



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica

**VERIFICA STRUTTURALE DI UN ARMADIO
ELETTRICO SOTTOPOSTO A SOLLEVAMENTO
VERTICALE**

**Structural Verification of an Electrical Cabinet
Subjected to Vertical Lifting**

Relatore:

Prof. Marco Mandolini

Tesi di Laurea di:

Filippo Bastianelli

Correlatore:

Piero Zanardo

Anno Accademico 2022/2023

- *A chi ha sempre creduto in*

Me.

Ringraziamenti

Con grande riconoscenza va un particolare ringraziamento a tutti i miei docenti, il mio Tutor accademico Marco Mandolini, il mio Tutor aziendale Piero Zanardo ed i suoi fidati colleghi tra cui Tiziano Nonis e Stefano Basso per la loro disponibilità e fiducia in me, con stima e ammirazione un grazie speciale.

Ringrazio la mia famiglia, mia madre Novella e mio padre Federico, che sono il pilastro della mia vita, a loro va tutto il mio affetto e amore per aver reso possibile il mio gioioso percorso di studi ed avermi supportato in ogni aspetto durante il mio percorso, con comprensione e pazienza. Condivido con voi ogni merito.

A mia sorella Silvia la quale è stata per me un faro da inseguire come esempio nello studio ma soprattutto nella vita, a lei, che stima e fratellanza ci lega indissolubilmente. So di poter sempre contare su di te.

Alla mia ragazza Eleonora che instancabile mi ha supportato e sopportato nelle infinite sessioni, rendendole piacevoli e felici. Con te al mio fianco ogni cosa appare più bella e vera. Sei il sale.

Grazie a tutti i miei parenti che mi circondano e si fanno presenti con il loro calore.

Non può mancare un ringraziamento di cuore ai miei più fidati amici non quali compagni di corso Riccardo e Alessandro, con i quali spalla a spalla abbiamo combattuto dentro e fuori l'ateneo. E continueremo a farlo.

In fine a mio nonno Gianfranco, la mia motrice verso il progresso personale e professionale, che con la sua vivida premura è in grado, ogni giorno, di mantenere viva in me l'energia necessaria per affrontare il futuro, al lui rivolgo un ringraziamento speciale per ciò che rappresenta la sua presenza nella mia vita.

Concludo i ringraziamenti con l'augurio che questi intensi tre anni trascorsi ad ascoltare ed apprendere possano essere di vitale aiuto nel futuro prossimo che imperterrito avanza.

Grazie.

INDICE

Ringraziamenti	3
INDICE	5
➤ Capitolo Primo	6
1. INTRODUZIONE.....	8
➤ Capitolo Secondo	11
2.1 QUADRO RICHIAMI TEORICI	13
2.2 QUADRO RICHIAMI STRUMENTI	20
➤ Capitolo Terzo.....	25
3.1 PRESENTAZIONE E IMPOSTAZIONE VERIFICA STRUTTURALE.....	27
3.2 VALUTAZIONE RISULTATI OTTENUTI DALLO STUDIO FEM	57
➤ Capitolo Quarto	63
4. CONSIDERAZIONI TECNICHE	65
➤ Capitolo Quinto	68
5. CONCLUSIONI	70
INDICE IMMAGINI:	72
FONTI E SITOGRAFIA:.....	75

Capitolo Primo

–

INTRODUZIONE

1. INTRODUZIONE

Il presente lavoro di tesi si propone di affrontare un'accurata analisi tecnica che abbia come obiettivo principale la verifica strutturale di un armadio elettrico che viene sottoposto a sollevamento verticale.

Tale operazione si assume venga svolta nelle fasi di installazione dell'armadio.

Lo studio si erge sulla specifica richiesta di un cliente il quale necessita di dati tecnici che convalidano la conformità del prodotto.

Nel contesto industriale, la specifica tecnica è di fondamentale importanza perché rappresenta una descrizione dettagliata e chiara delle caratteristiche di un prodotto, la quale delinea la strada che il fornitore deve percorrere per portare al successo il progetto.

Nel caso trattato, la specifica chiede di verificare la resistenza meccanica dell'armadio elettrico a precise sollecitazioni quando esso viene sollevato verticalmente, dunque è importante capire il contesto dello studio ed osservare che l'analisi viene richiesta nel caso in cui l'armadio deve essere sollevato e trasportato nelle operazioni di installazione in loco, al fine di assicurare in ogni fase di vita del prodotto, funzionalità e sicurezza.

Osserviamo innanzitutto che il prodotto esaminato è un armadio di produzione Zanardo S.P.A. il quale ha offerto al proprio cliente una soluzione per

proteggere i loro sistemi elettrici costitutivi di un impianto di alimentazione e controllo per la linea ferroviaria.

Andremo ad analizzare gli aspetti strutturali dell'armadio, ossia i componenti da cui è formato, per poi applicare una distinzione tra ciò che rappresenta la parte portante e gli elementi che invece gravano e caricano la struttura stessa.

L'obbiettivo preposto è quello di verificare con certezza la resistenza strutturale dell'armadio elettrico, per poi fornire al cliente una relazione che garantisce la conformità del prodotto, partendo da una dettagliata analisi della struttura stessa e delle forze agenti su di essa, basandoci sulla geometria e sulla disposizione della carpenteria esterna, così che si possa risalire alla massa del quadro e capire come vengono distribuite le forze generate che gravano sul telaio portante e in fine verificarne la resistenza.

Fondamentale è affrontare l'argomento mediante strumenti appositi, che siano in grado di fornire risposte sintetiche e inequivocabili.

Si è deciso di utilizzare un software di progettazione specializzato nell' "analisi ad elementi finiti" chiamato Autodesk Inventor, il quale svolge un'astrazione del modello reale sul quale svolgere l'analisi.

Per procedere con una astrazione il più simile alla realtà bisogna inserire nel sistema dati di input ben precisi, che verranno valutati a partire dal caso reale.

Nel mondo moderno sta diventando sempre più essenziale affiancare alla figura dell'ingegnere la conoscenza approfondita di software di progettazione e simulazione che insieme alle capacità e alla conoscenza umana vanno ad assistere ogni fase di progettazione nei vari processi di creazione e verifica di un sistema meccanico.

Infatti, non solo l'integrazione sinergica di tali software, con l'esperienza e la creatività umana apre nuove opportunità e permette di raggiungere risultati più precisi, efficienti e innovativi, ma permette anche di ridurre estremamente i tempi di lavoro in fase progettuale, il che risulta molto rilevante considerando gli aspetti concorrenziali nel settore dell'industria.

Capitolo Secondo

–

INTRODUZIONE TEORICA

2.1 QUADRO RICHIAMI TEORICI

L'analisi degli elementi finiti, è un approccio fondamentale nell'ingegneria meccanica moderna.

Si basa sulla teoria degli elementi finiti, che consente di suddividere geometrie complesse in elementi più semplici, come triangoli o quadrati, attraverso i quali è possibile rappresentare e risolvere problemi complessi di ingegneria.

Questa metodologia si fonda sui principi dei metodi numerici per risolvere equazioni differenziali e offre una potente strumentazione per valutare il comportamento di strutture e componenti soggetti a diverse condizioni di carico e deformazione.

La natura dei materiali costituisce la base per la comprensione del comportamento dei materiali durante lo studio FEM.

Attraverso l'analisi delle curve di sforzo-deformazione, siamo in grado di determinare le proprietà elastiche e plastiche dei materiali, consentendoci di prevedere come si comporteranno sotto differenti carichi.

La teoria della rottura è cruciale per la sicurezza e l'affidabilità dei componenti, in quanto fornisce criteri per valutare quando un materiale potrebbe cedere a causa di carichi ripetuti o eccessivi.

In sintesi, l'analisi degli elementi finiti, la meccanica dei materiali e l'ingegneria delle strutture si intersecano in modo cruciale nell'ambito dell'ingegneria meccanica.

L'approccio FEM sfrutta le conoscenze della meccanica dei materiali, e i criteri di rottura al fine di progettare componenti resistenti e sicuri.

Questa sinergia tra teoria, analisi numerica e progettazione pratica è ciò che rende l'ingegneria meccanica così efficace nell'affrontare sfide complesse e nell'innovare nei settori industriali.

Affrontiamo in questo capitolo alcuni richiami teorici riguardo i materiali in lega d'acciaio, stati tensionali e criteri di rottura, così da conoscere e sfruttare questi tre importanti aspetti fondamentali nell'utilizzo della tecnologia FEM.

“L'acciaio” è una lega ferrosa composta principalmente da ferro e carbonio, quest'ultimo in percentuale non superiore al 2,06%, che si presenta esclusivamente sotto forma di cementite o carburo di ferro.

In condizioni normali, ha una struttura cristallina di base chiamata "ferro-alfa" (α -Fe), che è una struttura cubica a corpo centrato (CCC).

Questa struttura cristallina è predominante nell'acciaio a temperatura ambiente.

Le proprietà meccaniche dell'acciaio sono fortemente influenzate dalla sua struttura cristallina, ecco alcune delle proprietà chiave: resistenza, durezza, tenacità, duttilità e molte altre.

È dunque logico che la resistenza di un organo meccanico è influenzata sia dalla sua geometria ma anche dal materiale di cui è composto e relativi trattamenti termici e meccanici.

Introduciamo lo “stato tensionale” e consideriamo un corpo generico che, sottoposto a carichi e reazioni vincolari, è in equilibrio.

Si effettua idealmente un taglio arbitrario “ π ” che divide in due parti il corpo.

Le due parti, considerando il primo principio della statica, devono rimanere in equilibrio e quindi è necessario che sul taglio agiscano forze e momenti uguali e contrarie esattamente come suggerito dal secondo postulato della statica.

Ricordando il primo e secondo principio della statica:

- Il primo afferma che un corpo rimane in stato di riposo o di moto rettilineo uniforme, a meno che una forza esterna agisca su di esso.
- Il secondo invece dichiara che la somma vettoriale di tutte le forze agenti su un corpo in equilibrio deve essere zero affinché il corpo rimanga in equilibrio statico.

Consideriamo di nuovo il piano π e prendiamo un punto "P" sul taglio individuiamo un'area $\Delta S \in \pi$ che circonda il punto.

Siano dunque F e M le risultanti delle forze e dei momenti che le due parti si scambiano attraverso ΔS .

F e M sono funzioni di ΔS perché variano al variare di ΔS , abbiamo quindi che il limite per ΔS che tende a zero di $F(\Delta S)$ su ΔS è uguale a "t(P)".

