

COMUNE DI ORISTANO

Provincia di Oristano

“Riqualificazione parco e villa Eleonora d'Arborea e sistemazione viabilità di accesso (Vico Il Volta)”

Programma straordinario di intervento per la riqualificazione urbana e la sicurezza delle periferie delle città metropolitane e dei comuni capoluogo di provincia

PROGETTO ESECUTIVO

Committente: Comune di Oristano Piazza E. d'Arborea, 44 - 09170 Oristano	Il Dirigente Settore Sviluppo del Territorio: Ing. Giuseppe Pinna Responsabile del procedimento: Geom. Maurizio Putzolu
--	--

Progettisti:

arch. Silvia M.R. Oppo

ing. Gianfranco Argiolas

ing. Franco Sardu

arch. Claudia Argiolas

Consulenti:

ing. Riccardo Terziani

arch. Henrique Pessoa

Collaboratori:

arch. Claudia Meli

arch. Claudia Pintor

oggetto: Relazione verifica statica delle strutture		
progetto:	scala grafica	elaborato n. A.03
file: A03.pdf	data agosto 2017	

note / visti / estremi approvazione

.....

VERIFICA STATICA DELLE VOLTE

1. PREMESSA

La relazione che segue è stata richiesta allo scrivente, Ing. Riccardo Terziani, dai progettisti dell'intervento in oggetto per determinare la fattibilità statica delle opere di ristrutturazione e l'eventuale necessità di interventi di ripristino e/o rinforzo con particolare riguardo ai solai voltati.

In altri termini, ai sensi dell'art. 8.4.3 delle N.T.C. 14/01/08, si vuole valutare la sicurezza dei solai di piano e la eventuale necessità di procedere con interventi localizzati, quali rinforzi delle volte, ripristino dei collegamenti tra pareti murarie (catene/tiranti) ecc., che garantiscano la funzione strutturale ad essi deputata e, nel contempo, migliorino il comportamento globale della struttura rispetto alle azioni sismiche.

E' il caso di precisare che, come verrà meglio esplicitato in seguito, pur variando la destinazione d'uso da ambienti ad uso residenziale ad ambienti aperti al pubblico con maggiorazione dei carichi variabili (200 daN/mq – 300daN/mq) non si avrà un aumento dei carichi verticali statici complessivi in quanto la sostituzione dei pavimenti e dei materiali all'estradosso ed ai rinfianchi delle volte comporterà invece una riduzione degli stessi.

2. STATO ATTUALE E CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE

Il fabbricato in esame è costituito da un edificio principale e da corpi di fabbrica annessi (ex scuderie ecc.) che non sono però oggetto di ristrutturazione in questa prima fase di progettazione.

L'edificio principale, risalente alla prima metà del 1800, si sviluppa su una superficie coperta di circa 256.00 mq per complessivi tre piani.

In particolare il piano terra ed il primo piano fanno parte della costruzione originaria mentre il secondo piano è costituito da un corpo di fabbrica eseguito nella prima metà del 1900 con solaio piano in laterocemento e copertura in legno atto a creare una serie di ambienti sulla terrazza preesistente.

Planimetricamente le murature portanti perimetrali e di spina delimitano, sia al piano terra che al piano superiore, una parte centrale rispetto all'ingresso costituita da sei ambienti con lati di circa 4.70x5.20 ml (tre prospicienti la facciata anteriore e tre quella posteriore) affiancata, sul lato destro per tutta la profondità dell'edificio, da un ambiente suddiviso da quattro locali con lati di circa 2.05x2.90 ml.

Le strutture sono costituite da :

- Fondazioni in muratura in pietra con piano d'imposta a circa -1.00 dal piano di campagna;
- Murature portanti perimetrali e di spina in mattoni pieni e malta di calce dello spessore di

70/80 cm;

- Solai voltati in mattoni pieni ad un foglio per uno spessore di 15 cm..

In particolare le volte del primo livello (nella parte centrale) sono del tipo “**a vela**” con arco d’imposta avente freccia di circa 1.40 ml, luce pari a 4.70/5.20 ml e freccia centrale di 1.90 ml.

Le volte al piano superiore (sempre per la parte centrale), sono invece del tipo “**a botte con testa di padiglione**” con freccia di circa 1.60 e luce pari a 4.70 ml.

Infine, le volte degli ambienti sul lato destro fronte ingresso sono, sia al piano terra che al piano superiore, del tipo “**a vela**” con freccia di circa 1.00 ml e luce di 2.05/2.90 ml.

Come si è potuto rilevare con dei saggi effettuati sui due solai, all’estradosso delle volte sono presenti, al primo livello:

- riempimento in terra sulle reni fino all’estradosso della volta in chiave;
- strato di cocchiopesto dello spessore di circa 11 cm;
- tavolato in laterizio dello spessore di circa 4 cm;
- pavimento in cocchiopesto spessore 4.50 cm;
- pavimento in marmette e massetto di sottofondo per circa 7.5 cm.

al secondo livello:

- riempimento in terra sulle reni fino all’estradosso della volta in chiave;
- strato di cocchiopesto dello spessore di circa 5 cm;
- pavimento in marmette e massetto di sottofondo per circa 7.5 cm.

Si può quindi desumere che il pavimento originario fosse in cocchiopesto e, successivamente, sia stata posta in opera una nuova pavimentazione in marmette di cemento senza l’asportazione della precedente.

3. VERIFICA STATICA DELLE VOLTE E OSSERVAZIONI

3.1 Criteri adottati per la verifica

Per giustificare le considerazioni sulla struttura in esame è necessario illustrare preliminarmente alcuni concetti di carattere generale in merito al comportamento statico delle volte in relazione alla loro geometria.

Le caratteristiche geometriche comunemente adottate per le volte realizzate con strutture costituite da conci lapidei o laterizi e malta sono principalmente condizionate dalle caratteristiche di anisotropia meccanica di tali materiali considerati nel loro insieme (conci e malta), infatti detti materiali possono garantire una buona resistenza nei confronti delle sollecitazioni di compressione, al contrario nessuna garanzia possono offrire per le sollecitazioni di trazione nei confronti delle quali la resistenza è considerata nulla.

Data una certa configurazione geometrica della volta e noti i carichi gravanti sulla stessa, l’analisi statica per la progettazione consiste nel valutare preliminarmente le sollecitazioni indotte nella struttura dai suddetti carichi e in seguito verificare se tali sollecitazioni sono com-

patibili con le caratteristiche meccaniche della struttura affinché la stessa possa svolgere la sua funzione statica con un adeguato margine di sicurezza.

Più precisamente, semplificando al massimo il problema, se consideriamo un elemento della volta di materiale ideale elastico e isotropo, in grado di resistere in egual misura alle sollecitazioni di compressione e trazione, ad esempio un concio parallelepipedo, le superfici a contatto con i conci adiacenti saranno soggette:

- a) ad azioni dette “*normali*” (S) di compressione o trazione tendenti, rispettivamente, ad accorciare o dilatare il concio;
- b) azioni dette “*flessionali*” (M) che tendono a incurvare il concio, il cui effetto è quello di provocare sulla superficie di contatto sollecitazioni sia di compressione sia di trazione;
- c) azioni dette “*taglianti*” (T) che tendono a far scorrere fra loro le superfici a contatto dei conci contigui, alle quali si oppone l'attrito che i materiali sono in grado di sviluppare su tali superfici.

La combinazione di tali azioni sulle superfici di contatto fra i conci potrebbe dar luogo a sollecitazioni di sola compressione o trazione o, in funzione dell'entità delle azioni flessionali, a sollecitazioni sia di compressione sia di trazione.

Se nella struttura ipotizzata venisse a mancare l'isotropia del materiale fino ad annullare la sua capacità di resistere alle sollecitazioni di trazione, nelle zone soggette a tali sollecitazioni si verificherebbero delle fessurazioni. L'effetto sarebbe equivalente all'esclusione della parte fessurata dalla superficie resistente dei conci con il conseguente incremento delle sollecitazioni di compressione. In altre parole è come se la sezione resistente dei conci fosse “*parzializzata*” quindi ridotta la sua resistenza e incrementata la deformabilità.

La distribuzione delle azioni (S, M, T) e la loro entità, a parità di carichi e dimensioni del vano voltato, dipendono dalla geometria della volta. In particolare, le volte ribassate comportano una maggiore diffusione delle sezioni “*parzializzate*”, una maggiore deformabilità e un incremento delle spinte orizzontali, pertanto questo tipo di volte sono staticamente meno efficienti di quelle a tutto sesto o che, comunque hanno un maggior rapporto fra freccia e luce.

