cm ⁴)
224.00	41148.64	37188.67	21648.67

Le sezioni delle diagonali verticali in alluminio sono come di seguito:

250x150x10

Dimensioni:

HY (cm)	HZ (cm)
25.0	15.0



Proprietà di sezione:

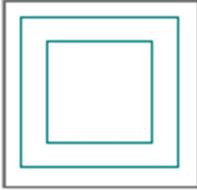
AX (cm ²)	IX (cm ⁴)	IY (cm ⁴)	IZ (cm ⁴)
76.00	5941.89	2820.33	6350.33

Le sezioni delle diagonali orizzontali in alluminio sono come di seguito:

60x60x10

Dimensioni:	
HY (cm)	HZ (cm)
6,0	6,0

Proprietà di sezione:			
AX (cm ²)	IX (cm ⁴)	IY (cm ⁴)	IZ (cm ⁴)
20,00	146,21	86,67	86,67



3.2.5 Casi di carico e combinazioni

Il riferimento per i carichi, ad eccezione del carico variabile, e le combinazioni di carico assunto per questa struttura è la norma russa “SP 20.13330.2016: carichi e impatti”. Per il carico variabile si è fatto riferimento al codice europeo “Eurocodice 1: azioni sulle strutture”.

PESI PROPRI

I pesi propri delle strutture in alluminio sono automaticamente calcolati dal software per un peso per unità di volume dell’alluminio di 27 kN/m^3 .

CARICHI PERMANENTI

I carichi permanenti considerati nel modello della struttura sono:

- un carico lineare uniforme di $1,6 \text{ kN/m}$ e uno di $2,7 \text{ kN/m}$ agenti rispettivamente sui correnti e sulle travi secondarie inferiori e che includono il peso del grigliato e del parapetto;
- un carico lineare uniforme di $0,1 \text{ kN/m}$ e uno di $0,2 \text{ kN/m}$ agenti rispettivamente sui correnti e sulle travi secondarie superiori e che includono il peso della lamiera grecata.

CARICHI VARIABILI

I carichi variabili considerati nel modello della struttura sono:

- un carico lineare uniforme di 5 kN/m e uno di 10 kN/m agenti rispettivamente sui correnti e sulle travi secondarie inferiori.

AZIONE DELLA NEVE

L'azione della neve è stata calcolata con la formula seguente:

$$S_0 = c_e c_t \mu S_g$$

Dove S_g , il peso del manto nevoso per 1 m^2 di superficie orizzontale, per la zona III, è $1,5 \text{ kPa}$ e c_e , c_t e μ sono dei coefficienti uguali a 1.

Quindi S_0 , il valore standard del carico di neve sulla proiezione orizzontale del rivestimento, risulta pari a $1,5 \text{ kPa}$.

AZIONE DEL VENTO

L'azione del vento è stata calcolata con la formula seguente:

$$w = w_m + w_p$$

w_m è stato calcolato con la formula seguente:

$$w_m = w_0 k c$$

Dove w_0 , il valore standard della pressione del vento, per la zona I, è $0,23 \text{ kPa}$ e k e c sono dei coefficienti uguali a 1.

Quindi w_m risulta pari a $0,23 \text{ kPa}$.

w_p è stato calcolato con la formula seguente:

$$w_p = w_m \xi \zeta v$$

Dove ξ , ζ e v sono dei coefficienti rispettivamente uguali a 1,5, 0,76 e 1.

Quindi w_p e w risultano rispettivamente pari a 0,17 kPa e 0,40 kPa.

CARICHI SISMICI

I carichi sismici non sono stati considerati nel modello di calcolo strutturale perché a Mosca l'attività sismica è 5.

Riassunto dei casi di carico:

Caso	Nome del caso	Descrizione
1	PP	Peso proprio dell'intera struttura
2	PERMANENTI	Carichi permanenti
4	VARIABILE	Carichi variabili
6	Pressione del vento - Y	Pressione del vento agente in direzione Y
3	Azione della neve	Azione della neve agente sul piano del tetto

L'applicazione dei carichi sulla struttura è mostrata nelle figure seguenti:

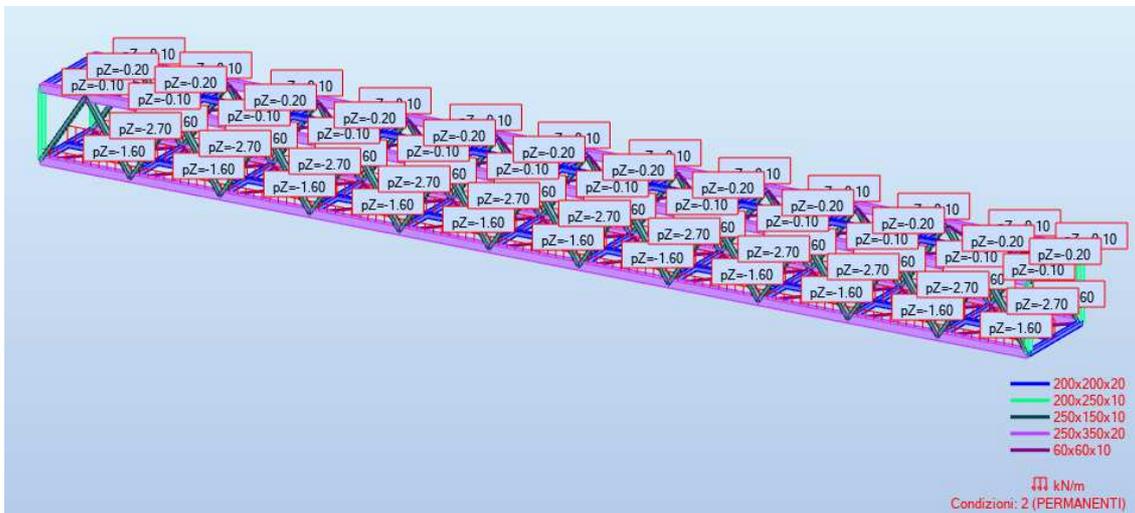


Figura 3.2.5.1

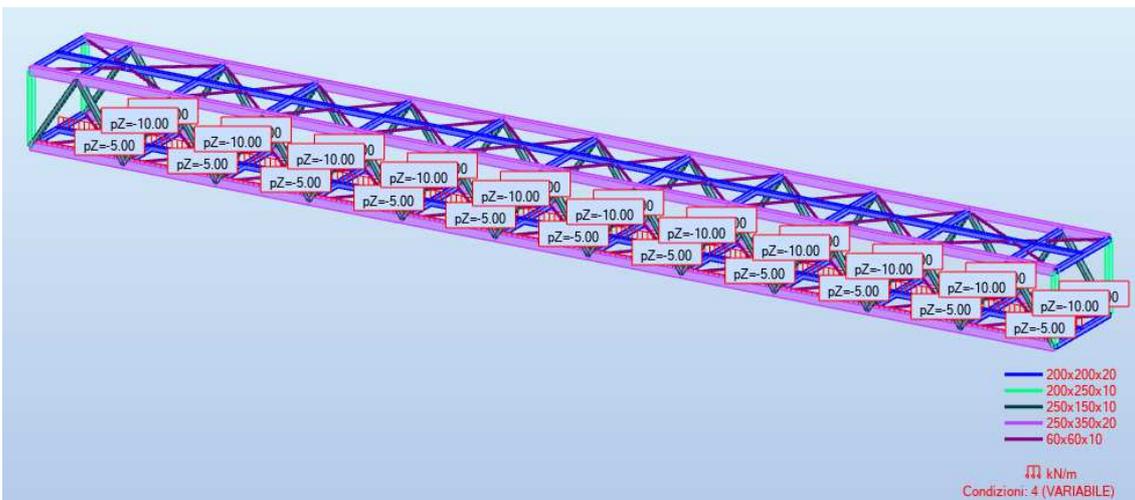


Figura 3.2.5.2

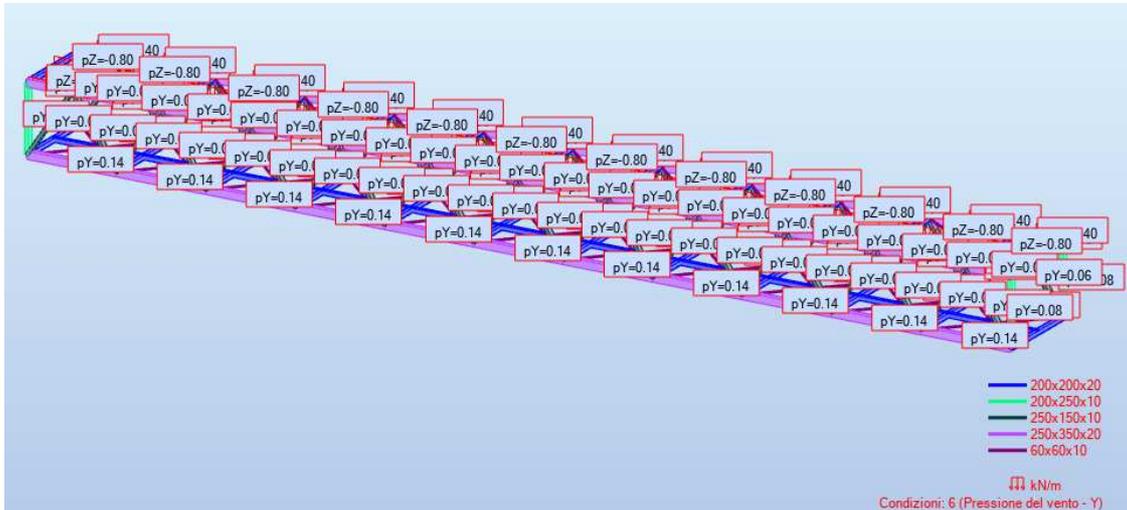


Figura 3.2.5.3

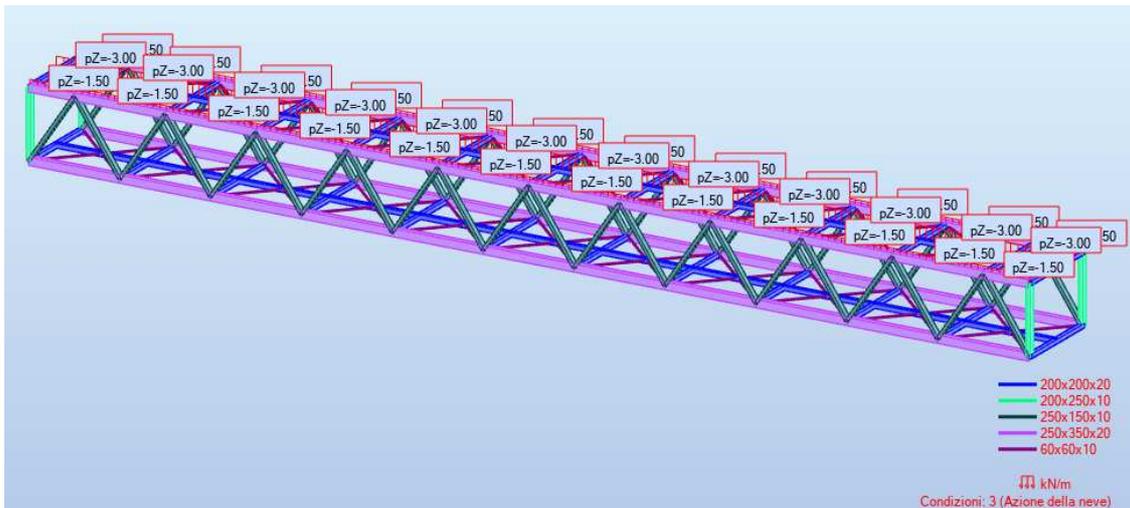


Figura 3.2.5.4

Sia il piano del tetto che quello di calpestio vengono irrigiditi mediante un sistema di controvento.

Nell'analisi dei sistemi di controvento, ai quali è richiesto di assicurare la stabilità delle travi, gli effetti delle imperfezioni devono essere inclusi attraverso una imperfezione geometrica equivalente delle membrature da vincolare, sotto forma di una imperfezione locale in termini di curvatura iniziale:

$$e_0 = \frac{\alpha_m \cdot L}{500}$$

dove L è la luce del sistema di controvento.

α_m è stato calcolato con la formula seguente:

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{m}\right)}$$

dove m è il numero delle membrature da vincolare. Nel caso in esame $m = 2$.

Quindi si ottiene un valore di α_m pari a 0,87 e un valore di e_0 pari a 76 mm.

Per semplicità, gli effetti delle imperfezioni locali in termini di curvatura iniziale delle membrature da vincolare mediante un sistema di controvento possono essere sostituiti dalla forza stabilizzante equivalente mostrata di seguito:

$$q_d = \sum N_{Ed} \cdot 8 \cdot \frac{e_0 + \delta_q}{L^2}$$

dove δ_q è lo spostamento nel piano del sistema di controvento dovuto al carico q più altri eventuali carichi esterni, valutati con l'analisi del primo ordine.

Al termine del processo iterativo si ottengono le forze finali da applicare al sistema di controvento.

Nella **tabella 3.2.5.1** sono riassunti i passaggi del processo iterativo.

$\sum N_{Ed}$ [kN]	3654
δ_{q0} [mm]	9
q_{d0} [kN/m]	1,29
F_1 [kN]	5,1
δ_{q1} [mm]	20
q_{d1} [kN/m]	1,45
F_2 [kN]	5,8
δ_{q2} [mm]	22
q_{d2} [kN/m]	1,48
F_3 [kN]	5,9
δ_{q3} [mm]	22

Tabella 3.2.5.1

Le combinazioni di carico di SLU e SLE sono le seguenti:

Comb.	Nome	Tipo	Definizione
19	SLU Normale =PP*1,05+PERMANENTI*1,20	SLU	1*1,05+2*1,20
20	SLU Variabile=PP*1,05+PERMANENTI*1,20+VARIABILE*1,40	SLU	1*1,05+2*1,20+4*1,40
17	SLU Pressione del vento – Y=PP*1,05+PERMANENTI*1,20+VARIABILE*1,40+ Pressione del vento – Y*1,40+Azione della neve*1,40	SLU	1*1,05+2*1,20+(4+6+3)*1,40

21	SLE Normale=PP*1,00+PERMANENTI*1,00	SLE	(1+2)*1,00
22	SLE Variabile=PP*1,00+PERMANENTI*1,00+VARIABLE*1,00	SLE	(1+2+4)*1,00
18	SLE Pressione del vento – Y=PP*1,00+PERMANENTI*1,00+VARIABLE*1,00+ Pressione del vento – Y*1,00+Azione della neve*1,00	SLE	(1+2+4+6+3)*1,00

3.2.6 Metodo di analisi

Le forze interne e i momenti sono stati determinati con un'analisi globale elastica usando un modello FEM.

3.2.7 Deformazioni

Nelle figure seguenti sono visibili le deflessioni della struttura per tutti i singoli casi di carico.

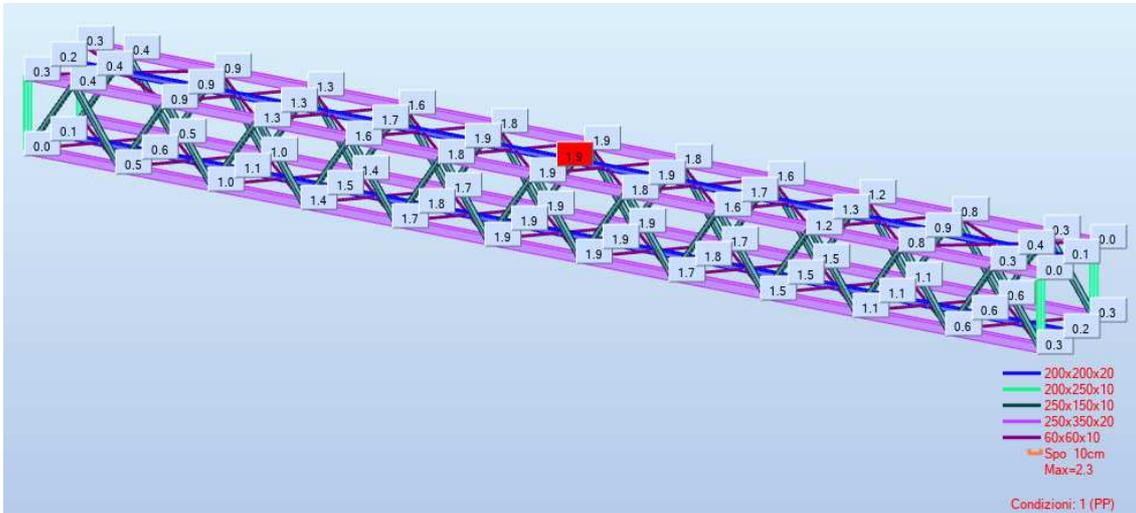


Figura 3.2.7.1

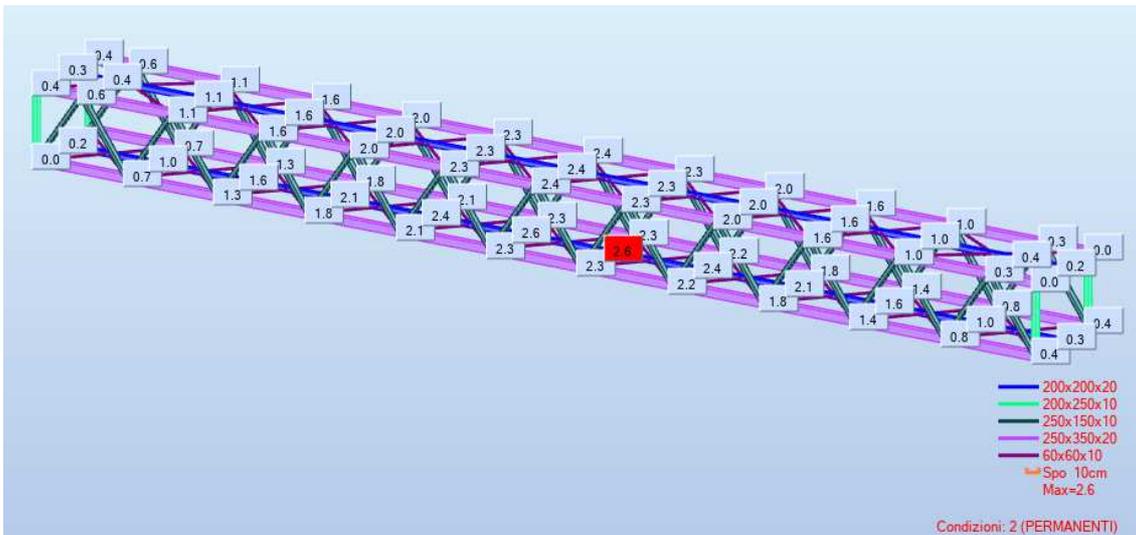


Figura 3.2.7.2

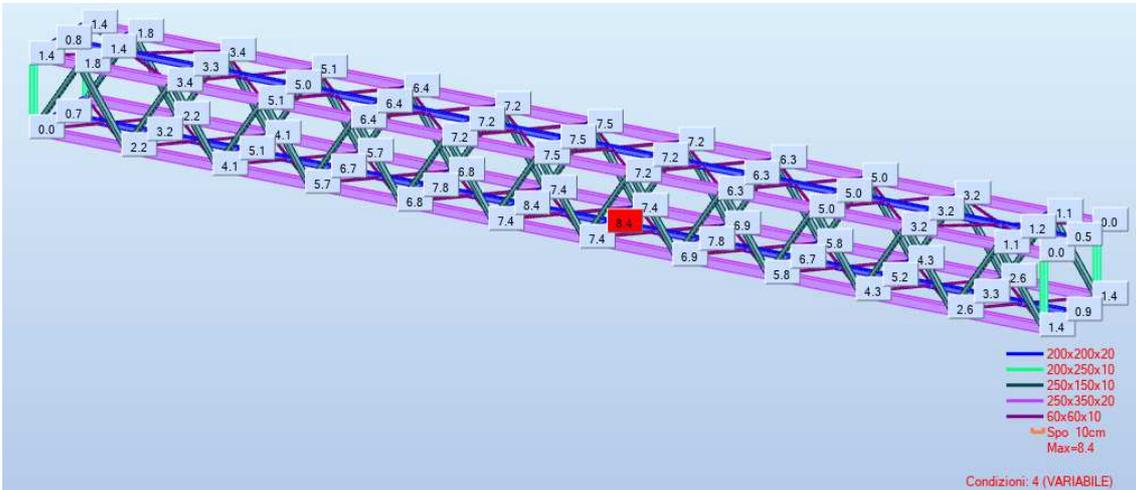


Figura 3.2.7.3

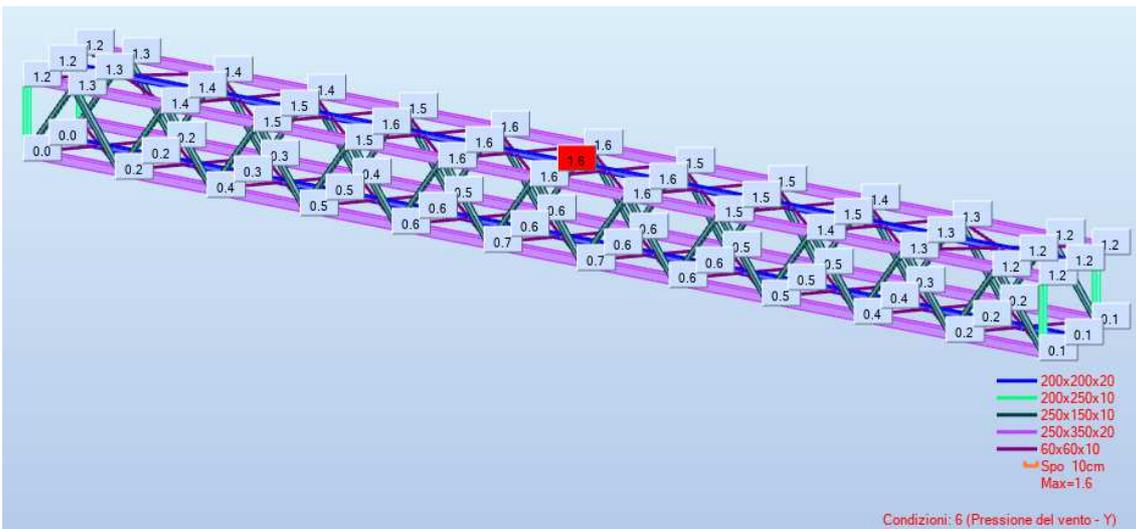


Figura 3.2.7.4

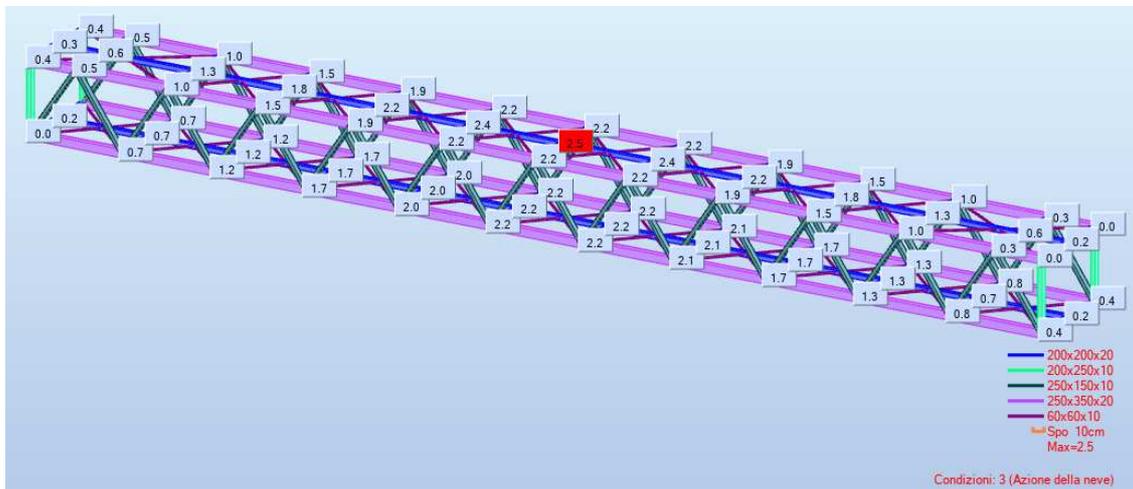


Figura 3.2.7.5

Nel caso di strutture reticolari un importante contributo deformativo è quello associato agli scorrimenti foro-bullone:

$$v_{FB} = v_C + v_D = \frac{n}{6} \cdot \frac{L}{h} \cdot (\phi - d) + \frac{L}{p} \cdot \frac{L_d}{h} \cdot (\phi - d)$$

dove:

- v_C è l'assestamento dei giunti dei correnti;
- v_D è l'assestamento dei giunti estremi delle diagonali;
- n è il numero totale dei giunti nei correnti;
- p è il passo dei nodi delle aste di parete;
- L_d è la lunghezza delle diagonali.