La teoria conduce a postulare l'esistenza del tensore delle tensione $t(P)$ il quale descrive come le forze si distribuiscono all'interno della struttura e come varia da punto a punto, deduciamo quindi che tale vettore è una funzione di P, inoltre si considera logicamente il tensore come una forze per unità di superficie.

Risulta in definitiva che lo stato tensionale in un punto è l'insieme di tutti i vettori tensione in quel punto distinguendo la tensione normale " σ_n " dalle tensioni tangenziali " τ_m " e " τ_l ", semplicemente considerando il verso dei versori rispetto i quali il tensore $t(P)$ viene moltiplicato vettorialmente.

Siamo ora in possibilità di introdurre i “criteri di rottura”, i quali individuano una funzione dello stato tensionale il cui valore è una misura della sua pericolosità rispetto la capacità dell’organo meccanico di resistere allo stato tensionale al quale è sottoposto.

Ogni stato tensionale può quindi essere rappresentato da una quantità scalare che può essere messa in relazione con un valore critico del materiale definito e valutato sperimentalmente.

A tale valore scalare viene dato il nome di “tensione equivalente”, mentre il rapporto tra il valore critico del materiale e la tensione equivalente è detto “coefficiente di sicurezza” della struttura.

I criteri di rottura sono molteplici e si possono distinguere in base ai fenomeni da cui dipendono, ma qui introdurremo il criteri di rottura secondo la teoria di “Von Mises”, la quale è utilizzata nello studio FEM durante la verifica strutturale al sollevamento della batteria di armadi Zanardo S.P.A.

Il criterio di rottura di Von Mises afferma che: “Il materiale subisce danno quando l’energia di distorsione accumulata raggiunge un valore critico”.

Tale criterio trova giustificazioni fisico-meccaniche e si può mostrare che esso è equivalente ad ammettere che il responsabile della crisi sia:

- la tensione tangenziale media, dove la media è fatta rispetto a tutti i possibili tagli;
- il secondo invariante della parte deviatorica del tensore della tensione;
- il modulo della parte deviatorica del tensore della tensione;
- la tensione tangenziale ottaedrica, ossia la τ su un taglio la cui normale n nella base delle direzioni principali ha componenti $\{1/\sqrt{3}, 1/\sqrt{3}, 1/\sqrt{3}\}$ cioè uguali coseni direttori.

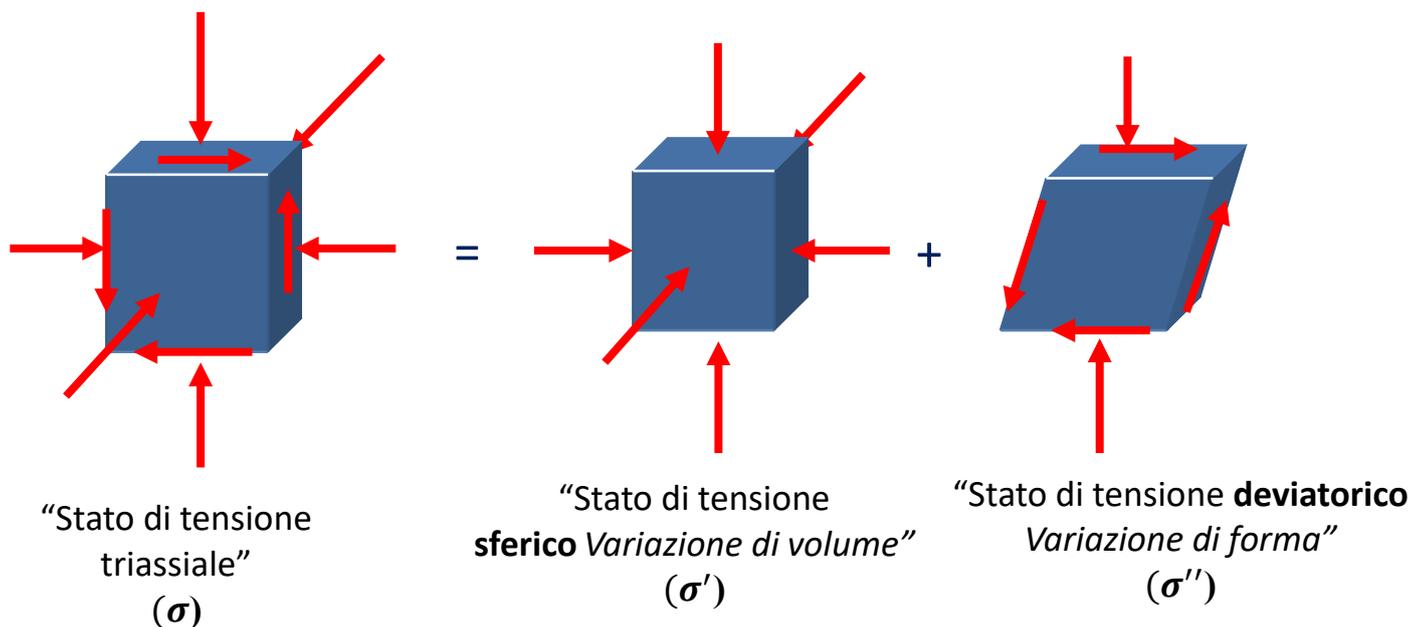


Figura 1: **Illustrazione di come lo stato tensionale può essere considerato mediante la somma di due distinti stati tensionali, il primo chiamato "sferico" è il responsabile della variazione di volume, il secondo detto "deviatorico", causa la variazione di forma, ecco le tre equazioni, ognuna lungo una direzione ortogonale: $\{\sigma_1 = \sigma'_1 + \sigma''_1; \sigma_2 = \sigma'_2 + \sigma''_2; \sigma_3 = \sigma'_3 + \sigma''_3\}$.**

Tale criterio descrive molto bene il comportamento di materiali duttili come metalli ed è meno adatto per materiali fragili.

In definitiva lo stato tensionale equivalente ha valore pari a:

$$\sigma_e = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} .$$

2.2 QUADRO RICHIAMI STRUMENTI

Il caso di studio analizzato nel nostro lavoro di tesi è stato affrontato per il tramite della tecnologia FEM, il quale verrà illustrato a partire dalle grandezze utilizzate nell'analisi allo scopo di interpretare adeguatamente i risultati finali ottenuti, ma soltanto dopo aver spiegato con precisione cosa è l'analisi ad elementi finiti.

Il metodo ad elementi finiti o semplicemente FEM, è un potente strumento utilizzato per risolvere una vasta gamma di problemi ingegneristici e scientifici che coinvolgono equazioni differenziali.

Questo metodo fornisce un approccio sistematico per analizzare il comportamento dei sistemi sotto varie condizioni, consentendo di ottenere soluzioni approssimate, ma affidabili, tramite calcoli computazionali.

L'essenza delle FEM consiste nella suddivisione di una struttura o un dominio complesso in elementi più semplici, come triangoli o quadrilateri in due dimensioni, o tetraedri o esagoni in tre dimensioni.

Questi elementi rappresentano unità di base all'interno delle quali le equazioni che governano il comportamento del sistema vengono approssimate.

Le equazioni differenziali che descrivono il comportamento del sistema vengono convertite in un sistema di equazioni algebriche, utilizzando funzioni di interpolazione all'interno di ciascun elemento.

Queste funzioni approssimano la soluzione reale nel dominio specificato.

Consecutivamente, le equazioni algebriche associate a ciascun elemento vengono assemblate per formare un sistema globale di equazioni le quali riflettono le condizioni di contorno e i carichi esterni che agiscono sul sistema.

In fine il sistema di equazioni algebriche viene risolto numericamente per ottenere le approssimazioni delle variabili di interesse, in questa fase sono richieste l'uso di algoritmi di risoluzione lineare e iterativa.

Una volta ottenute le soluzioni numeriche, è possibile analizzare i risultati visualizzando deformazioni, tensioni e altre proprietà del sistema.

Il FEM ha rivoluzionato l'ingegneria e la ricerca scientifica, consentendo di affrontare problemi complessi che non possono essere risolti analiticamente.

Tuttavia, è importante notare che l'accuratezza dei risultati ottenuti tramite il sistema FEM dipende dalla scelta adeguata degli elementi, dalla formulazione corretta delle equazioni e dalla verifica della validità delle soluzioni numeriche.

Possiamo iniziare ora ad analizzare le grandezze utilizzate nelle informazioni di settaggio impostate nel nostro specifico caso di studi.

Innanzitutto, ai componenti analizzati con il metodo FEM, vengono assegnati il materiale, perché è fondamentale conoscere le caratteristiche intrinseche di ogni parte d'insieme.

Bisogna disporre di una distinta con i valori che caratterizzano la geometria e la massa dell'insieme per poter svolgere l'analisi in modo opportuno, ma soprattutto per poter avanzare lo studio FEM senza incorrere ad errori strutturali, grazie ai dati forniti dalla conoscenza del materiale, in definitiva vengono definiti:

- “Densità della massa”: è il rapporto tra la massa e il volume di tale sostanza [kg/m^3].
- “Resistenza allo snervamento”: è definita come il valore della tensione in corrispondenza della quale il materiale inizia a deformarsi plasticamente, passando da un comportamento elastico reversibile ad un comportamento plastico caratterizzato dallo sviluppo di deformazioni irreversibili [MPa].
- “Resistenza massima a trazione”: indica il massimo sforzo che un generico materiale è in grado di sopportare prima che sopraggiunga la sua rottura [MPa].
- “Modulo di Young”: è una grandezza, caratteristica di un materiale, che esprime il rapporto tra tensione e deformazione per cui è definito come il rapporto tra lo sforzo applicato e la deformazione che ne deriva [GPa].
- “Coefficiente di Poisson”: è una delle due proprietà che descrive l'elasticità di un solido elastico e rappresenta il grado in cui il campione di

materiale si restringe o si dilata trasversalmente in presenza di una sollecitazione [adimensionale].

- “Modulo a taglio”: esprime il rapporto sforzo-deformazione tangenziali [GPa].

Passiamo in esame un aspetto fondamentale dello studio FEM, ossia la suddivisione in Mesh della struttura.

Le Mesh sono delle una suddivisione geometrica di un oggetto o di una regione in elementi finiti più piccoli.

Questi elementi finiti possono essere di diversi tipi, come triangoli, quadrilateri, tetraedri o esagoni una mesh è una suddivisione geometrica di un oggetto o di una regione in elementi finiti più piccoli.

Il processo di generazione di una mesh inizia tipicamente con la discretizzazione della geometria di interesse, la cui discretizzazione ha dei parametri da impostare, al fine di svolgere un buon lavoro di analisi, che vanno scelta in funzione della geometria studiata.

