

RELAZIONE TECNICA

1. INTRODUZIONE

1.1. Descrizione

Da discuterne con Gian Pietro.

1.2. Scopo del documento

Lo scopo di questo documento è la verifica funzionale del dado di fondazione 1000 x 1000 millimetri.

2. SOMMARIO DEI RISULTATI

Il dado fondazionale in questione 1000 x 1000 dimostra, nella sua interezza, una capacità di resistenza ottimale in relazione ai carichi di input.

Tutte le componenti presenti risultano lavorare sotto la loro soglia critica.

3. DESCRIZIONE DELLA PIASTRA 600 x 600 mm

L'oggetto della relazione risulta essere la piastra di dimensioni 1000 x 1000 mm nel suo sviluppo in pianta.

Partendo dall'elemento posto in sommità e scendendo in direzione verticale si descrivono nel dettaglio gli elementi presenti:

1. Prima piastra tonda di diametro 350 mm e spessore 15 mm di acciaio S355 asolata che funge da elemento di raccordo tra la sovra-struttura ed il dado fondazionale;
2. Elemento unico di acciaio S355 denominato "chiave" formato da 3 componenti:
 - 2.1. Un primo piatto rotondo di diametro 350 mm e spessore 15 mm asolato;
 - 2.2. Un tubo cavo saldato all'elemento 2.1. di diametro esterno pari a 76 mm, spessore 10 mm e lungo 210 mm che funge da collegamento tra il dado fondazionale ed il palo "geopal";
 - 2.3. Un secondo piatto tondo di diametro 210 mm saldato all'elemento 2.2 con spessore di 15 mm.
 - 2.4. N° 4 lame di acciaio s355 di dimensioni 57 x 50 x 15 mm.
3. "Carapace" ovvero l'insieme di elementi in acciaio che hanno lo scopo di distribuire le tensioni alle componenti sottostanti formati da:
 - 3.1. Una prima piastra di acciaio S355 quadrata di dimensioni 600 x 600 mm e spessore 10 mm con foro centrale di 150 mm;
 - 3.2. Insieme di 8 "fazzoletti" di acciaio S355 con spessore 10 mm posti in verticale aventi scopo di distribuzione delle sollecitazioni e saldati tra le piastre 3.1. e 3.3.;
 - 3.3. Piastra di acciaio S355 di superficie 1000 x 1000 mm di spessore 8 mm con foro centrale di 110 mm;
4. Pannello di legno a scaglie orientate di tipo "osb 4" di dimensioni 1000 x 1000 e spessore 15 mm con foro centrale di 110 mm;
5. Due pannelli di polistirene espanso estruso incollati tra loro di dimensioni 1000 x 1000 e spessore 100 mm ciascuno, con foro centrale di 110 mm;
6. Pannello di legno a scaglie orientate di tipo "osb 4" di dimensioni 1000 x 1000 e spessore 15 mm con foro centrale di 110 mm;

7. Una "camicia" di lamiera zincata che chiude al suo interno gli elementi 4., 5., 6., con lo scopo di isolamento dall'ambiente umido esterno. Si precisa che quest'ultimo elemento non verrà conteggiato in quanto non presenta valenza strutturale, ma solamente di protezione dei materiali al suo interno;
8. Palo di tipo "Geopal" di diametro 88.9 mm, spessore 6 mm di lunghezza 2 metri.

Quest'ultimo verrà inserito all'interno del dado di fondazione attraverso il foro centrale predisposto sui vari elementi e reso solidale ad esso tramite l'elemento "chiave" definito precedentemente.

La connessione tra palo e chiave avviene tramite collegamento "maschio – femmina" di questi due elementi con una successiva applicazione di forza di pre-serraggio e con un'unione bullonata.

11.1

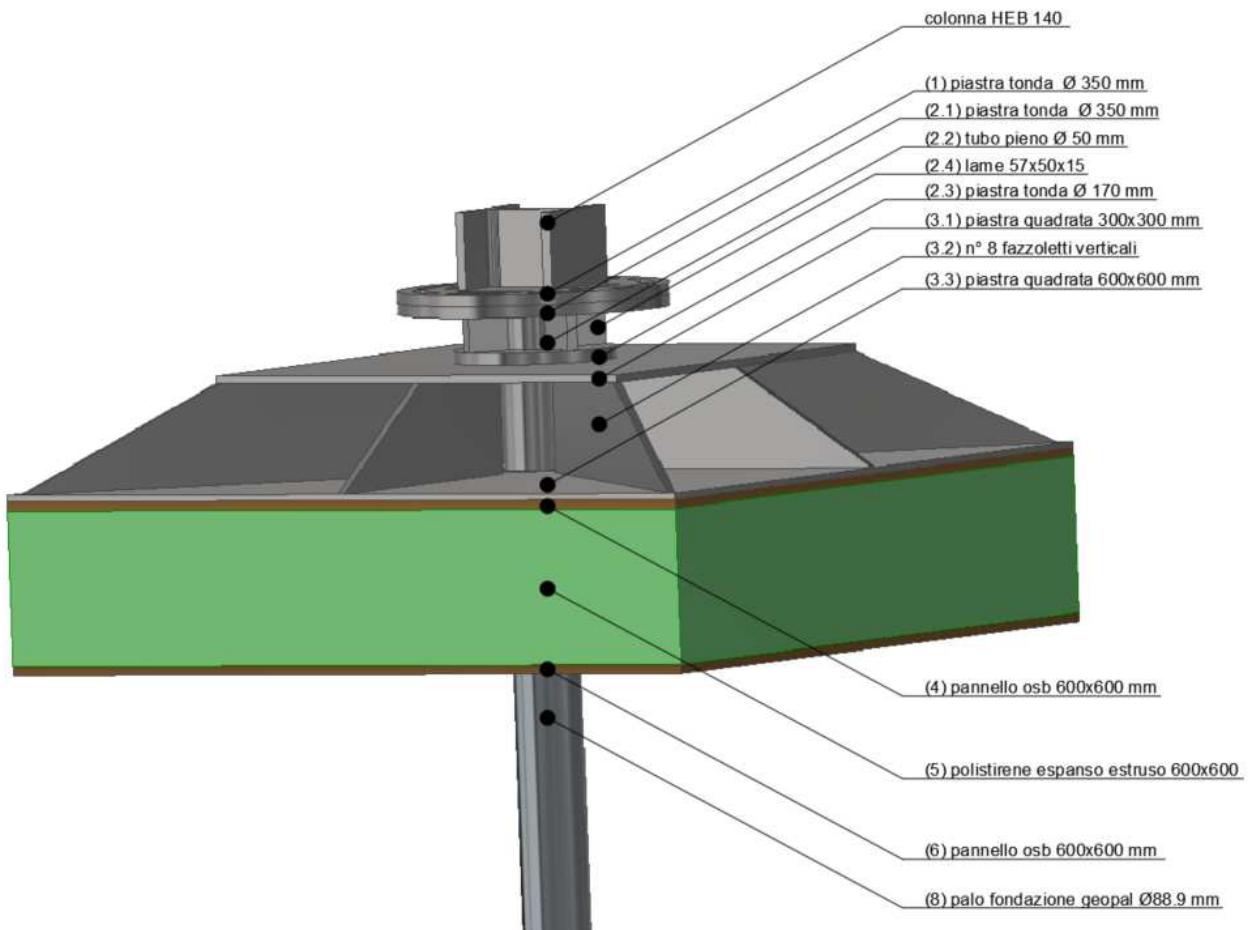


Figura 1: descrizione dettagliata materiali presenti

4. MATERIALI

Nel seguente capitolo si elencano i materiali utilizzati per la realizzazione del dado di fondazione, assieme alle caratteristiche meccaniche.