Nel caso in esame si ha:

n	8
---	---

p [m]	2
$\phi - d$ [mm]	1
L / h	15
v_C [mm]	27
v_D [mm]	26
v_{FB} [mm]	53

Tutti i valori di spostamento sono inferiori ai limiti suggeriti dalla norma.

3.2.8 Verifica delle membrature

La verifica delle membrature, in conformità al codice russo “SP 16.13330.2011: strutture in acciaio”, è stata fatta per tutti gli elementi (tabella seguente). Il calcolo completo è stato sviluppato per le barre più sollecitate di ogni tipologia.

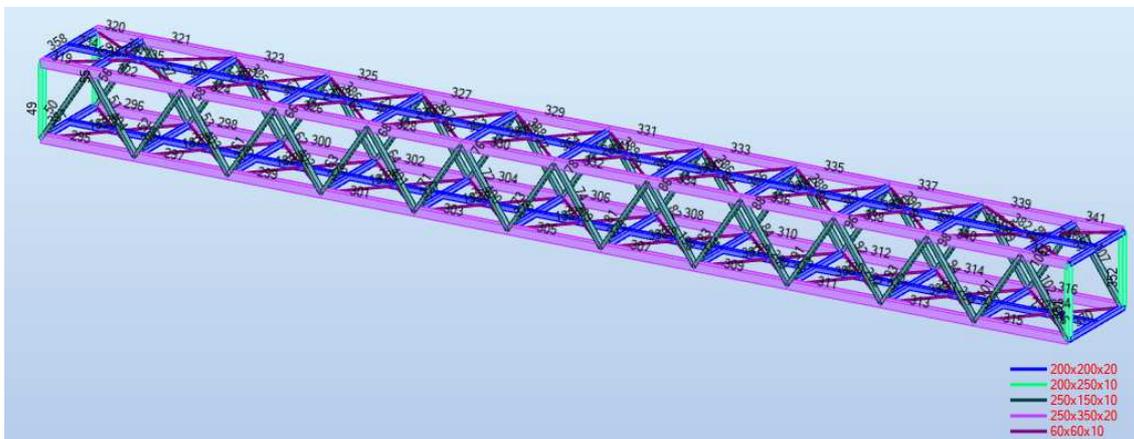


Figura 3.2.8.1

Barra	OK	Profilato	Materiale	Resist.
49 B_49	OK	200x250x10	EN AW-6082	0.43
50 B_50	OK	250x150x10	EN AW ^{T6} -6082	0.63
51 B_51	OK	250x150x10	EN AW ^{T6} -6082	0.34
52 B_52	OK	250x150x10	EN AW ^{T6} -6082	0.51
53 B_53	OK	250x150x10	EN AW ^{T6} -6082	0.26
55 B_55	OK	200x250x10	EN AW ^{T6} -6082	0.47
56 B_56	OK	250x150x10	EN AW ^{T6} -6082	0.63
57 B_57	OK	250x150x10	EN AW ^{T8} -6082	0.33
58 B_58	OK	250x150x10	EN AW ^{T8} -6082	0.51
59 B_59	OK	250x150x10	EN AW ^{T6} -6082	0.26
61 B_61	OK	250x150x10	EN AW ^{T6} -6082	0.39
62 B_62	OK	250x150x10	EN AW ^{T6} -6082	0.20
63 B_63	OK	250x150x10	EN AW ^{T6} -6082	0.27
64 B_64	OK	250x150x10	EN AW ^{T6} -6082	0.13
66 B_66	OK	250x150x10	EN AW ^{T6} -6082	0.39
67 B_67	OK	250x150x10	EN AW ^{T6} -6082	0.20
68 B_68	OK	250x150x10	EN AW ^{T6} -6082	0.26
69 B_69	OK	250x150x10	EN AW ^{T6} -6082	0.13
71 B_71	OK	250x150x10	EN AW ^{T6} -6082	0.14
72 B_72	OK	250x150x10	EN AW ^{T8} -6082	0.06
73 B_73	OK	250x150x10	EN AW ^{T8} -6082	0.02
74 B_74	OK	250x150x10	EN AW ^{T6} -6082	0.02
76 B_76	OK	250x150x10	EN AW ^{T6} -6082	0.14
77 B_77	OK	250x150x10	EN AW ^{T6} -6082	0.06
78 B_78	OK	250x150x10	EN AW ^{T6} -6082 T6	0.02

79	B_79	OK	250x150x10	EN AW-6082	0.02
81	B_81	OK	250x150x10	EN AW-6082 T6	0.06
82	B_82	OK	250x150x10	EN AW-6082 T6	0.14
83	B_83	OK	250x150x10	EN AW-6082 T6	0.13
84	B_84	OK	250x150x10	EN AW-6082 T6	0.26
86	B_86	OK	250x150x10	EN AW-6082 T6	0.06
87	B_87	OK	250x150x10	EN AW-6082 T8	0.14
88	B_88	OK	250x150x10	EN AW-6082 T8	0.13
89	B_89	OK	250x150x10	EN AW-6082 T6	0.27
91	B_91	OK	250x150x10	EN AW-6082 T6	0.19
92	B_92	OK	250x150x10	EN AW-6082 T6	0.38
93	B_93	OK	250x150x10	EN AW-6082 T6	0.26
94	B_94	OK	250x150x10	EN AW-6082 T6	0.51
96	B_96	OK	250x150x10	EN AW-6082 T6	0.20
97	B_97	OK	250x150x10	EN AW-6082 T6	0.39
98	B_98	OK	250x150x10	EN AW-6082 T6	0.27
99	B_99	OK	250x150x10	EN AW-6082 T6	0.51
101	B_101	OK	250x150x10	EN AW-6082 T6	0.33
102	B_102	OK	250x150x10	EN AW-6082 T8	0.63
106	B_106	OK	250x150x10	EN AW-6082 T8	0.34
107	B_107	OK	250x150x10	EN AW-6082 T6	0.63
165	B_165	OK	60x60x10	EN AW-6082 T6	0.08

187	B_187	OK	60x60x10	EN AW-6082	0.08
189	B_189	OK	60x60x10	EN AW ^{T6} -6082	0.07
191	B_191	OK	60x60x10	EN AW ^{T6} -6082	0.07
193	B_193	OK	60x60x10	EN AW ^{T6} -6082	0.06
195	B_195	OK	60x60x10	EN AW ^{T6} -6082	0.07
198	B_198	OK	60x60x10	EN AW ^{T6} -6082	0.05
200	B_200	OK	60x60x10	EN AW ^{T6} -6082	0.19
202	B_202	OK	60x60x10	EN AW ^{T8} -6082	0.04
204	B_204	OK	60x60x10	EN AW ^{T8} -6082	0.05
206	B_206	OK	60x60x10	EN AW ^{T6} -6082	0.05
222	B_222	OK	200x200x20	EN AW ^{T6} -6082	0.21
223	B_223	OK	200x200x20	EN AW ^{T6} -6082	0.22
224	B_224	OK	200x200x20	EN AW ^{T6} -6082	0.24
225	B_225	OK	200x200x20	EN AW ^{T6} -6082	0.25
226	B_226	OK	200x200x20	EN AW ^{T6} -6082	0.26
227	B_227	OK	200x200x20	EN AW ^{T6} -6082	0.26
228	B_228	OK	200x200x20	EN AW ^{T6} -6082	0.26
229	B_229	OK	200x200x20	EN AW ^{T6} -6082	0.25
230	B_230	OK	200x200x20	EN AW ^{T6} -6082	0.24
231	B_231	OK	200x200x20	EN AW ^{T8} -6082	0.22
232	B_232	OK	200x200x20	EN AW ^{T8} -6082	0.21
234	B_234	OK	200x200x20	EN AW ^{T6} -6082	0.03
235	B_235	OK	200x200x20	EN AW ^{T6} -6082	0.12
237	B_237	OK	200x200x20	EN AW ^{T6} -6082	0.15
238	B_238	OK	200x200x20	EN AW ^{T6} -6082	0.17

T6

239	B_239	OK	200x200x20	EN AW-6082	0.19
240	B_240	OK	200x200x20	EN AW ^{T6} -6082	0.20
241	B_241	OK	200x200x20	EN AW ^{T6} -6082	0.20
242	B_242	OK	200x200x20	EN AW ^{T6} -6082	0.19
243	B_243	OK	200x200x20	EN AW ^{T6} -6082	0.17
244	B_244	OK	200x200x20	EN AW ^{T6} -6082	0.15
245	B_245	OK	200x200x20	EN AW ^{T8} -6082	0.12
246	B_246	OK	200x200x20	EN AW ^{T8} -6082	0.03
275	B_275	OK	60x60x10	EN AW ^{T6} -6082	0.11
277	B_277	OK	60x60x10	EN AW ^{T6} -6082	0.08
279	B_279	OK	60x60x10	EN AW ^{T6} -6082	0.06
281	B_281	OK	60x60x10	EN AW ^{T6} -6082 T6	0.04
286	B_286	OK	60x60x10	EN AW-6082	0.05
288	B_288	OK	60x60x10	EN AW ^{T6} -6082	0.10
290	B_290	OK	60x60x10	EN AW ^{T6} -6082	0.12
295	B_295	OK	250x350x20	EN AW ^{T6} -6082	0.10
296	B_296	OK	250x350x20	EN AW ^{T6} -6082	0.09
297	B_297	OK	250x350x20	EN AW ^{T8} -6082	0.19
298	B_298	OK	250x350x20	EN AW ^{T8} -6082	0.18
299	B_299	OK	250x350x20	EN AW ^{T6} -6082	0.27
300	B_300	OK	250x350x20	EN AW ^{T6} -6082 T6	0.27

301	B_301	OK	250x350x20	EN AW-6082	0.32
302	B_302	OK	250x350x20	EN AW-T6-6082	0.32
303	B_303	OK	250x350x20	EN AW-T6-6082	0.36
304	B_304	OK	250x350x20	EN AW-T6-6082	0.36
305	B_305	OK	250x350x20	EN AW-T6-6082	0.38
306	B_306	OK	250x350x20	EN AW-T6-6082	0.38
307	B_307	OK	250x350x20	EN AW-T6-6082	0.36
308	B_308	OK	250x350x20	EN AW-T8-6082	0.37
309	B_309	OK	250x350x20	EN AW-T8-6082	0.32
310	B_310	OK	250x350x20	EN AW-T6-6082	0.33
311	B_311	OK	250x350x20	EN AW-T6-6082	0.27
312	B_312	OK	250x350x20	EN AW-T6-6082	0.27
313	B_313	OK	250x350x20	EN AW-T6-6082	0.18
314	B_314	OK	250x350x20	EN AW-T6-6082	0.19
315	B_315	OK	250x350x20	EN AW-T6-6082	0.09
316	B_316	OK	250x350x20	EN AW-T6-6082	0.10
319	B_319	OK	250x350x20	EN AW-T6-6082	0.02
320	B_320	OK	250x350x20	EN AW-T6-6082	0.02
321	B_321	OK	250x350x20	EN AW-T6-6082	0.18
322	B_322	OK	250x350x20	EN AW-T8-6082	0.19
323	B_323	OK	250x350x20	EN AW-T8-6082	0.30
324	B_324	OK	250x350x20	EN AW-T6-6082	0.34
325	B_325	OK	250x350x20	EN AW-T6-6082	0.40
326	B_326	OK	250x350x20	EN AW-T6-6082	0.45
327	B_327	OK	250x350x20	EN AW-T6-6082	0.46

T6

328	B_328	OK	250x350x20	EN AW-6082	0.52
329	B_329	OK	250x350x20	EN AW ^{T6} -6082	0.50
330	B_330	OK	250x350x20	EN AW ^{T6} -6082	0.56
331	B_331	OK	250x350x20	EN AW ^{T6} -6082	0.51
332	B_332	OK	250x350x20	EN AW ^{T6} -6082	0.56
333	B_333	OK	250x350x20	EN AW ^{T6} -6082	0.48
334	B_334	OK	250x350x20	EN AW ^{T8} -6082	0.53
335	B_335	OK	250x350x20	EN AW ^{T8} -6082	0.40
336	B_336	OK	250x350x20	EN AW ^{T6} -6082	0.45
337	B_337	OK	250x350x20	EN AW ^{T6} -6082	0.30
338	B_338	OK	250x350x20	EN AW ^{T6} -6082	0.34
339	B_339	OK	250x350x20	EN AW ^{T6} -6082	0.18
340	B_340	OK	250x350x20	EN AW ^{T6} -6082	0.19
341	B_341	OK	250x350x20	EN AW ^{T6} -6082	0.02
342	B_342	OK	250x350x20	EN AW ^{T6} -6082	0.02
351	B_351	OK	200x250x10	EN AW ^{T6} -6082	0.48
352	B_352	OK	200x250x10	EN AW ^{T6} -6082	0.52
357	B_357	OK	200x200x20	EN AW ^{T6} -6082	0.44
358	B_358	OK	200x200x20	EN AW ^{T8} -6082	0.40
359	B_359	OK	200x200x20	EN AW ^{T8} -6082	0.43
360	B_360	OK	200x200x20	EN AW ^{T6} -6082	0.43
361	B_361	OK	200x200x20	EN AW ^{T6} -6082	0.37

T6

362	B_362	OK	200x200x20	EN AW-6082	0.30
363	B_363	OK	200x200x20	EN AW ^{T6} -6082	0.22
364	B_364	OK	200x200x20	EN AW ^{T6} -6082	0.13
365	B_365	OK	200x200x20	EN AW ^{T6} -6082	0.22
366	B_366	OK	200x200x20	EN AW ^{T6} -6082	0.30
367	B_367	OK	200x200x20	EN AW ^{T6} -6082	0.38
368	B_368	OK	200x200x20	EN AW ^{T6} -6082	0.43
369	B_369	OK	200x200x20	EN AW ^{T8} -6082	0.43
370	B_370	OK	200x200x20	EN AW ^{T8} -6082	0.53
371	B_371	OK	200x200x20	EN AW ^{T6} -6082	0.69
372	B_372	OK	200x200x20	EN AW ^{T6} -6082	0.65
373	B_373	OK	200x200x20	EN AW ^{T6} -6082	0.59
374	B_374	OK	200x200x20	EN AW ^{T6} -6082	0.51
375	B_375	OK	200x200x20	EN AW ^{T6} -6082	0.43
376	B_376	OK	200x200x20	EN AW ^{T6} -6082	0.43
377	B_377	OK	200x200x20	EN AW ^{T6} -6082	0.52
378	B_378	OK	200x200x20	EN AW ^{T6} -6082	0.59
379	B_379	OK	200x200x20	EN AW ^{T6} -6082	0.66
380	B_380	OK	200x200x20	EN AW ^{T6} -6082	0.70
381	B_381	OK	200x200x20	EN AW ^{T8} -6082	0.53
382	B_382	OK	60x60x10	EN AW ^{T8} -6082	0.19
383	B_383	OK	60x60x10	EN AW ^{T6} -6082	0.18

T6

NORMA: [Strutture in acciaio SP 10.13330.2011*](#)

TIPO DI ANALISI: [Verifica delle barre](#)

GRUPPO:

BARRA: 352_B_352

PUNTO: 3

COORDINATA: x = 1.00 L = 3.00 m

CARICHI:

Condizione di carico decisiva: 17 SLU Pressione del vento - Y 1*1.05+2*1.20+(3+4)*1.40+15*1.00

MATERIAL

EN AW-6082 T6

Ry = 236.00 MPa

gu = 1.30

Ra = 136.88 MPa

gc1 = 1.00

Ra = 236.00 MPa

gc2 = 1.00

E = 70000.00 MPa

gn = 1.00



PARAMETRI DELLA SEZIONE: 200x250x10

ht=25.0 cm

bf=20.0 cm

t=1.0 cm

tf=1.0 cm

Anima:

Ala:

Ay=38.22 cm²

Iy=7791.17 cm⁴

Wely=623.29 cm³

heft = 23.00

befitf = 18.00

Az=47.78 cm²

Iz=5488.67 cm⁴

Welz=548.87 cm³

Lam_uw = 24.53

Lam_wf = 26.05

Ax=86.00 cm²

Ix=9671.44 cm⁴

AZIONI INTERNE E COEFFICIENTI

N = 44.40 kN

My = 73.00 kN*m

Mz = -0.41 kN*m

my = 22.69

mefz = 0.23

Qy = 0.14 kN

Qz = 24.16 kN

cy = 1.15

cz = 1.15

TENSIONI NEI PUNTI CARATTERISTICI DELLA SEZIONE

SigN = 5.16 MPa

SigMy = 117.12 MPa

SigMz = 0.75 MPa

Ty,max = 0.04 MPa

Tz,max = 5.77 MPa

Ty,mid = 0.04 MPa

Tz,mid = 5.06 MPa



PARAMETRI IN STABILITÀ LATERALE:

PARAMETRI DI IN STABILITÀ:



rispetto all'asse Y:

ly = 3.00 m

Fiy = 0.85

lefy = 3.00 m

Fiey = 0.07

Lamy = 31.52

c = 0.08

Lam_y = 1.83



rispetto all'asse Z:

lz = 3.00 m

Fiz = 0.80

lelz = 3.00 m

Nz = 1.55

Lamz = 37.55

Fiez = 0.73

Lam_z = 2.18

c = 0.08

FORMULE DI VERIFICA:

Verifica della sezione della barra

Anima: Lam_w/Lam_uw = 0.94 < 1.0; Ala: Lam_f/Lam_wf = 0.69 < 1.0 [9.4] SEZIONE COMPATTA

$(N/A_n + M_y/W_{yn} + M_z/W_{zn}) / (R_y \cdot g_{c1} / g_n) = 0.52 < 1.00$ [9.1.1-(106)]

$T_{y,max} / (R_a \cdot g_{c1} / g_n) = 0.00 < 1.00$ [8.2.1-(42)]; $T_{z,max} / (R_a \cdot g_{c1} / g_n) = 0.04 < 1.00$ [8.2.1-(42)]

Verifica della stabilità della barra

$N / (F_{ier} \cdot A \cdot R_y \cdot g_{c2} / g_n) = 0.03 < 1.00$ [9.2.2-(109)]

$N / (F_{ier} \cdot A \cdot R_y \cdot g_{c2} / g_n) + M_y \cdot (c_y \cdot d_y \cdot W_y \cdot R_y \cdot g_{c2} / g_n) = 0.47 < 1.00$ [9.2.10-(120)]

Profilato corretto !!!