Tali parametri sono i seguenti:

- “Dimensione media elemento”: si intende la lunghezza dei lati della geometria che l’elemento Mesh genera.
- “Dimensione minima elemento”: la lunghezza più corta che un lato di un elemento mesh può assumere.

- “Fattore di gradazione”: fattore che regola l’uniformità delle Mesh.
- “Angolo di rotazione massimo”: angolo massimo compreso tra due lati di un elemento Mesh.
- “Crea elementi mesh curvi”: gli elementi Mesh vengono generati con lati non rettilinei.

Terminiamo così la parte di introduzione teorica, che ci fornisce le conoscenze base per affrontare e capire lo studio di tesi.

Capitolo Terzo

–

CASO DI STUDIO

3.1 PRESENTAZIONE E IMPOSTAZIONE VERIFICA STRUTTURALE

Presentiamo la struttura che viene fornita da Zanardo S.P.A. al cliente in funzione alle esigenze di protezione dei dispositivi interni, in funzione all'ambiente esterno o ad altre richieste esplicitate.

Cerchiamo ora di dare una chiara illustrazione di quali componenti è formato l'armadio e capire la loro funzione.

Innanzitutto, vista l'esigenza del cliente di suddividere in tre moduli l'attrezzatura elettrica, verrà fornita una batteria di armadi composta da tre unità accoppiate lateralmente fra loro con viti M8x20 passo 1,25 classe 8.8 in acciaio galvanizzato, le cui strutture vengono dimensionate rapportatamente alla dimensione degli armadi che devono accoppiare.

Si fa nota della bullonatura di accoppiamento delle strutture:

Generatore componenti della connessione bullonata (Versione: 2024 (Build 280153000, 153))

25/07/2023

☒ Informazioni progetto (iProperties)

☒ Calcolo statico

☒ Guida

Tipo di calcolo della resistenza - Verifica calcolo

☒ Carichi

Fattore di tenuta	k	1,50 su
Forza assiale massima	F _a	640 N
Fattore input forza	n	0,50 su
Forza tangente massima	F _t	4000 N
Fattore di attrito giunto	f	0,40 su

☒ Bullone

Numero bulloni	z	8 su
Diametro filettatura	d	8,000 mm
Passo filettatura	p	1,250 mm
Diametro bullone medio	d _s	7,188 mm
Diametro minimo bullone	d _{min}	6,466 mm
Materiale		Materiale utente
Resistenza allo snervamento	S _y	689 MPa
Fattore di sicurezza richiesto	k _s	3,00 su
Pressione filettatura ammissibile	p _a	40 MPa
Modulo di elasticità	E	206700 MPa
Fattore di attrito filettatura	f ₁	0,20 su
Fattore di attrito testa	f ₂	0,25 su

☒ Materiale

Larghezza funzionale giunto	L	20,000 mm
Modulo di elasticità	E	210000 MPa

☒ Risultati

Forza di precarico	F _v	1985,790 N
Forza operativa	F _{max}	1995,000 N
Momento serrante richiesto	M _u	4,881 N m
Sollecitazione di trazione	σ _t	60,467 MPa
Sollecitazione torsionale	T _k	39,574 MPa
Sollecitazione ridotta	σ _{red}	91,403 MPa
Sollecitazione dalla forza massima	σ _{max}	60,747 MPa
Pressione filettatura	p _c	25,032 MPa
Verifica resistenza		Positiva

Figura 2: Tabelle caratteristiche bullonatura utilizzata nell'accoppiamento degli armadi per formare la batteria.

“vite M8x20 passo 1,25 classe 8.8 in acciaio galvanizzato” con un carico tangenziale di 4000 [N].

I bulloni vengono disposti a due a due per ogni piantone laterale, per un totale di otto pezzi, disposti in fine tutt'attorno all'armadio.



Figura 3: Fotografia bullonatura di fissaggio tra gli armadi al fine di formare la batteria, mediante n.8 pezzi di vite M8x20 passo 1,25 classe 8.8 in acciaio galvanizzato.

A questo punto iniziamo con la descrizione completa delle parti che costituiscono l'armadio.

Il “**Piantone**”: è il componente meccanico dedito a supportare la struttura dell’armadio, prodotto in acciaio galvanizzato o acciaio inox AISI 316, viene ottenuto da una lamiera piegata da 1,5 [mm], con un totale di 7 pieghe e una serie di forature utilizzate per il fissaggio con organi filettati.

Ne verranno forniti in dimensioni e quantità necessarie per il montaggio della batteria di armadi. Per cui nel nostro caso l’armadio conta:

- n.12 piantoni verticali da 2100 [mm]
- n.8 piantoni orizzontali da 500 [mm]
- n.4 piantoni orizzontali da 600 [mm]
- n.12 piantoni orizzontali da 850 [mm]

Calcolando una massa totale di 118.42 [kg] che andranno ad inficiare sui calcoli al sollevamento del peso.

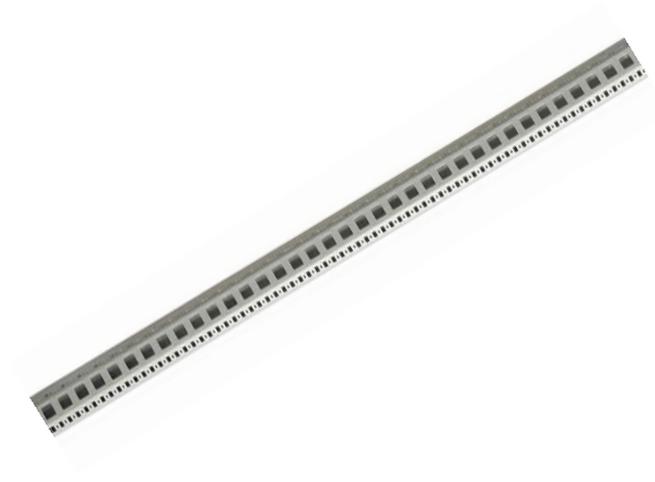


Figura 4: **Illustrazione di un tipico Piantone Zanardo a 7 pieghe.**

Troviamo poi il “**giunto tre vie**”, che funge da organo di collegamento tra i vari piantoni, e come dice il nome connette fra loro tre piantoni al fine di creare un struttura rigida e stabile.

Viene in prima battuta bullonato al piantone con una vite in acciaio galvanizzato a testa piana M8x40 con quadro sottotesta e filettatura parziale e fissato con il rispettivo dado flangiato, una bullonatura per ogni piantone connesso ad esso.

Successivamente si passa alla saldatura tra piantone e giunto tre vie, formato in acciaio, con saldatrice Tig generando un cordone di saldatura di circa 25 [mm] che va a rimuovere ogni tipo di gioco fra i due componenti rendendoli un corpo unico.

La massa dei giunti tre vie è trascurabile rispetto il resto della struttura.



Figura 5: Illustrazione di un giunto tre vie.



Figura 6: Illustrazione di tre piantoni in acciaio AISI 316 collegati fra loro mediante un giunto tre vie, notare la bullonatura in acciaio AISI 316 ed i cordoni di saldatura in testa ai piantoni.

È importante sapere che la struttura portante dell'armadio è costituita da questi elementi sopra citati, quindi l'analisi al sollevamento verrà applicata a tale telaio che garantisce la stabilità e la resistenza complessiva dell'armadio.

Tutte le parti che andremo ad esplicitare in seguito, saranno componenti che completano l'armadio, ognuno con uno scopo ben preciso, ma che al fine della nostra analisi saranno considerati soltanto come carichi applicati alla struttura portante.

Opereremo in questa maniera perché tali componenti non svolgono una funzione di supporto, ma gravano soltanto sul telaio composto da piantone, giunti tre vie e bullonatura.

Segue figura.



Figura 7: Illustrazione di un telaio singolo composto dai piantoni, i giunti tre vie e le opportune bullonature (nella foto sono visibili anche le cerniere).

Partiamo ora col descrivere i componenti che rivestono un ruolo protettivo nei confronti del contenuto dell'armadio, e che verranno considerati come carichi durante lo studio FEM.

Troviamo il “**tetto**”, ossia la parte superiore che protegge il quadro interno da eventuali precipitazioni o depositi di polvere provenienti dalla zona superiore dell'armadio dalla massa di 18 [kg] il destro ed il sinistro, mentre quello centrale ha una massa di 20 [kg], tutti in acciaio galvanizzato e verniciati.

Il telaio ed il tetto vengono connessi tramite delle viti galvanizzate e serrate con dei dadi in gabbia, aventi sede nelle intercapedini di forma quadrata del piantone.

Nelle facce parallele tra tetto e piantone, viene depositata tramite tecnologia FIPFG una guarnizione poliuretana stesa tramite sistema automatico, che permette all'armadio di avere isolamento verso l'esterno.

Deve essere garantita la tenuta dell'armadio alle infiltrazioni di liquidi come pioggia o condensa, per cui è importante che l'applicazione di tale guarnizione poliuretana avvenga in modo continuo, preciso ed uguale per tutte le parti.

Solo mediante la tecnologia FIPFG si è in grado di ottenere la replicabilità della lavorazione nei diversi pezzi prodotti, grazie alla costanza che si ha nel flusso di deposito del materiale spugnoso fintanto che persiste nella fase liquida, ma anche nel movimento di avanzamento del deposito della guarnizione.

Questo metodo di fissaggio viene replicato per ogni tipo di pannello applicato sul telaio dell'armadio, non verrà ripetuta dunque la spiegazione del sistema di fissaggio per nel trattare i prossimi componenti.

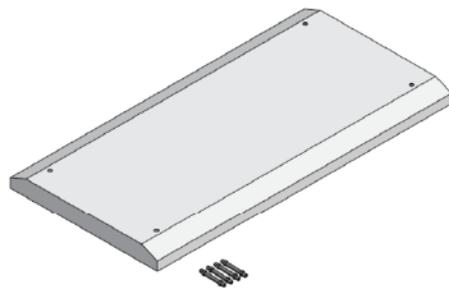


Figura 8: **Rappresentazione di un tetto parapioggia protettivo.**

I lati dell'armadio presentano dei pannelli chiamati “**pareti**” costituiti da una lamiera da 1,5 [mm] con i bordi piegati ed accoppiati con i piantoni.

Ogni parete ha una massa di: 21 [kg] quelli laterali, 11[kg] i pannelli sul retro ed esterni e 16 [kg] quello centrale.