Per le volte semplici in muratura, ad esempio a botte, l'analisi statica è condotta con l'ipotesi semplificativa ma accettabile che tutte le forze in gioco giacciono in uno stesso piano. In pratica la volta è trattata come una serie di archi affiancati e indipendenti. Con questo criterio è semplice individuare nella superficie sollecitata di ciascun concio la porzione eventualmente soggetta a sforzi di trazione, potenzialmente fessurabile, che non dovrà essere considerata nel calcolo della resistenza dello stesso concio. Nella sezione parzializzata del concio saranno ridistribuite le sollecitazioni di sola compressione. Il massimo valore di tali sollecitazioni sarà confrontato con la resistenza del materiale.

Nel caso delle volte composte da superfici anche con diverse curvature, come quelle in esame, il problema non può essere studiato nel piano come nel caso dell'arco, poiché le azioni indotte in ogni punto sono dirette in tutte le direzioni, pertanto il problema, molto più com-

plesso, diventa spaziale o tridimensionale .

Ancora oggi i problemi riguardanti le strutture anisotrope non sono completamente risolti, infatti, i relativi studi sono in continua evoluzione.

Attualmente per la determinazione dello stato tensionale nelle strutture spaziali ci si avvale di uno strumento di calcolo molto potente, definito “ *metodo ad elementi finiti*”, la cui applicazione richiede una notevole mole di calcoli eseguibili in pratica esclusivamente con l’ausilio di elaboratori elettronici.

Con tale metodo la struttura è scomposta in un numero discreto di elementi, quadrilateri o triangolari, detti appunto “*finiti*”, collegati fra loro ai vertici mediante nodi, attraverso i quali sono simulate la continuità della struttura e la reciproca trasmissione delle sollecitazioni.

L’analisi statica può essere di tipo “*lineare*” o “*non lineare*”. Tale precisazione è necessaria per meglio giustificare il criterio adottato per la verifica della struttura in questione.

L’analisi lineare è applicabile su strutture costituite da materiali elastici e isotropi in grado quindi di reagire alle tensioni di compressione e trazione. I risultati forniti consentono comunque di valutare con buona approssimazione il reale comportamento della struttura anche se costituita da materiale anisotropo soprattutto se, come nel caso in esame, **sono assenti o di valore ridotto le sollecitazioni di trazione**. Se inoltre le zone nelle quali sono presenti azioni di trazione sono di limitata ampiezza, la struttura reale presenterà in queste lievi fessurazioni (lesioni fisiologiche) e la soluzione fornita dall’analisi elastica ad elementi finiti può essere ritenuta, in una certa misura, attendibile.

L’analisi non lineare è applicabile anche su strutture anisotrope. Questa nel calcolo delle sollecitazioni tiene conto della variazione della rigidezza di quelle parti della struttura nelle quali le tensioni sia di compressione sia di trazione superano i limiti di resistenza del materiale. È da precisare che per un corretto utilizzo di questa analisi è indispensabile definire, compiutamente e precisamente, le caratteristiche meccaniche del materiale costituente la struttura. Tali dati per le particolari condizioni della struttura in questione non sono praticamente acquisibili e non è pensabile dedurli con approssimazione dalla manualistica o bibliografia poiché tale criterio potrebbe comportare risultati fuorvianti e grossolani errori, tali da impedire il diffuso impiego dell’analisi in questione nella pratica professionale.

Ciò premesso, la statica dell’edificio è stata studiata mediante l’analisi lineare, utilizzando il software ad elementi finiti “SAP2000”.

Il software fornisce, anche con più efficaci rappresentazioni grafiche, una notevole quantità d’informazioni riguardanti la deformazione e lo stato di sollecitazione del modello strutturale, schematizzato mediante elementi finiti.

Dette rappresentazioni consentono di individuare nel modello le parti soggette a tensioni di trazione, di conseguenza, posto che la struttura reale non sia in grado di resistere a tali sollecitazioni, è possibile individuare, attraverso gli elementi dello stesso modello, i corrispondenti punti critici della struttura reale suscettibili di manifestazioni fessurative.

4. PARAMETRI MECCANICI DELLA MURATURA (VOLTE)

I parametri meccanici sono stati adottati in considerazione dei valori suggeriti dall'attuale normativa per le murature di edifici storici, realizzate con giunti di malta con scadenti caratteristiche e spessore non particolarmente sottile (Istruzioni N.T.C. 14/01/08 – Tab C8A 2.1).

Per cui considerando quanto previsto per la “***muratura in mattoni pieni e malta di calce***” avremo:

- $f_m = 24/40$ daN/cm² resistenza media a compressione
- $\tau_0 = 0.60/0.92$ daN/cm² resistenza media a taglio della muratura
- $E = 12000/18000$ daN/cm² valore medio del modulo di elasticità normale
- $G = 4000/6000$ daN/cm² valore medio del modulo di elasticità tangenziale
- $W = 1800$ daN/mc peso specifico medio della muratura

Inoltre, prefissando il “*livello di conoscenza*” **LC1** (Tab. C8A.1.A.4), si dovranno assumere i valori minimi degli intervalli succitati per la resistenza e quelli medi per i moduli di elasticità ed il corrispondente “*fattore di confidenza*” **FC=1.35**.

I valori di calcolo delle resistenze sono ottenuti dividendo i valori medi per il fattore di confidenza e per il coefficiente parziale di sicurezza del materiale $\gamma_m = 3$ (Tab. 4.5.II N.T.C.)

In definitiva, nella verifica agli SLU, sarà :

- $f_d = 24/(FC \gamma_m) = 24/(1.35 \times 3) = 5.92$ daN/cm² resistenza di progetto a compressione
- $f_{vd} = 0.6/(FC \gamma_m) = 0.6/(1.35 \times 3) = 0.15$ daN/cm² resistenza di progetto a taglio
- **E = 15000** daN/cm² modulo di elasticità normale
- **G = 5000** daN/cm² modulo di elasticità tangenziale
- **W = 1800** daN/mc peso specifico medio della muratura

5. ANALISI STATICA DELLE VOLTE

5.1 Volte a vela solaio primo livello

Come esplicitato in premessa, le volte che costituiscono il solaio del primo livello sono del tipo “*a vela*” e hanno, per gli ambienti principali, misure a caratteristiche pressoché identiche.

L'analisi statica allo S.L.U. è stata eseguita in considerazione dei carichi permanenti allo stato attuale con il carico variabile previsto per l'originaria destinazione d'uso (cat. A abitazione $q_k = 200$ daN/m²) onde valutare la “*idoneità statica*” dell'elemento strutturale nelle condizioni pre-progettuali.

Inoltre, come si vedrà in seguito, verrà rielaborato il calcolo con la presenza di una controvolta estradossale in cemento armato soggetta ai carichi permanenti della nuova pavimentazione e con il carico variabile previsto in progetto per la futura destinazione d'uso (cat. B2 uffici aperti al pubblico $q_k = 300$ daN/m²) permettendo così, oltre alla verifica statica propriamente detta, il confronto fra la situazione attuale e quella di progetto nei riguardi dei carichi trasmessi alle strutture.

5.2 Analisi dei carichi volta in muratura

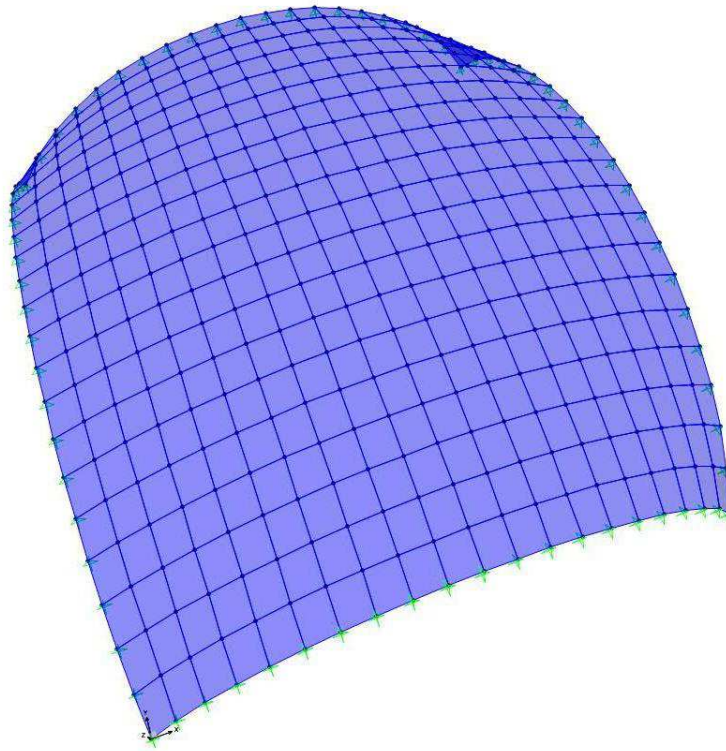
Premesso che il programma di calcolo determina automaticamente il peso proprio della struttura in funzione del peso specifico e dello spessore assegnato, si avrà la seguente analisi dei carichi che verranno trasmessi sulla proiezione orizzontale dei vari elementi:

- pavimento in piastrelle e massetto di sottofondo		150 daN/mq
- tavolato in mattoni e cocchiopesto		<u>360</u> daN/mq
	G_k	510 daN/mq
carico variabile ambienti ad uso residenziale		200 daN/mq
	Q_k	

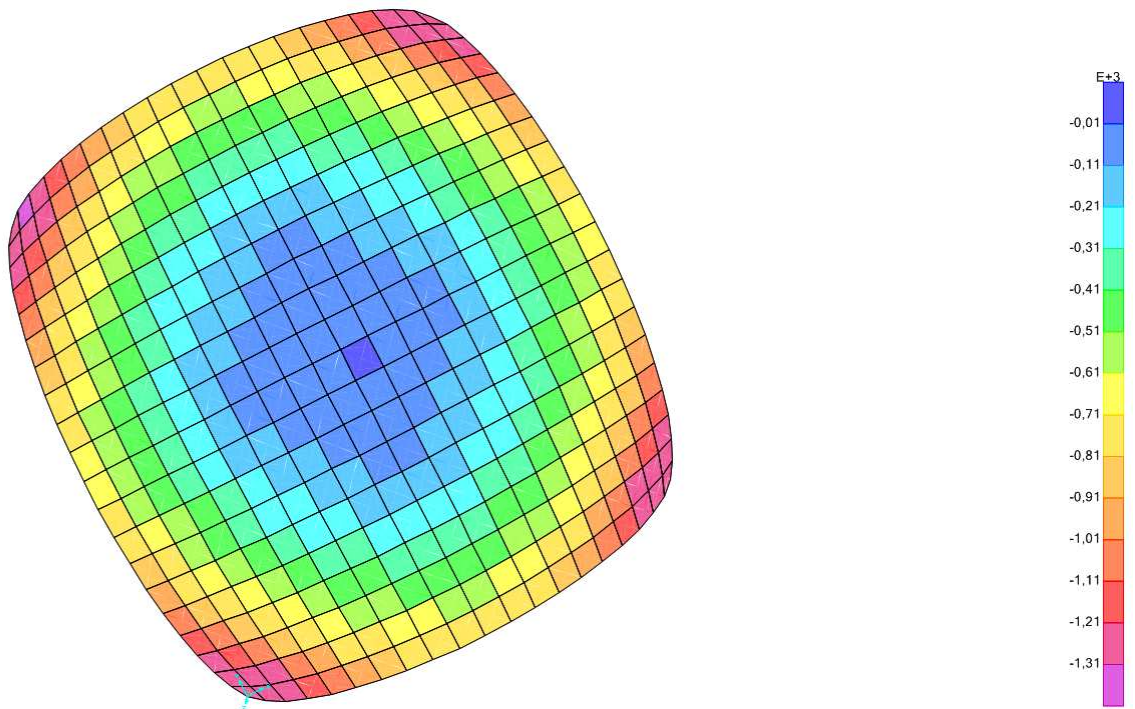
Ai carichi permanenti suesposti viene inoltre aggiunto quello trasmesso dal rinfiacco che è valutato (sempre sulla proiezione orizzontale dei vari elementi) considerando lo spessore medio di questo moltiplicato per il peso specifico di 1700 daN/mc.

I carichi elencati verranno considerati, per la verifica allo S.L.U., con la seguente combinazione: $F_d = \gamma_g \cdot G_k + \gamma_q \cdot Q_k$ con $\gamma_g=1.3$ e $\gamma_q=1.5$

Si riportano due immagini grafiche che rappresentano lo schema statico ed il valore, riportato alla proiezione orizzontale dei vari elementi, del carico trasmesso dal terreno di rinfiacco.



Modello a elementi finiti della struttura



Schema carichi terra di rinfianco

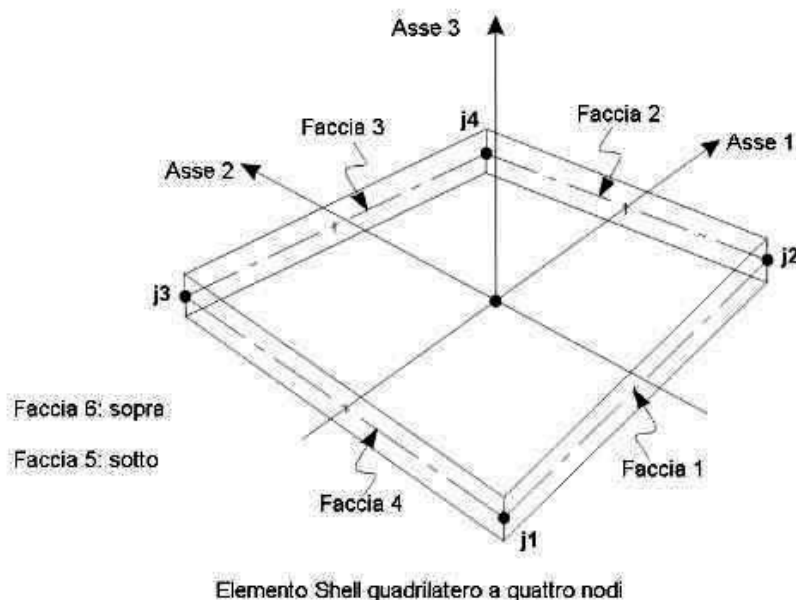
5.3 Risultati dell'analisi statica.

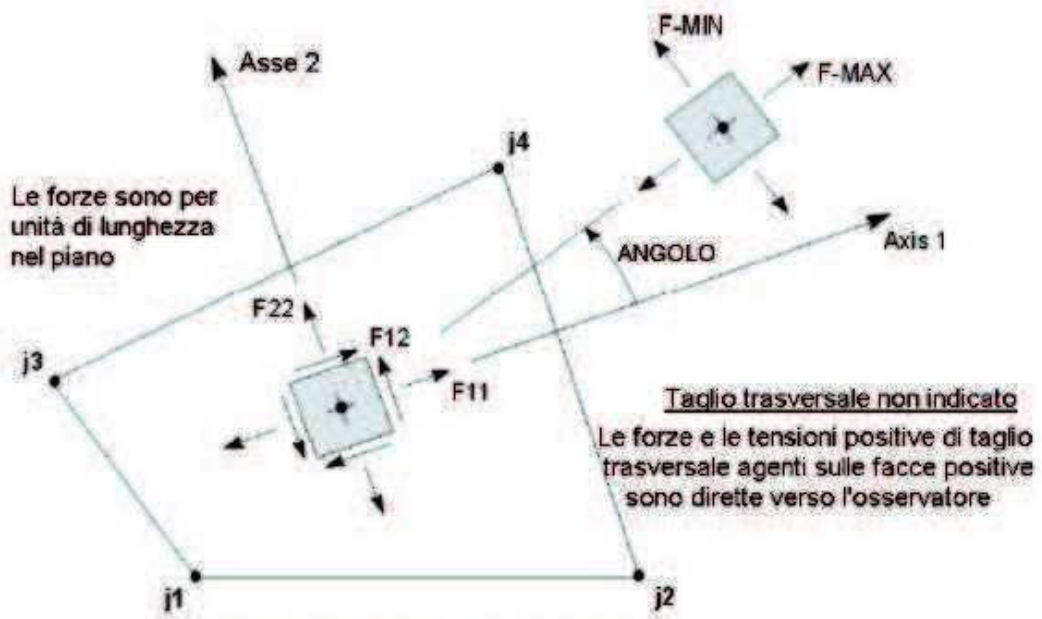
Nelle seguenti figure si riportano, viste in pianta, le rappresentazioni grafiche, con mappe di colore, della distribuzione delle azioni Normali (F), Flessionali (M) e Taglio (V). Gli indici 11, 22, 23 e 13, attribuiti alle suddette azioni, indicano il loro orientamento rispetto al sistema di coordinate locale dei vari elementi (shell) 1,2 e 3.

Per il corretto esame di risultati grafici, occorre precisare:

- Gli assi locali 1 e 2 sono nel piano della shell, l'asse 3 è ortogonale al piano. L'asse 2 ha direzione positiva verso l'alto (+Z);
- I valori delle azioni sono riferiti ai nodi di ciascun elemento per unità di lunghezza (nel caso in esame 1.00 ml) e sono espressi in daN / daNxml;
- Il segno (-) attribuito dal programma di calcolo alle azioni Normali (F11 e F22) indica convenzionalmente uno stato di compressione lungo le direzioni 1 o 2. Viceversa il segno (+) indica trazione nelle stesse direzioni;
- Il segno (+) attribuito alle azioni Flessionali (M11 e M22) indica convenzionalmente uno stato di flessione che dilata o tende la superficie inferiore (intradosso) degli elementi e comprime quella superiore (estradosso), secondo le rispettive direzioni 1 e 2. Il segno (-) provoca l'effetto contrario, compressione all'intradosso e trazione all'estradosso;
- Le azioni taglianti V23 e V13, dirette normalmente agli elementi, agiscono tangenzialmente alle loro sezioni resistenti sollecitate, rispettivamente, dalle azioni M2 e M1;
- L'entità e il segno delle azioni sono chiaramente individuabili dalle gradazioni del colore.

