

# POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in INGEGNERIA  
MECCANICA



Tesi di Laurea Magistrale

Progettazione di maschere di supporto per la produzione  
di convogli metropolitani

Relatore

Prof. NICOLA BOSSO

Candidato

FABIO MORETTI

Luglio 2025

## **Abstract**

In recent years, underground systems have become an essential part of modern urban infrastructure due to the growth of the population and size of cities and the increasing demand for efficient, sustainable and reliable transportation solutions.

The advantages related to the use of subways are numerous, and the most important are the ability to alleviate traffic congestion, the enhancement to job opportunities and services connecting the city center with the neighborhoods and the possibility to have an easy transportation access that leads to a more inclusive system.

The aim of the work is the design and realization of support jigs to produce parts of subway cars that will enter service on the Washington DC subway in 2027. The components for which the jigs were made are: the side walls, the door frame, the flat end, the cabin and the power converters.

Support jigs allow for increased productivity, high accuracy, and repeatability of operations, as well as optimization of the workflow cycle by reducing the risk of error, as they allow for milling, welding, and assembly on the same stationary workpiece.

Starting from the 3D model of the assemblies and the drawings of the components, the jigs have been realized using software, such as Solidworks and Autocad, and following the rules of the norms for jigs production for railways applications.

In addition, a static analysis of the supporting components, such as braces and frames, was carried out to ensure that they would not fail due to the weight they bear. Subsequently, the designs of the components were developed and the work cycle of each individual part was defined.

For future studies, it could be considered to change some parts of the jigs based on the client's requests during the process to adapt the work to new requirements or to improve the production cycle.

## ACKNOWLEDGMENTS

*Alla mia famiglia*

# Table of Contents

<b>1</b>	<b>Introduzione</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Generalità</b>	<b>3</b>
2.1	Piegatura . . . . .	3
2.1.1	Il ritorno elastico . . . . .	4
2.1.2	Fattore k . . . . .	6
2.2	Saldatura . . . . .	7
<b>3</b>	<b>Vano porta</b>	<b>9</b>
3.1	Dima di assemblaggio e saldatura . . . . .	11
3.1.1	Saette di battuta . . . . .	11
3.1.2	Supporti con distacco . . . . .	18
3.1.3	Telaio di supporto . . . . .	22
3.1.4	Fase finale della dima . . . . .	25
<b>4</b>	<b>Parete di testa</b>	<b>29</b>
4.1	Maschera di assemblaggio . . . . .	31
4.1.1	Supporti per la cornice . . . . .	33
4.1.2	Supporti per il pannello . . . . .	38
4.1.3	Assemblaggio finale . . . . .	40
4.2	Maschera di fresatura . . . . .	49
<b>5</b>	<b>Fiancate</b>	<b>53</b>
5.1	Dima di fresatura . . . . .	56
5.1.1	Dima per montanti . . . . .	56
5.1.2	Maschera per le fiancate . . . . .	59
5.2	Dima di saldatura per le cornici . . . . .	71
5.3	Dima di assemblaggio per le fiancate . . . . .	76
<b>6</b>	<b>Cabina-Testata anteriore</b>	<b>81</b>
6.1	Maschera di assemblaggio testata . . . . .	84
6.1.1	Telaio . . . . .	85
6.1.2	Saette di contatto . . . . .	88
6.1.3	Saette di posizionamento . . . . .	91
6.1.4	Supporti per la saldatura . . . . .	92

6.1.5	Dima completa . . . . .	97
<b>7</b>	<b>Carpenteria caricabatterie</b>	<b>99</b>
7.1	Modello 3D carpenteria caricabatterie . . . . .	101
7.2	Dime per la carpenteria . . . . .	108
7.2.1	Dime di posizionamento . . . . .	109
7.2.2	Dime per il collaudo . . . . .	111
<b>8</b>	<b>Bibliografia</b>	<b>117</b>

# List of Figures

2.1	Tabella raggio di piegatura (riferimento:xometry.pro) . . . . .	4
2.2	Ritorno elastico . . . . .	5
2.3	Fattore k . . . . .	6
2.4	Elementi della saldatura . . . . .	7
3.1	Componenti vano porta . . . . .	9
3.2	Messa in tavola vano porta . . . . .	10
3.3	Lamiera di base vano porta . . . . .	11
3.4	3D Saette . . . . .	12
3.5	Disegno saette . . . . .	12
3.6	Altre tipologie di saette . . . . .	13
3.7	Prima fase della dima . . . . .	13
3.8	Sezione dima con saette . . . . .	14
3.9	Analisi statica saetta . . . . .	16
3.10	Analisi statica restanti saette . . . . .	17
3.11	Lamiera di base tagliata . . . . .	17
3.12	Destaco . . . . .	18
3.13	Supporti con destaco . . . . .	19
3.14	Supporti . . . . .	19
3.15	Dima con destaco . . . . .	20
3.16	Componenti assieme zona cantonale . . . . .	21
3.17	Supporto zona cantonale . . . . .	21
3.18	Terza fase della dima . . . . .	22
3.19	HEB 120 . . . . .	22
3.20	Struttura di supporto con HEB . . . . .	23
3.21	Analisi statica telaio di supporto vano porta . . . . .	23
3.22	Messa in tavola struttura di supporto . . . . .	24
3.23	Disco di collegamento . . . . .	25
3.24	Lamiera base completa . . . . .	26
3.25	Quarta fase della dima . . . . .	26
3.27	Dima finale . . . . .	27
3.28	Quote di controllo per dima vano porta . . . . .	28
4.1	Sottoassiemmi parete di testa . . . . .	30

4.2	Parete di testa . . . . .	30
4.3	Struttura di base . . . . .	32
4.4	Componenti cornice . . . . .	33
4.5	Staffe e perno per cornice . . . . .	34
4.6	Dima con staffe per la cornice . . . . .	34
4.7	Analisi statica staffa ad L per cornice . . . . .	35
4.8	Sottogruppo per cornice . . . . .	36
4.9	Messa in tavola sottogruppo per cornice . . . . .	37
4.10	Dima con supporti cornice . . . . .	37
4.11	Particolari pannello . . . . .	38
4.12	Staffe per pannello . . . . .	39
4.13	Analisi statica saette pannello . . . . .	39
4.14	Sottogruppo di contatto per il pannello . . . . .	40
4.15	Maschera con supporti per pannello . . . . .	40
4.16	Supporto per pressare . . . . .	41
4.17	Messa in tavola componenti supporto per pressare . . . . .	41
4.18	Maschera completa di supporti . . . . .	42
4.19	Scarichi per la maschera . . . . .	42
4.20	Raccordi verticali . . . . .	43
4.21	Profilo UPN 120 . . . . .	44
4.22	Esempio UPN fresati . . . . .	44
4.23	Struttura di supporto con UPN . . . . .	45
4.24	UPN di rinforzo . . . . .	45
4.25	Piastra di supporto . . . . .	46
4.26	Componenti piastra di supporto . . . . .	46
4.27	Elementi finali dima . . . . .	47
4.28	Dima parete di testa . . . . .	47
4.29	Quote di controllo dima parete di testa . . . . .	48
4.30	Centina . . . . .	49
4.31	Base della fresa . . . . .	50
4.32	Tassello per cava . . . . .	50
4.33	Perni di sostegno . . . . .	51
4.34	Base . . . . .	51
4.35	Maschera di fresatura . . . . .	52
5.1	Tipologia fiancate . . . . .	54
5.2	Componenti fiancata . . . . .	54
5.3	Messa in tavola fiancata più lunga . . . . .	55
5.4	Montante anteriore . . . . .	56
5.5	Componenti sostegno fresatura montante . . . . .	57
5.6	Sostegno per fresatura montante . . . . .	57
5.7	Maschera di fresatura montante . . . . .	58
5.8	Base di HEB 120 . . . . .	59

5.9	Disegno base . . . . .	60
5.10	Sostegno di appoggio fiancata . . . . .	60
5.11	Sostegno di posizionamento fiancata . . . . .	61
5.12	Sottoassieme bloccaggio fiancata zona curva . . . . .	62
5.13	Componenti sottoassieme bloccaggio . . . . .	62
5.14	Assieme bloccaggio fiancata zona curva . . . . .	63
5.15	Sezione zona piana fiancata . . . . .	63
5.16	Componenti sostegno zona piana . . . . .	64
5.17	Sostegno zona piana . . . . .	65
5.18	Messa in tavola sostegno zona piana . . . . .	65
5.19	Disegni componenti assieme di bloccaggio zona centrale . . . . .	66
5.20	Assieme di bloccaggio fiancata zona centrale . . . . .	67
5.21	Disegno piastra di collegamento e staffa forata . . . . .	68
5.22	Dima di fresatura fiancata . . . . .	68
5.23	Analisi statica supporti e telaio dima di fresatura fiancate . . . . .	69
5.24	Dima di fresatura della fiancata nella realtà . . . . .	70
5.25	Componenti cornice fiancata . . . . .	71
5.26	Supporti zona cantonale cornice . . . . .	72
5.27	Supporti zona estrusi cornice . . . . .	73
5.28	Supporto con Destaco per cornice . . . . .	74
5.29	Maschera di saldature cornice fiancata . . . . .	74
5.30	Altre tipologie di cornici . . . . .	75
5.31	Tubolari 100x60x3 mm . . . . .	76
5.32	Cavalletto per fiancate . . . . .	77
5.33	Sella con base e saette . . . . .	78
5.34	Sella . . . . .	78
5.35	Messa in tavola sella . . . . .	79
5.36	Distanziale . . . . .	80
5.37	Dima di assemblaggio fiancate . . . . .	80
6.1	Messa in tavola testata anteriore . . . . .	82
6.2	Componenti testata anteriore . . . . .	83
6.3	Lamiera di base iniziale . . . . .	84
6.4	Lamiera di base ritagliata . . . . .	85
6.5	Telaio iniziale . . . . .	85
6.6	HEB 120 telaio . . . . .	86
6.7	Telaio rinforzato . . . . .	86
6.8	Sezione telaio . . . . .	87
6.9	HEB di rinforzo 6,7,8 per telaio . . . . .	87
6.10	HEB di rinforzo 9,10 per telaio . . . . .	88
6.11	Messa in tavola telaio con saldature . . . . .	88
6.12	Saette di appoggio . . . . .	89
6.13	Saette dima di assemblaggio testata anteriore . . . . .	89

6.14	Analisi statica saette di contatto testata . . . . .	90
6.15	Saette per posizionamento piatto da fresare . . . . .	91
6.16	Saette per posizionamento anticlimber . . . . .	92
6.17	Sottoassieme di base zona anticlimber . . . . .	93
6.18	Sottoassieme di pressione zona anticlimber . . . . .	93
6.19	Supporto di pressione zona anticlimber . . . . .	94
6.20	Supporto di pressione piastre laterali . . . . .	95
6.21	Supporto di pressione base . . . . .	96
6.22	Dima completa testata anteriore . . . . .	97
6.23	Saldature per particolari di contatto . . . . .	97
6.24	Quote di controllo dima testata anteriore . . . . .	98
7.1	Convertitore AC/DC . . . . .	99
7.2	Convertitore DC/DC . . . . .	99
7.3	Convertitori DC/AC . . . . .	100
7.4	Convertitori AC/AC . . . . .	100
7.5	Classificazione convertitori elettronici di potenza . . . . .	100
7.6	Carpenteria completa caricabatterie . . . . .	101
7.7	Telaio . . . . .	101
7.8	Sistema di aerazione . . . . .	102
7.9	Piegati a omega . . . . .	103
7.10	Carter di protezione . . . . .	103
7.11	Componenti carter di protezione . . . . .	105
7.12	Secondo sistema di aerazione . . . . .	105
7.13	Pannelli di chiusura . . . . .	106
7.14	Lamiere raddrizzate a freddo . . . . .	106
7.15	Particolari interni ed esterni . . . . .	107
7.16	Maschere per i particolari esterni della carpenteria . . . . .	110
7.17	Maschera per boccole . . . . .	110
7.18	Dime per controllo interasse boccole diametro 8 mm . . . . .	112
7.19	Dima per controllo interassi fori diametro 51 mm . . . . .	112
7.20	Lamiera di base dima di collaudo omega . . . . .	113
7.21	Piastra laterale . . . . .	113
7.22	Saetta laterale . . . . .	114
7.23	Saetta . . . . .	114
7.24	Rinforzi 1 e 2 per dima di collaudo omega . . . . .	115
7.25	Rinforzi 3 e 4 per dima di collaudo omega . . . . .	115
7.26	Modello 3D dima di collaudo omega . . . . .	116

# List of Tables

2.1	Tabella fattore k lamiera (riferimento: vicla.eu) . . . . .	7
-----	---	---

# Chapter 1

## Introduzione

L'idea di un sistema di trasporto sotterraneo nasce a Londra nella metà del XIX secolo per rispondere alle esigenze derivate da un elevato traffico stradale e da una popolazione in continuo aumento. Il 10 gennaio 1863, viene inaugurata la Metropolitan Railway di Londra, la prima metropolitana del mondo, costituita inizialmente da treni a vapore che nel tempo vennero elettrificati.

Nel corso del XXI secolo, le metropolitane sono diventate un elemento fondamentale del tessuto urbano delle grandi città per una serie di tematiche relative alla mobilità, al rispetto dell'ambiente e alla qualità della vita urbana in quanto permettono di avere una mobilità rapida ed efficiente influenzando poco il traffico stradale, una maggiore sostenibilità ambientale tramite l'utilizzo dell'energia elettrica ed un supporto alla crescita urbana ed economica in quanto collegano il centro con la periferia delle città.

Le caratteristiche appena descritte, hanno portato ad un aumento della domanda di treni metropolitani negli ultimi anni. Per far fronte a tale richiesta è necessario un aumento della produzione di questi convogli.

L'obiettivo della tesi è quello di realizzare delle dime di supporto per la piegatura, la fresatura, la saldatura e l'assemblaggio di componenti di treni metropolitani che entreranno in servizio nella metropolitana di Washington DC nel 2027, in modo tale da aumentare la produttività, ridurre la probabilità di errori e massimizzare la qualità del prodotto secondo le richieste del cliente.

I componenti del treno per cui sono state realizzate le dime sono: le fiancate, il vano porta, la parete di testa, la cabina e i convertitori di potenza. Tutti questi elementi sono in alluminio (ad eccezione della cabina) e non in acciaio per ottenere un minore consumo energetico dovuto al minor peso, una maggiore resistenza alla corrosione che è necessaria in ambienti esposti all'umidità, una migliore efficienza energetica in quanto richiedono meno potenza per potersi muovere ed un'elevata sostenibilità e riciclabilità.

A partire dai disegni delle singole parti che compongono i componenti e dai modelli 3D degli assiemi, sono state progettate delle dime per dei pezzi non piegabili mediante i coltelli di piegatura tradizionali, per fresare specifiche parti, per assemblare i vari sottogruppi e infine per saldarli tra di loro in piano per evitare deformazioni

dovute dall'elevato calore nella zona di saldatura.

A livello generale, le dime presentano una struttura di base in acciaio strutturale, delle saette che seguono la fisionomia del componente in alluminio e dei supporti per poter saldare facilmente le parti. Per ogni dima è stato progettato il modello 3D mediante il software SolidWorks, si è eseguita un'analisi statica di alcuni particolari sottoposti a carichi con il tool " Solidworks Simulation", si sono sviluppate le messe in tavola, si sono realizzati i formati GEO dei componenti con l'utilizzo dell'applicazione "Trutops" per il taglio laser e si è definito il ciclo di lavoro necessario a realizzare ogni parte.

Un ulteriore sviluppo futuro del progetto potrebbe essere quello di modificare alcuni componenti delle dime in base ai cambiamenti richiesti dal cliente in corso d'opera o dagli operatori per migliorare il ciclo produttivo.

## Chapter 2

# Generalità

In questo capitolo si analizzano a livello generale due delle lavorazioni più frequenti, insieme al taglio laser, nell'ambito delle lamiere: la piegatura e la saldatura.

La piegatura è, solitamente, la seconda operazione che viene compiuta sugli estrusi dopo il taglio laser e permette di ottenere dei particolari che vengono utilizzati come base per i supporti di schiacciamento nelle maschere.

La saldatura, invece, è una delle ultime lavorazioni che si effettua sui componenti (alla quale possono seguire la smerigliatura, la raddrizzatura e la verniciatura) e serve ad unire i particolari tra loro per ottenere l'assieme richiesto.

### 2.1 Piegatura

La piegatura delle lamiere è un processo di lavorazione meccanica ampiamente utilizzato nell'industria per la produzione di una vasta gamma di componenti che consiste nel deformare una lamiera metallica applicando una forza che deforma il materiale cambiandone la forma senza portarlo a rottura.

I vantaggi che garantisce la piegatura sono: alta precisione con buona ripetibilità, elevata flessibilità che permette di produrre sia componenti semplici sia con geometrie complesse e una maggiore velocità di processo rispetto ad altre lavorazioni come la saldatura o la fresatura.

I suoi parametri chiave sono i seguenti:

- spessore della lamiera: le lamiere più spesse richiedono macchinari più potenti e una maggiore forza di piegatura;
- angolo di piega: dipende dalla distanza tra punzone e matrice e dalla forza di piegatura;
- raggio di piega: un raggio troppo stretto può causare la rottura della lamiera mentre un raggio più grande riduce il rischio di danni e permette un miglior risultato;
- tipo di materiale: materiali diversi rispondono in maniera diversa alla piegatura, per esempio l'acciaio inox è più difficile da piegare rispetto all'alluminio ma

offre una maggiore resistenza finale;

- forza di piegatura: dipende dallo spessore e dalla tipologia di materiale.

Per la piegatura di particolari in acciaio strutturale si è utilizzato come riferimento la tabella di "XOMETRY", che definisce il raggio di piegatura della lamiera in funzione dello spessore, della lunghezza della flangia e della forza applicata.

V, mm	6	8	10	12	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250	320	400	500
b, mm	4	5.5	7	8.5	11	14	17.5	22	28	35	45	55	71	89	113	140	175	226	280	350
ir, mm	1	1.3	1.6	2	2.6	3.3	4	5	6.5	8	10	13	16	20	26	33	41	53	65	83
t, mm	0.5	4	4.4																	
0.8	4	5.5	7																	
1	11	8	7	6																
1.2	16	12	10	8	6															
1.5		17	15	13	9	8														
2			27	22	17	13	11													
2.5				35	26	21	17	13												
3					38	30	24	19	15											
4						54	42	34	27	21										
5							67	52	42	33	26									
6								75	60	48	38	30								
8									107	85	68	53	43							
10										134	105	85	67	53						
12											153	120	95	78	60					
15												188	150	120	95	75				
20														215	170	135	108	85		
25															265	210	170	130	105	
30																300	240	190	150	120

Sono possibili aperture a V più grandi, richiedono meno forza

Un'apertura a V più piccola richiede una forza maggiore e non è consigliata

t = Spessore della lamiera V = Apertura a V b = Lunghezza minima della flangia ir = Raggio interno  
 F= Forza di flessione 68 - I valori colorati in blu sono optimal

\*Questa tabella è applicabile agli acciai strutturali con un limite di snervamento approssimativo di 400 MPa, in particolare se formati con un angolo di 90°.

Figure 2.1: Tabella raggio di piegatura (riferimento:xometry.pro)

Oltre a questi parametri, sono altri due gli elementi che devono essere tenuti sotto osservazione quando si vuole piegare le lamiere: il ritorno elastico e il fattore k.

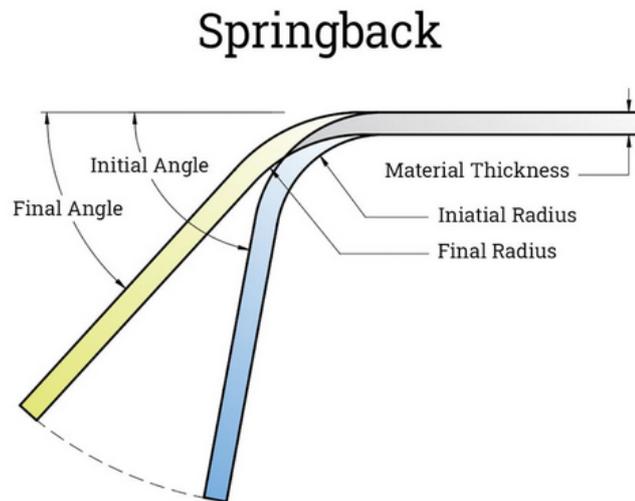
### 2.1.1 Il ritorno elastico

Il ritorno elastico è il fenomeno per cui il materiale torna alla sua forma originale dopo essere stato deformato da una forza esterna ed è legato alle caratteristiche elastiche del materiale che si oppone alla deformazione plastica permanente.

La lamiera deformata presenta due lati soggetti a sollecitazioni opposte: il lato vicino al punzone soggetto a forze di compressione e il lato opposto soggetto a forze di trazione. Esiste una fibra interna detta neutra in quanto non soggetta ad alcuno stato di sollecitazione.

I fattori che influenzano il ritorno elastico sono i seguenti:

- tipo di materiale: materiali diversi hanno diversi moduli elastici e quindi mostrano comportamenti di ritorno elastico diversi, per esempio materiali più rigidi come l'acciaio ad alta resistenza mostrano un maggior ritorno elastico rispetto a materiali più malleabili come l'alluminio;
- spessore della lamiera: maggiore è lo spessore della lamiera e maggiore sarà il ritorno elastico poichè più materiale deve recuperare la forma originale;
- angolo di piega: se la lamiera è piegata con un angolo molto acuto, è più probabile che ci sia un alto ritorno elastico e l'angolo finale sia inferiore di quello previsto;
- forza di piegatura: forze di piegatura elevate possono portare a deformazioni plastiche riducendo l'effetto elastico.



**Figure 2.2:** Ritorno elastico

Per cercare di minimizzare il ritorno elastico si può effettuare una compensazione del ritorno progettando un angolo finale di piega maggiore di quello previsto, definito overbending della lamiera, oppure utilizzare dei materiali con un basso ritorno elastico e con una bassa resilienza.

Un modo utilizzato per calcolare il ritorno elastico nelle lamiere è dato dalla formula seguente:

$$\Delta R = \frac{K \cdot (L^2)}{E \cdot t}$$

dove:

- R è il ritorno elastico;
- K è un fattore che dipende dalla geometria del processo di piegatura;

- $L$  è la lunghezza della piegatura;
- $E$  è il modulo di Young;
- $t$  è lo spessore della lamiera.

### 2.1.2 Fattore $k$

Il fattore  $k$  è un coefficiente empirico che tiene conto della deformazione della lamiera nella zona di piega ed è utilizzato per calcolare la lunghezza di piegatura e della lamiera che dovrà essere tagliata. Semplificando, si può dire che il fattore  $k$  è il rapporto tra lo spessore della lamiera  $T$  e l'asse della fibra neutra  $t$ :

$$k = \frac{t}{T} \quad (2.1)$$

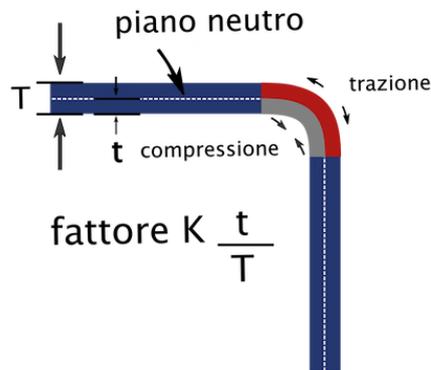


Figure 2.3: Fattore  $k$

Il fattore  $k$  dipende da vari fattori come il materiale, lo spessore della lamiera, il raggio di piega e la tipologia di macchina di piegatura. Esiste una formula per calcolare lo sviluppo della lamiera ed è la seguente:

$$k = \log \left( \frac{r}{s} \right) \times 0.5 + 0.65 \quad (2.2)$$

dove:

- $r$  è l'asse neutro;
- $s$  è lo spessore della lamiera.

È possibile anche utilizzare delle tabelle per l'individuazione del fattore  $k$ , come quella di seguito utilizzata da "Vicla", oppure tabelle con valori scaturiti da prove sperimentali.

$0.65 > r/t \leq 1$	$k = 0.3$
1	$k = 0.35$
1.5	$k = 0.4$
2.4	$k = 0.45$
3.8	$k = 0.5$

**Table 2.1:** Tabella fattore k lamiera (riferimento: vicla.eu)

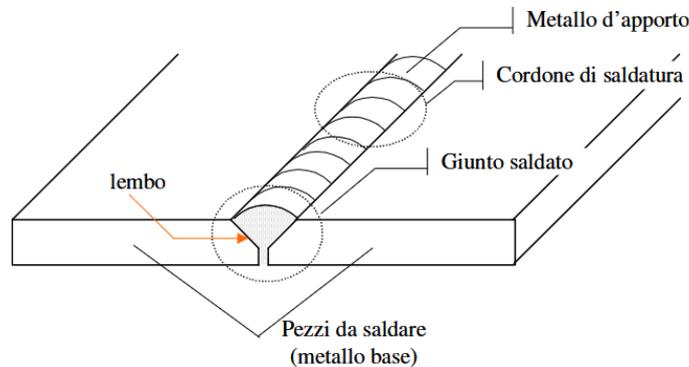
## 2.2 Saldatura

La saldatura è una tecnica di giunzione che realizza l'unione permanente di due pezzi metallici con o senza l'apporto di materiale e sotto l'azione del calore. I lembi, o bordi, sono le superfici che sono interessate dalla saldatura e la cui preparazione, definita cianfrinatura, viene eseguita dando la forma geometrica ottimale in funzione dello spessore.

Il materiale dei pezzi da collegare si chiama materiale base.

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 d'apporto, solidificati per raffreddamento dopo essere stati fusi nella saldatura. Il cordone di saldatura è l'elemento essenziale del giunto saldato e la sua deposizione determina la tecnica di saldatura vera e propria



**Figure 2.4:** Elementi della saldatura

Ci sono diversi tipi di saldatura, ognuno con caratteristiche specifiche in base al tipo di materiale, alla geometria dei pezzi da saldare e alle condizioni di lavoro. Le principali tipologie sono le seguenti:

- saldatura ad arco elettrico: utilizza un elettrodo rivestito per generare l'arco elettrico tra elettrodo e pezzo da saldare, il calore generato fonde il metallo base e l'elettrodo e il rivestimento dell'elettrodo produce gas protettivi che proteggono la saldatura dall'ossidazione;
- saldatura TIG (Tungsten Inert Gas): una saldatura ad arco elettrico in atmosfera inerte con l'arco che scocca tra l'elettrodo in tungsteno e il materiale base

ed è protetto dal gas (elio o argon o una miscela dei due) che fuoriesce dalla pistola;

- saldatura MIG/MAG (Metal Inert Gas / Metal Active Gas): molto simile alla saldatura TIG ma differisce per il fatto di avere un elettrodo fusibile che funge anche da materiale d'apporto, MIG e MAG differiscono per il tipo di gas utilizzato poichè nella MIG si usano argon o elio che garantiscono una protezione efficace mentre nella MAG si utilizza l'anidride carbonica o una miscela Shurgas (argon, anidride carbonica e ossigeno) più costosa e che permette risultati migliori;
- saldatura in arco sommerso: è un procedimento di saldatura in automatico per saldature in serie in quanto permette di ridurre notevolmente i tempi, l'elettrodo è costituito da un filo metallurgicamente molto simile al materiale base con un diametro compreso tra i 2 e gli 8 mm e costituisce il metallo d'apporto e l'arco non è visibile poichè ricoperto da una sostanza granulare chiamata flusso che viene distribuita da una tramoggia che fa parte della testa di saldatura.
- saldobrasatura: è una saldatura eterogenea per cui il metallo base non prende parte alla formazione del giunto, i lembi vengono cianfrinati, il metallo d'apporto è solitamente una lega di ottone (rame e zinco) con tracce di silicio che fonde a circa 800°C e il giunto ottenuto è elastico e resistente come il metallo d'apporto.

## Chapter 3

# Vano porta

Il vano porta nei treni è la parte di struttura nella quale alloggiano le porte di ingresso e uscita dei passeggeri e svolge un ruolo fondamentale per l'efficienza, la sicurezza, il trasporto e il comfort. Le sue caratteristiche, infatti, garantiscono la protezione contro il sovraffollamento riducendo il rischio di incidenti, una distribuzione equilibrata del flusso dei passeggeri, una riduzione del tempo di sosta mediante l'utilizzo di porte automatiche e un isolamento acustico che migliora il comfort.

Il vano porta preso in esame ha dimensioni massime di 1620x2098x70 mm, un peso di 69,65 kg ed è costituito da una cornice superiore, due montanti laterali, un cantonale inferiore sinistro, un cantonale inferiore destro ed un estruso inferiore imbotte porta che devono essere saldati tra di loro secondo le specifiche richieste dal cliente.

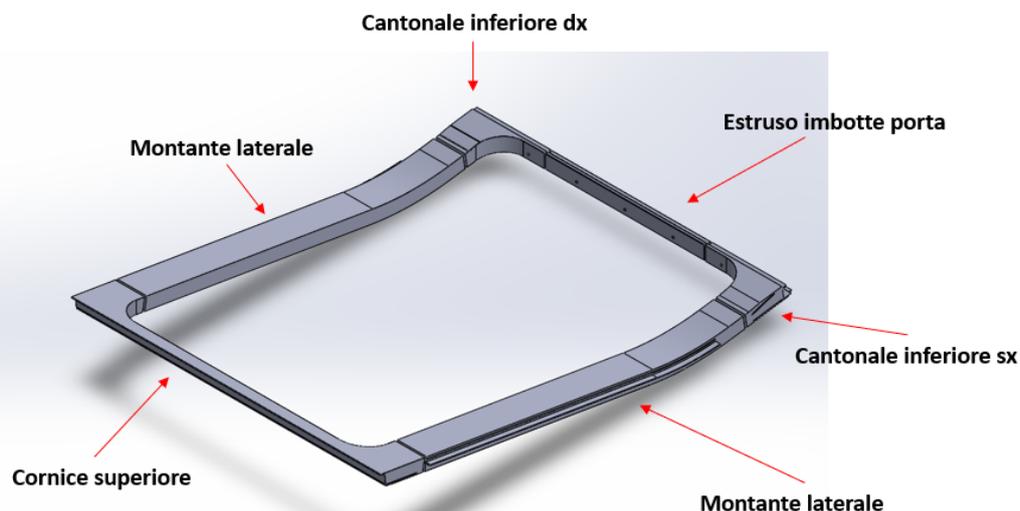
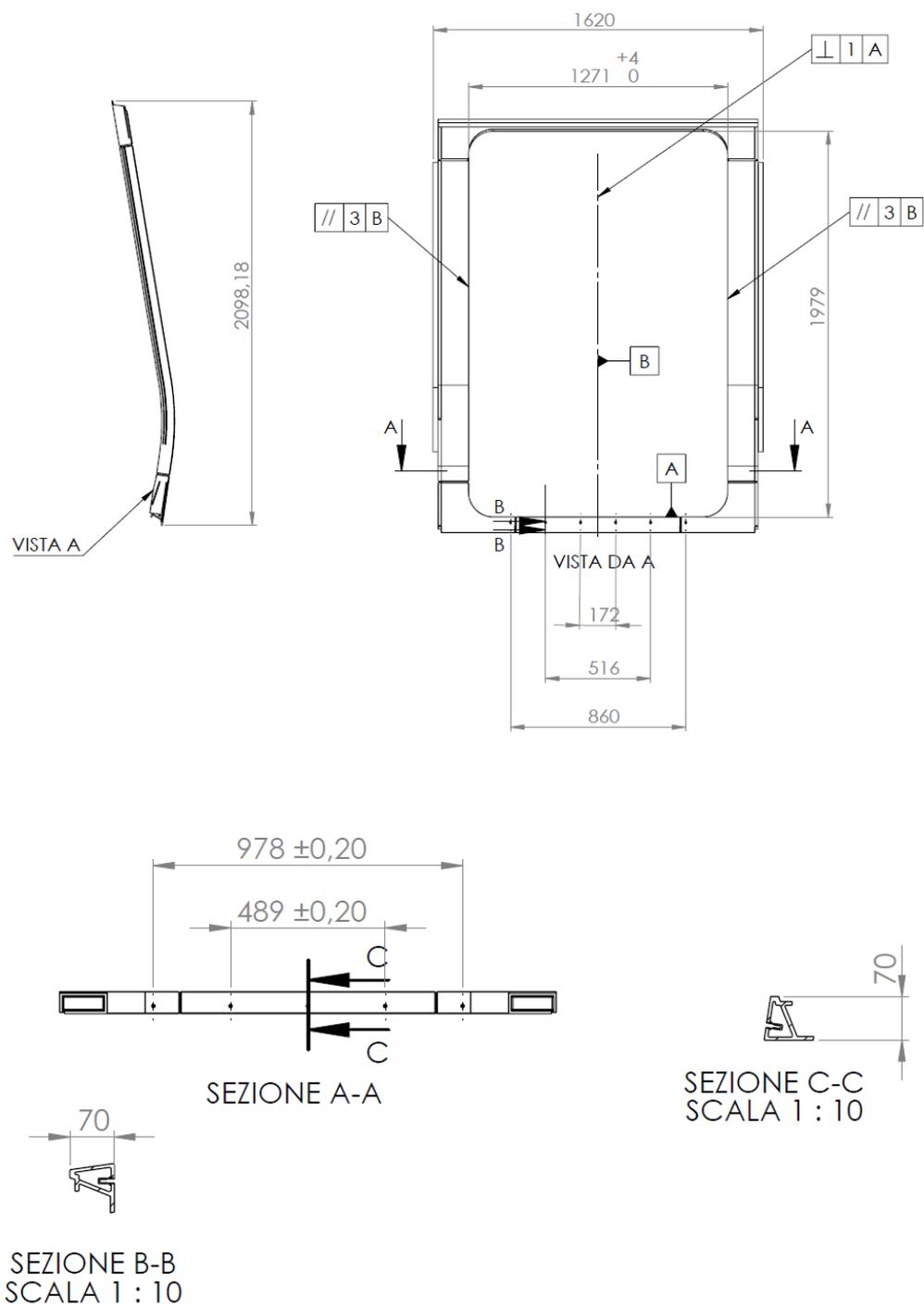


Figure 3.1: Componenti vano porta

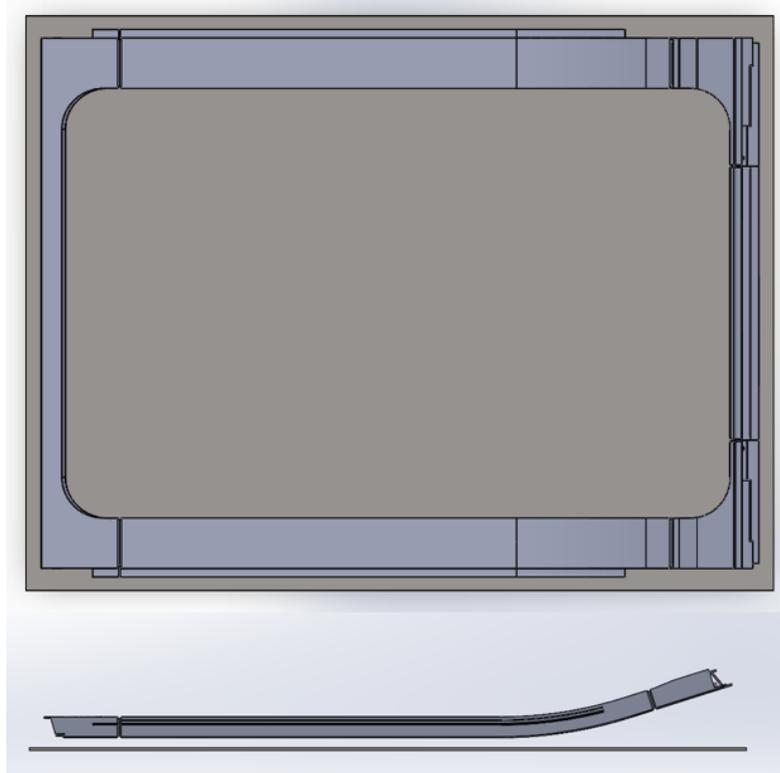


**Figure 3.2:** Messa in tavola vano porta

### 3.1 Dima di assemblaggio e saldatura

Per realizzare la dima di supporto si è partiti da una lamiera di base in acciaio strutturale S275JR delle dimensioni di 1700x2200x10 mm per dare robustezza alla struttura e per lasciare dello spazio esternamente al vano porta per inserire i supporti necessari. Il termine S275 significa che è un acciaio con una tensione di snervamento pari a 275 MPa mentre il termine JR indica una resilienza minima di 27 J alla temperatura ambiente di +20°C.

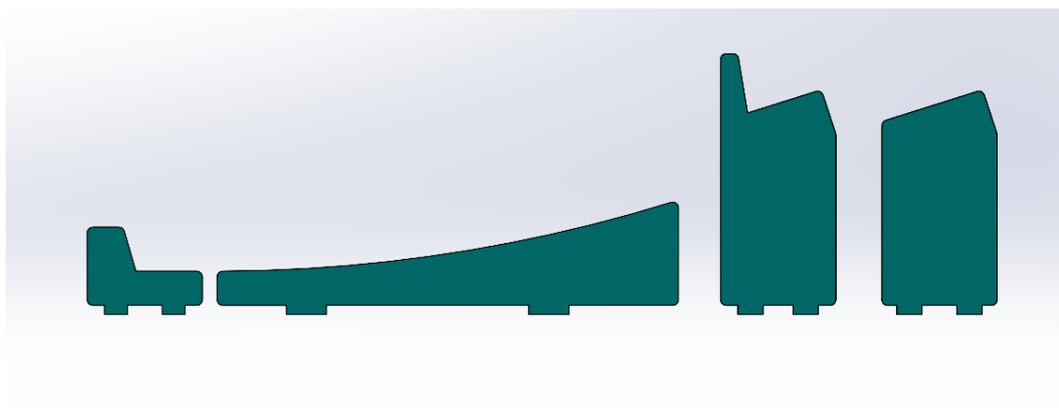
La lamiera di base non è a contatto con il vano porta ma ha una luce minima di 15 mm perchè in quello spazio verranno inserite le saette che fungeranno da appoggio per gli estrusi dell'assieme.



**Figure 3.3:** Lamiera di base vano porta

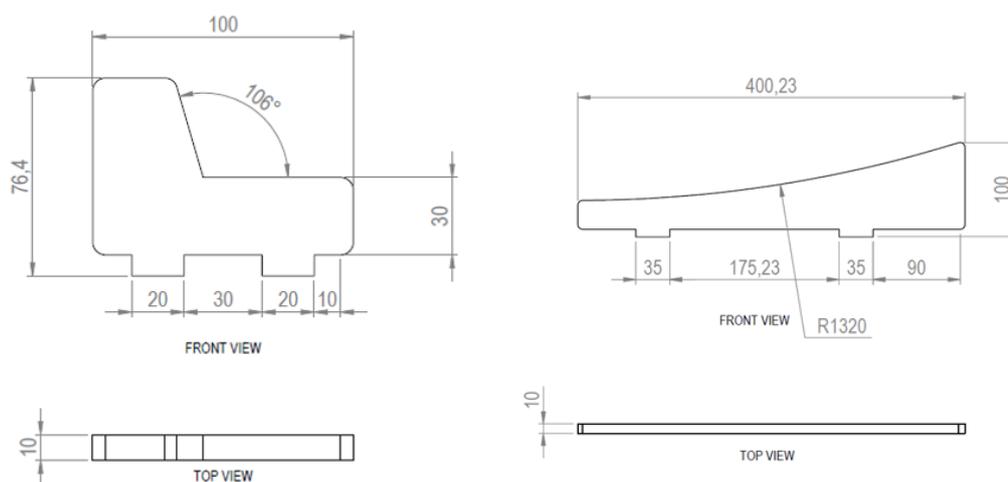
#### 3.1.1 Saette di battuta

Successivamente, si sono progettate delle saette di battuta in acciaio inox AISI 304 che seguono il profilo del pezzo per permettere il corretto posizionamento delle parti del vano porta. Le saette hanno forme diverse a seconda della zona del vano porta che si è presa in considerazione. Come materiale è stato scelto l'acciaio inox perchè il vano porta è realizzato in alluminio e , perciò, se si fosse utilizzato l'acciaio al carbonio si sarebbe rischiato di avere corrosione galvanica, un fenomeno che è presente in condizioni di umidità e che porta ad una corrosione accelerata quando entrano in contatto due metalli con potenziali elettrici diversi.



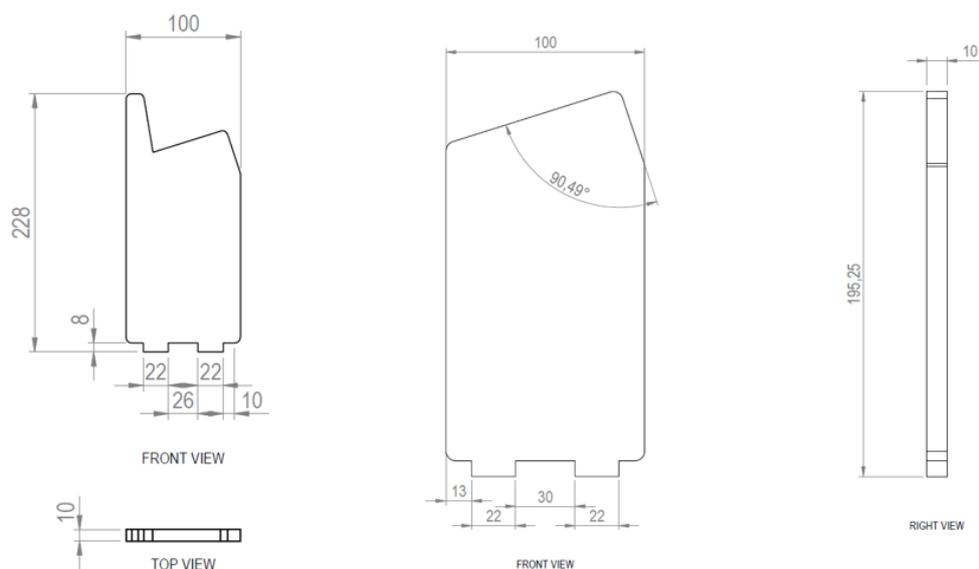
**Figure 3.4:** 3D Saette

La prima tipologia di saetta è e forma di L inclinata ripetuta ogni 200 mm per permettere un semplice inserimento dei particolari e viene utilizzata nella zona della cornice superiore e dei montanti laterali, mentre la seconda viene impiegata lungo i cantonali inferiori sinistro e destro seguendo il loro profilo per una lunghezza complessiva di 400 mm. Entrambe le saette hanno un'altezza nella parte inferiore di 30 mm che serve ad alzare il vano porta rispetto alla base in acciaio e presentano delle terminazioni chiamate piedini che verranno inseriti negli scarichi della base per essere saldati.



**Figure 3.5:** Disegno saette

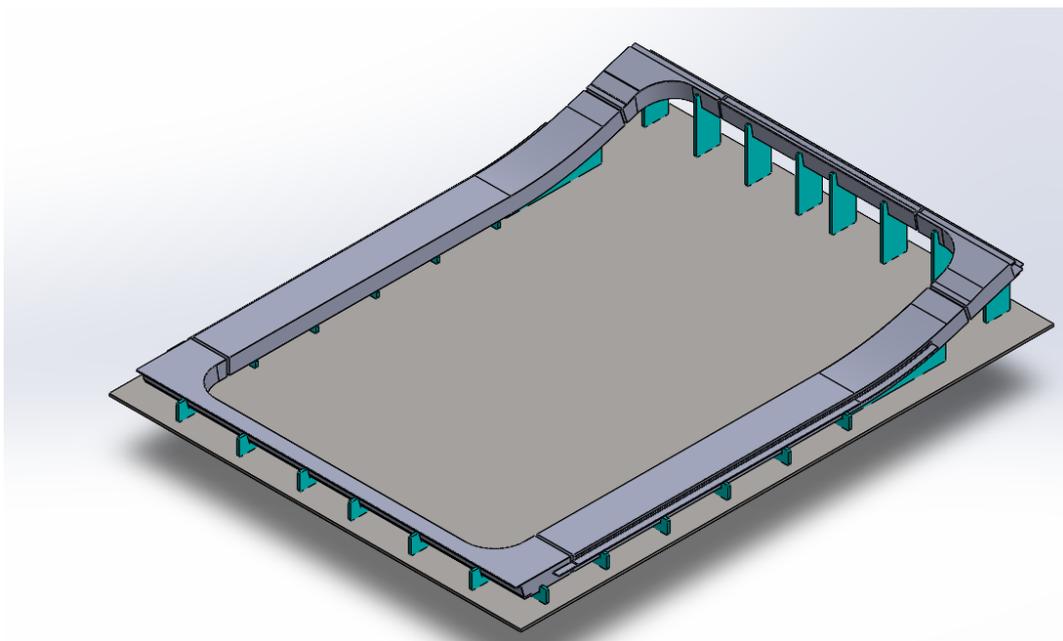
Le successive due tipologie di saette, invece, vengono inserite nella zona dell'estruso imbotte e dei cantonali. La prima tipologia presenta una terminazione superiore rettangolare che funge da punto di appoggio e posizionamento per il particolare dell'imbotte nella zona interna e ne vengono inserite 7 ad una distanza di 210 mm l'una dall'altra, mentre l'ultima tipologia è utilizzata come supporto nella zona centrale dei cantonali, è inclinata per seguire l'andamento del componente e se ne usano solo una per cantonale.



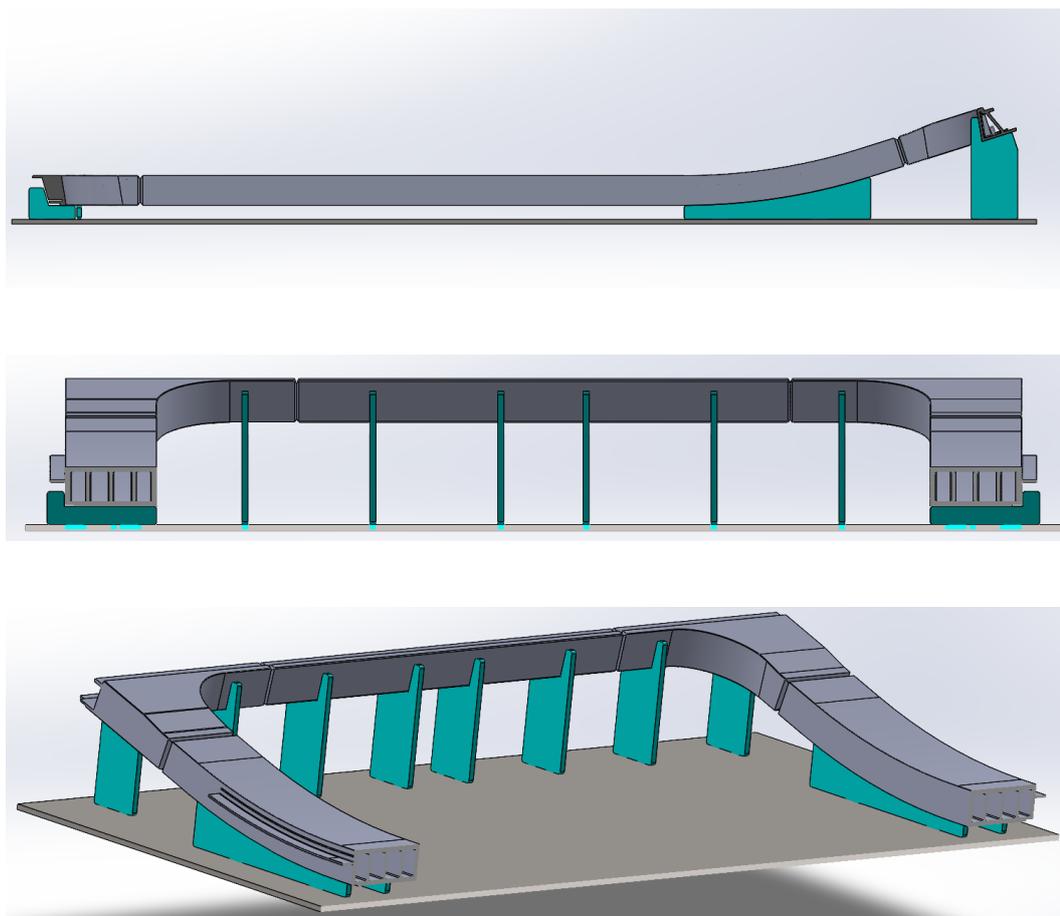
**Figure 3.6:** Altre tipologie di saette

Rispetto al profilo esterno del componente, le saette sono spostate di 2mm consentendo un piccolo gioco nel posizionamento per recuperare eventuali errori causati da lavorazioni precedenti e sono posizionate ad una distanza di 250mm l'una dall'altra per avere più punti di appoggio del vano porta.

Il ciclo di lavorazione necessario alla realizzazione delle saette è il taglio laser a fibra, un'operazione realizzata mediante una fibra ottica con elementi rari per generare il fascio laser molto efficiente per tagliare metalli come l'acciaio inox, l'alluminio, il rame e che permette un'alta precisione e velocità in funzione dello spessore dei pezzi.



**Figure 3.7:** Prima fase della dima



**Figure 3.8:** Sezione dima con saette

Per controllare che lo spessore utilizzato sia corretto e le saette non cedano a causa del peso del vano porta, si è effettuata un'analisi statica utilizzando la feature "Simulation" di Solidworks. Tramite questo comando si sono inseriti i seguenti parametri:

- il materiale della saetta;
- i vincoli, ovvero i punti nei quali la saetta è vincolata e la tipologia del vincolo ( incastro, carrello o cerniera);
- le forze esterne e il loro punto di applicazione, in questo caso la forza è stata trasformata in pressione usando le seguenti formule:

– seconda legge di Newton

$$F = m \cdot a \quad (3.1)$$

con:

- \* F: forza peso del componente che agisce sulle saette;
- \* m: massa del componente;
- \* a: accelerazione di gravità;

– formula della pressione

$$P = \frac{F}{A} \quad (3.2)$$

con:

- \* P: pressione;
- \* A: area del componente;

L'output che si ottiene è dall'analisi statica è la distribuzione delle tensioni sul componente secondo il criterio di Von Mises, che viene rapportata alla tensione di snervamento del materiale ottenendo il coefficiente di sicurezza dei particolari secondo le seguenti formule:

- tensione di Von Mises

$$\sigma_{id,VM} = \sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x\sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2} \quad (3.3)$$

con:

- $\sigma_{id,VM}$ : tensione ideale di Von Mises;
- $\sigma_x$  : tensione normale sull'asse x;
- $\sigma_y$ : tensione normale sull'asse y;
- $\tau_{xy}$ : tensione di taglio sul piano xy;

- coefficiente di sicurezza

$$CS = \frac{\sigma_{SN}}{\sigma_{id,VM}} \quad (3.4)$$

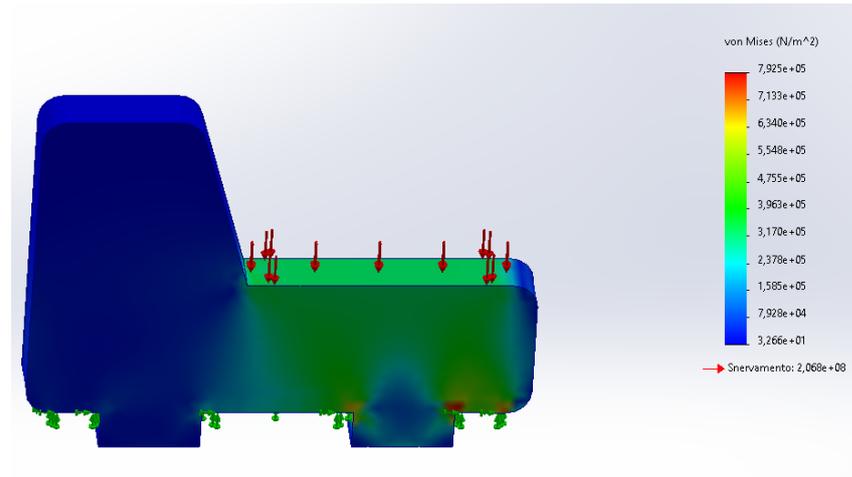
con:

- CS: coefficiente di sicurezza;
- $\sigma_{SN}$ : tensione di snervamento (caratteristica del materiale scelto);

Se il coefficiente di sicurezza, dato dal rapporto tra la tensione di snervamento del materiale e la tensione di Von Mises, è maggiore di 1, allora la saetta è verificata staticamente.

Nell'analisi, come valore di forza si è inserito quello definito dalla forza peso del particolare sostenuto dalle staffe (pari al prodotto di massa del particolare per accelerazione di gravità) diviso per il numero di staffe che sostengono il componente e come area quella di appoggio del particolare.