Figura 9: **Rappresentazione di due pareti laterali protettive.**

Nella parte frontale invece abbiamo tre “**porte**”, essenziali per accedere nelle operazioni di installazione e manutenzioni alla componentistica elettrica racchiusa nell’armadio.

Le porte hanno una massa di 11 [kg] la destra e la sinistra, mentre la porta centrale ha una massa di 15 [kg].

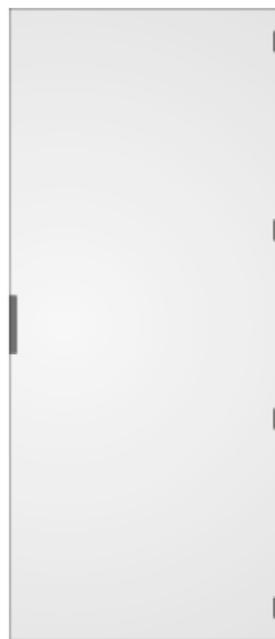


Figura 10: **Rappresentazione di una porta cieca frontale con maniglia e cerniere a SX.**

Scendendo troviamo la “**base**”, utile al passaggio cavi una volta avvenuta l’installazione, infatti si presenta come una lamiera piana con i bordi pieganti ed un’apertura a ghigliottina per lasciar passare i cavi elettrici dall’esterno verso l’interno o viceversa, avente una massa di 20 [kg] la base destra e sinistra e 30 [Kg] la base centrale.

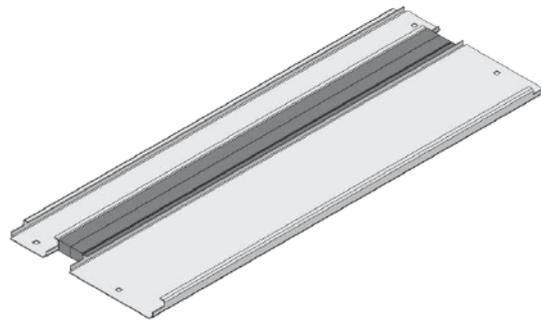


Figura 11: Rappresentazione di una flangia passacavi, la quale viene fissata sul pannello di base, posto sotto il telaio e sopra lo zoccolo.

Sotto la base è posizionato lo “**zoccolo**”, che ha lo scopo di rialzare l’intera batteria di armadi rispetto il livello del terreno, per cautelarlo da possibili cause di usura e deterioramento provenienti dal basso, l’intero zoccolo ha una massa di 60 [kg].

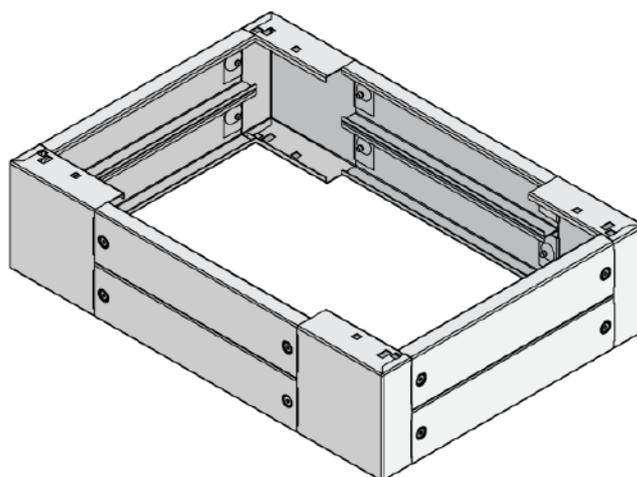


Figura 12: **Rappresentazione di uno zoccolo singolo a doppia altezza.**

Zanardo S.P.A. ha inoltre proposto una soluzione dedicata per fissaggio della strumentazione elettrica al cliente.

Tale soluzione consiste in un sistema di “**staffe e supporti di fissaggio quadro**” in lamiera piegata di spessore 1,5 [mm] che vanno bloccate nei piantoni orizzontali posti alla base del telaio con viti M8x20 passo 1,25 classe 8.8 in acciaio galvanizzato.

Questi sistemi di fissaggio vengono utilizzati nei due armadi che stanno agli estremi della batteria ed hanno una massa trascurabile rispetto il resto della struttura, ma sono fondamentali per il montaggio dei quadri laterali.

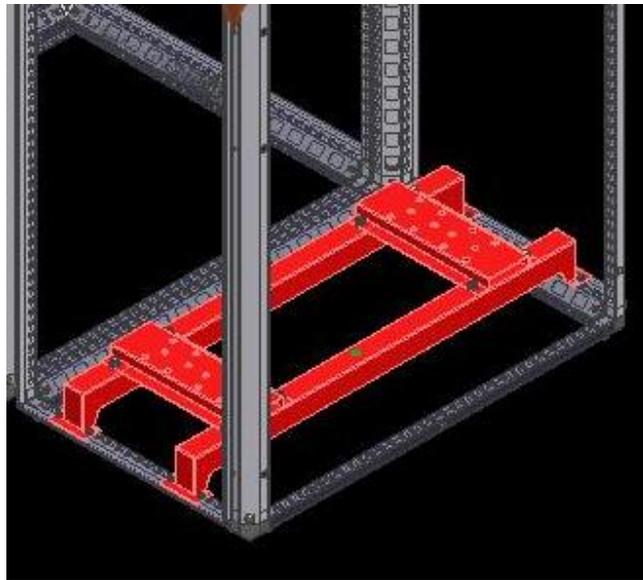


Figura 13: **Rappresentazione in rosso del sistema di staffe e supporti sul quale vengono fissati i quadri del cliente.**

Ogni pannello laterale e porta cieca presenti nella batteria dei tre armadi sono provvisti di un doppio pannello sovrapposto ad essi chiamato “pannello ombreggiante”.

Tali pannelli vengono fissati con dei distanziali per lasciare una intercapedine tra il pannello ombreggiante e l’eventuale parete o porta, al fine di far avvenire un flusso di aria movimentato dai meccanismi di convezione.

I pannelli vengono utilizzati in questo caso per proteggere le pareti e le porte dei tre armadi dall’irraggiamento solare, infatti il cliente specifica la posizione esatta del quadro per valutarne l’intensità precisa, come riportato in precedenza e ci suggerisce che la temperatura all’interno dell’armadio va controllata e mantenuta entro un certo intervallo.

I pannelli oscuranti sono una soluzione proposta dai tecnici Zanardo per assolvere alla specifica.

Le masse dei vari componenti elencati in precedenza, considerano anche la presenza dei pannelli oscuranti.

In fine osserviamo che il fissaggio dei golfari di sollevamento, avviene mediante un foro filettato fine M12 posto su un lato piano ed esposto all'esterno del giunto a tre vie.

Tale foro risulta essere quindi presente in ogni spigolo estremo di ogni telaio, ma i tecnici Zanardo hanno posto i golfari non in tutti i spigoli alti del telaio, ma solamente dei giunti tre vie dell'armadio centrale e di quelli interni dei due armadi laterali, per facilitarne l'aggancio.

Nell'analisi FEM vedremo che tale filettatura sarà impostata come vincolo, perché i golfari che saranno soggetto al carico di sollevamento verranno fissato mediante tali fori filettati.

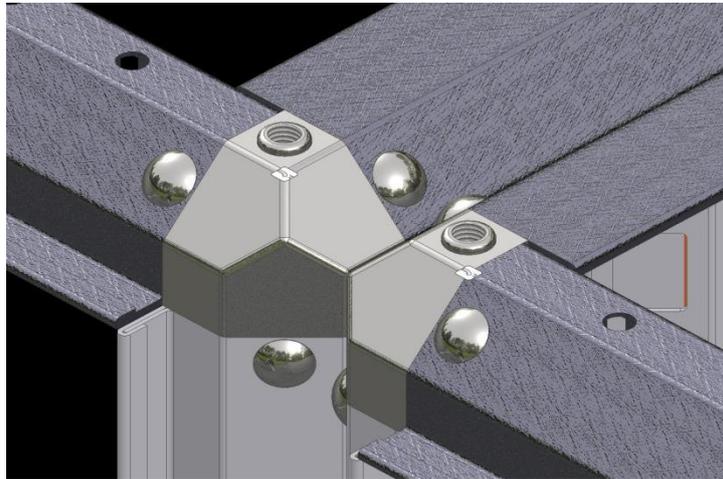


Figura 14: Rappresentazione di due giunti a tre vie affiancati, nei quali si nota il foro filettato fine M12 nel quale viene avvitato il golfare di sollevamento.

Ecco come si presenta la batteria di armadi vista nel completo.



Figura 15: Illustrazione batteria completa, compresa di pannelli oscuranti in vista fissati sulle porte e pareti laterali.

Si nota lo zoccolo di appoggio il tetto parapioggia ed i golfari di sollevamento.

Dopo aver svolto una distinzione tra gli elementi che rappresentano un carico sulla struttura e quelle che invece fungono da supporto alla stessa, possiamo procedere con l'astrazione di tali componenti considerandoli come forze applicate e passare all'impostazione del problema.

Sono state riportate le masse e le quantità delle singole parti che compongono la struttura, così da risalire ai carichi applicati al telaio portante.

Innanzitutto è fondamentale trovare il peso delle componenti che gravano sui piantoni, poi considerare i punti di fissaggio di pannelli, porte, tetto e quant'altro come punti di applicazione di tali forze peso.

I componenti hanno corrispettivamente una forza peso considerando “ $g = 9,81$ [m/s²]” di:

- Telaio 118,42 [kg] = 1161,70 [N].
- Tetto centrale 20 [kg] = 196,20 [N].
- Tetto destro e sinistro 18 [kg] ognuno = 176,58 [N].
- Pareti laterali 21 [kg] = 206,01 [N].
- Parete centrale 16 [kg] = 157,36 [N].
- Parete destra e sinistra 11 [kg] ognuna = 108,09 [N].
- Porta centrale 15 [kg] = 147,15 [N].
- Porta destra e sinistra 11 [kg] ognuna = 108,09 [N].
- Base 20 [kg] = 196,20 [N].
- Zoccolo 60 [kg] = 558,60 [N].

La somma totale del peso è circa 3408,74 [N].

I carichi delle pareti e delle porte sono applicati nell'esatto punto in cui tali organi vengono fissati tramite collegamenti filettati, per cui nell'ambiente FEM vedremo tali forze rappresentate da vettori applicati lungo i piantoni e agenti lungo la direzione verticale dell'armadio, ossia come naturalmente agisce la gravità sugli armadio durante l'operazione di sollevamento ed applicati nei punti di fissaggio dei medesimi componenti.