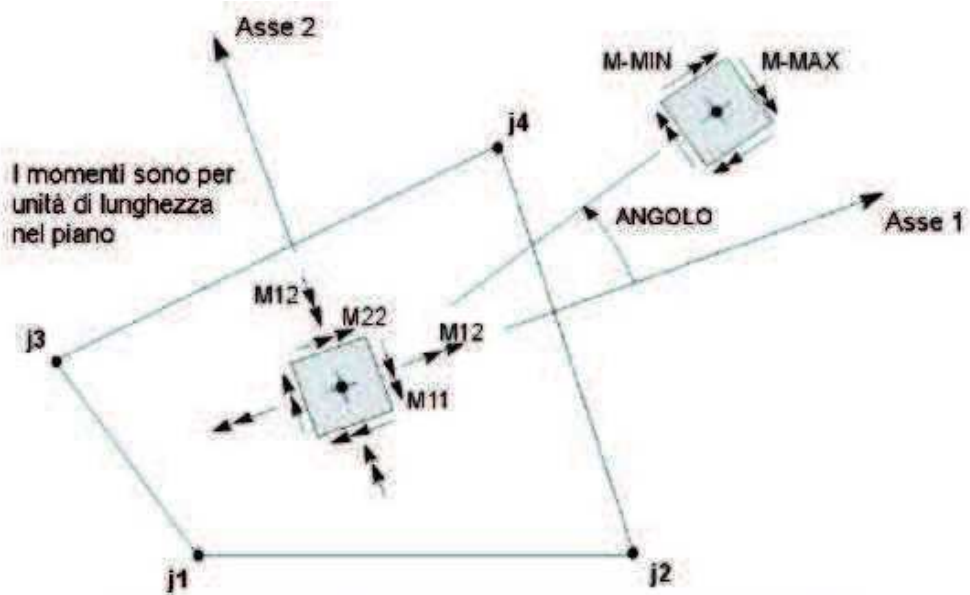
Per una miglior comprensione si riportano le indicazioni grafiche per quanto sopra



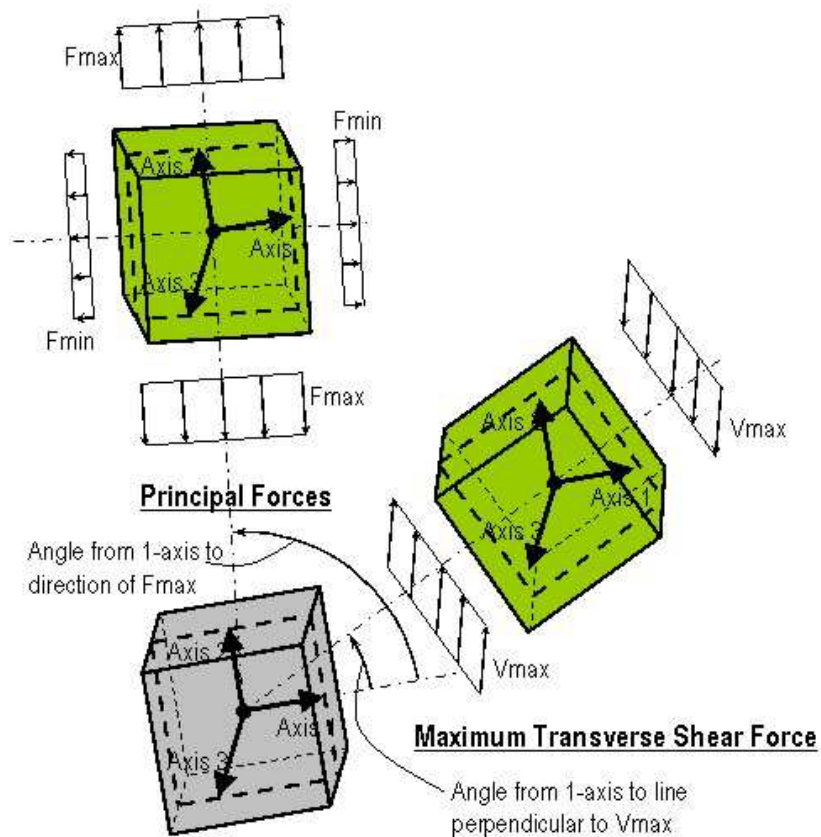
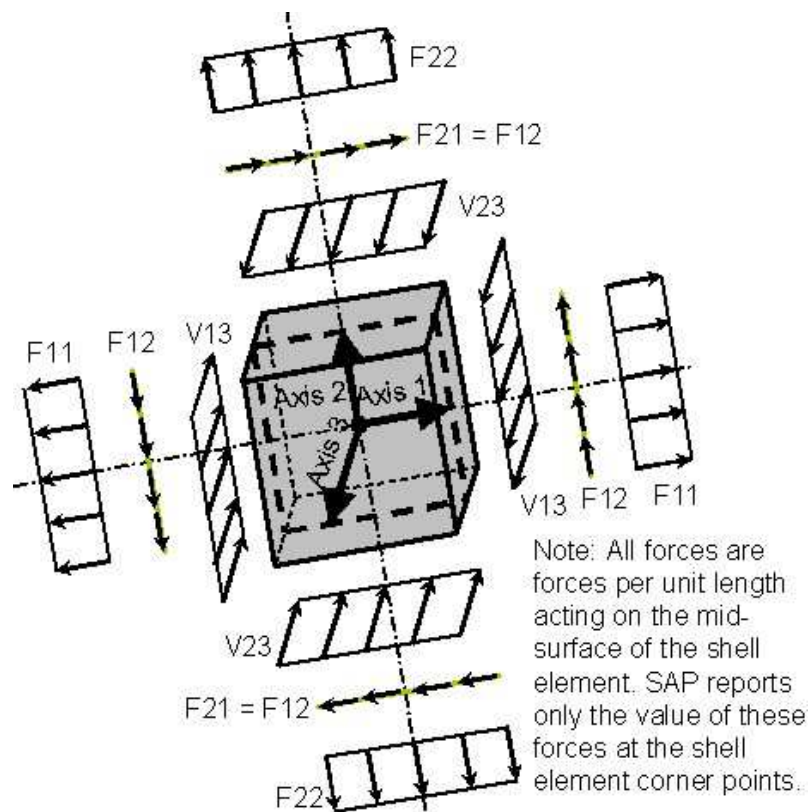


FORZE E TENSIONI A MEMBRANA

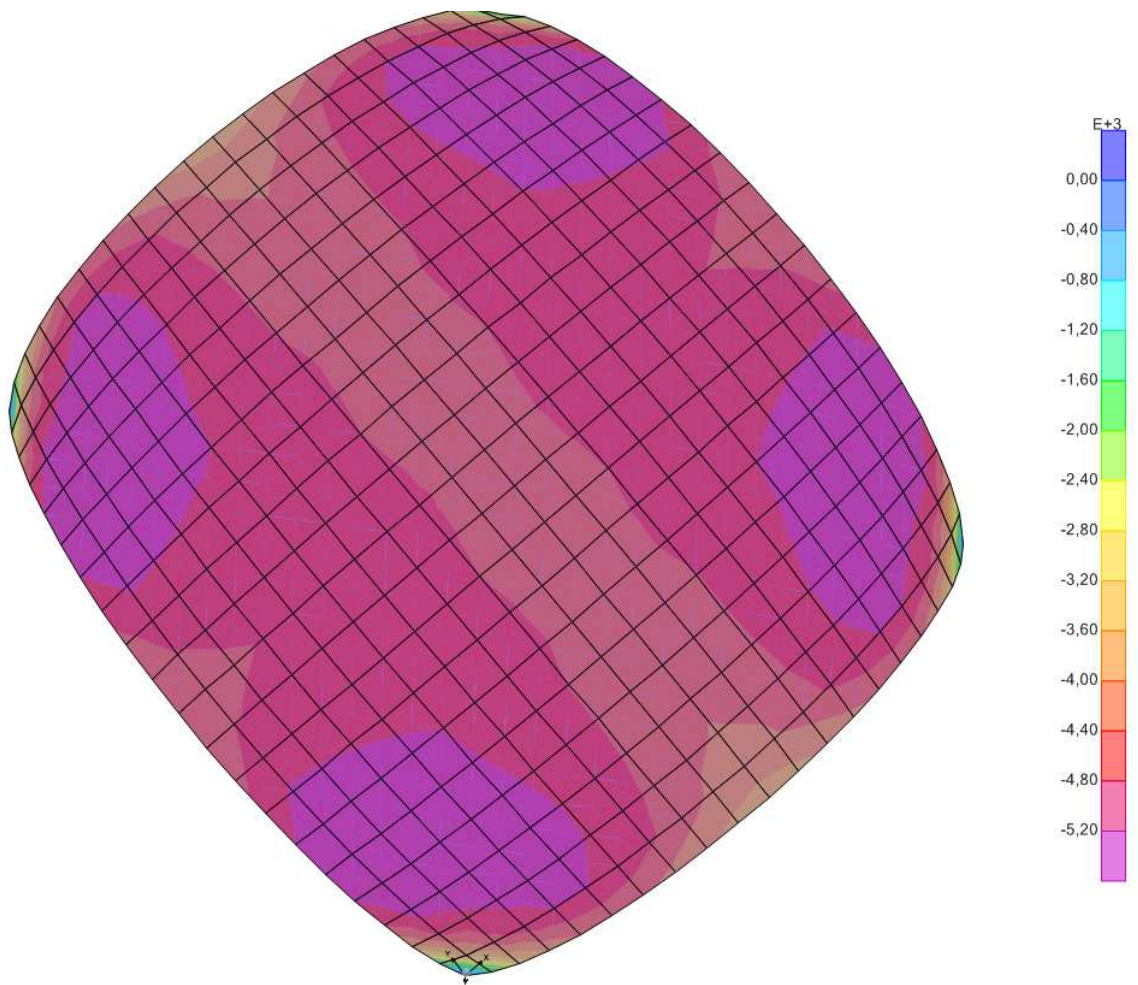
La tensione S_{ij} ha la stessa definizione della forza F_{ij}