NORMA: [Strutture in acciaio SP 10.13330.2011](#)

TIPO DI ANALISI: [Verifica delle barre](#)

GRUPPO:

BARRA: 330 B_330

PUNTO: 1

COORDINATA: $x = 0.50 L = 2.00$ m

CARICHI:

Condizione di carico decisiva: 17 SLU Pressione del vento - Y $1*1.05+2*1.20+(3+4)*1.40+15*1.00$

MATERIAL

EN AW-6082 T6

$R_y = 236.00$ MPa

$g_u = 1.30$

$R_a = 136.88$ MPa

$g_{c1} = 1.00$

$R_a = 236.00$ MPa

$g_{c2} = 1.00$

$E = 70000.00$ MPa

$g_n = 1.00$



PARAMETRI DELLA SEZIONE: 200x200x20

$t_w = 20.0$ cm

$b_f = 20.0$ cm

$t = 2.0$ cm

$t_f = 2.0$ cm

Anima:

Ala:

$A_y = 72.00$ cm²

$I_y = 7872.00$ cm⁴

$W_{ely} = 787.20$ cm³

$b_{eff} = 8.00$

$b_{eff} t_f = 8.00$

$A_z = 72.00$ cm²

$I_z = 7872.00$ cm⁴

$W_{elz} = 787.20$ cm³

$\lambda_{m, w} = 31.04$

$\lambda_{m, wf} = 31.04$

$A_x = 144.00$ cm²

$I_x = 13280.04$ cm⁴

AZIONI INTERNE E COEFFICIENTI

$N = 15.56$ kN

$M_y = 71.43$ kN*m

$m_y = 83.91$

$Q_y = -28.63$ kN

$c_y = 1.12$

$M_z = -57.27$ kN*m

$m_z = 67.32$

$Q_z = -35.31$ kN

$c_z = 1.12$

TENSIONI NEI PUNTI CARATTERISTICI DELLA SEZIONE

$\text{Sig}_N = 1.08$ MPa

$\text{Sig}_{M_y} = 90.75$ MPa

$\text{Sig}_{M_z} = 72.75$ MPa

$T_{y, \max} = -4.44$ MPa

$T_{y, \text{mid}} = -3.98$ MPa

$T_{z, \max} = -5.47$ MPa

$T_{z, \text{mid}} = -4.90$ MPa



PARAMETRI IN STABILITÀ LATERALE:

PARAMETRI DI IN STABILITÀ:



rispetto all'asse Y:

$l_y = 4.00$ m

$F_{iy} = 0.61$

$l_{efy} = 4.00$ m

$F_{iefy} = 0.06$

$\lambda_{m, y} = 54.10$

$\lambda_{m, y} = 3.14$



rispetto all'asse Z:

$l_z = 4.00$ m

$F_{iz} = 0.88$

$l_{efz} = 2.00$ m

$\lambda_{m, z} = 27.05$

$\lambda_{m, z} = 1.57$

$F_{iefz} = 0.07$

FORMULE DI VERIFICA:

Verifica della sezione della barra

Anima: $\lambda_{m, w} / \lambda_{m, w} = 0.26 < 1.0$; Ala: $\lambda_{m, f} / \lambda_{m, wf} = 0.26 < 1.0$ [9.4] SEZIONE COMPATTA

$(N/A_n + M_y/W_{yn} + M_z/W_{zn}) / (R_y * g_{c1} / g_n) = 0.70 < 1.00$ [9.1.1-(106)]

$T_{y, \max} / (R_a * g_{c1} / g_n) = 0.03 < 1.00$ [8.2.1-(42)]; $T_{z, \max} / (R_a * g_{c1} / g_n) = 0.04 < 1.00$ [8.2.1-(42)]

Verifica della stabilità della barra

$N / (\min(F_{iy}, F_{iz}) * A * R_y * g_{c2} / g_n) = 0.01 < 1.00$ [7.1-(7)]

$N / (F_{iefz} * A * R_y * g_{c2} / g_n) + M_y / (c_y * d_y * W_y * R_y * g_{c2} / g_n) = 0.41 < 1.00$ [9.2.10-(120)]

Profilato corretto !!!

NORMA: [Strutture In acciaio SP 16.13330.2011*](#)

TIPO DI ANALISI: [Verifica delle barre](#)

GRUPPO:

BARRA: 240 B_240

PUNTO: 2

COORDINATA: $x = 0.50 L = 2.00 m$

CARICHI:

Condizione di carico decisiva: 17 SLU Pressione del vento - Y $1*1.05+2*1.20+(3+4)*1.40+15*1.00$

MATERIAL

EN AW-6082 T6

$R_y = 236.00 MPa$

$g_o = 1.30$

$R_s = 136.88 MPa$

$g_{c1} = 1.00$

$R_s = 236.00 MPa$

$g_{c2} = 1.00$

$E = 70000.00 MPa$

$g_n = 1.00$



PARAMETRI DELLA SEZIONE: 200x200x20

$b_t = 20.0 cm$

$b_f = 20.0 cm$

$t = 2.0 cm$

$t_f = 2.0 cm$

Anima:

Ala:

$A_y = 72.00 cm^2$

$I_y = 7872.00 cm^4$

$W_{ely} = 787.20 cm^3$

$b_{eff} = 8.00$

$b_{eff} = 8.00$

$A_z = 72.00 cm^2$

$I_z = 7872.00 cm^4$

$W_{elz} = 787.20 cm^3$

$Lam_{uw} = 49.95$

$Lam_{uf} = 26.19$

$A_x = 144.00 cm^2$

$I_x = 13280.04 cm^4$

AZIONI INTERNE E COEFFICIENTI

$N = 258.04 kN$

$M_y = 11.94 kN*m$

$m_{efy} = 1.19$

$c_y = 1.12$

TENSIONI NEI PUNTI CARATTERISTICI DELLA SEZIONE

$SigN = 17.92 MPa$

$SigMy = 15.16 MPa$



PARAMETRI IN STABILITÀ LATERALE:

PARAMETRI DI INSTABILITÀ:



rispetto all'asse Y:

$l_y = 4.00 m$

$F_{iy} = 0.61$

$l_{efy} = 4.00 m$

$N_y = 1.40$

$Lam_y = 54.10$

$F_{iefy} = 0.39$

$Lam_{_y} = 3.14$



rispetto all'asse Z:

$l_z = 4.00 m$

$F_{iz} = 0.61$

$l_{efz} = 4.00 m$

$Lam_z = 54.10$

$F_{iefz} = 0.61$

$Lam_{_z} = 3.14$

FORMULE DI VERIFICA:

Verifica della sezione della barra

Anima: $Lam_{_w}/Lam_{_uw} = 0.16 < 1.0$; Ala: $Lam_{_f}/Lam_{_uf} = 0.31 < 1.0$ [9.4] SEZIONE COMPATTA

$(N/A_x + M_y/W_{yx}) / (R_y * g_{c1} * g_n) = 0.14 < 1.00$ [9.1.1-(106)]

Verifica della stabilità della barra

$N / (F_{iefy} * A * R_y * g_{c2} * g_n) = 0.20 < 1.00$ [9.2.2-(109)]

$N / (F_{iefz} * A * R_y * g_{c2} * g_n) + M_y * (c_y * d_y * W_y * R_y * g_{c2} * g_n) = 0.19 < 1.00$ [9.2.10-(120)]

Profilato corretto !!!

NORMA: [Strutture in acciaio SP 10.13330.2011](#).

TIPO DI ANALISI: [Verifica delle barre](#)

GRUPPO:

BARRA: 330 B_330

PUNTO: 2

COORDINATA: $x = 0.50 L = 2.00$ m

CARICHI:

Condizione di carico decisiva: 17 SLU Pressione del vento - Y $1*1.05+2*1.20+(3+4)*1.40+15*1.00$

MATERIAL

EN AW-6082 T6

$R_s = 236.00$ MPa

$R_a = 136.88$ MPa

$R_{s2} = 236.00$ MPa

$E = 70000.00$ MPa

$g_{s1} = 1.30$

$g_{c1} = 1.00$

$g_{c2} = 1.00$

$g_n = 1.00$



PARAMETRI DELLA SEZIONE: 250x350x20

$h = 35.0$ cm

$b_f = 25.0$ cm

$t = 2.0$ cm

$t_f = 2.0$ cm

Anima:

Ala:

$A_y = 93.33$ cm²

$I_y = 37188.67$ cm⁴

$W_{ely} = 2125.07$ cm³

$h_{ef} = 15.50$

$b_{eff} = 10.50$

$A_z = 130.67$ cm²

$I_z = 21648.67$ cm⁴

$W_{elz} = 1731.89$ cm³

$L_{am,uv} = 25.35$

$L_{am,uf} = 25.17$

$A_x = 224.00$ cm²

$I_x = 41148.64$ cm⁴

AZIONI INTERNE E COEFFICIENTI

$N = 2024.54$ kN

$M_y = 27.11$ kN*m

$M_z = 0.25$ kN*m

$m_{efy} = 0.20$

$m_{efz} = 0.01$

$Q_y = 0.24$ kN

$Q_z = 0.15$ kN

$c_y = 1.16$

$c_z = 1.09$

TENSIONI NEI PUNTI CARATTERISTICI DELLA SEZIONE

$\text{Sig}_N = 90.38$ MPa

$\text{Sig}_{My} = 12.76$ MPa

$\text{Sig}_{Mz} = -0.15$ MPa

$\text{Sig}_t = 103.26$ MPa

$T_{y,max} = 0.03$ MPa

$T_{z,max} = 0.01$ MPa

$T_{y,mid} = 0.03$ MPa

$T_{z,mid} = 0.01$ MPa



PARAMETRI IN STABILITÀ LATERALE:

PARAMETRI DI INSTABILITÀ:



rispetto all'asse Y:

$l_y = 4.00$ m

$F_{iy} = 0.85$

$l_{efy} = 4.00$ m

$N_y = 1.44$

$L_{amy} = 31.04$

$F_{iay} = 0.79$

$L_{am,y} = 1.80$

$c = 0.92$



rispetto all'asse Z:

$l_z = 4.00$ m

$F_{iz} = 0.77$

$l_{efz} = 4.00$ m

$N_z = 1.56$

$L_{amz} = 40.69$

$F_{iaz} = 0.76$

$L_{am,z} = 2.36$

$c = 0.92$

FORMULE DI VERIFICA:

[Verifica della sezione della barra](#)

Anima: $L_{am,w}/L_{am,uv} = 0.61 < 1.0$; Ala: $L_{am,f}/L_{am,uf} = 0.42 < 1.0$ [9.4] SEZIONE COMPATTA

$\sqrt{\text{Sig}^2 + 3.0 * T_{y,max}^2} * 0.87 / (R_y * g_{c1} * g_n) = 0.38 < 1.00$ [8.2.1-(44)]

$T_{y,max} / (R_s * g_{c1} * g_n) = 0.00 < 1.00$ [8.2.1-(42)]; $T_{z,max} / (R_s * g_{c1} * g_n) = 0.00 < 1.00$ [8.2.1-(42)]

[Verifica della stabilità della barra](#)

$N / (F_{iaz} * A * R_y * g_{c2} * g_n) = 0.50 < 1.00$ [9.2.2-(109)]

$N / (F_{iaz} * A * R_y * g_{c2} * g_n) + M_y / (c_y * d_y * W_y * R_y * g_{c2} * g_n) = 0.56 < 1.00$ [9.2.10-(120)]

Profilato corretto !!!

NORMA: [Strutture in acciaio SP 10.13330.2011](#).

TIPO DI ANALISI: [Verifica delle barre](#)

GRUPPO:

BARRA: 107 B_107

PUNTO: 2

COORDINATA: $x = 0.50 L = 1.80 \text{ m}$

CARICHI:

Condizione di carico decisiva: 17 SLU Pressione del vento - Y $1*1.05+2*1.20+(3+4)*1.40+15*1.00$

MATERIAL

EN AW-6082 T6

$R_y = 236.00 \text{ MPa}$

$g_u = 1.50$

$R_s = 136.88 \text{ MPa}$

$g_{c1} = 1.00$

$R_u = 236.00 \text{ MPa}$

$g_{c2} = 1.00$

$E = 70000.00 \text{ MPa}$

$g_n = 1.00$



PARAMETRI DELLA SEZIONE: 250x150x10

$h_t = 15.0 \text{ cm}$

$b_f = 25.0 \text{ cm}$

$t = 1.0 \text{ cm}$

$t_f = 1.0 \text{ cm}$

Anima:

Ala:

$A_y = 47.50 \text{ cm}^2$

$I_y = 2820.33 \text{ cm}^4$

$W_{ely} = 376.04 \text{ cm}^3$

$h_{ef} = 13.00$

$b_{ef} t_f = 23.00$

$A_z = 28.50 \text{ cm}^2$

$I_z = 6350.33 \text{ cm}^4$

$W_{elz} = 508.03 \text{ cm}^3$

$L_{am,uv} = 27.55$

$L_{am,uf} = 27.55$

$A_x = 76.00 \text{ cm}^2$

$I_t = 5941.89 \text{ cm}^4$

AZIONI INTERNE E COEFFICIENTI

$N = 627.08 \text{ kN}$

$M_y = 0.19 \text{ kN} \cdot \text{m}$

$m_{efy} = 0.01$

$M_z = 0.14 \text{ kN} \cdot \text{m}$

$m_{efz} = 0.00$

$c_y = 1.08$

$c_z = 1.17$

TENSIONI NEI PUNTI CARATTERISTICI DELLA SEZIONE

$\text{Sig}N = 82.51 \text{ MPa}$

$\text{Sig}M_y = 0.52 \text{ MPa}$

$\text{Sig}M_z = -0.27 \text{ MPa}$



PARAMETRI IN STABILITÀ LATERALE:

PARAMETRI DI INSTABILITÀ:



rispetto all'asse Y:

$t_y = 3.61 \text{ m}$

$F_{iy} = 0.56$

$l_{efy} = 3.61 \text{ m}$

$N_y = 1.46$

$L_{amy} = 59.19$

$F_{iey} = 0.56$

$L_{am_y} = 3.44$

$c = 0.90$



rispetto all'asse Z:

$t_z = 3.61 \text{ m}$

$F_{iz} = 0.78$

$l_{efz} = 3.61 \text{ m}$

$N_z = 1.37$

$L_{amz} = 39.44$

$F_{iez} = 0.77$

$L_{am_z} = 2.29$

$c = 0.90$

FORMULE DI VERIFICA:

Verifica della sezione della barra

Anima: $L_{am_u}/L_{am_{uv}} = 0.47 < 1.0$; Ala: $L_{am_f}/L_{am_{uf}} = 0.83 < 1.0$ [9.4] SEZIONE COMPATTA

$N / (A_n \cdot R_y \cdot g_{c1} \cdot g_n) + M_y / (c_y \cdot W_{ya, \min} \cdot R_y \cdot g_{c1} \cdot g_n) + M_z / (c_z \cdot W_{za, \min} \cdot R_y \cdot g_{c1} \cdot g_n) = 0.21 < 1.00$ [9.1.1-(105)]

Verifica della stabilità della barra

$N / (\min(F_{iy}, F_{iz}) \cdot A \cdot R_y \cdot g_{c2} \cdot g_n) = 0.63 < 1.00$ [7.1-(7)]

$N / (F_{iey} \cdot A \cdot R_y \cdot g_{c2} \cdot g_n) + M_z / (c_z \cdot d_r \cdot W_z \cdot R_y \cdot g_{c2} \cdot g_n) = 0.63 < 1.00$ [9.2.10-(121)]

Profilato corretto !!!

NORMA: [Strutture in acciaio SP 16.13330.2011*](#).

TIPO DI ANALISI: [Verifica delle barre](#)

GRUPPO:

BARRA: 382 B_382

PUNTO: 3

COORDINATA: $x = 1.00$ L = 7.21 m

CARICHI:

Condizione di carico decisiva: 17 SLU Pressione del vento - Y $1*1.05+2*1.20+(3+4)*1.40+15*1.00$

MATERIAL

EN AW-6082 T6

Ry = 236.00 MPa

Rs = 136.88 MPa

Ru = 236.00 MPa

E = 70000.00 MPa

gu = 1.30

gc1 = 1.00

gc2 = 1.00

gn = 1.00



PARAMETRI DELLA SEZIONE: 60x60x10

ht=6.0 cm

bf=6.0 cm

t=1.0 cm

tf=1.0 cm

Ay=10.00 cm²

Iy=86.67 cm⁴

Wely=28.89 cm³

Az=10.00 cm²

Iz=86.67 cm⁴

Welz=28.89 cm³

Ax=20.00 cm²

It=146.21 cm⁴

AZIONI INTERNE E COEFFICIENTI

N = -73.33 kN

My = -0.21 kN*m

Mz = 0.31 kN*m

Qy = -0.06 kN

cy = 1.12

Qz = -0.22 kN

cz = 1.12

TENSIONI NEI PUNTI CARATTERISTICI DELLA SEZIONE

SigN = -36.66 MPa

SigMy = -7.44 MPa

SigMz = -10.71 MPa

Sig = 52.34 MPa

Ty,max = -0.07 MPa

Ty,mid = -0.06 MPa

Tz,max = -0.24 MPa

Tz,mid = -0.22 MPa



PARAMETRI INSTABILITÀ LATERALE:

PARAMETRI DI INSTABILITÀ:



rispetto all'asse Y:



rispetto all'asse Z:

FORMULE DI VERIFICA:

Verifica della sezione della barra

$\sqrt{\text{Sig}^2 + 3.0 * \text{Tz,max}^2} * 0.87 / (\text{Ry} * \text{gc1} / \text{gn}) = 0.19 < 1.00$ [8.2.1-(44)]

$\text{Ty,max} / (\text{Rs} * \text{gc1} / \text{gn}) = 0.00 < 1.00$ [8.2.1-(42)]; $\text{Tz,max} / (\text{Rs} * \text{gc1} / \text{gn}) = 0.00 < 1.00$ [8.2.1-(42)]

Verifica della stabilità della barra

Analisi non effettuata

Profilato corretto !!!

3.2.9 Verifica dei collegamenti

La verifica dei collegamenti, in conformità al codice europeo “Eurocodice 9: progettazione delle strutture di alluminio”, è stata fatta per tutte le unioni. Il calcolo completo è stato sviluppato per i collegamenti più sollecitati di ogni tipologia.

TRAVE SECONDARIA IN APPOGGIO SULLA PRINCIPALE

Al fine di avere la trave secondaria in appoggio sulla principale alla stessa quota è stato utilizzato un collegamento con elementi angolari (squadrette) in alluminio EN AW-6082 T6. Si ha uno sforzo normale $N_{Ed} = 258 \text{ kN}$ e un taglio $V_{z,Ed} = 35 \text{ kN}$.

Si utilizzano 4 barre filettate M16 in acciaio inossidabile A4-80 per ogni squadretta. In funzione dei limiti sull'interasse delle barre filettate si adottano angolari di altezza 200 mm e larghezza 210 mm con spessore pari a 10 mm.

A causa delle eccentricità occorre tener conto dei momenti parassiti che nascono. Si riportano le sollecitazioni agenti sulla singola barra filettata delle due sezioni e le resistenze di progetto, facendo attenzione a considerare il numero corretto di sezioni resistenti:

e_1 [mm]	210
$F_{z,Ed1}$ [kN]	9
$F_{x,Ed1}$ [kN]	95
$F_{v,Sd1}$ [kN]	96
$F_{v,Rd1}$ [kN]	100

Tabella 3.2.9.1

e_2 [mm]	210
$F_{z,Ed2}$ [kN]	9
$F_{x,Ed2}$ [kN]	31
$F_{v,Sd2}$ [kN]	32

$F_{t,Sd2}$ [kN]	22
$F_{v,Rd2}$ [kN]	100
$B_{t,Rd2}$ [kN]	90

Tabella 3.2.9.2

Si procede alla verifica a rifollamento della barra filettata:

$$\frac{F_{x,Ed}}{F_{x,b,Rd}} + \frac{F_{z,Ed}}{F_{z,b,Rd}} \leq 1$$

$F_{x,b,Rd}$ [kN]	156
$F_{z,b,Rd}$ [kN]	156

Tabella 3.2.9.3

Il termine risulta essere 0,67. Dunque la verifica risulta soddisfatta.

La verifica sulla barra filettata della sezione 2 terrà conto dell'effetto combinato di trazione e taglio:

$$\frac{F_{v,Sd}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Sd}}{1,4 \cdot B_{t,Rd}} \leq 1 \quad , \quad \frac{F_{t,Sd}}{B_{t,Rd}} \leq 1$$

I due termini risultano essere rispettivamente 0,49 e 0,24. Dunque la verifica risulta soddisfatta.

TRAVE PRINCIPALE IN APPOGGIO SUL CORRENTE

Al fine di avere la trave principale in appoggio sul corrente alla stessa quota è stato utilizzato un collegamento del tipo rappresentato in **figura 3.2.9.1**.



Figura 3.2.9.1

Si ha uno sforzo normale $N_{Ed} = 38 \text{ kN}$, un taglio $V_{z,Ed} = 37 \text{ kN}$ e un taglio $V_{y,Ed} = 30 \text{ kN}$.

Si utilizzano 4 barre filettate M16 in acciaio inossidabile A4-80 per ogni sezione.

A causa delle eccentricità occorre tener conto dei momenti parassiti che nascono. Si riportano le sollecitazioni agenti sulla singola barra filettata delle due sezioni e le resistenze di progetto, facendo attenzione a considerare il numero corretto di sezioni resistenti:

e_1 [mm]	235
$F_{z,Ed1}$ [kN]	9
$F_{x,Ed1}$ [kN]	45
$F_{v,Sd1}$ [kN]	46
$F_{t,Sd1}$ [kN]	8
$F_{v,Rd1}$ [kN]	100
$B_{t,Rd1}$ [kN]	90

Tabella 3.2.9.4

e_2 [mm]	210
$F_{z,Ed2}$ [kN]	5
$F_{x,Ed2}$ [kN]	20
$F_{v,Sd2}$ [kN]	20
$F_{t,Sd2}$ [kN]	5
$F_{v,Rd2}$ [kN]	50
$B_{t,Rd2}$ [kN]	90

Tabella 3.2.9.5

Si procede alla verifica a rifollamento della barra filettata:

$$\frac{F_{x,Ed}}{F_{x,b,Rd}} + \frac{F_{z,Ed}}{F_{z,b,Rd}} \leq 1$$

$F_{x,b,Rd}$ [kN]	156
$F_{z,b,Rd}$ [kN]	156

Tabella 3.2.9.6

Il termine risulta essere 0,35. Dunque la verifica risulta soddisfatta.

La verifica sulla barra filettata delle due sezioni terrà conto dell'effetto combinato di trazione e taglio:

$$\frac{F_{v,Sd}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Sd}}{1,4 \cdot B_{t,Rd}} \leq 1 \quad , \quad \frac{F_{t,Sd}}{B_{t,Rd}} \leq 1$$

I due termini risultano essere rispettivamente 0,51 e 0,08. Dunque la verifica risulta soddisfatta.

UNIONE DIAGONALE ORIZZONTALE

Si ha uno sforzo normale $N_{Ed} = 73 \text{ kN}$.

Si utilizzano 2 barre filettate M16 in acciaio inossidabile A4-80.

Si riportano le sollecitazioni agenti sulla singola barra filettata e le resistenze di progetto, facendo attenzione a considerare il numero corretto di sezioni resistenti:

$F_{v,Sd}$ [kN]	37
$F_{v,Rd}$ [kN]	50

Tabella 3.2.9.7

Si procede alla verifica a rifollamento della barra filettata:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{Mb}}$$

f_u [MPa]	310
α_b	1,00
k_1	2,50
$F_{b,Rd}$ [kN]	99

Tabella 3.2.9.8

Con riferimento alle sollecitazioni precedentemente calcolate, la verifica risulta soddisfatta.