Troviamo poi i carichi dovuti ai quadri del cliente che gravano esattamente 147,15 [N] i due esterni, mentre il centrale 245,25 [N], per un totale complessivo di 3948,29 [N].

Il quadro centrale è fissato su una staffa che poggia esattamente alla metà dei piantoni centrali di base, mentre i due quadri esterni, generano una forza che agisce su tutta l'area della staffa di fissaggi, come nella seguente Fig. 11.

Inoltre si considera anche la forza gravitazionale agente sulla massa stessa del telaio.

Illustriamo ora le informazioni e i dati del foglio FEM.

Le informazioni principali riguardo lo studio ed il documento riguardano “l'obiettivo di progetto”, ossia, definire la distribuzione di tensioni e deformazioni, verificare stati di sollecitazione, evidenziare eventuali difetti e criticità.

Per quanto riguarda il “tipo di studio”, l'analisi statica prevede il calcolo dello stato di stress delle strutture sotto l'applicazione di un sistema di forze costanti nel tempo.

L'utente che sta svolgendo lo studio, in questa maniera, può valutare la forza sviluppata per la progettazione determinando le tensioni ammissibili e apportare le modifiche necessarie ottimizzando il prodotto.

Obiettivo di progetto	Punto singolo
Tipo studio	Analisi statica
Data ultima modifica	25/07/2023

Figura 1616: **Tabella informazioni di base studio FEM (tipologia di studio).**

Il software nell'ambiente di lavoro FEM, è in grado di valutare alcune proprietà del solido analizzato, come:

Massa	118,42 [kg]
Area	32447800 mm ²
Volume	28948200 mm ³
Baricentro	x=432,107 mm y=-40,9866 mm z=393,854 mm

Figura 1717: **Tabella proprietà oggetto di studio.**

Tali dati vengono forniti in funzione a settaggi molto importanti, scelti dall'utente.

La massa viene calcolata in funzione al volume del solido o assieme, considerando il materiale ad esso attribuito.

L'area ed il volume sono conseguenza della geometria del progetto stesso, come il baricentro è funzione di geometria e scelta dell'origine rispetto il quale è stato effettuato lo sviluppo del progetto 3D.

Il materiale scelto per lo studio è esattamente il medesimo della prova reale e ogni componente ha il proprio materiale con le proprie caratteristiche.

Riportiamo in seguito un esempio delle proprietà riferite ad un componente.

Nome	Acciaio Galvanizzato	
Generale	Densità della massa	7850 kg/m ³
	Resistenza allo snervamento	207 MPa
	Resistenza massima a trazione	345 MPa
Sollecitazione	Modulo di Young	200 GPa
	Coefficiente di Poisson	0,3
	Modulo a taglio	76,9231 GPa
Nome/i parte	<ul style="list-style-type: none"> • ANGOLARE_DRC • ISO 4161 M6 • Bullone a testa arrotondata - Pollici 5/16-18 UNC - 1,75 • Bullone a testa arrotondata - Pollici 5/16-18 UNC - 1,625 • SSV019003250001 • SSV020010300001 	

Figura 1818: Tabella del materiale con i nomi delle parti che compongono l'assieme, aventi in comune tutte lo stesso materiale e quindi anche i relativi aspetti caratteristici di natura meccanica.

Altri componenti dell'assieme che analizziamo in questo studio sono costituiti da altri materiali, quali: acciaio dolce e acciaio inox 316L, i quali anch'essi, avranno le loro tabelle rappresentative.

Inoltre osserviamo che i componenti esterni al telaio, i quali nello studio sono considerati come carichi applicati alla struttura, hanno anche essi dei materiali ben definiti, ma non sono indispensabili al fine dello studio nell'ambiente FEM, dato che si considerano soltanto i carichi da essi generati.

Il foglio delle impostazioni ci abilita anche alla modifica delle proprietà delle "Mesh", che riprendendo quanto detto nei capitoli precedenti, completiamo il contesto aggiungendo i fattori dai cui esse sono caratterizzate.

Dimensione media elemento	0.3
Dimensione minima elemento	0.5
Fattore di gradazione	1.5
Angolo di rotazione massimo	60°
Crea elementi mesh curvi	No

Figura 1919: **Tabella con settaggio impostazioni degli elementi Mesh.**

In ultima analisi valutiamo i carichi e vincoli applicati al telaio sottoposto ad esamina.

Tra i carichi distinguiamo le forze applicate e le pressioni.

Ecco un esempio di forza applicata ed i relativi valore di: intensità e componenti.

Tipo carico	Forza
Intensità	353,160 N
X vettore	0,000 N
Y vettore	-353,160 N
Z vettore	-0,000 N

Figura 200: **tabella di esempio di una forza applicata al telaio.**

Di seguito si fa nota della pressione applicata sulle staffe di montaggio dei due quadri laterali, le quali sono sottoposte ad un carico distribuito su di una piastra di area $0,06 \text{ [m}^2\text{]}$ avente lati da 200 [mm] e 300 [mm] , generato da una massa di 15 [kg] , ogni quadro è supportato da due piastre.

La pressione applicata ad ogni piastra risulta in definitiva avere un intensità di:

Tipo carico	Pressione
Intensità	1,226 [MPa]

Figura 211: **Tabella Intensità della pressione applicata alle staffe.**

Come ultimo carico considerato nello studio troviamo la gravità la quale è ovviamente applicata con verso il basso e direzione verticale:

Tipo carico	Gravità
Intensità	9810,000 mm/s ²
X vettore	-0,000 mm/s ²
Y vettore	-9810,000 mm/s ²
Z vettore	-0,000 mm/s ²

Figura 222: **Tabella forza gravitazionale con relative componenti lungo i tre assi.**

I vincoli presenti nello studio sono solo uno ed è rappresentato dai otto fori filettati dove verranno poi fissati i golfari di sollevamento.

Dallo studio condotto mediante FEM, il vincolo, risulta essere sottoposto a tali condizioni di carico:

Nome vincolo	Forza di reazione		Momento di reazione	
	Intensità	Componente (X,Y,Z)	Intensità	Componente (X,Y,Z)
Vincolo di fissaggio golfari	3948,29 [N]	0 [N]	294,43 [Nm]	291,23 [Nm]
		3948,29 [N]		13,32 [Nm]
		17,93 [N]		-41,19[Nm]

Figura 233: **Tabella condizioni di carico del vincolo di fissaggio dei golfari di sollevamento.**

Presentiamo di seguito alcune illustrazioni riguardo carichi, vincoli e strutture Mesh:

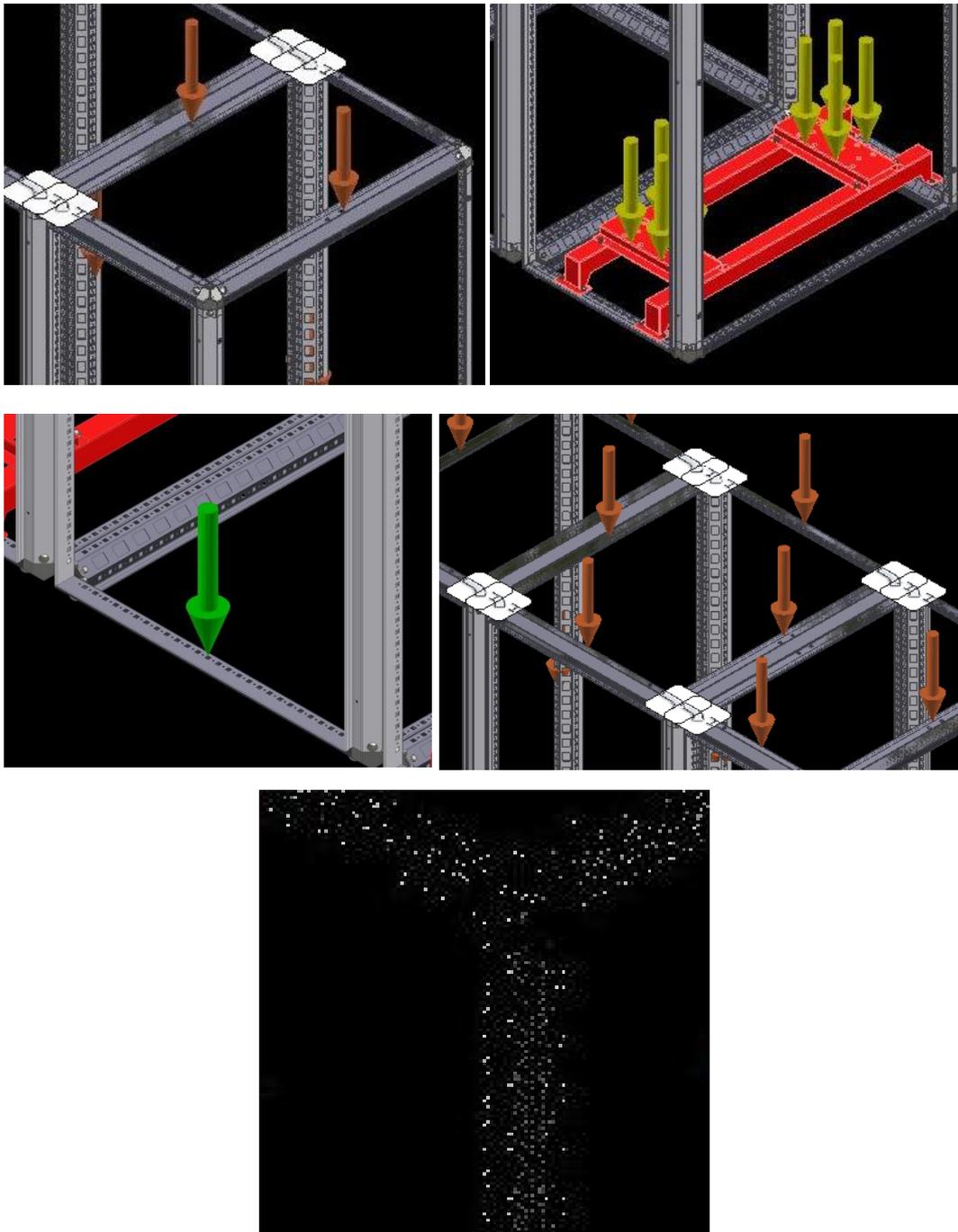


Figura 244: insieme di illustrazioni, in ordine da sinistra a destra a scendere troviamo, vettori forza, vettori pressione, vettore gravità, vincoli applicati e struttura Mesh.