I risultati dell'analisi statica sono i seguenti:

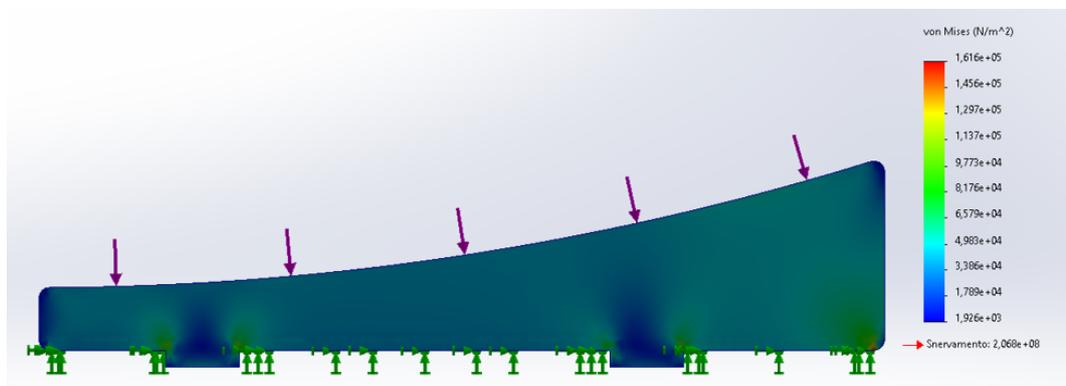


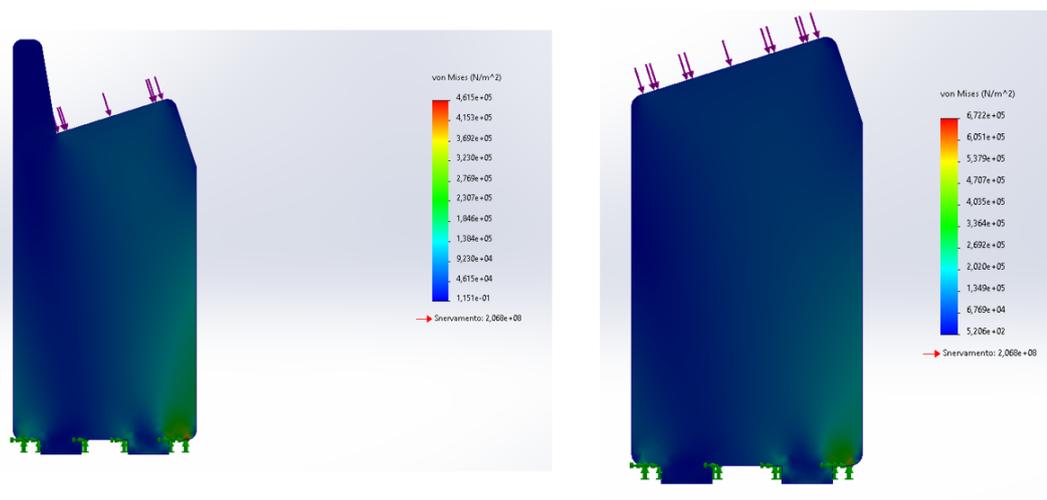
**Figure 3.9:** Analisi statica saetta

Le frecce rosse e viola indicano la faccia e la direzione della forza applicata mentre le frecce verdi i punti dove è vincolata la saetta. Il grafico sulla destra mostra la tensione di Von Mises nelle varie zone mentre in basso è riportata la tensione di snervamento del materiale. Confrontando il valore massimo di tensione di Von Mises ( che è intorno a  $7^5$  Mpa) e quella di snervamento ( $2,08^8$  MPa) notiamo che è ben al di sotto del limite e quindi il particolare regge. L'elevata differenza tra i due valori è dovuta al fatto che il vano porta è realizzato in alluminio, che ha un peso specifico che è circa un terzo di quello dell'acciaio inox ( $2,7kg/dm^3$  per l'alluminio e  $7,8kg/dm^3$  per l'acciaio) e questo porta ad un'ampia differenza nel peso.

Si sarebbe potuto, quindi, diminuire lo spessore delle saette per ridurre il sovradiimensionamento ed essere lo stesso in sicurezza. Tuttavia, si è scelto di mantenere lo spessore di 10 mm perchè più i componenti sono sottili e più si deformano una volta saldati: questo fattore avrebbe potuto causare degli errori nel posizionamento dei particolari del vano porta non accettabili. Inoltre, sono dime che verranno utilizzate per molto tempo e devono essere durevoli e resistenti sia al tempo sia anche ad un utilizzo non appropriato da parte degli operai.

Ripetendo la stessa operazione anche per le altre saette otteniamo i seguenti risultati:

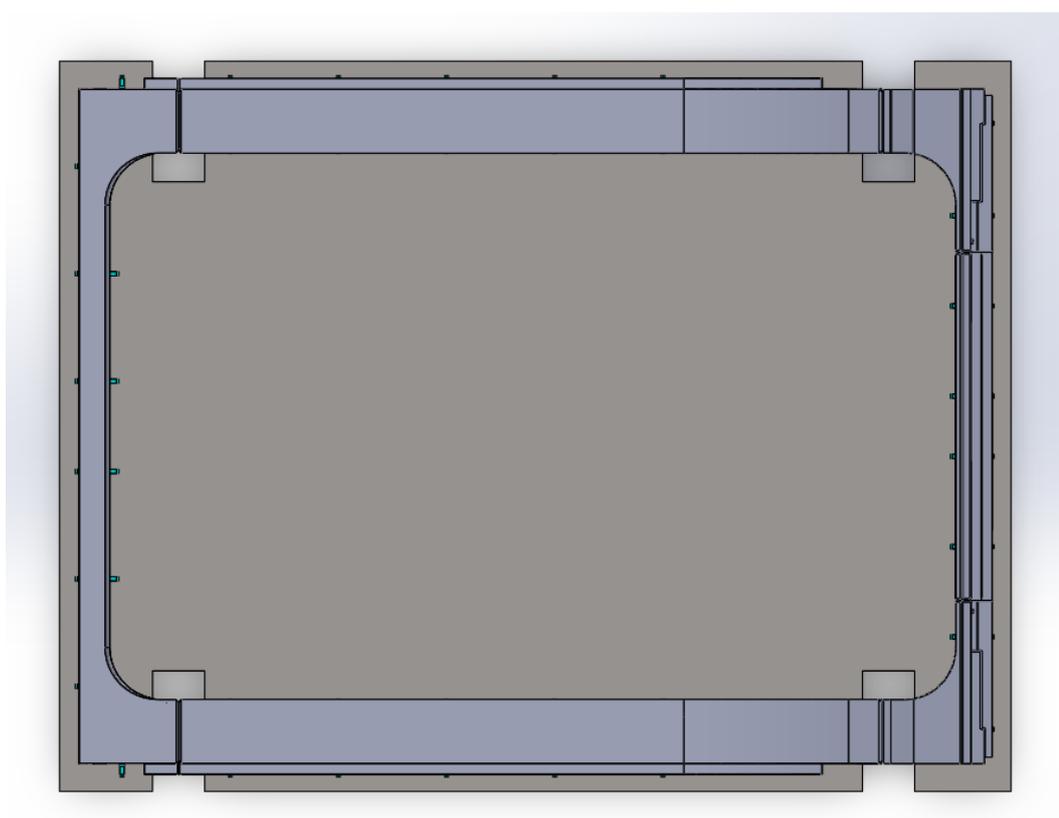




**Figure 3.10:** Analisi statica restanti saette

Si ottiene, quindi, che tutte le saette non cedono a causa del peso del componente.

Successivamente, si è tagliata la lamiera base realizzando degli incavi rettangolari di larghezza 120 mm e lunghezza 280 mm in corrispondenza dei cianfrini di saldatura per permettere all'operatore una saldatura continua senza interruzioni.



**Figure 3.11:** Lamiera di base tagliata

### 3.1.2 Supporti con destaco

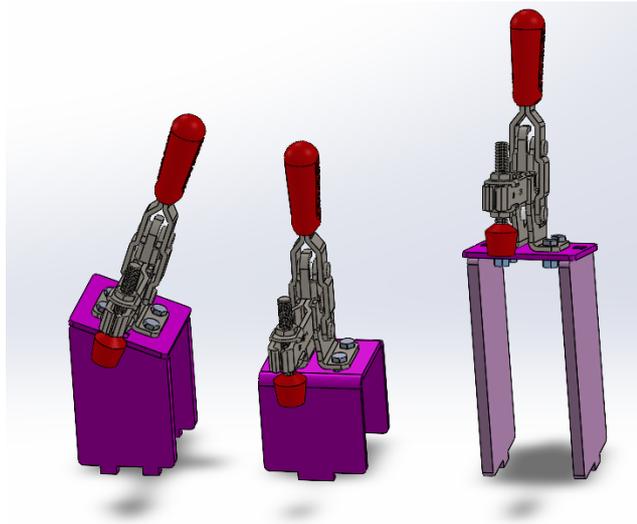
La saldatura, essendo un'operazione termica, causa delle differenze di temperatura e delle variazioni di volume che generano tensioni interne che portano a deformazioni. Per cercare di minimizzare tali deformazioni è necessario utilizzare dei supporti che schiaccino il componente in varie zone. Si è deciso di utilizzare un morsetto orizzontale commerciale 247-U della famiglia DESTACO, un dispositivo che mediante l'utilizzo di leve e martelli corregge le deformazioni distendendo il materiale ed ha una capacità di tenuta fino a 4 kN.



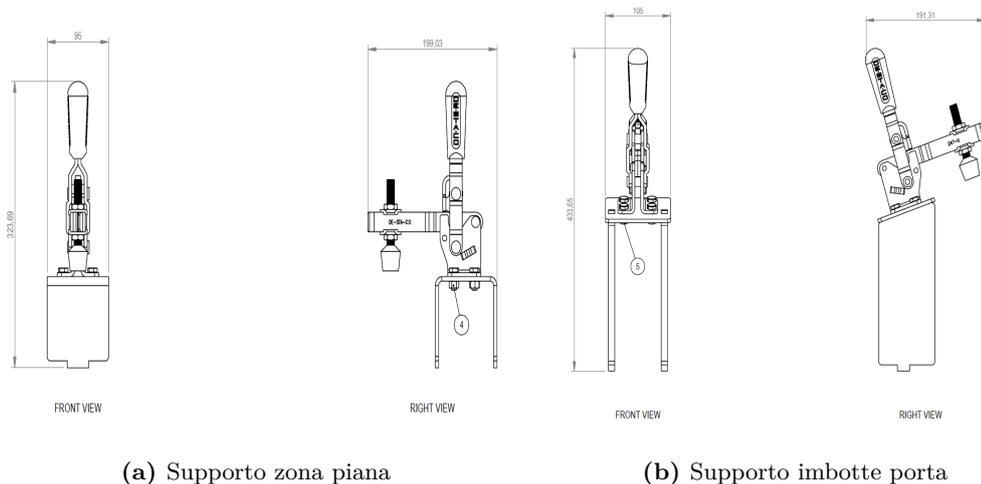
**Figure 3.12:** Destaco

Per applicare la forza nelle varie zone del componente che si trovano ad altezze diverse, si è utilizzata come base del destaco o una lamiera piegata a C, nelle parti più basse in piano, o una struttura costituita da due staffe saldate tra di loro nelle parti in pendenza e più alte per renderle più resistenti.

Il collegamento tra destaco e base è realizzato mediante due asole presenti sulla base, che permettono all'operatore una certa libertà in direzione longitudinale per posizionare l'attrezzatura nel punto che ritiene più opportuno, e il bloccaggio avviene tramite un bullone composto da una vite a testa esagonale ISO 4017 M8x20 e da un dado esagonale ISO 4034.



**Figure 3.13:** Supporti con destaco



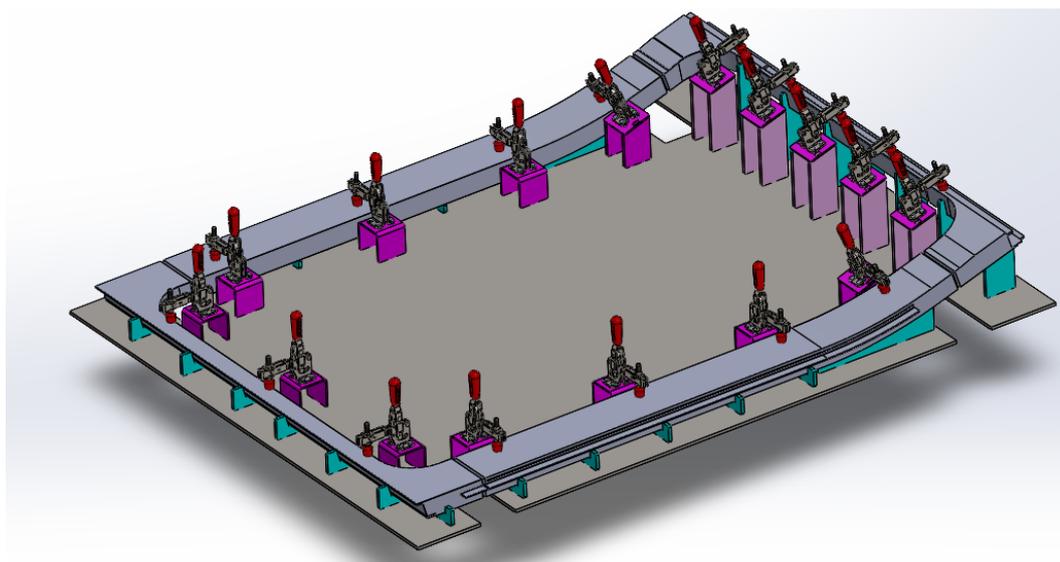
(a) Supporto zona piana

(b) Supporto imbotte porta

**Figure 3.14:** Supporti

Come si può notare dalla figura, tutti i supporti, così come le staffe e le saette, terminano con i "piedini". Tali piedini verranno inseriti negli scarichi realizzati nella lamiera di base per poter saldare i supporti su di essa rendendo la struttura fissa e stabile. Il materiale con cui sono stati prodotti i supporti è l'acciaio strutturale S235JR perchè è meno costoso dell'alluminio e non si ha il rischio di corrosione in quanto non entrano in contatto con il vano porta.

I destaco supportati dalla lamiera piegata sono stati posizionati ad una distanza di 380 mm nella zona della cornice superiore e di 490 mm in quella della parte in piano dei montanti laterali. Quelli inclinati sono stati inseriti nella zone curva dei montanti e presentano un sinistro e un destro a seconda della diversa inclinazione del destaco mentre gli ultimi sono stati messi nella zona del estruso imbotte porta ad una distanza di 245 mm l'uno dall'altro. Tutto questo per garantire una pressione di distensione della deformazione il più omogenea possibile.

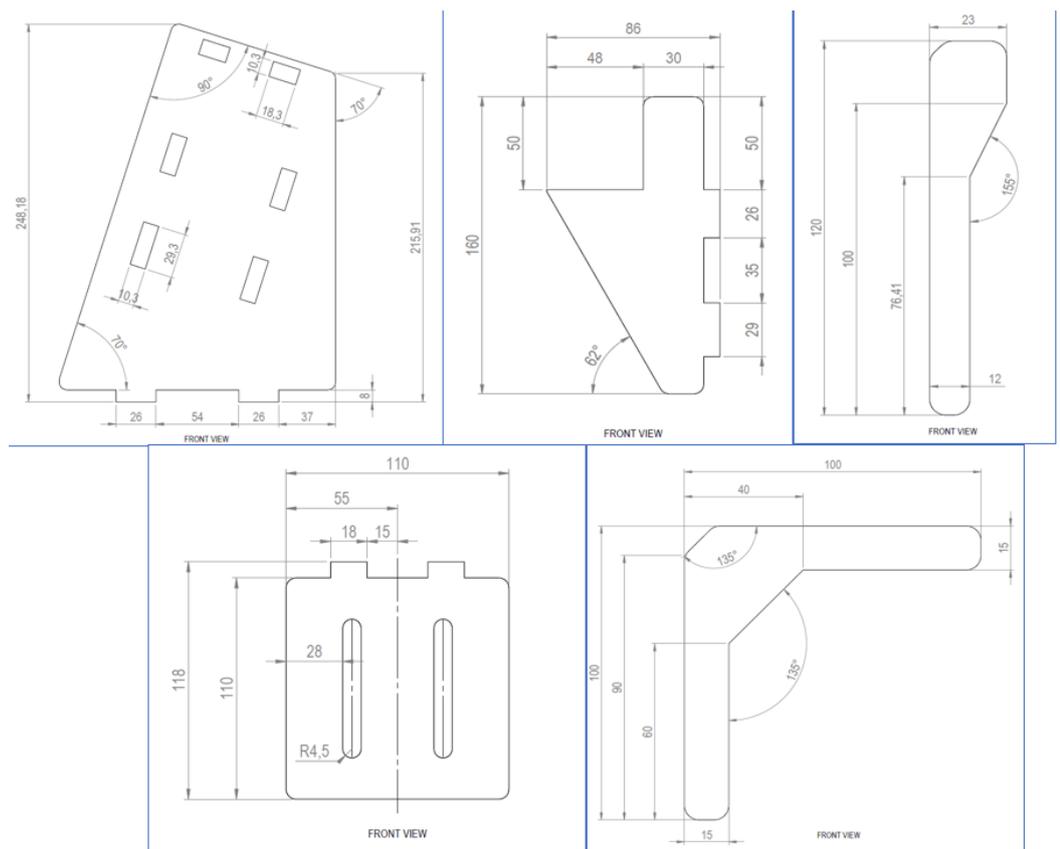


**Figure 3.15:** Dima con destaco

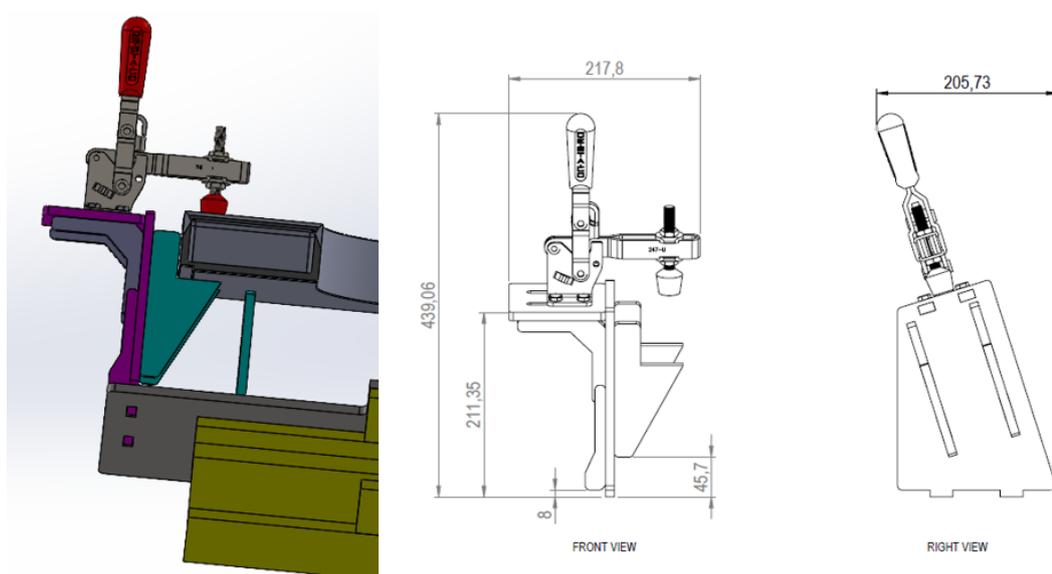
In questa configurazione, si può notare la mancanza di supporti di pressione nella zona dei cantonali inferiori, che è abbastanza critica perchè presenta una saldatura ad entambe le estremità. Si rende quindi necessario l'introduzione di un sostegno che abbia una duplice funzionalità: permettere di usare un destaco per minimizzare le distorsioni e fungere da appoggio per posizionare il correttamente il cantonale che al momento ha solo un appoggio nella zona dell'estruso e nessuno dal lato del montante.

La soluzione adottata è la seguente: si parte da una staffa verticale alla quale si salda in sommità una staffa orizzontale mediante dei piedini e che funge da base per il destaco che viene collegato tramite le asole presenti sulla staffa con due bulloni, identici a quelli precedenti.

A questa struttura si aggiungono quattro lamiere ( due superiori e due inferiori) per conferire stabilità dal lato opposto al cantonale mentre dall'altro lato si introducono due lamiere che hanno la funzione di appoggio e che vengono saldate alla struttura principale. Queste due lamiere sono realizzate in acciaio inox perchè entrano in contatto con il vano porta mentre il resto del supporto è in acciaio S235JR. Tutte le staffe utilizzate sono spesse 10 mm in modo tale da utilizzare una sola lamiera dello stesso spessore per realizzarle riducendo i tempi non produttivi causati dal taglio di lamiere di spessori differenti.



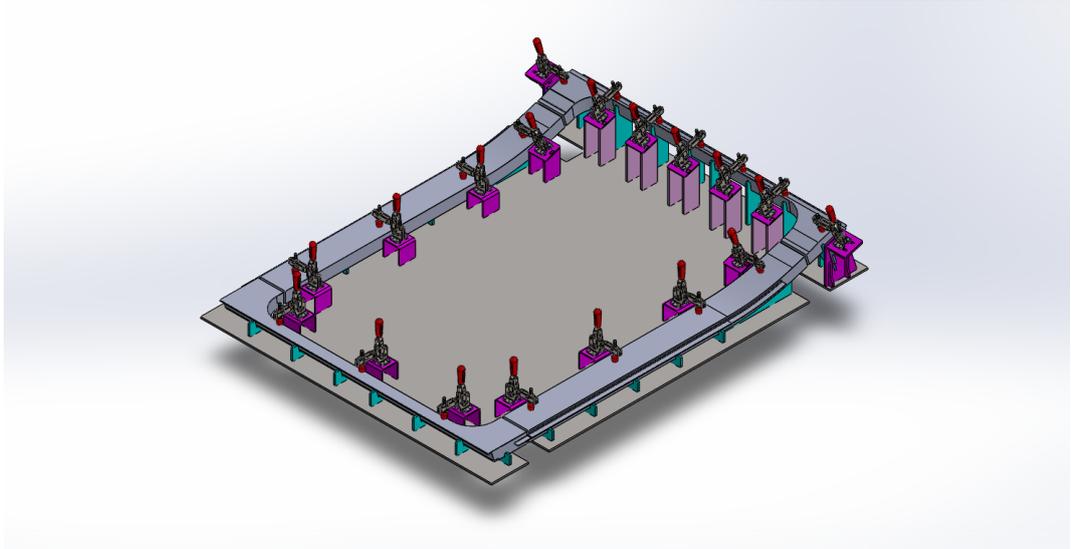
**Figure 3.16:** Componenti assieme zona cantonale



**Figure 3.17:** Supporto zona cantonale

Sono stati utilizzati due supporti come questo, uno a sinistra e uno a destra, che differiscono solamente per l'inclinazione della piastra e quindi del distacco.

La configurazione attuale della dima è la seguente:



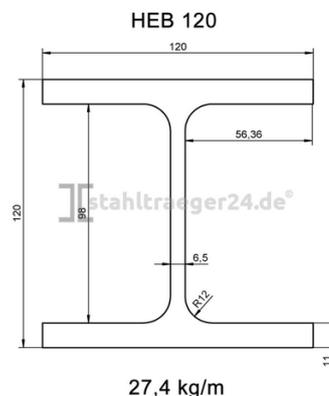
**Figure 3.18:** Terza fase della dima

### 3.1.3 Telaio di supporto

Il passo successivo nella realizzazione della maschera, è il poter garantire all'operatore la possibilità di saldare il componente sempre in piano come richiesto dalla normativa UNI EN ISO 15085, riguardante la saldatura dei veicoli ferroviari e dei suoi componenti. E' necessario, quindi, che la dima possa ruotare attorno al proprio asse.

Per permettere la rotazione si sono utilizzate due tavole girevoli manuali, dei dispositivi che permettono la rotazione di un pezzo attorno ad un asse orizzontale o verticale. In aggiunta ai girevoli, è necessaria un'interfaccia che colleghi il girevole alla maschera e una struttura di sostegno al di sotto della lamiera di base che si unisca tramite saldatura all'interfaccia.

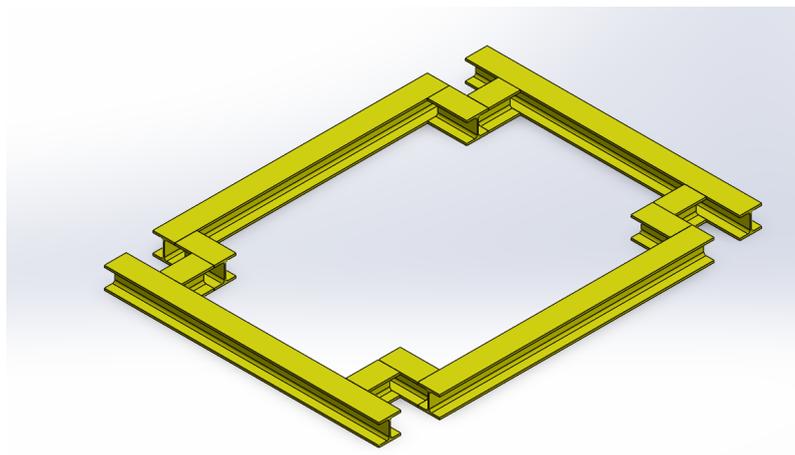
La struttura di supporto è stata realizzata mediante degli HEB 120, una tipologia di profilo IPE che viene utilizzato nelle costruzioni per la sua alta resistenza alla flessione, affidabilità e versatilità. Il numero 120 si riferisce all'altezza e alla larghezza del profilo con lo spessore dell'anima che varia a seconda delle specifiche di ciascun profilo.



**Figure 3.19:** HEB 120

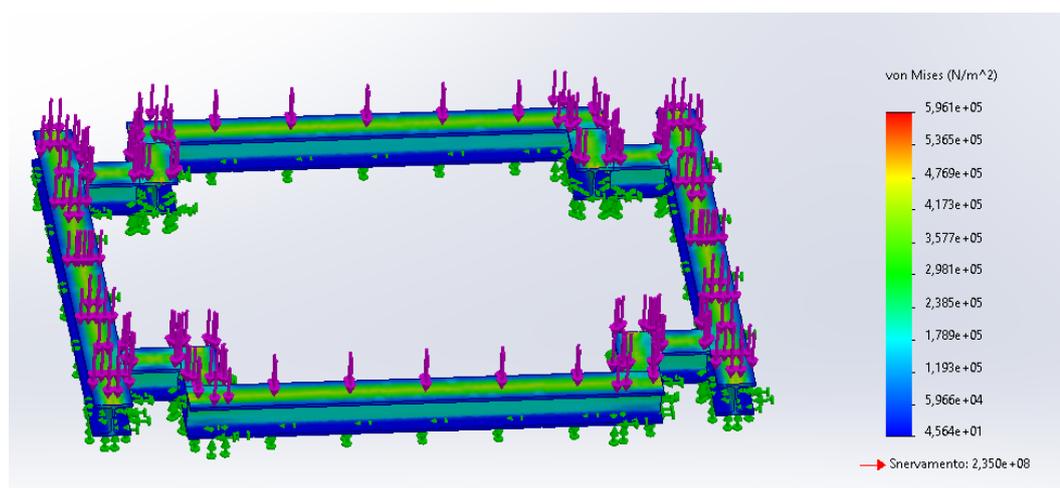
Partendo dai profili HEB di lunghezza commerciale di 6000 mm, le barre sono state tagliate alla lunghezza desiderata per seguire il contorno della lamiera base tramite il taglio seghetto, eseguito con una sega elettrica, e poi sono state molate per eliminare possibili bave.

Gli HEB sono stati collegati tra loro tramite una saldatura a tratti Z5, ovvero una saldatura che deve presentare nei tratti definiti sul disegno uno spessore sul lato di 5 mm.



**Figure 3.20:** Struttura di supporto con HEB

Effettuando la stessa analisi statica realizzata sulle saette, tenendo conto dell'effetto delle saldature tra i vari profilati e inserendo una forza pari al prodotto tra la massa totale dei componenti che sono sorretti dal telaio e l'accelerazione di gravità si ottiene il seguente risultato:



**Figure 3.21:** Analisi statica telaio di supporto vano porta

Il risultato ottenuto dimostra che la tensione di snervamento è superiore alla tensione di Von Mises e quindi il telaio è in sicurezza.

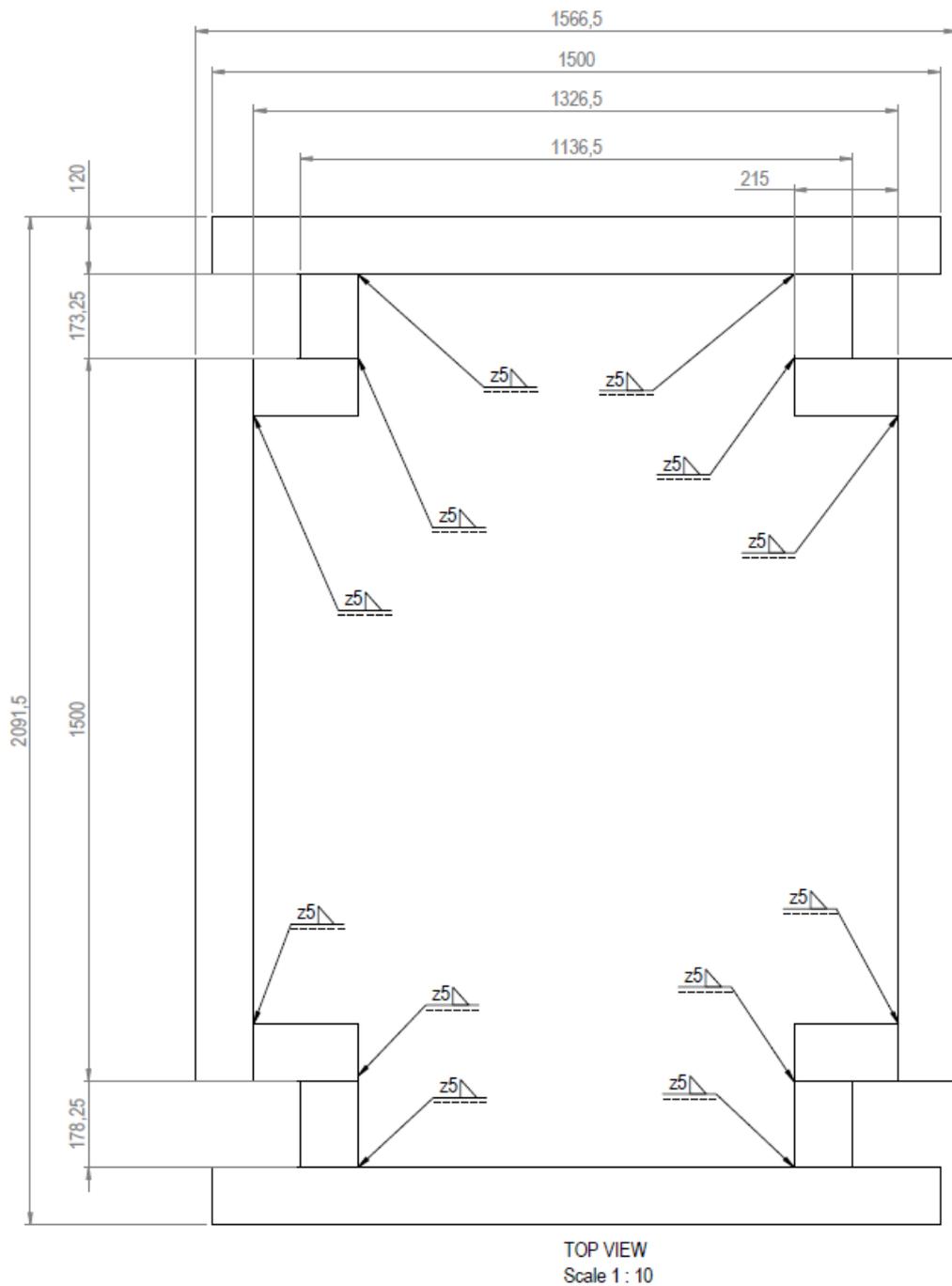
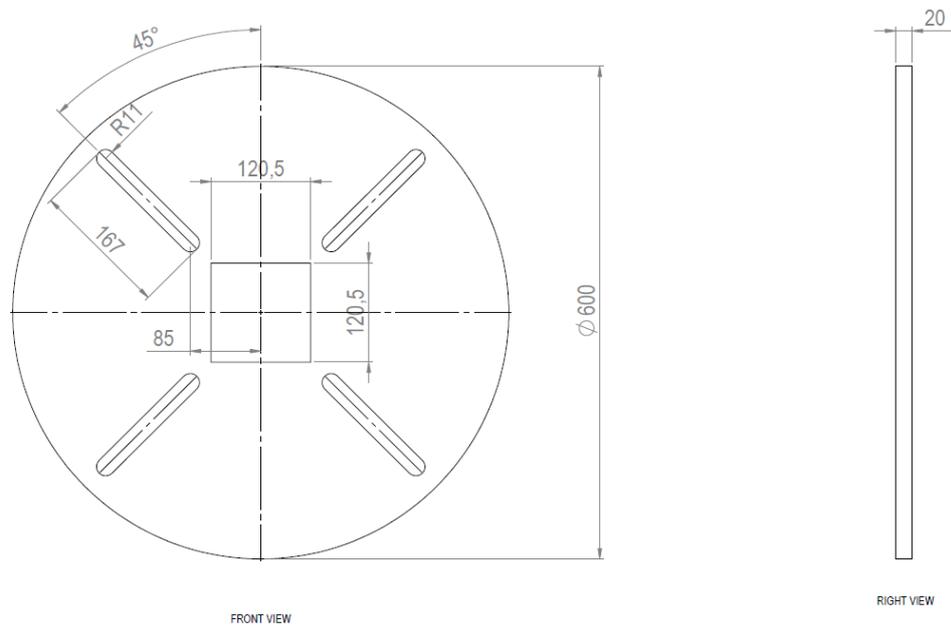


Figure 3.22: Messa in tavola struttura di supporto

### 3.1.4 Fase finale della dima

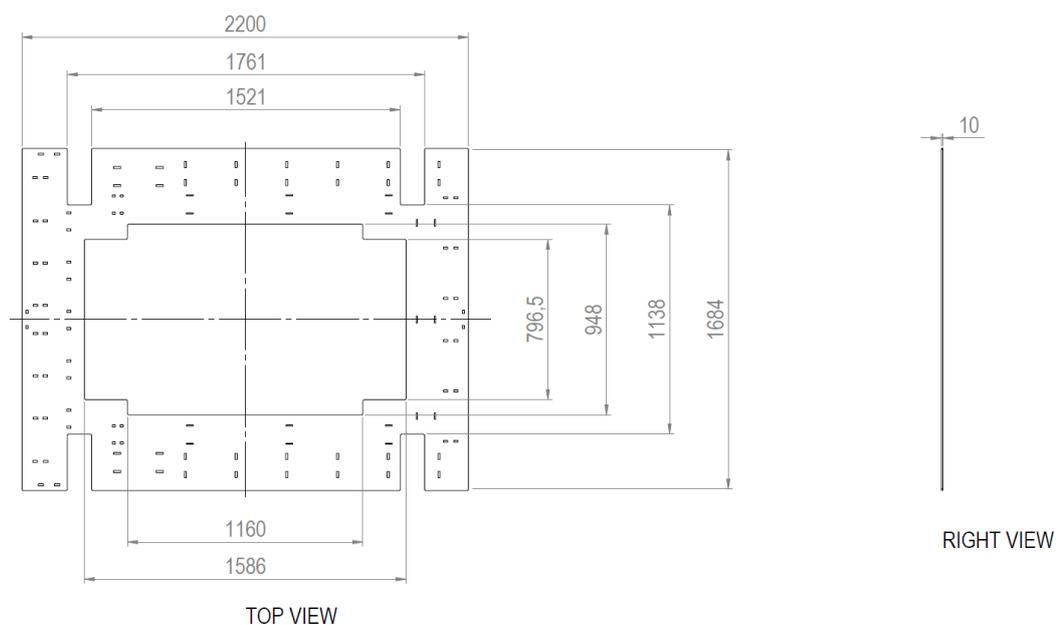
A questo punto, si è passati alla progettazione dell'interfaccia tra girevole e struttura. Poichè la tavola rotante presenta un foro centrale e quattro asole disposte a  $90^\circ$  l'una dall'altra, si è pensato di utilizzare come interfaccia un disco in acciaio S235JR con un diametro di 600 mm (uguale a quello del girevole) e spesso 20 mm. La scelta dell'acciaio e dello spessore sono state prese in funzione del peso elevato della dima per conferire stabilità e resistenza alla struttura.

Il disco presenta al centro un foro quadrato di lato 120,5 mm che permette il collegamento alla struttura di base tramite l'inserimento di un HEB 120 con un gioco di 0,25 mm per lato che viene poi eliminato tramite saldatura. L'HEB viene a sua volta saldato alla struttura di supporto con una saldatura Z5. Il disco ha, inoltre, quattro asole con dimensioni simili a quelle della tavola rotante, maggiorate di 2mm, per permetterne il centraggio e collegamento.



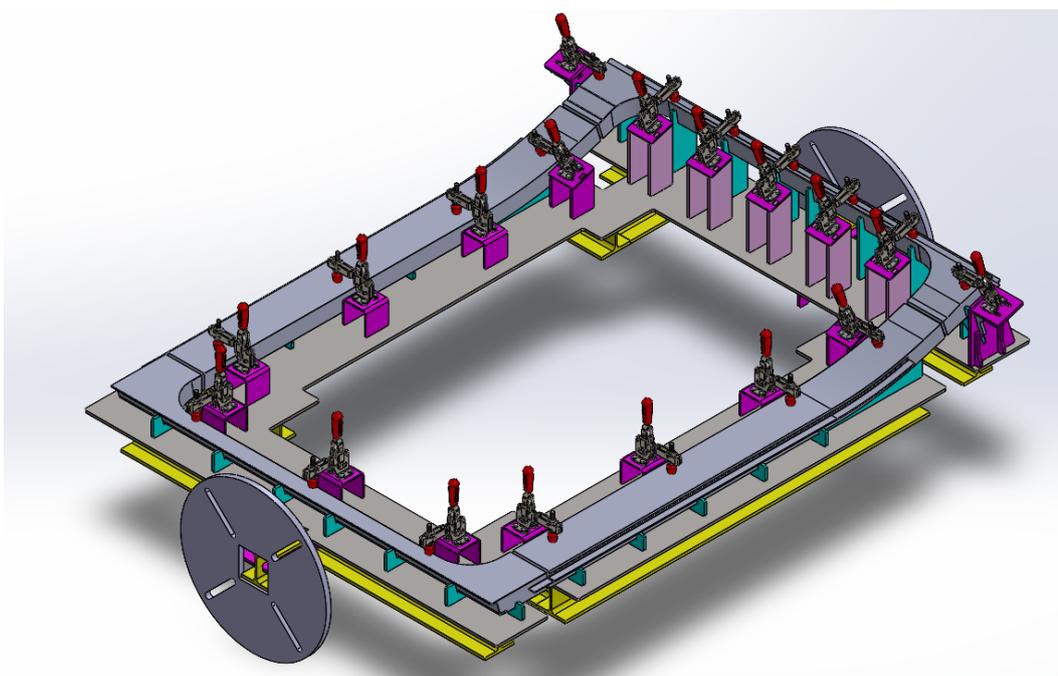
**Figure 3.23:** Disco di collegamento

La lamiera base è stata tagliata al centro per ridurne il peso e sono stati applicati gli scarichi per inserire le varie saette e staffe. Questi scarichi presentano un gioco di 0,2mm per lato per permettere l'entrata dei supporti che verranno successivamente saldati sulla lamiera.



**Figure 3.24:** Lamiera base completa

La configurazione attuale della dima è la seguente:

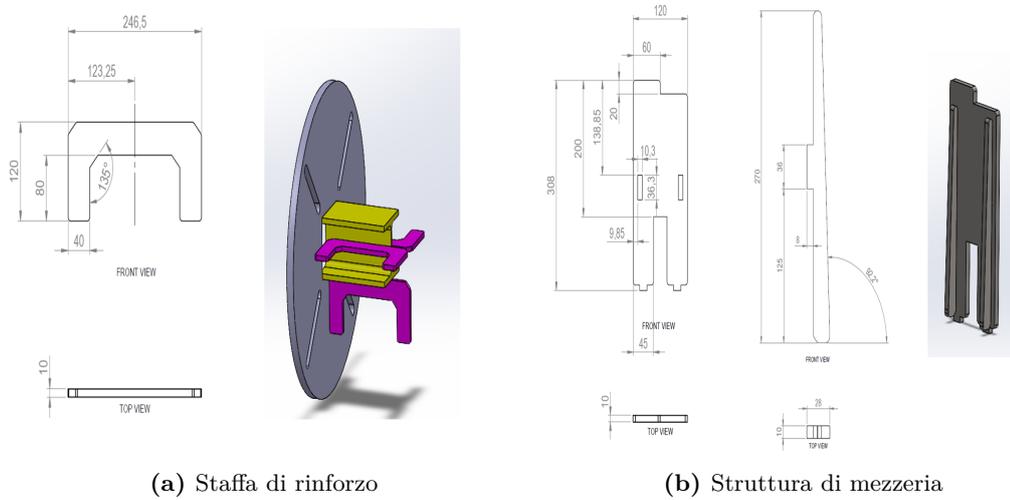


**Figure 3.25:** Quarta fase della dima

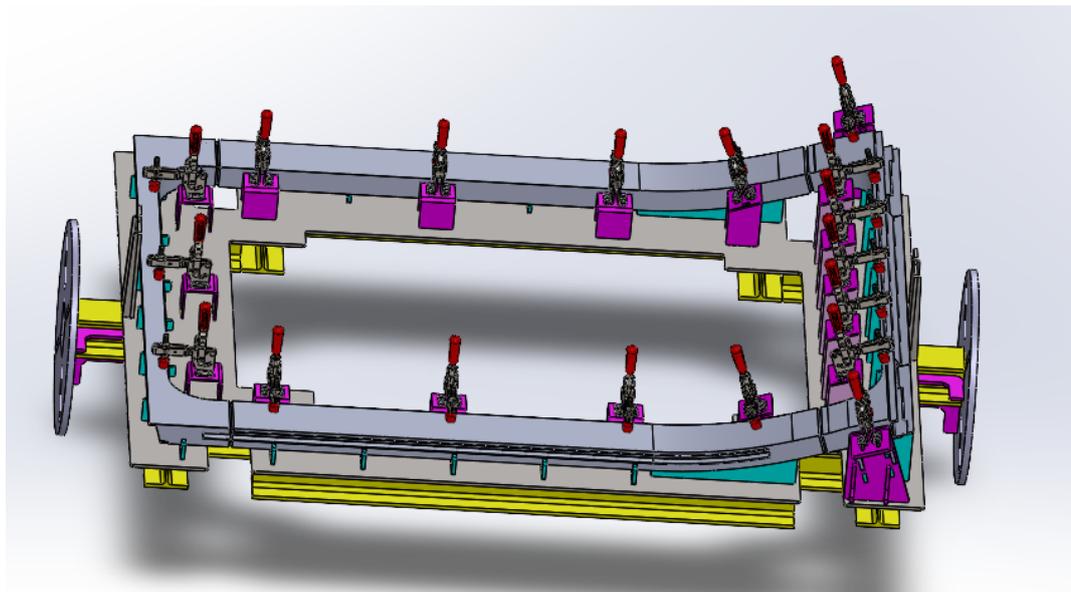
Per completare la dima sono stati inseriti altri due elementi: delle staffe di rinforzo sul disco di collegamento con l'HEB e una struttura che segna la mezzeria della maschera dalla quale prendere le misure per controllare che i supporti siano disposti correttamente.

Le staffe di rinforzo sono state progettate in acciaio S235JR con spessore 10 mm e sono a forma di C in modo tale da collegarsi sia col disco sia con il profilo a T sui quali sono state saldate tramite una saldatura z3. La struttura di mezzeria, anch'essa

in acciaio S235JR, è composta da una piastra verticale sulla quale viene incisa la mezzeria tramite il taglio laser e da due staffe che la supportano e che sono saldate su di essa.



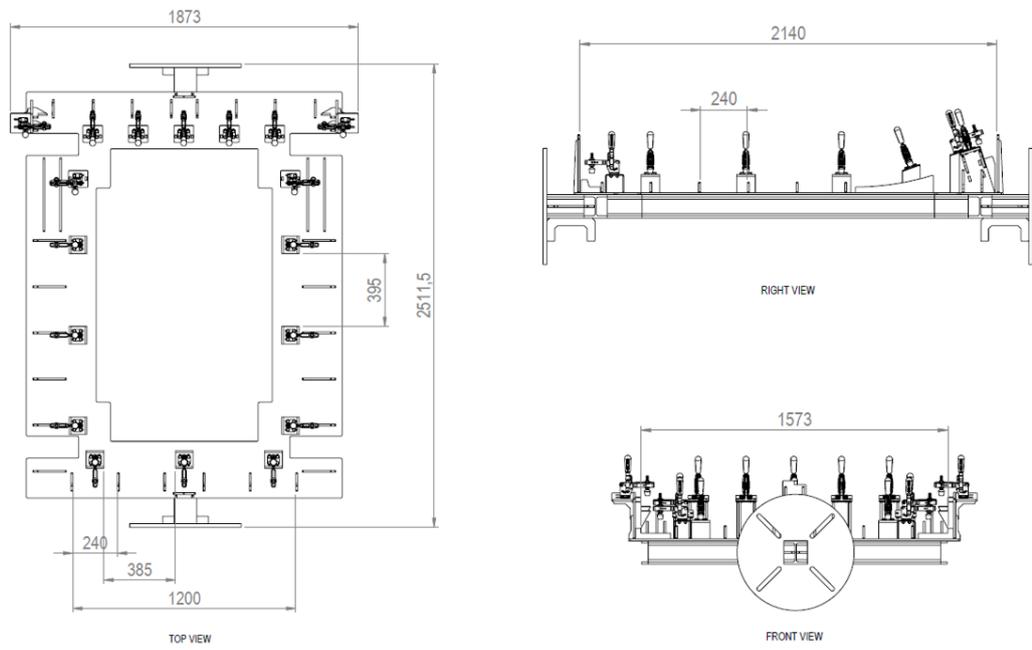
La configurazione finale della dima è la seguente:



**Figure 3.27:** Dima finale

Dopo la progettazione, si è passati alla produzione delle parti che compongono la maschera secondo il ciclo di lavoro definito. La prima fase è stata l'assemblaggio dei vari sottoassiemi, successivamente si è saldato i componenti sulla dima, poi si è effettuata la smerigliatura per eliminare le sbavature e infine si è realizzata la raddrizzatura per diminuire le deformazioni causate dalla saldatura.

Si sono inserite anche delle quote di controllo da verificare una volta saldati tutti i componenti per osservare se le distanze tra i vari particolari sono cambiate a causa delle deformazioni termiche causate dalla saldatura che possono portare ad un errato assemblaggio dell'assieme.



**Figure 3.28:** Quote di controllo per dima vano porta

## Chapter 4

# Parete di testa

La parete di testa di un treno, anche chiamata frontale o musetto, è la parte anteriore della struttura del treno, quella che si trova nella zona dell'unità di trazione. Le funzioni principali della parete di testa sono le seguenti:

- sicurezza in caso di collisione, assorbendo l'energia dell'impatto in caso di urto frontale, minimizzando il danno alla cabina e proteggendo i passeggeri grazie all'utilizzo di strutture rinforzate e materiali altoresistenti;
- aerodinamica, riducendo la resistenza all'aria e i consumi energetici;
- sicurezza e comfort per i passeggeri, riducendo rumori e vibrazioni;
- spazio per i dispositivi di segnalazione e attrezzature, come per esempio fari e antenne per la comunicazione.

La parete di testa per cui si è realizzata la maschera di supporto ha un peso di 239 kg ed è composta a livello macroscopico da tre sottoassiemi principali:

- la cornice, che racchiude e rinforza la parte anteriore del treno contribuendo a dare stabilità e rigidità alla struttura con un peso di 124 kg;
- il pannello, un insieme di estrusi saldati che rappresenta il corpo della parete di testa con un peso di 112 kg;
- dei piatti, che vengono saldati sopra il pannello per aumentare la resistenza del componente con un peso totale di 3 kg.

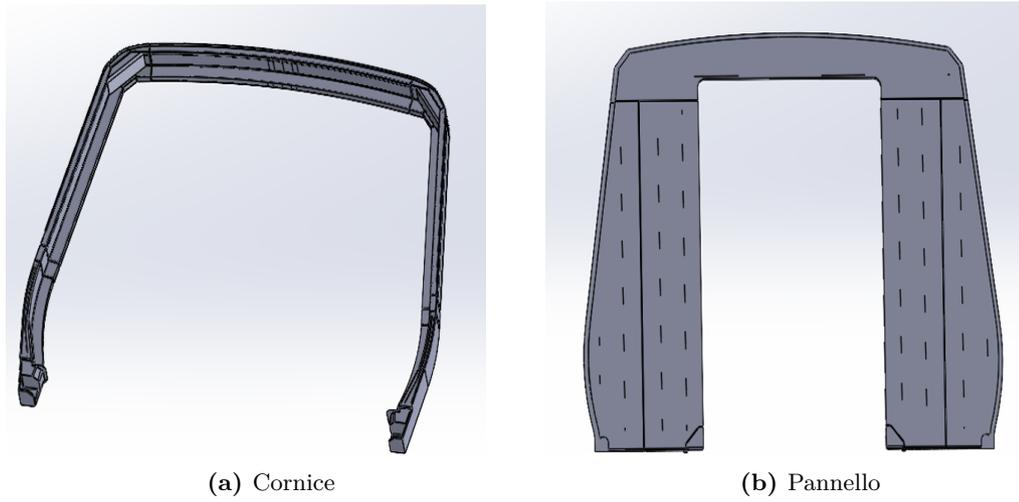


Figure 4.1: Sottoassiemi parete di testa

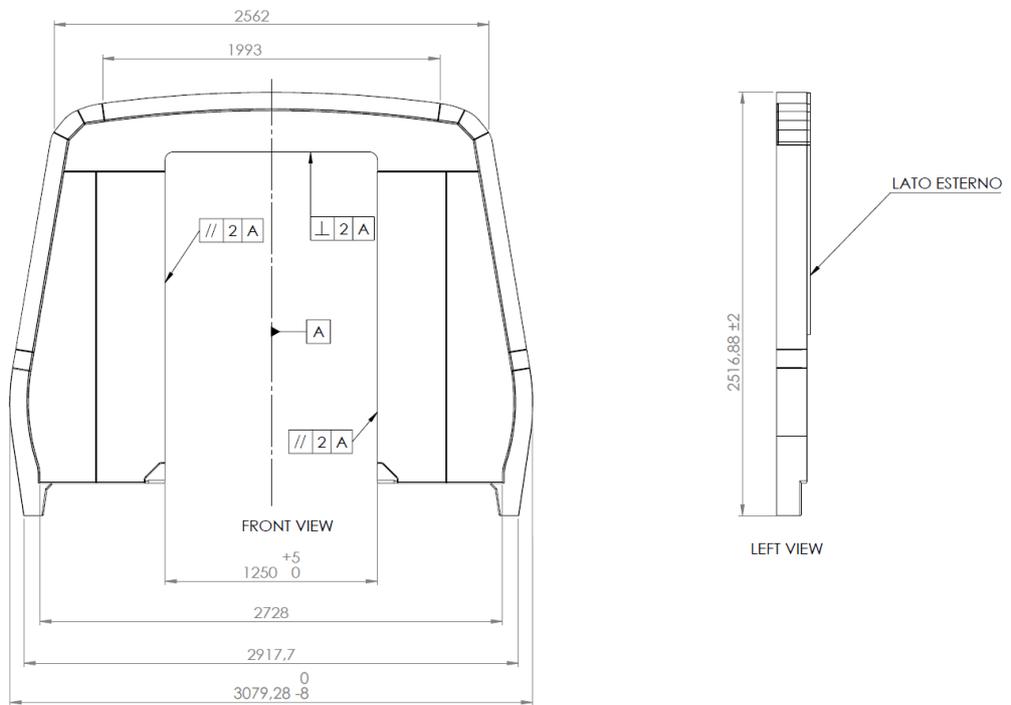


Figure 4.2: Parete di testa

## 4.1 Maschera di assemblaggio

In un primo momento, essendo la parete di testa composta da due sottoassiemi saldati tra loro, si era pensato di realizzare due differenti dime per l'assemblaggio, una per la cornice e una per il pannello, e di saldarli insieme alla fine su di una terza maschera.

Tuttavia, questa scelta avrebbe portato ad un incremento del costo di realizzazione delle maschere a causa dell'elevata quantità di acciaio e alluminio che si sarebbero usati, ad un aumento del tempo non produttivo a causa dell'utilizzo di diverse maschere e ad una maggiore probabilità di errori.