L'Eurocodice 2 fornisce i valori delle resistenza a snervamento e a rottura degli acciai:

prospetto 3.1 **Valori nominali della resistenza di snervamento f_y e della resistenza ultima a trazione f_u per acciai strutturali laminati a caldo**

Norma e tipo di acciaio	Spessore nominale dell'elemento t [mm]			
	$t \leq 40$ mm		$40 \text{ mm} < t \leq 80$ mm	
	f_y [N/mm ²]	f_u [N/mm ²]	f_y [N/mm ²]	f_u [N/mm ²]
EN 10025-2				
S 235	235	360	215	360
S 275	275	430	255	410
S 355	355	510	335	470
S 450	440	550	410	550
EN 10025-3				
S 275 N/NL	275	390	255	370
S 355 N/NL	355	490	335	470
S 420 N/NL	420	520	390	520
S 460 N/NL	460	540	430	540
EN 10025-4				
S 275 M/ML	275	370	255	360
S 355 M/ML	355	470	335	450
S 420 M/ML	420	520	390	500
S 460 M/ML	460	540	430	530
EN 10025-5				
S 235 W	235	360	215	340
S 355 W	355	510	335	490
EN 10025-6				
S 460 Q/QL/QL1	460	570	440	550
EN 10210-1				
S 235 H	235	360	215	340
S 275 H	275	430	255	410
S 355 H	355	510	335	490
S 275 NH/NLH	275	390	255	370
S 355 NH/NLH	355	490	335	470
S 420 NH/NLH	420	540	390	520
S 460 NH/NLH	460	560	430	550
EN 10219-1				
S 235 H	235	360		
S 275 H	275	430		
S 355 H	355	510		
S 275 NH/NLH	275	370		
S 355 NH/NLH	355	470		
S 460 NH/NLH	460	550		
S 275 MH/MLH	275	360		
S 355 MH/MLH	355	470		
S 420 MH/MLH	420	500		
S 460 MH/MLH	460	530		

Tabella 1: valori di resistenza a snervamento e rottura degli acciai (EC3)

Si elencano le caratteristiche meccaniche dei materiali per l'opera in esame:

ACCIAIO PER CARPENTERIA	
S355-classe resilienza J2(J0), spessori <40 mm	
Tensione di rottura f_{tk} [MPa]	510
Tensione di snervamento f_{yk} [MPa]	355
Modulo elastico E_s [MPa]	210000
Coefficiente di sicurezza γ_s	1,25
Tensione di snervamento di progetto f_{yd} [MPa]	285
Tensione di rottura di progetto f_{td} [Mpa]	408

Tabella 2: acciaio S355, sp.<40 mm

ACCIAIO PER BULLONI	
Classe bulloni 8.8	
Resistenza ultima f_{tb} [MPa]	800
Resistenza di snervamento f_{yb} [MPa]	640
Modulo elastico E_s [MPa]	210000
Coefficiente di sicurezza γ_s	1,25
Resistenza a snervamento di progetto f_{ybd} [MPa]	512

Tabella 3: caratteristiche meccaniche bulloni

POLISTIRENE ESPANSO ESTRUO Styrodur® 5000 CS		
valore della resistenza a compressione al 10% di schiacciamento secondo EN 826 [Mpa]	0,7	per spessori > 60 mm
densità ρ [kg/mc]	30	
modulo elastico a compressione E [Mpa]	40	
temperatura limite di esercizio [°C]	(-50 / +75)	

Tabella 4: caratteristiche metalliche polistirene espanso estruso

PANNELLO A SCAGLIE ORIENTATE		OSB4
modulo elastico longitudinale E_l [Mpa]	5300	
modulo elastico trasversale E_t [Mpa]	2500	
Densità ρ [kg/mc]	620	
resistenza a flessione longitudinale f_l [Mpa]	33	
resistenza a flessione trasversale f_t [Mpa]	20	

Tabella 5: caratteristiche meccaniche pannello osb

5. CARICHI DI INPUT

I carichi di input, inseriti per la realizzazione e verifica della fondazione, sono quelli derivanti dalla relazione tecnica fornita dal progettista delle opere strutturali, l'ing. Luciano Maltoni.

I carichi inseriti in testa al dato fondazionale in esame sono:

carichi piastra 600 x 600		
momento flettente direz x: M_x [kgm]	2600	
momento flettente direz y: M_y [kgm]	1300	
Taglio direz x: T_x [kg]	1000	
Taglio direz y: T_y [kg]	1000	
sforzo normale: N [kg]	6000	

Tabella 6: carichi applicati al modello FEM

6. CRITERI DI ACCETTABILITÀ'

I criteri di accettabilità sui livelli di stress sono stati eseguiti confrontando le tensioni di Von Mises ottenute dal modello ad elementi finiti studiato nel seguito, con i valori di tensione di snervamento dei vari materiali abbattuti con il loro opportuno coefficiente di sicurezza.

Per il materiale acciaio si considera come coefficiente di sicurezza quello reperito nell'eurocodice 3, lo stesso riportato anche nelle NTC 2018:

6.1

Generalità

(1) Si raccomanda che i coefficienti parziali γ_M come definiti nel punto 2.4.3 siano applicati ai diversi valori caratteristici della resistenza definiti nella presente Sezione come segue:

- resistenza delle sezioni trasversali per qualsiasi classe di appartenenza: γ_{M0}
- resistenza delle membrature alla instabilità valutata mediante verifiche della membratura: γ_{M1}
- resistenza a rottura di sezioni trasversali soggette a trazione: γ_{M2}
- resistenza dei collegamenti: vedere EN 1993-1-8

Nota 1 Per altri valori numerici raccomandati vedere EN 1993, parti da 2 a 6. Per strutture non trattate dalla EN 1993, parti da 2 a 6, l'appendice nazionale può definire i coefficienti parziali γ_{Mi} ; si raccomanda di prendere i coefficienti parziali γ_{Mi} dalla EN 1993-2.