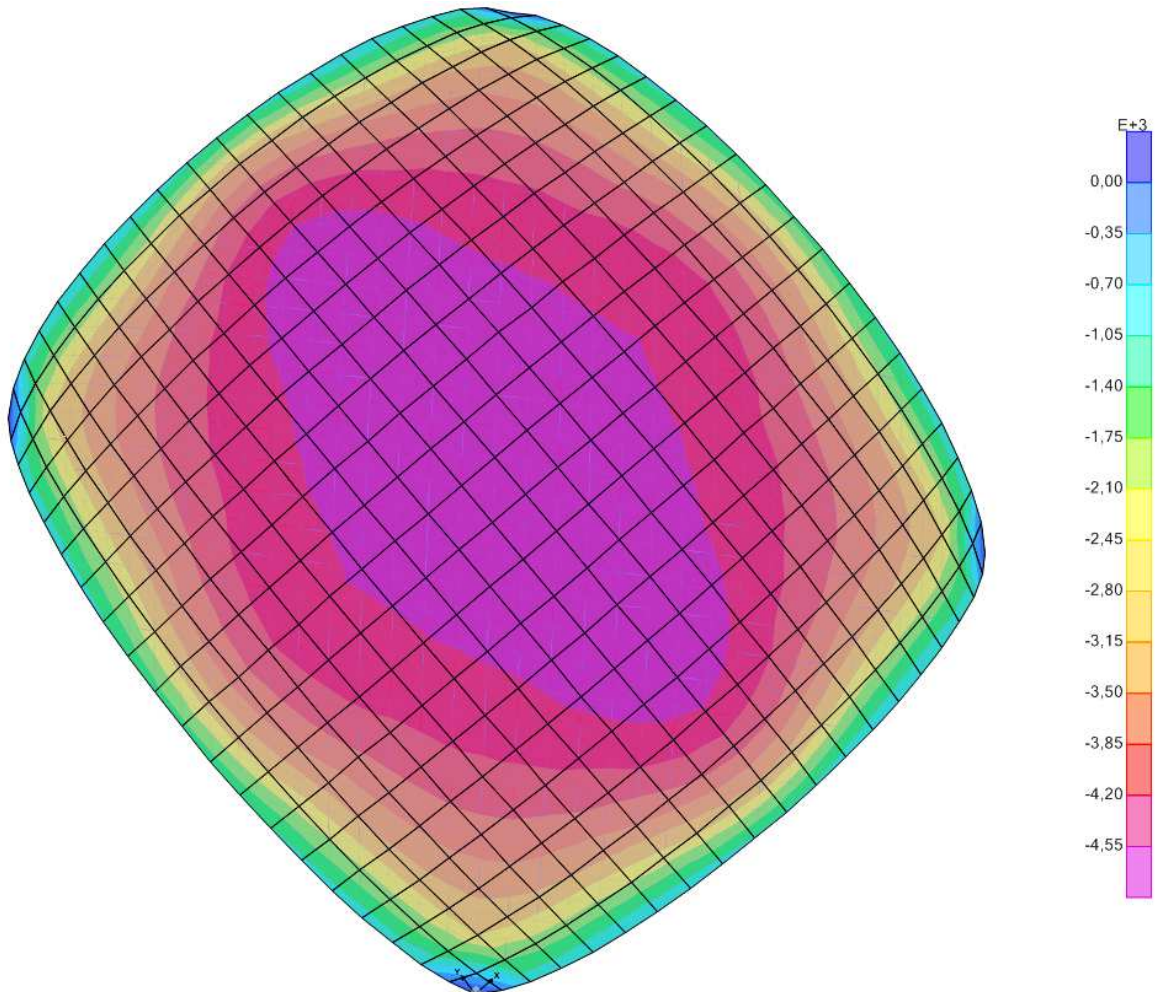
MOMENTI FLETTENTI E DI SVERGOLAMENTO A PIASTRA



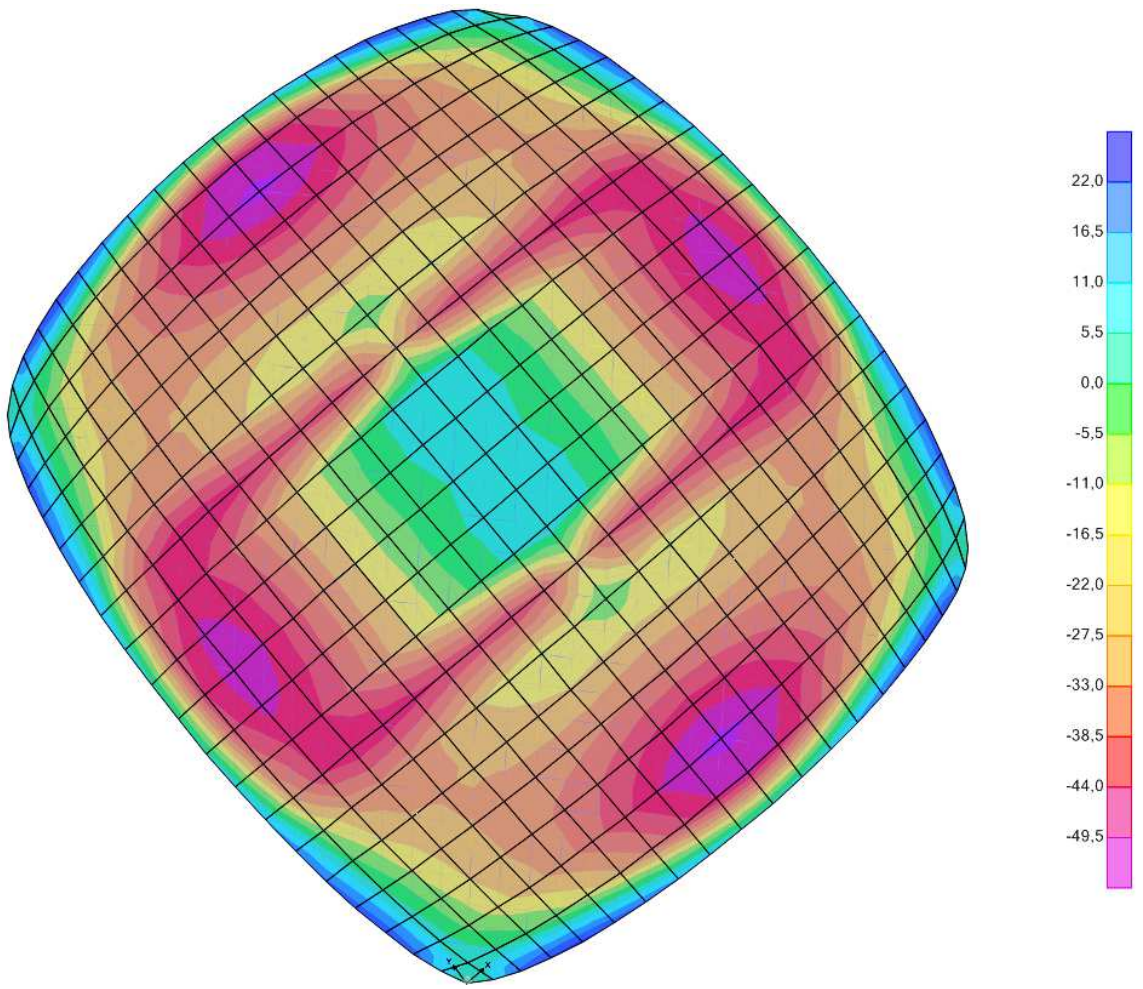
5.3.1 Rappresentazioni grafiche azioni normali, flessionali e di taglio.