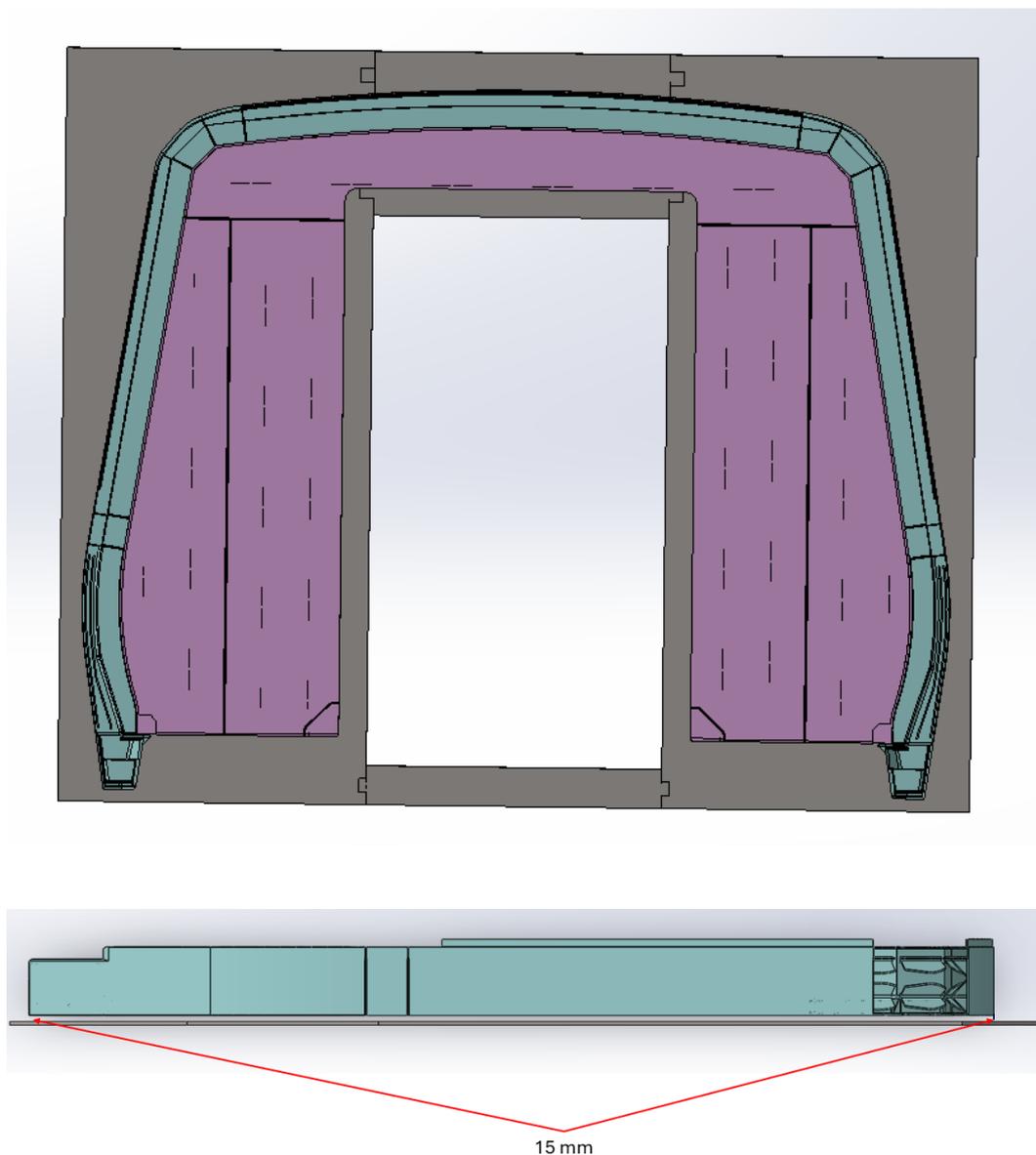
Si è scelto, quindi, di progettare una sola dima che permettesse l'assemblaggio e la saldatura sia della cornice sia del pannello nel seguente ordine:

- assemblaggio e saldatura della cornice;
- rimozione della cornice dalla dima;
- posizionamento delle parti del pannello sulla maschera con successiva saldatura;
- riposizionamento della cornice sulla dima e saldatura con il pannello;
- inserimento dei piatti e saldatura sulla parete di testa;
- rimozione della parete di testa dalla dima mediante cinghie collegate ad un carroponete a causa dell'elevato peso del pezzo.

Il musetto ha dimensioni massime, relative alla cornice, di 3083x2517 mm. A causa di questi valori elevati, la base non è composta da una sola lamiera in acciaio ma da un assieme in acciaio costituito da due lamiere laterali da 1095x2700x10mm unite tramite due lamiere da 1050x140x10 mm (quella inferiore) e 1050x588x10 mm (quella superiore).

Le due lamiere centrali presentano alle loro estremità dei piedini di grandezza 50x50mm che servono come collegamento alle lamiere laterali tramite degli appositi incastri realizzati su quest'ultime e di dimensioni 50,3x50,3 mm che permettono un piccolo gioco garantendo l'accoppiamento anche in caso di non perfetta realizzazione dei piedini dovuto ad errori della macchina di taglio laser che è dell'ordine delle decine di millimetri.

Si ottiene, così, una struttura di base di 3240x2700x10 mm in acciaio S235JR dal peso di 478 kg che ha la seguente forma:

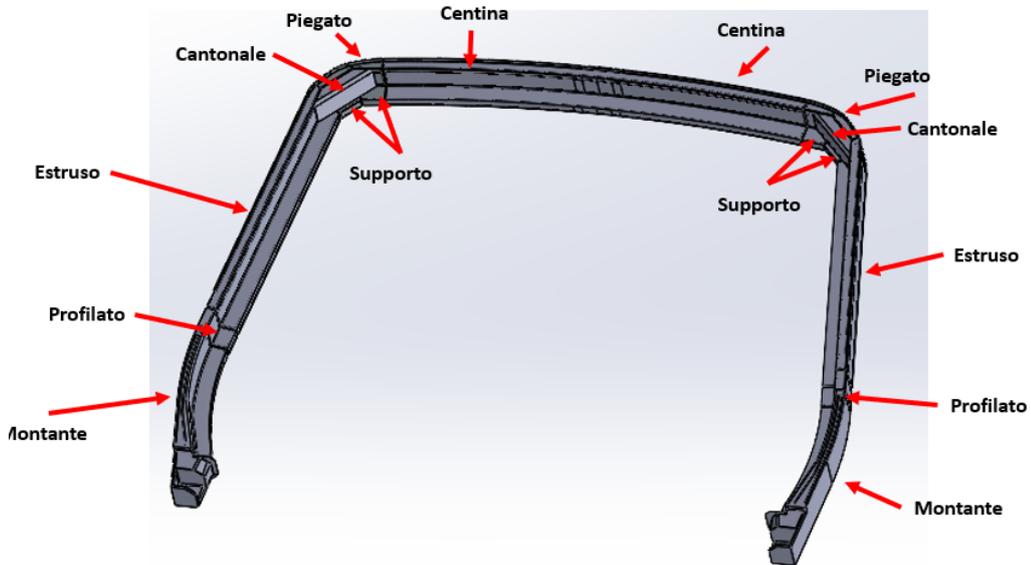


**Figure 4.3:** Struttura di base

Successivamente si sono progettate le staffe e i blocchetti in acciaio inox AISI 304 per tenere sollevata la parete di testa di 15mm rispetto alla struttura di base in acciaio poichè il musetto è in alluminio e se si utilizzassero delle saette di contatto in acciaio al carbonio si rischierebbe di avere corrosione galvanica.

#### 4.1.1 Supporti per la cornice

Le parti che compongono la cornice sono le seguenti:



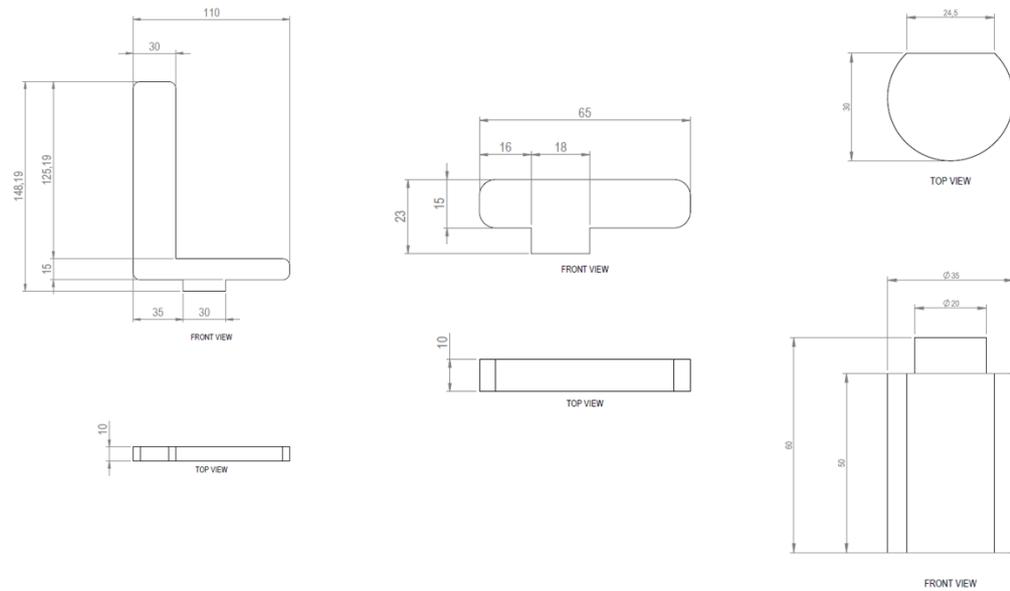
**Figure 4.4:** Componenti cornice

Nella zona dei montanti, degli estrusi e della centina sono state progettate delle staffe ad L disposte ad un certa distanza le une dalle altre in modo tale da fungere come appoggio per il posizionamento di questi particolari che, essendo molto lunghi, non hanno bisogno di altri elementi di sostegno più precisi.

Le staffe presentano i piedini da inserire negli scarichi della base per poterli saldare e rendere stabili. Inoltre, sono state posizionate 0,2 mm più internamente rispetto alle dimensioni nominali della cornice in modo tale da comprimere la struttura ed evitare dilatazioni causate dalla saldatura.

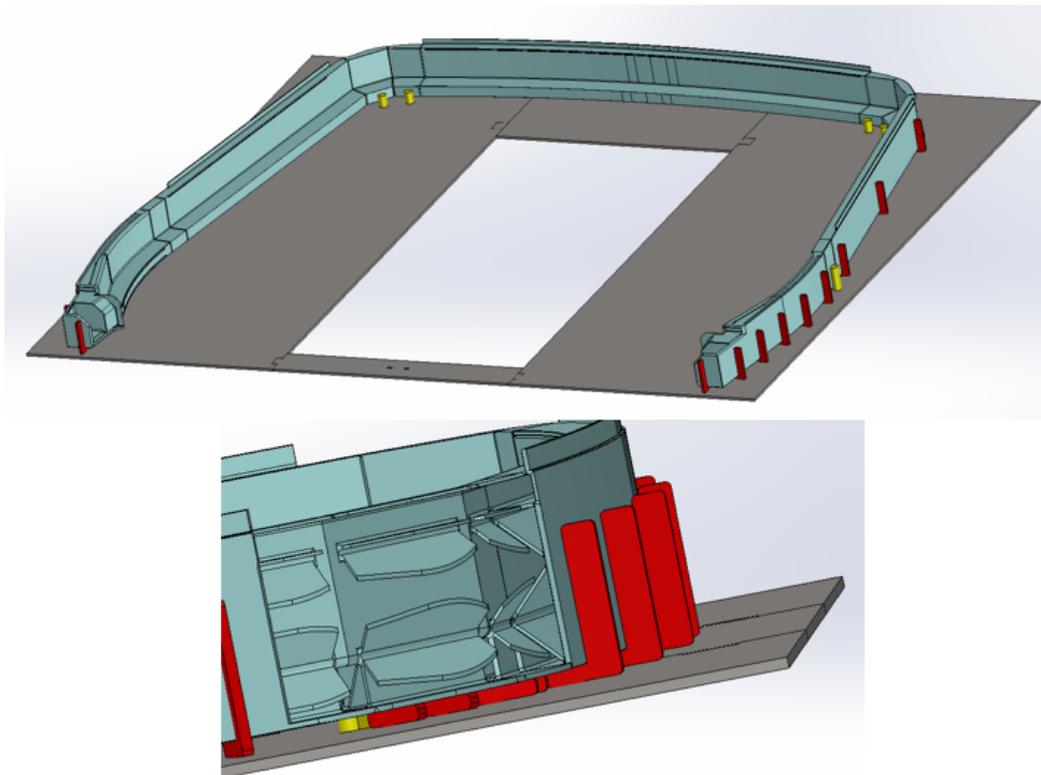
I profilati e i supporti necessitano, invece, una maggiore attenzione poichè sono di ridotte dimensioni rispetto agli altri pezzi e richiedono delle saldatura da ambo i lati che possono causare deformazioni.

Per poterli posizionare in altezza, si sono usate delle staffe rettangolari con gli spigoli raccordati, mentre latitudinalmente si sono utilizzati dei perni di battuta fresati su una faccia come riferimento. I perni hanno un diametro di 35mm e sono lunghi 50 mm nella zona dei supporti e posizionati nella parte interna della cornice mentre sono lunghi 100 mm nella zona dei profilati e posizionati all'esterno per bilanciare e recuperare eventuali errori di posizionamento.



**Figure 4.5:** Staffe e perno per cornice

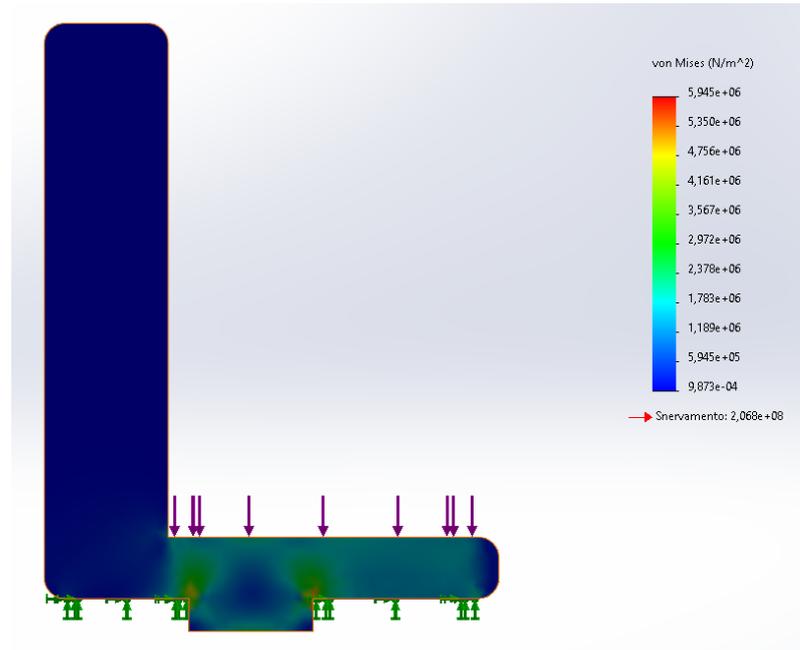
La configurazione attuale della dima è la seguente:



**Figure 4.6:** Dima con staffe per la cornice

Per controllare che le staffe non cedano causa del peso, si effettua un'analisi statica come fatto anche nel capitolo precedente con il vano porta. Le staffe sono soggette ad una pressione data dal rapporto tra la forza della cornice ( prodotto di massa per accelerazione di gravità) e l'area di contatto. Tale pressione agisce sulla faccia superiore delle delle staffe ad L provocando una tensione che viene rapportata

a quella di snervamento. Se la tensione di snervamento è superiore le staffe sono verificate.



**Figure 4.7:** Analisi statica staffa ad L per cornice

Dalla tabella si nota che il componente non cede.

Dopo aver realizzato le staffe per posizionare la cornice, bisogna progettare dei supporti per poter schiacciare e saldare i vari particolari cercando di minimizzare le deformazioni. L'idea di partenza è stata quella di utilizzare il distacco per svolgere la funzione, come fatto anche nel vano porta. Tuttavia, a causa del peso del distacco e di uno spessore della parte superiore della cornice pari a 50 mm, si è deciso di optare per realizzare un supporto più piccolo che garantisca un maggiore appoggio sulla superficie.

La scelta è quindi ricaduta sulla realizzazione di un sottogruppo di lamiere saldate che sono in parte in acciaio, per i particolari non in contatto con la cornice, e in parte in alluminio, per i pezzi a contatto.

La distanza minima laterale tra la lamiera di base e la parete di testa è di 89,4mm mentre l'altezza della cornice è di 180mm, ai quali bisogna aggiungere i 15mm gioco per non toccare la lamiera di base per un totale di 195mm.

Per lasciare un po' di gioco rispetto al musetto e dal bordo della lamiera, la base del sottogruppo è costituita da due staffe di larghezza 80 mm, altezza 203 mm e spessore 10 mm, smussate nella parte superiore e con i piedini per essere saldate alla base. Vengono unite tra loro tramite una terza staffa orizzontale 80x60x10mm posizionata ad un'altezza di 175 mm che presenta un foro centrale di diametro 12,5mm per permettere il passaggio di una vite M12 e due piedini laterali per la saldatura sugli scarichi realizzati sulle staffe. Per aumentare l'altezza del supporto si è progettato un blocchetto 55x50x10 saldato sulla staffa centrale e sul quale viene inserito una focella con smusso, un componente commerciale, che può essere spostato e bloccato

longitudinalmente tramite un bullone costituito da una vite a testa esagonale ISO 4017 8.8 M12x90 e da un dado M12 ISO4032. Per evitare che la vite andasse a sbattere sulla forcella si è inserito un tondo di spessore 10 mm e diametro interno 12,5 mm. Infine, per schiacciare la cornice si è saldati sulla forcella due piccoli blocchetti in alluminio, chiamati in gergo contatti.

Il sottogruppo è così realizzato:

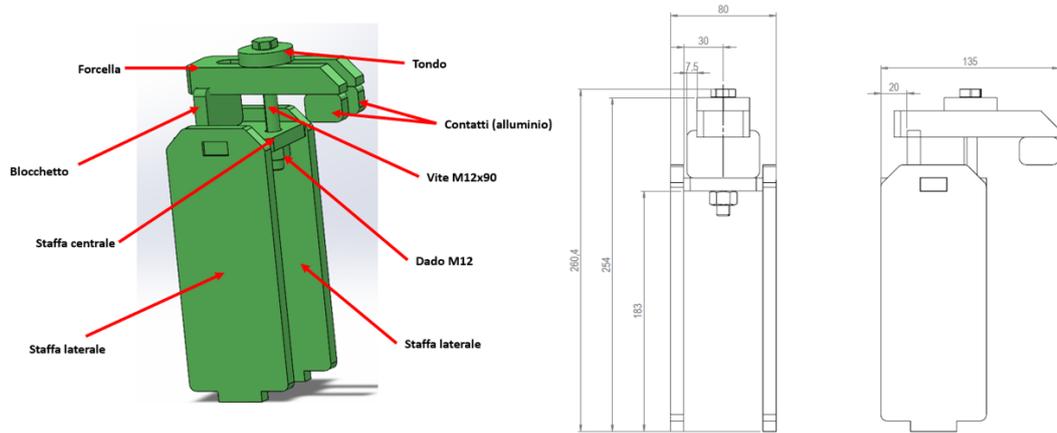
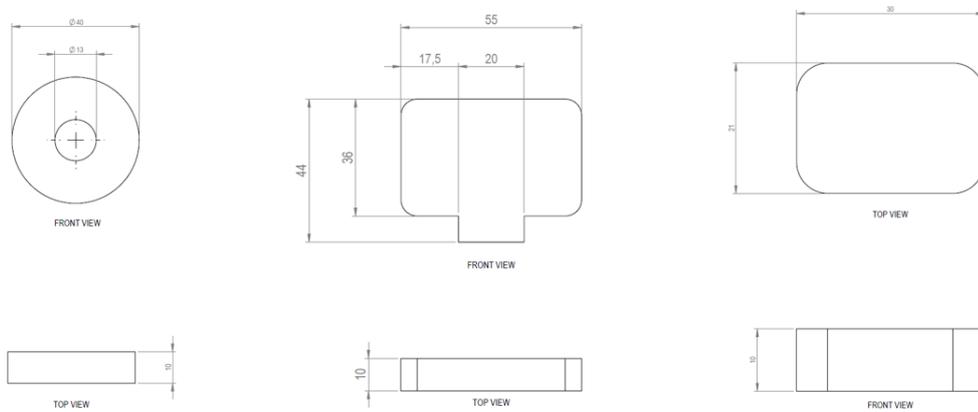
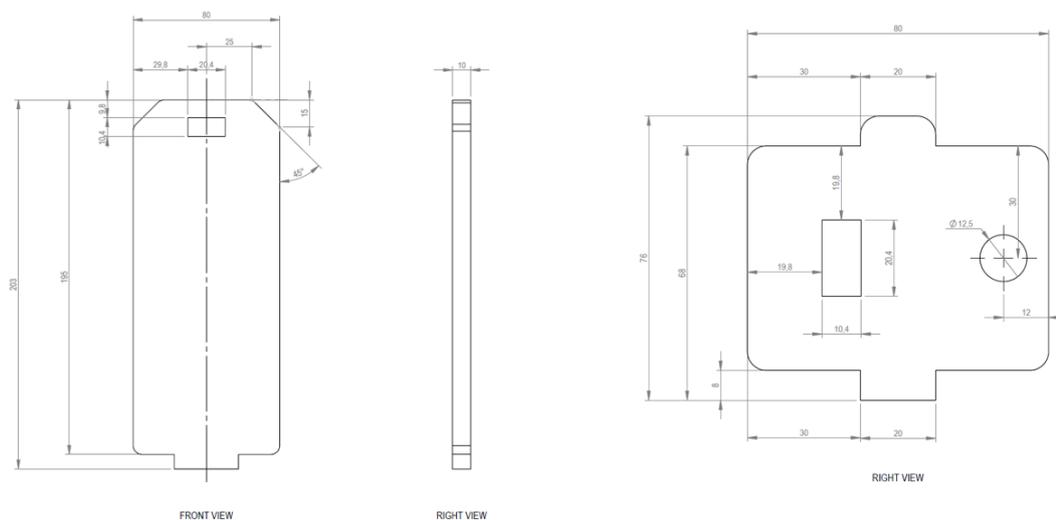


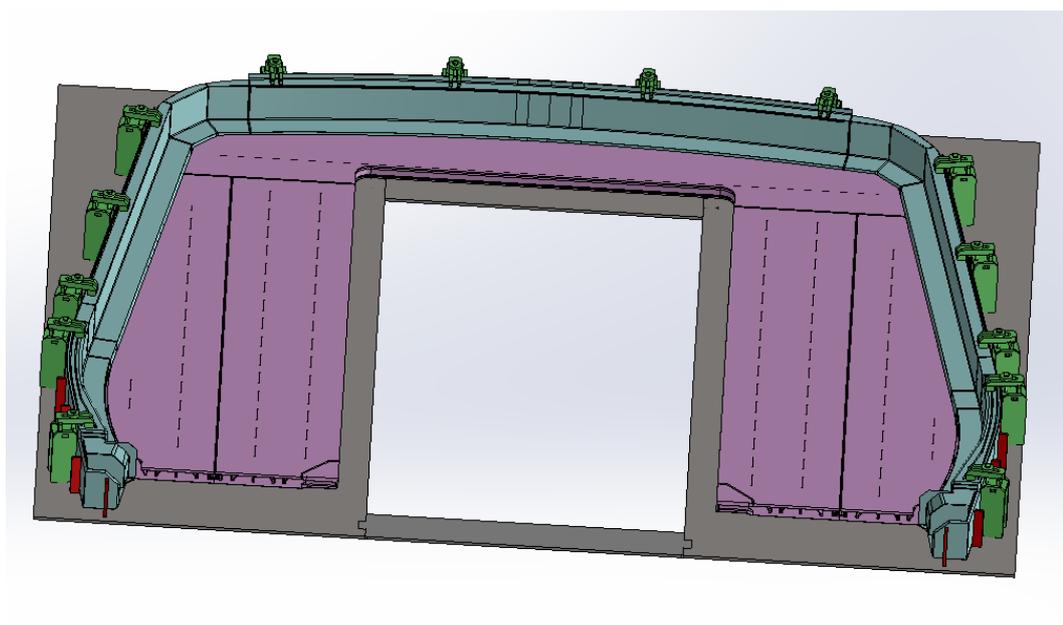
Figure 4.8: Sottogruppo per cornice





**Figure 4.9:** Messa in tavola sottogruppo per cornice

La forma della dima è la seguente:



**Figure 4.10:** Dima con supporti cornice

#### 4.1.2 Supporti per il pannello

Il pannello è composto dai seguenti particolari saldati:

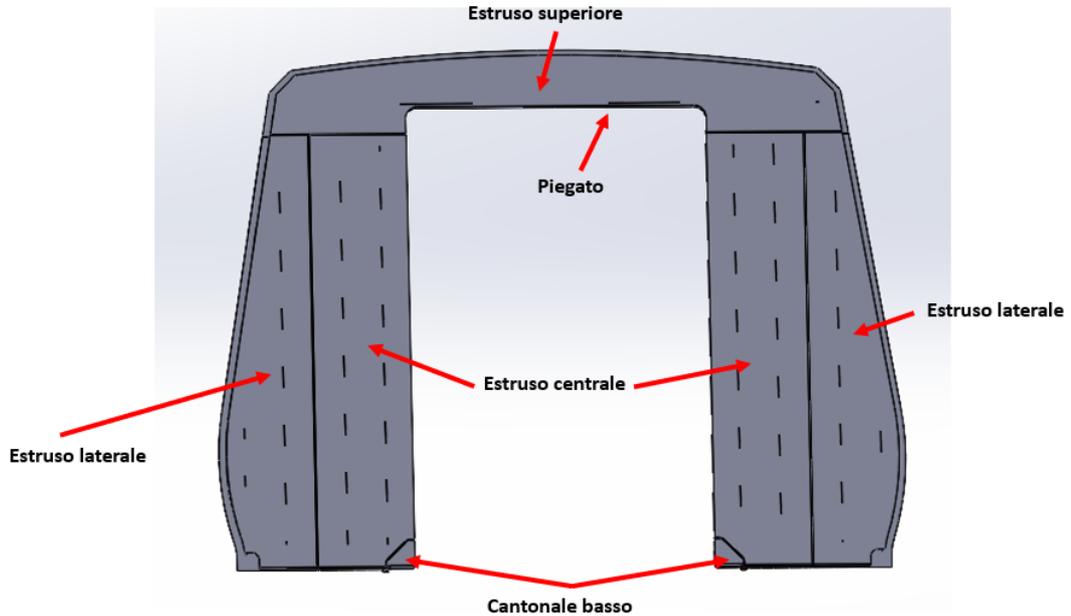


Figure 4.11: Particolari pannello

Per la realizzazione dei supporti del pannello bisogna tenere conto che l'estruso laterale e l'estruso centrale vengono saldati prima di essere inseriti sulla maschera tramite un robot di saldatura CUKA che realizza una saldatura a V spianata e, quindi, diventano un unico sottoassieme che poi dovrà essere assemblato e saldato agli altri particolari.

Le staffe progettate per il pannello, essendo composte esclusivamente da estrusi piani, sono delle classiche staffe a L di diversa lunghezza per posizionare il pezzo, accompagnate da supporti dentati per seguire l'andamento dell'estruso.

Le staffe a L sono state posizionate sul lato interno del pannello e spostate di 0,2 mm rispetto alla posizione nominale degli estrusi, al fine di ridurre la distanza tra il pannello e la cornice, minimizzando le dilatazioni e le distorsioni causate dalla saldatura.

La prima tipologia di staffe, quelle verdi, serve per posizionare il pannello nella sua larghezza e ha dimensioni pari a 220 x 63 x 10 mm; le staffe verde acqua, con dimensioni 340 x 63 x 10 mm, presentano una serie di denti per garantire un appoggio su più punti in quanto l'estruso non è mai completamente liscio e non riesce a toccare in modo continuo su tutto l'appoggio; infine, quelle viola vengono utilizzate per supportare due particolari vicini, senza necessitare di un rialzo.

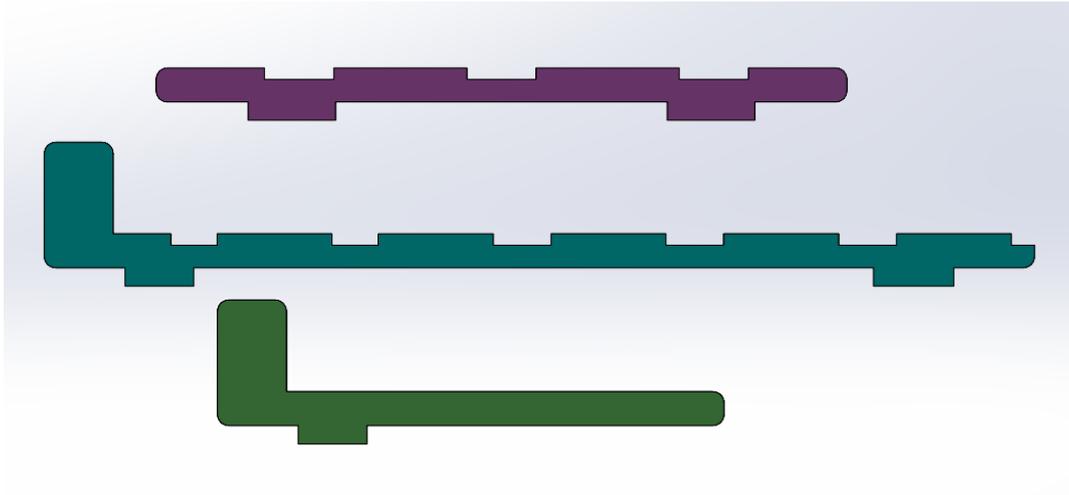


Figure 4.12: Staffe per pannello

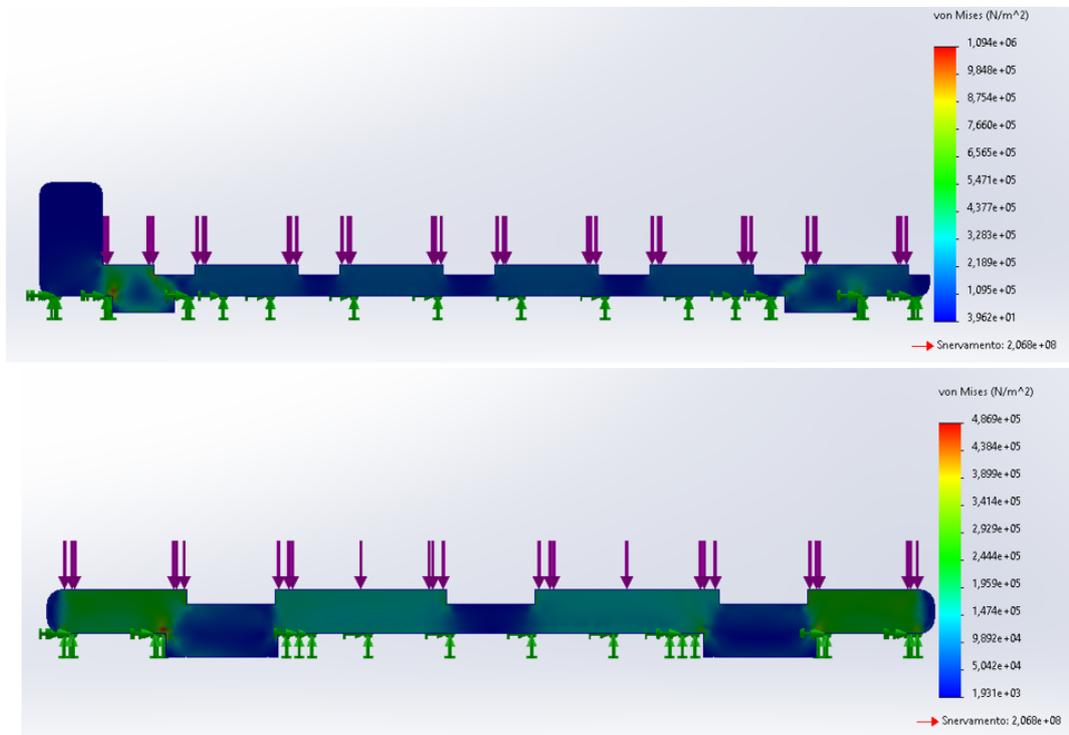


Figure 4.13: Analisi statica saette pannello

In modo analogo a quanto avvenuto per la cornice, anche per il pannello è necessario progettare dei supporti che vadano a pressare il componente in diversi punti per limitare le distorsioni dovute alla saldatura.

Seguendo quanto progettato prima, la base del supporto è costituita da due lamiere laterali 80x53x10mm smussate nella parte superiore e unite tramite saldatura ad una staffa centrale 80x60x10 mm. Su questa staffa viene saldato un blocchetto 55x43x10 mm sul quale viene inserito la forcina che viene bloccata tramite una vite ISO 4017 e un dado ISO4032. Il supporto del pannello è il seguente:

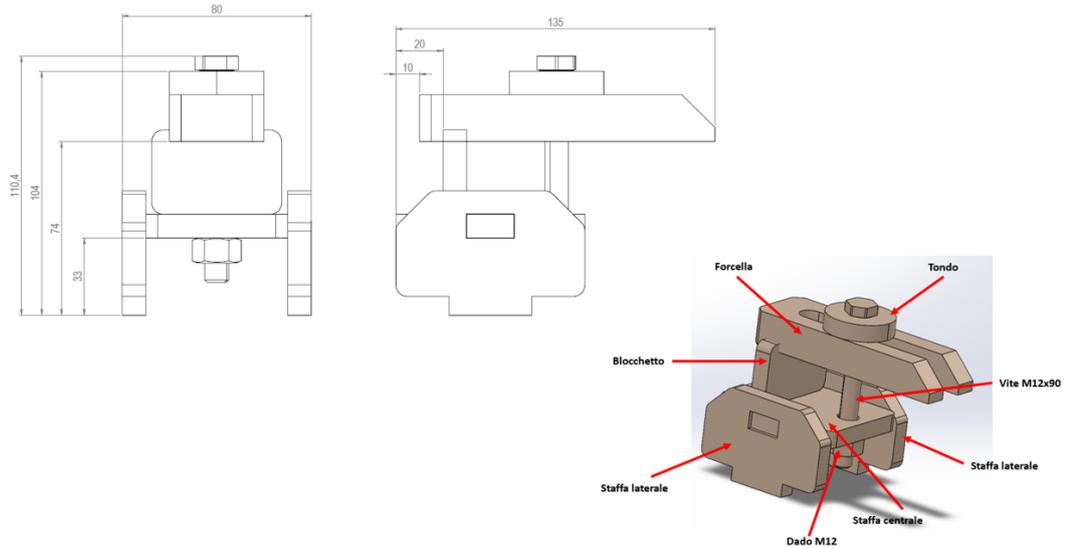


Figure 4.14: Sottogruppo di contatto per il pannello

La configurazione assunta dalla maschera è questa:

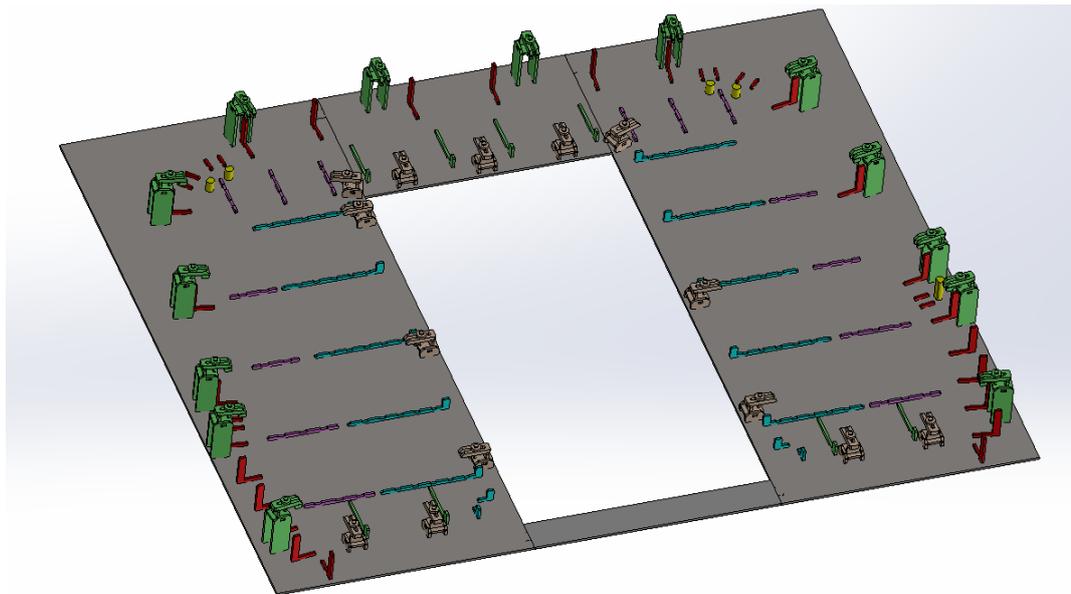


Figure 4.15: Maschera con supporti per pannello

### 4.1.3 Assemblaggio finale

Dopo aver progettato i supporti per la cornice e per il pannello, si è pensato a dei sostegni per saldare insieme i due sottoassiemi e i piatti di rinforzo. Partendo dall'esterno della cornice, è necessario realizzare una struttura con un braccio che permetta di superare la cornice e un perno che si muova verticalmente per andare a pressare la zona d'intersezione tra la cornice e il pannello.

La base di partenza per il supporto sono due staffe laterali 80x208x15 mm in acciaio raccordate per evitare spigoli vivi e distanti 16 mm. L'altezza di 208 mm è

stata scelta per avere una base che fosse già al di sopra del livello della cornice e poter utilizzare una staffa centrale non troppo alta che avrebbe rischiato di flettersi a causa del peso che avrebbe dovuto successivamente reggere. La lamiera centrale è in acciaio a forma di L alta 200 mm, lunga 210 mm, larga 40 mm e spessa 15 mm. E' posizionata al centralmente rispetto alle staffe laterali, con un gioco di 0,5 mm per lato, e ha due fori di diametro 20,5 mm che permettono il collegamento alle staffe laterali mediante due viti passanti a testa esagonale ISO 4017 M20x60 8.8.

Sull'estremità della staffa centrale viene saldato un tondo forato commerciale in acciaio con diametro esterno di 100 mm e diametro interno di 50 mm. Nel tondo viene fatto passare un perno di 50 mm e lungo 212 mm con una terminazione di 16 mm e lunga 20 mm che lo collega ad un pressatore.

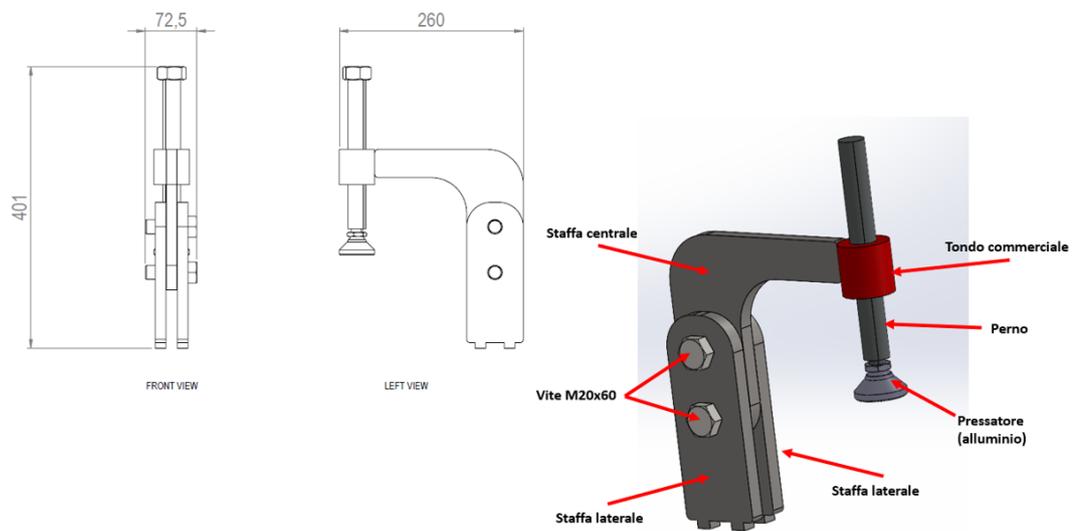


Figure 4.16: Supporto per pressare

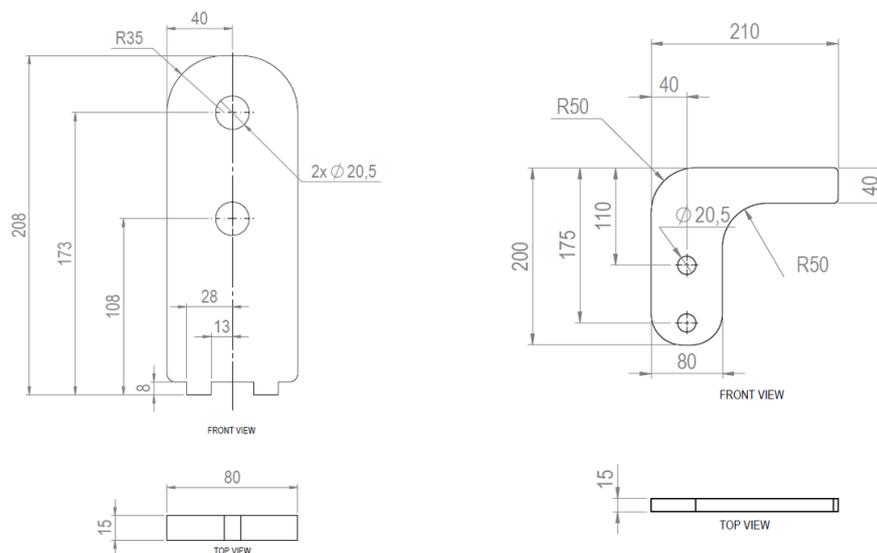
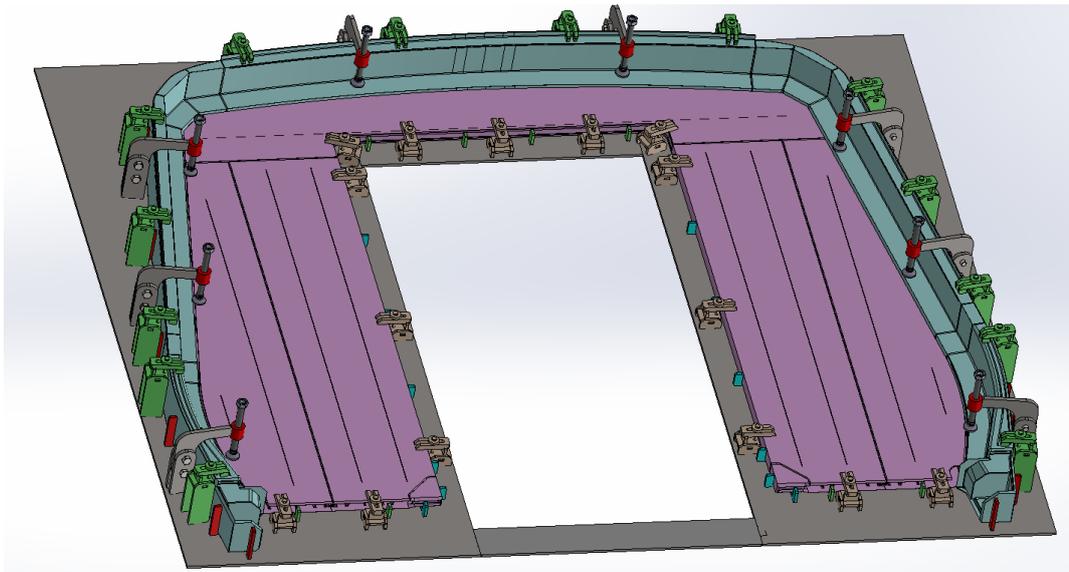


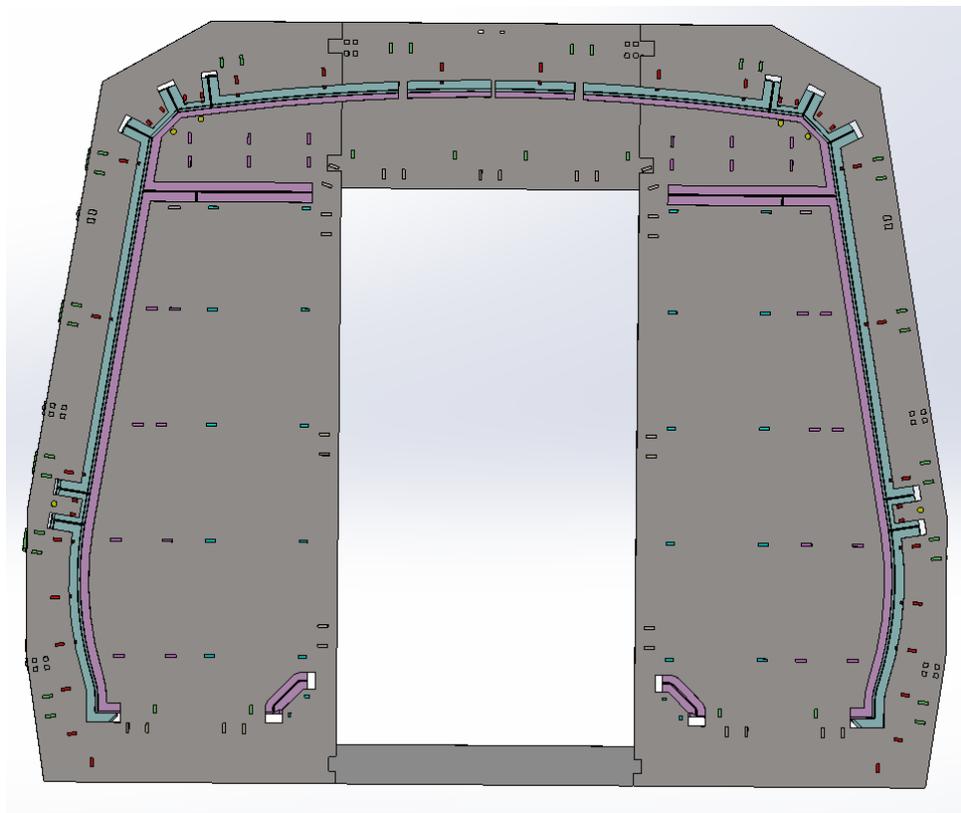
Figure 4.17: Messa in tavola componenti supporto per pressare

La dima diventa così:



**Figure 4.18:** Maschera completa di supporti

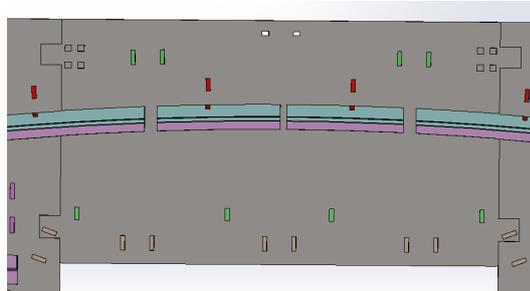
Una volta creati tutti i sostegni necessari per bloccare il musetto, sono stati realizzati gli scarichi per saldare le strutture sulla lamiera di base e le aperture su quest'ultima per permettere agli operai di saldare i vari particolari in modo continuo e in piano. Inoltre, la lamiera di base è stata accorciata lateralmente per seguire il profilo della parete di testa e ridurne il peso.



**Figure 4.19:** Scarichi per la maschera

Gli scarichi hanno una dimensione maggiorata di 0,15 mm per lato rispetto al valore nominale del piedino del componente che ci viene inserito per farlo entrare senza difficoltà e bloccarlo tramite un punto di saldatura. Le aperture sulla lamiera di base, invece, hanno una larghezza di 70 mm, 35 mm per lato rispetto alla mezzzeria della saldatura, in accordo alla normativa UNI EN 15085 che richiede uno spazio di almeno 50 mm per la saldatura di componenti ferroviari o metropolitani tramite l'utilizzo di un cannello.

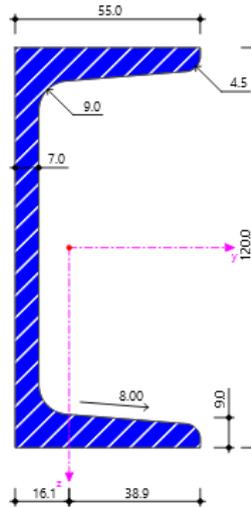
Si può notare che nella zona superiore della lamiera, quella che unisce le due parti laterali tramite due incastri per lato, non si può effettuare una saldatura totale del pezzo in dima a causa di tre piccole strisce verticali. La motivazione dietro tale scelta è di relizzare un estruso singolo per avere una maggiore resistenza della struttura a livello generale rispetto a quella che si otterrebbe con due lamiere non collegate tra loro. Ciò implica che, una volta saldato il componente e sollevato dalla dima, la parte restante di saldatura verrà effettuata al di fuori della maschera.



**Figure 4.20:** Raccordi verticali

Il passo successivo nella progettazione della maschera è la realizzazione di una struttura in acciaio saldata alla lamiera di base che la sorregga e si colleghi mediante un disco d'interfaccia ai girevoli che permettono alla dima di ruotare.

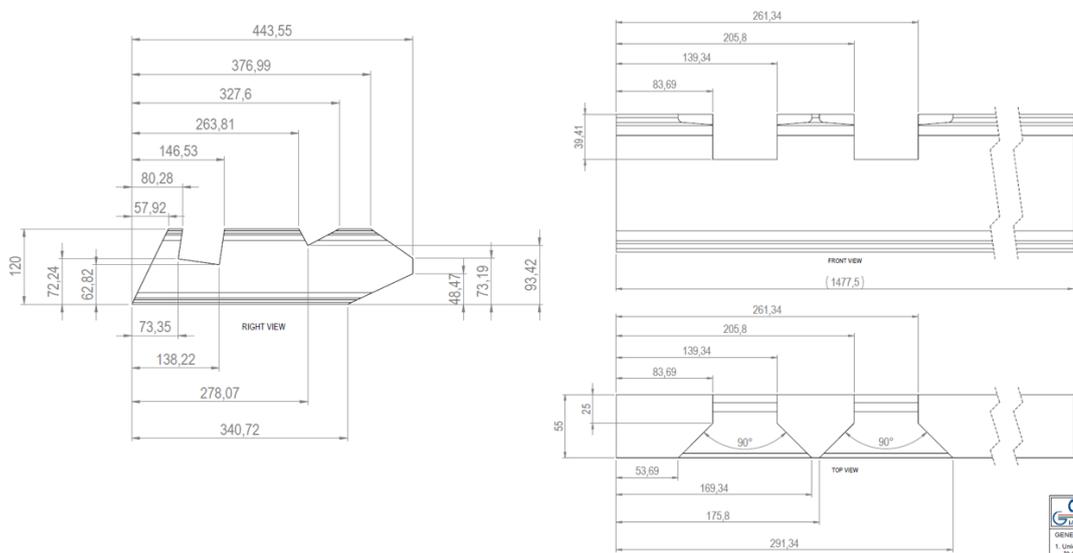
Differentemente da quanto accaduto per il vano porta, la struttura di supporto è stata creata con l'utilizzo di travi UPN 120, travi che hanno un profilo a "U" e che sono molto utilizzate nelle strutture industriali per la realizzazione di supporti e strutture portanti. La scelta di usare gli UPN è dovuta al fatto che il telaio essendo sollecitato principalmente in una sola direzione e non richiedendo grosse prestazioni strutturali, rende il profilo UPN sufficiente ed economicamente meno costoso.



**Figure 4.21:** Profilo UPN 120

Rispetto al vano, l'architettura è più difficile e complessa a causa delle maggiori dimensioni della parete di testa, della presenza delle aperture longitudinali sulla lamiera per la saldatura che non devono essere ostacolate dalla presenza degli UPN e del fatto che la lamiera non è rettangolare ma segue il profilo del musetto.

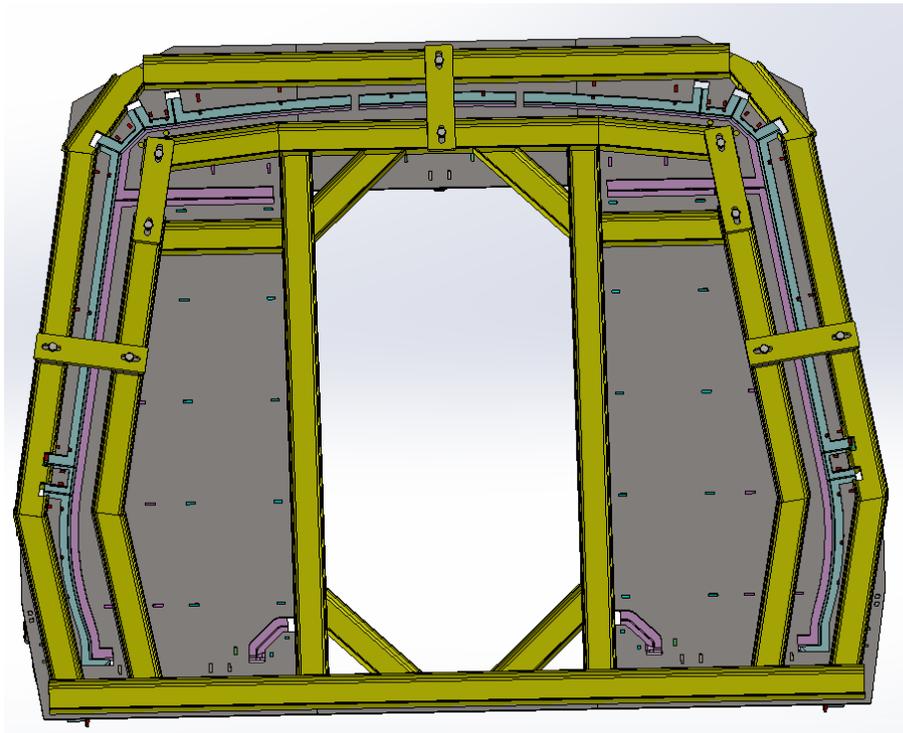
Questo comporta che nella zona dei supporti, dove ci sono tre tipologie diverse di saldatura, e in quella dei montanti, i profili utilizzati, oltre ad essere tagliati alla lunghezza richiesta tramite il taglio seghetto, subiscono anche un trattamento di fresatura per evitare che si sovrappongano alla zona di saldatura.