Nota 2B Coefficienti parziali γ_{Mi} per gli edifici possono essere definiti nell'appendice nazionale. Per gli edifici sono raccomandati i seguenti valori numerici:

$$\gamma_{M0} = 1,00$$

$$\gamma_{M1} = 1,00$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

Si sceglie il valore del coefficiente maggiormente conservativo, ovvero $\gamma = 1.25$, che abbatte la resistenza di snervamento di progetto dell'acciaio a $F_{yd} = 285$ kN.

Per i rimanenti materiali facenti parte dell'oggetto si considera come limite di progetto il valore dello snervamento, senza considerare valori di riduzione.

Di seguito si riportano i valori di progetto dei materiali presenti:

- pannelli di legno a scaglie orientate OSB 3:

valore di resistenza flessionale: si considera il valore minimo tra i due forniti per le due direzioni longitudinali ($f_{y,osb3} = 10$ MPa) riportati nel capitolo materiali.

- Polistirene espanso estruso tipo "styrodur 2500": ($f_y, polistirene = 0.3$ MPa)

7. MODELLO AD ELEMENTI FINITI

Per lo studio del comportamento strutturale e per le successive verifiche di validazione, si è utilizzato il metodo agli elementi finiti.

La geometria 3D del manufatto è stata realizzata in "Autodesk Autocad 3d".

Il programma utilizzato per la modellazione FEM è "Ansys"; il modello ad elementi finiti è stato generato dalla geometria solida importata dal file 3D in formato dwg.

Sono stati presi in considerazione nell'analisi FEM tutte le componenti presenti nel file appena descritto, considerando per ognuno il proprio comportamento strutturale.

Il totale di componenti presenti nella modellazione sono 27.

Il tipo di analisi svolta è di tipo elastica lineare.

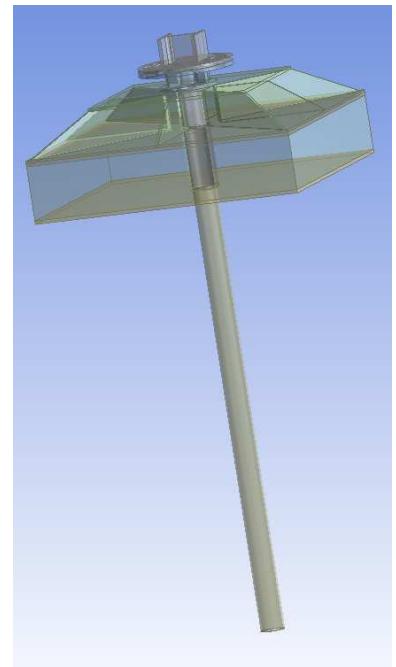


Figura 2: geometria 3D del manufatto

1.1. Assegnazione dei materiali

Primo passo all'interno dell'ambiente di lavoro di ansys è l'assegnazione del materiale opportuno al singolo componente.

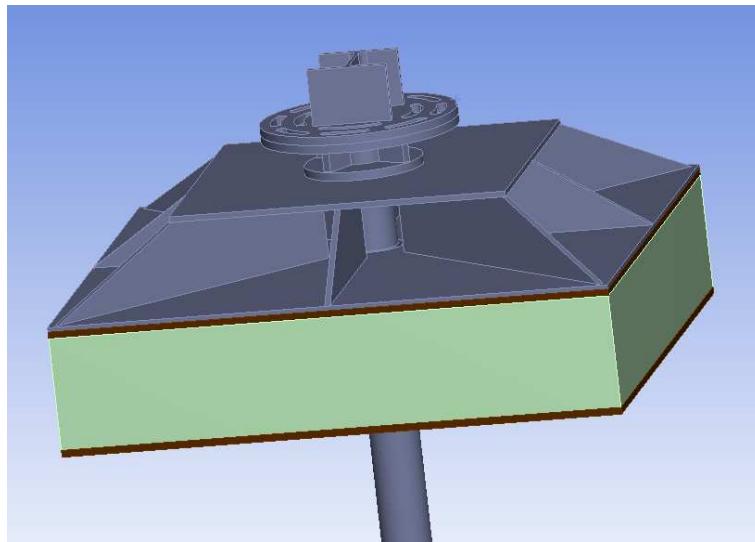


Figura 3: assegnazione materiali: nota come gli elementi evidenziati siano esclusi dal modello.

1.2. Analisi elastica lineare

L'analisi globale della struttura viene condotta tramite il metodo elastico nella quale gli effetti delle azioni vengono valutati nell'ipotesi che il legame tensione – deformazione del materiale sia sempre lineare fino al raggiungimento della tensione di snervamento.

7.2.1. Assegnazione dei carichi

I carichi che sono stati forniti sono quelli che sono entrati come input nel modello. Essi sono stati applicati in testa al dado di fondazione, precisamente nelle faccia superiore della colonna HEB.

Il momento flettente inserito è la risultante dei momenti inseriti nelle due direzioni x e y.

Stesso ragionamento vale per la forza applicata, la quale risulta essere la risultante nello sforzo normale agente in direzione z e dello sforzo di taglio agente sia in direzione x che y.

Per le verifiche agli stati ultimi si sono prese le sollecitazioni massime che andranno ad interessare questo tipo di elemento. I valori nello specifico sono stati precedentemente specificati.

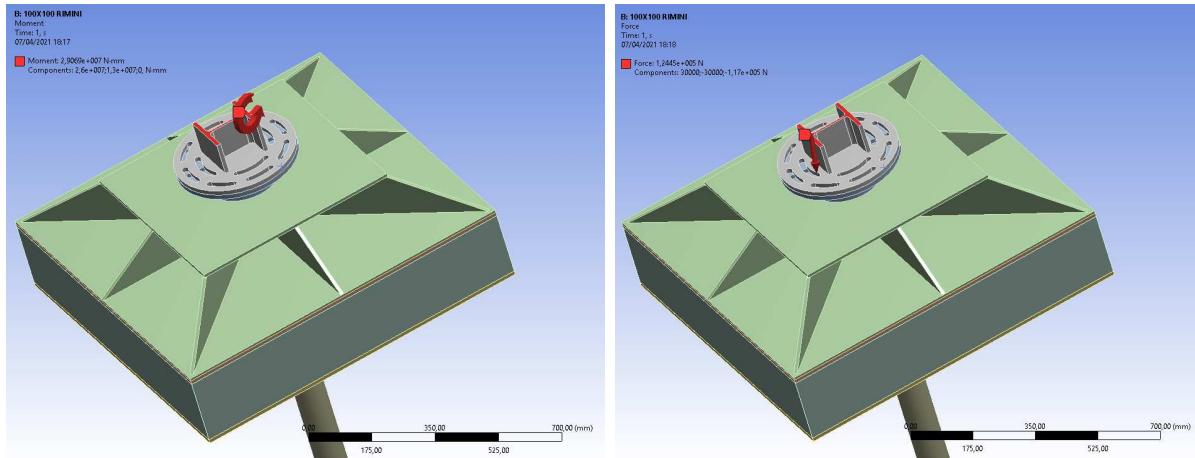


Figura 4: inserimento carichi nel modello FEM. Sia il momento che la forza sono le risultanti delle sollecitazioni inserite nelle loro direzioni di azione