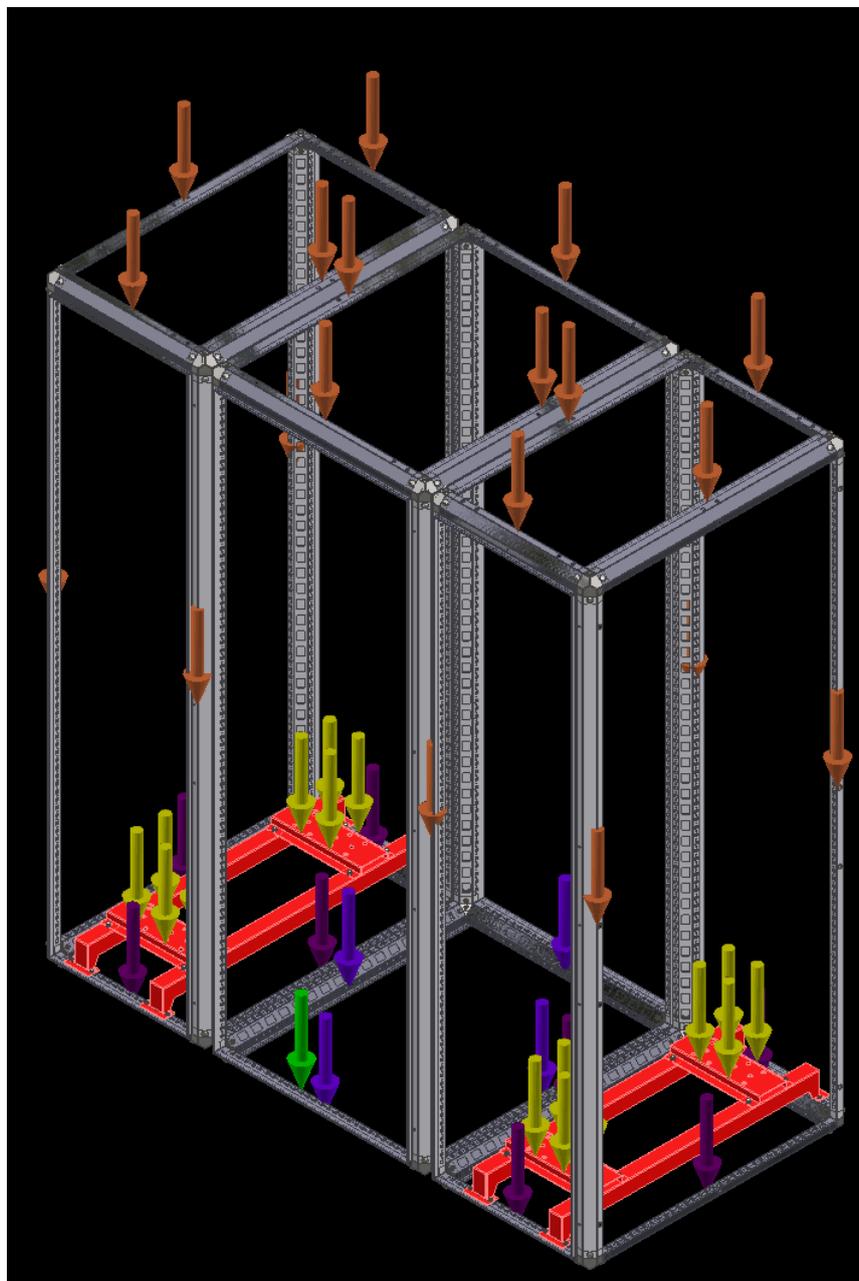


Figura 255: In figura sono illustrate le forze agenti sul telaio, in giallo le pressioni generate dai due quadri laterali sulle staffe di fissaggio, in blu il peso del quadro centrale, in viola le forze dei pareti laterali agenti alla base della batteria, in marrone sono le porte, pareti e tetto agenti sui piantoni verticali e superiori, in fine in verde il vettore gravità.

Il problema si può definire impostato, le forze sono state considerate adeguatamente in base al tipo di componente ed al materiale dello stesso.

Le rispettive forze sono state applicate seguendo i punti di fissaggio degli elementi che nella realtà costituiscono elementi di carico, dunque siamo pronti a valutare gli effetti dei carichi sulla struttura della batteria di armadi qualora venga sottoposta a sollevamento verticale ed analizzare i risultati ottenuti dallo studio FEM.

3.2 VALUTAZIONE RISULTATI OTTENUTI DALLO STUDIO FEM

Valutiamo i risultati ottenuti dallo studio FEM.

In prima analisi troviamo la sollecitazione di Von Mises che mediante le rappresentazioni grafiche vengono evidenziati gli estremi di sollecitazioni raggiunti nelle aree specifiche del telaio.

Il risultato dello studio FEM appare molto intuitivo grazie alla soluzione visualizzabile fornitaci, dove vengono variati i colori delle Mesh con tonalità tendenti al giallo, arancione o rosso per zone con valori più elevati e critici, mentre azzurro, blu e verde per valori relativamente bassi.

Notiamo che durante lo studio vengono generati e riportati nel documento, il numero preciso di “nodi” ed “elementi” Mesh, il tipo di sollecitazione e la relativa unità di misura, non che la data e l’ora dello studio.

Vedremo tre soluzioni differenti, la prima, come già annunciato, sarà la sollecitazione di Von Mises, la seconda il fattore di sicurezza e la terza lo spostamento, ossia la deformazione del telaio.

Visivamente possiamo acquisire, in questo e negli altri casi, in funzione ai colori assunti dalla struttura, il variare dei valori, al variare della posizione:

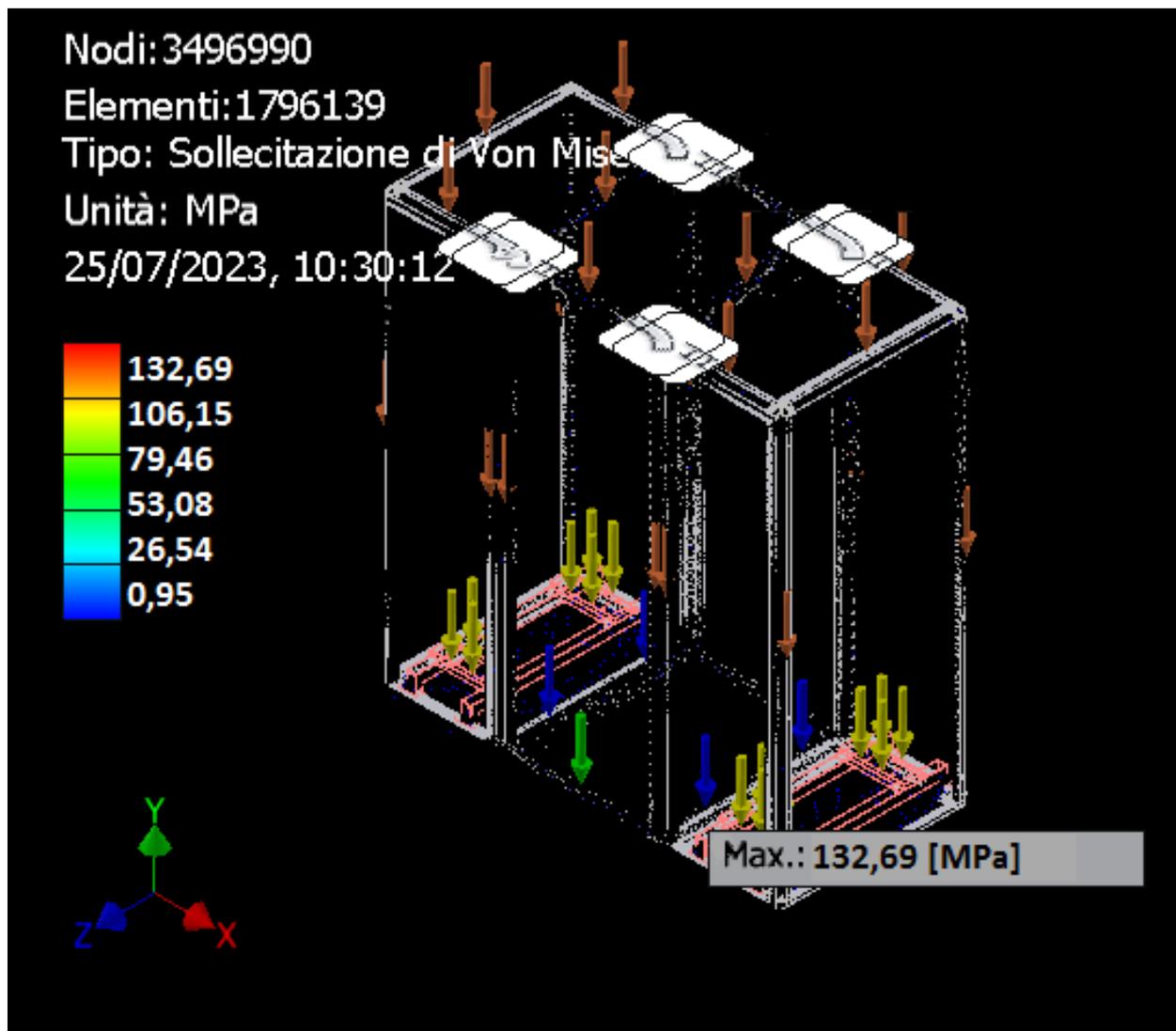


Figura 266: Illustrazione del risultato dello studio alla sollecitazione di Von Mises con riportato le relative informazioni, quali, numero di nodi, elementi elaborati, unità di misura della sollecitazione, data e ora, legenda dei colori in relazione ai valori di sollecitazione, sollecitazione massima in prossimità del punto.

Osserviamo che la sollecitazione massima segnalata dal software è situata in prossimità della staffa di fissaggio, dove essa entra in contatto con il piantone orizzontale e fissata mediante un giunto bullonato con viti M8x20 passo 1,25 classe 8.8 in acciaio galvanizzato.

Tale sollecitazione è pari a 132,69 [MPa] la quale può essere considerata non preoccupante, infatti la resistenza massima a trazione è di 345 [MPa].

In quel punto otteniamo un coefficiente di sicurezza pari a 2,60, come avremo modo di vedere dalla prossima relazione FEM, ma è comunque doveroso precisare che la sollecitazione massima raggiunta è comunque inferiore alla resistenza allo snervamento, pari a 207 [MPa].

Anche in questo caso, rispetto allo snervamento del materiale, si ha un coefficiente di sicurezza pari a 1,56 considerato secondo il criterio di Tresca.

Si può concludere che se la parte più sollecitata del telaio è in sicurezza, allora tutto il telaio è conforme alla prova al sollevamento verticale.