**Figure 4.22:** Esempio UPN fresati

Come si può notare dal disegno, per realizzare i profilati UPN fresati sono state definite le quote a partire da un'origine, che in questo caso è il punto in basso a sinistra, poichè la fresa è a controllo numerico e necessita di dati a partire da un riferimento per realizzare la lavorazione.

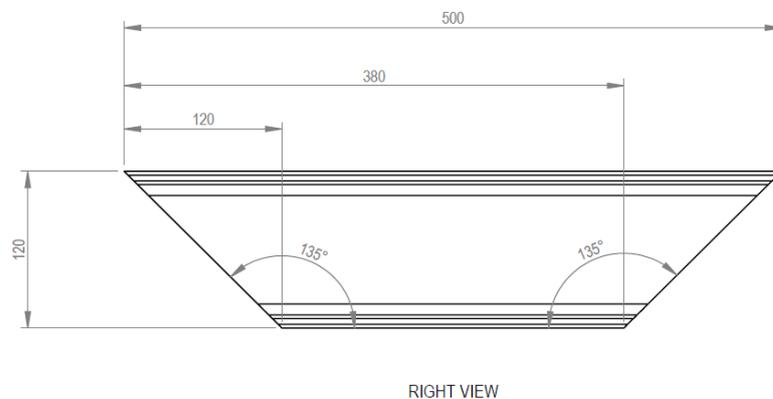
La struttura di rinforzo ha la seguente configurazione:



**Figure 4.23:** Struttura di supporto con UPN

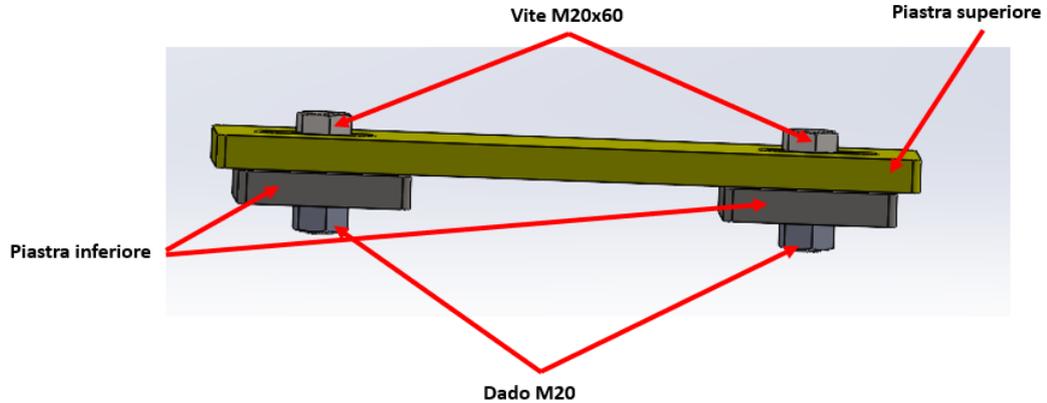
Come si può notare dal modello 3D, la struttura di supporto è composta da un telaio esterno che segue il perimetro della maschera e che serve a supportare la cornice, e da un telaio interno che percorre la zona del pannello. Per rendere il telaio più resistente si sono introdotte due tipologie di rinforzi:

- quattro UPN inclinati di  $45^\circ$  che collegano le travi orizzontali inferiore e superiore con le travi laterali e che fungono da fazzoletto di rinforzo per la struttura;

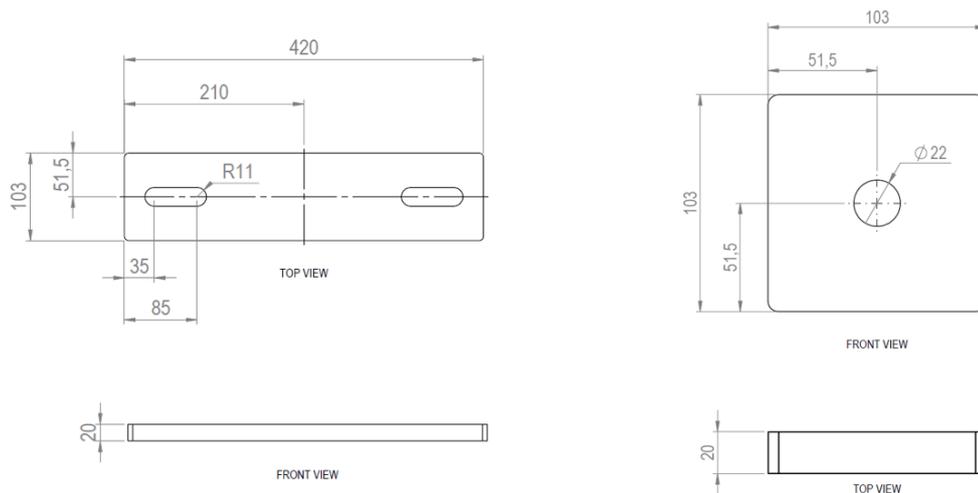


**Figure 4.24:** UPN di rinforzo

- delle piastre di supporto tra il telaio esterno e quello interno realizzate mediante due lamiere spesse 20 mm asolate e collegate con una vite ISO 4017 M20x60 e un dado ISO 4032 M20.



**Figure 4.25:** Piastra di supporto



**Figure 4.26:** Componenti piastra di supporto

La struttura viene, infine, unita tramite una saldatura a tratti Z5.

La fase finale della progettazione della dima consiste nella realizzazione di un' interfaccia che permetta il collegamento della struttura in acciaio di UPN con il girevole che fa ruotare la dima e di un sottoassieme che funga da mezzeria della maschera dal quale partono le misure per controllare che il componente rispetti le dimensioni del disegno.

Per quanto concerne l'interfaccia col girevole, questa è realizzata mediante la saldatura di un profilo UPN 120 con un disco in acciaio dal diametro di 600 mm con uno scasso rettangolare al suo centro che permette la saldatura dell' UPN e con quattro asole che permettono il collegamento con la tavola rotante. Questa struttura

viene saldata, inoltre, alla struttura di sostegno con una saldatura Z5.

La mezzeria viene costruita utilizzando 3 lamiere in acciaio S235JR saldate tra di loro e spesse 10 mm.

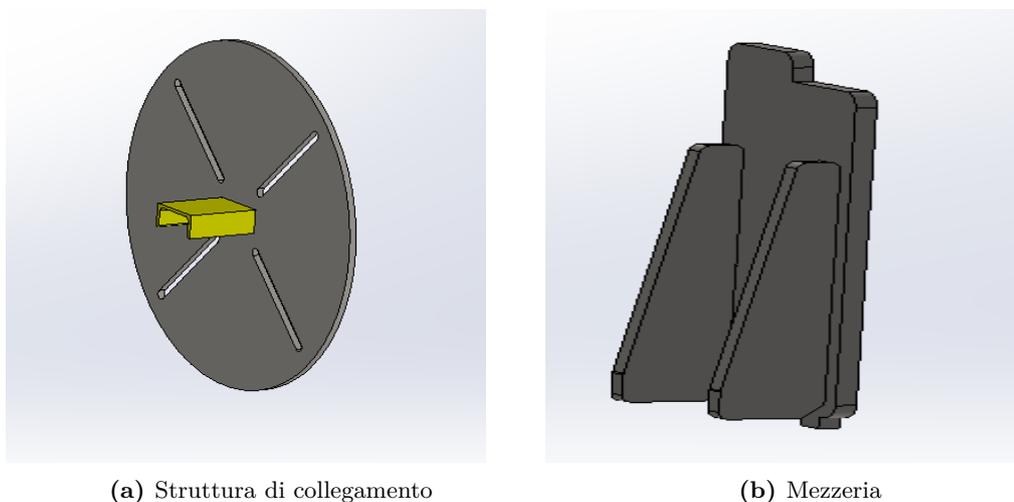


Figure 4.27: Elementi finali dima

La configurazione finale della dima è la seguente:

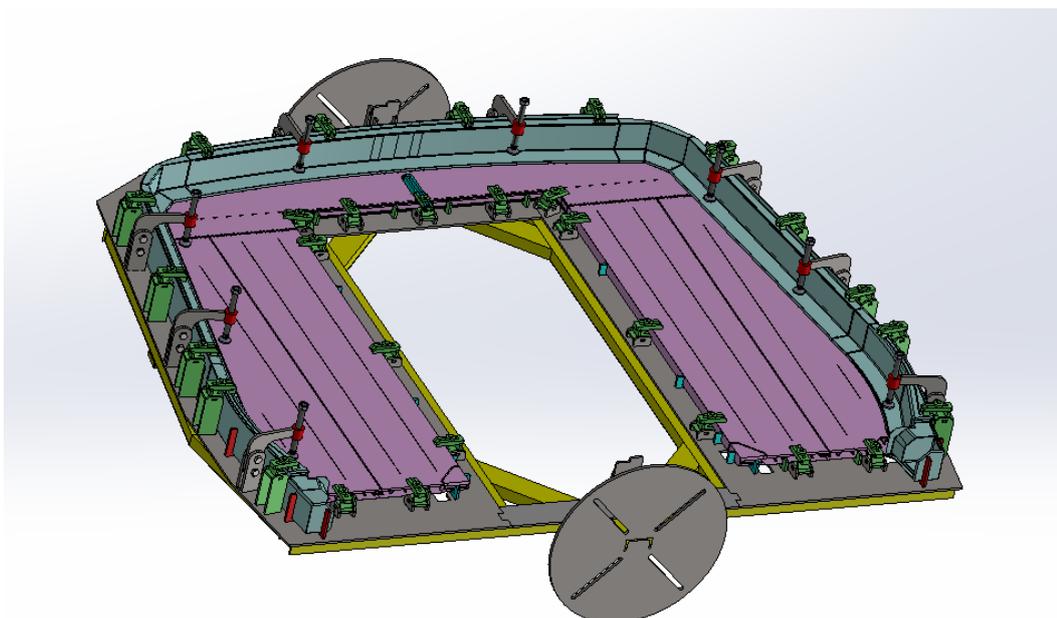


Figure 4.28: Dima parete di testa

Si sono, infine, definite le quote di controllo per verificare il corretto posizionamento dei supporti:

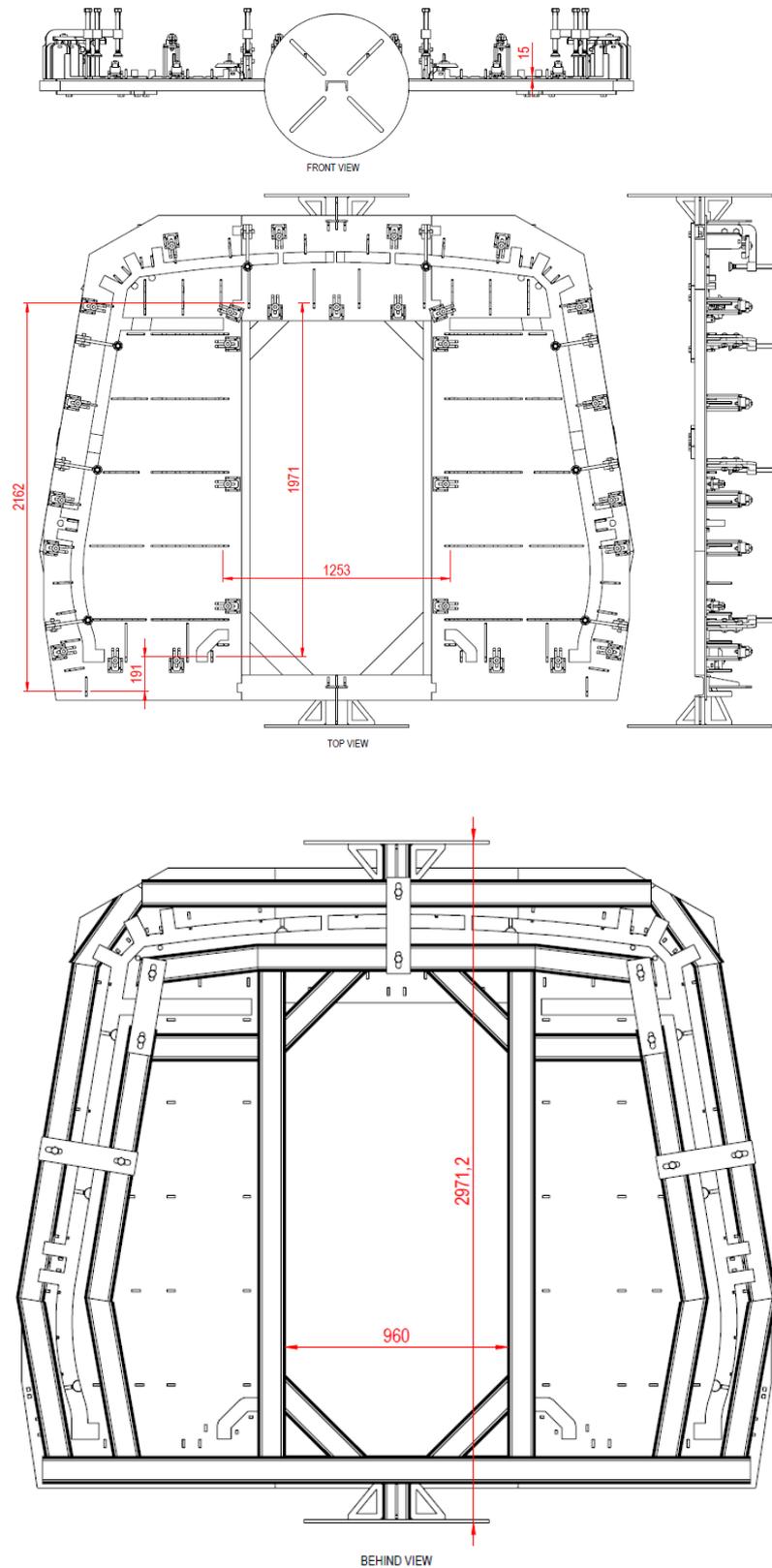
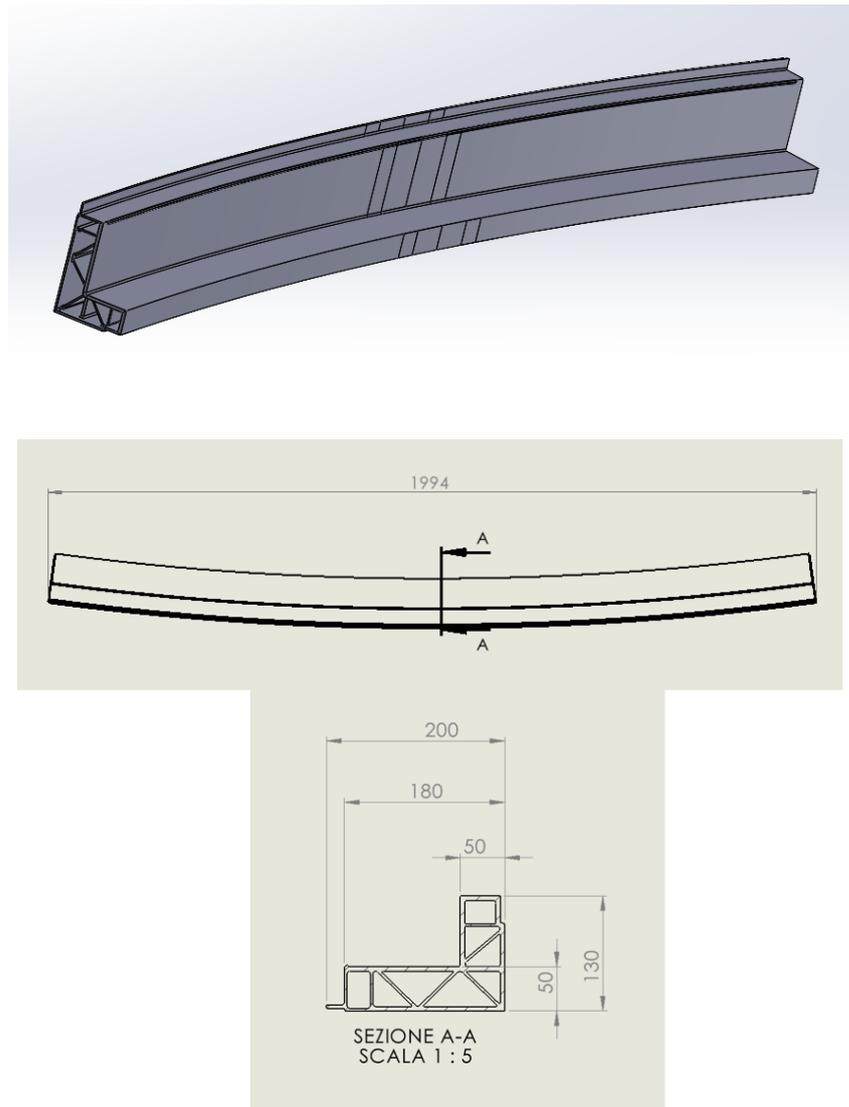


Figure 4.29: Quote di controllo dima parete di testa

## 4.2 Maschera di fresatura

La parete di testa, oltre alla realizzazione della dima di assemblaggio, ha richiesto anche la progettazione di una maschera per la fresatura della centina della cornice. Il particolare, infatti, prevede delle lavorazioni di asportazione di smussi e di materiale ottenibili soltanto tramite fresatura.

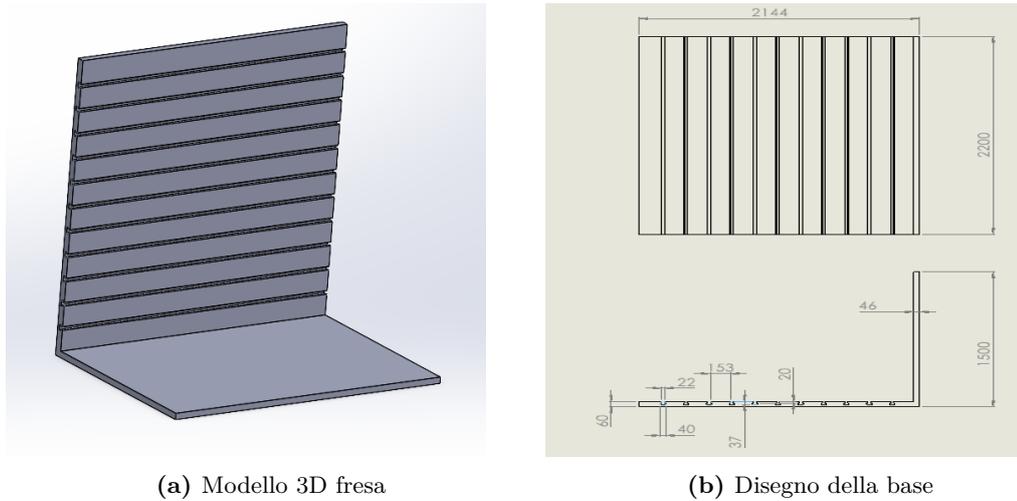
La centina, essendo un estruso di lunghezza pari a 1994 mm e con una certa inclinazione, necessita di un supporto che la blocchi permettendone la lavorazione alla macchina.



**Figure 4.30:** Centina

Per poter partire nel realizzare la dima, è stato necessario prima disegnare il modello 3D della base della fresa. Tramite l'utilizzo del metro e del calibro si sono misurate le dimensioni della fresa e si sono riportate su Solidworks. La base è un parallelepipedo di dimensioni 2200x2144x60 mm con una serie di scarichi realizzati per poter inserire le tavole portapezzo e una parete orizzontale spessa 46 mm. In

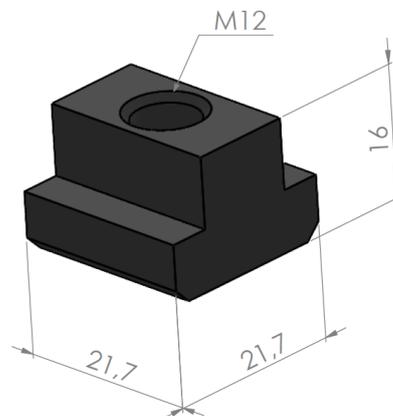
questo modello, non si è tenuto conto del materiale della fresa in quanto ininfluyente per la realizzazione della maschera di supporto.



**Figure 4.31:** Base della fresa

La centina, come si può notare, è un estruso con una sezione ad L che ha una lunghezza massima di 130 mm e per essere bloccata necessita di perni che la supportino in altezza e di posizionamento.

La base della maschera deve essere larga abbastanza da permettere la presenza di entrambe le tipologie di supporti. Il disegno iniziale della base è un rettangolo lungo 2200 mm, come la fresa, largo 250 mm e spesso 25 mm in acciaio strutturale S235JR per reggere alle sollecitazioni causate dalla lavorazione. A questo rettangolo vengono aggiunti sui lati più lunghi tre piccoli bracci 100x100 mm che presnetano dei fori di diametro 21 mm che cosentono il collegamento e il fissaggio alla fresa mediante dei tasselli a T per cava in acciaio bonificato DIN 508 commerciali scelti in base alla dimensione delle cave della fresa in cui vengono inserite le viti per bloccare la struttura. La cava presenta uno scasso di 22 mm per questo si è utilizzato un tassello largo 21,7 mm con un foro M12.



**Figure 4.32:** Tassello per cava

Il passo successivo è la progettazione delle due tipologie di sostegni della centina, che per semplicità costruttiva e produttiva, sono uguali e differiscono solamente in altezza.

I sostegni scelti sono dei perni con un diametro di 50 mm per avere una buona base di appoggio per la centina e un' altezza rispettivamente di 244 mm, per quelli che la sorreggono dal basso, e di 364 mm, per quelli che la sorreggono esternamente. Della prima tipologia ne sono stati utilizzati cinque, per avere un buon numero di punti di appoggio, mentre della seconda tipologia solo tre.

La parte finale della dima è decidere il come collegare i perni con la piastra di base. La scelta finale è ricaduta su un collegamento filettato tramite una filettatura M20. I perni, quindi, verranno lavorati al tornio per diminuirne il diametro per una lunghezza di 14 mm e per realizzare la filettatura con una piccola gola di scarico. In ugual modo, sulla piastra di base vengono realizzati gli scassi che garantiscono l'accoppiamento con i perni.

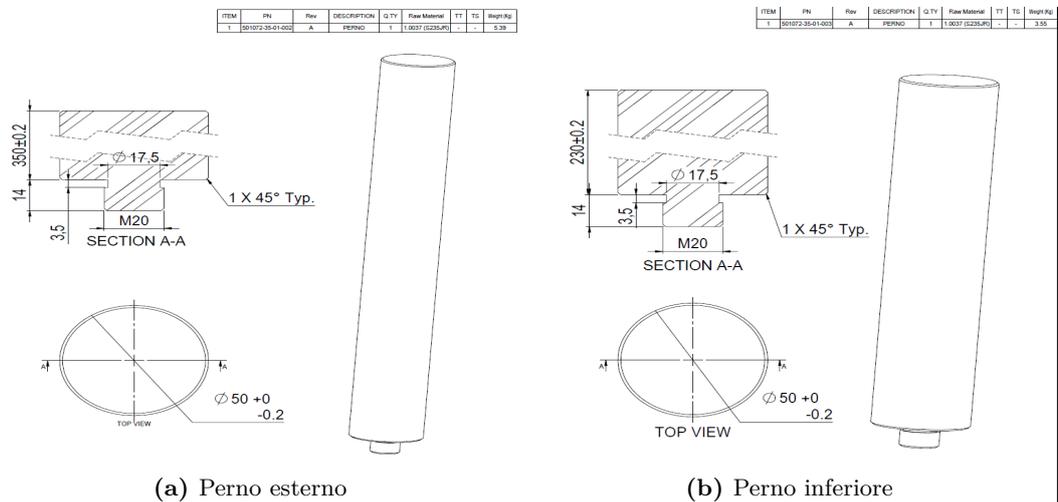


Figure 4.33: Perna di sostegno

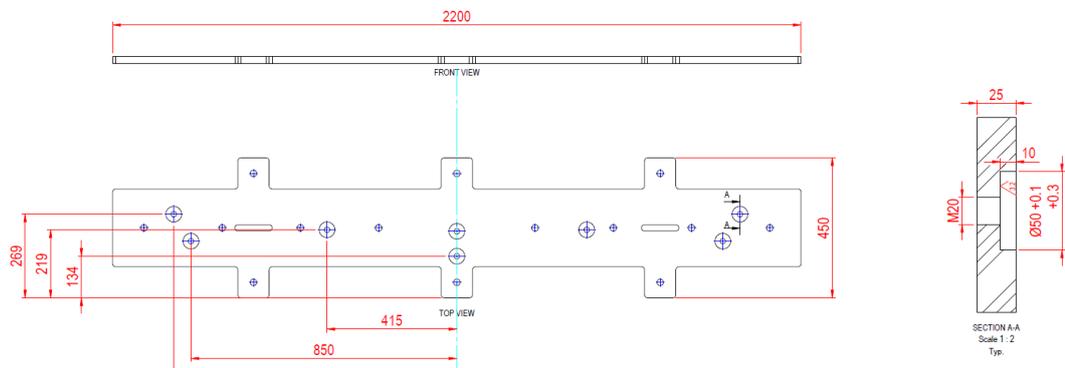


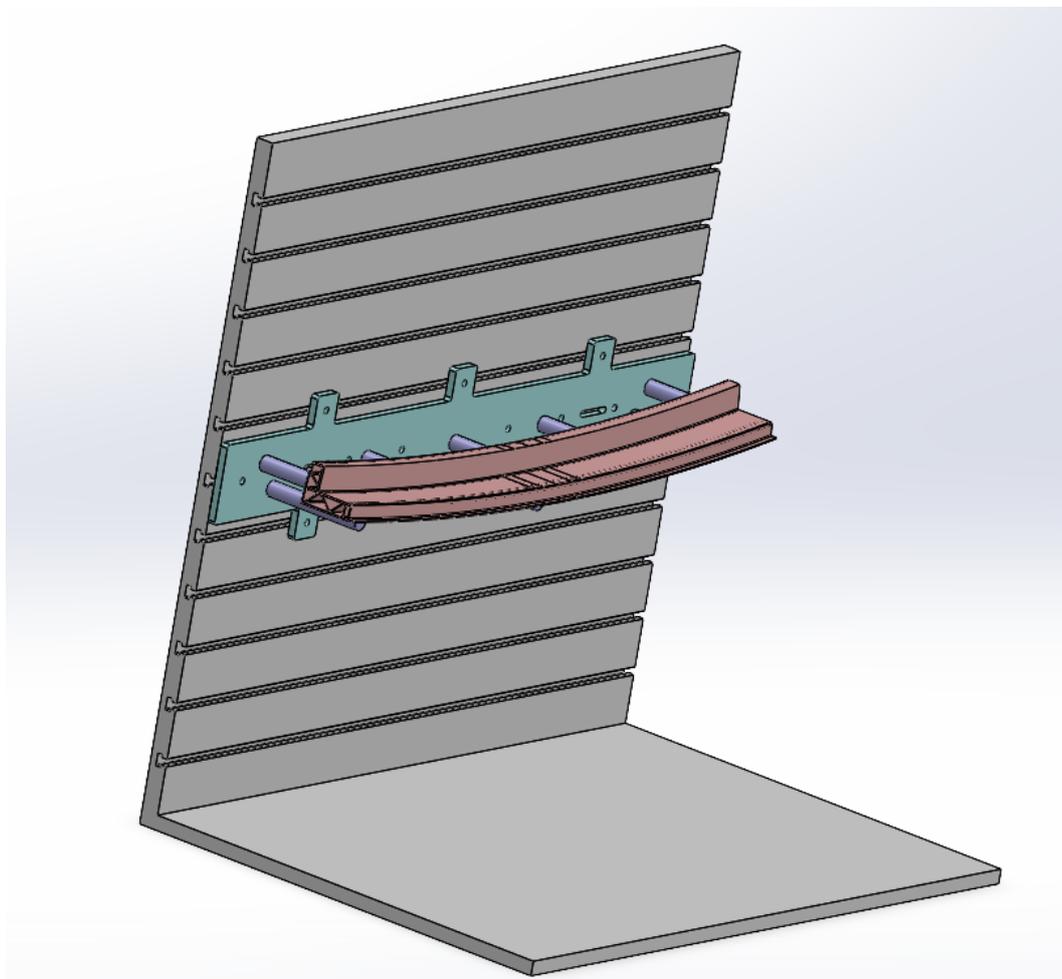
Figure 4.34: Base

Nel disegno della base, si è quotato le posizioni dei fori per i perni lungo le direzioni x e y perchè, al contrario dei fori di collegamento alla fresa e delle asole di scarico che vengono realizzati col taglio laser e le cui posizioni sono già nel programma,

vengono fatti alla fresa e necessitano di coordinate precise.

Nella sezione A del disegno si nota, inoltre, che per il foro per l'inserimento dei perni non si sono utilizzate le tolleranze generali ma si è deciso di optare per dei valori di  $+0,1$  e  $-0,3$  per avere una maggiore sicurezza di collegare i tondi alla base con interferenza. Il foro M20 viene realizzato tramite un trapano a colonna.

La maschera di fresatura ha la seguente forma:



**Figure 4.35:** Maschera di fresatura

## Chapter 5

# Fiancate

Le fiancate dei treni metropolitani sono le pareti laterali che si affacciano sui binari e svolgono diverse funzioni che variano dall'aspetto pratico, a quello culturale fino a quello estetico.

I motivi che le rendono importanti sono i seguenti:

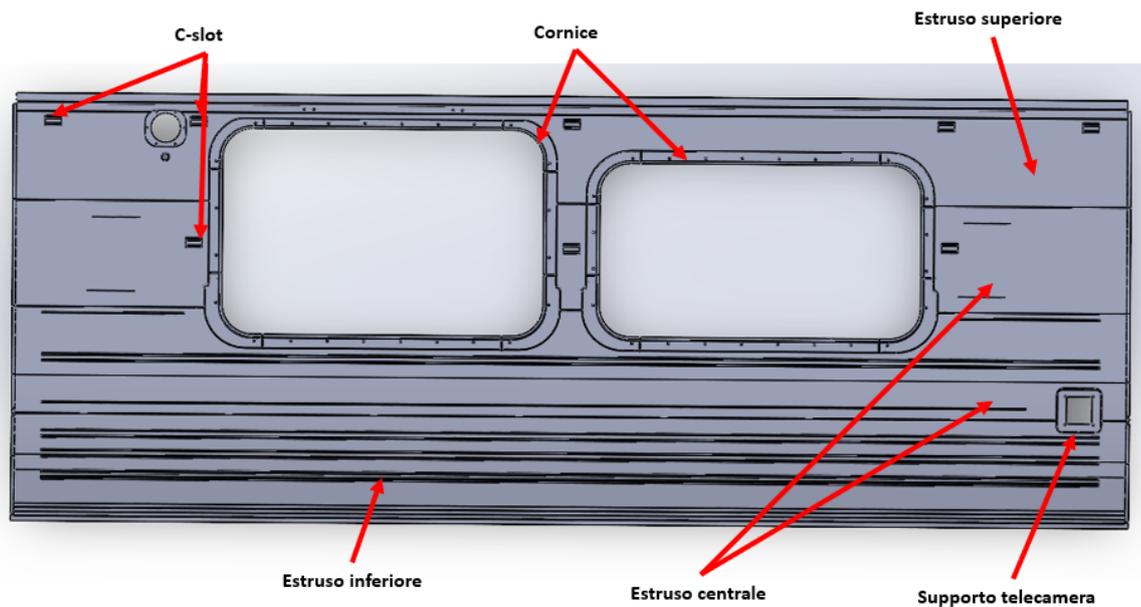
- sicurezza e segnaletica, poichè vengono utilizzate per applicare segnali e informazioni come avvisi sulla sicurezza che sono essenziali per aiutare i passeggeri ad orientarsi;
- pubblicità e marketing, in quanto le fiancate sono la zona ideale per affiggere pubblicità esterne che portano introiti e consentono all'azienda di raggiungere una vasta zona urbana;
- identità e branding, perchè le fiancate sono uno degli strumenti visivi più efficaci per trasmettere il brand e i valori della compagnia permettendo di creare un forte legame con il pubblico;
- durabilità e manutenzione, dovuta al fatto che le fiancate sono esposte agli agenti atmosferici come pioggia e neve e quindi necessitano di essere costruite con materiali leggeri e resistenti che le rendano funzionali e sicure nel lungo periodo per ridurre gli intervalli e i costi di manutenzione;
- integrazione con il paesaggio urbano.

Le fiancate che si dovranno realizzare in questo studio sono composte da quattro estrusi saldati tra loro della stessa lunghezza. Tuttavia, le fiancate non sono tutte uguali in quanto se ne devono realizzare tre tipologie diverse a seconda della zona di destinazione sul treno. Affinchè il loro peso non sia eccessivo sono state realizzate in lega di alluminio.

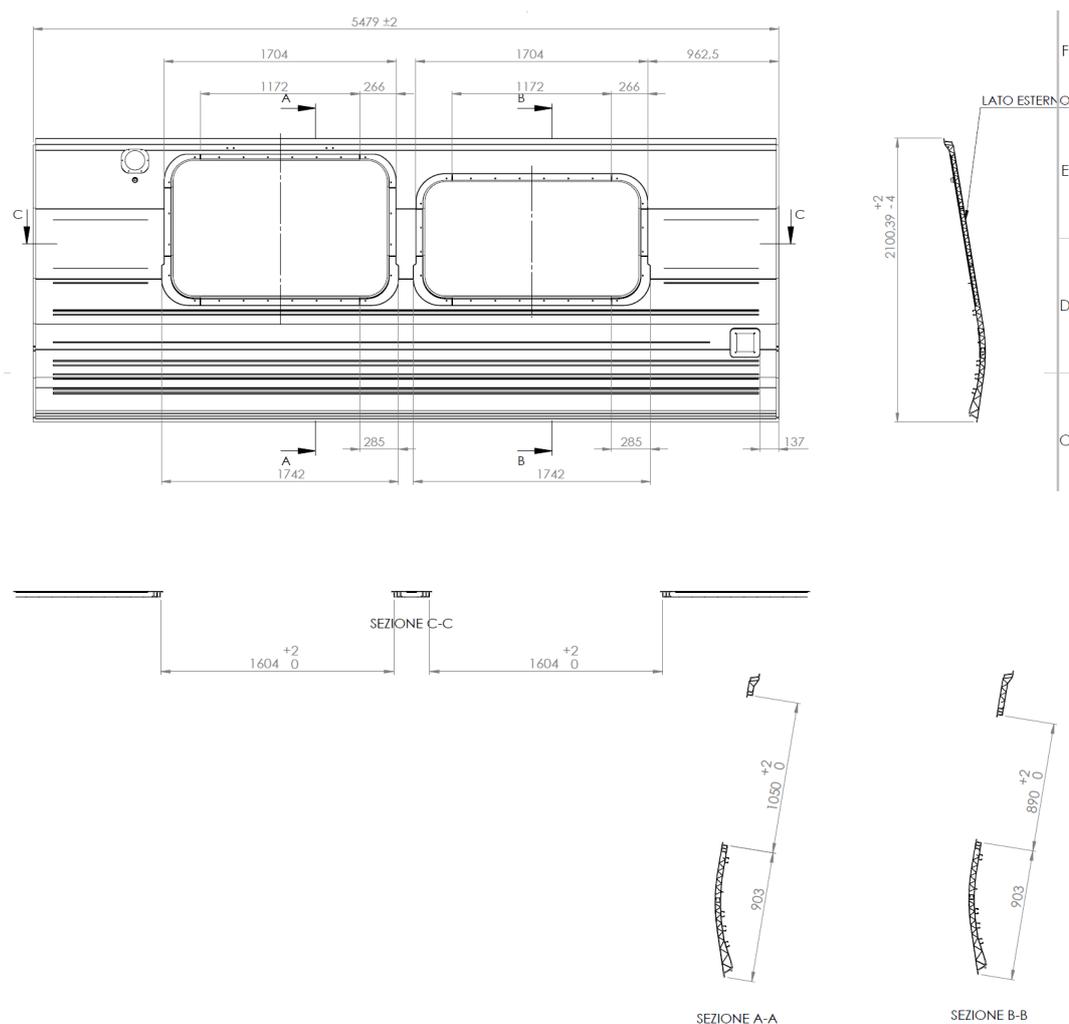


**Figure 5.1:** Tipologia fiancate

Le fiancate, oltre agli estrusi, sono composte da delle cornici che vengono saldate dopo la fresatura, da un supporto di telecamera esterna e da dei cosiddetti "C-slot", degli estrusi con sezione a C che fungono da supporto cavi e che vengono saldati sulla fiancata come ultimo elemento.



**Figure 5.2:** Componenti fiancata



**Figure 5.3:** Messa in tavola fiancata più lunga

Per poter ottenere le fiancate finite come richieste dal cliente, si dovranno effettuare diverse lavorazioni, ognuna delle quali richiede l'utilizzo di una dima specifica:

- dima di fresatura, per ottenere la geometria richiesta per le fiancate e i fori nei quali andranno inserite le cornici e il supporto telecamera esterno;
- dima di sostegno, sulla quale appoggiare le fiancate durante la lavorazione degli altri particolari;
- dima di assemblaggio e saldatura delle cornici;
- dima di assemblaggio e saldatura del supporto telecamera esterna;
- dima di assemblaggio e saldatura finale della fiancata con i suoi sottogruppi;
- maschera di controllo della geometria degli estrusi, utilizzata per controllare che i particolari delle fiancate rispettino il profilo dell'estruso all'interno di una data tolleranza.

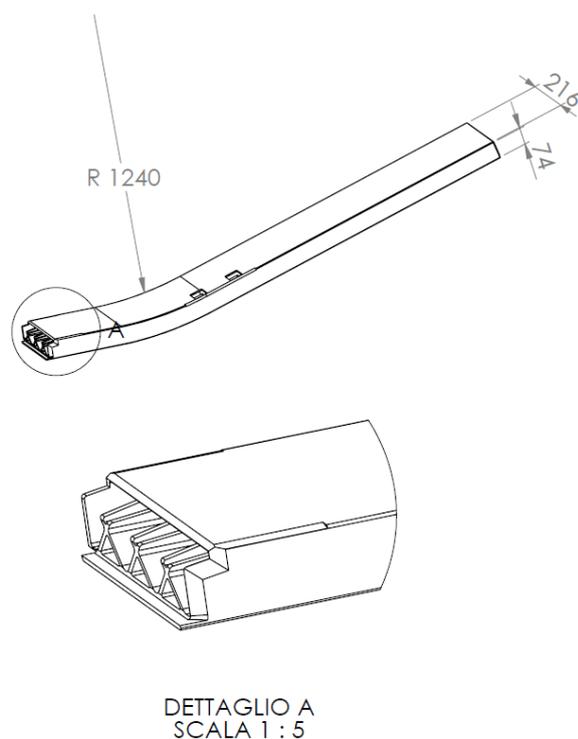
## 5.1 Dima di fresatura

La fresatura è la prima lavorazione che viene effettuata sulla fiancata dopo la saldatura dei quattro estrusi che la compongono mediante l'utilizzo di un robot di saldatura CUKA che realizza una saldatura in continuo per tutta la lunghezza del profilo.

La fresatura verrà effettuata sia sulle fiancate, per ottenere le aperture per inserire le cornici e il supporto telecamera esterna, sia su due montanti che richiedono una fresatura a profilatura che permette la creazione di scnalature e profili complessi.

### 5.1.1 Dima per montanti

Il montante anteriore di una tipologia di fiancate necessita di essere lavorato alla fresa per poter ottenere la profilatura interna richiesta dal cliente, come mostrato nel dettaglio A dell'immagine successiva.



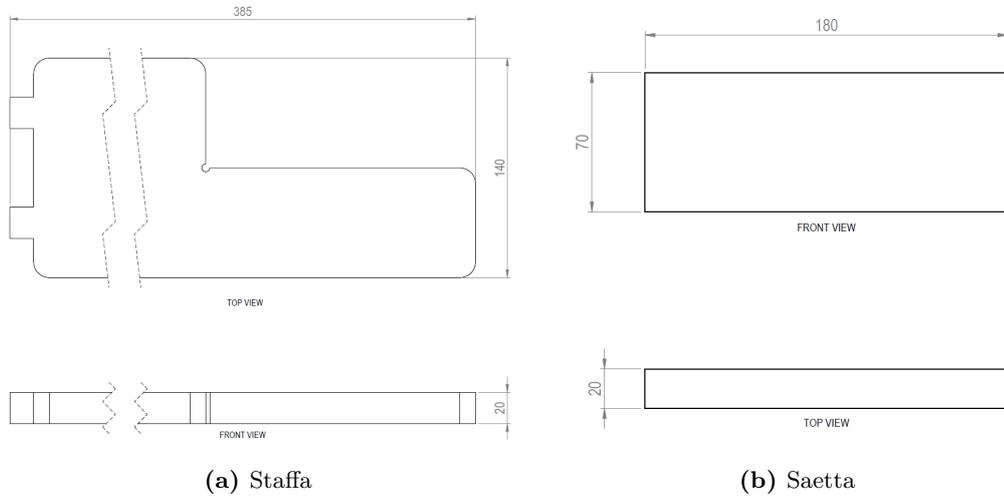
**Figure 5.4:** Montante anteriore

E' necessaria, quindi, la progettazione di una maschera di supporto che funga da appoggio per il componente e lo blocchi permettendone la fresatura, in modo analogo a quanto avvenuto con la centina della parete di testa.

Il punto di partenza della dima è, come sempre, la base. Il montante ha una larghezza di 216 mm e perciò si è partiti da una lamiera rettangolare in acciaio S235JR che fosse larga almeno il doppio del particolare e lunga come la fresa: si sono scelte le dimensioni di 450x2220x20 mm.

Dopo la base si sono realizzati i supporti in acciaio S235JR che fungono da sostegno per il montante. I supporti sono stati creati utilizzando due staffe ad L

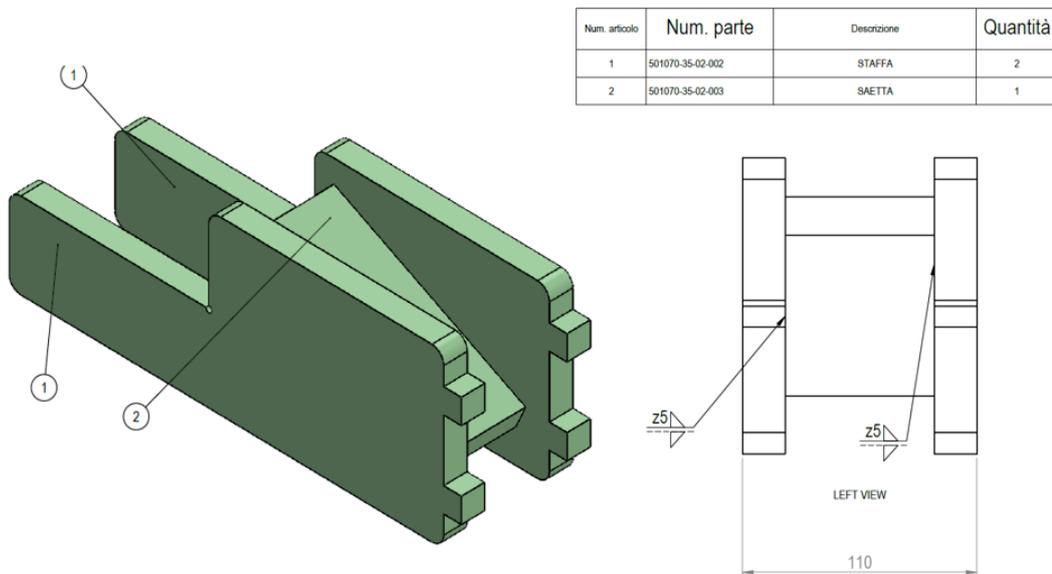
saldate tra di loro tramite una saetta. Le staffe ad L sono lunghe 385 mm, alte 140 mm, spesse 20 mm e posizionate ad una distanza di 70 mm l'una dall'altra mentre la saetta è un parallelepipedo 180x70x20 mm.



**Figure 5.5:** Componenti sostegno fresatura montante

Dal disegno si può notare che la staffa presenta un piccolo scarico circolare all'intersezione tra la linea orizzontale e quella verticale della L. Lo scarico è stato realizzato per non far toccare lo spigolo col montante anteriore.

La saetta viene posizionata sulle due staffe inclinata di 45° per dare maggiore stabilità alla struttura su tutta l'ampiezza e non soltanto in una fascia e viene saldata ad esse con una saldatura Z5 da entrambi i lati.



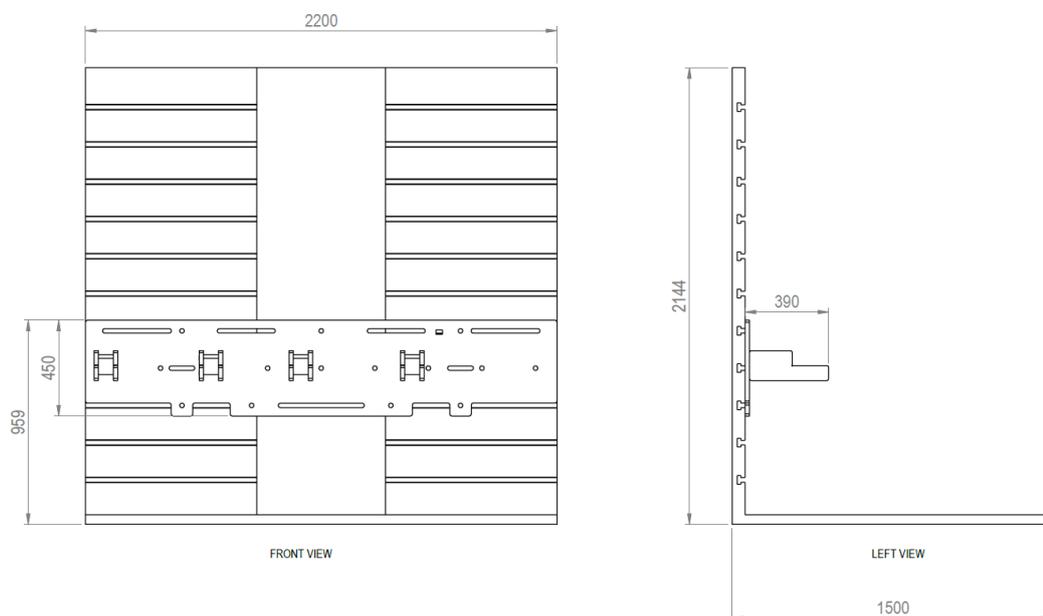
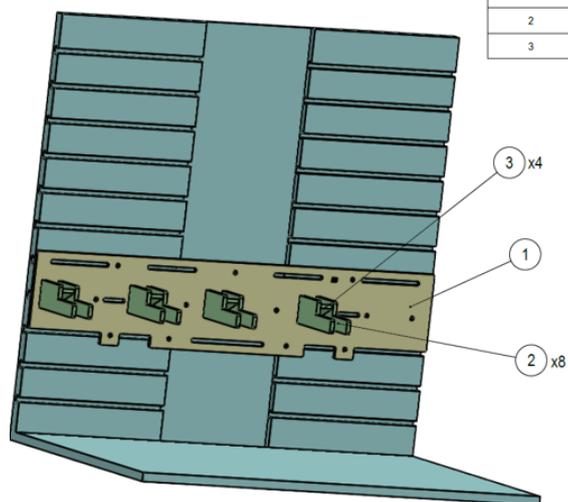
**Figure 5.6:** Sostegno per fresatura montante

Sulla lamiera di base vengono inseriti quattro supporti ad una distanza di 490 mm l'uno dall'altro a partire da una distanza di 40 mm dal bordo e posizionati al centro della base per garantire una maggiore superficie di appoggio per il componente.

Sulla base vengono realizzati gli scarichi per inserire e saldare i piedini dei supporti; inoltre vengono fatte delle asole e dei tagli per alleggerire il peso della maschera.

Infine, per collegare la dima alla fresa, vengono utilizzate delle cave a T filettate e collegate con una vite a testa cilindrica M12x20 come per la parete di testa.

Num. articolo	Num. parte	Descrizione	Quantità
1	501070-35-02-001	BASE	1
2	501070-35-02-002	STAFFA	8
3	501070-35-02-003	SAETTA	4



**Figure 5.7:** Maschera di fresatura montante

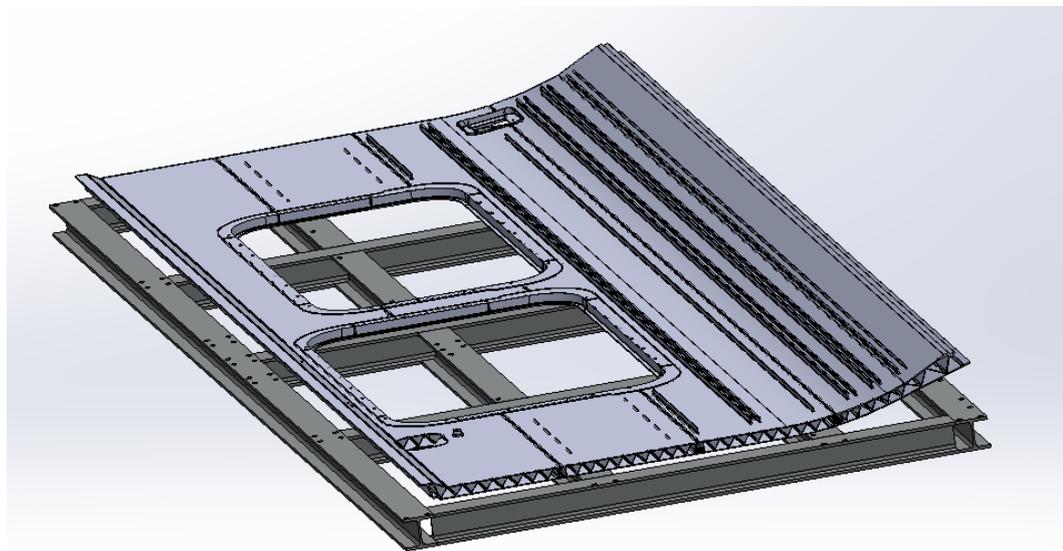
### 5.1.2 Maschera per le fiancate

La progettazione della maschera di fresatura per le fiancate presenta due difficoltà sulle quali è necessario effettuare una scelta che va ad impattare il processo produttivo: la lunghezza delle fiancate non è la stessa per tutte poichè ce ne sono di diverse tipologie e il peso supera anche i 280 kg nelle fiancate più lunghe.

Per non progettare più dime, una per ogni tipologia di fiancata, che avrebbero avuto lo stesso concetto realizzativo e sarebbero state solamente diverse in lunghezza, si è scelto di creare una singola maschera che prende come riferimento la fiancata più lunga. Per le altre tipologie di fiancate si sono presi i dovuti accorgimenti, come si noterà nelle parti seguenti.

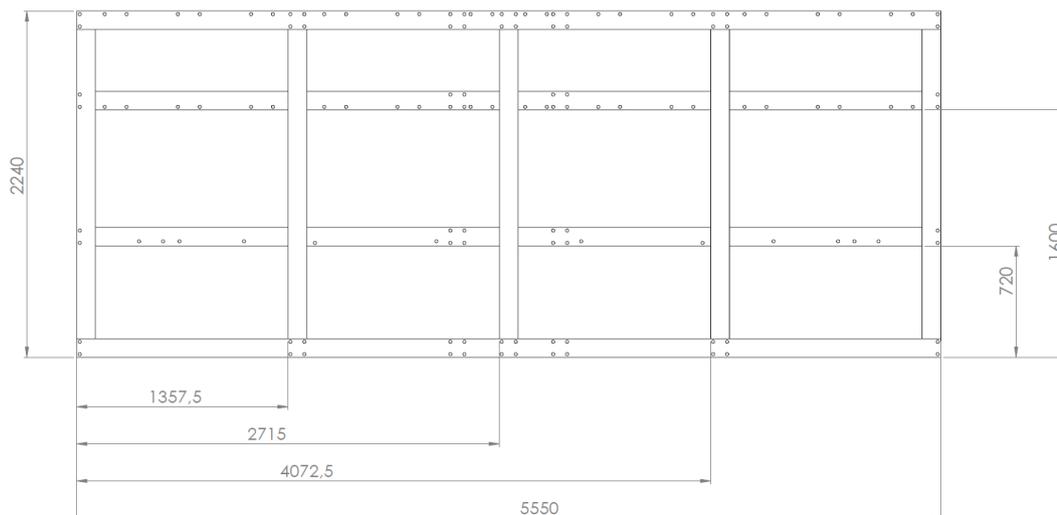
La fiancata più lunga ha dimensioni massime di 5479x2113 mm più o meno le tolleranze generali definite dalla ISO 2768-mk. Un particolare di tale grandezza richiederebbe l'utilizzo di una lamiera di base in acciaio strutturale da almeno 5500x2150 mm con uno spessore di 20 mm che consisterebbe in un peso di 1800 kg per la sola base e che ne renderebbe molto difficile il trasporto e la realizzazione visto che gli estrusi hanno dimensioni standard di 1500x3000 mm.