Tipo carico reale	Concentrato
Tipo carico inserito	Sforzo normale
Intensità carico concentrato direzione z	-11700 kg

Tipo carico reale	Concentrato
Tipo carico inserito	Sforzo di taglio
Intensità carico concentrato direzione x	3000 kg
Intensità carico concentrato direzione y	-3000 kg

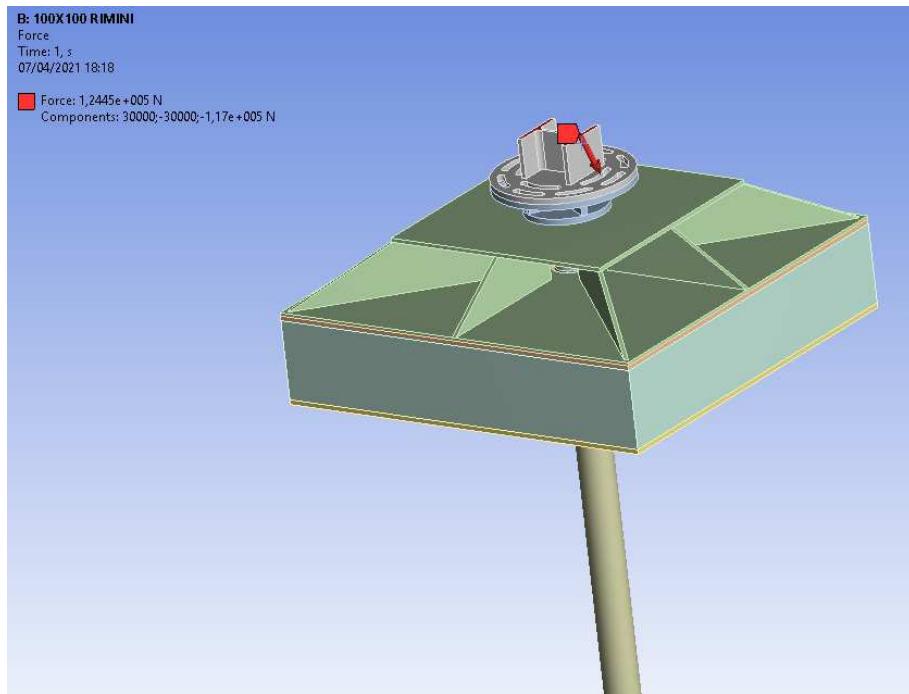


Figura 5: inserimento carico assiale e tagliante in un'unica forza

Tipo carico	Momento
Intensità	29069000,000 N mm
X vettore	26000000,000 N mm
Y vettore	13000000,000 N mm

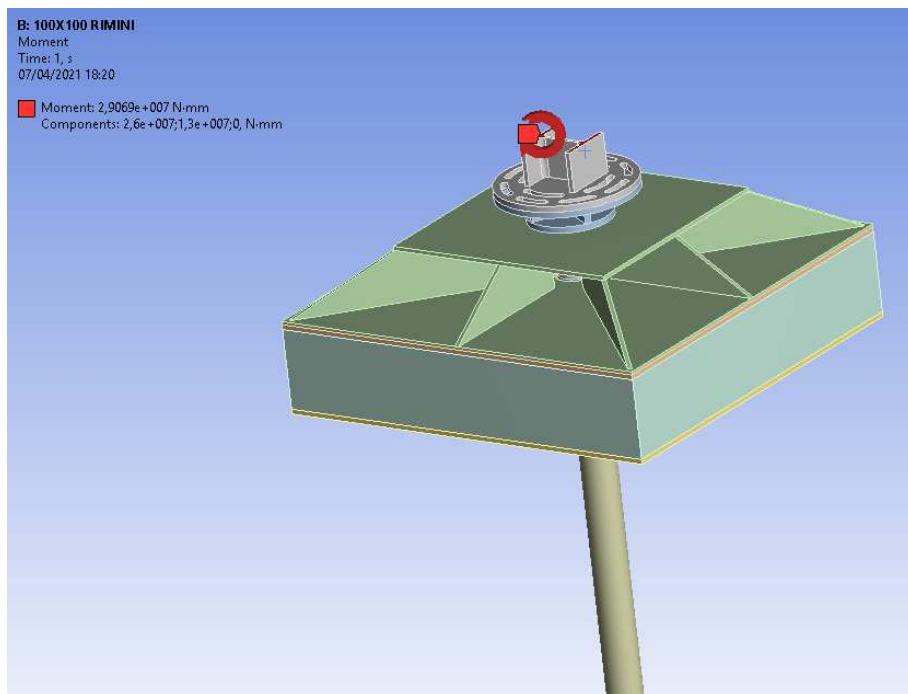


Figura 6: inserimento momento flettente

1.3.Vincoli

I vincoli inseriti sono 3 ed interessano ognuno un elemento, in particolare:

- Vincolo di incastro per la testa inferiore del palo di fondazione;
- Vincolo denominato “cylindrical support” sulla faccia del palo che andrà interrato il quale impedisce lo spostamento in direzione radiale e tangenziale, lasciando invece libero lo spostamento nella direzione assiale;
- Vincolo di incastro sulla base inferiore del dado che simula il contatto con il terreno consolidato.

1.4.Contatti

Ogni singolo elemento viene idealizzato come saldato a quelli adiacenti. Lo scopo è quello di simulare la perfetta aderenza tra le facce degli elementi selezionati.

In totali gli elementi di contatto sono 9.

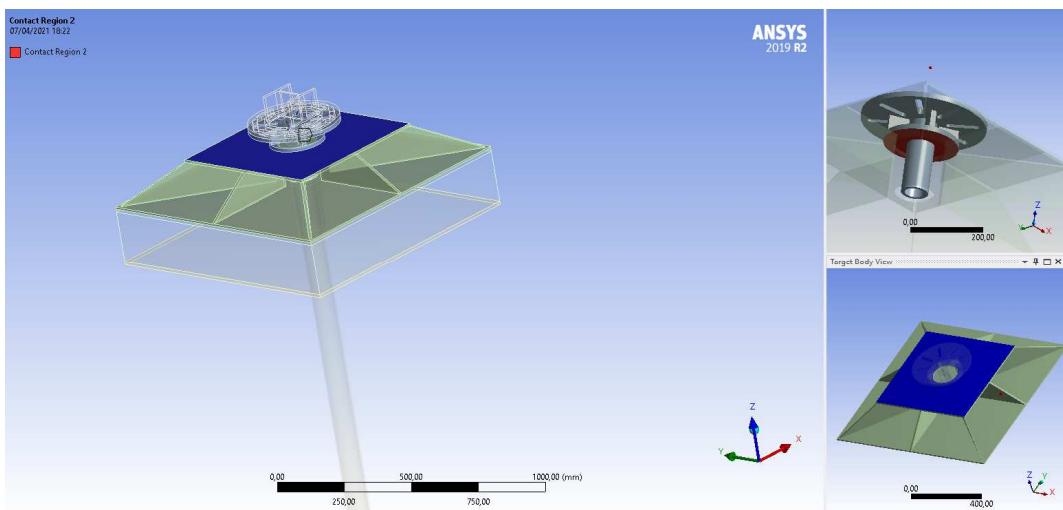


Figura 7: esempio di contatto accoppiato tra due elementi

1.1.Mesh

La discrittizzazione del modello fisico tramite mesh è stata fatta tramite comando di “mesh automatico”.