UNIONE DIAGONALE VERTICALE

Si ha uno sforzo normale $N_{Ed} = 628 \text{ kN}$.

Si utilizzano 8 barre filettate M16 in acciaio inossidabile A4-80.

Si riportano le sollecitazioni agenti sulla singola barra filettata e le resistenze di progetto, facendo attenzione a considerare il numero corretto di sezioni resistenti:

$F_{v,Sd}$ [kN]	79
$F_{v,Rd}$ [kN]	100

Tabella 3.2.9.9

Si procede alla verifica a rifollamento della barra filettata:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{Mb}}$$

f_u [MPa]	310
α_b	0,78
k_1	2,50
$F_{b,Rd}$ [kN]	156

Tabella 3.2.9.10

Con riferimento alle sollecitazioni precedentemente calcolate, la verifica risulta soddisfatta.

UNIONE FLANGIATA PORTALE

L'unione è soggetta ad uno sforzo normale $N_{Ed} = 19$ kN, ad un taglio $V_{z,Ed} = 41$ kN, ad un taglio $V_{y,Ed} = 29$ kN ed ad un momento $M_{y,Ed} = 73$ kNm.

Si utilizzano 6 barre filettate M16 in acciaio inossidabile A4-80.

La valutazione delle sollecitazioni nella barra filettata viene condotta in campo elastico. In particolare è stato utilizzato il programma VCSLU:

Titolo : Unione flangiata portale

N° Vertici **Zoom** **N° barre** **Zoom**

N°	x [cm]	y [cm]
1	-10	-16
2	10	-16
3	10	16
4	-10	16

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	1.57	-7	-13
2	1.57	0	-13
3	1.57	7	-13
4	1.57	-7	13
5	1.57	0	13
6	1.57	7	13

Tipo Sezione
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

N_{Ed} kN
M_{xEd} kNm
M_{yEd}

P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN yN

Metodo di calcolo
 S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Materiali
 B450C C25/30

ϵ_{su} ‰ ϵ_{c2} ‰
 f_{yd} N/mm² ϵ_{cu} ‰
 E_s N/mm² f_{cd} ‰
 E_s/E_c f_{cc}/f_{cd} ?
 ϵ_{syd} ‰ $\sigma_{c,adm}$ ‰
 $\sigma_{s,adm}$ N/mm² τ_{co} ‰
 τ_{c1} ‰

σ_c N/mm²
 σ_s N/mm²
 ϵ_s ‰
 d cm
 x x/d
 δ

Verifica
 N° iterazioni:
 Precompresso

Si riportano le sollecitazioni agenti sulla singola barra filettata e le resistenze di progetto, facendo attenzione a considerare il numero corretto di sezioni resistenti:

$F_{z,Ed}$ [kN]	7
$F_{x,Ed}$ [kN]	5
$F_{v,Sd}$ [kN]	8
$F_{t,Sd}$ [kN]	84
$F_{v,Rd}$ [kN]	50
$B_{t,Rd}$ [kN]	90

Tabella 3.2.9.11

Si procede alla verifica a rifollamento della barra filettata:

$$\frac{F_{x,Ed}}{F_{x,b,Rd}} + \frac{F_{z,Ed}}{F_{z,b,Rd}} \leq 1$$

$F_{x,b,Rd}$ [kN]	58
$F_{z,b,Rd}$ [kN]	58

Tabella 3.2.9.12

Il termine risulta essere 0,20. Dunque la verifica risulta soddisfatta.

Le verifiche a taglio e trazione sono condotte con il seguente criterio di interazione lineare:

$$\frac{F_{v,Sd}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Sd}}{1,4 \cdot B_{t,Rd}} \leq 1 \quad , \quad \frac{F_{t,Sd}}{B_{t,Rd}} \leq 1$$

I due termini risultano essere rispettivamente 0,83 e 0,93. Dunque le verifiche risultano soddisfatte.

UNIONE FLANGIATA CORRENTE

L'unione è soggetta ad uno sforzo normale $N_{Ed} = 1887$ kN, ad un taglio $V_{z,Ed} = 20$ kN, ad un taglio $V_{y,Ed} = 5$ kN, ad un momento $M_{y,Ed} = 31$ kNm ed ad un momento $M_{z,Ed} = 14$ kNm.

$F_{z,Ed}$ [kN]	1
$F_{x,Ed}$ [kN]	1
$F_{v,Sd}$ [kN]	1
$F_{t,Sd}$ [kN]	70
$F_{v,Rd}$ [kN]	50
$B_{t,Rd}$ [kN]	90

Tabella 3.2.9.13

Si procede alla verifica a rifollamento della barra filettata:

$$\frac{F_{x,Ed}}{F_{x,b,Rd}} + \frac{F_{z,Ed}}{F_{z,b,Rd}} \leq 1$$

$F_{x,b,Rd}$ [kN]	58
$F_{z,b,Rd}$ [kN]	58

Tabella 3.2.9.14

Il termine risulta essere 0,01. Dunque la verifica risulta soddisfatta.

Le verifiche a taglio e trazione sono condotte con il seguente criterio di interazione lineare:

$$\frac{F_{v,Sd}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Sd}}{1,4 \cdot B_{t,Rd}} \leq 1 \quad , \quad \frac{F_{t,Sd}}{B_{t,Rd}} \leq 1$$

I due termini risultano essere rispettivamente 0,57 e 0,78. Dunque le verifiche risultano soddisfatte.

GIUNTO INTERMEDIO TRA TRAVI PRINCIPALI

Per il giunto intermedio tra travi principali si realizza un giunto con coprigiunti. Si ha uno sforzo normale $N_{Ed} = 38$ kN, un taglio $V_{z,Ed} = 36$ kN, un taglio $V_{y,Ed} = 29$ kN, un momento $M_{y,Ed} = 71$ kNm ed un momento $M_{z,Ed} = 58$ kNm.

Per i coprigiunti d'anima in totale si utilizzano 9 barre filettate M16 in acciaio inossidabile A4-80 mentre per i coprigiunti d'ala esterni in totale si utilizzano 18 barre filettate M16 in acciaio inossidabile A4-80.

La forza in ogni coprigiunto d'ala dovuta al momento $M_{y,Ed}$ risulta:

$$F_{f,M_y} = \frac{M_{y,Ed}}{(h_b - t_{fb})}$$

dove:

- h_b è l'altezza delle travi;
- t_{fb} è lo spessore della flangia delle travi.

La forza in ogni coprigiunto d'ala dovuta alla forza assiale N_{Ed} risulta:

$$F_{f,N} = \left(1 - \frac{A_w}{A}\right) \cdot \frac{N_{Ed}}{2}$$

dove $A_w = \frac{(h-2t_f)}{t_w}$ è l'area dell'anima delle membrature.

La forza nei coprigiunti d'anima dovuta alla forza assiale N_{Ed} risulta:

$$F_{w,N} = \left(\frac{A_w}{A}\right) \cdot N_{Ed}$$

La forza nei coprigiunti d'anima dovuta al taglio $V_{z,Ed}$ risulta:

$$F_{w,V_z} = V_{z,Ed}$$

Il calcolo delle forze nelle barre filettate viene fatto a partire dalle forze nei coprigiunti precedentemente calcolate.

Si riportano le sollecitazioni agenti sulla singola barra filettata dei due tipi di coprigiunto e le resistenze di progetto, facendo attenzione a considerare il numero corretto di sezioni resistenti:

$F_{z,Edw}$ [kN]	7
$F_{x,Edw}$ [kN]	41
$F_{v,Sdw}$ [kN]	41
$F_{t,Sdw}$ [kN]	3
$F_{v,Rdw}$ [kN]	50
$B_{t,Rdw}$ [kN]	90

Tabella 3.2.9.15

$F_{v,Sdf}$ [kN]	45
$F_{v,Rdf}$ [kN]	50

Tabella 3.2.9.16

Si procede alla verifica a rifollamento della barra filettata dei coprigiunti d'anima:

$$\frac{F_{x,Ed}}{F_{x,b,Rd}} + \frac{F_{z,Ed}}{F_{z,b,Rd}} \leq 1$$

$F_{x,b,Rd}$ [kN]	156
$F_{z,b,Rd}$ [kN]	156

Tabella 3.2.9.17

Il termine risulta essere 0,31. Dunque la verifica risulta soddisfatta.

La verifica sul bullone dei coprigiunti d'anima terrà conto dell'effetto combinato di trazione e taglio:

$$\frac{F_{v,Sd}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Sd}}{1,4 \cdot B_{t,Rd}} \leq 1 \quad , \quad \frac{F_{t,Sd}}{B_{t,Rd}} \leq 1$$

I due termini risultano essere rispettivamente 0,85 e 0,04. Dunque la verifica risulta soddisfatta.

Si procede alla verifica a rifollamento della barra filettata del coprigiunto d'ala:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{Mb}}$$

f_u [MPa]	310
α_b	1,00
k_1	2,50
$F_{b,Rd}$ [kN]	198

Tabella 3.2.9.18

Con riferimento alle sollecitazioni precedentemente calcolate, la verifica risulta soddisfatta.

La resistenza a rottura per il meccanismo di collasso a block-tearing $V_{eff,Rd}$ del coprigiunto d'ala è definita come segue:

$$V_{eff,Rd} = \frac{f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y \cdot A_{nv}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}}$$

f_u [MPa]	310
f_y [MPa]	260
A_{nt} [mm ²]	1260
A_{nv} [mm ²]	2750
$V_{eff,Rd}$ [kN]	688

Tabella 3.2.9.19

GIUNTO INTERMEDIO TRA TRAVI SECONDARIE

Per il giunto intermedio tra travi secondarie si realizza un giunto con coprigiunti. Si ha uno sforzo normale $N_{Ed} = 258$ kN, un taglio $V_{z,Ed} = 35$ kN ed un momento $M_{y,Ed} = 35$ kNm.

Per i coprigiunti d'anima in totale si utilizzano 4 barre filettate M16 in acciaio inossidabile A4-80 mentre per i coprigiunti d'ala esterni in totale si utilizzano 18 barre filettate M16 in acciaio inossidabile A4-80.

La forza in ogni coprigiunto d'ala dovuta al momento $M_{y,Ed}$ risulta:

$$F_{f,M_y} = \frac{M_{y,Ed}}{(h_b - t_{fb})}$$

dove:

- h_b è l'altezza delle travi;
- t_{fb} è lo spessore della flangia delle travi.

La forza in ogni coprigiunto d'ala dovuta alla forza assiale N_{Ed} risulta:

$$F_{f,N} = \left(1 - \frac{A_w}{A}\right) \cdot \frac{N_{Ed}}{2}$$

dove $A_w = \frac{(h-2t_f)}{t_w}$ è l'area dell'anima delle membrature.

La forza nei coprigiunti d'anima dovuta alla forza assiale N_{Ed} risulta:

$$F_{w,N} = \left(\frac{A_w}{A}\right) \cdot N_{Ed}$$

La forza nei coprigiunti d'anima dovuta al taglio $V_{z,Ed}$ risulta:

$$F_{w,V} = V_z$$

Il calcolo delle forze nelle barre filettate viene fatto a partire dalle forze nei coprigiunti precedentemente calcolate.

Si riportano le sollecitazioni agenti sulla singola barra filettata dei due tipi di coprigiunto e le resistenze di progetto, facendo attenzione a considerare il numero corretto di sezioni resistenti:

$F_{z,Edw}$ [kN]	13
$F_{x,Edw}$ [kN]	33
$F_{v,Edw}$ [kN]	36
$F_{v,Rdw}$ [kN]	100

Tabella 3.2.9.20

$F_{v,Sdf}$ [kN]	30
$F_{v,Rdf}$ [kN]	50

Tabella 3.2.9.21

Si procede alla verifica a rifollamento della barra filettata dei coprigiunti d'anima:

$$\frac{F_{x,Ed}}{F_{x,b,Rd}} + \frac{F_{z,Ed}}{F_{z,b,Rd}} \leq 1$$

$F_{x,b,Rd}$ [kN]	311
$F_{z,b,Rd}$ [kN]	311

Tabella 3.2.9.22

Il termine risulta essere 0,15. Dunque la verifica risulta soddisfatta.

Si procede alla verifica a rifollamento della barra filettata del coprigiunto d'ala:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{Mb}}$$

f_u [MPa]	310
α_b	1,00
k_1	2,50
$F_{b,Rd}$ [kN]	198

Tabella 3.2.9.23

Con riferimento alle sollecitazioni precedentemente calcolate, la verifica risulta soddisfatta.

La resistenza a rottura per il meccanismo di collasso a block-tearing $V_{eff,Rd}$ del coprigiunto d'ala è definita come segue:

$$V_{eff,Rd} = \frac{f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y \cdot A_{nv}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}}$$

f_u [MPa]	310
f_y [MPa]	260
A_{nt} [mm ²]	1260
A_{nv} [mm ²]	2750
$V_{eff,Rd}$ [kN]	688

Tabella 3.2.9.24

3.3 RELAZIONE STRUTTURALE DELLA TERZA PROPOSTA DI PASSERELLA PEDONALE IN ACCIAIO MODULARE

3.3.1 Descrizione

L'oggetto di questa relazione è la struttura in acciaio della terza proposta di passerella pedonale in acciaio modulare da realizzare a Mosca (Russia).

La terza proposta di passerella pedonale in acciaio modulare ha le seguenti dimensioni e forma.

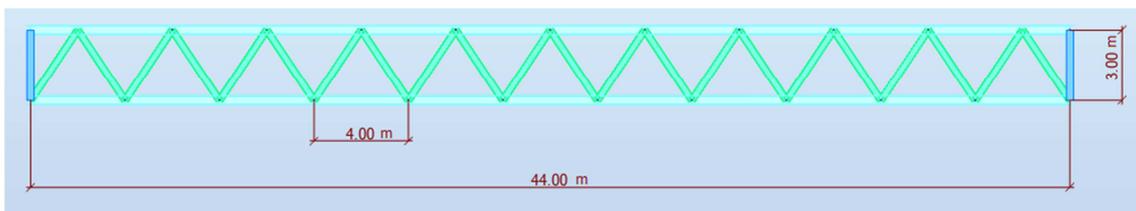


Figura 3.3.1.1

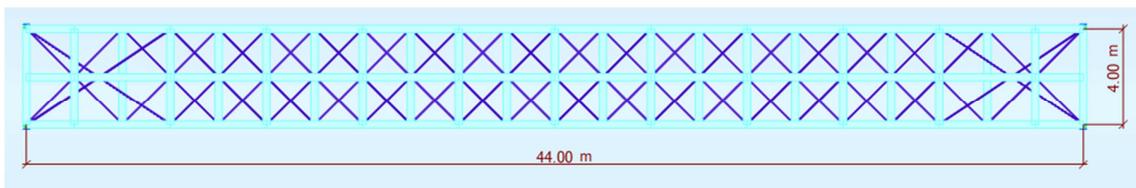


Figura 3.3.1.2

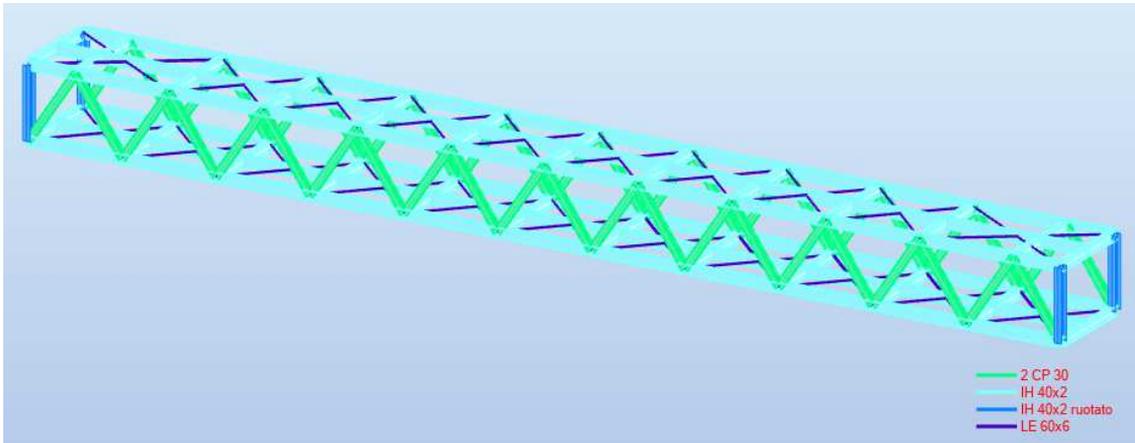


Figura 3.3.1.3

I moduli di base della terza proposta di passerella pedonale in acciaio modulare sono di due tipi e hanno le seguenti dimensioni e forma.