Si è deciso, per questo motivo, di realizzare la base di supporto utilizzando gli HEB 120, i profili a doppia T la cui lunghezza commerciale arriva fino ai 6000 mm, che permettono di avere una struttura molto resistente e che supporta il particolare in zone specifiche, visto che la fiancata è un pezzo unico saldato per la propria lunghezza, riducendo il peso complessivo del sostegno.



**Figure 5.8:** Base di HEB 120

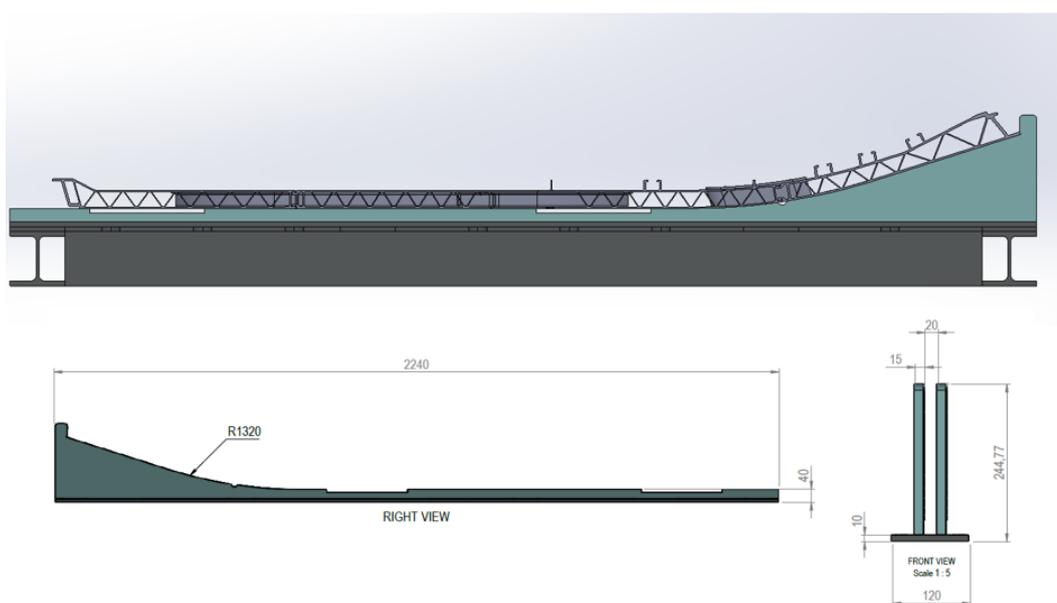
Come si può notare dal disegno, sono stati utilizzati 4 HEB per definire il contorno della fiancata e la struttura è stata rinforzata con ulteriori tre profili a doppia T trasversali, disposti a 1237,5 mm l'uno dall'altro e da quelli laterali, e con una serie di profili longitudinali lunghi 1237,5 mm ad una distanza di 600 mm da quelli laterali e di 760 mm tra loro. Tutti gli HEB vengono saldati con una saldatura a tratti Z5.



**Figure 5.9:** Disegno base

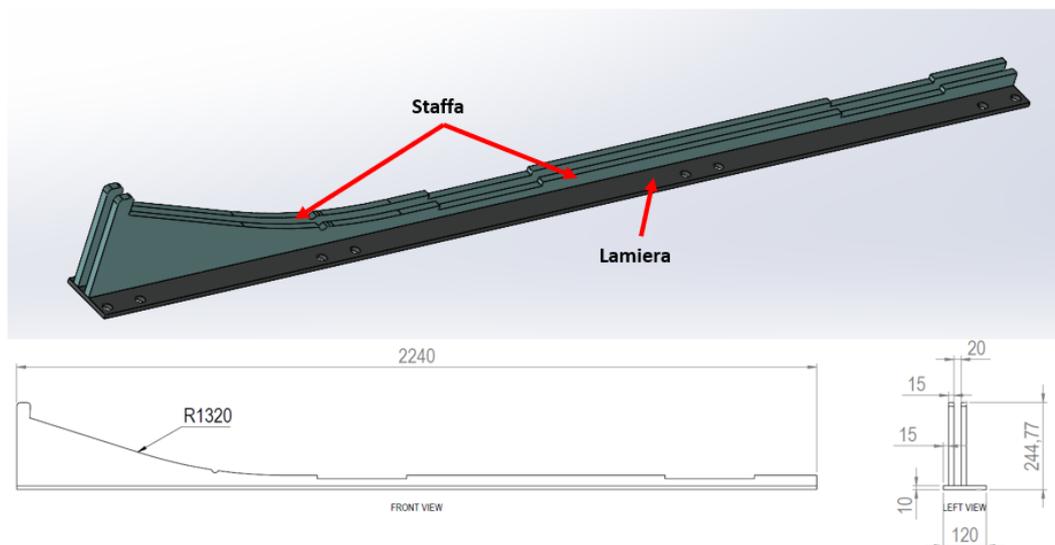
Prima di proseguire nella realizzazione dei supporti per la dima, è necessaria un'interfaccia tra i sostegni che si creeranno e la struttura di HEB poichè quest'ultima deve essere collegata alla fresa e deve permettere di poter staccare i supporti quando non vengono usati. L'interfaccia è stata progettata utilizzando dei piatti in acciaio S235JR spessi 10 mm che percorrono il profilo della struttura.

Lo step successivo è la progettazione di supporti per posizionare la fiancata e bloccarla durante la fresatura. Il particolare non presenta una sezione piana continua ma una zona curva ad un estremo e un rialzo finale dall'altro. Come appoggio si sono utilizzati dei sostegni composti da due saette di alluminio spesse 15 mm e distanti 20 mm che ricalcano il profilo della fiancata che sono centrate e saldate su una lamiera in acciaio 120x2240x10 mm. Sono stati utilizzati 5 di questi sostegni disposti specialmente al centro del componente a distanze non uguali.



**Figure 5.10:** Sostegno di appoggio fiancata

Dopo aver creato gli appoggi per la fiancata, bisogna anche posizionarla in lunghezza in modo tale che si abbia un punto di partenza da utilizzare come riferimento. Per svolgere questa funzione, sono stati ideati dei supporti uguali a quelli precedenti come pezzi ma che non sono centrati sulla lamiera bensì spostati da una parte o dall'altra a seconda che il sostegno sia utilizzato sull'estremità sinistra o destra poichè dall'altro lato vengono realizzati dei fori per collegare la lamiera con i piatti e la base di HEB. Di seguito viene mostrata una delle due tipologie di sostegni di posizionamento utilizzati.



**Figure 5.11:** Sostegno di posizionamento fiancata

Successivamente, si è passati alla creazione di sostegni che bloccassero la fiancata durante la fresatura essendo una lavorazione che può causare elevate oscillazioni a causa della forza esercitata. Si sono ideate due tipologie di supporti diversi per la parte rialzata in basso e per quella curva in alto.

Per la zona curva si è progettato un sostegno concettualmente simile a quelli di posizionamento già realizzati (con una base e due saette) con l'aggiunta di un sottoassieme per schiacciare e tenere fermo il componente. La base è una lamiera in acciaio S235JR 170x640x10 mm, quindi leggermente più larga di quelle precedenti per avere una maggiore superficie di appoggio e più corta poichè non deve sostenere l'estruso per tutta la lunghezza ma solo per una parte. Le saette sono posizionate ad una distanza di 60 mm e sono simili alle altre ma differiscono per la parte superiore che è più gorssa e spostata verso l'indietro per controbilanciare il peso dell'assieme per bloccare il pezzo che sarà piegato in avanti.

L'assieme per bloccare il pezzo è costituito da:

- un piatto in acciaio S235JR 130x60x15 mm che presenta due piedini che si inseriscono negli scarichi delle saette per poterlo saldare;
- una saetta verticale 100x52,5x15 mm in acciaio S235JR saldata sul piatto;

- due staffe saldate sulla saetta verticale 300x40x15 mm in AISI 304 perchè in contatto con la fiancata disposte a 40 mm di distanza;
- due saette 60x30x15 mm in AISI 304 che uniscono le due staffe.

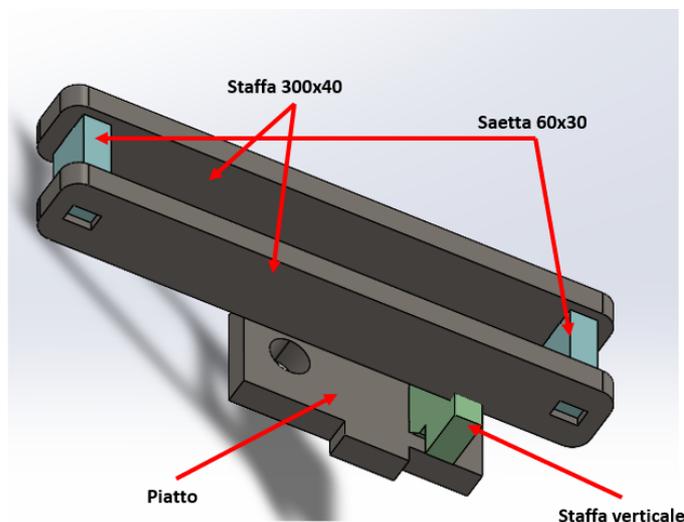


Figure 5.12: Sottoassieme bloccaggio fiancata zona curva

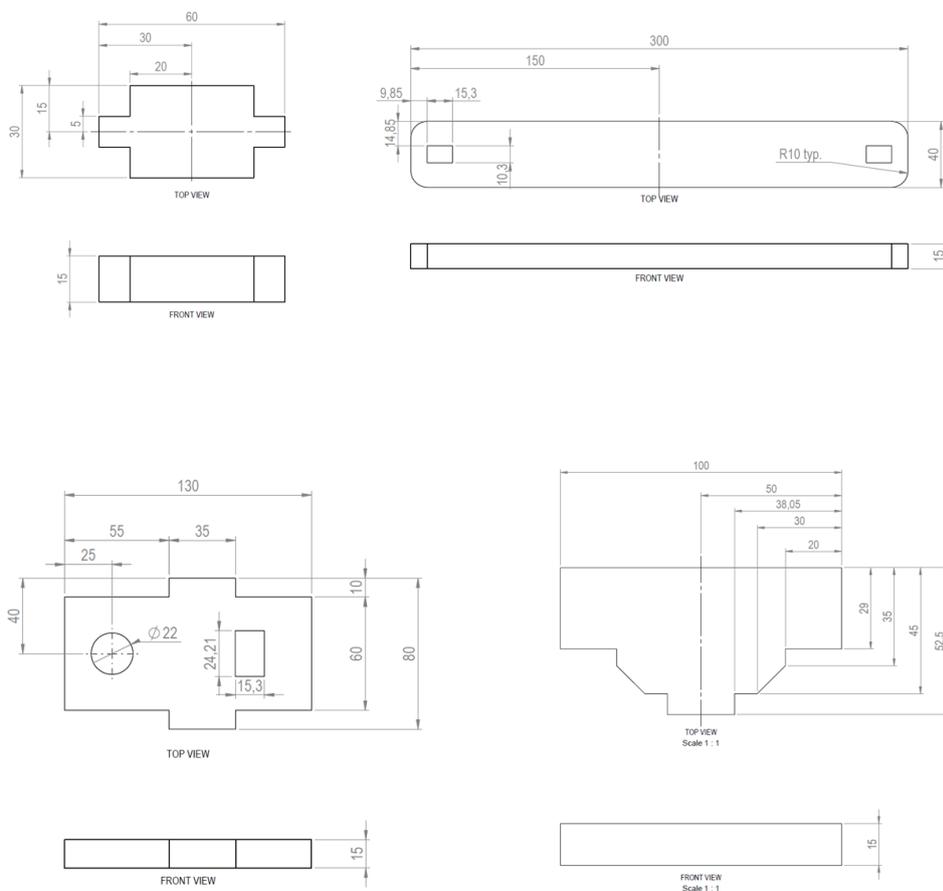
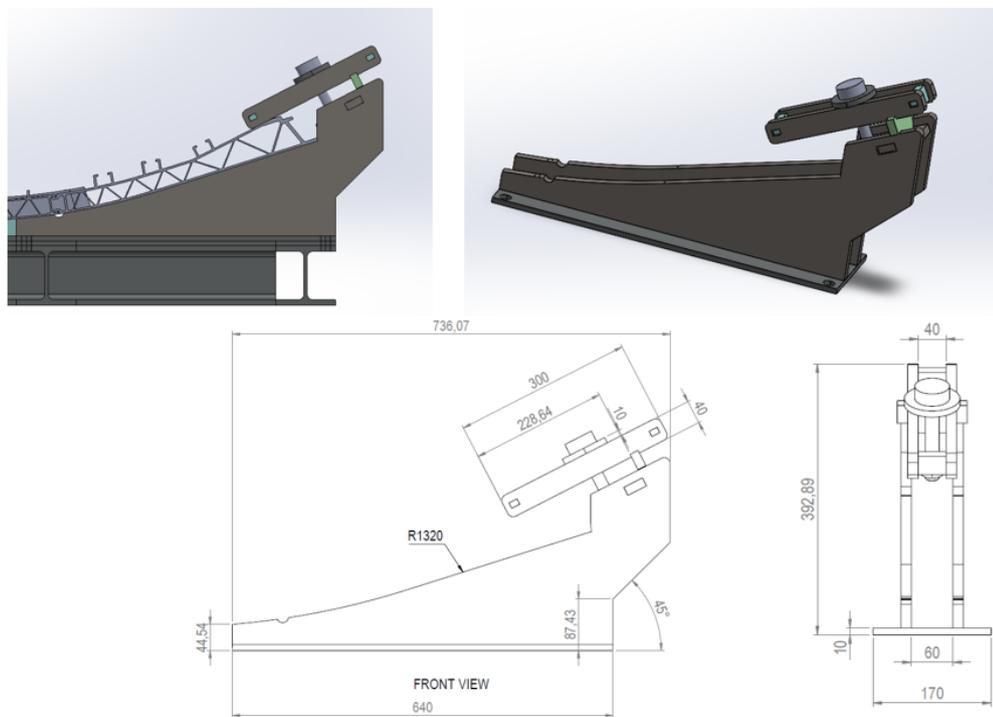


Figure 5.13: Componenti sottoassieme bloccaggio

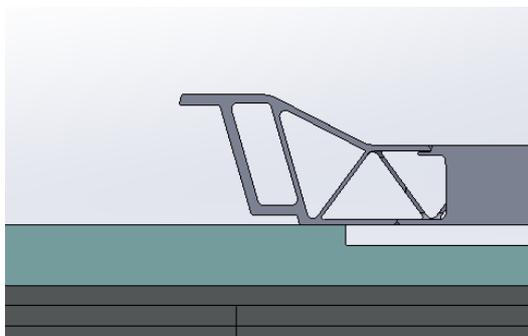
La struttura viene ultimata con l'utilizzo di una vite M20x150 ISO 4017 che parte dall'estremità delle staffe e penetra oltre il piatto sul quale è stato realizzato un foro di passaggio, uno spessorino circolare che funge da rondella per evitare il contatto della vite con le staffe e da un dado M20 ISO 4032.



**Figure 5.14:** Assieme bloccaggio fiancata zona curva

Sono stati utilizzati 12 di questi sostegni per bloccare la fiancata più lunga disposti ad una distanza di 240 mm. Per le fiancate di minor lunghezza, i supporti possono essere levati in quanto non sono saldati alla struttura sottostante ma collegati mediante dei bulloni.

La parte opposta della fiancata, essendo in piano, non richiede un sostegno lungo e grande come quello realizzato per la zona curva ma uno snello che ne blocchi la parte inferiore e superiore e che non occupi molto spazio evitando l'utilizzo di una lamiera di supporto come in quello progettato prima.



**Figure 5.15:** Sezione zona piana fiancata

Come si può notare dalla sezione della fiancata in figura, nella zona inferiore si ha un piccolo gradino a causa del quale l'estruso è rialzato nella zona finale mentre nella zona superiore è piatto. Si è pensato, perciò, di realizzare un assieme che funge da supporto per la zona inferiore composto da due staffe laterali in acciaio che fungono da base che presentano un "dente", ovvero una zona rialzata per andare in battuta con la lamiera, e una terminazione verso il basso per ancorarsi alla struttura di HEB sottostante.

Le staffe laterali sono disposte ad una distanza di 75 mm e sono collegate da una saetta centrale 60x60x10 mm, anch'essa in acciaio, posizionata ad un'altezza di 20 mm rispetto alla battuta con il piano. Saldata sulla saetta si è inserita una piastra sagomata in acciaio 60x75x10 mm che ha la funzione di supporto per la stessa tipologia di sottoassieme utilizzato per bloccare il pezzo nella parte curva. Anche in questo caso, il supporto viene bloccato con l'utilizzo di un bullone formato da una vite M20x150 ISO 4017 e un dado M20 ISO 4032.

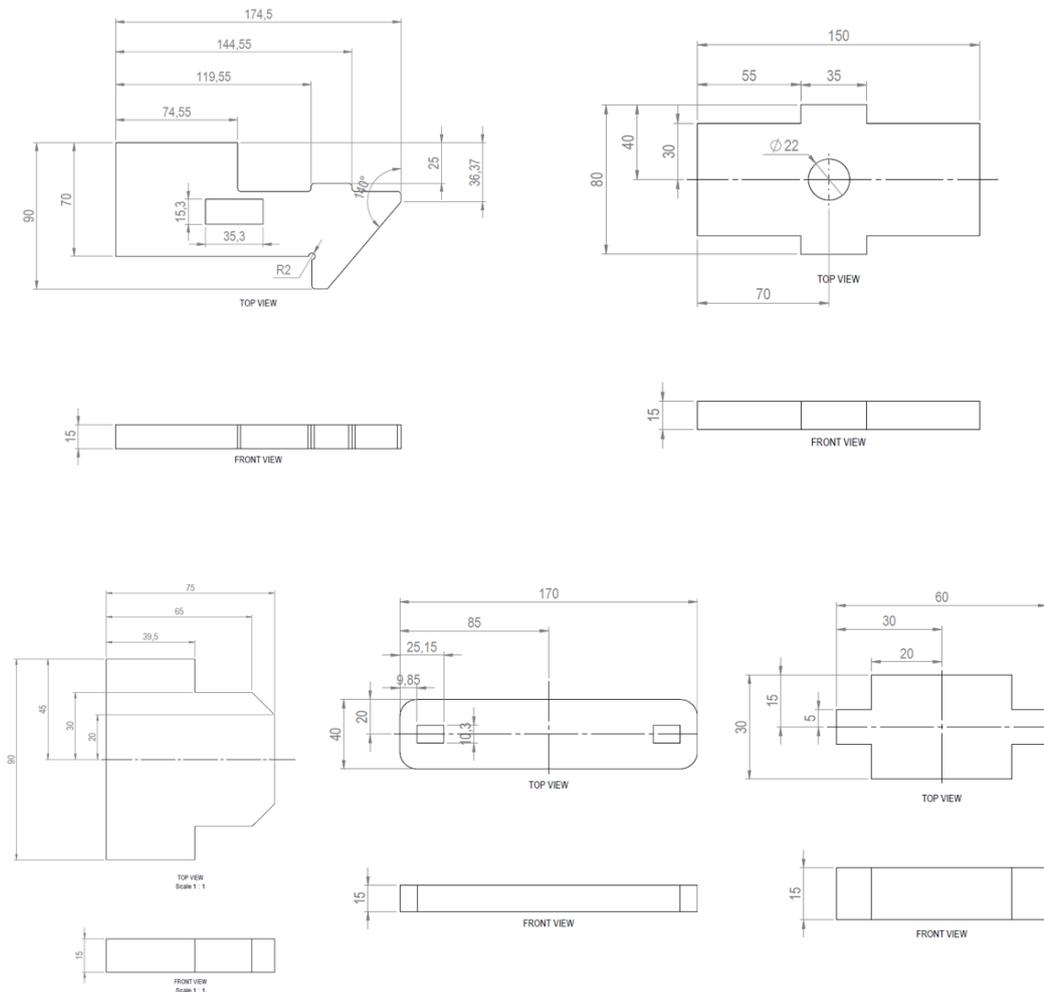


Figure 5.16: Componenti sostegno zona piana

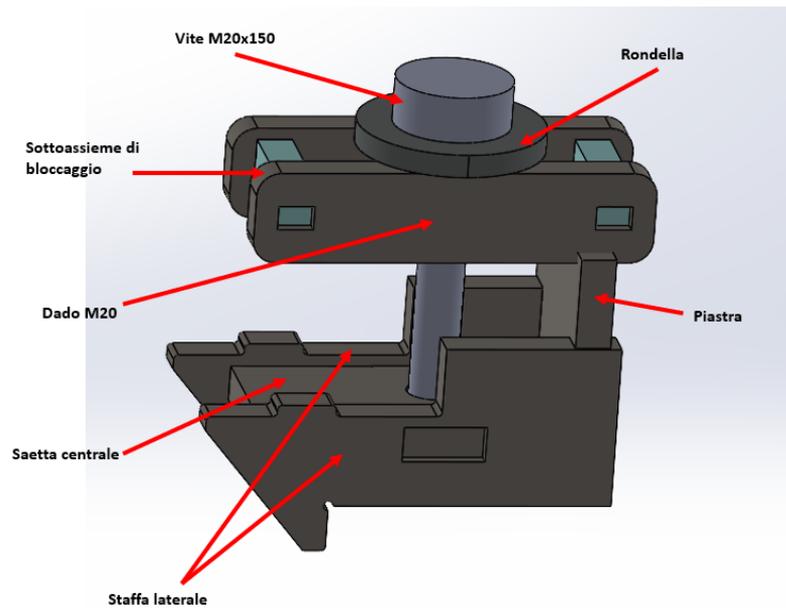


Figure 5.17: Sostegno zona piana

Sono stati utilizzati 12 di questi sostegni posizionati ad una distanza di 320 mm l'uno dall'altro. Come per i supporti del lato opposto, anche questi possono essere tolti quando si deve fresare una fiancata più piccola.

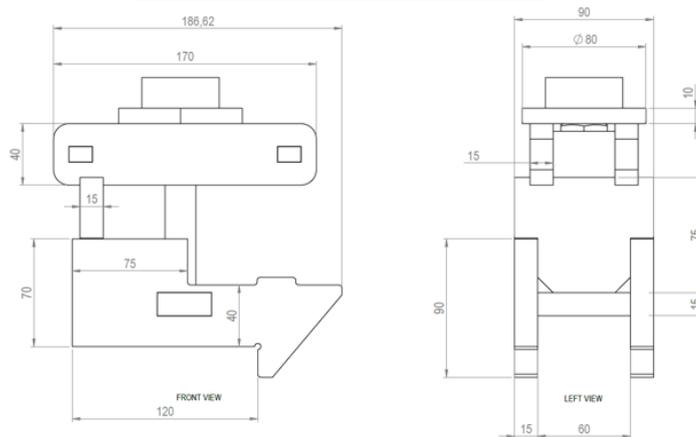
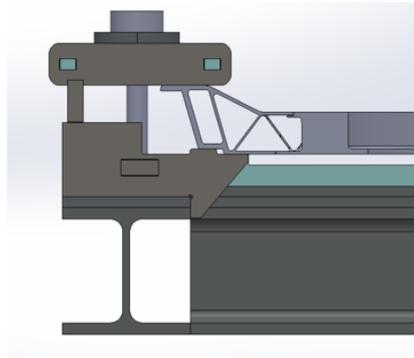
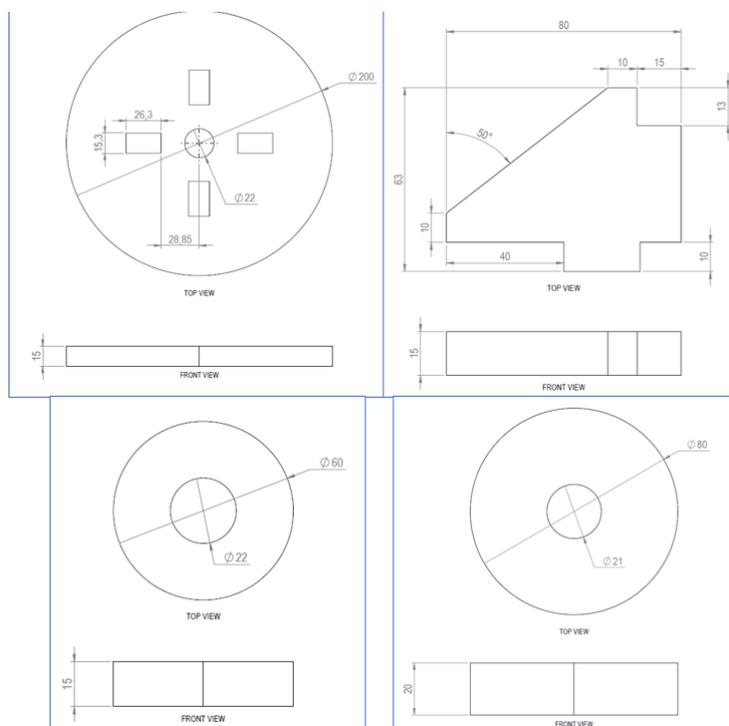


Figure 5.18: Messa in tavola sostegno zona piana

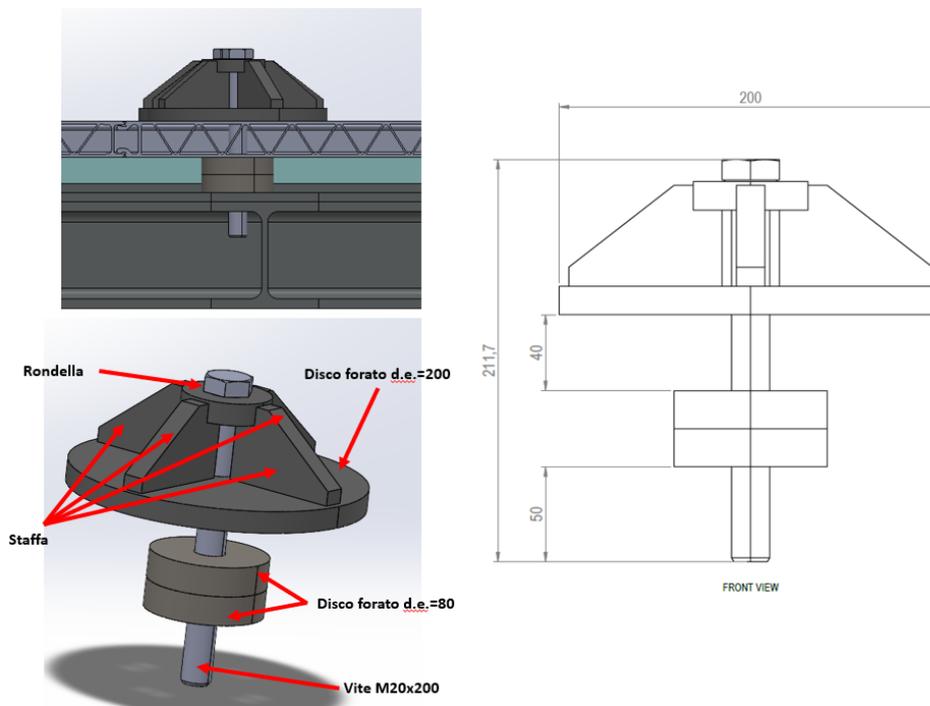
A questo punto, la fiancata è completamente bloccata grazie ai supporti ma c'è il rischio che durante la lavorazione si abbiano delle vibrazioni nella zona centrale causate dalla elevata forza di contatto della fresa con il componente. E' necessario, quindi, realizzare dei pesi che vadano a bloccare l'estruso per evitare che si inneschino le vibrazioni con una conseguente cattiva realizzazione del pezzo.

Per fare ciò, prima della fresatura vera e propria della fiancata, si sono effettuati dei fori di 20,3 mm di diametro sulla fiancata e anche sulla base di HEB nei quali sono state inserite delle viti M20x200 ISO 4017.. Avendo dato del gioco tra la vite e il foro, si rischierebbe che la vite sprofondi completamente fino alla testa. Per evitare che questo accada, sono stati utilizzati due dischi forati in acciaio inox, poichè in contatto con un componente in alluminio, con diametro esterno 60 mm, diametro interno 22 mm e spessore 15 mm saldati l'uno sull'altro e a loro volta saldati sulla vite che vanno in battuta sulla struttura e sono la base di riscontro del sostegno. Ad un'altezza di 40 mm dalla faccia superiore del secondo disco, pari allo spessore della fiancata nella zona centrale, è stato creato un altro disco forato in alluminio 5454-H32, per aver minor peso rispetto all'utilizzo dell'acciaio inox, con spessore e diametro interno identici a quelli precedenti ma con un diametro esterno di 200 mm che ha il compito di bloccare la parte superiore dell'estruso e di fare da base per le staffe di rinforzo al di sopra di esso. Le staffe sono quattro disposte a 90° l'una dall'altra e sono anch'esse in alluminio 5454-H32, vengono saldate sul disco più grande tramite i piedini e presentano una scanalatura sulla quale poggia una rondella in acciaio inox con diametro interno di 21 mm, diametro esterno di 80 mm e spessa 20 mm.



**Figure 5.19:** Disegni componenti assieme di bloccaggio zona centrale

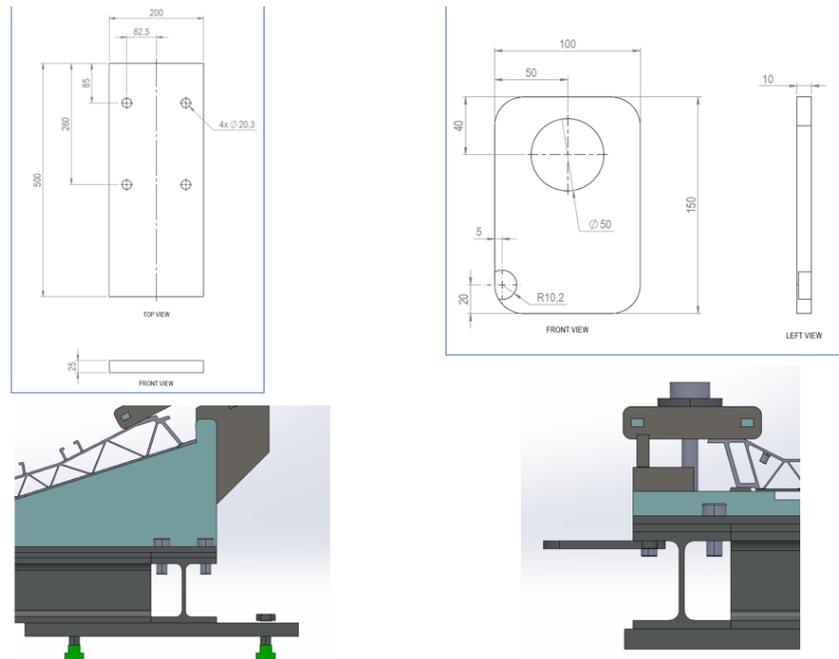
Il peso di questo assieme è di 12,84 kg e così come per gli altri sostegni, anche per questo ne sono stati utilizzati 12 per la fiancata più lunga.



**Figure 5.20:** Assieme di bloccaggio fiancata zona centrale

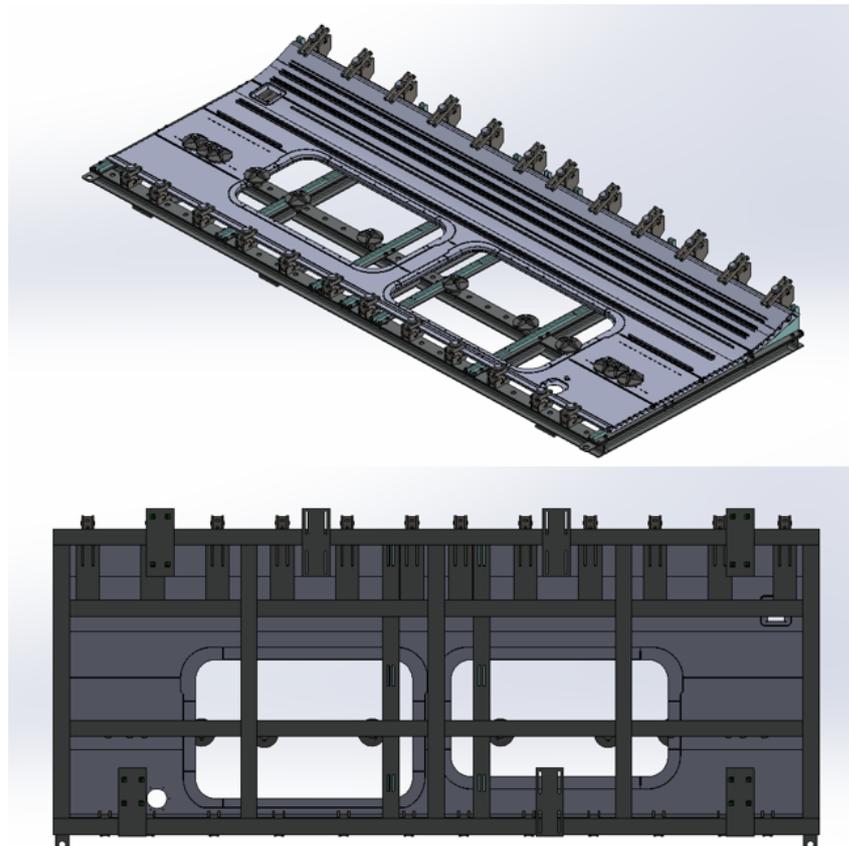
La maschera, avendo come base un telaio formato da profili a doppia T, non può poggiarsi direttamente alla fresa e necessita perciò di piastre di collegamento. Le piastre sono state realizzate in acciaio S235JR, hanno dimensioni di 200x500x25 mm perchè devono sopportare un notevole peso e presentano quattro fori passanti di diametro 20,3 mm nei quali vengono inserite delle viti M20x60 ISO 4017 che si avvitano sui tasselli per cave a T per accoppiarsi con le cave della fresa.

L'ultimo componente mancante per il completamento della dima è la progettazione di staffe forate che permettano il sollevamento della maschera e il posizionamento sulla fresa tramite dei portali a causa della mole di peso della struttura. Le staffe sono realizzate in acciaio S235JR, hanno dimensioni 150x100 mm, sono spesse 10 mm e presentano un foro di 50 mm che serve per il sollevamento e un foro di 20,4 mm nel quale viene inserita una vite M20x60 per collegarla alla struttura di HEB e sulla quale viene saldata.



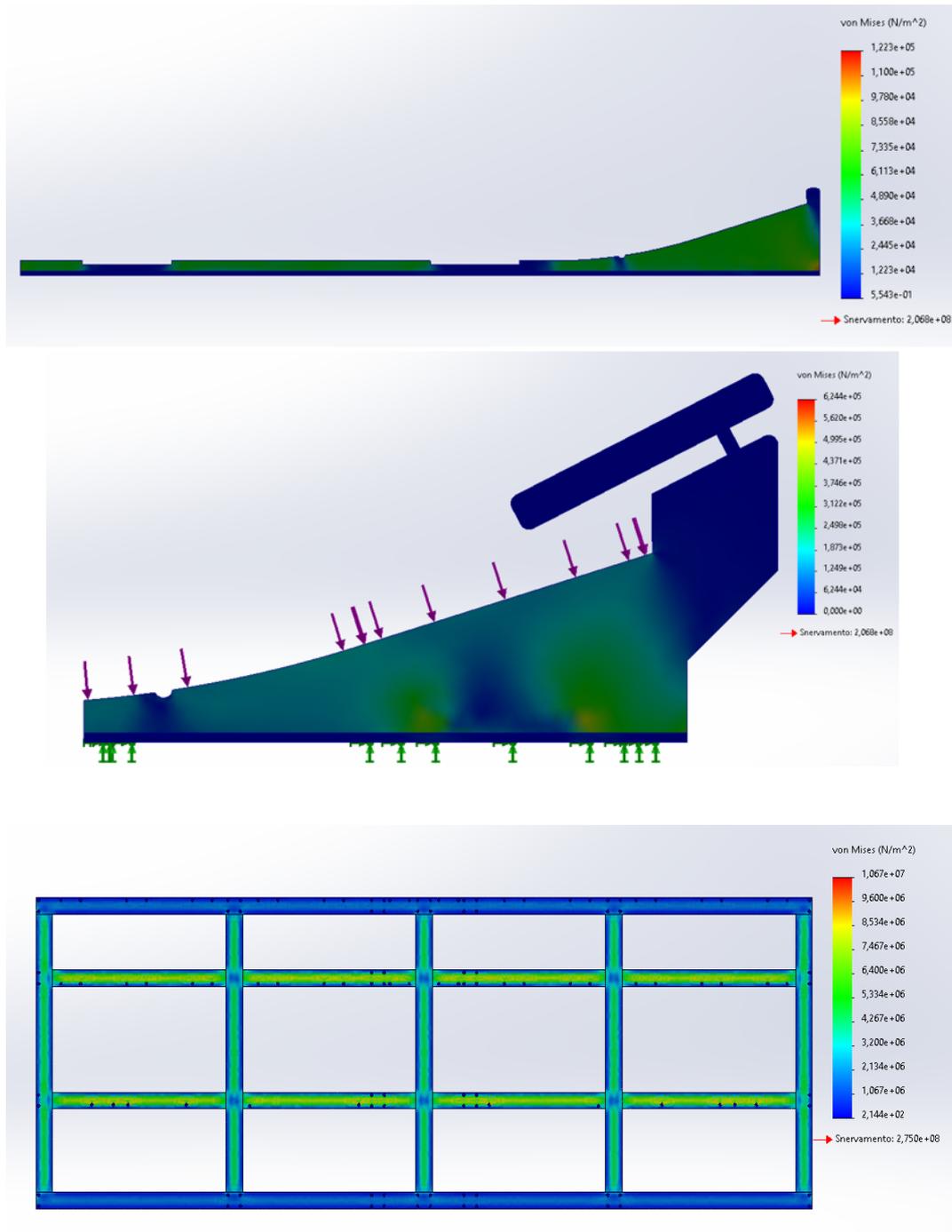
**Figure 5.21:** Disegno piastra di collegamento e staffa forata

La configurazione finale della dima di fresatura delle fiancate è la seguente:



**Figure 5.22:** Dima di fresatura fiancata

Eseguendo l'analisi statica sia sui supporti sia sul telaio si ottengono i seguenti risultati:



**Figure 5.23:** Analisi statica supporti e telaio dima di fresatura fiancate

Dal grafico si nota che sia i supporti sia il telaio sono verificati staticamente. Il telaio mostra un valore maggiore di tensione nei profilati orizzontali a causa del numero di supporti in quella zona.

Si mostrano di seguito le immagini della dima a lavoro nella realtà:



**Figure 5.24:** Dima di fresatura della fiancata nella realtà

## 5.2 Dima di saldatura per le cornici

Le cornici delle fiancate fanno parte della struttura esterna del treno e circondano il vetro del finestrino che, usualmente, ha una struttura composita formata da uno strato cavo centrale e due vetri laminati con un film di PVB (Polivinilbutirrale), ovvero un materiale plastico che si ottiene dalla reazione di alcool polivinilico e butiraldeide che, opportunamente plastificato e additivato, viene utilizzato sotto forma di pellicola trasparente che ha lo scopo di tenere uniti due strati di vetro impedendo la propagazione di cricche tra uno strato e l'altro.

Le funzioni svolte dalla cornice sono molteplici:

- protezione e stabilità: mantiene il finestrino in posizione durante il viaggio evitando che si danneggi;
- isolamento: contribuisce a migliorare l'isolamento termico e acustico del treno;
- sicurezza: evita la fuoriuscita del vetro in caso di rottura o danneggiamento;
- design: possono essere progettate in modi differenti per rispecchiare l'estetica del treno.

Le cornici dei finestrini per le quali si sono realizzate le maschere, sono composte da due cantonali inferiori, due cantonali superiori, due estrusi laterali, un estruso superiore e un estruso inferiore saldati tra di loro.

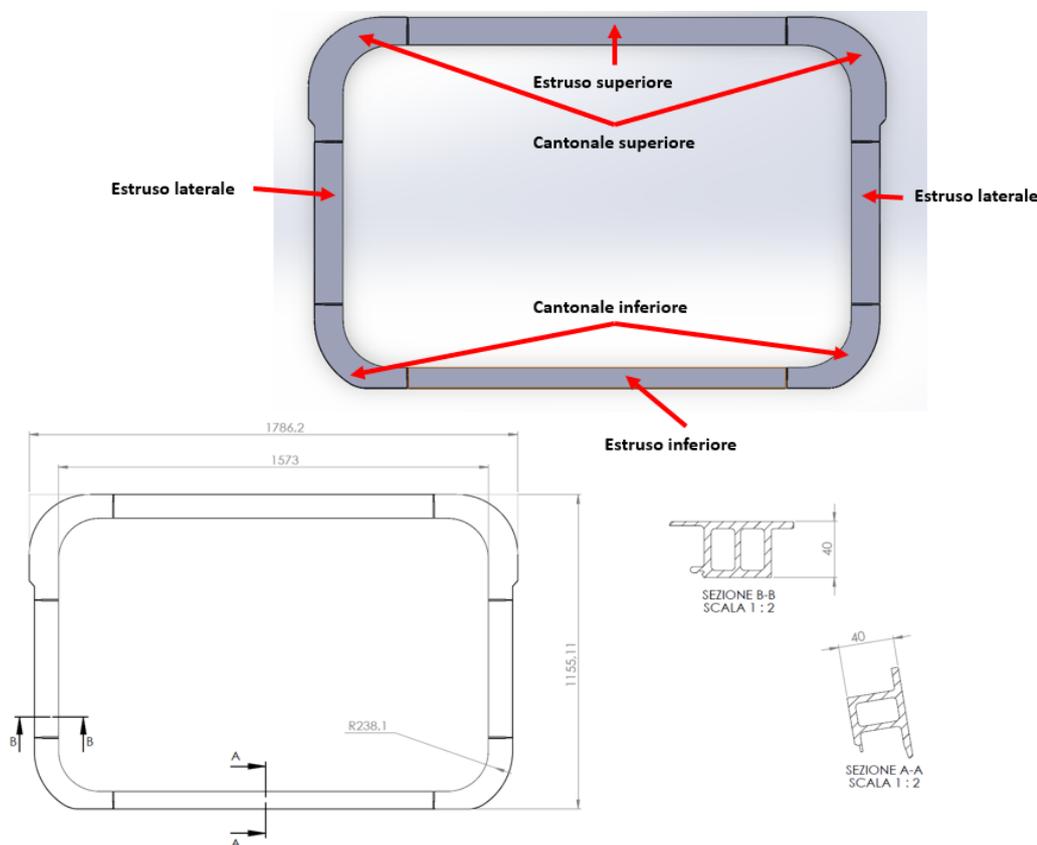


Figure 5.25: Componenti cornice fiancata

Come si può notare dal disegno, la cornice ha dimensioni di 1786x1155x40 mm ed è realizzata in alluminio 6005A T6, una lega di alluminio tra le più comuni in ambito industriale grazie alla sua combinazione di facilità di lavorazione e resistenza alla corrosione che contiene magnesio e silicio ed è trattata termicamente tramite solubilizzazione per ottenere una buona resistenza meccanica e durezza.

Il primo elemento per realizzare la dima è la progettazione della base, come avvenuto anche per le altre maschere. La base è una piastra in acciaio strutturale S235JR 1850x1250x10 mm sulla cui zona esterna rispetto alla cornice sono stati inseriti una serie di supporti che fungono da riferimento per il posizionamento dei particolari che vanno in battuta su di essi.

Nella zona del cantonale superiore e inferiore sono stati progettati dei piatti in acciaio inox spessi 10 mm che ripercorrono per un tratto il profilo curvo della cornice, sono spostati rispetto ad esso di 2 mm in modo tale che ci sia un piccolo gioco per posizionare correttamente il pezzo evitando possibili interferenze causate da dimensioni non nominali e presentano due fori da 10 mm nei quali sono inseriti dei perni per collegarli alla lamiera di base. Il piatto del cantonale superiore ha dimensioni maggiori rispetto a quello del cantonale inferiore e nella parte esterna presenta uno smusso per "spezzare la faccia" e non seguire del tutto il filo della dima.

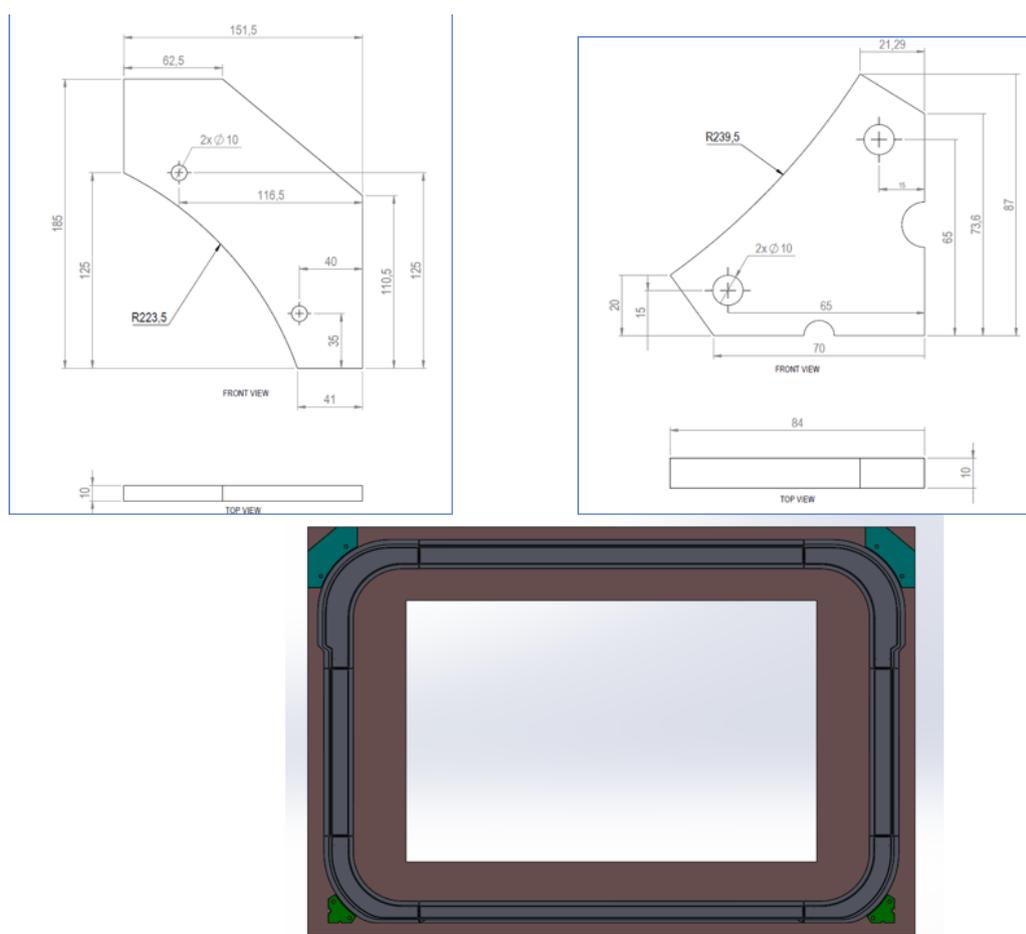
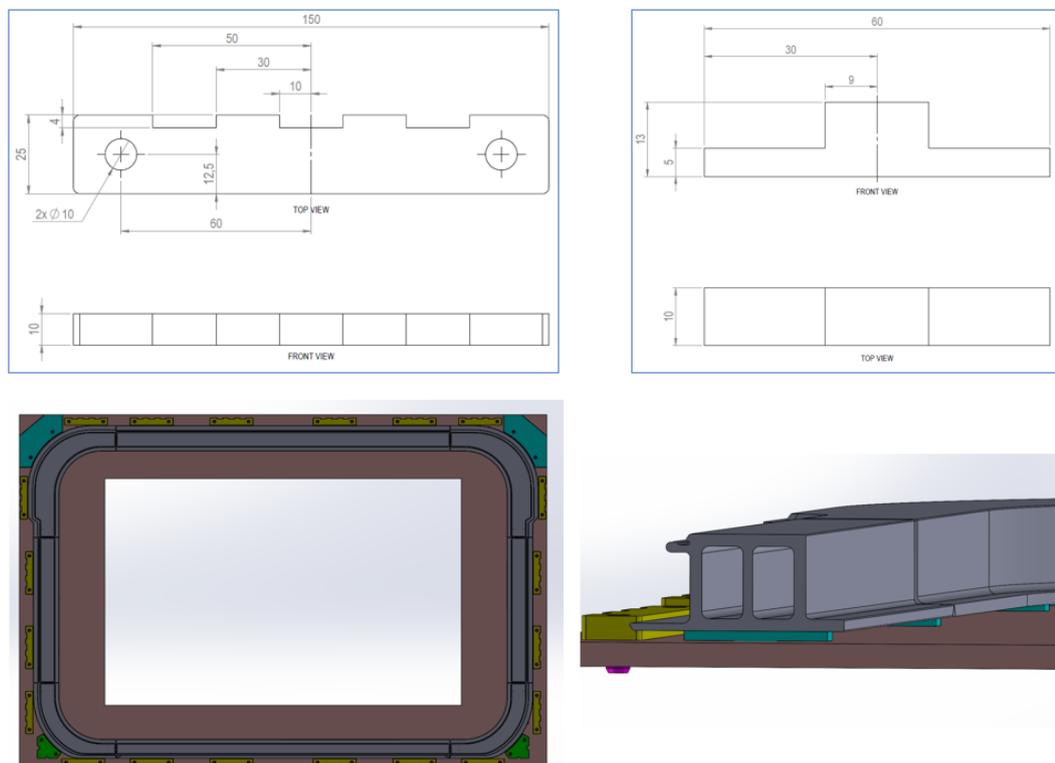


Figure 5.26: Supporti zona cantonale cornice

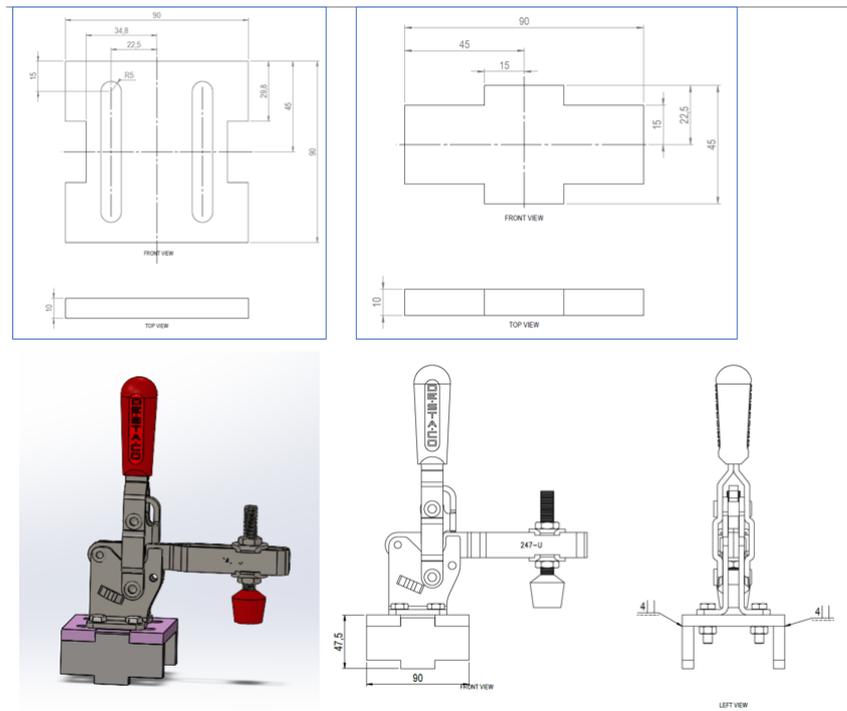
Per posizionare gli estrusi e avere un controllo della parte dritta dei cantonali si è deciso di utilizzare 20 staffe in acciaio inox lunghe 150 mm, larghe 25mm, spesse 10 mm con due fori di 10 mm per collegarle alla base mentre per evitare il contatto della cornice con la lamiera di base si sono create 30 saette a forma di T distanti 200 mm l'una dall'altro che vengono saldate alla base tramite la parte lunga della T.