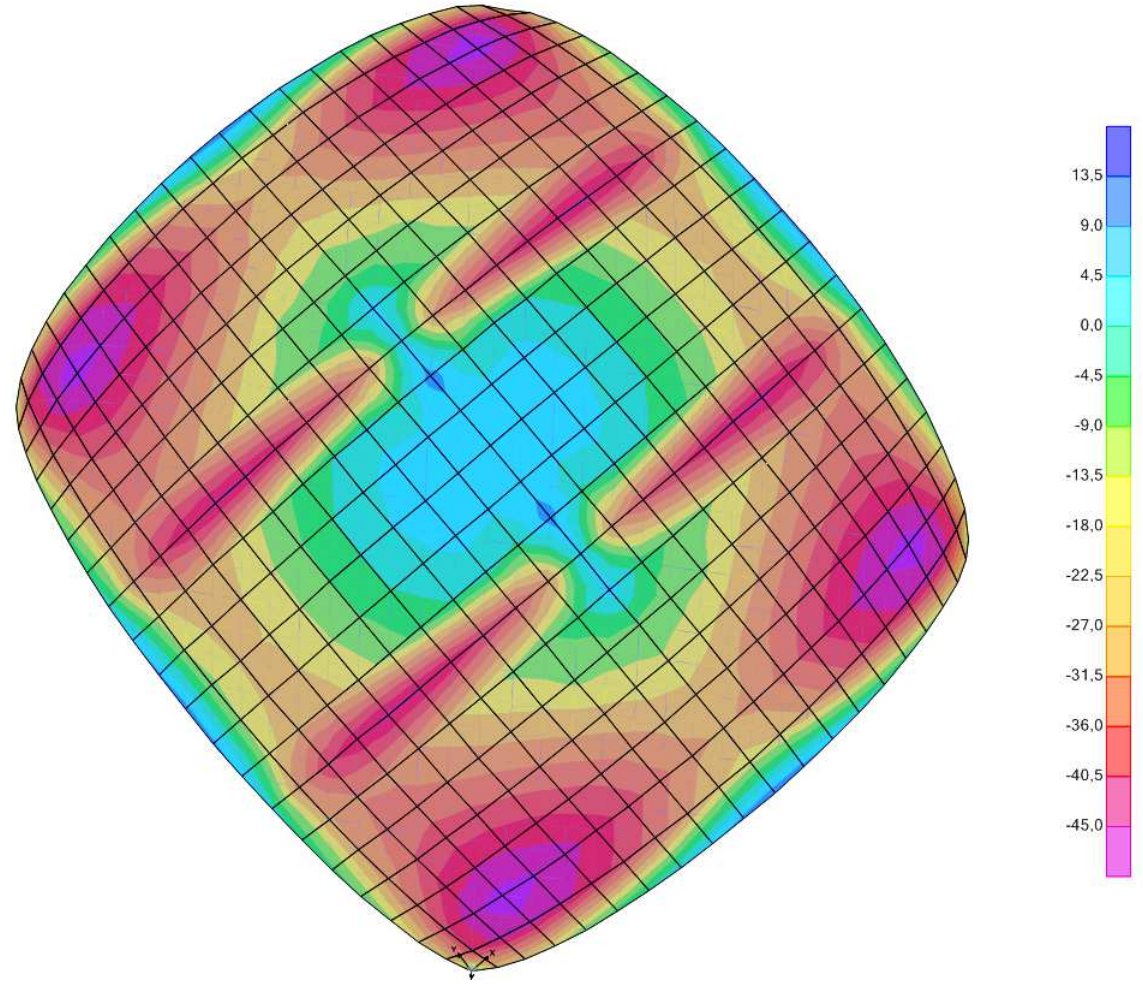
Azioni normali F22



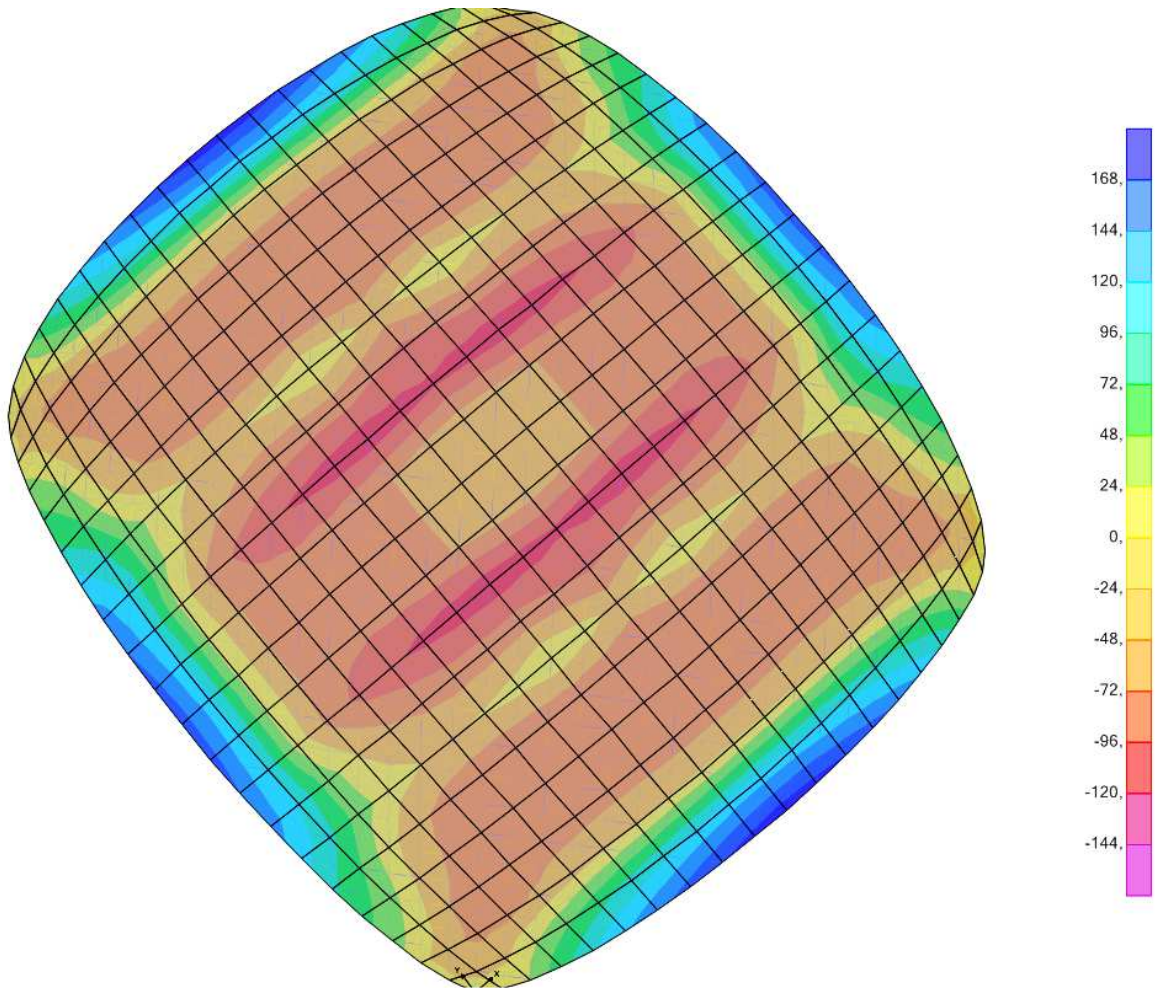
Azioni normali F11



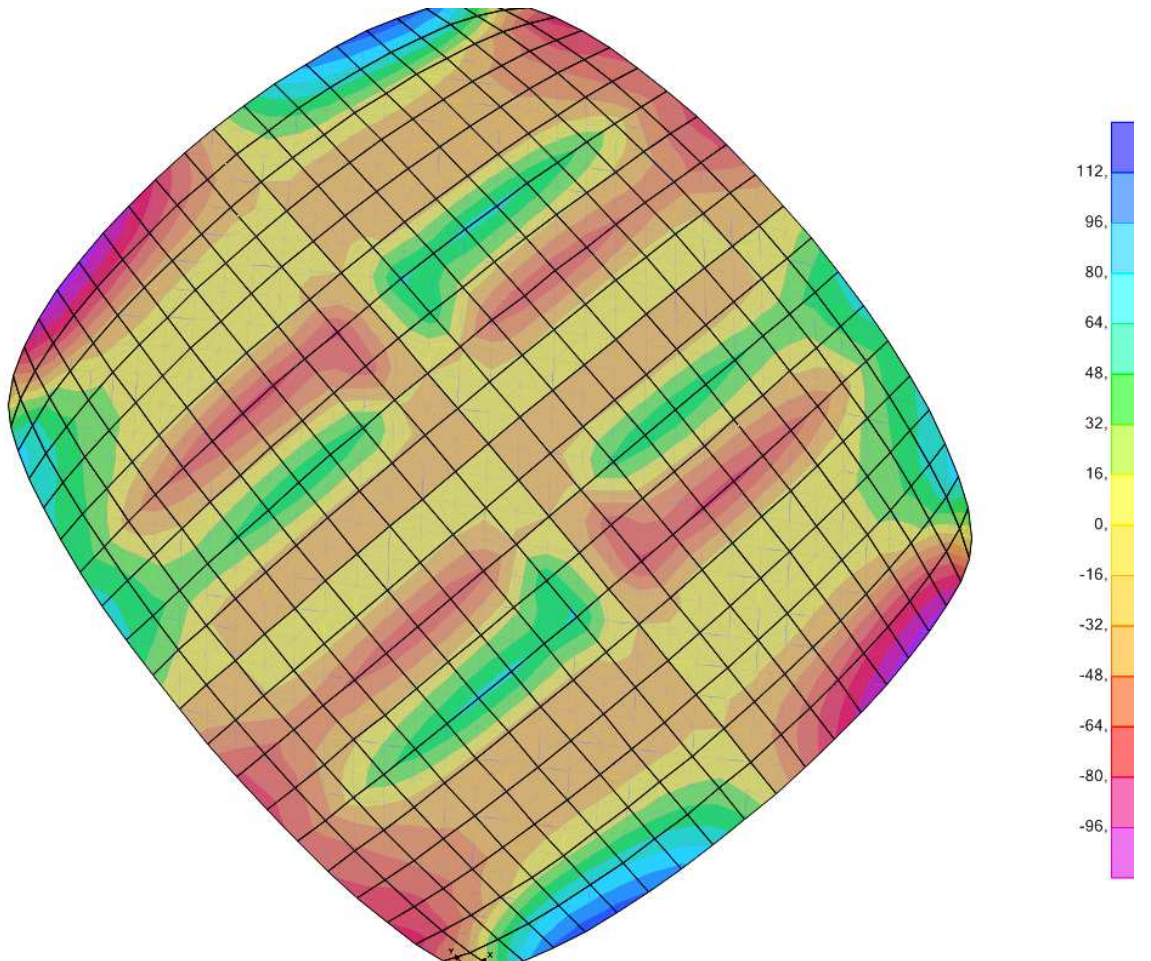
Azioni flessionali M22



Azioni flessionali M11



Azioni taglianti V23



Azioni taglianti V13

Il software fornisce inoltre la rappresentazione grafica delle forze di trazione o compressione attraverso le proprie componenti principali giacenti su un piano ruotato di un angolo