Osserviamo adesso la relazione finale riguardo il coefficiente di sicurezza. Ci viene presentato il minimo fattore di sicurezza laddove la tensione di Von Mises è massima ossia nella staffa di montaggio dove entra in contatto col piantone orizzontale con un valore, come detto in precedenza, di 2,60.

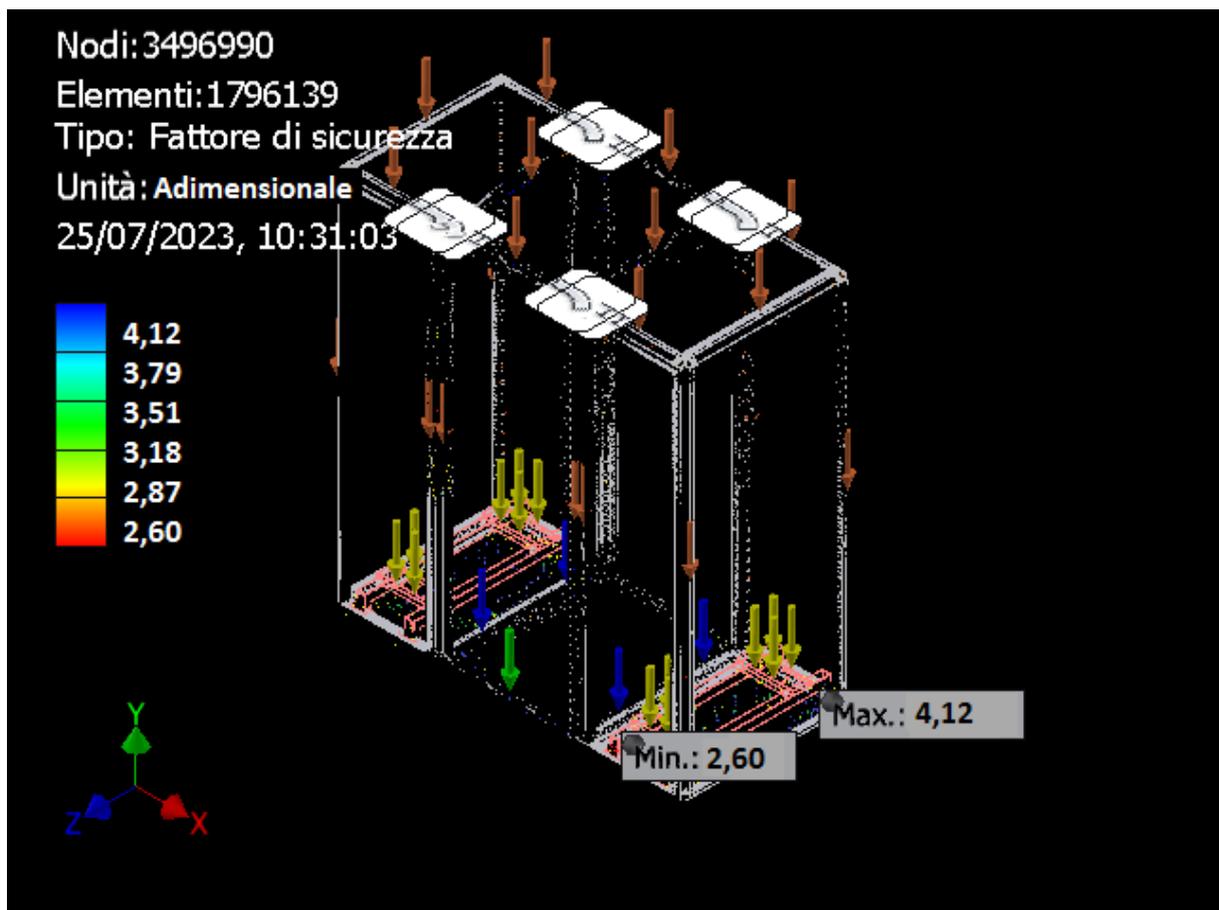


Figura 277: Illustrazione del risultato dello studio FEM sui fattori di sicurezza in funzione alla posizione, con riportato le relative informazioni, quali, numero di nodi, elementi elaborati, unità di misura della sollecitazione, data e ora, legenda dei colori in relazione ai valori di del fattore di sicurezza, valori massi e minimi in prossimità dei punti.

Come ultime informazioni dello studio FEM otteniamo lo spostamento, vale a dire quella deformazione causata dal carico agente sul telaio sposta i relativi componenti.

Lo spostamento dunque è calcolato rispetto alla medesima disposizione del telaio ma qualora si presenti privo di carico.

Osserviamo che lo spostamento maggiore lo si ha nella linea di mezzeria delle staffe di montaggio dei quadri laterali.

Tale spostamento è valutato in millimetri ed è definito come misura relativa rispetto la posizione iniziale dell'organo meccanico, cioè rispetto la stessa disposizione dell'assieme, ma senza carico.

È possibile intuire che nel nostro caso in particolare, lo spostamento massimo è definito lungo l'asse "Y" e lo si capisce sia in prima valutazione dalla rappresentazione grafica fornitaci, ma anche dalla retta d'azione dei vettori che raffigurano le pressioni sulle staffe che supportano i quadri destro e sinistro.

Osserviamo quanto proposto dall'analisi FEM:

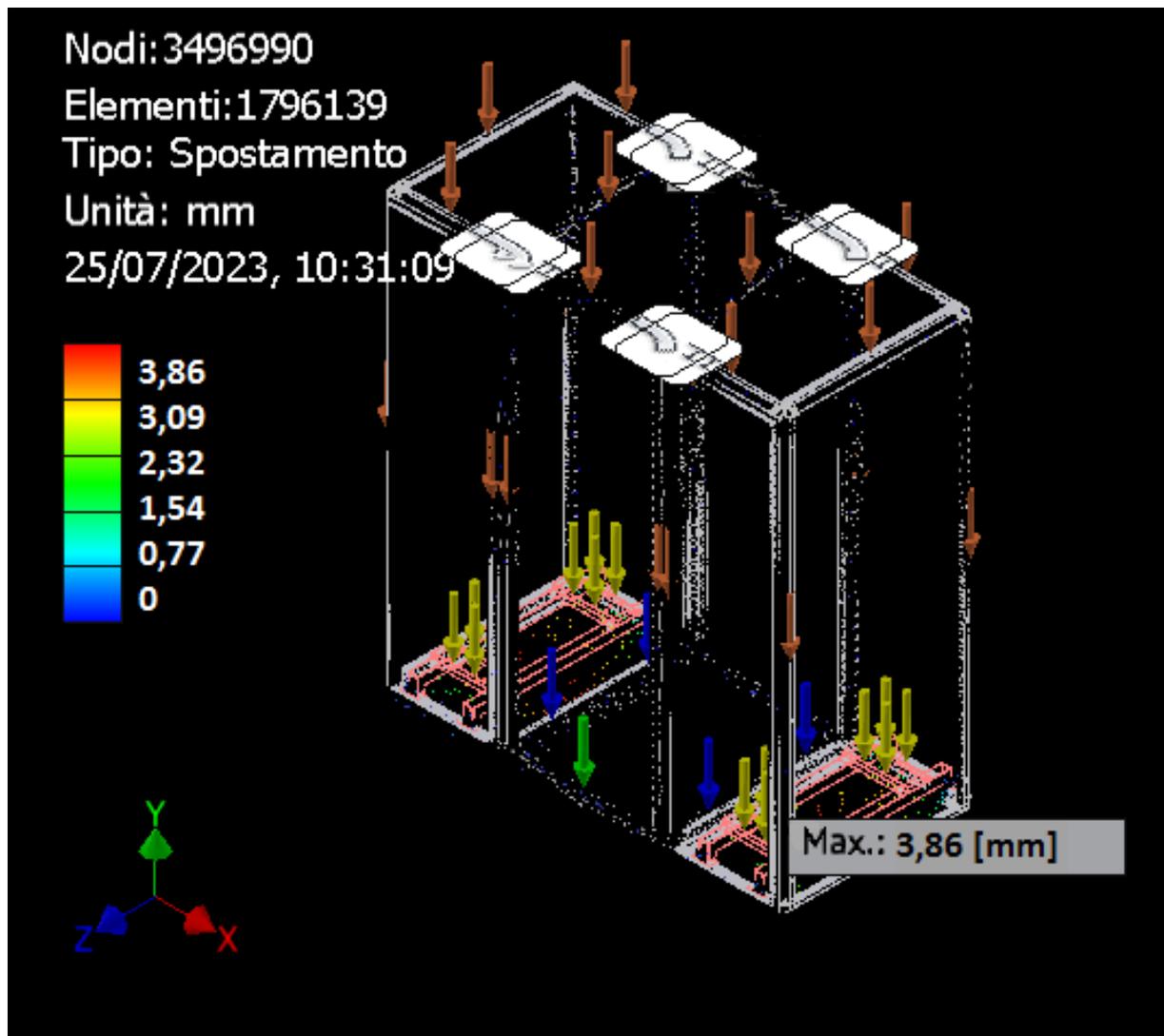


Figura 288: Illustrazione del risultato dello studio FEM sullo spostamento in funzione alla posizione, con riportato le relative informazioni , quali, numero di nodi, elementi elaborati, unità di misura, data e ora, legenda dei colori in relazione ai valori di spostamento e valore masso nel punto.

Capitolo Quarto

–

CONSIDERAZIONI

4. CONSIDERAZIONI TECNICHE

Alla luce dei risultati ottenuti, si propongono alcune considerazioni tecniche accompagnate da due soluzioni migliorative del componente soggetto alla tensione maggiore.

Da un punto di vista tecnico va considerato che la zona più sollecitata si trova in una regione in cui non ce influenza durante il sollevamento, infatti, sia che la batteria di armadi resti poggiata o fissata al suolo, o che la batteria di armadi venga sollevata per mezzo dei golfari posti sul tetto, la struttura subisce la maggior sollecitazione nella stessa zona, con la stessa intensità, ovvero nel punto di contatto tra la staffa di supporto quadri e il piantone orizzontale.

Si può quindi dedurre che lo studio FEM abbia accertato con chiarezza che la batteria di armadi sia pienamente capace di auto reggersi nell'atto di sollevamento.

Un ulteriore considerazione va fatta sulle possibili soluzioni applicabili nel caso si volesse dare una maggior resistenza alla staffa di supporto del quadro, dove entra in contatto con il piantone orizzontale.

Le due parti meccaniche sono fissate fra loro mediante un giunto bullonato con viti M8x20 passo 1,25 classe 8.8 in acciaio galvanizzato.