**Figure 5.27:** Supporti zona estrusi cornice

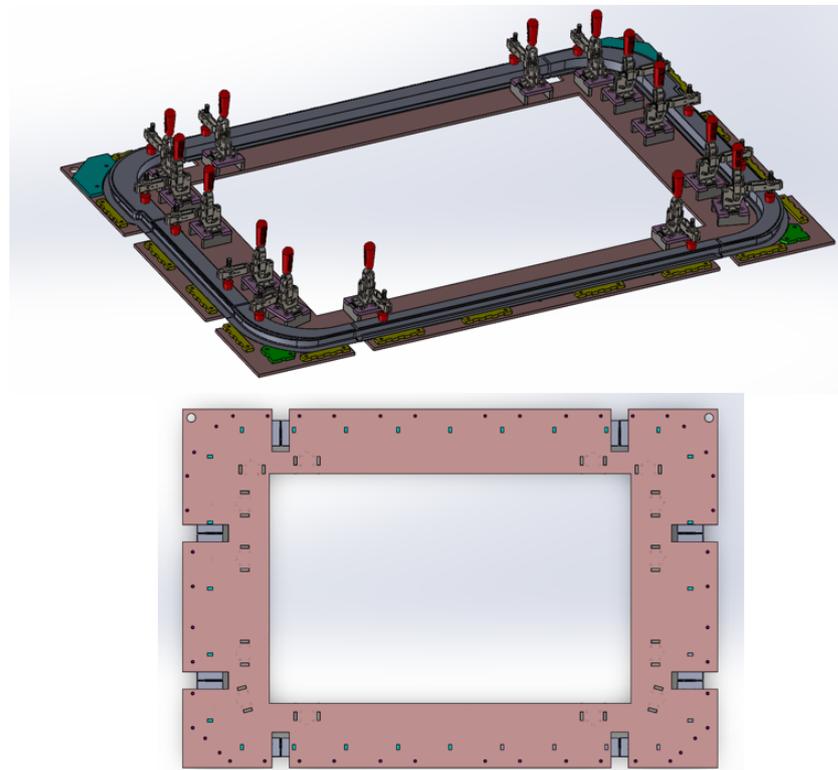
La fase successiva nella realizzazione della dima è stata progettare i supporti per schiacciare il pezzo nella zone delle saldature per distendere il materiale e ridurre le distorsioni dovute all'azione termica della lavorazione.

Il dispositivo utilizzato per pressare la cornice è il morsetto orizzontale della Destaco collegato mediante due bulloni ad una staffa orizzontale sorretta da due saette vetticali che sono saldate su di essa con una saldatura testa a testa e sulla lamiera di base con una saldatura Z5. Sia la staffa sia le saette sono in acciaio S235JR e la staffa presenta due asole per garantire lo spostamento del morsetto e poter schiacciare la cornice in punti differenti a seconda delle necessità. Si è deciso di usare 12 supporti di questa tipologia per avere una distensione uniforme e continua del materiale.



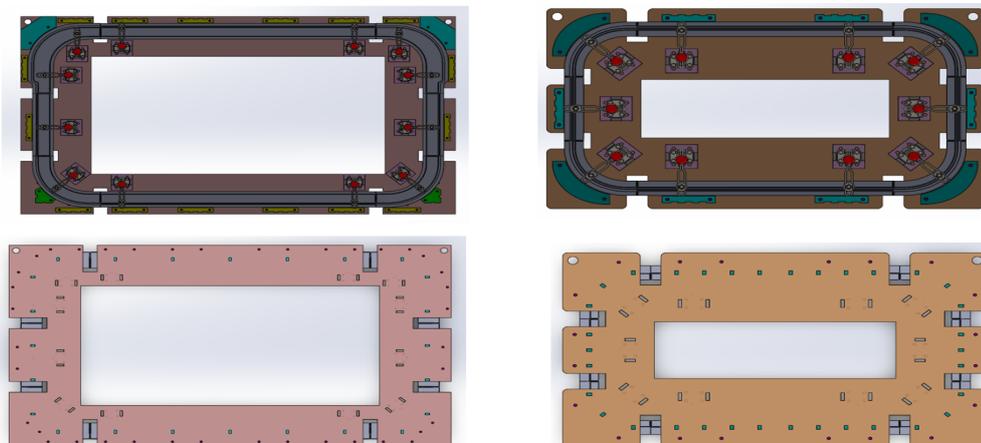
**Figure 5.28:** Supporto con Destaco per cornice

L'ultimo passo per finire la maschera è stato quello di realizzare gli scarichi sulla lamiera per saldare i supporti creati e le aperture per poter saldare. La configurazione della dima di saldatura per la cornice è la seguente:



**Figure 5.29:** Maschera di saldature cornice fiancata

Lo stesso processo è stato utilizzato per realizzare le maschere delle altre cornici che si differenziano solamente per le dimensioni di lunghezza e larghezza:



**Figure 5.30:** Altre tipologie di cornici

### 5.3 Dima di assemblaggio per le fiancate

Una volta che le fiancate sono state fresate e le cornici saldate, è necessario assemblare questi due elementi insieme. Per eseguire questa operazione sono stati progettati dei cavalletti che fungono da base di appoggio sui quali sono fissati dei sostegni che seguono il profilo della fiancate per poterla posare sopra.

Si è scelto di utilizzare tre cavalletti composti da dei tubolari 100x60x3mm in acciaio S235JR, poichè sono commerciali e poco costosi e garantiscono un'elevata resistenza, saldati tra loro e disposti lungo la dimensione più corta della fiancata che è la larghezza ed ha un valore di 2111,6 mm.

Il tubolare superiore, in contatto col sostegno della fiancata, ha una lunghezza pari a quella della fiancata, ovvero 2111,6 mm ed un peso di 15,7 kg. Le gambe del cavalletto che sostengono il tubolare superiore sono anch'esse dei tubolari 100x60x3 mm lunghi 825,8 mm con un taglio, realizzato tramite seghetto, di 30° ad entrambe le estremità per poterli inclinare e saldare. Sono saldate al tubolare superiore con una saldatura z5 per avere un cordone resistente ed hanno un peso di 5,70 kg. L'altezza delle gambe è stata scelta in modo tale da arrivare ad un'altezza complessiva dell'assieme, contando anche il tubolare superiore e la parte piana della fiancata, di circa 1200 mm per permettere all'operatore di lavorare in una posizione ergonomica senza doversi abbassare troppo. Le gambe sono collegate mediante un ulteriore tubolare 100x60x3 mm con una lunghezza di 653,8 mm tagliato a 30° ad entrambe le estremità e saldato sulle gambe con una saldatura testa a testa di spessore 3 mm che è lo stesso spessore dei tubolari.

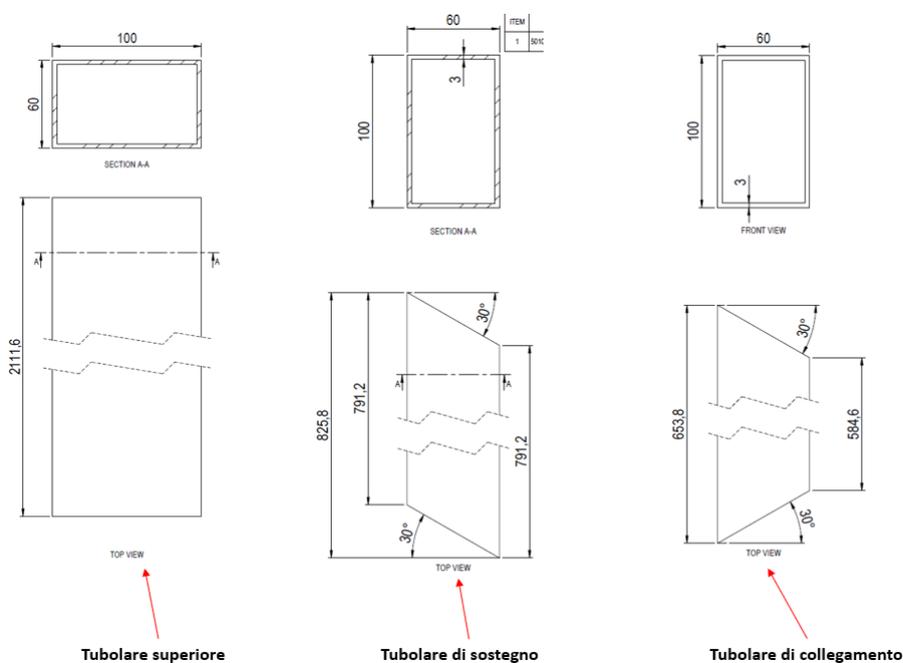
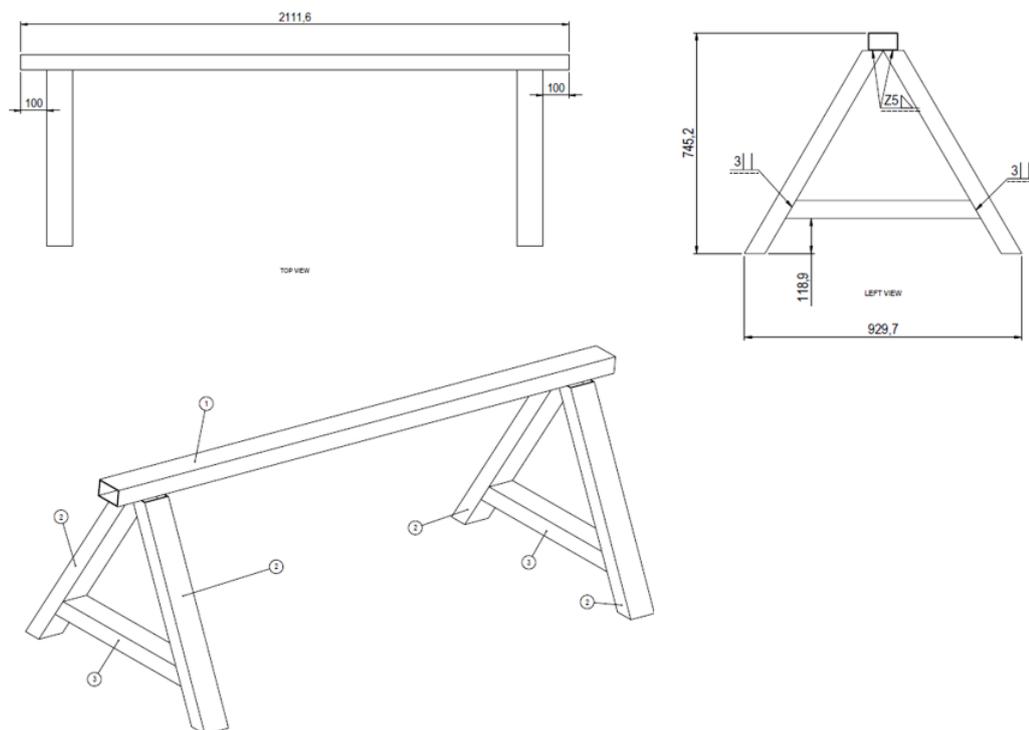


Figure 5.31: Tubolari 100x60x3 mm

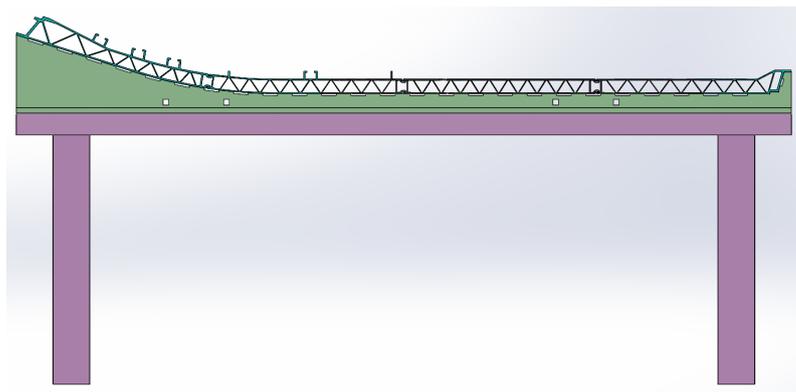


**Figure 5.32:** Cavalletto per fiancate

Il peso totale di ciascun cavalletto, dato dalla somma del peso dei tubolari utilizzati, è di 46,9 kg.

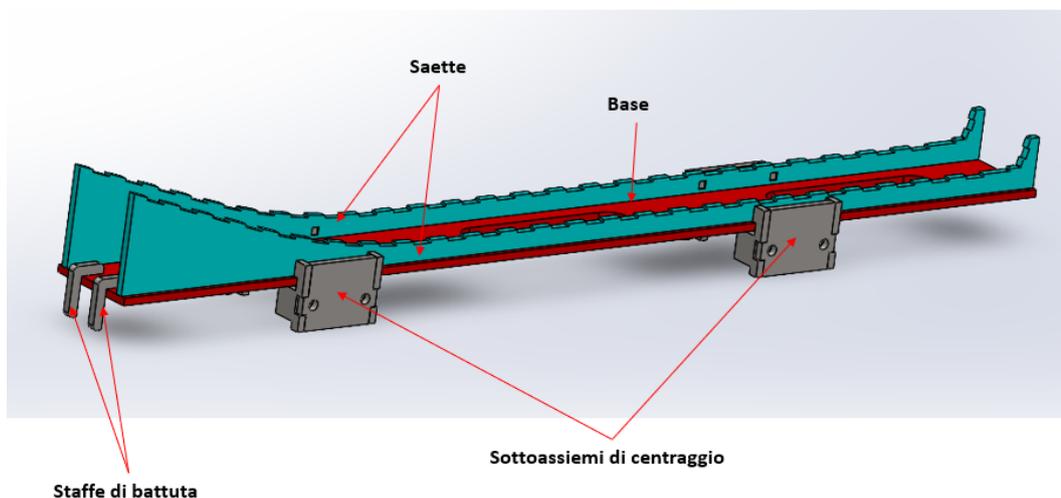
La fase successiva della realizzazione della dima è la progettazione di una sella poggiata sui cavalletti che ha la funzione di sostegno per la fiancata.

Il primo elemento di questa sella sono due saette identiche disposte a 150 mm l'una dall'altra che ripercorrono il profilo della fiancata per garantirne l'appoggio. Le saette sono realizzate in acciaio inox AISI 304 poichè in contatto con un elemento in alluminio, sono spesse 15 mm per avere una buona superficie di appoggio e resistenza, presentano dei dentini e non una superficie piana poichè la fiancata, essendo un estruso, non è mai perfettamente liscia ma presenta dei difetti e hanno un peso di 14,5 kg. Queste due saette sono saldate mediante degli incastrì su una base in acciaio strutturale S235JR lunga 2111,6 mm (come il cavalletto e la fiancata), larga 200 mm, quindi più del tubolare superiore del cavalletto, per garantire una maggiore superficie di contatto, spessa 15 mm e con un peso di 38,57 kg.

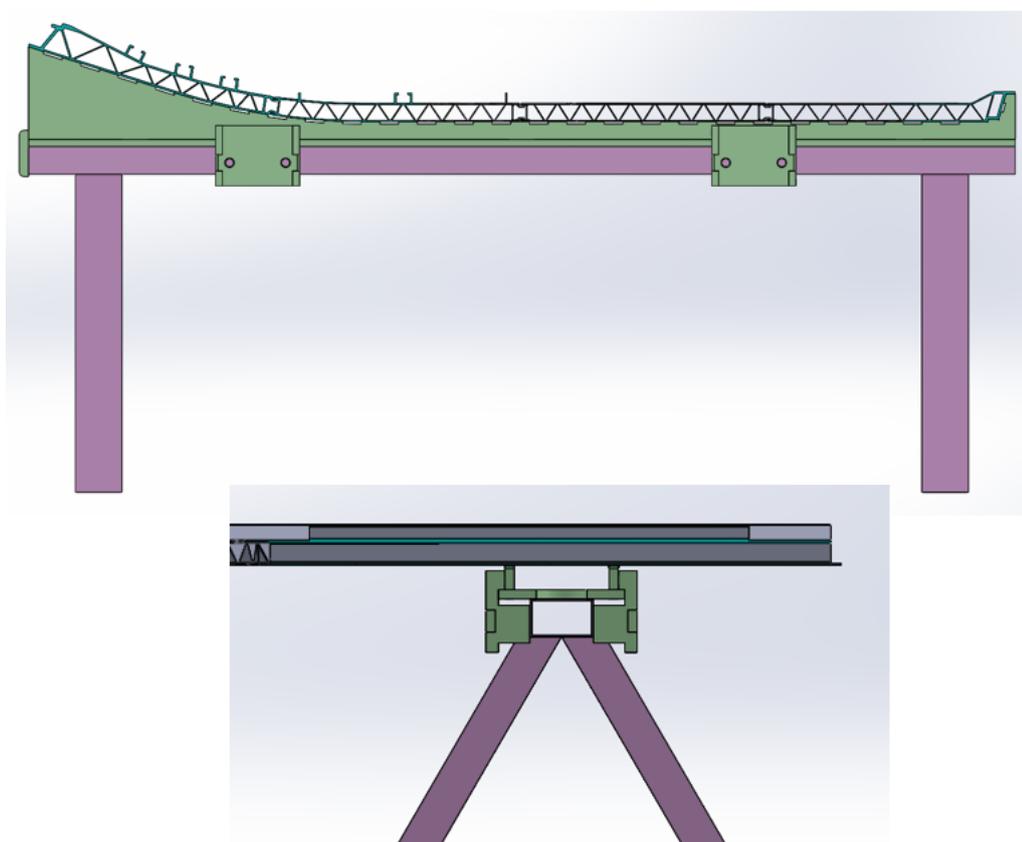
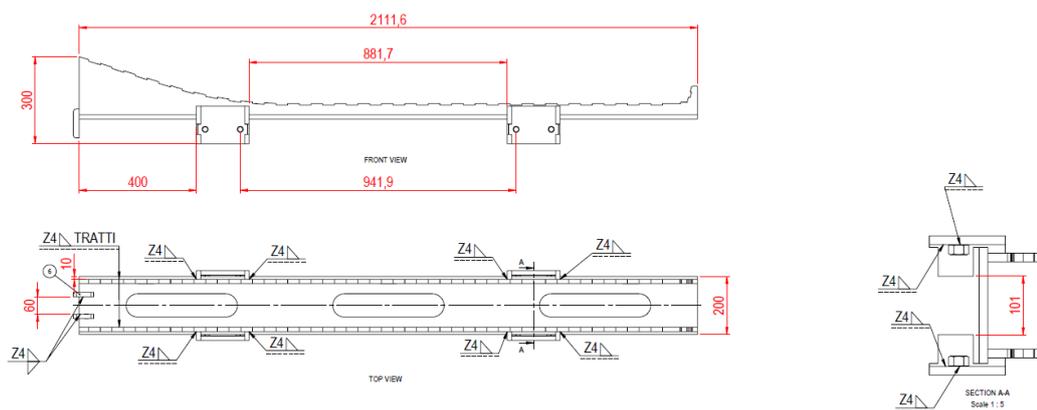


**Figure 5.33:** Sella con base e saette

Per posizionare la base in lunghezza, sono state inserite su di essa due staffe in acciaio S235JR spesse 15 mm che vengono saldate con una saldatura Z4 su entrambi i lati e che vanno in batua sul tubolare. Il centraggio della base sul tubolare, viene effettuato tramite un sottoassieme saldato che comprende un piatto centrale con due saette laterali in acciaio strutturale saldate su di esso con una saldatura z4. Il piatto presenta, inoltre, due fori di diametro 20 mmm sul i quali vengono saldati con una saldatura z4 due dadi M20 ISO 4032 nei quali verranno inserite successivamente delle viti collegate a delle traverse per rendere la struttura più resistente. Questo sottoassieme è presente su entrambi i lati della sella per avere un centraggio migliore e su ogni lato sono stati utilizzati due di questi sottoassiemi.



**Figure 5.34:** Sella



**Figure 5.35:** Messa in tavola sella

Per rendere la struttura più stabile e resistente si sono progettati dei distanziali che mantenessero i cavalletti ad una distanza predefinita di 2025 mm per permettere l'appoggio delle fiancate con l'utilizzo di soli tre cavalletti.

Il distanziale è composto da un tubolare 100x60x3 mm in acciaio S235JR che pesa 14,38 kg alle cui estremità sono saldati con una saldatura z4 due piatti in acciaio spessi 15 mm dal peso di 1,68 kg che presentano dei fori passanti di diametro 21 mm nei quali vengono inserite delle rondelle M20 e delle viti M20x60 ISO 4017 che andranno ad avvitarsi sul dado saldato della sella permettendo il collegamento della struttura.

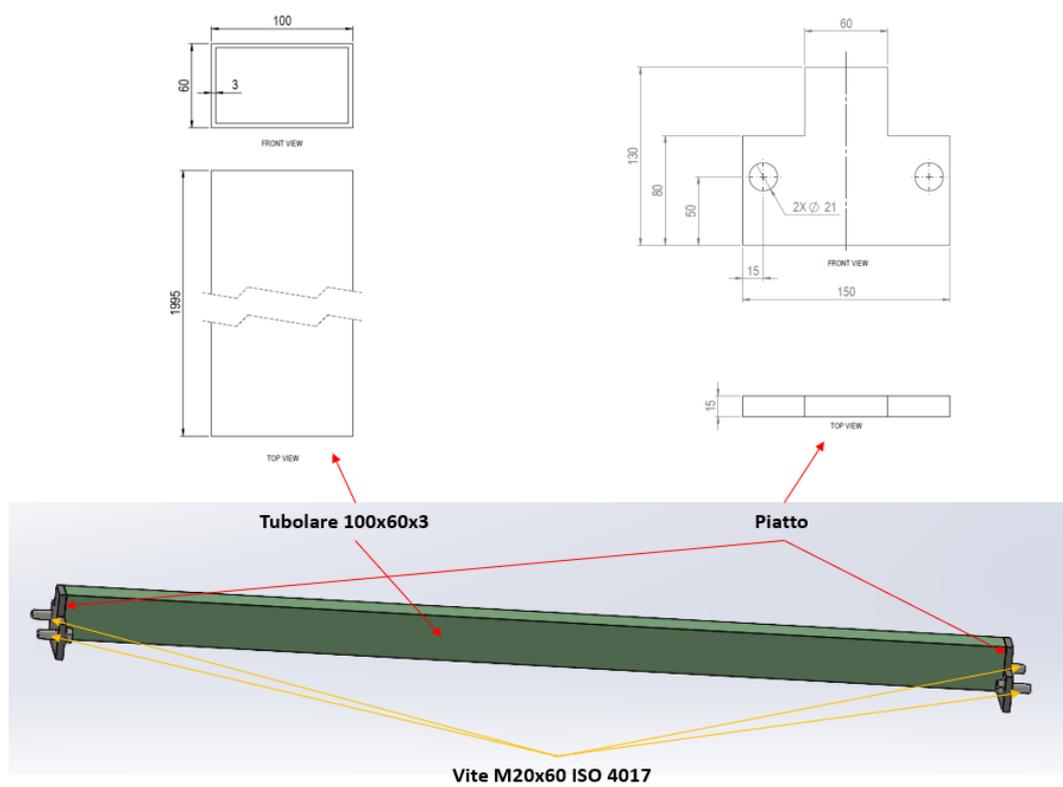


Figure 5.36: Distanziale

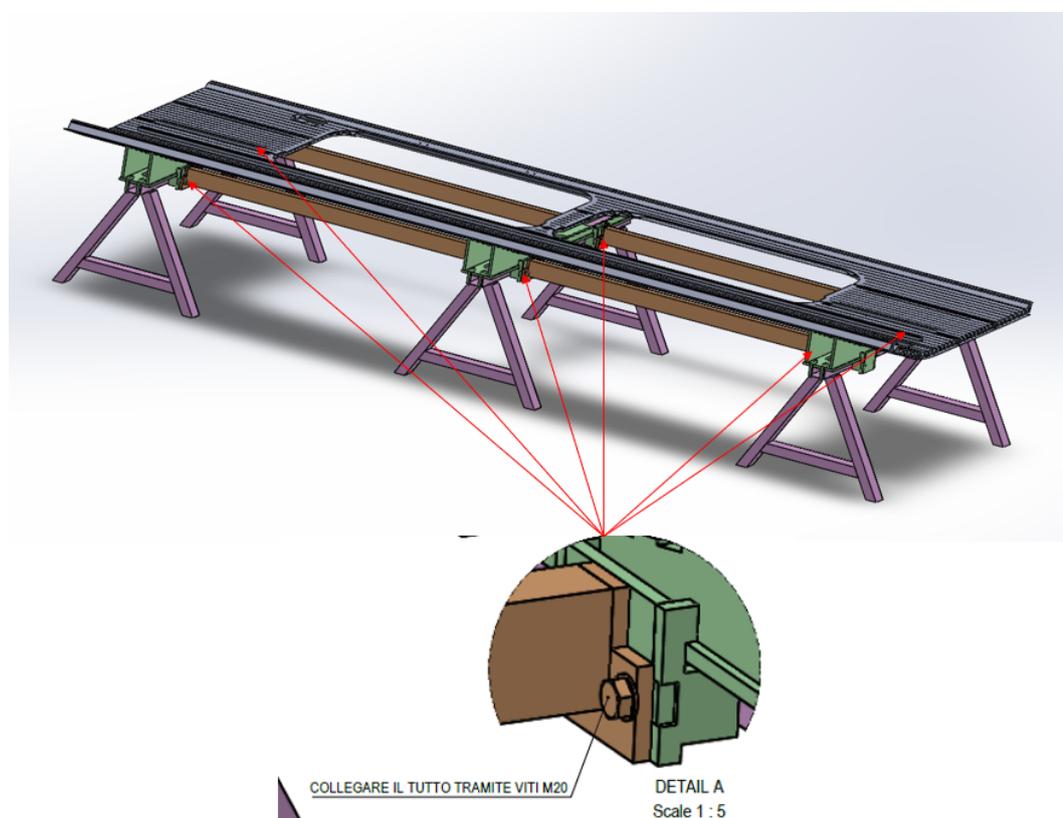


Figure 5.37: Dima di assemblaggio fiancate

## Chapter 6

# Cabina-Testata anteriore

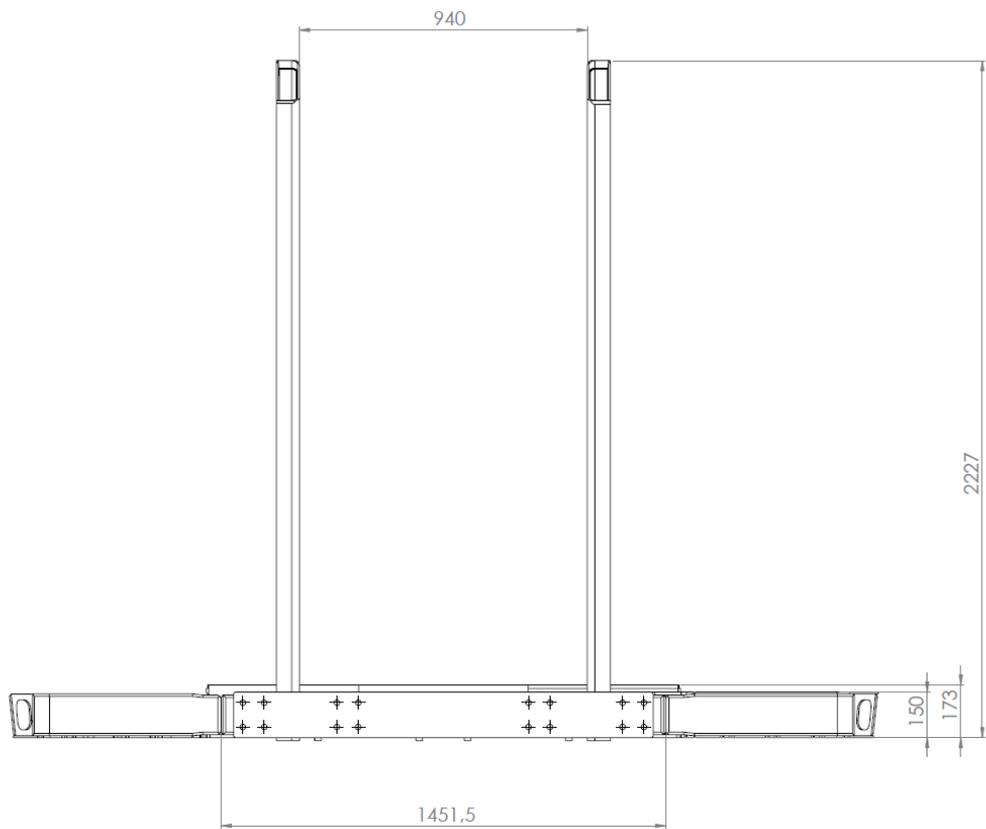
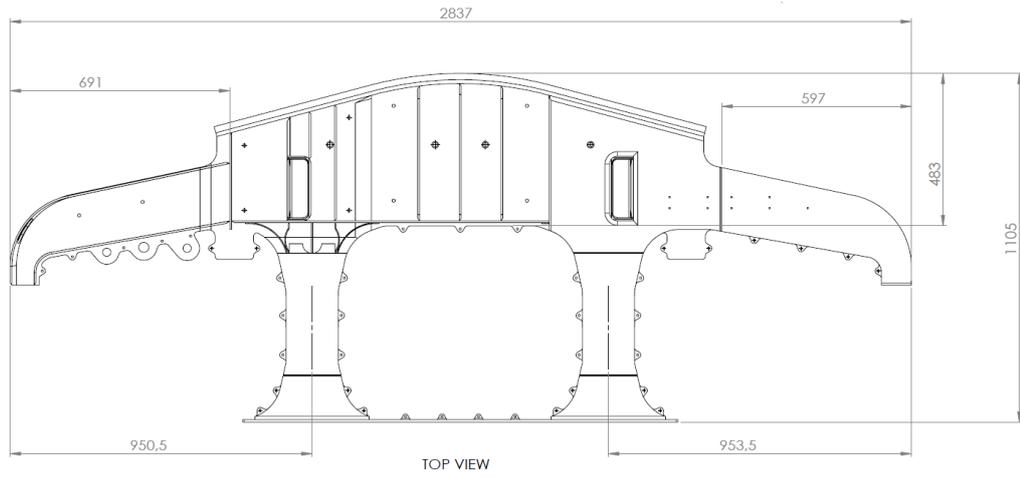
La testata anteriore della cabina di un treno è una componente fondamentale sia dal punto di vista strutturale sia da quello funzionale poichè rappresenta la parte anteriore della cabina e svolge importanti funzioni riguardanti la sicurezza, la visibilità e l'integrazione con il resto del treno.

I principali compiti della testata anteriore sono i seguenti:

- sicurezza e protezione in caso di incendi;
- visibilità ottimale per il conducente;
- design aerodinamico che riduce la resistenza all'aria e migliora l'efficienza energetica;
- funzioni di emergenza mediante sensori installati su di essa;
- protezione contro i detriti.

In questo capitolo, si tratterà la progettazione della maschera di assemblaggio della prima fase della testata anteriore e non di quella completa a causa di cambiamenti di alcuni particolari richiesti dal cliente durante la realizzazione della dima finale che impattano sulle successive fasi e che sono ancora in fase di studio.

La testata è composta da: una base spessa 10 mm, due montanti verticali formati da due lamiere a C saldate tra loro e spesse 6 mm, una serie di saette saldate alla base che sorreggono le lamiere superiori, due piastre laterali di spessore 6 mm, l'anticlimber ( una griglia dentata in acciaio robusto che interagisce con quello della carrozza antecedente ed evita che una carrozza "scavalchi" l'altra evitando possibili gravi danni strutturali e deragliamenti) e una piastra finale spessa 10 mm saldata all'estremità del pezzo.



**Figure 6.1:** Messa in tavola testata anteriore

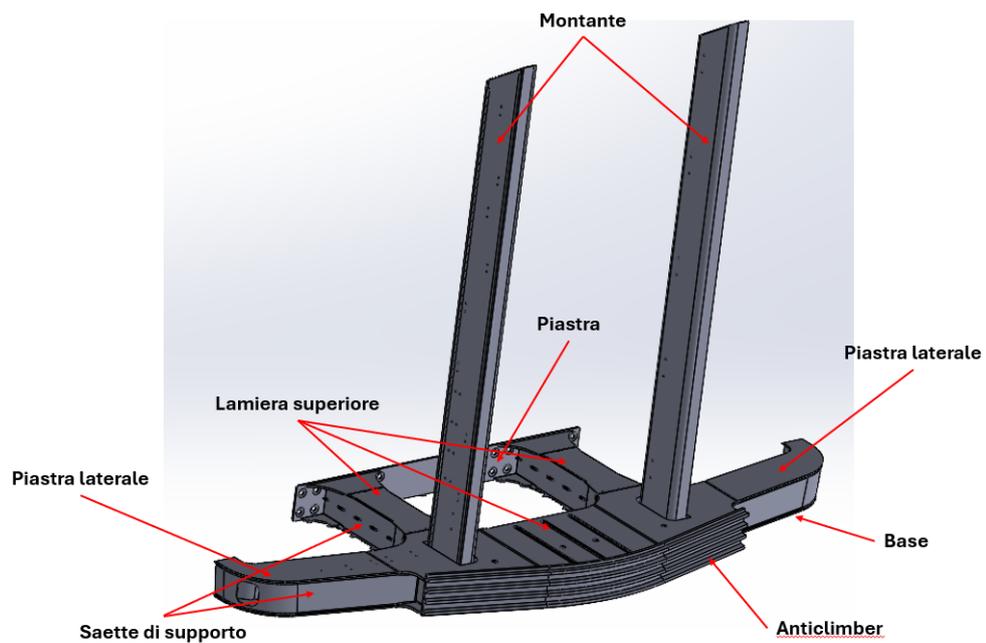
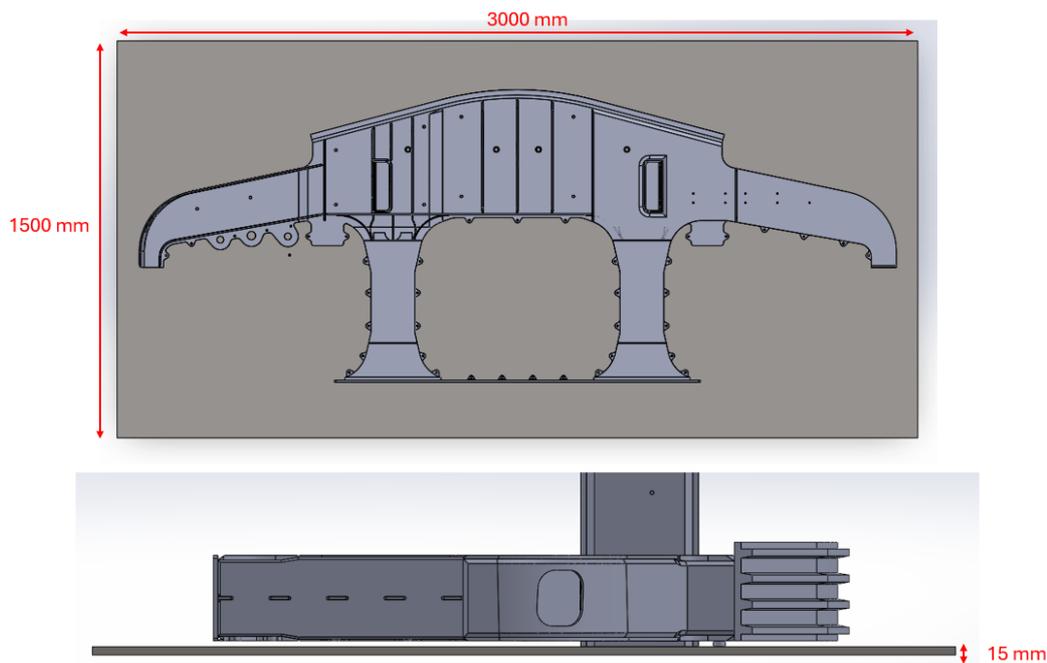


Figure 6.2: Componenti testata anteriore

## 6.1 Maschera di assemblaggio testata

La progettazione della maschera di assemblaggio della testata parte, come negli altri casi, dalla lamiera di base. Tuttavia, a causa del peso del particolare, la base di partenza è una lamiera in acciaio strutturale S275JR (migliorativo in resistenza rispetto al S235JR usato per le altre dime) di dimensioni iniziali 3000x1500 mm (il massimo per una lamiera standard) e spessore 15 mm ( per avere più robustezza rispetto ai 10 mm di solito utilizzati).



**Figure 6.3:** Lamiera di base iniziale

Successivamente, la base viene rifilata per seguire il profilo del componente e vengono realizzati dei fori rettangolari nelle zone di saldatura per permettere all'operaio di saldare avendo uno spazio minimo di 30 mm per lato. Nella zona dell'anticlimber, per unire due zone di saldatura garantendo all'operatore una saldatura continua, si sono realizzati due scarichi a forma di T inclinata.

Le saldature sono simmetriche rispetto all'asse verticale della testata facilitando la progettazione della dima che può essere anch'essa simmetrica permettendo di lavorare su metà maschera e poi di specchiare le operazioni eseguite rispetto all'asse di simmetria.

La base ha un peso di 342 kg.

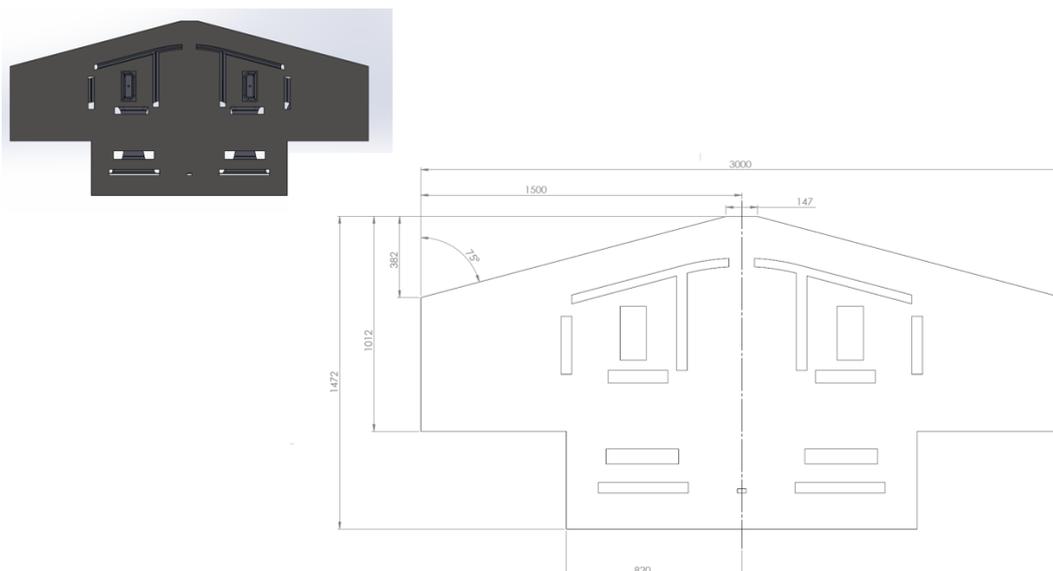


Figure 6.4: Lamiera di base ritagliata

### 6.1.1 Telaio

Il passo successivo nella progettazione della dima è la realizzazione di un telaio di sostegno che supporti la lamiera di base, garantendone maggiore robustezza e resistenza, per il quale sono stati usati gli HEB 120 in acciaio S235JR come anche nelle altre dime. In prima battuta, questi profili sono stati inseriti in modo tale da seguire e rinforzare il perimetro della base.

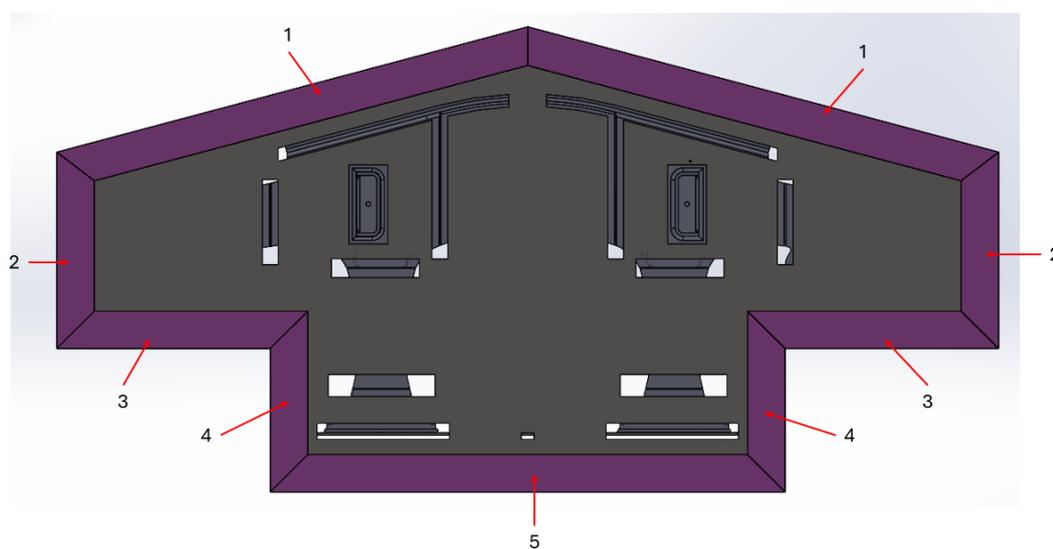
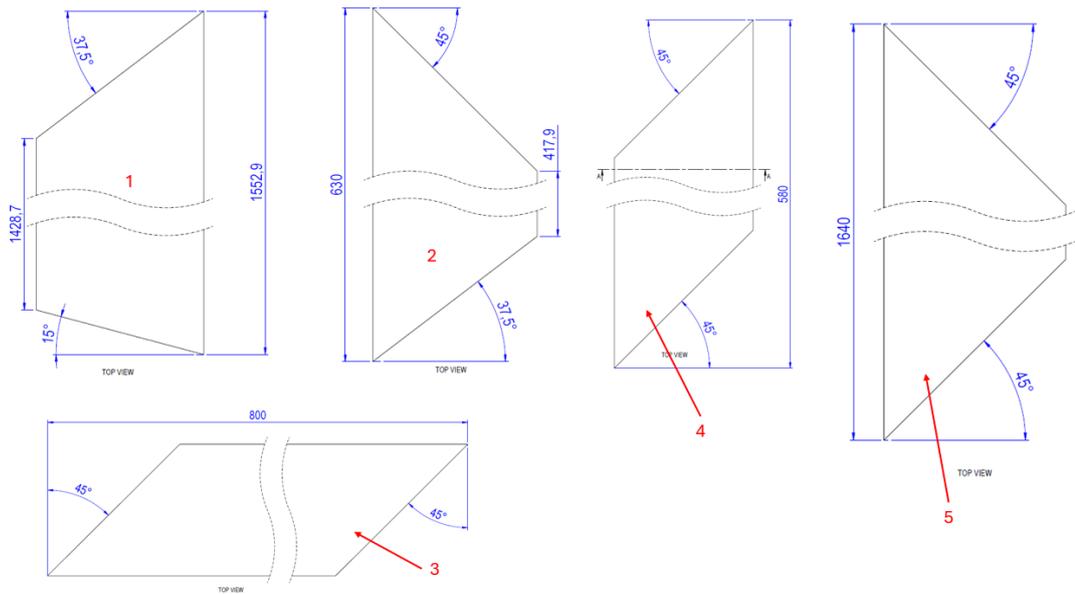
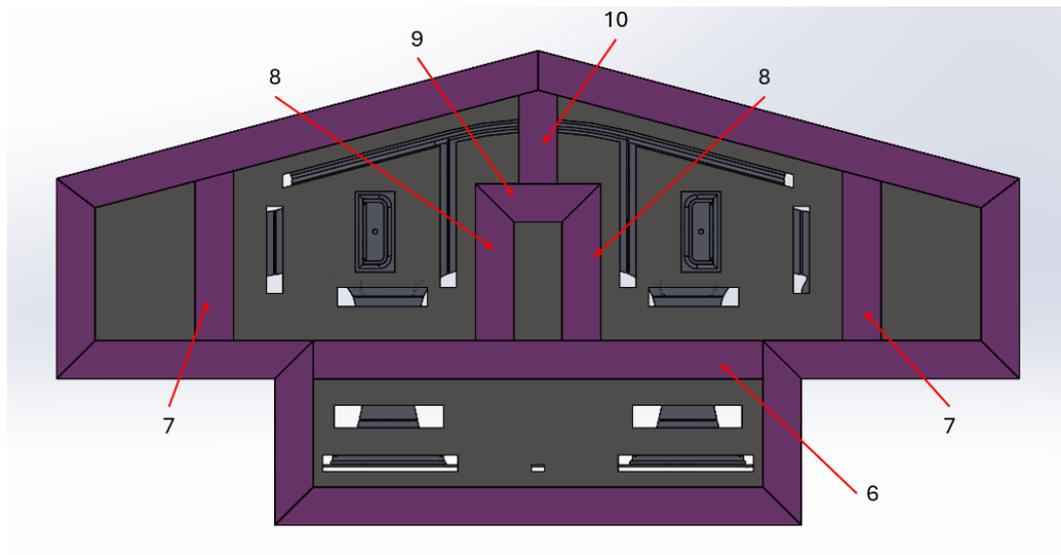


Figure 6.5: Telaio iniziale



**Figure 6.6:** HEB 120 telaio

Il telaio così realizzato, ha una buona resistenza sul perimetro della testata ma non aiuta la base a sorreggere la zona centrale nella quale si trovano la maggior parte dei componenti e del peso. Per questo motivo, si sono aggiunti degli altri HEB 120 che permettessero di collegare la zona inferiore con quella superiore e quella sinistra con quella destra e garantissero una migliore distribuzione del carico sul telaio senza andare ad ostacolare e ricoprire le aperture per la saldatura.



**Figure 6.7:** Telaio rinforzato

Rispetto agli HEB sul perimetro che sono solamente tagliati col seghetto e saldati, questi di rinforzo necessitano anche di essere fresati per poter essere saldati lungo tutto il profilo a quelli esterni.

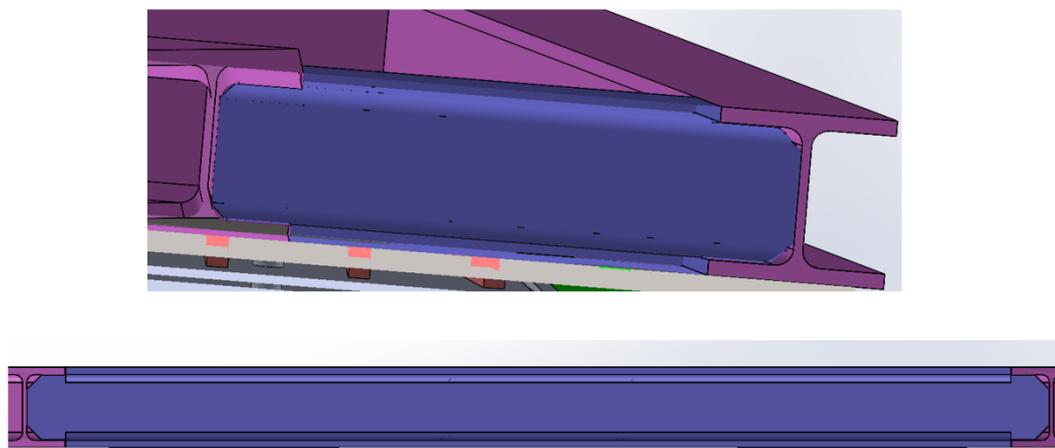


Figure 6.8: Sezione telaio

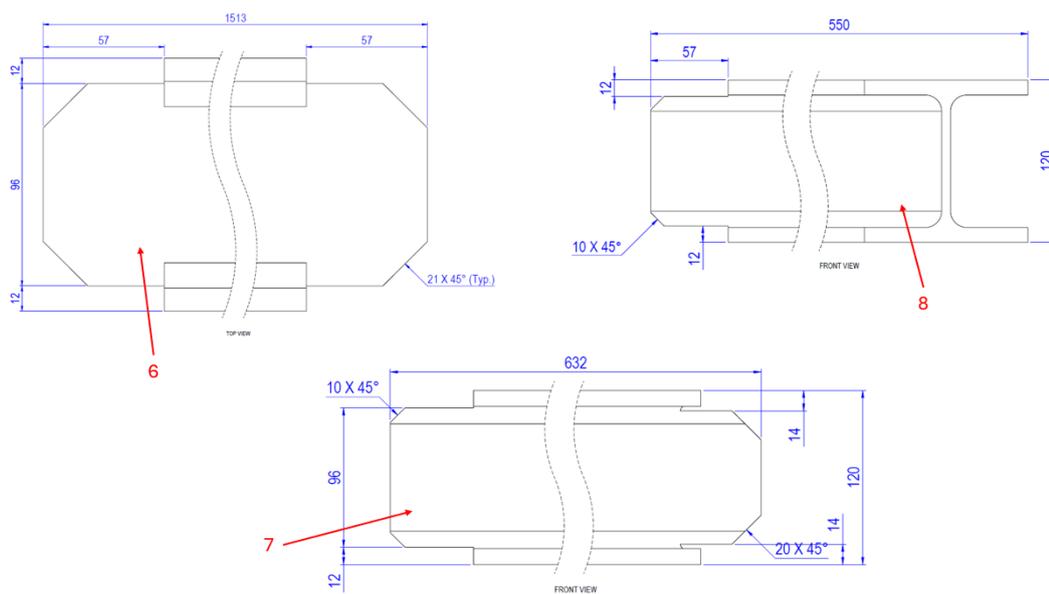


Figure 6.9: HEB di rinforzo 6,7,8 per telaio

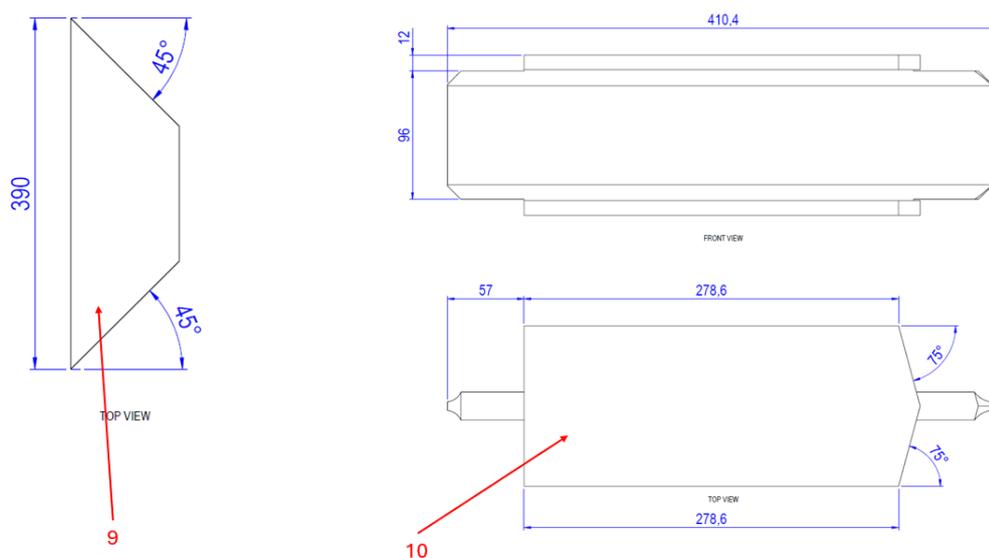


Figure 6.10: HEB di rinforzo 9,10 per telaio

Il telaio completo ha un peso di 312,7 kg.