Gli elementi finiti utilizzati sono sia di forma tetraedrica che cubica.

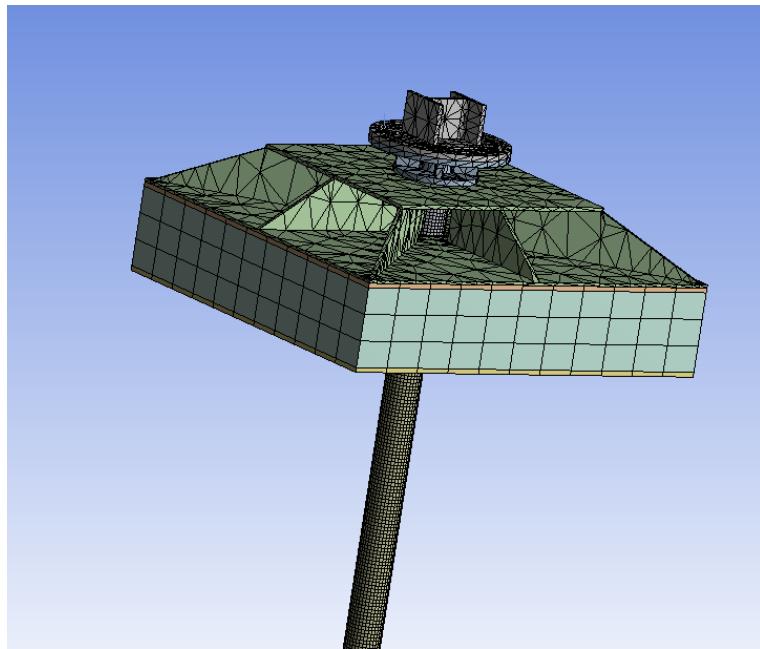


Figura 8: vista della mesh utilizzata

1.1. Analisi elastica lineare e verifiche

Una volta definiti tutti i parametri del modello si è avviato il solutore lineare.

I risultati significativi, per l'analisi del comportamento della fondazione riguardano, a livello locale, le tensioni (tensioni equivalenti con criterio di Von Mises) e gli spostamenti rilevati a livello globale.

1.2. Verifiche globali

??????

1.3. Verifiche locali

Si riportano le tensioni massime di Von Mises che si registrano per ogni componente:

Piastra tonda di acciaio diametro 350 mm, spessore 15 mm:

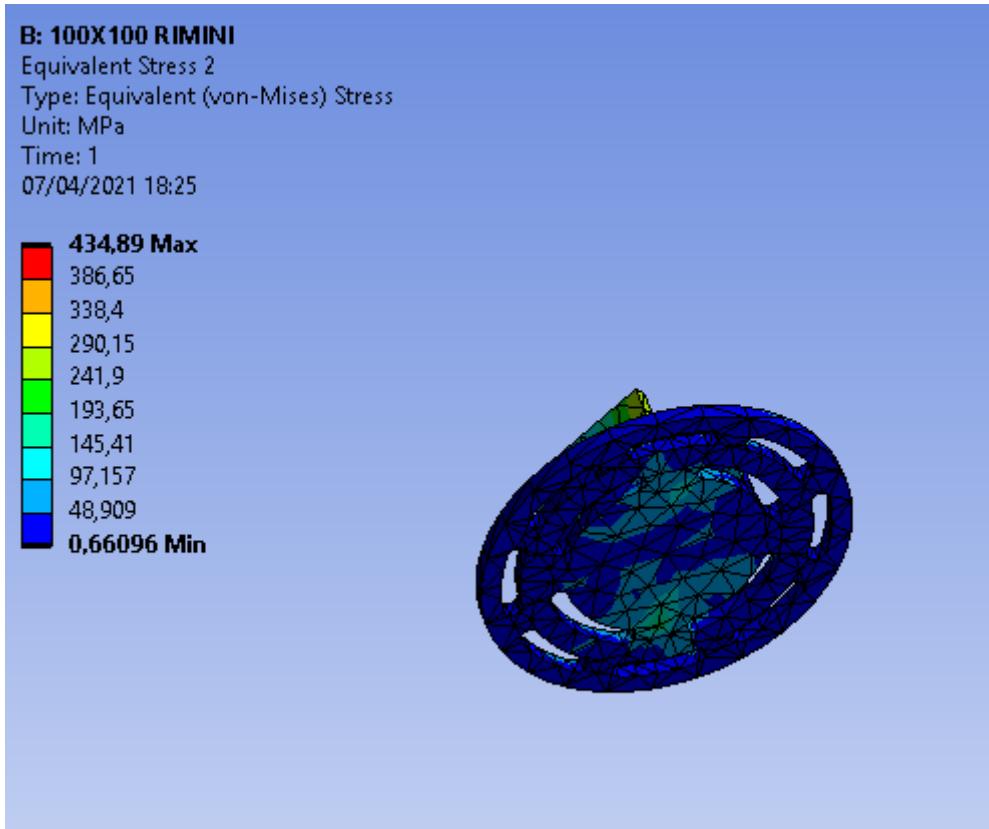


Figura 9: tensione di Von Mises sulla piastra

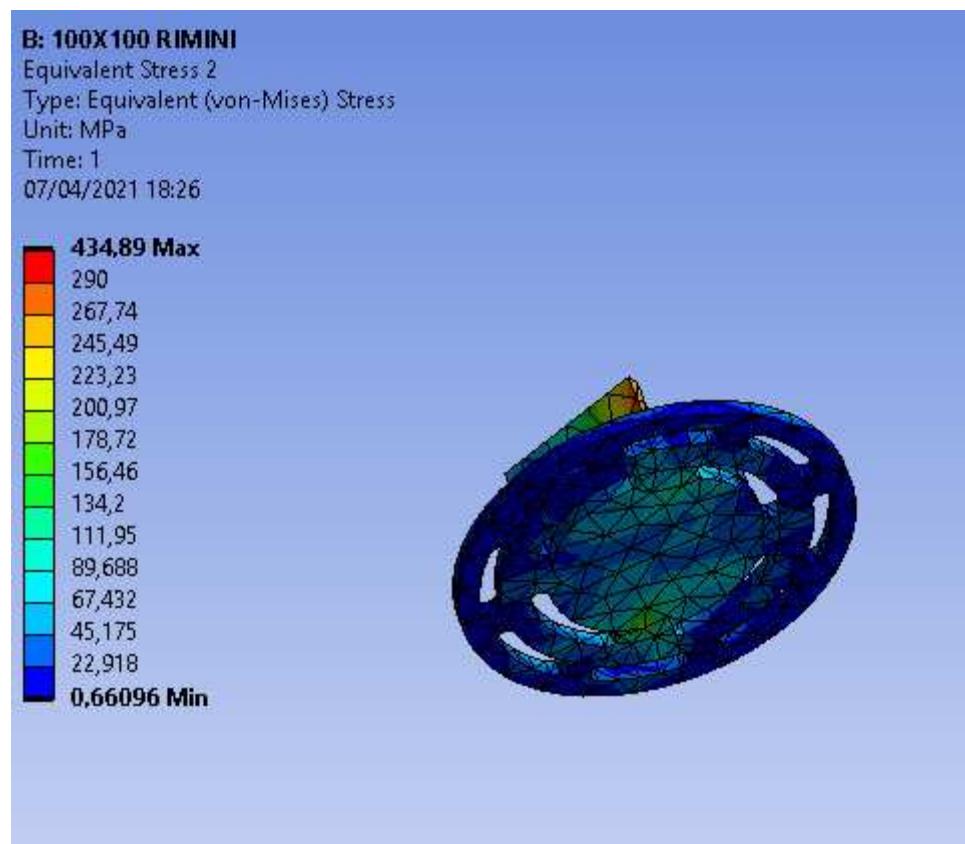


Figura 10: tensioni sulla piastra con range ridotto

Dalle immagini si nota come le massime tensioni si trovino nella colonna che si collega alla piastra rotonda e che non viene considerata nello studio. La piastra tonda riporta delle tensioni di Von Mises che stanno sotto la soglia di snervamento di progetto F_{yd} pertanto la verifica su tale componente risulta soddisfatta.

Elemento denominato "chiave":

I carichi che vengono imposti alla fondazione, attraverso la prima piastra vengono ripartiti in questo elemento; si valutano le tensioni di Von Mises agenti su di essa:

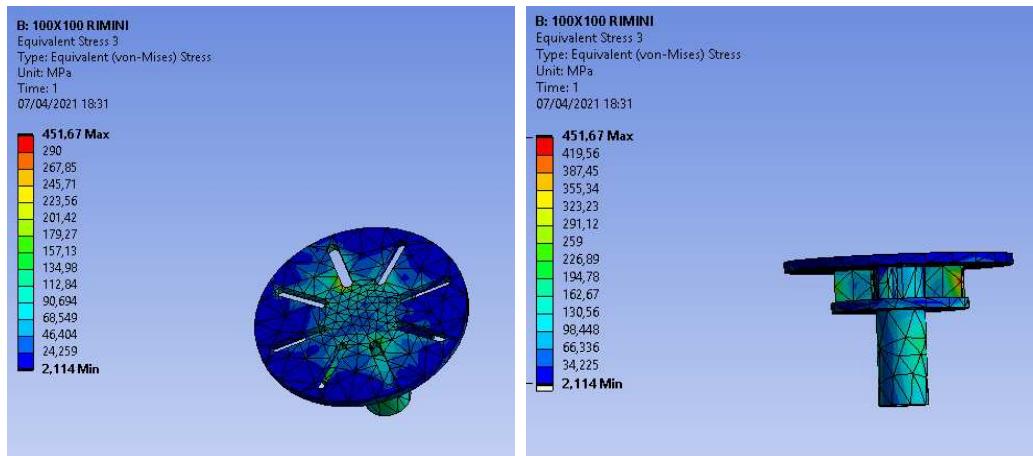


Figura 11a: tensioni di Von Mises

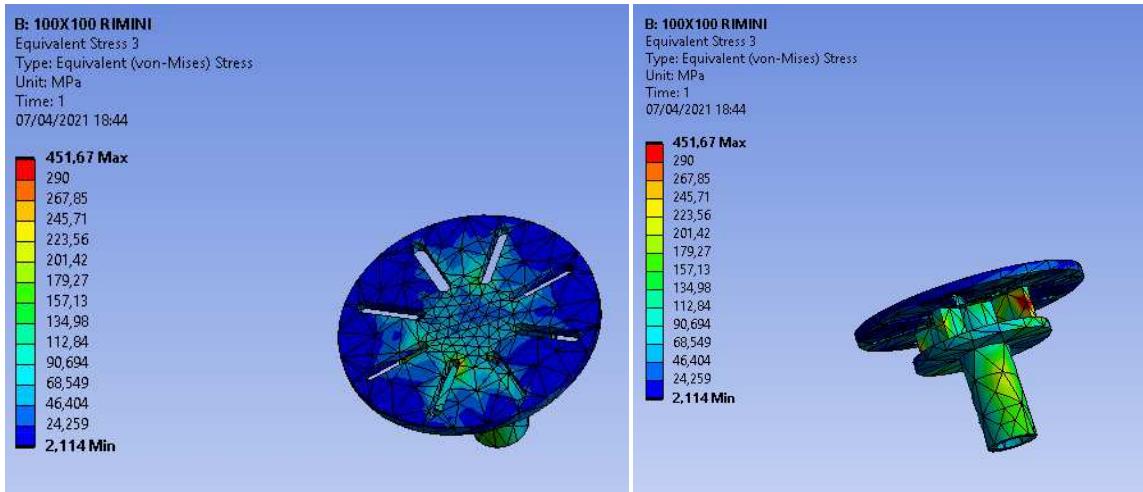


Figura 11b: tensione di Von Mises con range ridotto al valore di snervamento di progetto

Si nota una piccola porzione dell'elemento "lama" che risulta essere oltre il limite di snervamento, tuttavia l'area interessata è ridotta.