Dunque la zona con sollecitazione maggiore si presenta come una piastra metallica di spessore 1,5 [mm] e con due forature agli estremi poggiata e fissata su di un piano.

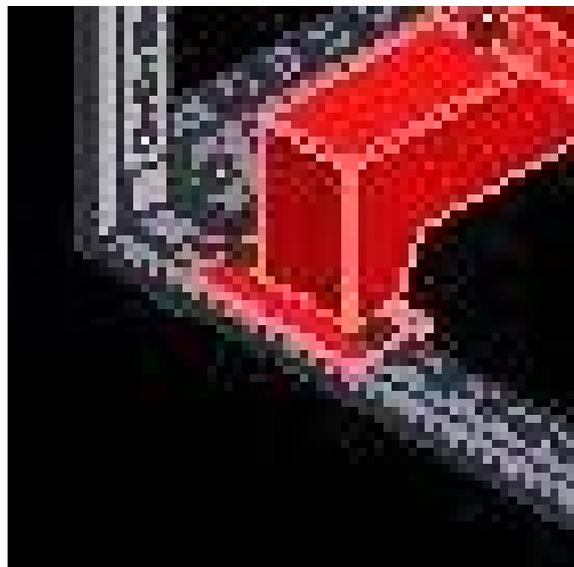


Figura 2929: Illustrazione piastra fissaggio staffa supporto quadro, notare le due teste delle viti alla destra e sinistra della staffa in verticale.

Due delle possibili modifiche apportabili al pezzo per ridurre la sollecitazione possono essere:

- Aumentare la dimensione del lato maggiore della piastra, così da aumentare la distanza fra la foratura e la parete della staffa e aumentare inoltre la distanza fra la foratura e l'estremo della piastrina in modo da ridurre l'influenza della foratura sulla piastra ed aumentare la zona di materiale resistente, così da gravare meno sugli effetti di intaglio il cui valore "Kt" è dato in funzione del rapporto tra diametro del foro e larghezza della lamiera, cioè la distanza tra i lati della lamiera.
- Aumentare lo spessore della lamiera da 1,5 [mm] a 2 [mm], ciò causerebbe due effetti positivi: il primo aumenterebbe la sezione resistente della staffa, il secondo ridurrebbe il valore del coefficiente di intaglio definito anche come rapporto tra diametro foro e spessore lamiera.

Capitolo Quinto

—

CONCLUSIONI

5. CONCLUSIONI

Nella presente tesi di laurea, è stata condotta un'approfondita analisi e verifica sul comportamento di una batteria di armadi elettrici sottoposti a sollevamento verticale, in presenza di molteplici carichi applicati e distribuiti nell'intelaiatura della struttura portante.

Gli obiettivi principali di questa ricerca sono stati pienamente affrontati e vengono ora esposti in dettaglio nell'ordine di esecuzione:

- Conoscere la struttura soggetta ad analisi.
- Analizzare il problema tecnico.
- Applicare i dati raccolti allo strumento risolutivo FEM.
- Interpretare i risultati ottenuti.
- Verificare l'efficienza della struttura.
- Apportare eventuali migliorie tecniche.
- Assicurare il cliente della conformità del progetto.

Il primo passo è stato acquisire una comprensione approfondita delle componenti della struttura, mediante una documentazione dettagliata di dati relativi alla configurazione dell'armadio.

La fase successiva è stata l'analisi del problema tecnico, quindi definire chiaramente i carichi previsti e le condizioni di sollevamento, in funzione alla configurazione della batteria di armadi elettrici.

Utilizzando il metodo FEM, sono stati applicati i dati raccolti per risolvere numericamente il problema, consentendo di ottenere una rappresentazione dettagliata del comportamento strutturale grazie ai dati forniti e alle rappresentazioni grafiche.

I risultati ottenuti dallo studio FEM sono stati attentamente esaminati e interpretati permettendo di identificare le aree di potenziale preoccupazione e di valutare la sicurezza e l'affidabilità della struttura.

Qualora fossero state identificate potenziali debolezze o aree di possibile miglioramento, sono state proposte e valutate soluzioni tecniche per rafforzare la struttura.

Infine, è stata una priorità assicurare il cliente che il progetto sia conforme agli standard e alle specifiche richieste.

INDICE IMMAGINI:

Figura 1: Illustrazione di come lo stato tensionale può essere considerato mediante la somma di due distinti stati tensionali, il primo chiamato “sferico” è il responsabile della variazione di volume, il secondo detto “deviatorico”, causa la variazione di forma, ecco le tre equazioni, ognuna lungo una direzione ortogonale:	18
Figura 2: Tabelle caratteristiche bullonatura utilizzata nell'accoppiamento degli armadi per formare la batteria.....	28
Figura 3: Fotografia bullonatura di fissaggio tra gli armadi al fine di formare la batteria, mediante n.8 pezzi di vite M8x20 passo 1,25 classe 8.8 in acciaio galvanizzato.	29
Figura 4: Illustrazione di un tipico Piantone Zanardo a 7 pieghe.....	31
Figura 5: Illustrazione di un giunto tre vie.	32
Figura 6: Illustrazione di tre piantoni in acciaio AISI 316 collegati fra loro mediante un giunto tre vie, notare la bullonatura in acciaio AISI 316 ed i cordoni di saldatura in testa ai piantoni.....	33
Figura 7: Illustrazione di un telaio singolo composto dai piantoni, i giunti tre vie e le opportune bullonature (nella foto sono visibili anche le cerniere).	35
Figura 8: Rappresentazione di un tetto parapioggia protettivo.....	37
Figura 9: Rappresentazione di due pareti laterali protettive.	38
Figura 10: Rappresentazione di una porta cieca frontale con maniglia e cerniere a SX.	39
Figura 11: Rappresentazione di una flangia passacavi, la quale viene fissata sul pannello di base, posto sotto il telaio e sopra lo zoccolo.	40
Figura 12: Rappresentazione di uno zoccolo singolo a doppia altezza.	41

Figura 13: Rappresentazione in rosso del sistema di staffe e supporti sul quale vengono fissati i quadri del cliente.	42
Figura 14: Rappresentazione di due giunti a tre vie affiancati, nei quali si nota il foro filettato fine M12 nel quale viene avvitato il golfare di sollevamento.....	44
Figura 15: Illustrazione batteria completa, compresa di pannelli oscuranti in vista fissati sulle porte e pareti laterali.....	45
Figura 16: Tabella informazioni di base studio FEM (tipologia di studio).	49
Figura 17: Tabella proprietà oggetto di studio.	49
Figura 18: Tabella del materiale con i nomi delle parti che compongono l'assieme, aventi in comune tutte lo stesso materiale e quindi anche i relativi aspetti caratteristici di natura meccanica.....	50
Figura 19: Tabella con settaggio impostazioni degli elementi Mesh.	51
Figura 20: tabella di esempio di una forza applicata al telaio.	52
Figura 21: Tabella Intensità della pressione applicata alle staffe.	52
Figura 22: Tabella forza gravitazionale con relative componenti lungo i tre assi.....	53
Figura 23: Tabella condizioni di carico del vincolo di fissaggio dei golfari di sollevamento.....	53
Figura 24: insieme di illustrazioni, in ordine da sinistra a destra a scendere troviamo, vettori forza, vettori pressione, vettore gravità, vincoli applicati e struttura Mesh.....	54
Figura 25: In figura sono illustrate le forze agenti sul telaio, in giallo le pressioni generate dai due quadri laterali sulle staffe di fissaggio, in blu il peso del quadro centrale, in viola le forze dei pareti laterali agenti alla base della batteria, in marrone sono le porte, pareti e tetto agenti sui piantoni verticali e superiori, in fine in verde il vettore gravità.	55
Figura 26: Illustrazione del risultato dello studio alla sollecitazione di Von Mises con riportato le relative informazioni, quali, numero di nodi, elementi elaborati, unità di misura della sollecitazione, data e ora, legenda dei colori in relazione ai valori di sollecitazione, sollecitazione massima in prossimità del punto.	58

Figura 27: Illustrazione del risultato dello studio FEM sui fattori di sicurezza in funzione alla posizione, con riportato le relative informazioni , quali, numero di nodi, elementi elaborati, unità di misura della sollecitazione, data e ora, legenda dei colori in relazione ai valori di del fattore di sicurezza, valori massi e minimi in prossimità dei punti..... 60

Figura 28: Illustrazione del risultato dello studio FEM sullo spostamento in funzione alla posizione, con riportato le relative informazioni , quali, numero di nodi, elementi elaborati, unità di misura, data e ora, legenda dei colori in relazione ai valori di spostamento e valore masso nel punto..... 62

Figura 29: Illustrazione piastra fissaggio staffa supporto quadro, notare le due teste delle viti alla destra e sinistra della staffa in verticale..... 66

FONTI E SITOGRAFIA:

- SITO ZANARDO: <https://www.zanardo.com/azienda>
- METODO DEGLI ELEMENTI FINITI:
 - https://it.wikipedia.org/wiki/Metodo_degli_elementi_finiti
- EFFETTO JOULE: https://it.wikipedia.org/wiki/Effetto_Joule
- ACCIAIO: <https://it.wikipedia.org/wiki/Acciaio#Descrizione>
- TEORIA ROTTURA:
 - https://cdm.ing.unimo.it/dokuwiki/_media/wikitelaio2017/lezione_2017_03_06_1_.pdf
- STATICA DEI CORPI DEFORMABILI: [Slide Corso Scienze Delle Costruzioni.](#)
- TEORIA DELLA ROTTURA: [Slide Corso Costruzione Di Macchine.](#)
- OBIETTIVO DI PROGETTO FEM, PUNTO SINGOLO:
 - <http://www.informaticad.com/novit%C3%A0/news-cad-and-progettazione-meccanica/i-vantaggi-dellanalisi-fem/>
- DENSITÀ DELLA MASSA: <https://it.wikipedia.org/wiki/Densit%C3%A0>
- RESISTENZA ALLO SNERVAMENTO:
 - https://it.wikipedia.org/wiki/Tensione_di_snervamento
- RESISTENZA MASSIMA A TRAZIONE: https://it.wikipedia.org/wiki/Resistenza_meccanica
- MODULO DI YOUNG:
 - https://it.m.wikipedia.org/wiki/Modulo_di_elasticit%C3%A0#Modulo_di_elasticit%C3%A0_lo_ogitudinale
- COEFFICIENTE DI POISSON: https://it.wikipedia.org/wiki/Coefficiente_di_Poisson
- MODULO A TAGLIO: https://it.wikipedia.org/wiki/Modulo_di_taglio