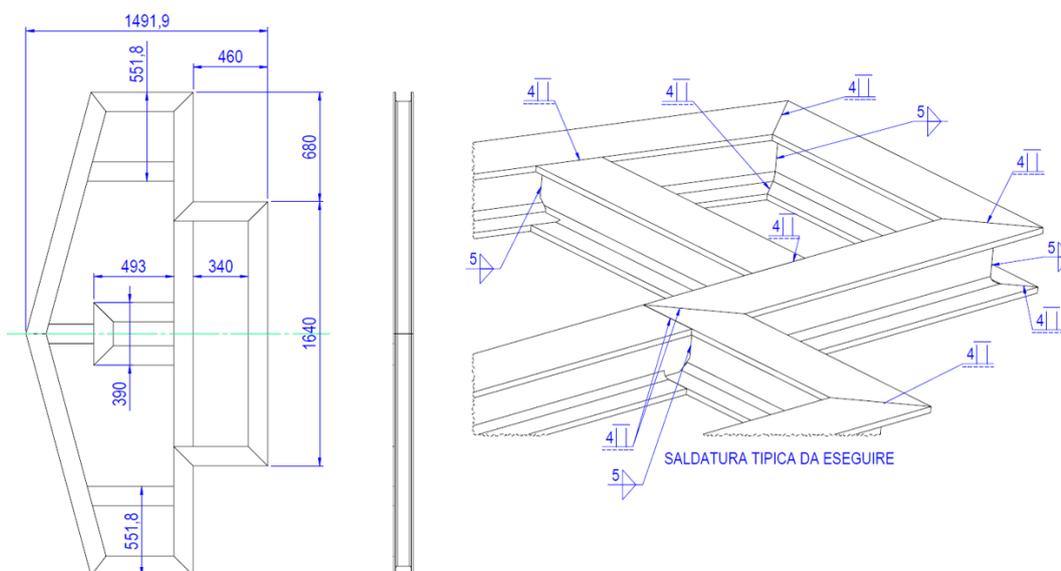
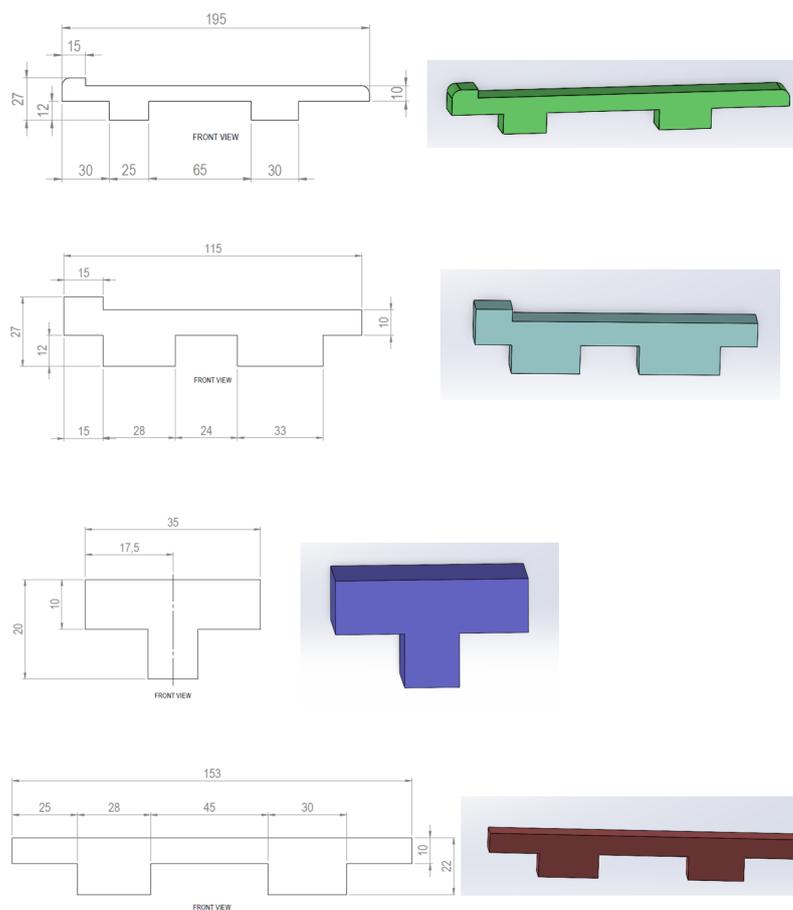


Figure 6.11: Messa in tavola telaio con saldature

### 6.1.2 Saette di contatto

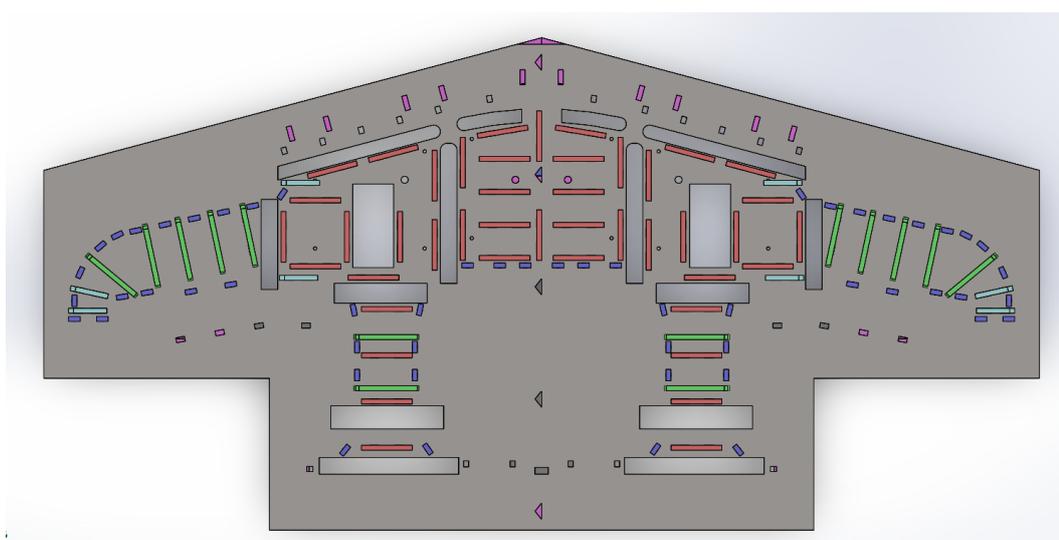
Dopo aver realizzato il telaio, si è passati alla progettazione di saette di contatto che hanno il compito di sorreggere i particolari della base della testata rialzandoli dal piano della base di 10 mm. Le saette sono in acciaio strutturale S275JR (e non in acciaio inox perchè la testata è anch'essa in acciaio per cui non si hanno problemi di corrosione galvanica e il costo del materiale è minore) perchè è più resistente rispetto a quello S235JR, hanno uno spessore di 15 mm per avere una base di appoggio più ampia e maggiore robustezza e sono saldate sulla lamiera di base tramite i piedini che hanno una lunghezza di 12 mm.

Le saette sono di quattro tipologie differenti a seconda della zona della testata nella quale sono impiegate e della lunghezza del pezzo da sorreggere:



**Figure 6.12:** Saette di appoggio

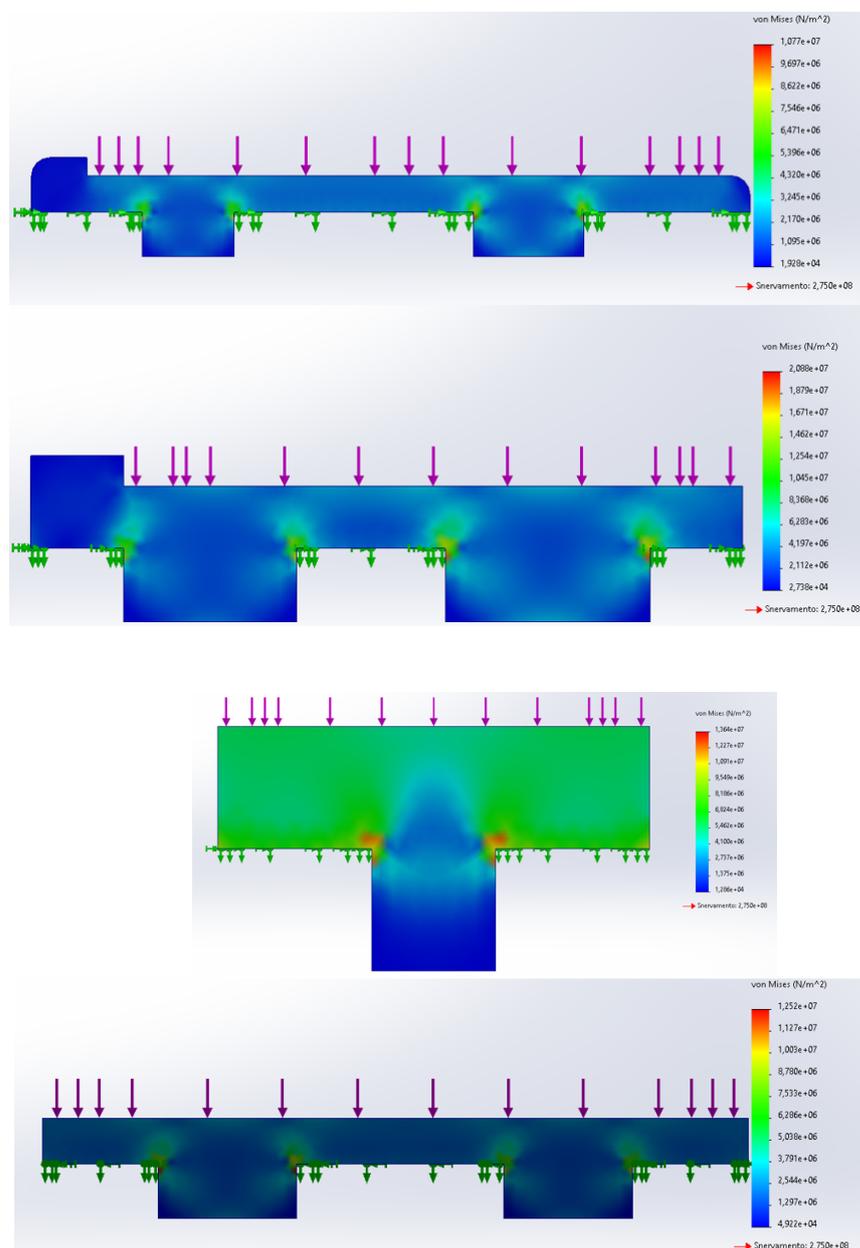
La disposizione delle saette sulla dima è la seguente:



**Figure 6.13:** Saette dima di assemblaggio testata anteriore

Anche per queste saette di contatto si è eseguita l'analisi statica. Il valore di forza agente per ogni singola saetta utilizzato per il calcolo (in maniera approssimata) è dato dalla forza peso della testata anteriore della cabina diviso il numero totale delle saette, mentre il vincolo definito è quello di incastro nelle zone dove è a contatto con la lamiera di base.

I risultati dell'analisi sono i seguenti:



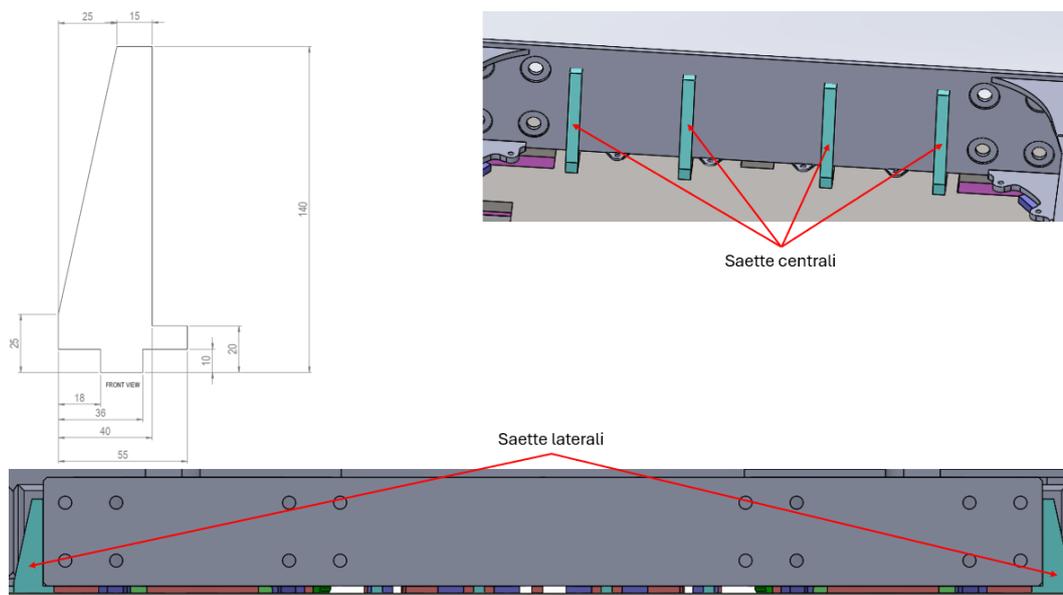
**Figure 6.14:** Analisi statica saette di contatto testata

Dall'analisi si ricava che c'è un massimo di tensione in corrispondenza degli spigoli vivi ( che sappiamo essere elementi di concentrazione di tensione a causa della brusca variazione di geometria) ma le saette sono tutte in sicurezza visto che la tensione di snervamento del materiale è superiore al valore di picco della tensione di Von Mises.

### 6.1.3 Saette di posizionamento

Dopo la progettazione delle saette che fungono da appoggio per la base della testata, si è passati alle saette che servono per il posizionamento del piatto da fresare e dell'anticlimber. Entrambe le tipologie di saette sono in acciaio strutturale S275JR e hanno uno spessore di 15 mm.

Per il piatto, si sono utilizzate sei saette, due laterali per il centraggio e quattro centrali (simmetriche rispetto al centro della dima) come appoggio, per garantire un corretto posizionamento del particolare. Le saette sono a forma di L (larghezza 55 mm e altezza 140 mm) con un lato tagliato per "rompere" la faccia e il piedino per la saldatura sulla base.

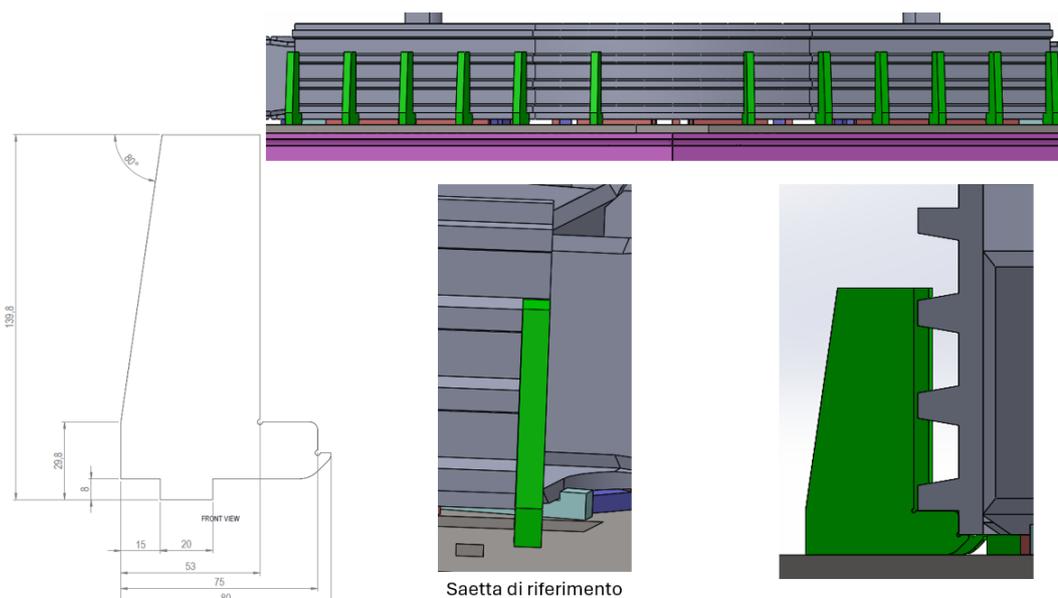


**Figure 6.15:** Saette per posizionamento piatto da fresare

Un discorso analogo si può fare anche per le saette realizzate per il posizionamento dell'anticlimber. Anche in questo caso, infatti, le saette sono a forma di L con un'altezza di 140 mm ma con una larghezza di 80 mm e sono disposte in modo speculare rispetto al centro della dima (dodici in totale, sei per lato) ad una distanza di 130 mm l'una dall'altra.

Tuttavia, queste saette sono disposte solo centralmente all'anticlimber e non lateralmente perchè il particolare segue il profilo di quella zona della cabina e non è possibile accoppiarli diversamente. Per evitare, in ogni caso, che il centraggio dell'anticlimber venga sbagliato di qualche millimetro ( che comporterebbe un errore che si ripercuoterebbe nelle successive fasi di assemblaggio della testata) si sono utilizzate due saette come riferimento (una per lato) le cui facce esterne sono a filo con il termine del componente.

Inoltre, le saette non sono a contatto con il pezzo ma hanno un gioco di 2 mm in quanto sono esterne per recuperare eventuali deformazioni dovute alla saldatura.



**Figure 6.16:** Saette per posizionamento anticlimber

Per queste tipologie di saette non si è effettuata l'analisi statica poiché il peso dei componenti da sorreggere è esiguo ed il numero di staffe utilizzate è elevato per cui la sicurezza statica è verificata.

#### 6.1.4 Supporti per la saldatura

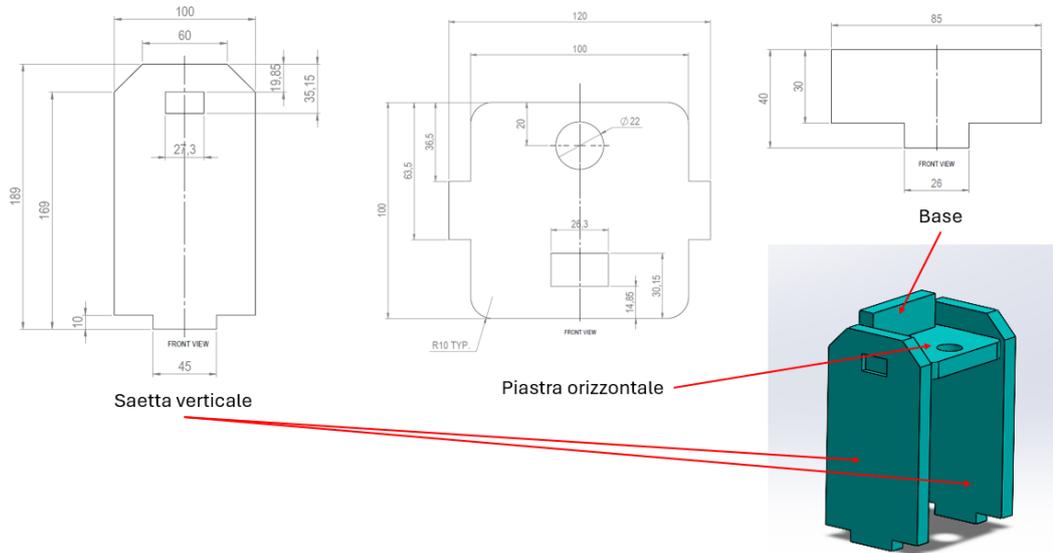
Per poter unire tra di loro i vari componenti della testata, è necessario utilizzare dei supporti che aiutino l'operaio durante la saldatura schiacciando i particolari ed evitando le deformazioni.

Come avvenuto anche per il vano porta, la testata piatta e le fiancate, i supporti sono composti da due staffe laterali verticali sulle quali è saldata una piastra centrale orizzontale che funge da base per il sottoassieme di pressione la cui posizione viene regolata mediante un bullone formato da una vite M20x100 ISO 4017 e un dado M20 ISO 4032. Tutti i particolari sono realizzati in acciaio strutturale S235JR, compreso anche il sottoassieme di pressione perchè la testata è realizzata in acciaio e non in alluminio e hanno uno spessore di 15 mm.

Le zone in cui i supporti sono stati utilizzati sono l'anticlimber, le piastre laterali e la base. I supporti di queste zone differiscono quasi esclusivamente per le dimensioni delle staffe verticali e del sottoassieme di pressione, a causa delle diverse altezze delle zone da schiacciare, mentre gli altri particolari rimangono uguali tra loro per facilitarne la costruzione e per permettere di avere meno componenti differenti evitando errori.

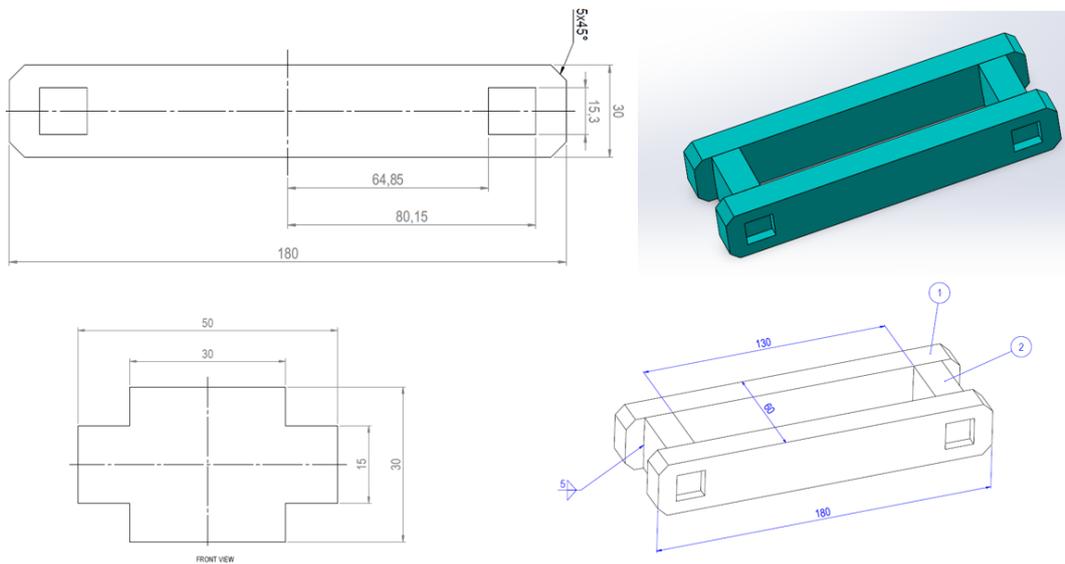
Nella zona dell'anticlimber sono stati usati cinque dei seguenti supporti costituiti da:

- un sottoassieme di base;



**Figure 6.17:** Sottoassieme di base zona anticlimber

- un sottoassieme di pressione;



**Figure 6.18:** Sottoassieme di pressione zona anticlimber

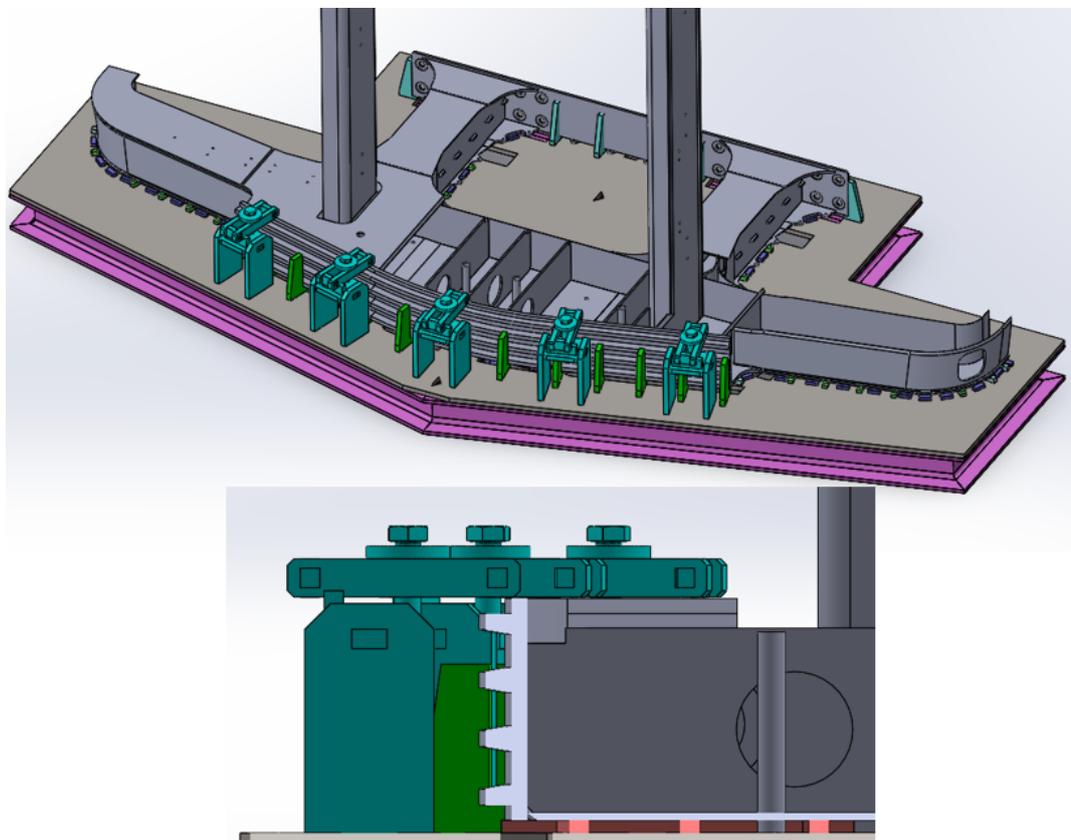
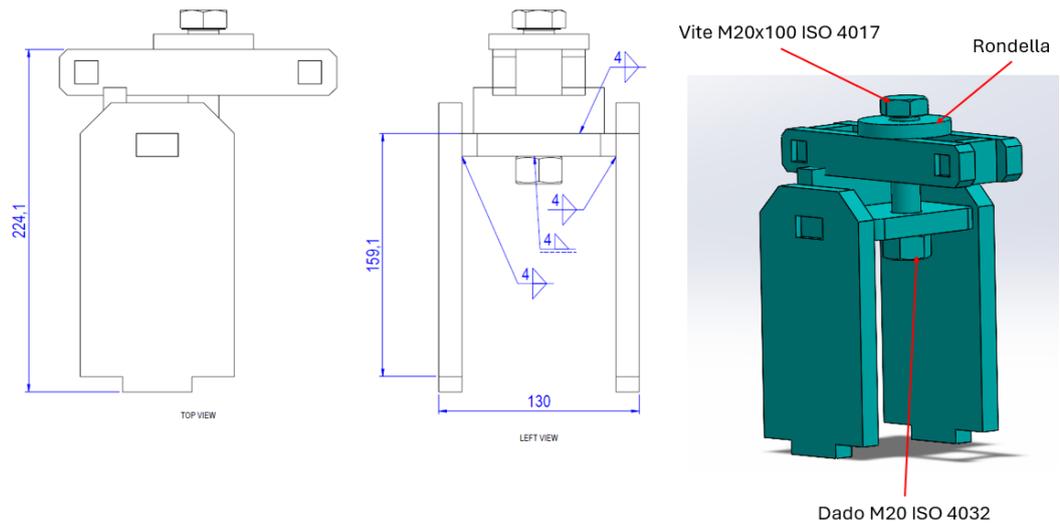
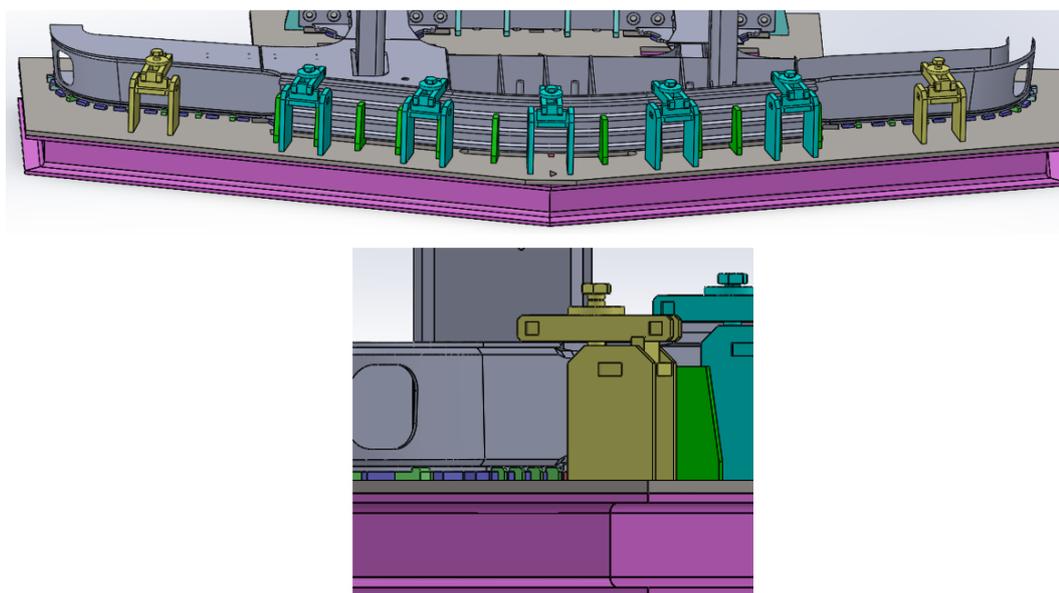
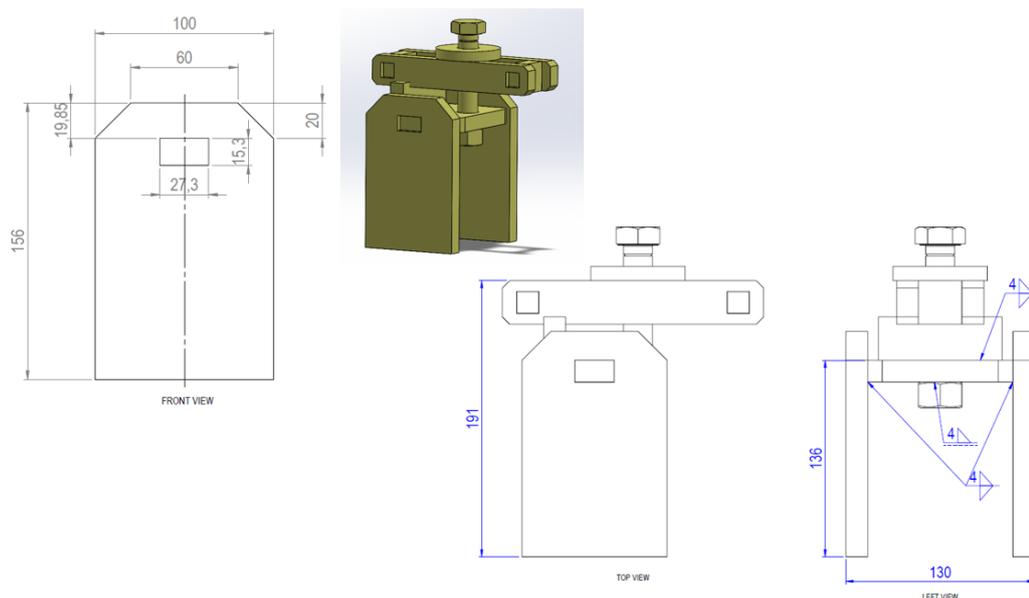


Figure 6.19: Supporto di pressione zona anticlimber

In modo analogo a quanto progettato per l'anticlimber, si sono realizzati due sostegni per le piastre laterali che variano da quelli precedenti solamente per le dimensioni delle staffe verticali laterali.



**Figure 6.20:** Supporto di pressione piastre laterali

I supporti per la zona della base sono concettualmente simili a quelli delle altre due zone ma presentano alcune differenze dovute alla bassa altezza della base rispetto al piano della dima. A causa di ciò, questi supporti non presentano le staffe verticali laterali e la piastra orizzontale ma solamente una piastra centrale saldata sulla dima e il sottoassieme di pressione saldato su di essa con il bullone che viene fatto passare dentro la dima tramite un foro di 22 mm di diametro. Lo stesso sottoassieme di pressione presenta una variazione nelle staffe laterali che non hanno più un profilo rettangolare ma presentano un'inclinazione verso il basso per avere una maggiore

forza nella zona da schiacciare, mentre quelle centrali rimangono invariate.

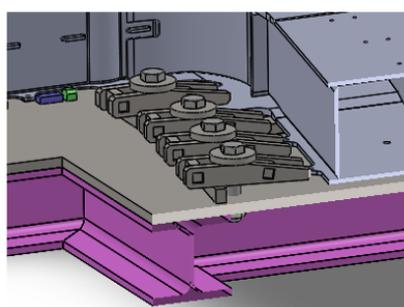
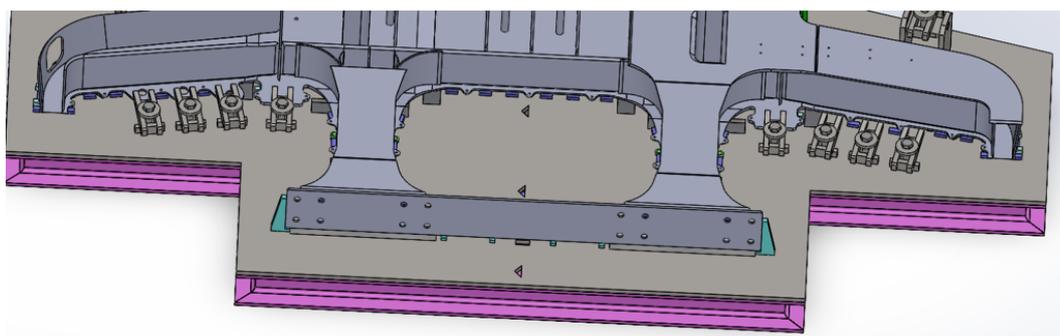
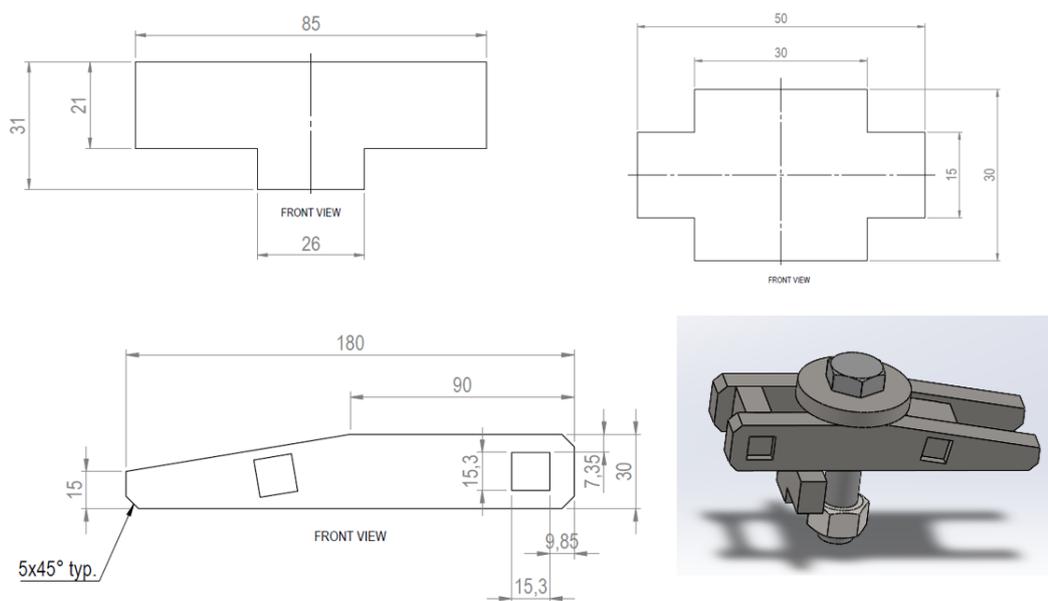


Figure 6.21: Supporto di pressione base

### 6.1.5 Dima completa

La configurazione finale della dima è la seguente:

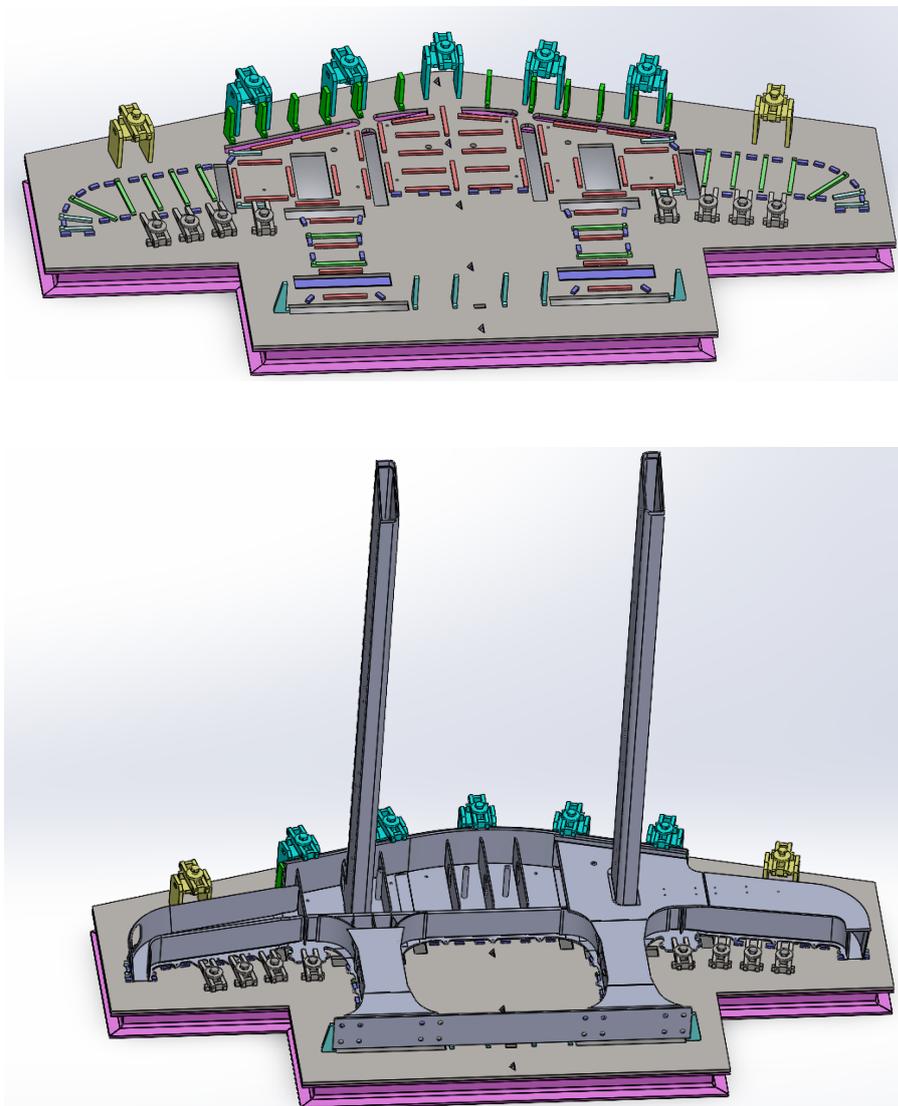


Figure 6.22: Dima completa testata anteriore

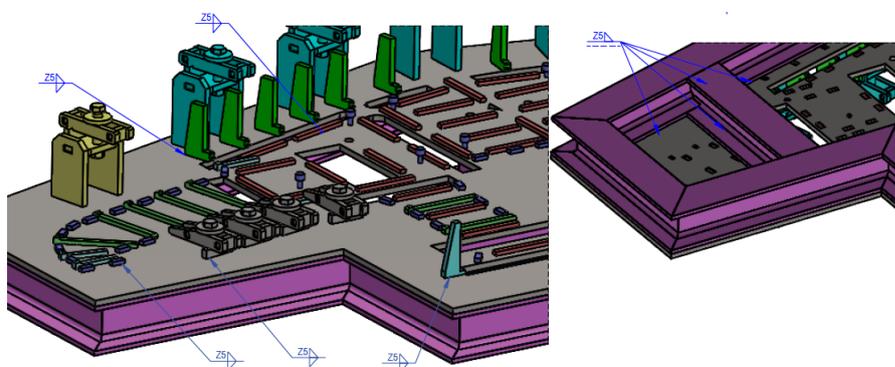
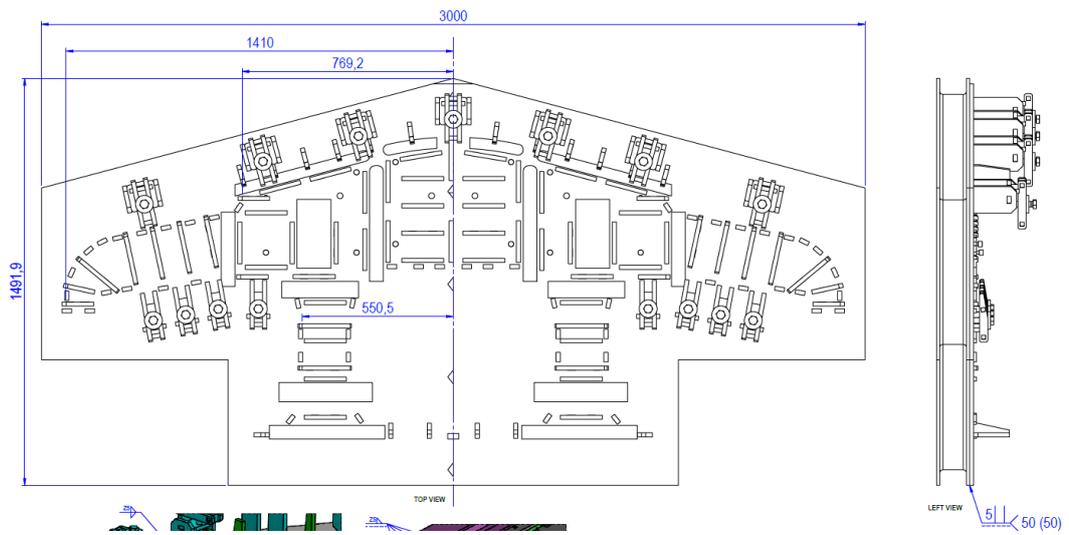


Figure 6.23: Saldature per particolari di contatto

Le quote di controllo da verificare sono le seguenti:



**Figure 6.24:** Quote di controllo dima testata anteriore

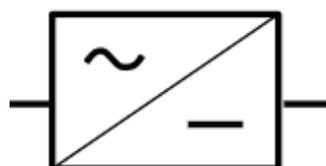
## Chapter 7

# Carpenteria caricabatterie

Il caricabatterie fa parte dei convertitori elettronici di potenza che sono dei convertitori statici, ovvero convertitori senza elementi in movimento meccanico, realizzati con dispositivi elettronici di potenza a semiconduttori che trasformano l'energia da una forma all'altra tramite la conversione della tensione, della corrente o della frequenza. Nei treni, sono essenziali per la distribuzione e la gestione dell'energia elettrica, permettendo l'alimentazione dei motori di trazione e dei sistemi ausiliari.

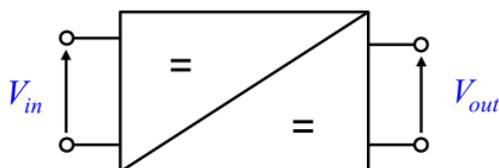
I convertitori elettronici di potenza vengono classificati in funzione del tipo della sorgente elettrica e del carico:

- Convertitori AC/DC (raddrizzatori): da sorgenti in alternata a carichi in continua;



**Figure 7.1:** Convertitore AC/DC

- Convertitori DC/DC (chopper): da sorgenti in continua a carichi in continua tipicamente a valori di tensione diversi, usati per alimentare diversi sistemi di servizio come il sistema di climatizzazione, l'illuminazione o altri componenti elettronici;



**Figure 7.2:** Convertitore DC/DC

- Convertitori DC/AC (inverter): da sorgenti in continua a carichi in alternata, utilizzati per alimentare i motori che operano in corrente alternata o per gestire la corrente per i sistemi ausiliari;

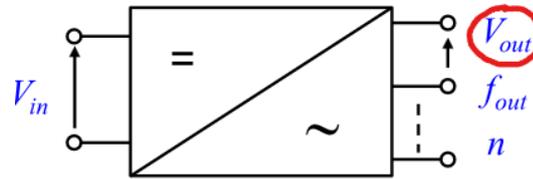


Figure 7.3: Convertitori DC/AC

- Convertitori AC/AC: da sorgenti in alternata a carichi in alternata

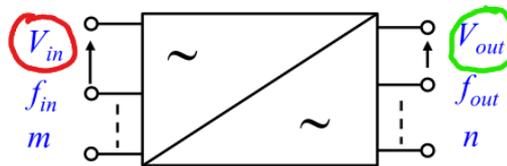


Figure 7.4: Convertitori AC/AC

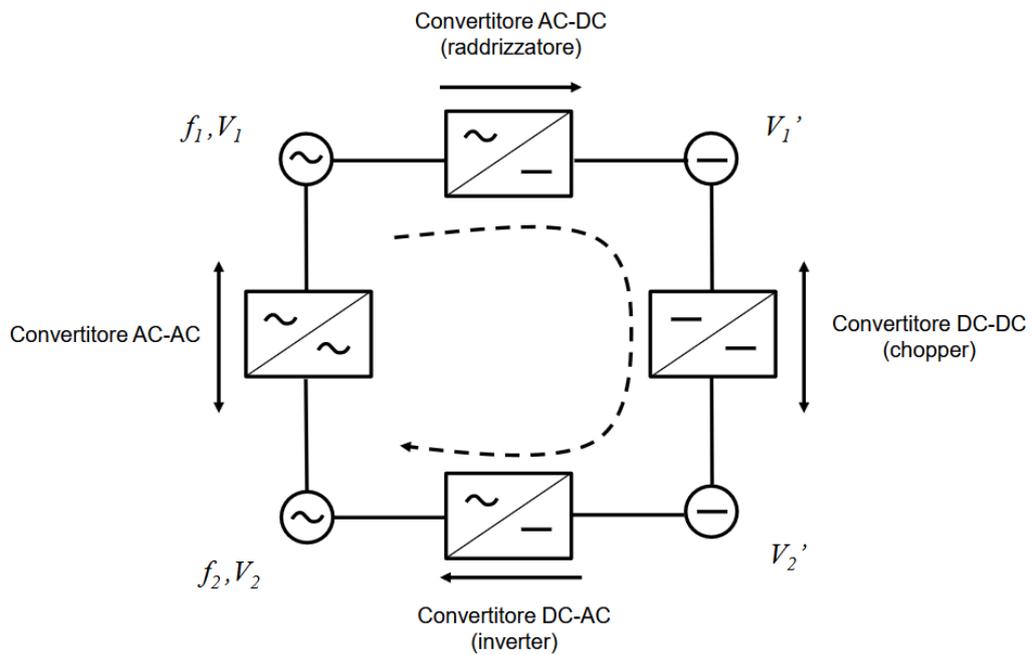
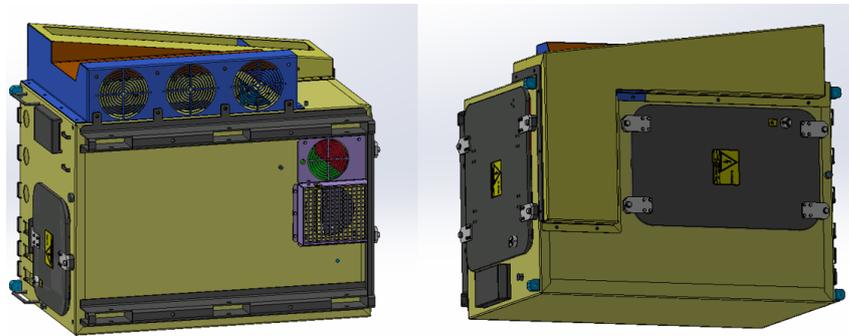


Figure 7.5: Classificazione convertitori elettronici di potenza

## 7.1 Modello 3D carpenteria caricabatterie

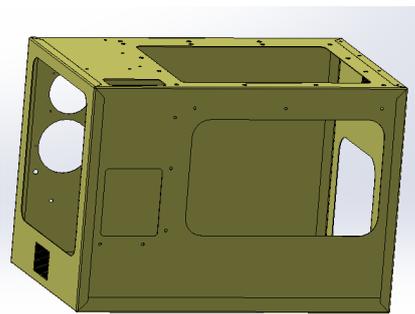
In questa sezione si discute la progettazione di alcuni componenti esterni della carpenteria (dei quali verranno mostrate le messe in tavola e il 3D) dei caricabatterie che verranno utilizzati nei convogli metropolitani all'interno di uno scomparto a loro dedicato. La carpenteria presenta un insieme di componenti in acciaio strutturale S275JR, in acciaio inox AISI 304 e in ALUCORE, dei pannelli compositi con struttura a nido d'ape in alluminio utilizzati perchè abbinano leggerezza ed eccellenti capacità di carichi statici. L'insieme finale, dopo essere stato saldato, smerigliato e raddrizzato, viene verniciato esternamente di colore grigio mentre internamente di colore bianco usando una apposita specifica definita dal cliente. La carpenteria, una volta inserito il caricabatterie, viene messa all'interno dello scomparto apposito tramite delle ruote dentate che fanno da guida e che si accoppiano con gli scassi delle omega esterne e viene bloccato in fondo da due perni di riferimento filettati.