Generando una sezione trasversale si può notare lo stato di salute interno della "chiave":

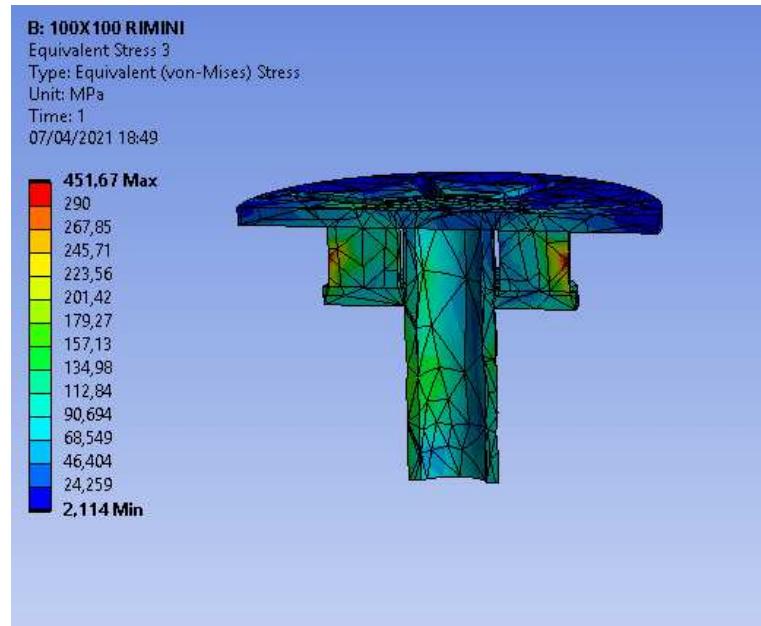


Figura 12: sezione trasversale

Si osserva come il tubo e tutti gli altri elementi siano in condizioni di lavoro sotto la soglia di F_{yd} . pertanto questo elemento risulta essere verificato.

Elemento denominato "carapace"

Gli sforzi vengono trasmessi per contatto tramite l'elemento "chiave".

Lo scopo fondamentale del "carapace" è quello di distribuzione delle tensioni sull'intera area di contatto inferiore.

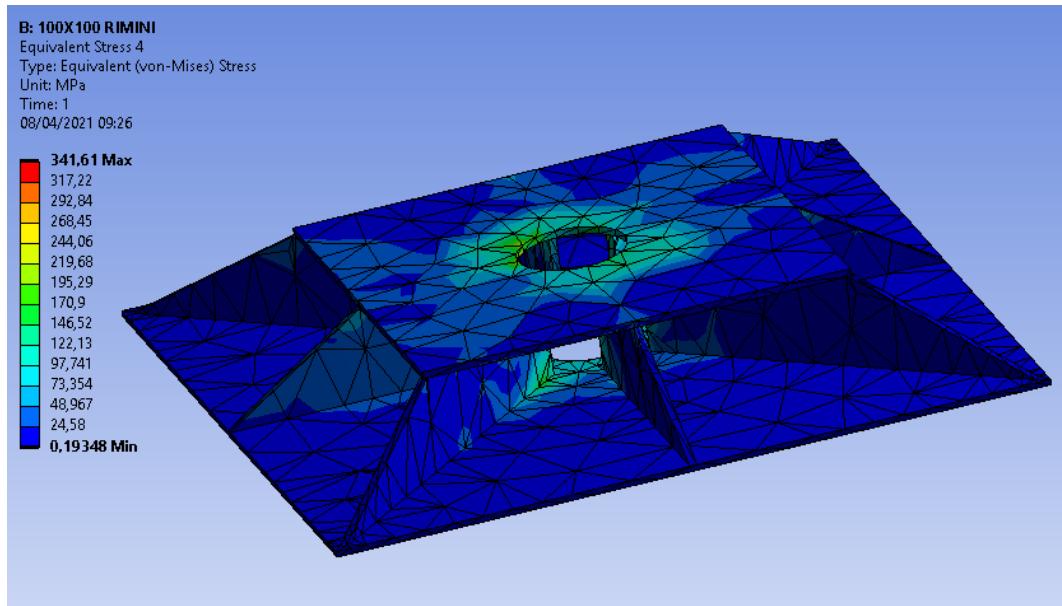


Figura 13: tensioni di Von Mises sull'elemento "carapace"

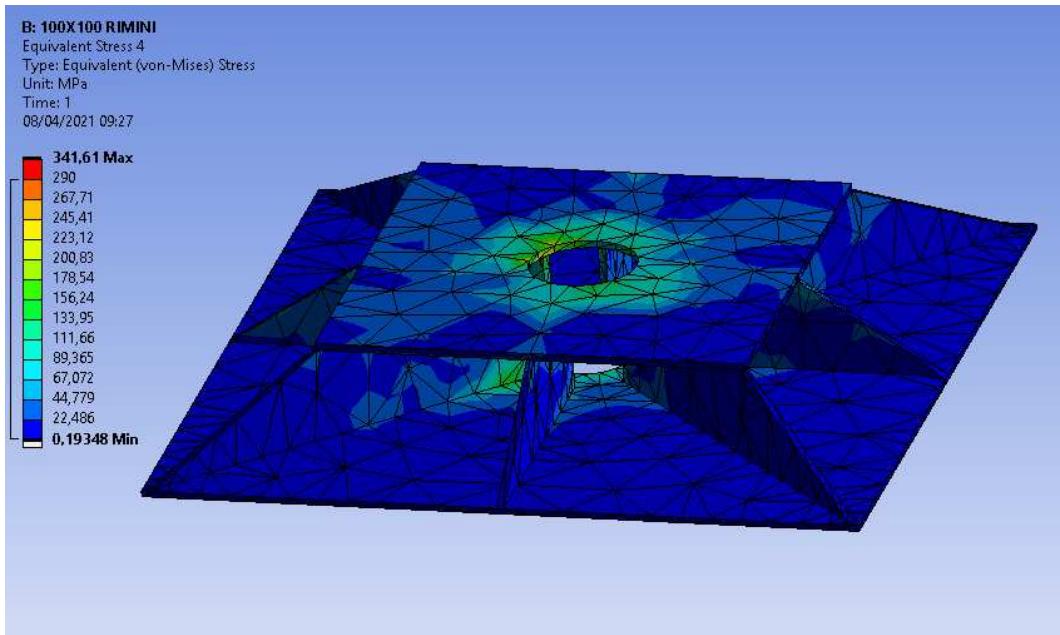


Figura 14: tensioni di Von Mises sull'elemento “carapace” con range ridotto

La localizzazione della concentrazione tensionale viene riscontrata nella zona di contatto “chiave”-“carapace” con un picco oltre lo snervamento in una porzione molto limitata.

Per tale elemento si può ritenere che la verifica sia soddisfatta.

Pannello OSB superiore

Si analizza il pannello di legno a scaglie orientate superiore, elemento che connette la struttura metallica superiore da quella di materiale con caratteristiche meccaniche più debole inferiore.