rispetto all'asse locale dell'elemento shell individuante le direzioni principali di sollecitazione.

Le componenti principali sono determinate attraverso le seguenti formule :

$$F_{\max} = 0.50x(F_{11} + F_{22}) + 0.50x\sqrt{((F_{11}-F_{22})^2 + 4x F_{12}^2)}$$

$$F_{\min} = 0.50x(F_{11} + F_{22}) - 0.50x\sqrt{((F_{11}-F_{22})^2 + 4x F_{12}^2)}$$

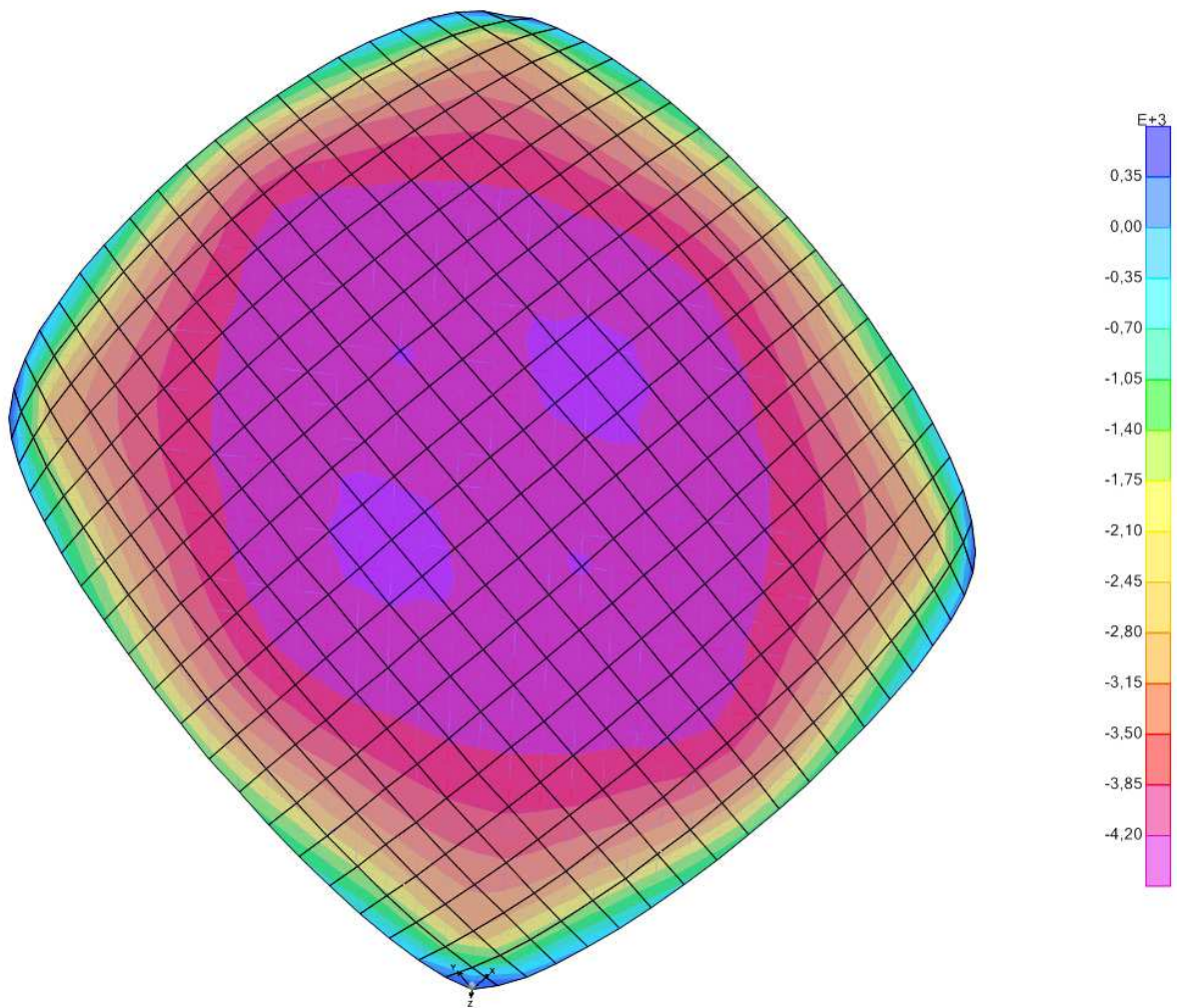
Analogamente per i momenti flettenti fuori piano con