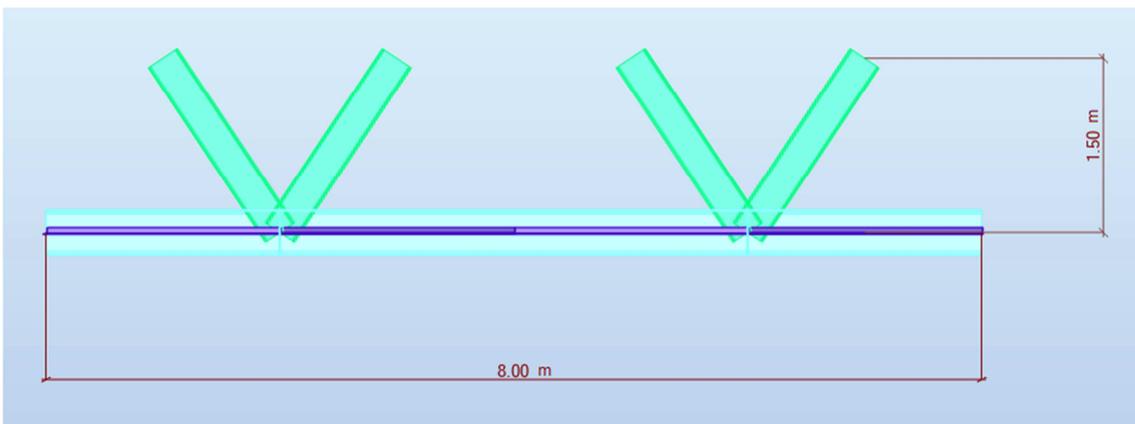


Figura 3.3.1.4

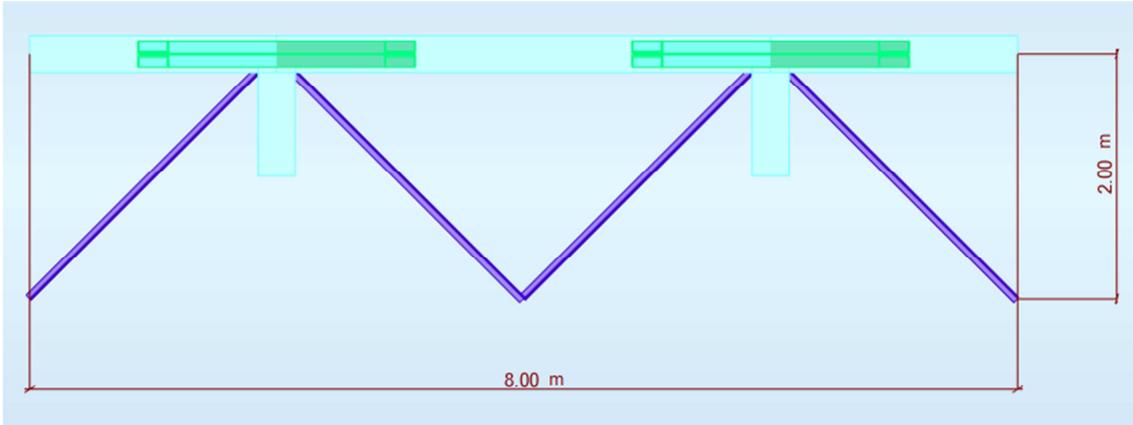


Figura 3.3.1.5

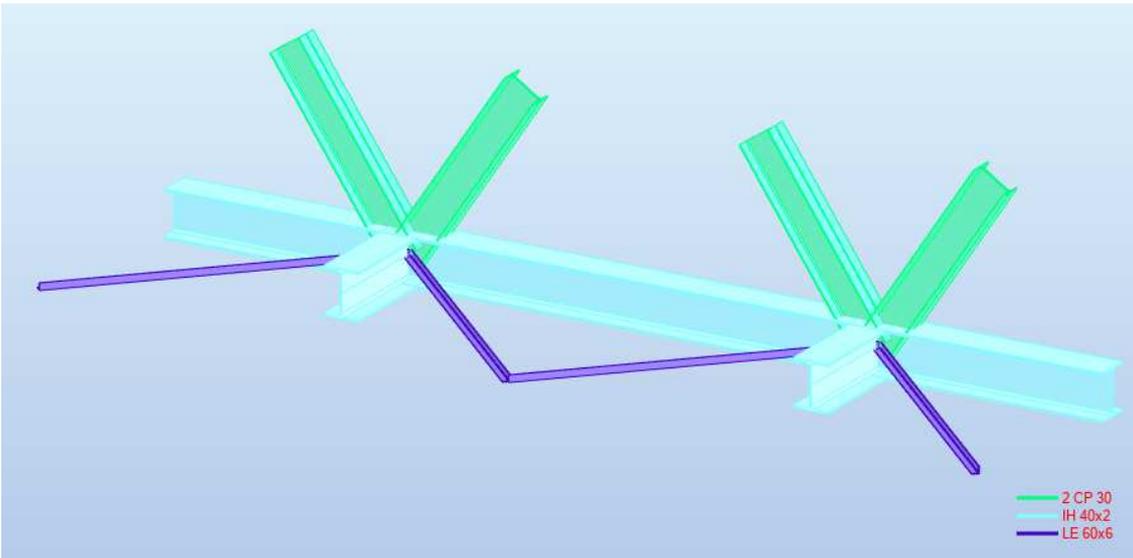


Figura 3.3.1.6

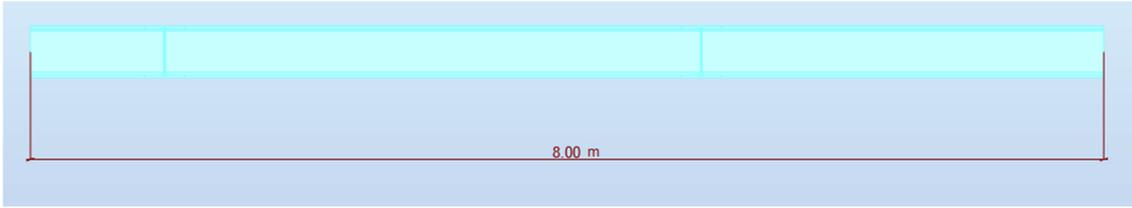


Figura 3.3.1.7

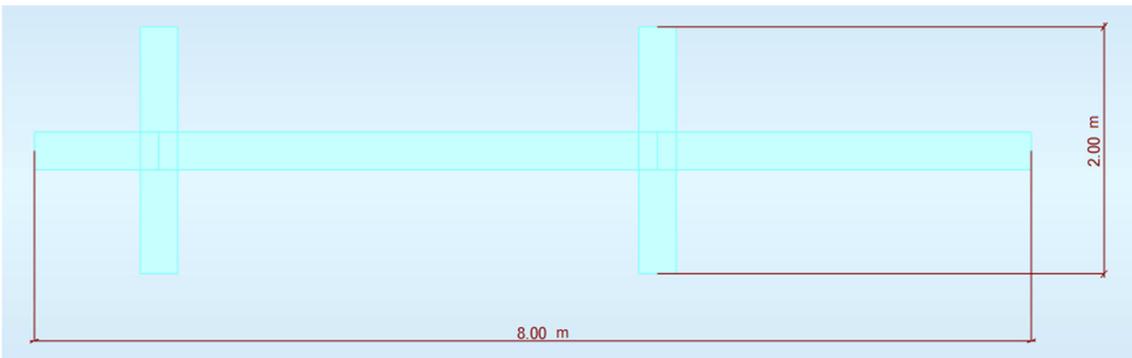


Figura 3.3.1.8

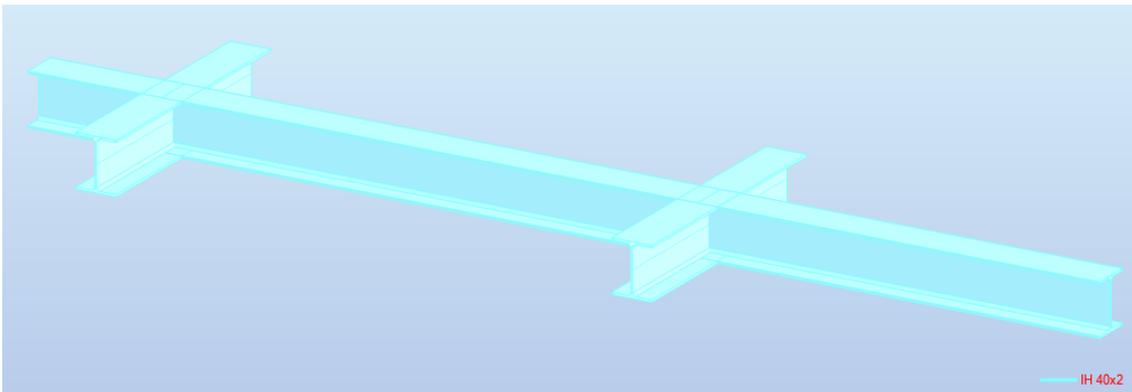


Figura 3.3.1.9

I moduli di base rispettano le dimensioni massime consentite (lunghezza 12,00 m, larghezza 2,40 m e altezza 2,40 m), date le dimensioni massime utili dei bilici.

Per realizzare la terza proposta di passerella pedonale in acciaio modulare oltre ad assemblare i diversi moduli tra di loro bisogna anche montare ulteriori elementi, i quali costituiscono le due estremità del ponte.

La struttura in acciaio della terza proposta di passerella pedonale in acciaio modulare è composta dai seguenti elementi:

Tipo	No elem	Lungh. (m)	Peso unitario (kG/m)	Peso della barra (kG)	Peso totale (kG)	Superf. pittura (m2)
2 CP 30	44	158.84	64.84	10298.97	10299	313.55
IH 40x2	94	364.00	113.35	41258.52	41259	713.80
IH 40x2 r	4	12.00	113.35	1360.17	1360	23.53
LE 60x6	42	243.96	5.54	1351.37	1351	58.55
Totale					54269	1109.44

Per il piano di calpestio viene utilizzato un grigliato in acciaio S 235 – UNI EN 10025-2 con le seguenti caratteristiche:

Maglia	17 x 76 mm
Sezione barra portante	70 x 4 mm
Interasse barre portanti	17 mm
Peso	1,35 kN/m ²
Materiale	S 235 – UNI EN 10025-2

Tabella 3.3.1.1

Per la copertura di protezione da neve e pioggia viene utilizzata una lamiera grecata tipo OR 38/732-915 in acciaio S250GD UNI EN 10147 con uno spessore di 1 mm e un peso di 0,1072 kN/m².

Per il parapetto viene utilizzata una struttura costituita da traversi e montanti con le seguenti caratteristiche:

Altezza parapetto	1,10 m
Passo montanti	1,00 m
Sezione traversi	60x60x6
Sezione montanti	60x60x6
Peso	0,24 kN/m
Materiale	S 235 – UNI EN 10025-2

Tabella 3.3.1.2

3.3.2 Software di analisi strutturale

La struttura è stata calcolata con un modello 3D completo e un'analisi statica usando il software di analisi strutturale Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2019 della Autodesk (numero di serie licenza 901-21997543).

3.3.3 Principi di progettazione

Il progetto strutturale della struttura è stato sviluppato in conformità ai seguenti codici:

- SP 16.13330.2011: strutture in acciaio;
- SP 20.13330.2016: carichi e impatti;
- Eurocodice 1: azioni sulle strutture;
- Eurocodice 3: progettazione delle strutture di acciaio;

3.3.4 Materiali e sezioni

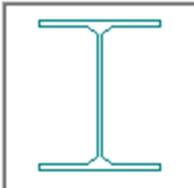
Tutti gli elementi strutturali in acciaio sono stati introdotti come S 235 – UNI EN 10025-2 con i seguenti dati tecnici:

Nome : Descrizione :

Elasticità		Resistenza	
modulo di Young, E :	<input type="text" value="210000.00"/> (MPa)	<input type="text" value="Di calcolo"/> <input type="text" value="235.00"/> (MPa)	
coefficiente di Poisson, ν :	<input type="text" value="0.3"/>	Coeff. riduzione per taglio:	<input type="text" value="1.73"/>
Modulo di taglio, G:	<input type="text" value="81000.00"/> (MPa)	limite di trazione :	<input type="text" value="360.00"/> (MPa)
Peso specifico (peso unitario):	<input type="text" value="78.50"/> (kN/m ³)	<input type="checkbox"/> Trattamento termico dell'acciaio	
Dilatazione termica :	<input type="text" value="0.000012"/> (1/°C)		
Coefficiente di smorzamento :	<input type="text" value="0.05"/>		

Le sezioni delle colonne, delle travi principali e secondarie e dei correnti in acciaio sono come di seguito:

IH 40x2

Dimensioni:			
HY (cm)	HZ (cm)		
30.0	39.2		
Proprietà di sezione:			
AX (cm ²)	IX (cm ⁴)	IY (cm ⁴)	IZ (cm ⁴)
141.60	101.79	39700.00	7209.00

Le sezioni delle diagonali verticali in acciaio sono come di seguito:

2 CP 30

Dimensioni:

HY (cm)	HZ (cm)
21,0	30,0



Proprietà di sezione:

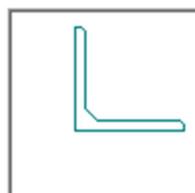
AX (cm ²)	IX (cm ⁴)	IY (cm ⁴)	IZ (cm ⁴)
81,00	22,46	11660,00	1684,20

Le sezioni delle diagonali orizzontali in acciaio sono come di seguito:

LE 60x6

Dimensioni:

HY (cm)	HZ (cm)
6.0	6.0



Proprietà di sezione:

AX (cm ²)	IX (cm ⁴)	IY (cm ⁴)	IZ (cm ⁴)
6.92	0.82	23.21	23.21

3.3.5 Casi di carico e combinazioni

Il riferimento per i carichi, ad eccezione del carico variabile, e le combinazioni di carico assunto per questa struttura è la norma russa “SP 20.13330.2016: carichi e impatti”. Per il carico variabile si è fatto riferimento al codice europeo “Eurocodice 1: azioni sulle strutture”.

PESI PROPRI

I pesi propri delle strutture in acciaio sono automaticamente calcolati dal software per un peso per unità di volume dell'acciaio di $78,5 \text{ kN/m}^3$.

CARICHI PERMANENTI

I carichi permanenti considerati nel modello della struttura sono:

- un carico lineare uniforme di $1,6 \text{ kN/m}$ e uno di $2,7 \text{ kN/m}$ agenti rispettivamente sui correnti e sulle travi secondarie inferiori e che includono il peso del grigliato e del parapetto;
- un carico lineare uniforme di $0,1 \text{ kN/m}$ e uno di $0,2 \text{ kN/m}$ agenti rispettivamente sui correnti e sulle travi secondarie superiori e che includono il peso della lamiera grecata.

CARICHI VARIABILI

I carichi variabili considerati nel modello della struttura sono:

- un carico lineare uniforme di 5 kN/m e uno di 10 kN/m agenti rispettivamente sui correnti e sulle travi secondarie inferiori.

AZIONE DELLA NEVE

L'azione della neve è stata calcolata con la formula seguente:

$$S_0 = c_e c_t \mu S_g$$

Dove S_g , il peso del manto nevoso per 1 m^2 di superficie orizzontale, per la zona III, è $1,5 \text{ kPa}$ e c_e , c_t e μ sono dei coefficienti uguali a 1.

Quindi S_0 , il valore standard del carico di neve sulla proiezione orizzontale del rivestimento, risulta pari a $1,5 \text{ kPa}$.

AZIONE DEL VENTO

L'azione del vento è stata calcolata con la formula seguente:

$$w = w_m + w_p$$

w_m è stato calcolato con la formula seguente:

$$w_m = w_0 k c$$

Dove w_0 , il valore standard della pressione del vento, per la zona I, è $0,23 \text{ kPa}$ e k e c sono dei coefficienti uguali a 1.

Quindi w_m risulta pari a $0,23 \text{ kPa}$.

w_p è stato calcolato con la formula seguente:

$$w_p = w_m \xi \zeta v$$

Dove ξ , ζ e v sono dei coefficienti rispettivamente uguali a 1,5, 0,76 e 1.

Quindi w_p e w risultano rispettivamente pari a $0,17 \text{ kPa}$ e $0,40 \text{ kPa}$.

CARICHI SISMICI

I carichi sismici non sono stati considerati nel modello di calcolo strutturale perché a Mosca l'attività sismica è 5.

Riassunto dei casi di carico:

Caso	Nome del caso	Descrizione
------	---------------	-------------

1	PP	Peso proprio dell'intera struttura
2	PERMANENTI	Carichi permanenti
4	VARIABILE	Carichi variabili
6	Pressione del vento - Y	Pressione del vento agente in direzione Y
3	Azione della neve	Azione della neve agente sul piano del tetto

L'applicazione dei carichi sulla struttura è mostrata nelle figure seguenti:

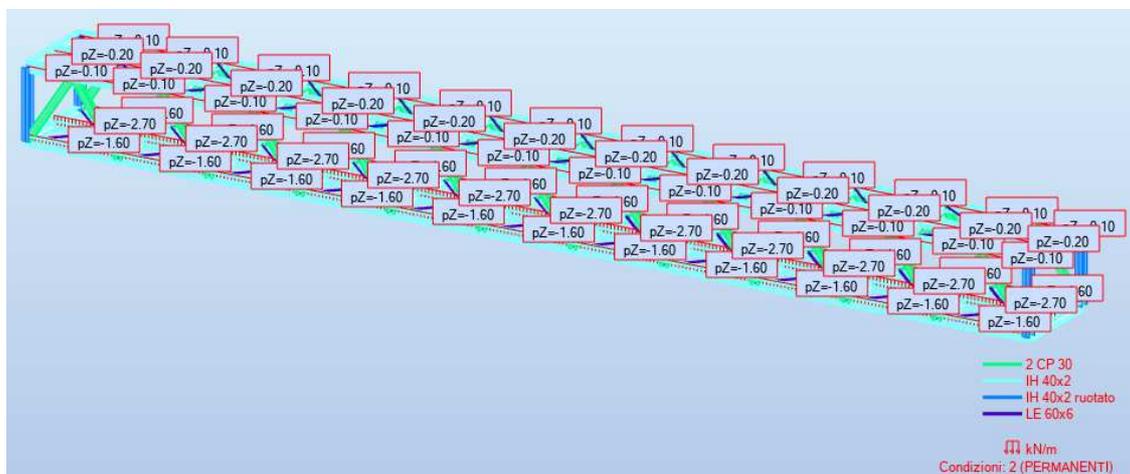


Figura 3.3.5.1

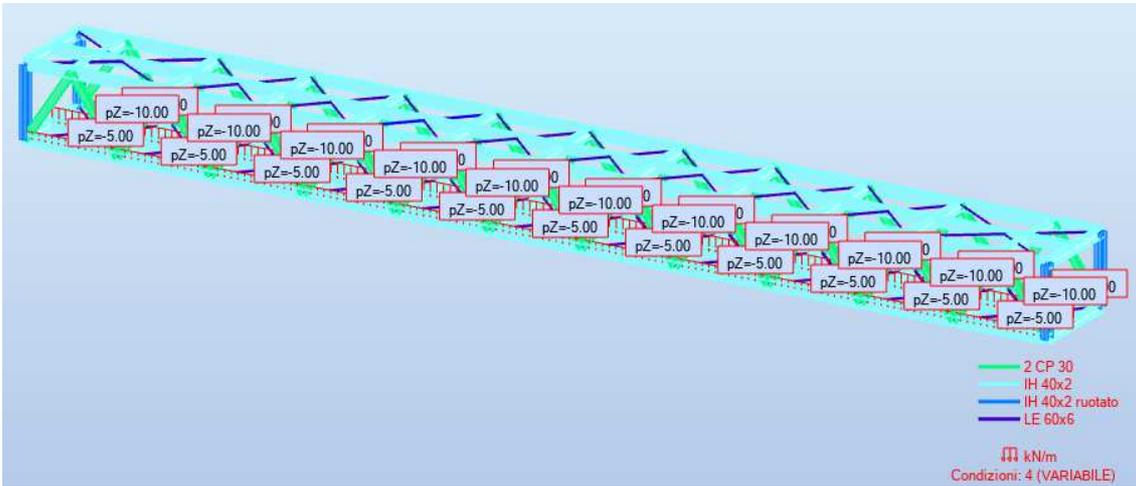


Figura 3.3.5.2

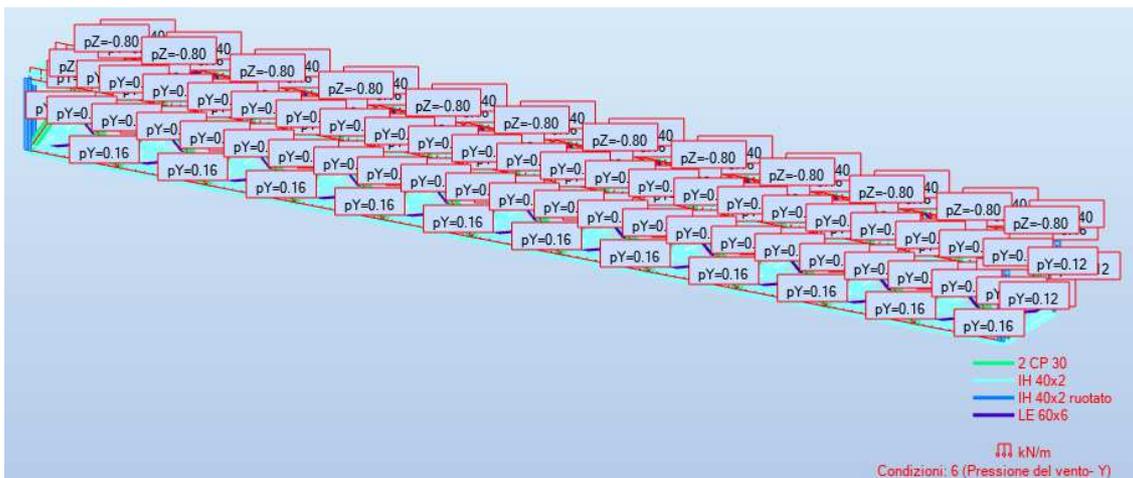


Figura 3.3.5.3

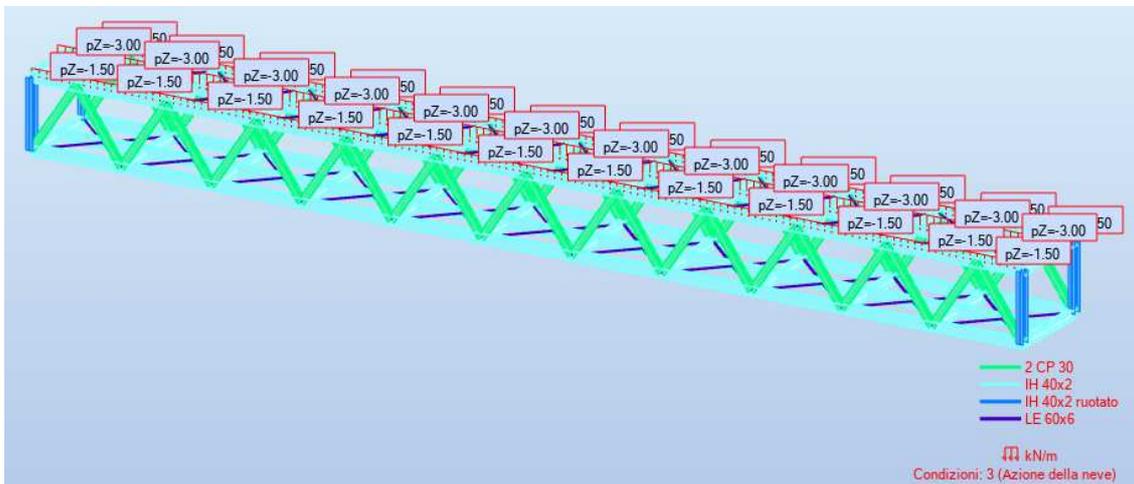


Figura 3.3.5.4

Sia il piano del tetto che quello di calpestio vengono irrigiditi mediante un sistema di controvento.

Nell'analisi dei sistemi di controvento, ai quali è richiesto di assicurare la stabilità delle travi, gli effetti delle imperfezioni devono essere inclusi attraverso una imperfezione geometrica equivalente delle membrature da vincolare, sotto forma di una imperfezione locale in termini di curvatura iniziale:

$$e_0 = \frac{\alpha_m \cdot L}{500}$$

dove L è la luce del sistema di controvento.

α_m è stato calcolato con la formula seguente:

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{m}\right)}$$

dove m è il numero delle membrature da vincolare. Nel caso in esame $m = 2$.

Quindi si ottiene un valore di α_m pari a 0,87 e un valore di e_0 pari a 76 mm.

Per semplicità, gli effetti delle imperfezioni locali in termini di curvatura iniziale delle membrature da vincolare mediante un sistema di controvento possono essere sostituiti dalla forza stabilizzante equivalente mostrata di seguito:

$$q_d = \sum N_{Ed} \cdot 8 \cdot \frac{e_0 + \delta_q}{L^2}$$

dove δ_q è lo spostamento nel piano del sistema di controvento dovuto al carico q più altri eventuali carichi esterni, valutati con l'analisi del primo ordine.

Al termine del processo iterativo si ottengono le forze finali da applicare al sistema di controvento.

Nella **tabella 3.3.5.1** sono riassunti i passaggi del processo iterativo.

$\sum N_{Ed}$ [kN]	4018
δ_{q0} [mm]	8
q_{d0} [kN/m]	1,40
F_1 [kN]	5,6
δ_{q1} [mm]	18
q_{d1} [kN/m]	1,56
F_2 [kN]	6,3
δ_{q2} [mm]	19
q_{d2} [kN/m]	1,58

F_3 [kN]	6,3
δ_{q3} [mm]	19

Tabella 3.3.5.1

Le combinazioni di carico di SLU e SLE sono le seguenti:

Comb.	Nome	Tipo	Definizione
19	SLU Normale =PP*1,05+PERMANENTI*1,20	SLU	1*1,05+2*1,20
20	SLU Variabile=PP*1,05+PERMANENTI*1,20+VARIABILE*1,40	SLU	1*1,05+2*1,20+4*1,40
17	SLU Pressione del vento – Y=PP*1,05+PERMANENTI*1,20+VARIABILE*1,40+ Pressione del vento – Y*1,40+Azione della neve*1,40	SLU	1*1,05+2*1,20+(4+6+3)*1,40
21	SLE Normale=PP*1,00+PERMANENTI*1,00	SLE	(1+2)*1,00
22	SLE Variabile=PP*1,00+PERMANENTI*1,00+VARIABILE*1,00	SLE	(1+2+4)*1,00
18	SLE Pressione del vento – Y=PP*1,00+PERMANENTI*1,00+VARIABILE*1,00+ Pressione del vento – Y*1,00+Azione della neve*1,00	SLE	(1+2+4+6+3)*1,00

3.3.6 Metodo di analisi

Le forze interne e i momenti sono stati determinati con un'analisi globale elastica usando un modello FEM.

3.3.7 Deformazioni

Nelle figure seguenti sono visibili le deflessioni della struttura per tutti i singoli casi di carico.