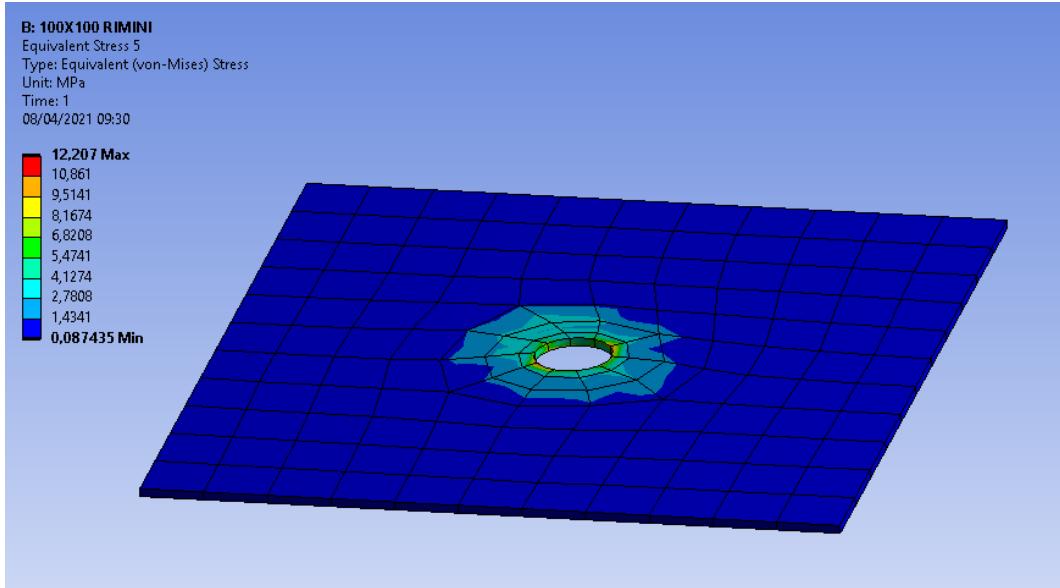


Figura 15: tensioni di Von Mises nel pannello OSB superiore, a contatto con il “carapace”

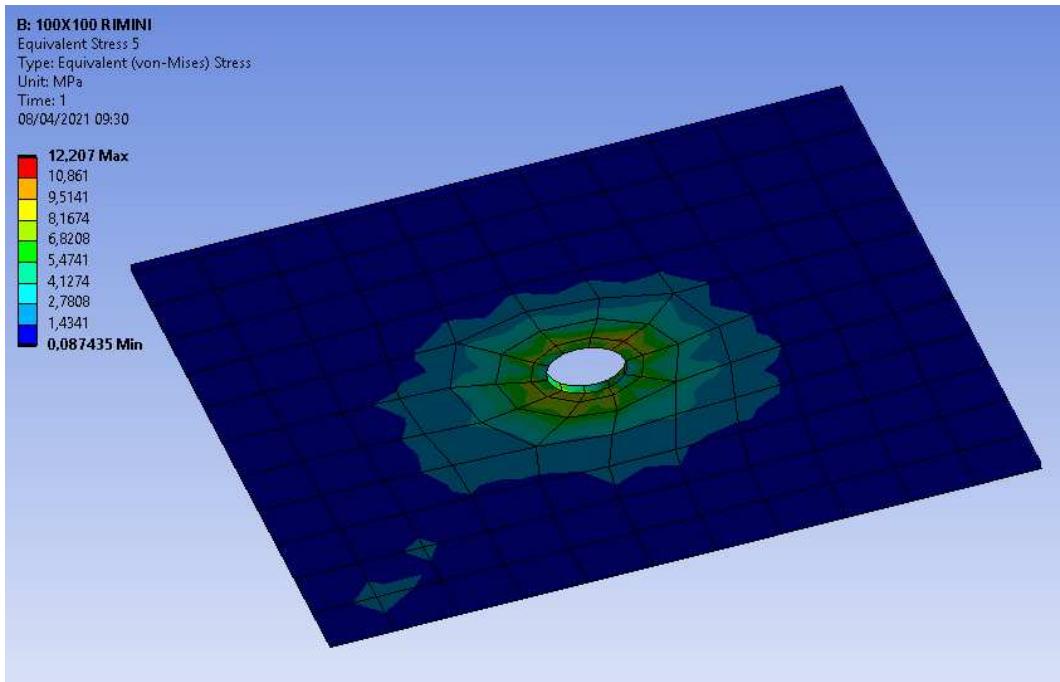


Figura 16: tensioni di Von Mises nel pannello OSB superiore, a contatto con lo Styrodur

Per entrambe le facce del pannello si riscontra una sollecitazione inferiore rispetto alla tensione limite imposta.

Pertanto la verifica risulta soddisfatta.

Strato di polistirene espanso estruso

Si analizza lo strato di polistirene espanso estruso formato dalla sovrapposizione di due blocchi di spessore 10 cm interconnessi da uno strato di silicone che ne rende solidale la geometria e la resistenza meccanica.

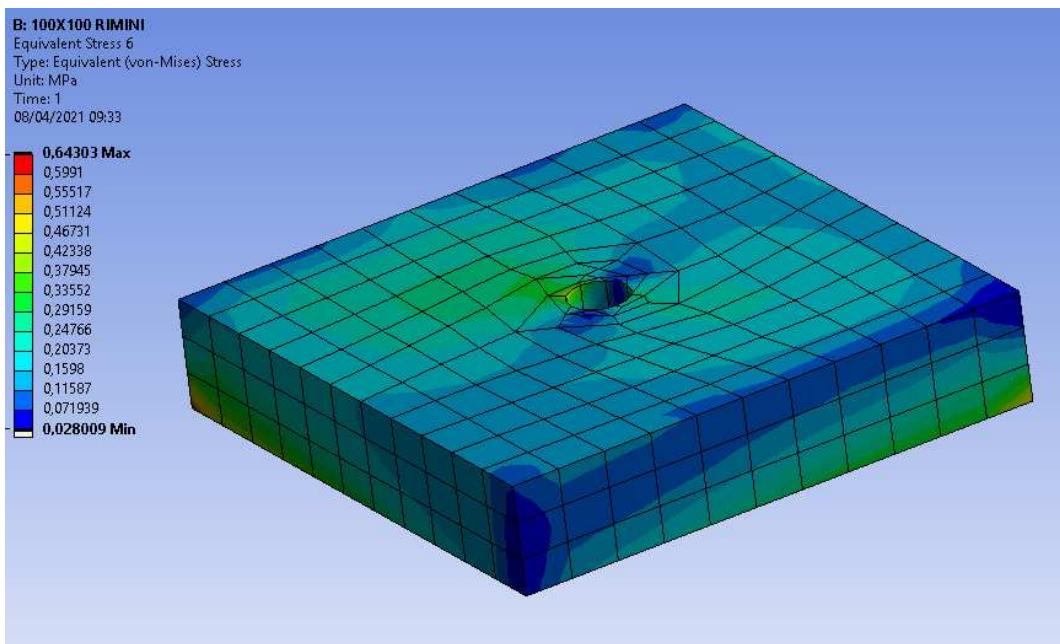


Figura 17: tensioni di Von Mises per lo strato di polistirene

Nell'intera area caricata le tensioni massime non superano il limite di resistenza a compressione con schiacciamento del 10 %.

8. CONCLUSIONI

Dalla visione delle analisi e dallo studio del singolo componente strutturale facente parte del manufatto si conclude che la verifica nel suo complesso risulti soddisfatta in relazione ai carichi in combinazione SLU inseriti.