**Figure 7.6:** Carpenteria completa caricabatterie

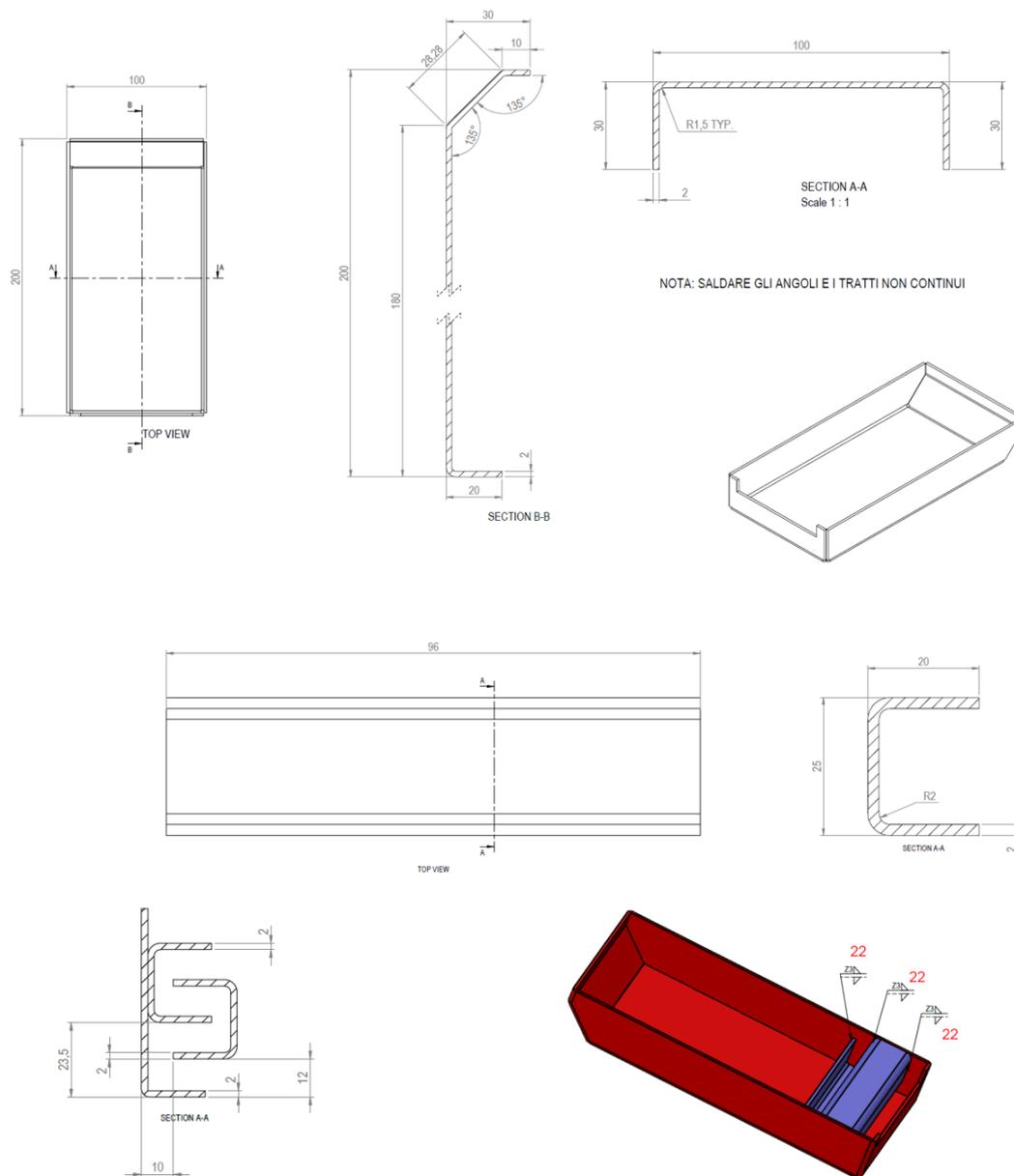
La carpenteria è composta da:

- un telaio in acciaio S275JR formato due lamiere spesse 2mm saldate tra loro;



**Figure 7.7:** Telaio

- due sistemi di areazione in acciaio S275JR dati da due piegati a C saldati su un carter di protezione al cui interno viene effettuato un trattamento di anticorrosione con l'utilizzo dello spray zincante " Faren ZINC" in quanto è una zona non più accessibile per trattamenti dopo la saldatura;



**Figure 7.8:** Sistema di aerazione

- due piegati a omega in acciaio S275JR spessi 4 mm saldati esternamente alla carpenteria e uniti da un piegato spesso 4 mm in acciaio inox AISI 304 e al cui interno sono presenti sei piatti in acciaio inox 30x40x2 mm che fungono da fazzoletto di rinforzo per evitare che le omega si richiudano su loro stesse in quanto il loro interasse è fondamentale per inserire la carpenteria sulle ruote dentate e sui quali viene effettuato il trattamento anticorrosivo;

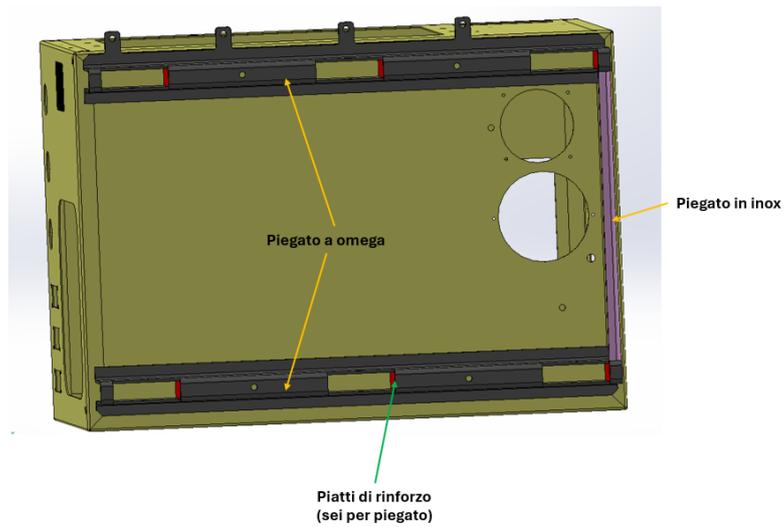


Figure 7.9: Piegati a omega

- un carter di protezione formato da un insieme di lamiere di spessore 2mm saldate tra loro che si collega all'omega mediante quattro inserti e alla carpenteria tramite nove viti M6x16 ISO 4017 A2-70;

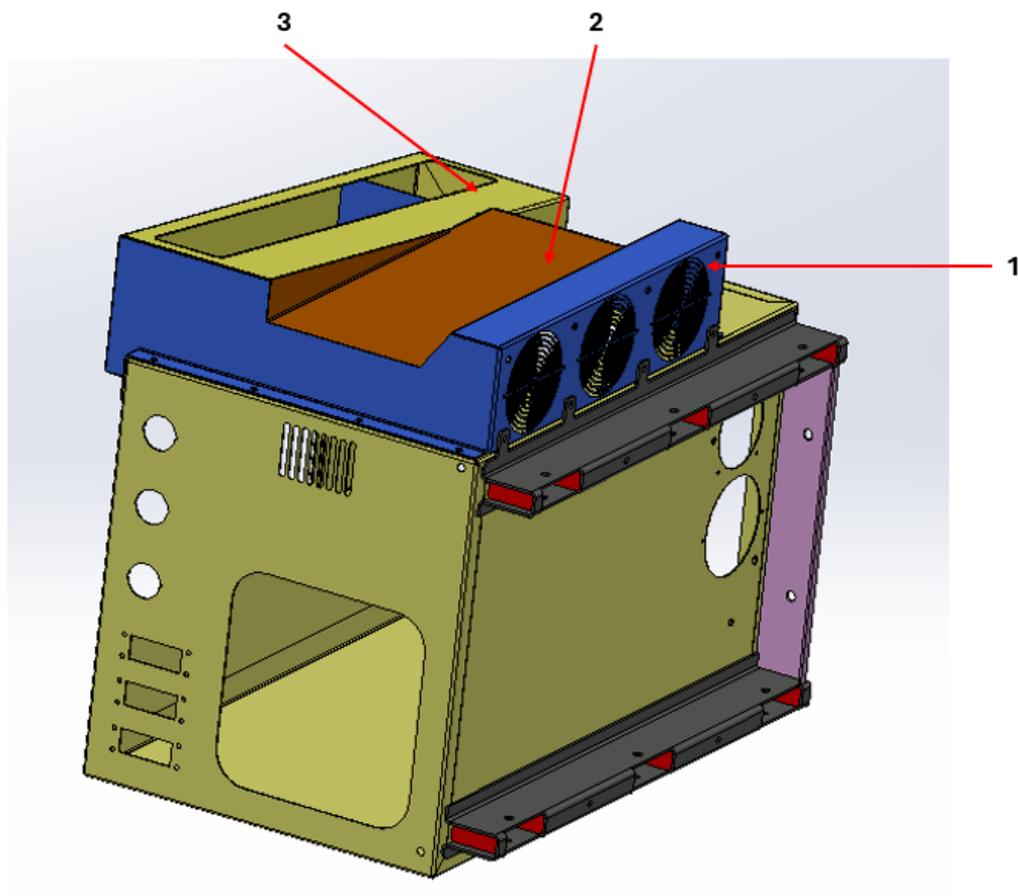
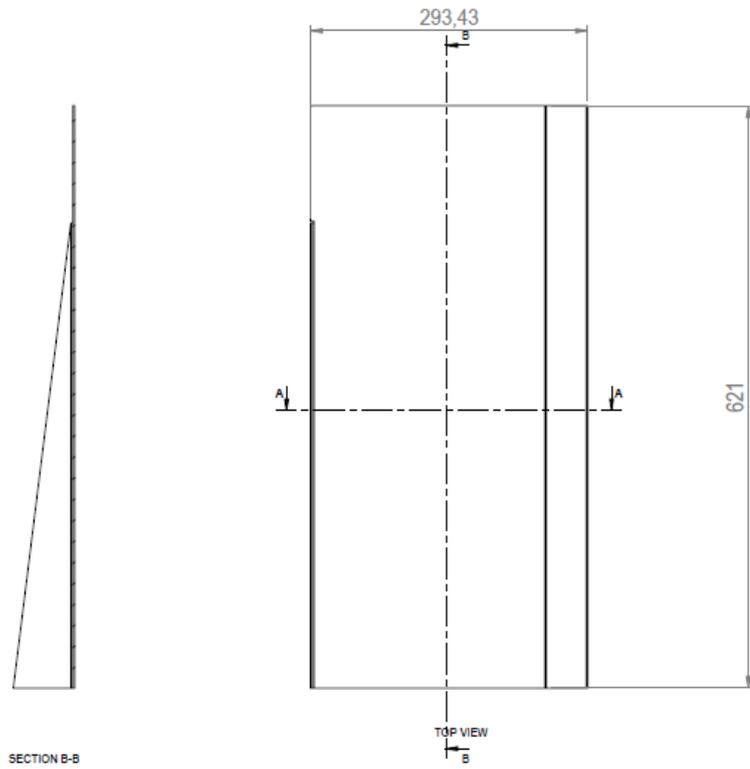
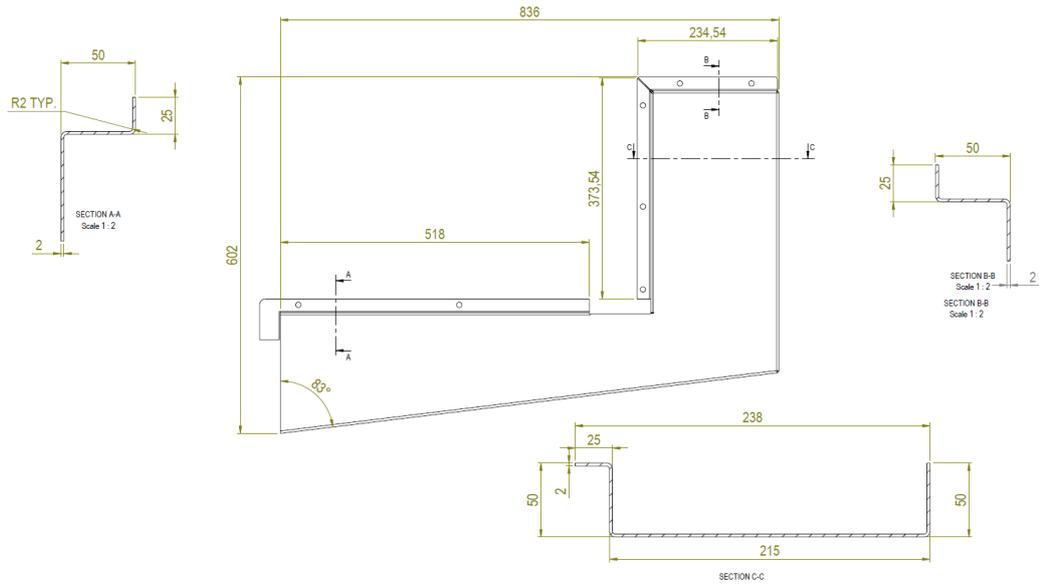
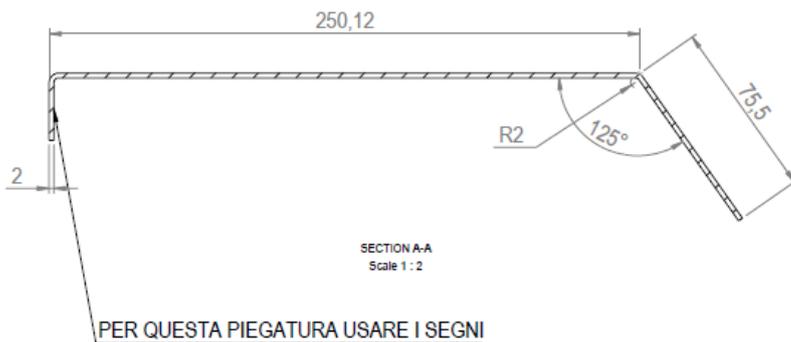


Figure 7.10: Carter di protezione



SECTION B-B

TOP VIEW



SECTION A-A  
Scale 1:2

PER QUESTA PIEGATURA USARE I SEGNI

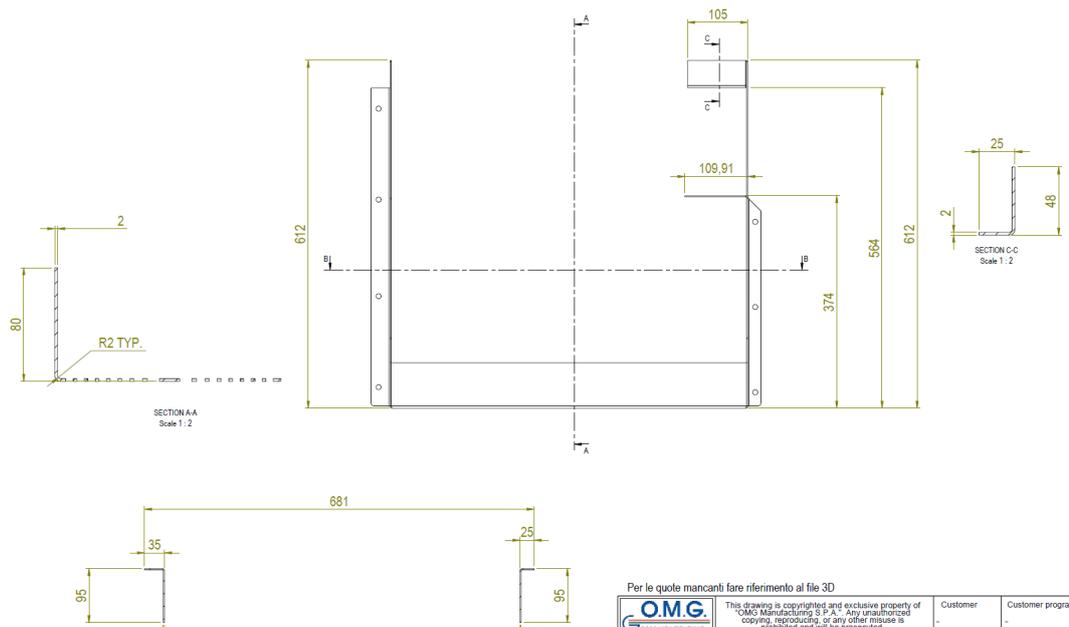


Figure 7.11: Componenti carter di protezione

- un secondo sistema di aerazione composto da un piegato in acciaio S275JR spesso 1,5 mm sul quale viene saldata una boccola di messa a terra tramite una saldatura z2;

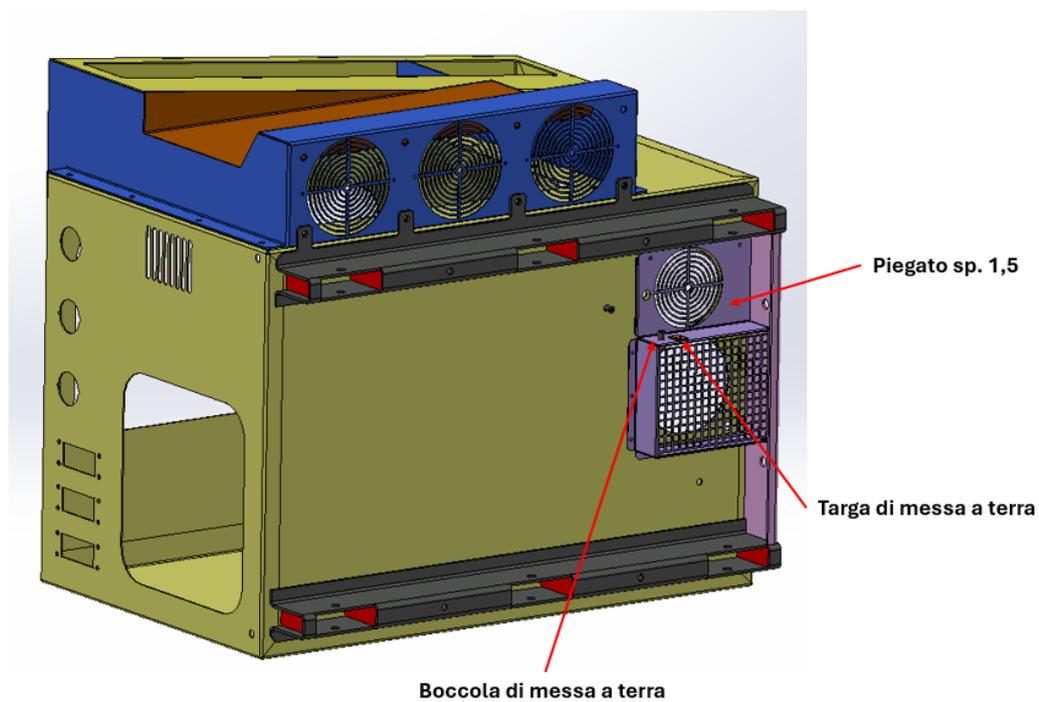
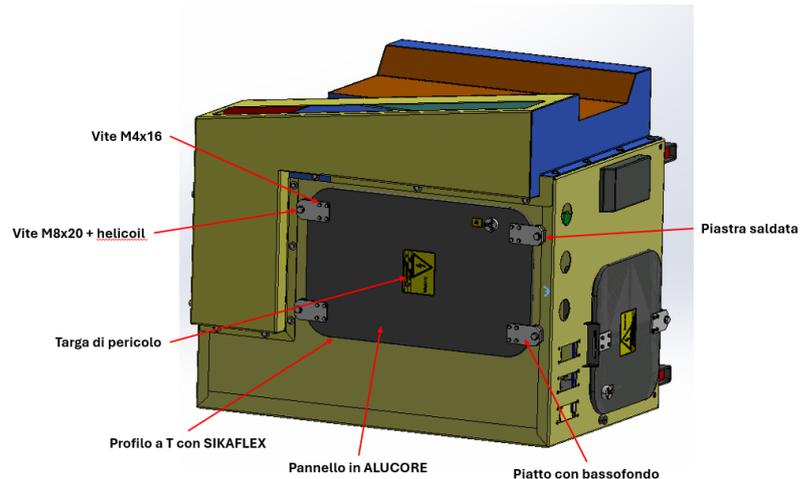


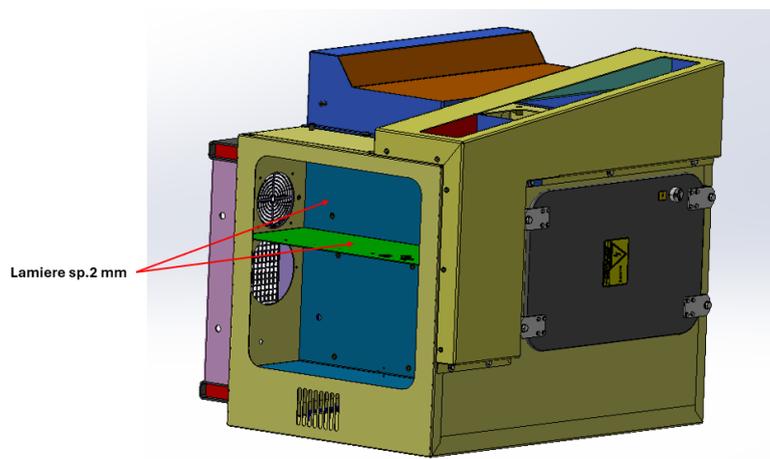
Figure 7.12: Secondo sistema di aerazione

- tre pannelli di chiusura in ALUCORE, un materiale in alluminio composito con una struttura a nido d'ape di spessore 10 mm i cui bordi sono stati realizzati da un profilo a T spesso 10 mm che è stato tagliato, piegato e incollato mediante il sigillante SIKAFLEX grigio 221 e che sono stati messi a copertura delle aperture della carpenteria grazie ad un piatto con un bassofondo al cui interno è stato inserito un HELICOIL M8 (un inserto filettato in metallo per rinforzare le filettature) per collegare il piatto al pannello mediante una vite ISO 4017 M8x20 e che viene collegato tramite quattro viti a testa svasata ISO 10642 M4x16 A2-70 ad una piastra saldata sulla carpenteria;



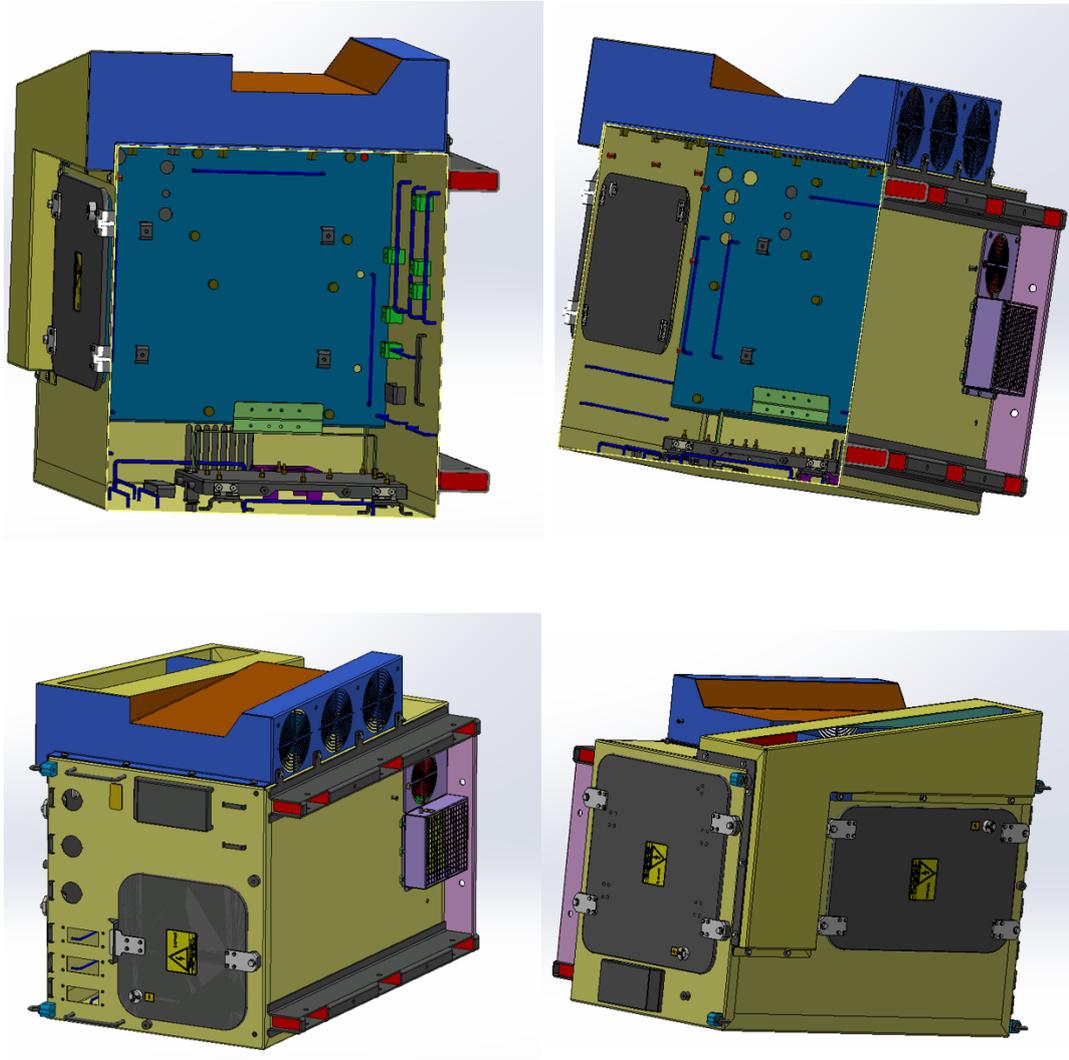
**Figure 7.13:** Pannelli di chiusura

- due lamiere spesse 2 mm in acciaio inox AISI 304 all'interno del box che sono state raddrizzate esclusivamente tramite raddrizzatura a freddo, che consiste in una diminuzione delle deformazioni causate dalla saldatura tramite l'applicazione di forze meccaniche a temperatura ambiente, e non col metodo delle calde perchè può causare dilatazioni del materiale;



**Figure 7.14:** Lamiere raddrizzate a freddo

- una serie di particolari interni ed esterni (tra cui tondini portacavi, boccole di messa a terra, boccole di supporto, golfari, targa di identificazione e piegati di diversi spessori) sia in acciaio S275JR sia in acciaio inox che servono a collegare il caricabatterie alla carpenteria e a permettere il passaggio dei cavi;



**Figure 7.15:** Particolari interni ed esterni

Per questo progetto, oltre a progettare le dime che si vedranno nella sezione successiva per la saldatura dei particolari, si sono effettuati gli ordini per l'acquisto dei componenti, si sono realizzate le tavole dei giunti e gli Inspection Sheet ( ovvero dei disegni nei quali viene richiesto al collaudo di controllare determinate quote considerate critiche dal costruttore) in quanto la carpenteria del caricabatterie è stata oggetto di FAI (First Article Inspection), un processo di ispezione dettagliato che viene eseguito sul primo prodotto di una nuova serie di produzione.

## 7.2 Dime per la carpenteria

A differenza degli scorsi capitoli, nei quali si hanno componenti grossi formati principalmente da pochi estrusi che devono essere assemblati insieme e che necessitano di maschere pesanti, la carpenteria dei caricabatterie è un assieme reattivamente piccolo ( di dimensioni 621x880x565 mm) ma è composto da innumerevoli parti e, poichè al suo interno verrà inserito un componente elettrico, le tolleranze per determinati interassi sono minori di quelle generali definite dalle normative per la carpenteria meccanica in ambito ferroviario.

E' necessario, quindi, che le singole parti siano posizionate correttamente tramite l'utilizzo di segni e dime.

I segni sono delle incisioni che vengono effettuate sulla lamiera durante il taglio laser grazie alle quali si definiscono le posizioni dei particolari senza che l'operaio debba prendere le quote col metro e leggendo il disegno poichè comporterebbe una maggiore probabilità di errore a causa dell'incertezza legata alla lettura dello strumento mentre il taglio laser ha una sensibilità pari a 0,1 mm. Visto che la maggior parte delle parti è interna al telaio del caricabatterie, si è deciso di fare le incisioni nella parte interna delle lamiere. I segni si sarebbero potuti realizzare anche sulla parte esterna delle lamiere, oltre a quella interna, ma questo avrebbe voluto dire girare la lamiera una volta finito il taglio e far ripartire il programma causando un notevole aumento dei tempi rispetto all'utilizzo di dime di posizionamento come è stato realizzato.

A partire dal modello 3D della carpenteria e dal disegno, si sono ricavate le quote dei vari particolari che sono state riportate sui componenti tramite l'applicazione "Trutops" e successivamente sono stati tagliati i componenti tramite taglio laser.

Le maschere, invece, sono state realizzate per posizionare i componenti sul lato esterno. Oltre alle dime di posizionamento, sono state costruite anche dime di collaudo per controllare, dopo l'assemblaggio, che fossero rispettati gli interassi e le quote critiche definite dal cliente.

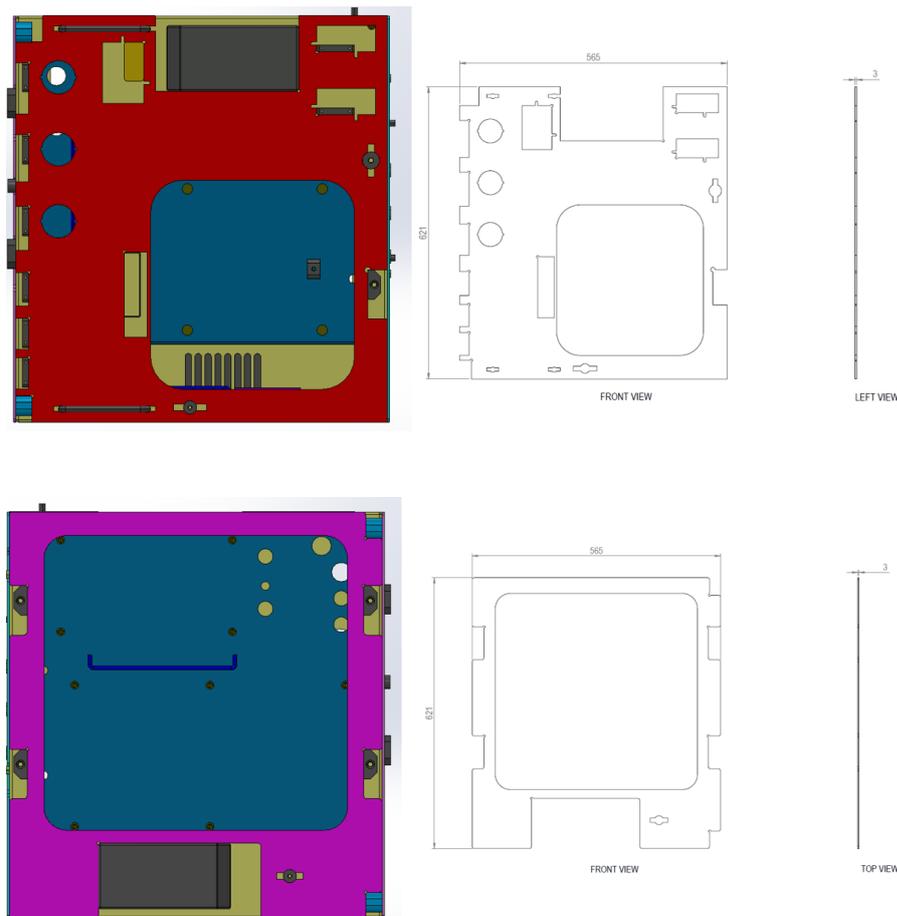
### 7.2.1 Dime di posizionamento

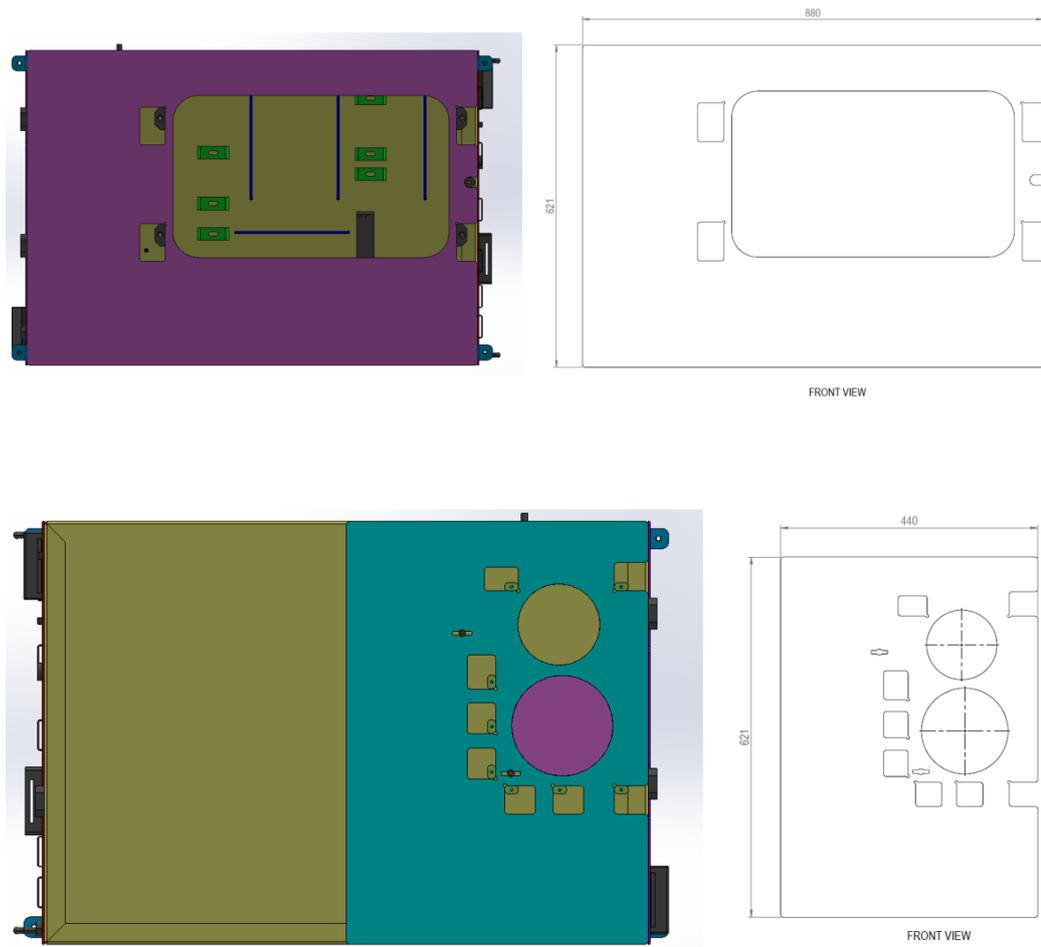
Le dime di posizionamento sono state realizzate a partire dal modello 3D della carpenteria del caricabatterie su Solidworks. Queste maschere permettono all'operaio di posizionare il particolare richiesto nella posizione esatta grazie alla presenza di un bordo antisbaglio, caratterizzato da un piccolo scarico circolare di raggio 1 mm che funge da punto di partenza per collocare il pezzo e da due asole che sanciscono la fine del componente e oltre le quali vengono lasciati 30 mm di spazio per permettere la saldatura del componente.

Nel caso di boccole e tondini portacavi, i cui punti di appoggio sono dei cerchi e non dei rettangoli come per gli altri particolari, la maschera di posizionamento è data da un foro la cui dimensione è maggiorata di 0,30 mm sul diametro rispetto al diametro nominale del pezzo unita a due scarichi laterali rettangolare 12x20 mm che permettono all'operatore di puntare il pezzo (dare un colpo di saldatura) e di saldarlo completamente una volta tolta la maschera.

Si riportano di seguito le maschere di posizionamento realizzate per la carpenteria:

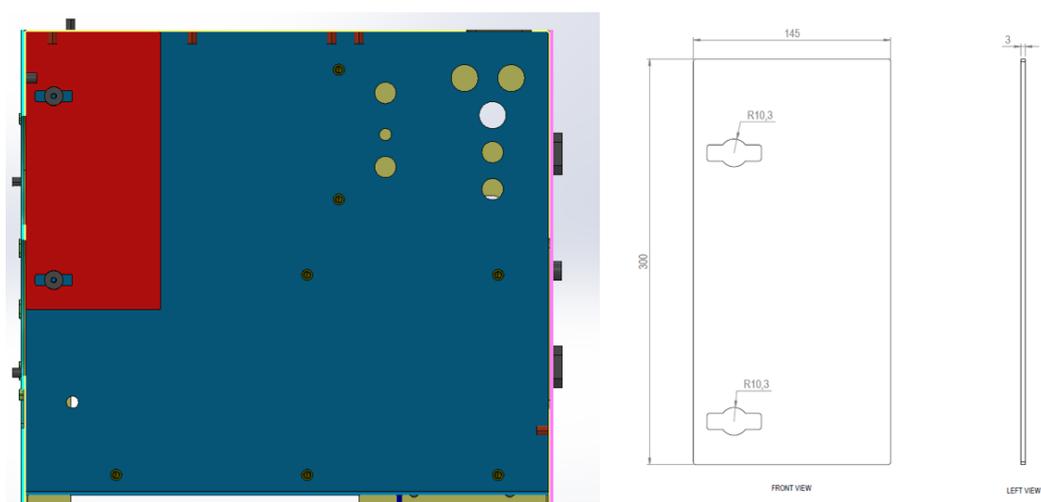
- maschere per i particolari esterni alla carpenteria realizzate in alluminio 5754-H32 (perchè più leggero rispetto all'acciaio) e spesse 3 mm;





**Figure 7.16:** Maschere per i particolari esterni della carpenteria

- maschera in alluminio 5754-H32 spessa 3 mm per due boccole su un piatto in acciaio inox spesso 2 mm;



**Figure 7.17:** Maschera per boccole

### 7.2.2 Dime per il collaudo

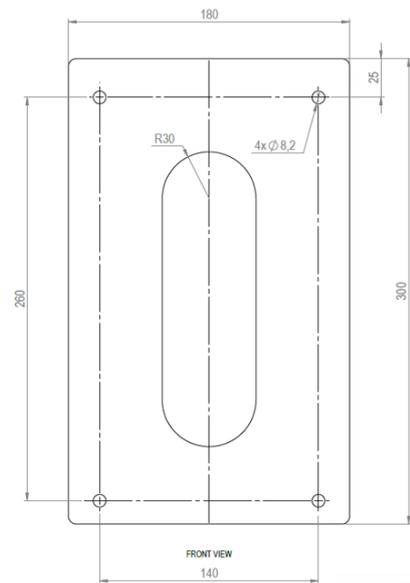
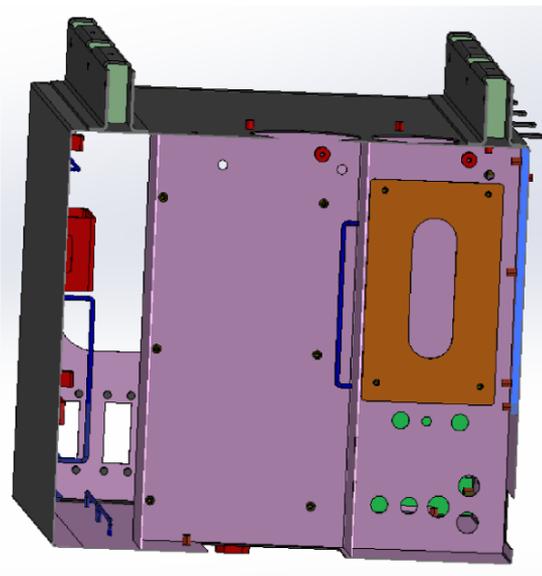
Le dime di collaudo sono utilizzate dall'operaio, una volta assemblata la carpenteria del caricabatterie, per controllare che le quote critiche (ovvero quelle quote che permettono l'accoppiamento dell'assieme con altri pezzi o quote che il cliente ritiene fondamentale siano mantenute) rispettino le disposizioni del cliente.

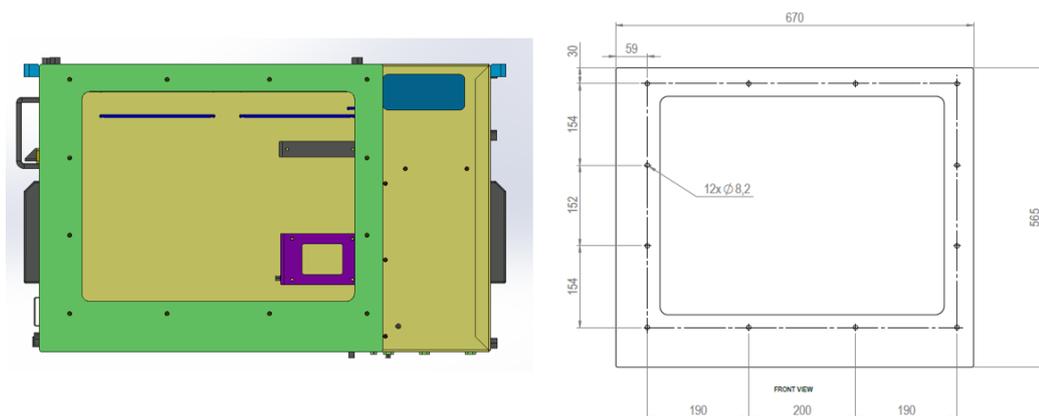
Questa verifica è importante perchè la saldatura dei particolari può causare deformazioni della lamiera e quindi è presente il rischio di piccole variazioni nella posizione dei pezzi che però, se sommate tra di loro, possono portare ad uscire dal range di tolleranza imposto.

Le dime che si è progettato sono in parte richieste dal cliente per controllare che vengano mantenuti determinati interassi dopo la saldatura e in parte definite autonomamente dal sottoscritto in funzione della tipologia di montaggio della carpenteria sul convoglio metropolitano.

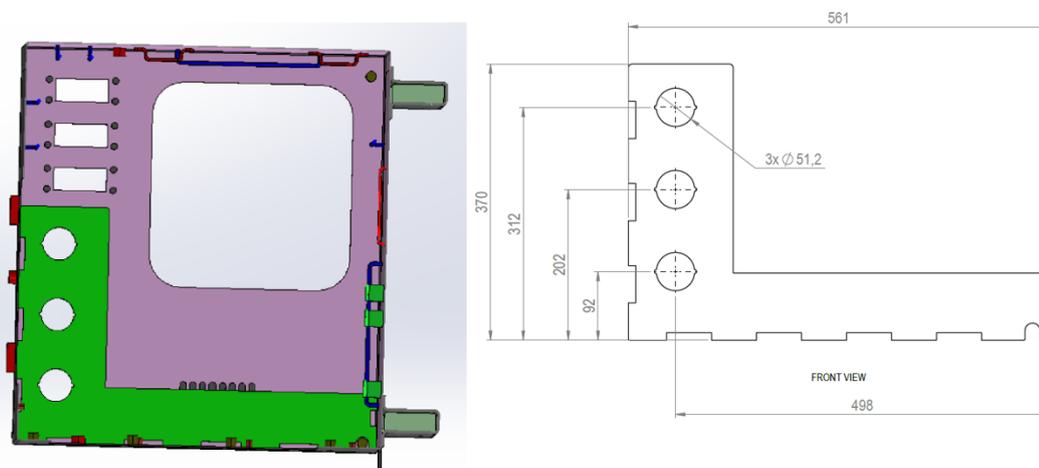
Le dime sono le seguenti:

- dime per il controllo degli interassi richiesti dal cliente, realizzate in alluminio 5754-H32 e spesse 3 mm per essere leggere e maneggevoli con facilità;



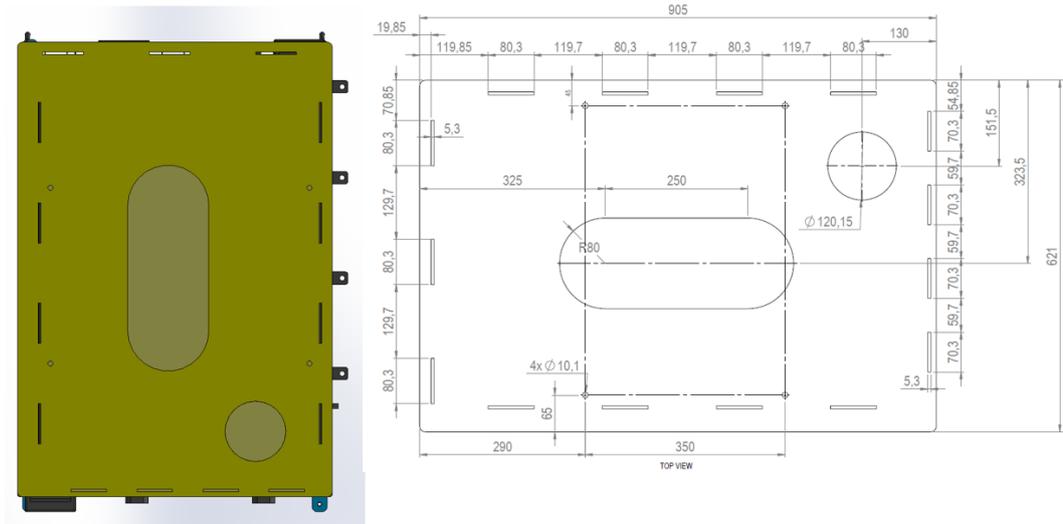


**Figure 7.18:** Dime per controllo interasse boccole diametro 8 mm



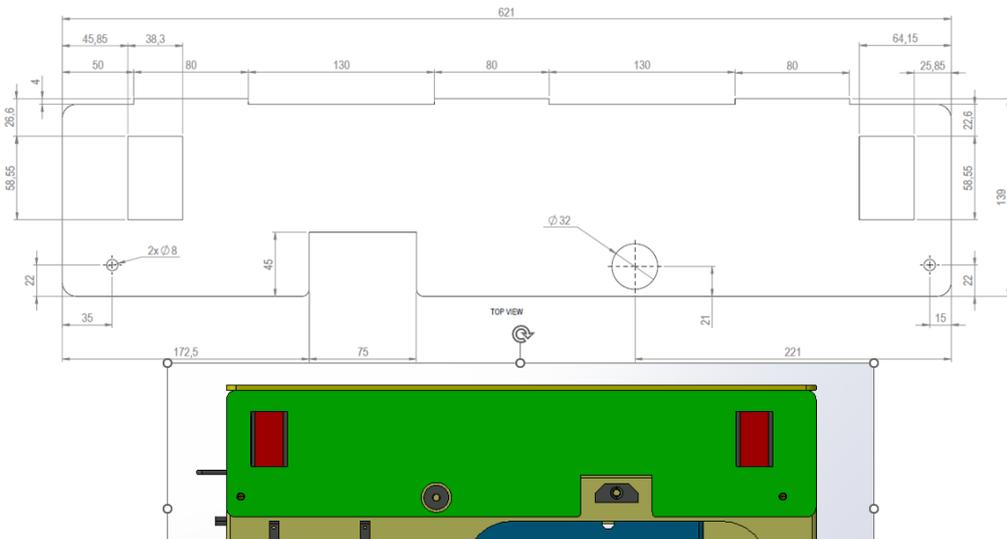
**Figure 7.19:** Dima per controllo interassi fori diametro 51 mm

- dima per il controllo del corretto posizionamento degli omega esterni alla carpenteria e del loro interasse, realizzata in alluminio 5754-H32 (perchè più leggero dell'acciaio) e spessa 5 mm per dare maggiore robustezza evitando che si fletta, poichè sono i particolari che si accoppiano con delle ruote dentate presenti sul treno e che permettono al box di muoversi su delle guide ed entrare nello scomparto ad esso dedicato ed è composta da:
  - una lamiera di base le cui dimensioni sono pari a quelle della carpenteria esterna che poggia sugli omega e presenta: dei fori di centraggio in corrispondenza di quelli presenti sugli omega di diametro 10,1 mm, un foro di orientamento per indicare come posizionare la base che riprende quello presente sulla carpenteria, un'asola per ridurre il peso del componente e una serie di scarichi dove verranno inseriti e saldati gli altri particolari;



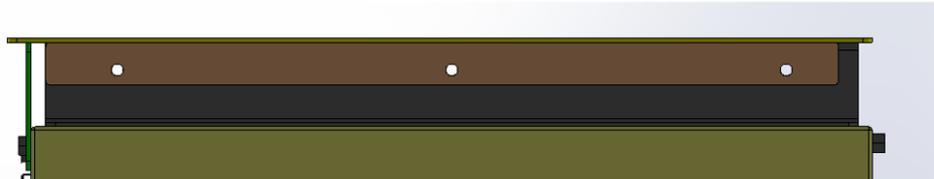
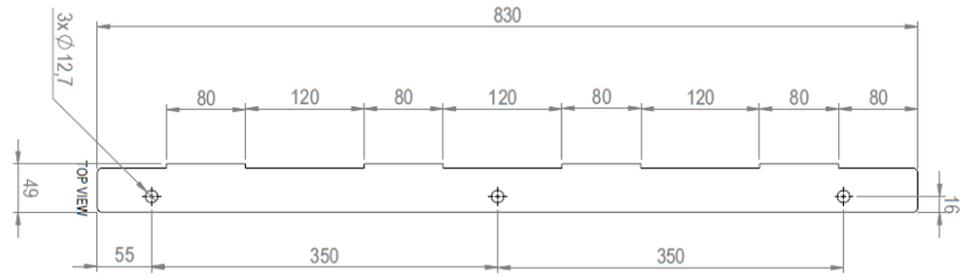
**Figure 7.20:** Lamiera di base dima di collaudo omega

- una piastra laterale con una dimensione pari alla larghezza del box e una a 139 mm che va in battuta contro di esso e che presenta: due rettangoli 58,55x38,3 per controllare il corretto posizionamento del profilo delle omega, delle aperture per nelle zone dove sono presenti gli altri particolari già saldati e dei piedini di 4 mm per venire saldata sulla lamiera di base;



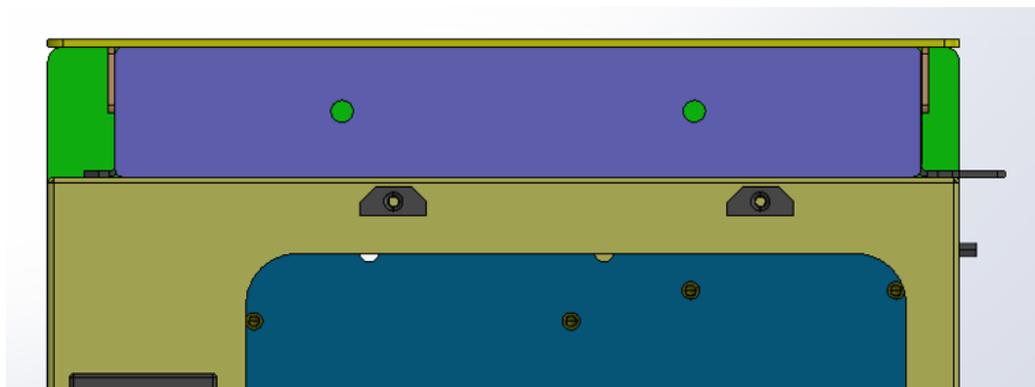
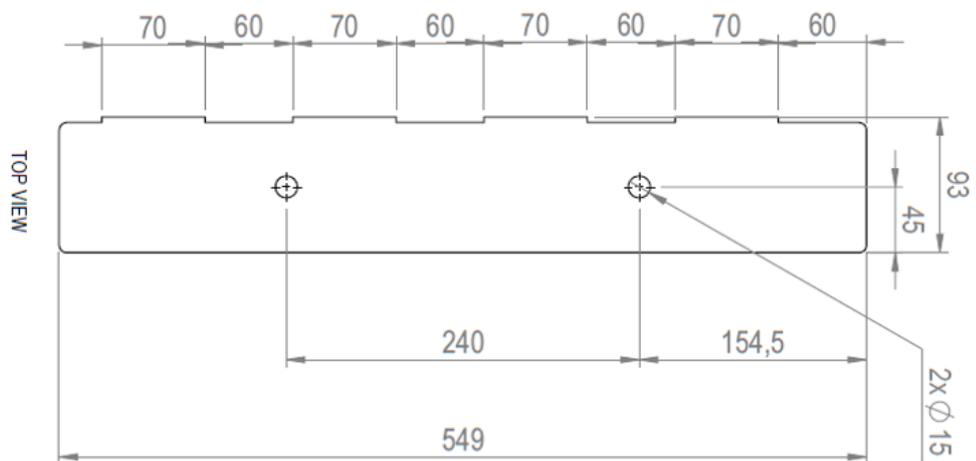
**Figure 7.21:** Piastra laterale

- due saette laterali identiche tra loro con dei fori di diametro 12,7 mm (maggiorati di 0,2 mm rispetto a quelli del modello) in corrispondenza di quelli presenti sul pezzo per controllarne il corretto posizionamento che vengono saldati sulla lamiera di base tramite dei piedini;



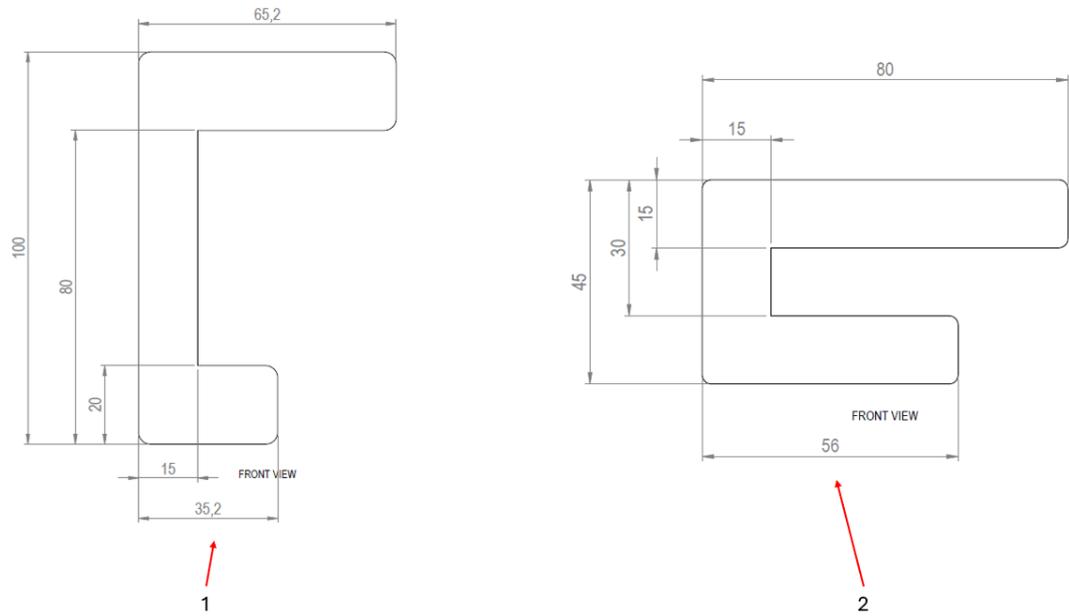
**Figure 7.22:** Sietta laterale

- una setta con due fori di diametro 12,7mm in corrispondenza di quelli presenti sul pezzo per controllarne il posizionamento;

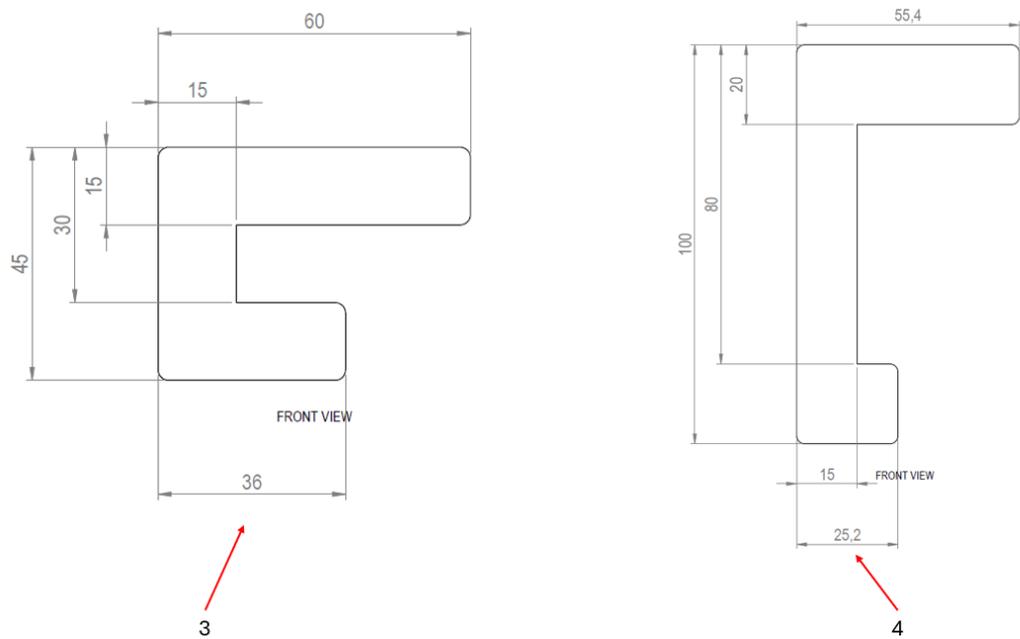


**Figure 7.23:** Sietta

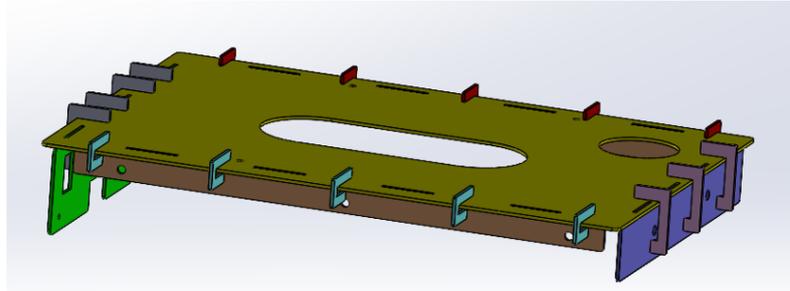
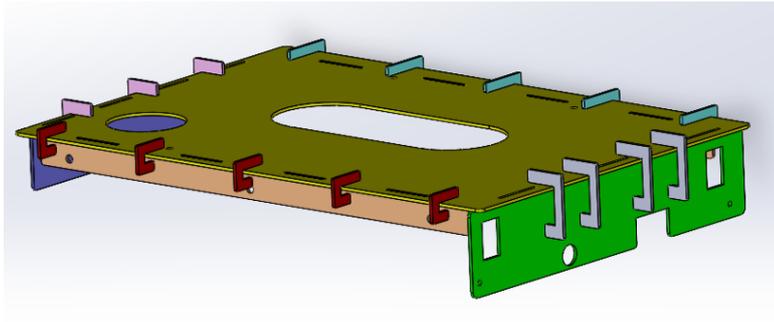
- una serie di rinforzi saldati che servono a tenere collegate le piastre e le saette evitando che la dima si storga e tenda a chiudersi verso l'interno;



**Figure 7.24:** Rinforzi 1 e 2 per dima di collaudo omega



**Figure 7.25:** Rinforzi 3 e 4 per dima di collaudo omega



**Figure 7.26:** Modello 3D dima di collaudo omega

## Chapter 8

# Bibliografia

- [1] EN 15085-1, Railway applications - "Welding of railway vehicles and components", 2023
- [2] X.Liu, S. Qi, D. Wan and D. Zheng, "Study on dynamic response of high-speed train window glass under tunnel aerodynamic effects", "Railway Sciences", pp. 214-223, aprile 2023
- [3] P. Gelsomino, "Saldatura", Istituto Guglielmo Marconi di Prato, 2020
- [4] S. Musumeci, "Principi fondamentali di conversione statica"
- [5] C. C. Okpala, N. C. Igbokwe, C. O. Nwankwo, "The Evolution and Impact of Jigs and Fixtures in Modern Manufacturing", "International Journal of Engineering Inventions", pp. 125-131, 2024
- [6] Vicla, "Fattore k lamiera: cos'è e come si calcola"
- [7] M. Cuzzoni, "Appunti di saldatura dei metalli" - 1998/2006
- [8] G. Macchi, "Tecnica delle Costruzioni", Dispense, UniPV, 1998
- [9] E. Rinaldi, "Saldatura e taglio dei metalli", Hoepli, 2006, XIII ed.
- [10] M. Cuzzoni, "Tipi di saldature", 2008