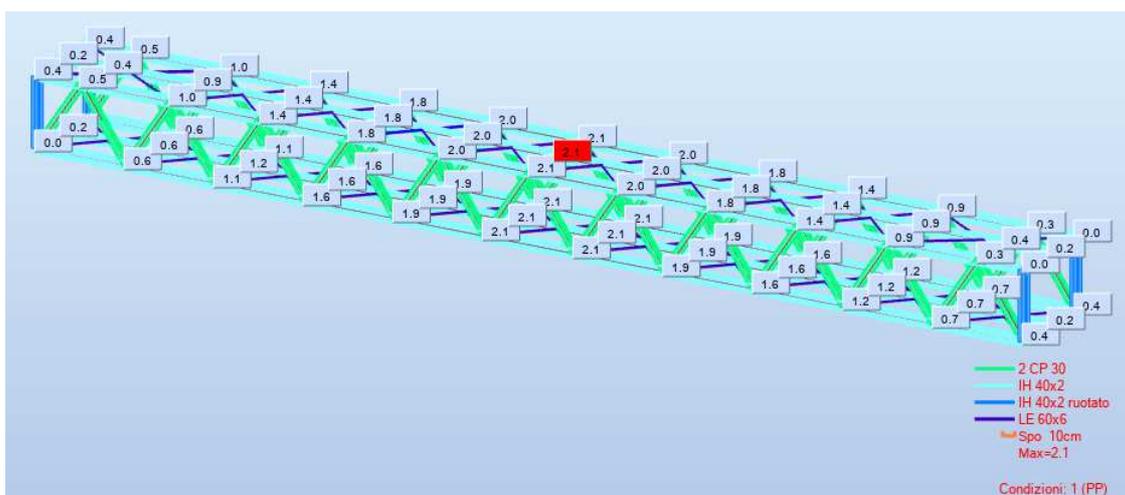


Figura 3.3.7.1

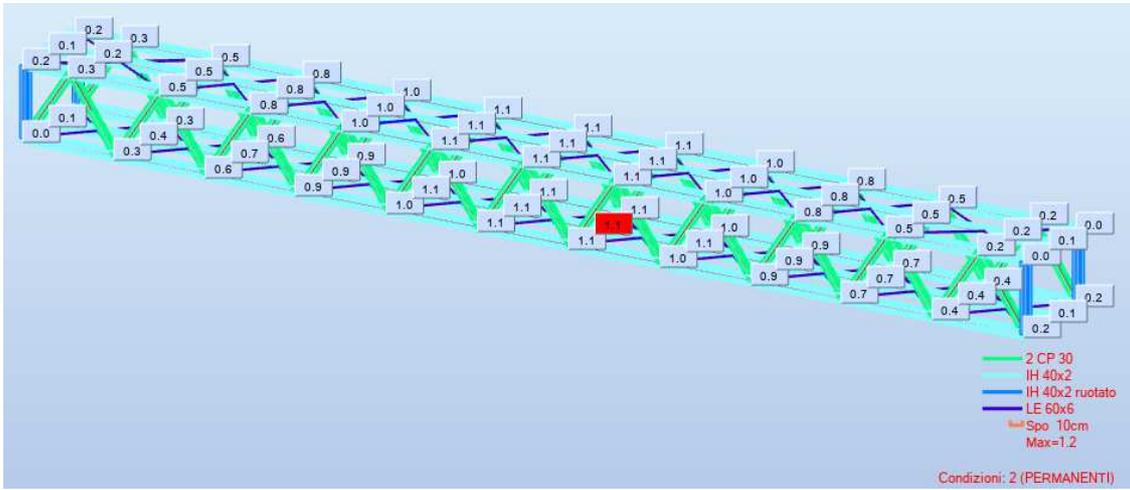


Figura 3.3.7.2

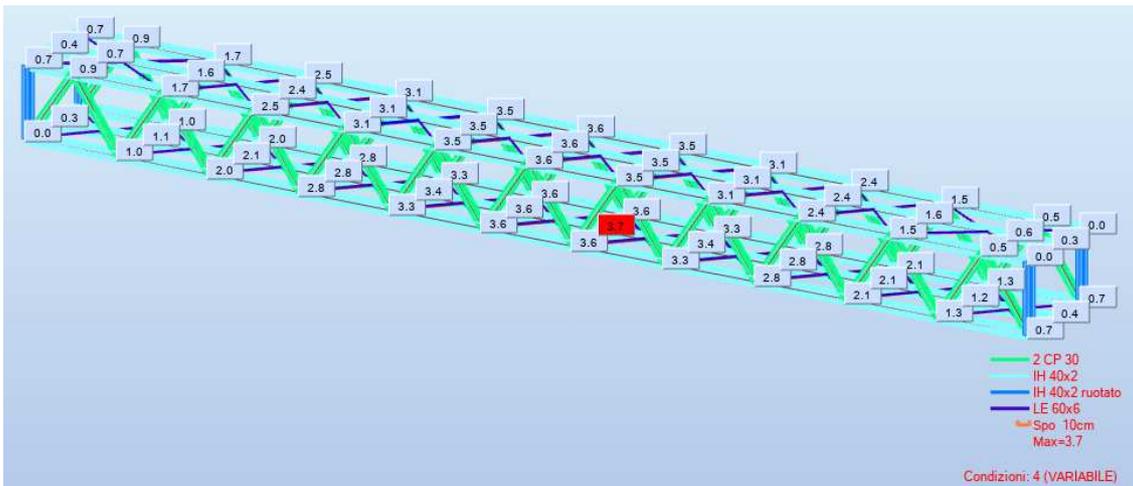


Figura 3.3.7.3

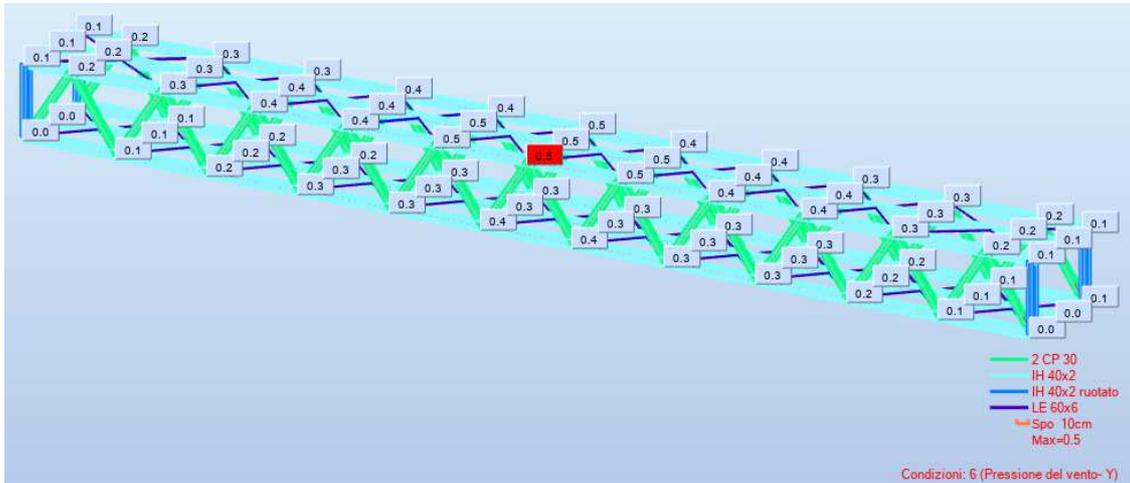


Figura 3.3.7.4

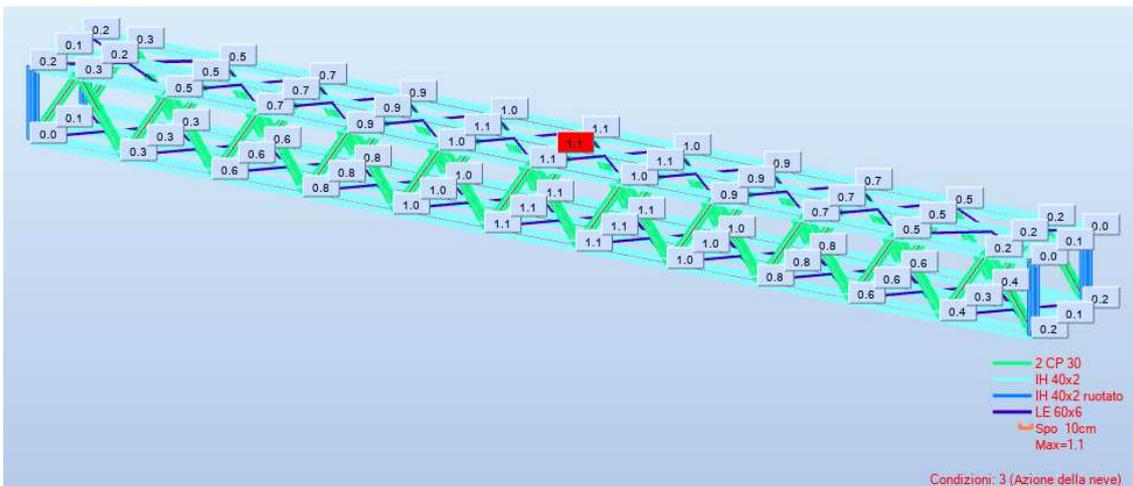


Figura 3.3.7.5

Nel caso di strutture reticolari un importante contributo deformativo è quello associato agli scorrimenti foro-bullone:

$$v_{FB} = v_C + v_D = \frac{n}{6} \cdot \frac{L}{h} \cdot (\phi - d) + \frac{L}{p} \cdot \frac{L_d}{h} \cdot (\phi - d)$$

dove:

- v_C è l'assestamento dei giunti dei correnti;
- v_D è l'assestamento dei giunti estremi delle diagonali;
- n è il numero totale dei giunti nei correnti;
- p è il passo dei nodi delle aste di parete;
- L_d è la lunghezza delle diagonali.

Nel caso in esame si ha:

n	8
p [m]	2
$\phi - d$ [mm]	1
L / h	15
v_C [mm]	27
v_D [mm]	26
v_{FB} [mm]	53

Tutti i valori di spostamento sono inferiori ai limiti suggeriti dalla norma.

3.3.8 Verifica delle membrature

La verifica delle membrature, in conformità al codice russo “SP 16.13330.2011: strutture in acciaio”, è stata fatta per tutti gli elementi (tabella seguente). Il calcolo completo è stato sviluppato per le barre più sollecitate di ogni tipologia.

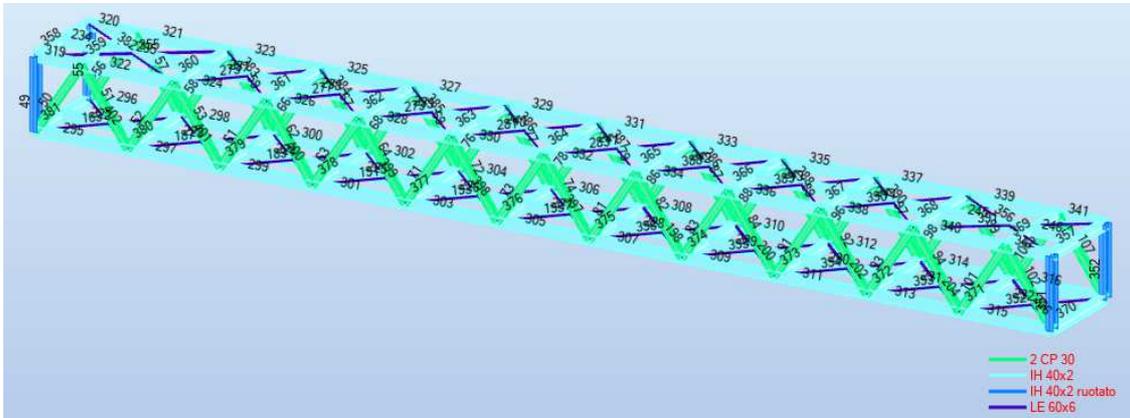


Figura 3.3.8.1

Barra	Profilato	Materiale	Resist.
49 B_49	OK IH 40x2	S 235	0.15
50 B_50	OK 2 CP 30	S 235	0.59
51 B_51	OK 2 CP 30	S 235	0.36
52 B_52	OK 2 CP 30	S 235	0.48
53 B_53	OK 2 CP 30	S 235	0.28
55 B_55	OK IH 40x2	S 235	0.18
56 B_56	OK 2 CP 30	S 235	0.59
57 B_57	OK 2 CP 30	S 235	0.35
58 B_58	OK 2 CP 30	S 235	0.48
59 B_59	OK 2 CP 30	S 235	0.28
61 B_61	OK 2 CP 30	S 235	0.37
62 B_62	OK 2 CP 30	S 235	0.21
63 B_63	OK 2 CP 30	S 235	0.25
64 B_64	OK 2 CP 30	S 235	0.14
66 B_66	OK 2 CP 30	S 235	0.36
67 B_67	OK 2 CP 30	S 235	0.21
68 B_68	OK 2 CP 30	S 235	0.25
69 B_69	OK 2 CP 30	S 235	0.13
71 B_71	OK 2 CP 30	S 235	0.14
72 B_72	OK 2 CP 30	S 235	0.07
73 B_73	OK 2 CP 30	S 235	0.03
74 B_74	OK 2 CP 30	S 235	0.02
76 B_76	OK 2 CP 30	S 235	0.13
77 B_77	OK 2 CP 30	S 235	0.07
78 B_78	OK 2 CP 30	S 235	0.02

79	B_79	OK	2 CP 30	S 235	0.03
81	B_81	OK	2 CP 30	S 235	0.07
82	B_82	OK	2 CP 30	S 235	0.13
83	B_83	OK	2 CP 30	S 235	0.13
84	B_84	OK	2 CP 30	S 235	0.25
86	B_86	OK	2 CP 30	S 235	0.07
87	B_87	OK	2 CP 30	S 235	0.14
88	B_88	OK	2 CP 30	S 235	0.14
89	B_89	OK	2 CP 30	S 235	0.25
91	B_91	OK	2 CP 30	S 235	0.21
92	B_92	OK	2 CP 30	S 235	0.36
93	B_93	OK	2 CP 30	S 235	0.28
94	B_94	OK	2 CP 30	S 235	0.48
96	B_96	OK	2 CP 30	S 235	0.21
97	B_97	OK	2 CP 30	S 235	0.37
98	B_98	OK	2 CP 30	S 235	0.28
99	B_99	OK	2 CP 30	S 235	0.48
101	B_101	OK	2 CP 30	S 235	0.35
102	B_102	OK	2 CP 30	S 235	0.59
106	B_106	OK	2 CP 30	S 235	0.36
107	B_107	OK	2 CP 30	S 235	0.60
165	B_165	OK	LE 60x6	S 235	0.25

187	B_187	OK	LE 60x6	S 235	0.23
189	B_189	OK	LE 60x6	S 235	0.20
191	B_191	OK	LE 60x6	S 235	0.17
193	B_193	OK	LE 60x6	S 235	0.14
195	B_195	OK	LE 60x6	S 235	0.16
198	B_198	OK	LE 60x6	S 235	0.16
200	B_200	OK	LE 60x6	S 235	0.18
202	B_202	OK	LE 60x6	S 235	0.15
204	B_204	OK	LE 60x6	S 235	0.13
206	B_206	OK	LE 60x6	S 235	0.15
222	B_222	OK	IH 40x2	S 235	0.11
223	B_223	OK	IH 40x2	S 235	0.13
224	B_224	OK	IH 40x2	S 235	0.16
225	B_225	OK	IH 40x2	S 235	0.18
226	B_226	OK	IH 40x2	S 235	0.11
227	B_227	OK	IH 40x2	S 235	0.12
228	B_228	OK	IH 40x2	S 235	0.11
229	B_229	OK	IH 40x2	S 235	0.18
230	B_230	OK	IH 40x2	S 235	0.16
231	B_231	OK	IH 40x2	S 235	0.13
232	B_232	OK	IH 40x2	S 235	0.11
234	B_234	OK	IH 40x2	S 235	0.03
235	B_235	OK	IH 40x2	S 235	0.09
237	B_237	OK	IH 40x2	S 235	0.12
238	B_238	OK	IH 40x2	S 235	0.14

239	B_239	OK	IH 40x2	S 235	0.16
240	B_240	OK	IH 40x2	S 235	0.17
241	B_241	OK	IH 40x2	S 235	0.17
242	B_242	OK	IH 40x2	S 235	0.16
243	B_243	OK	IH 40x2	S 235	0.14
244	B_244	OK	IH 40x2	S 235	0.12
245	B_245	OK	IH 40x2	S 235	0.09
246	B_246	OK	IH 40x2	S 235	0.03
275	B_275	OK	LE 60x6	S 235	0.33
277	B_277	OK	LE 60x6	S 235	0.25
279	B_279	OK	LE 60x6	S 235	0.16
281	B_281	OK	LE 60x6	S 235	0.16
286	B_286	OK	LE 60x6	S 235	0.18
288	B_288	OK	LE 60x6	S 235	0.31
290	B_290	OK	LE 60x6	S 235	0.38
295	B_295	OK	IH 40x2	S 235	0.13
296	B_296	OK	IH 40x2	S 235	0.15
297	B_297	OK	IH 40x2	S 235	0.31
298	B_298	OK	IH 40x2	S 235	0.31
299	B_299	OK	IH 40x2	S 235	0.45
300	B_300	OK	IH 40x2	S 235	0.46

301	B_301	OK	IH 40x2	S 235	0.56
302	B_302	OK	IH 40x2	S 235	0.56
303	B_303	OK	IH 40x2	S 235	0.62
304	B_304	OK	IH 40x2	S 235	0.63
305	B_305	OK	IH 40x2	S 235	0.64
306	B_306	OK	IH 40x2	S 235	0.65
307	B_307	OK	IH 40x2	S 235	0.62
308	B_308	OK	IH 40x2	S 235	0.63
309	B_309	OK	IH 40x2	S 235	0.56
310	B_310	OK	IH 40x2	S 235	0.57
311	B_311	OK	IH 40x2	S 235	0.45
312	B_312	OK	IH 40x2	S 235	0.46
313	B_313	OK	IH 40x2	S 235	0.30
314	B_314	OK	IH 40x2	S 235	0.31
315	B_315	OK	IH 40x2	S 235	0.12
316	B_316	OK	IH 40x2	S 235	0.13
319	B_319	OK	IH 40x2	S 235	0.06
320	B_320	OK	IH 40x2	S 235	0.06
321	B_321	OK	IH 40x2	S 235	0.27
322	B_322	OK	IH 40x2	S 235	0.30
323	B_323	OK	IH 40x2	S 235	0.47
324	B_324	OK	IH 40x2	S 235	0.53
325	B_325	OK	IH 40x2	S 235	0.62
326	B_326	OK	IH 40x2	S 235	0.70
327	B_327	OK	IH 40x2	S 235	0.72

328	B_328	OK	IH 40x2	S 235	0.82
329	B_329	OK	IH 40x2	S 235	0.77
330	B_330	OK	IH 40x2	S 235	0.87
331	B_331	OK	IH 40x2	S 235	0.77
332	B_332	OK	IH 40x2	S 235	0.87
333	B_333	OK	IH 40x2	S 235	0.72
334	B_334	OK	IH 40x2	S 235	0.82
335	B_335	OK	IH 40x2	S 235	0.62
336	B_336	OK	IH 40x2	S 235	0.70
337	B_337	OK	IH 40x2	S 235	0.47
338	B_338	OK	IH 40x2	S 235	0.53
339	B_339	OK	IH 40x2	S 235	0.28
340	B_340	OK	IH 40x2	S 235	0.30
341	B_341	OK	IH 40x2	S 235	0.07
342	B_342	OK	IH 40x2	S 235	0.06
351	B_351	OK	IH 40x2	S 235	0.17
352	B_352	OK	IH 40x2	S 235	0.20
355	B_355	OK	LE 60x6	S 235	0.58
356	B_356	OK	LE 60x6	S 235	0.64
357	B_357	OK	IH 40x2	S 235	0.84
358	B_358	OK	IH 40x2	S 235	0.83
359	B_359	OK	IH 40x2	S 235	0.87

360	B_360	OK	IH 40x2	S 235	0.83
361	B_361	OK	IH 40x2	S 235	0.69
362	B_362	OK	IH 40x2	S 235	0.51
363	B_363	OK	IH 40x2	S 235	0.29
364	B_364	OK	IH 40x2	S 235	0.06
365	B_365	OK	IH 40x2	S 235	0.29
366	B_366	OK	IH 40x2	S 235	0.51
367	B_367	OK	IH 40x2	S 235	0.69
368	B_368	OK	IH 40x2	S 235	0.83
369	B_369	OK	IH 40x2	S 235	0.87
370	B_370	OK	IH 40x2	S 235	0.94
371	B_371	OK	IH 40x2	S 235	0.98
372	B_372	OK	IH 40x2	S 235	0.87
373	B_373	OK	IH 40x2	S 235	0.71
374	B_374	OK	IH 40x2	S 235	0.50
375	B_375	OK	IH 40x2	S 235	0.28
376	B_376	OK	IH 40x2	S 235	0.28
377	B_377	OK	IH 40x2	S 235	0.51
378	B_378	OK	IH 40x2	S 235	0.71
379	B_379	OK	IH 40x2	S 235	0.87
380	B_380	OK	IH 40x2	S 235	0.98
381	B_381	OK	IH 40x2	S 235	0.95

NORMA: Strutture in acciaio SP 10.13330.2011*

TIPO DI ANALISI: Verifica delle barre

GRUPPO:

BARRA: 352 E_352

PUNTO: 3

COORDINATA: x = 1.00 L = 3.00 m

CARICHI:

Condizione di carico decisiva: 17 SLU Pressione del vento - Y 1*1.05+2*1.20+(3+4)*1.40+15*1.00

MATERIAL

S 235

Ry = 235.00 MPa

Ra = 136.30 MPa

Ra = 360.00 MPa

E = 210000.00 MPa

ga = 1.30

gc1 = 1.00

gc2 = 1.00

gn = 1.00



PARAMETRI DELLA SEZIONE: IH 40x2

ht=39.2 cm

bf=30.0 cm

tw=1.1 cm

tf=1.6 cm

Anima:

Ala:

Ay=96.00 cm²

Iy=39700.00 cm⁴

Wely=2025.51 cm³

heft = 27.48

beftf = 7.64

Az=45.08 cm²

Iz=7209.00 cm⁴

Welz=480.60 cm³

Lam_uw = 152.75

Lam_uf = 14.97

Ax=141.60 cm²

Ix=130.21 cm⁴

AZIONI INTERNE E COEFFICIENTI

N = 52.86 kN

My = 85.30 kN*m

Mz = -0.01 kN*m

mefy = 15.66

mez = 0.00

Qy = 0.00 kN

Qz = 28.18 kN

TENSIONI NEI PUNTI CARATTERISTICI DELLA SEZIONE

SigN = 3.73 MPa

SigMy = 42.12 MPa

SigMz = 0.01 MPa

Ty_max = 0.00 MPa

Tz_max = 6.92 MPa

Ty_mid = 0.00 MPa

Tz_mid = 6.25 MPa



PARAMETRI IN STABILITÀ LATERALE:

PARAMETRI DI IN STABILITÀ:



rispetto all'asse Y:

ly = 3.00 m

Fiy = 0.99

lefy = 3.00 m

Ny = 1.39

Lamy = 17.92

Fiey = 0.10

Lam_y = 0.60



rispetto all'asse Z:

lz = 3.00 m

Fiz = 0.90

lez = 3.00 m

Fic = 1.00

Lamz = 42.05

Fieyz = 0.49

Lam_z = 1.41

c = 0.14

FORMULE DI VERIFICA:

Verifica della sezione della barra

Anima: Lam_uw/Lam_uw = 0.18 < 1.0; Ala: Lam_f/Lam_uf = 0.51 < 1.0 [9.4] SEZIONE COMPATTA

$(N/A_n + M_y/W_{yn} + M_z/W_{zn}) / (R_y \cdot g_{c1} \cdot g_n) = 0.20 < 1.00$ [9.1.1-(106)]

$T_{y,max} / (R_s \cdot g_{c1} \cdot g_n) = 0.00 < 1.00$ [8.2.1-(42)]; $T_{z,max} / (R_s \cdot g_{c1} \cdot g_n) = 0.05 < 1.00$ [8.2.1-(42)]

Verifica della stabilità della barra

$N / (F_{iey} \cdot A \cdot R_y \cdot g_{c2} \cdot g_n) = 0.16 < 1.00$ [9.2.2-(109)]

$N / (c \cdot F_{iz} \cdot A \cdot R_y \cdot g_{c2} \cdot g_n) = 0.13 < 1.00$ [9.2.4-(111)]

Profilato corretto !!!

NORMA: *Strutture in acciaio SP 10.13330.2011**

TIPO DI ANALISI: *Verifica delle barre*

GRUPPO:

BARRA: **380 B_380**

PUNTO: **1**

COORDINATA: **x = 0.50 L = 2.00 m**

CARICHI:

Condizione di carico decisiva: **17 SLU Pressione del vento - Y 1*1.05+2*1.20+(3+4)*1.40+15*1.00**

MATERIAL

S 235

Ry = 235.00 MPa

Rs = 136.30 MPa

Ra = 360.00 MPa

E = 210000.00 MPa

gc1 = 1.30

gc1 = 1.00

gc2 = 1.00

gc1 = 1.00



PARAMETRI DELLA SEZIONE: **IH 40x2**

ht=39.2 cm

bf=30.0 cm

te=1.1 cm

tf=1.6 cm

Anima:

Ala:

Ay=96.00 cm²

Iy=39700.00 cm⁴

Wely=2025.51 cm³

heft = 27.48

befitf = 7.64

Az=45.08 cm²

Iz=7209.00 cm⁴

Welz=480.60 cm³

Lam_uw = 159.47

Lam_uf = 13.56

Ax=141.60 cm²

Ix=130.21 cm⁴

AZIONI INTERNE E COEFFICIENTI

N = 18.94 kN

My = 75.96 kN*m

Mz = -92.32 kN*m

mefy = 28.04

mefz = 143.63

Qy = -46.16 kN

Qz = -36.81 kN

TENSIONI NEI PUNTI CARATTERISTICI DELLA SEZIONE

SigN = 1.34 MPa

SigMy = 37.50 MPa

SigMz = 192.09 MPa

Ty,max = -6.96 MPa

Tz,max = -9.04 MPa

Ty,mid = -4.81 MPa

Tz,mid = -8.17 MPa



PARAMETRI IN STABILITÀ LATERALE:

PARAMETRI DI INSTABILITÀ:



rispetto all'asse Y:

ly = 4.00 m

Fiy = 0.97

lefy = 4.00 m

Lamy = 23.89

Lam_y = 0.80

Fieyz = 0.03



rispetto all'asse Z:

lz = 4.00 m

Fiz = 0.95

lez = 2.00 m

Lamz = 28.03

Lam_z = 0.94

Ficz = 1.00

Fieyz = 0.03

FORMULE DI VERIFICA:

Verifica della sezione della barra

Anima: Lam_w/Lam_uw = 0.17 < 1.0; Ala: Lam_f/Lam_uf = 0.56 < 1.0 [9.4] SEZIONE COMPATTA

$(N/A_s + M_y/W_{yy} + M_z/W_{zz}) / (R_y * gc1 / gc1) = 0.98 < 1.00$ [9.1.1-(106)]

$T_{y,max} / (R_s * gc1 / gc1) = 0.05 < 1.00$ [8.2.1-(42)]; $T_{z,max} / (R_s * gc1 / gc1) = 0.07 < 1.00$ [8.2.1-(42)]

Verifica della stabilità della barra

$N / (\min(F_{y}, F_{z}, F_{ic}) * A * R_y * gc2 / gc1) = 0.01 < 1.00$ [7.1-(7),(10)]

$N / (F_{ieyz} * A * R_y * gc2 / gc1) = 0.18 < 1.00$ [9.2.9-(116)]

Profilato corretto !!!

NORMA: [Strutture in acciaio SP 10.13330.2011*](#)

TIPO DI ANALISI: [Verifica delle barre](#)

GRUPPO:

BARRA: 240 B_240

PUNTO: 2

COORDINATA: $x = 0.50 L = 2.00 \text{ m}$

CARICHI:

Condizione di carico decisiva: 17 SLU Pressione del vento - Y $1*1.05+2*1.20+(3+4)*1.40+15*1.00$

MATERIAL

S 235

$R_y = 235.00 \text{ MPa}$

$R_a = 136.30 \text{ MPa}$

$R_w = 360.00 \text{ MPa}$

$E = 210000.00 \text{ MPa}$

$g_u = 1.30$

$g_{c1} = 1.00$

$g_{c2} = 1.00$

$g_n = 1.00$



PARAMETRI DELLA SEZIONE: IH 40x2

$b_t = 39.2 \text{ cm}$

$b_f = 30.0 \text{ cm}$

$t = 1.1 \text{ cm}$

$t_f = 1.6 \text{ cm}$

Anima:

Ala:

$A_y = 96.00 \text{ cm}^2$

$I_y = 39700.00 \text{ cm}^4$

$W_{ely} = 2025.51 \text{ cm}^3$

$b_{eff} = 27.48$

$b_{eff} = 7.64$

$A_z = 45.08 \text{ cm}^2$

$I_z = 7209.00 \text{ cm}^4$

$W_{elz} = 480.60 \text{ cm}^3$

$Lam_{wz} = 54.63$

$Lam_{wz} = 16.23$

$A_{x1} = 141.60 \text{ cm}^2$

$I_x = 130.21 \text{ cm}^4$

AZIONI INTERNE E COEFFICIENTI

$N = 414.99 \text{ kN}$

$M_y = 13.45 \text{ kN} \cdot \text{m}$

$m_{efy} = 0.40$

$c_y = 1.07$

TENSIONI NEI PUNTI CARATTERISTICI DELLA SEZIONE

$\text{Sig}N = 29.31 \text{ MPa}$

$\text{Sig}M_y = 6.64 \text{ MPa}$



PARAMETRI IN STABILITÀ LATERALE:

PARAMETRI DI INSTABILITÀ:



rispetto all'asse Y:

$l_y = 4.00 \text{ m}$

$F_{iy} = 0.97$

$l_{efy} = 4.00 \text{ m}$

$N_{iy} = 1.79$

$Lam_{y1} = 23.89$

$F_{iey} = 0.84$

$Lam_{y2} = 0.80$



rispetto all'asse Z:

$l_z = 4.00 \text{ m}$

$F_{iz} = 0.84$

$l_{efz} = 4.00 \text{ m}$

$F_{icz} = 1.00$

$Lam_{z1} = 56.06$

$Lam_{z2} = 1.88$

$c = 0.86$

FORMULE DI VERIFICA:

Verifica della sezione della barra

Anima: $Lam_{w1} Lam_{w2} = 0.50 < 1.0$; Ala: $Lam_{f1} Lam_{f2} = 0.47 < 1.0$ [9.4] SEZIONE COMPATTA

$(N / (A_n * R_y * g_{c1} g_n))^{1.50} + M_y / (c_y * W_{y, \text{min}} * R_y * g_{c1} g_n) = 0.07 < 1.00$ [9.1.1-(105)]

Verifica della stabilità della barra

$N / (F_{iey} * A * R_y * g_{c2} g_n) = 0.15 < 1.00$ [9.2.2-(109)]

$N / (c * F_{icz} * A * R_y * g_{c2} g_n) = 0.17 < 1.00$ [9.2.4-(111)]

Profilato corretto !!!

NORMA: [Strutture in acciaio SP 10.13330.2011*](#)

TIPO DI ANALISI: [Verifica delle barre](#)

GRUPPO:

BARRA: 330 B_330

PUNTO: 1

COORDINATA: x = 0.00 L = 0.00 m

CARICHI:

Condizione di carico decisiva: 17 SLU Pressione del vento - Y 1*1.05+2*1.20+(3+4)*1.40+15*1.00

MATERIAL

S 235

Ry = 235.00 MPa

Ra = 136.30 MPa

Ra = 360.00 MPa

E = 210000.00 MPa

ga = 1.30

gc1 = 1.00

gc2 = 1.00

gn = 1.00



PARAMETRI DELLA SEZIONE: IH 40x2

ht=39.2 cm

bf=30.0 cm

t=1.1 cm

tf=1.6 cm

Anima:

Ala:

Ay=96.00 cm²

Iy=39700.00 cm⁴

Wely=2025.51 cm³

heft = 27.48

beftf = 7.64

Az=45.08 cm²

Iz=7209.00 cm⁴

Welz=480.60 cm³

Lam_uw = 54.63

Lam_uf = 16.28

Ax=141.60 cm²

Ix=130.21 cm⁴

AZIONI INTERNE E COEFFICIENTI

N = 2227.41 kN

My = 37.84 kN*m

Mz = 0.81 kN*m

mefy = 0.26

mefz = 0.01

Qy = -0.10 kN

Qz = 8.19 kN

cy = 1.07

cz = 1.47

TENSIONI NEI PUNTI CARATTERISTICI DELLA SEZIONE

SigN = 157.30 MPa

SigMy = 18.68 MPa

SigMz = -1.68 MPa

Sig = 175.98 MPa

Ty_max = -0.01 MPa

Tz_max = 2.01 MPa

Ty_mid = -0.01 MPa

Tz_mid = 1.82 MPa



PARAMETRI IN STABILITÀ LATERALE:

PARAMETRI DI INSTABILITÀ:



rispetto all'asse Y:

ly = 4.00 m

Fiy = 0.97

lefy = 4.00 m

Ny = 1.79

Lamy = 23.89

Fiey = 0.88

Lam_y = 0.80



rispetto all'asse Z:

lz = 4.00 m

Fiz = 0.84

lez = 4.00 m

Fic = 1.00

Lamz = 56.06

Fieyz = 0.80

Lam_z = 1.88

c = 0.91

FORMULE DI VERIFICA:

Verifica della sezione della barra

Anima: Lam_w/Lam_uw = 0.50 < 1.0; Ala: Lam_f/Lam_uf = 0.47 < 1.0 [9.4] SEZIONE COMPATTA

$\sqrt{\text{Sig}^2 + 3.0 * \text{Ty}_{\text{max}}^2} * 0.87 / (\text{Ry} * \text{gc1} / \text{ga}) = 0.65 < 1.00$ [8.2.1-(44)]

$\text{Ty}_{\text{max}} / (\text{Ra} * \text{gc1} / \text{ga}) = 0.00 < 1.00$ [8.2.1-(42)]; $\text{Tz}_{\text{max}} / (\text{Ra} * \text{gc1} / \text{ga}) = 0.01 < 1.00$ [8.2.1-(42)]

Verifica della stabilità della barra

$N / (\min(\text{Fiy}, \text{Fiz}, \text{Fic}) * A * \text{Ry} * \text{gc2} / \text{ga}) = 0.79 < 1.00$ [7.1-(7),(10)]

$N / (c * \text{Fiz} * A * \text{Ry} * \text{gc2} / \text{ga}) = 0.87 < 1.00$ [9.2.4-(111)]

Profilato corretto !!!

NORMA: [Strutture in acciaio SP 10.13330.2011*](#)

TIPO DI ANALISI: [Verifica delle barre](#)

GRUPPO:

BARRA: 107 B_107

PUNTO: 2

COORDINATA: $x = 0.50 L = 1.80$ m

CARICHI:

Condizione di carico decisiva: 17 SLU Pressione del vento - Y $1*1.05+2*1.20+(3+4)*1.40+15*1.00$

MATERIAL

S 235

$R_y = 235.00$ MPa

$R_a = 136.30$ MPa

$R_u = 360.00$ MPa

$E = 210000.00$ MPa

$g_u = 1.30$

$g_{c1} = 1.00$

$g_{c2} = 1.00$

$g_n = 1.00$



PARAMETRI DELLA SEZIONE: 2 CP 30

$h = 30.0$ cm

$A_y = 44.00$ cm²

$A_z = 39.00$ cm²

$A_x = 81.00$ cm²

$b_f = 21.0$ cm

$I_y = 11660.00$ cm⁴

$I_z = 1684.20$ cm⁴

$I_x = 22.46$ cm⁴

$t = 0.7$ cm

$W_{ely} = 777.33$ cm³

$W_{elz} = 160.40$ cm³

$t_f = 1.1$ cm

$h_{ef} = 39.08$

$L_{am,uv} = 16.47$

Anima:

$b_{ef}/t_f = 7.41$

$L_{am,uf} = 13.77$

Ala:

AZIONI INTERNE E COEFFICIENTI

$N = 709.90$ kN

$M_y = 0.60$ kN*m

$M_z = 0.27$ kN*m

$m_{efy} = 0.01$

$m_{efz} = 0.03$

$c_y = 1.11$

$c_z = 1.47$

TENSIONI NEI PUNTI CARATTERISTICI DELLA SEZIONE

$\text{Sig}N = 87.64$ MPa

$\text{Sig}M_y = 0.77$ MPa

$\text{Sig}M_z = -1.70$ MPa

$\text{Sig}o_y = 4710.29$ MPa

$\text{Torz} = 824.67$ MPa



PARAMETRI IN STABILITÀ LATERALE:

$l_{ef,b} = 3.61$ m

$\Psi = 1.84$

$\text{Alfa} = 2.97$

$\Phi_1 = 1.15$

$\Phi_0 = 0.92$

PARAMETRI DI IN STABILITÀ:



rispetto all'asse Y:

$t_y = 3.61$ m

$\Phi_{iy} = 0.90$

$l_{efy} = 3.61$ m

$\Phi_{ieyz} = 0.63$

$L_{amy} = 30.05$

$L_{am,y} = 1.01$



rispetto all'asse Z:

$t_z = 3.61$ m

$\Phi_{iz} = 0.63$

$l_{efz} = 3.61$ m

$\Phi_{ieyz} = 0.63$

$L_{amz} = 79.07$

$L_{am,z} = 2.63$

FORMULE DI VERIFICA:

[Verifica della sezione della barra](#)

Anima: $L_{am,w}/L_{am,uv} = 2.37 > 1.0$; Ala: $L_{am,f}/L_{am,uf} = 0.54 < 1.0$ [9.4] SLENDER SECTION

$N / (A_n \cdot R_y \cdot g_{c1} \cdot g_n) + M_y / (c_y \cdot W_{yn, \min} \cdot R_y \cdot g_{c1} \cdot g_n) + M_z / (c_z \cdot W_{zn, \min} \cdot R_y \cdot g_{c1} \cdot g_n) = 0.24 < 1.00$ [9.1.1-(105)]

[Verifica della stabilità della barra](#)

$N / (\min(\Phi_y, \Phi_z) \cdot A \cdot R_y \cdot g_{c1} \cdot g_n) = 0.59 < 1.00$ [7.1-(7)]

$N / (\Phi_{ieyz} \cdot A \cdot R_y \cdot g_{c1} \cdot g_n) = 0.60 < 1.00$ [9.2.9-(116)]

Profilato corretto !!!

NORMA: [Strutture in acciaio SP 16.13330.2011*](#).

TIPO DI ANALISI: [Verifica delle barre](#)

GRUPPO:

BARRA: 356 B_356

PUNTO: 2

COORDINATA: $x = 0.50 L = 3.61 \text{ m}$

CARICHI:

Condizione di carico decisiva: 17 SLU Pressione del vento - Y $1*1.05+2*1.20+(3+4)*1.40+15*1.00$

MATERIAL

S 235

$R_y = 235.00 \text{ MPa}$

$R_s = 136.30 \text{ MPa}$

$R_u = 360.00 \text{ MPa}$

$E = 210000.00 \text{ MPa}$

$g_u = 1.30$

$g_{c1} = 1.00$

$g_{c2} = 1.00$

$g_n = 1.00$



PARAMETRI DELLA SEZIONE: LE 60x6

$h_t = 6.0 \text{ cm}$

$b_f = 6.0 \text{ cm}$

$t = 0.6 \text{ cm}$

$t_f = 0.6 \text{ cm}$

$A_y = 3.60 \text{ cm}^2$

$I_y = 23.21 \text{ cm}^4$

$W_{ely} = 5.40 \text{ cm}^3$

$A_z = 3.60 \text{ cm}^2$

$I_z = 23.21 \text{ cm}^4$

$W_{elz} = 5.40 \text{ cm}^3$

$A_x = 6.92 \text{ cm}^2$

$I_t = 0.82 \text{ cm}^4$

AZIONI INTERNE E COEFFICIENTI

$N = -85.43 \text{ kN}$

$M_y = 0.37 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$c_y = 1.00$

TENSIONI NEI PUNTI CARATTERISTICI DELLA SEZIONE

$\text{Sig}N = -123.46 \text{ MPa}$

$\text{Sig}M_y = 68.69 \text{ MPa}$



PARAMETRI INSTABILITÀ LATERALE:

PARAMETRI DI INSTABILITÀ:



rispetto all'asse Y:



rispetto all'asse Z:

FORMULE DI VERIFICA:

Verifica della sezione della barra

$(N / (A_n \cdot R_y \cdot g_{c1} / g_n))^{1.00} + M_y / (c_y \cdot W_{yn, \min} \cdot R_y \cdot g_{c1} / g_n) = 0.64 < 1.00$ [9.1.1-(105)]

Verifica della stabilità della barra

Analisi non effettuata

Profilato corretto !!!

3.3.9 Verifica dei collegamenti

La verifica dei collegamenti, in conformità al codice europeo “Eurocodice 3: progettazione delle strutture di acciaio”, è stata fatta per tutte le unioni. Il calcolo completo è stato sviluppato per i collegamenti più sollecitati di ogni tipologia.

TRAVE SECONDARIA IN APPOGGIO SULLA PRINCIPALE

Al fine di avere la trave secondaria in appoggio sulla principale alla stessa quota è stato utilizzato un collegamento con elementi angolari (squadrette) in acciaio S 235 – UNI EN 10025-2 con mortesatura delle flange della trave secondaria. Si ha uno sforzo normale $N_{Ed} = 415 \text{ kN}$ e un taglio $V_{z,Ed} = 37 \text{ kN}$.

Si utilizzano 6 bulloni M16 classe 8.8 per ogni squadretta. In funzione dei limiti sull’interasse dei bulloni si adottano angolari di altezza 240 mm e larghezza 190 mm con spessore pari a 10 mm.

A causa delle eccentricità occorre tener conto dei momenti parassiti che nascono. Si riportano le sollecitazioni agenti sul singolo bullone delle due sezioni e le resistenze di progetto, facendo attenzione a considerare il numero corretto di sezioni resistenti:

e_1 [mm]	106
$F_{z,Ed1}$ [kN]	6
$F_{x,Ed1}$ [kN]	85
$F_{v,Sd1}$ [kN]	86
$F_{v,Rd1}$ [kN]	121

Tabella 3.3.9.1

e_2 [mm]	106
$F_{z,Ed2}$ [kN]	6
$F_{x,Ed2}$ [kN]	16
$F_{v,Sd2}$ [kN]	17

$F_{t,Sd2}$ [kN]	35
$F_{v,Rd2}$ [kN]	121
$B_{t,Rd2}$ [kN]	90

Tabella 3.3.9.2

Si procede alla verifica a rifollamento del bullone:

$$\frac{F_{x,Ed}}{F_{x,b,Rd}} + \frac{F_{z,Ed}}{F_{z,b,Rd}} \leq 1$$

$F_{x,b,Rd}$ [kN]	132
$F_{z,b,Rd}$ [kN]	132

Tabella 3.3.9.3

Il termine risulta essere 0,69. Dunque la verifica risulta soddisfatta.

La verifica sul bullone della sezione 2 terrà conto dell'effetto combinato di trazione e taglio:

$$\frac{F_{v,Sd}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Sd}}{1,4 \cdot B_{t,Rd}} \leq 1 \quad , \quad \frac{F_{t,Sd}}{B_{t,Rd}} \leq 1$$

I due termini risultano essere rispettivamente 0,42 e 0,38. Dunque la verifica risulta soddisfatta.

A seguito dell'indebolimento delle sezioni di estremità per foratura e per asportazione di parte della sezione, occorre condurre una verifica aggiuntiva, ovvero del block-tearing:

$$\frac{N_{Ed}}{V_{eff,Rdx}} + \frac{V_{z,Ed}}{V_{eff,Rdz}} \leq 1$$

f_u [MPa]	360
f_y [MPa]	235
$V_{eff,Rdz}$ [kN]	621
$V_{eff,Rdx}$ [kN]	802

Tabella 3.3.9.4

Il termine risulta essere 0,58. Dunque la verifica risulta soddisfatta.

TRAVE PRINCIPALE IN APPOGGIO SUL CORRENTE

Al fine di avere la trave principale in appoggio sul corrente alla stessa quota è stato utilizzato un collegamento con elementi angolari (squadrette) in acciaio S 235 – UNI EN 10025-2 con mortesatura delle flange della trave principale. Si ha uno sforzo normale $N_{Ed} = 45 \text{ kN}$, un taglio $V_{z,Ed} = 39 \text{ kN}$ e un taglio $V_{y,Ed} = 48 \text{ kN}$.

Si utilizzano 3 bulloni M16 classe 8.8 per ogni squadretta. In funzione dei limiti sull'interasse dei bulloni si adottano angolari di altezza 240 mm e larghezza 130 mm con spessore pari a 10 mm.

A causa delle eccentricità occorre tener conto dei momenti parassiti che nascono. Si riportano le sollecitazioni agenti sul singolo bullone delle due sezioni e le resistenze di progetto, facendo attenzione a considerare il numero corretto di sezioni resistenti:

e_1 [mm]	76
$F_{z,Ed1}$ [kN]	13
$F_{x,Ed1}$ [kN]	40
$F_{v,Sd1}$ [kN]	42
$F_{t,Sd1}$ [kN]	16

$F_{v,Rd1}$ [kN]	121
$B_{t,Rd1}$ [kN]	90

Tabella 3.3.9.5

e_2 [mm]	76
$F_{z,Ed2}$ [kN]	7
$F_{x,Ed2}$ [kN]	33
$F_{v,Sd2}$ [kN]	33
$F_{t,Sd2}$ [kN]	6
$F_{v,Rd2}$ [kN]	60
$B_{t,Rd2}$ [kN]	90

Tabella 3.3.9.6

Si procede alla verifica a rifollamento del bullone:

$$\frac{F_{x,Ed}}{F_{x,b,Rd}} + \frac{F_{z,Ed}}{F_{z,b,Rd}} \leq 1$$

$F_{x,b,Rd}$ [kN]	132
$F_{z,b,Rd}$ [kN]	132

Tabella 3.3.9.7

Il termine risulta essere 0,40. Dunque la verifica risulta soddisfatta.

La verifica sul bullone delle due sezioni terrà conto dell'effetto combinato di trazione e taglio:

$$\frac{F_{v,Sd}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Sd}}{1,4 \cdot B_{t,Rd}} \leq 1 \quad , \quad \frac{F_{t,Sd}}{B_{t,Rd}} \leq 1$$

I due termini risultano essere rispettivamente 0,60 e 0,06. Dunque la verifica risulta soddisfatta.

A seguito dell'indebolimento delle sezioni di estremità per foratura e per asportazione di parte della sezione, occorre condurre una verifica aggiuntiva, ovvero del block-tearing:

$$\frac{N_{Ed}}{V_{eff,Rdx}} + \frac{V_{z,Ed}}{V_{eff,Rdz}} \leq 1$$

f_u [MPa]	360
f_y [MPa]	235
$V_{eff,Rdz}$ [kN]	479
$V_{eff,Rdx}$ [kN]	734

Tabella 3.3.9.8

Il termine risulta essere 0,14. Dunque la verifica risulta soddisfatta.

UNIONE BULLONATA DIAGONALE ORIZZONTALE

Si ha uno sforzo normale $N_{Ed} = 85 \text{ kN}$.

Si utilizzano 2 bulloni M16 classe 8.8.

A causa dell'eccentricità occorre tener conto del momento parassita che nasce. Si riportano le sollecitazioni agenti sul singolo bullone e le resistenze di progetto, facendo attenzione a considerare il numero corretto di sezioni resistenti:

e [mm]	2
$F_{x,Ed}$ [kN]	43

$F_{y,Ed}$ [kN]	3
$F_{v,Sd}$ [kN]	43
$F_{v,Rd}$ [kN]	60

Tabella 3.3.9.9

Si procede alla verifica a rifollamento del bullone:

$$\frac{F_{x,Ed}}{F_{x,b,Rd}} + \frac{F_{y,Ed}}{F_{y,b,Rd}} \leq 1$$

$F_{x,b,Rd}$ [kN]	69
$F_{y,b,Rd}$ [kN]	41

Tabella 3.3.9.10

Il termine risulta essere 0,68. Dunque la verifica risulta soddisfatta.

A seguito dell'indebolimento delle sezioni di estremità per foratura, occorre condurre una verifica aggiuntiva, ovvero del block-tearing.

La resistenza a rottura per il meccanismo di collasso a block-tearing $V_{eff,Rd}$ è definita come segue:

$$V_{eff,Rd} = k_{bl} \cdot \frac{f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y \cdot A_{nv}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

f_u [MPa]	360
f_y [MPa]	235
k_{bl}	0,5

A_{nt} [mm ²]	129
A_{nv} [mm ²]	567
$V_{eff,Rd}$ [kN]	96

Tabella 3.3.9.11

UNIONE BULLONATA DIAGONALE VERTICALE

Si ha uno sforzo normale $N_{Ed} = 711$ kN.

Si utilizzano 9 bulloni M16 classe 8.8.

Si riportano le sollecitazioni agenti sul singolo bullone e le resistenze di progetto, facendo attenzione a considerare il numero corretto di sezioni resistenti:

$F_{v,Sd}$ [kN]	79
$F_{v,Rd}$ [kN]	121

Tabella 3.3.9.12

Si procede alla verifica a rifollamento del bullone:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

f_u [MPa]	360
α_b	1,00
k_1	2,50
$F_{b,Rd}$ [kN]	115

Tabella 3.3.9.13

Con riferimento alle sollecitazioni precedentemente calcolate, la verifica risulta soddisfatta.

A seguito dell'indebolimento delle sezioni di estremità per foratura, occorre condurre una verifica aggiuntiva, ovvero del block-tearing.

La resistenza a rottura per il meccanismo di collasso a block-tearing $V_{eff,Rd}$ è definita come segue:

$$V_{eff,Rd} = k_{bl} \cdot \frac{f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y \cdot A_{nv}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

f_u [MPa]	360
f_y [MPa]	235
k_{bl}	1
A_{nt} [mm ²]	1862
A_{nv} [mm ²]	2555
$V_{eff,Rd}$ [kN]	883

Tabella 3.3.9.14

UNIONE FLANGIATA PORTALE

L'unione è soggetta ad uno sforzo normale $N_{Ed} = 85$ kN, ad un taglio $V_{z,Ed} = 47$ kN, ad un taglio $V_{y,Ed} = 46$ kN ed ad un momento $M_{y,Ed} = 85$ kNm.

Si utilizzano 6 bulloni M16 classe 8.8.

La valutazione delle sollecitazioni nel bullone viene condotta in campo elastico. In particolare è stato utilizzato il programma VCASLU:

Titolo : Unione flangiata portale

N° Vertici **Zoom** **N° barre** **Zoom**

N°	x [cm]	y [cm]
1	-15	-25.6
2	15	-25.6
3	15	25.6
4	-15	25.6

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	1.57	-7.5	-22.6
2	1.57	0	-22.6
3	1.57	7.5	-22.6
4	1.57	-7.5	22.6
5	1.57	0	22.6
6	1.57	7.5	22.6

Tipo Sezione
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

N Ed kN
M xEd kNm
M yEd

P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN yN

Metodo di calcolo
 S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Materiali

ϵ_{su} ‰ ϵ_{c2} ‰
 f_{yd} N/mm² ϵ_{cu}
 E_s N/mm² f_{cd}
 E_s/E_c f_{cc}/f_{cd} ?
 ϵ_{syd} ‰ $\sigma_{c,adm}$
 $\sigma_{s,adm}$ N/mm² τ_{co}
 τ_{c1}

σ_c N/mm²
 σ_s N/mm²
 ϵ_s ‰
 d cm
 x x/d
 δ

Verifica
 N° iterazioni:
 Precompresso

Si riportano le sollecitazioni agenti sul singolo bullone e le resistenze di progetto, facendo attenzione a considerare il numero corretto di sezioni resistenti:

$F_{z,Ed}$ [kN]	8
$F_{x,Ed}$ [kN]	8
$F_{v,Sd}$ [kN]	11
$F_{t,Sd}$ [kN]	57
$F_{v,Rd}$ [kN]	60
$B_{t,Rd}$ [kN]	90

Tabella 3.3.9.15

Si procede alla verifica a rifollamento del bullone:

$$\frac{F_{x,Ed}}{F_{x,b,Rd}} + \frac{F_{z,Ed}}{F_{z,b,Rd}} \leq 1$$

$F_{x,b,Rd}$ [kN]	115
$F_{z,b,Rd}$ [kN]	68

Tabella 3.3.9.16

Il termine risulta essere 0,18. Dunque la verifica risulta soddisfatta.

Le verifiche a taglio e trazione sono condotte con il seguente criterio di interazione lineare:

$$\frac{F_{v,Sd}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Sd}}{1,4 \cdot B_{t,Rd}} \leq 1 \quad , \quad \frac{F_{t,Sd}}{B_{t,Rd}} \leq 1$$

I due termini risultano essere rispettivamente 0,63 e 0,62. Dunque le verifiche risultano soddisfatte.

UNIONE FLANGIATA CORRENTE

L'unione è soggetta ad uno sforzo normale $N_{Ed} = 2081$ kN, ad un taglio $V_{z,Ed} = 22$ kN, ad un taglio $V_{y,Ed} = 3$ kN, ad un momento $M_{y,Ed} = 50$ kNm ed ad un momento $M_{z,Ed} = 8$ kNm.

Si utilizzano 36 bulloni M16 classe 8.8.

La valutazione delle sollecitazioni nel bullone viene condotta in campo elastico. In particolare è stato utilizzato il programma VCASLU:

Titolo: Unione flangiata corrente

N° Vertici: 4 **Zoom** **N° barre:** 36 **Zoom**

N°	x [cm]	y [cm]
1	-21	-19.6
2	21	-19.6
3	21	19.6
4	-21	19.6

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	1.57	-11	-15
2	1.57	-5	-15
3	1.57	5	-15
4	1.57	11	-15
5	1.57	-11	-9
6	1.57	-5	-9

Tipo Sezione:
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Sollecitazioni:
 S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 **-2081** kN
M_{xEd} 0 **50** kNm
M_{yEd} 0 **8**

P.to applicazione N:
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

Metodo di calcolo:
 S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Materiali:
B450C **C25/30**
 ϵ_{su} 67.5 ‰ ϵ_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 391.3 N/mm² ϵ_{cu} 3.5 ‰
 E_s 200 000 N/mm² f_{cd} 14.17
 E_s/E_c 1 f_{cc}/f_{cd} 0.8
 ϵ_{syd} 1.957 ‰ $\sigma_{c,adm}$ 9.75
 $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm² τ_{co} 0.6
 τ_{c1} 1.829

σ_{sMax} 511.2 N/mm²
 σ_{sMin} 225.2 N/mm²
 ϵ_s 2.556 ‰

Verifica
 N° iterazioni: 0
 Precompresso

Si riportano le sollecitazioni agenti sul singolo bullone e le resistenze di progetto, facendo attenzione a considerare il numero corretto di sezioni resistenti:

$F_{z,Ed}$ [kN]	1
$F_{x,Ed}$ [kN]	1
$F_{v,Sd}$ [kN]	1
$F_{t,Sd}$ [kN]	80
$F_{v,Rd}$ [kN]	60
$B_{t,Rd}$ [kN]	90

Tabella 3.3.9.17

Si procede alla verifica a rifollamento del bullone:

$$\frac{F_{x,Ed}}{F_{x,b,Rd}} + \frac{F_{z,Ed}}{F_{z,b,Rd}} \leq 1$$

$F_{x,b,Rd}$ [kN]	90
$F_{z,b,Rd}$ [kN]	115

Tabella 3.3.9.18

Il termine risulta essere 0,01. Dunque la verifica risulta soddisfatta.

Le verifiche a taglio e trazione sono condotte con il seguente criterio di interazione lineare:

$$\frac{F_{v,Sd}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Sd}}{1,4 \cdot B_{t,Rd}} \leq 1 \quad , \quad \frac{F_{t,Sd}}{B_{t,Rd}} \leq 1$$

I due termini risultano essere rispettivamente 0,64 e 0,89. Dunque le verifiche risultano soddisfatte.

GIUNTO INTERMEDIO TRA TRAVI PRINCIPALI

Per il giunto intermedio tra travi principali si realizza un giunto con coprigiunti bullonati. Si ha uno sforzo normale $N_{Ed} = 44$ kN, un taglio $V_{z,Ed} = 39$ kN, un taglio $V_{y,Ed} = 47$ kN, un momento $M_{y,Ed} = 76$ kNm ed un momento $M_{z,Ed} = 93$ kNm.

Per i coprigiunti d'anima in totale si utilizzano 3 bulloni M16 classe 8.8 mentre per i coprigiunti d'ala esterni in totale si utilizzano 32 bulloni M16 classe 8.8.

La forza in ogni coprigiunto d'ala dovuta al momento $M_{y,Ed}$ risulta:

$$F_{f,M_y} = \frac{M_{y,Ed}}{(h_b - t_{fb})}$$

dove:

- h_b è l'altezza delle travi;
- t_{fb} è lo spessore della flangia delle travi.

La forza in ogni coprigiunto d'ala dovuta alla forza assiale N_{Ed} risulta:

$$F_{f,N} = \left(1 - \frac{A_w}{A}\right) \cdot \frac{N_{Ed}}{2}$$

dove $A_w = \frac{(h-2t_f)}{t_w}$ è l'area dell'anima delle membrature.

La forza nei coprigiunti d'anima dovuta alla forza assiale N_{Ed} risulta:

$$F_{w,N} = \left(\frac{A_w}{A}\right) \cdot N_{Ed}$$

La forza nei coprigiunti d'anima dovuta al taglio $V_{z,Ed}$ risulta:

$$F_{w,V_z} = V_{z,Ed}$$

Il calcolo delle forze nei bulloni viene fatto a partire dalle forze nei coprigiunti precedentemente calcolate.

Si riportano le sollecitazioni agenti sul singolo bullone dei due tipi di coprigiunto e le resistenze di progetto, facendo attenzione a considerare il numero corretto di sezioni resistenti:

$F_{z,Edw}$ [kN]	13
$F_{x,Edw}$ [kN]	24
$F_{v,Sdw}$ [kN]	27
$F_{t,Sdw}$ [kN]	16
$F_{v,Rdw}$ [kN]	121
$B_{t,Rdw}$ [kN]	90

Tabella 3.3.9.19

$F_{v,Sdf}$ [kN]	50
$F_{v,Rdf}$ [kN]	60

Tabella 3.3.9.20

Si procede alla verifica a rifollamento del bullone dei coprigiunti d'anima:

$$\frac{F_{x,Ed}}{F_{x,b,Rd}} + \frac{F_{z,Ed}}{F_{z,b,Rd}} \leq 1$$

$F_{x,b,Rd}$ [kN]	132
$F_{z,b,Rd}$ [kN]	132

Tabella 3.3.9.21

Il termine risulta essere 0,28. Dunque la verifica risulta soddisfatta.

La verifica sul bullone dei coprigiunti d'anima terrà conto dell'effetto combinato di trazione e taglio:

$$\frac{F_{v,Sd}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Sd}}{1,4 \cdot B_{t,Rd}} \leq 1 \quad , \quad \frac{F_{t,Sd}}{B_{t,Rd}} \leq 1$$

I due termini risultano essere rispettivamente 0,35 e 0,17. Dunque la verifica risulta soddisfatta.

Si procede alla verifica a rifollamento del bullone del coprigiunto d'ala:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

f_u [MPa]	360
α_b	1,00
k_1	2,50
$F_{b,Rd}$ [kN]	115

Tabella 3.3.9.22

Con riferimento alle sollecitazioni precedentemente calcolate, la verifica risulta soddisfatta.

La resistenza a rottura per il meccanismo di collasso a block-tearing $V_{eff,Rd}$ del coprigiunto d'ala è definita come segue:

$$V_{eff,Rd} = \frac{f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y \cdot A_{nv}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

f_u [MPa]	360
f_y [MPa]	235
A_{nt} [mm ²]	630
A_{nv} [mm ²]	1805
$V_{eff,Rd}$ [kN]	426

Tabella 3.3.9.23

GIUNTO INTERMEDIO TRA TRAVI SECONDARIE

Per il giunto intermedio tra travi secondarie si realizza un giunto con coprigiunti bullonati. Si ha uno sforzo normale $N_{Ed} = 415$ kN, un taglio $V_{z,Ed} = 37$ kN ed un momento $M_{y,Ed} = 37$ kNm.

Per i coprigiunti d'anima in totale si utilizzano 3 bulloni M16 classe 8.8 mentre per i coprigiunti d'ala esterni in totale si utilizzano 16 bulloni M16 classe 8.8.

La forza in ogni coprigiunto d'ala dovuta al momento $M_{y,Ed}$ risulta:

$$F_{f,M_y} = \frac{M_{y,Ed}}{(h_b - t_{fb})}$$

dove:

- h_b è l'altezza delle travi;
- t_{fb} è lo spessore della flangia delle travi.

La forza in ogni coprighiunto d'ala dovuta alla forza assiale N_{Ed} risulta:

$$F_{f,N} = \left(1 - \frac{A_w}{A}\right) \cdot \frac{N_{Ed}}{2}$$

dove $A_w = \frac{(h-2t_f)}{t_w}$ è l'area dell'anima delle membrature.

La forza nei coprighiunti d'anima dovuta alla forza assiale N_{Ed} risulta:

$$F_{w,N} = \left(\frac{A_w}{A}\right) \cdot N_{Ed}$$

La forza nei coprighiunti d'anima dovuta al taglio $V_{z,Ed}$ risulta:

$$F_{w,V_z} = V_{z,Ed}$$

Il calcolo delle forze nei bulloni viene fatto a partire dalle forze nei coprighiunti precedentemente calcolate.

Si riportano le sollecitazioni agenti sul singolo bullone dei due tipi di coprighiunto e le resistenze di progetto, facendo attenzione a considerare il numero corretto di sezioni resistenti:

$F_{z,Edw}$ [kN]	12
$F_{x,Edw}$ [kN]	59
$F_{v,Sdw}$ [kN]	60
$F_{v,Rdw}$ [kN]	121

Tabella 3.3.9.24

$F_{v,Sdf}$ [kN]	31
$F_{v,Rdf}$ [kN]	60

Tabella 3.3.9.25

Si procede alla verifica a rifollamento del bullone dei coprighiunti d'anima:

$$\frac{F_{x,Ed}}{F_{x,b,Rd}} + \frac{F_{z,Ed}}{F_{z,b,Rd}} \leq 1$$

$F_{x,b,Rd}$ [kN]	132
$F_{z,b,Rd}$ [kN]	132

Tabella 3.3.9.26

Il termine risulta essere 0,54. Dunque la verifica risulta soddisfatta.

Si procede alla verifica a rifollamento del bullone del coprighiunto d'ala:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

f_u [MPa]	360
α_b	1,00
k_1	2,50
$F_{b,Rd}$ [kN]	115

Tabella 3.3.9.27

Con riferimento alle sollecitazioni precedentemente calcolate, la verifica risulta soddisfatta.

La resistenza a rottura per il meccanismo di collasso a block-tearing $V_{eff,Rd}$ del coprigiunto d'ala è definita come segue:

$$V_{eff,Rd} = \frac{f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y \cdot A_{nv}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

f_u [MPa]	360
f_y [MPa]	235
A_{nt} [mm ²]	630
A_{nv} [mm ²]	945
$V_{eff,Rd}$ [kN]	310

Tabella 3.3.9.28

CONCLUSIONI

L'obiettivo principale dello studio era quello di ottenere più opzioni di passerelle pedonali in alluminio modulari.

Le due opzioni di passerelle pedonali in alluminio modulari differiscono per il tipo di profili utilizzato.

Nella prima opzione di passerella pedonale in alluminio modulare sono stati utilizzati i classici profili a doppio T delle strutture in acciaio. Le sezioni a doppio T in alluminio sono caratterizzate da valori di carico critico molto bassi. Incrementando l'altezza della sezione le deflessioni diminuiscono e il valore del carico critico euleriano ($P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{l_0^2}$) aumenta. Per questo nella prima opzione di passerella pedonale in alluminio modulare è stato necessario l'utilizzo di profili a doppio T di altezza elevata.

Nella seconda opzione di passerella pedonale in alluminio modulare sono stati utilizzati profili cavi. Le sezioni cave sono poco suscettibili ai fenomeni di instabilità torsionale e flessione-torsionale. Per questo nella seconda opzione di passerella pedonale in alluminio modulare è stato possibile l'utilizzo di profili cavi di altezza ridotta.

L'onere economico associato alle giunzioni può incidere in modo non indifferente sul costo globale della struttura. Inoltre, i collegamenti fra profili cavi risultano difficili e meno economici di quelli tra profili aperti. Quindi, sotto questo punto di vista, la prima opzione di passerella pedonale in alluminio modulare risulta più vantaggiosa della seconda.

Gli elementi in lega di alluminio possono essere prodotti per estrusione. L'estrusione consente la produzione di profili di forma qualsiasi ma non consente la produzione di profili a sezione di grandi dimensioni. Sotto questo punto di vista la seconda opzione di passerella pedonale in alluminio modulare risulta più vantaggiosa della prima. Tuttavia, profili a sezione di grandi dimensioni possono essere ottenuti per composizione saldata. Il profilo a doppio T può essere ottenuto per composizione saldata di due profili a T e di una lamiera o di tre lamiere.

Nella terza opzione di passerella pedonale in acciaio modulare è stato possibile l'utilizzo di profili a doppio T di altezza ridotta e di un grigliato, di una lamiera grecata e di bulloni in acciaio zincato mentre nelle due opzioni di passerelle pedonali in alluminio modulari è stato necessario l'utilizzo di un grigliato, di una lamiera grecata, di bulloni e di barre filettate in acciaio inossidabile per prevenire la corrosione elettrochimica. Sotto questo punto di vista la terza opzione di passerella pedonale in acciaio modulare risulta più vantaggiosa delle due opzioni di passerelle pedonali in alluminio modulari. Tuttavia, l'alluminio, a differenza dell'acciaio, non necessita di alcun rivestimento e il suo peso ridotto rende più facile il trasporto e l'installazione dei moduli in alluminio.

In definitiva, le due opzioni di passerelle pedonali in alluminio modulari risultano entrambe valide.

Lo studio effettuato apre la strada ad un'analisi dei costi per la ricerca della soluzione più economica.

BIBLIOGRAFIA

Mazzolani Federico M., La progettazione delle strutture in leghe d'alluminio, Liguori, Napoli, 1986

SP 16.13330.2011 - strutture in acciaio

SP 20.13330.2016 - carichi e impatti

Eurocodice 1 - azioni sulle strutture

Eurocodice 3 - progettazione delle strutture di acciaio

Eurocodice 9 - progettazione delle strutture di alluminio