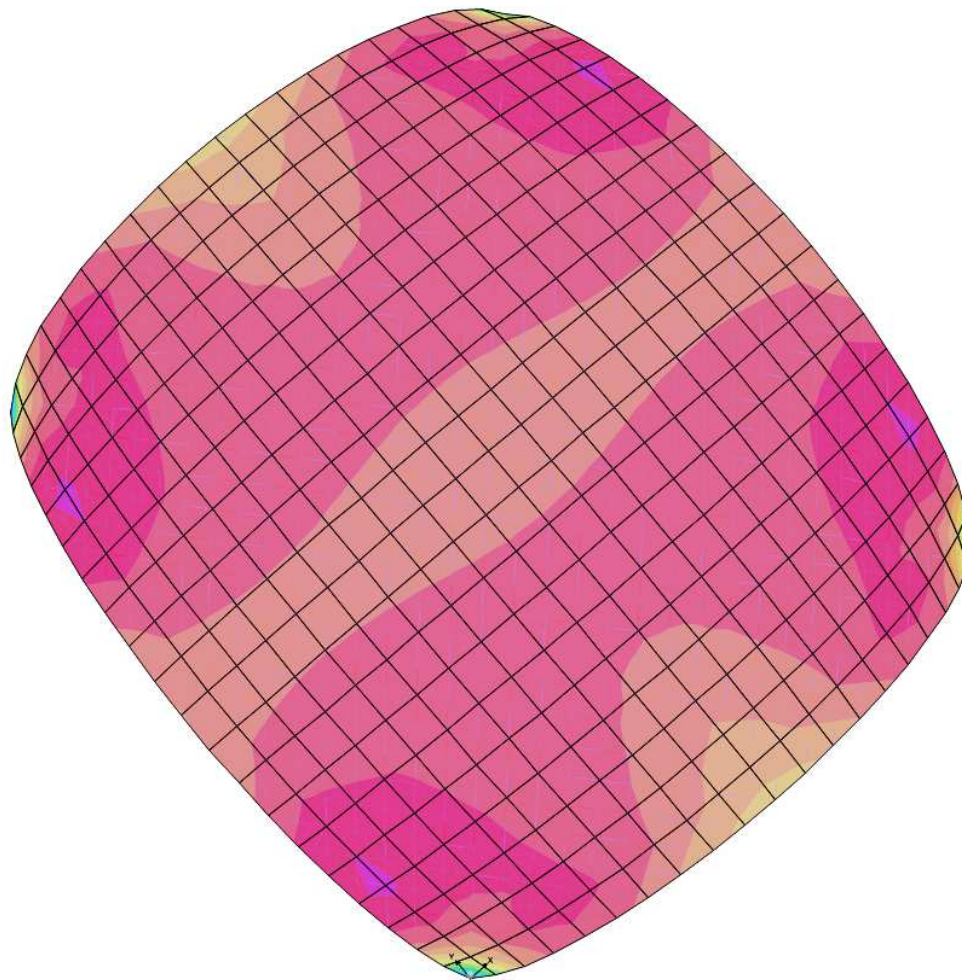
$$M_{\max} = 0.50x(M_{11} + M_{22}) + 0.50x\sqrt{((M_{11}-M_{22})^2 + 4x M_{12}^2)}$$

$$M_{\min} = 0.50x(M_{11} + M_{22}) - 0.50x\sqrt{((M_{11}-M_{22})^2 + 4x M_{12}^2)}$$

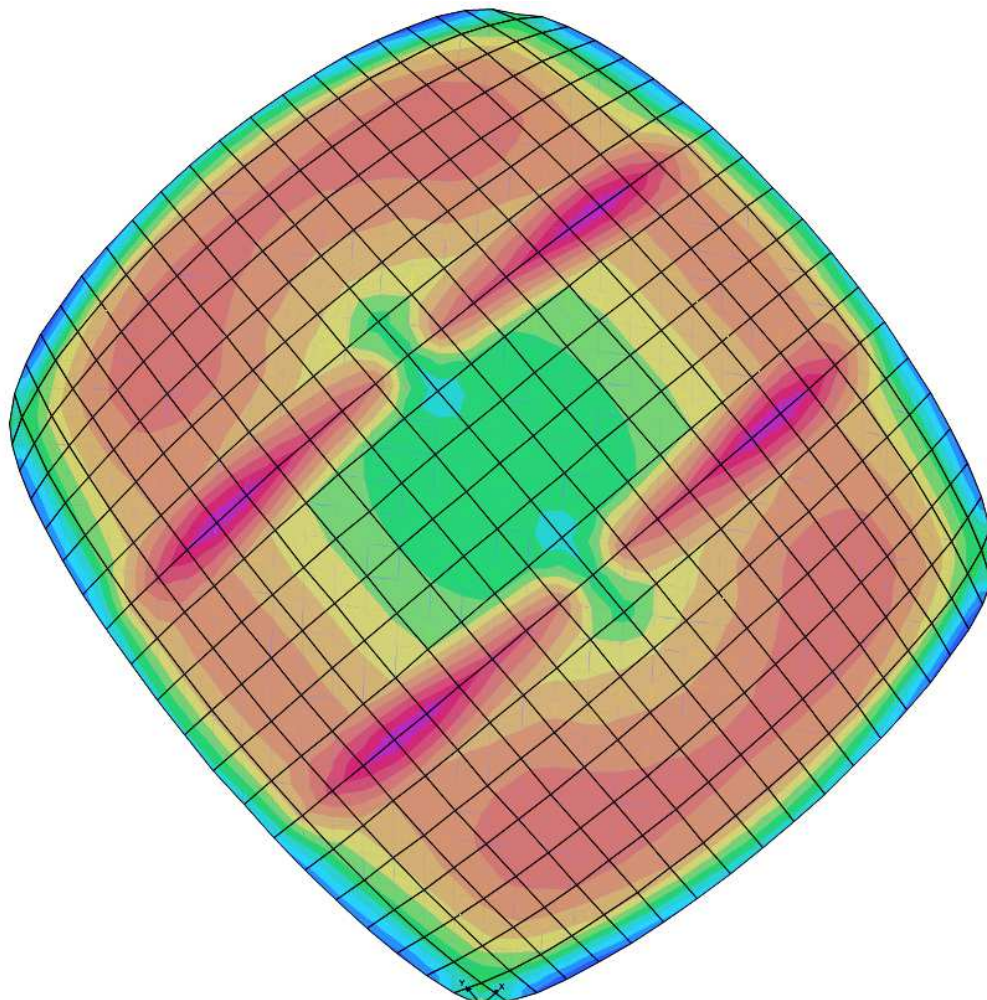
E per le azioni di taglio trasversali, ovvero quelli agenti lungo l'asse 3, con

$$V_{\max} = \sqrt{(V_{13}^2 + V_{23}^2)}$$

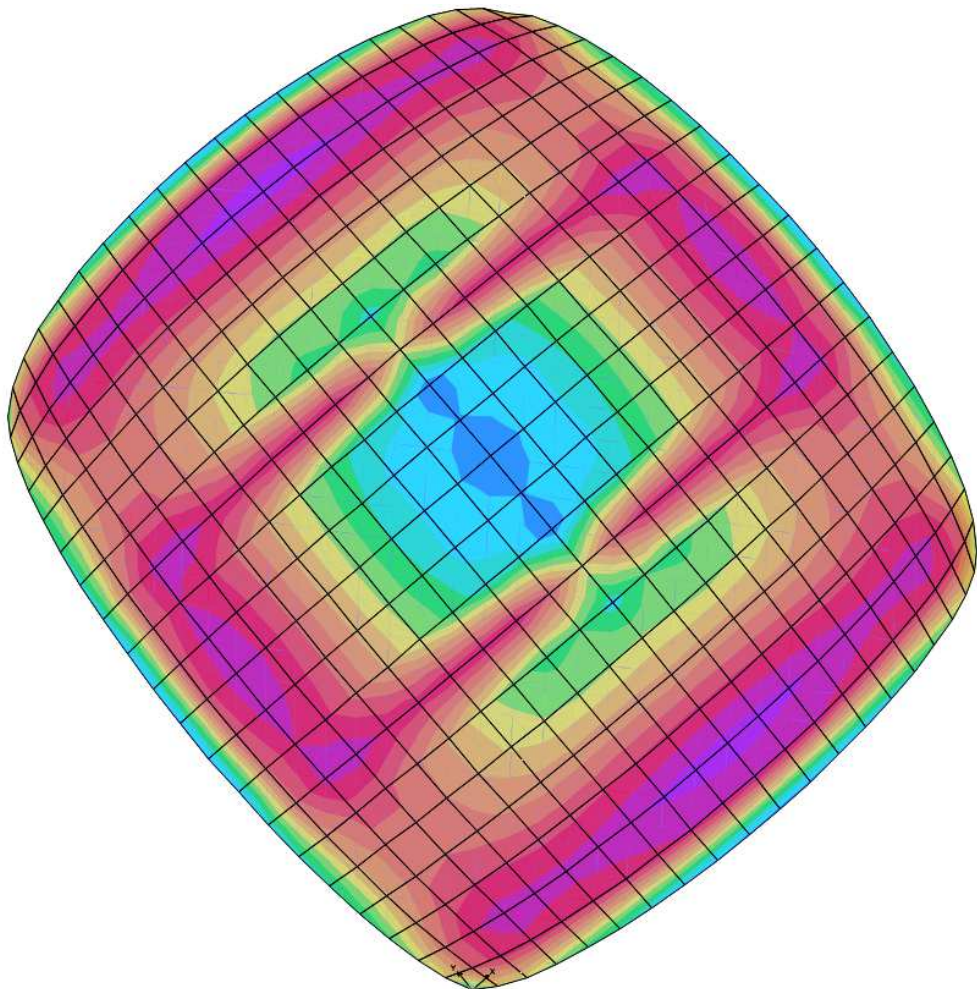




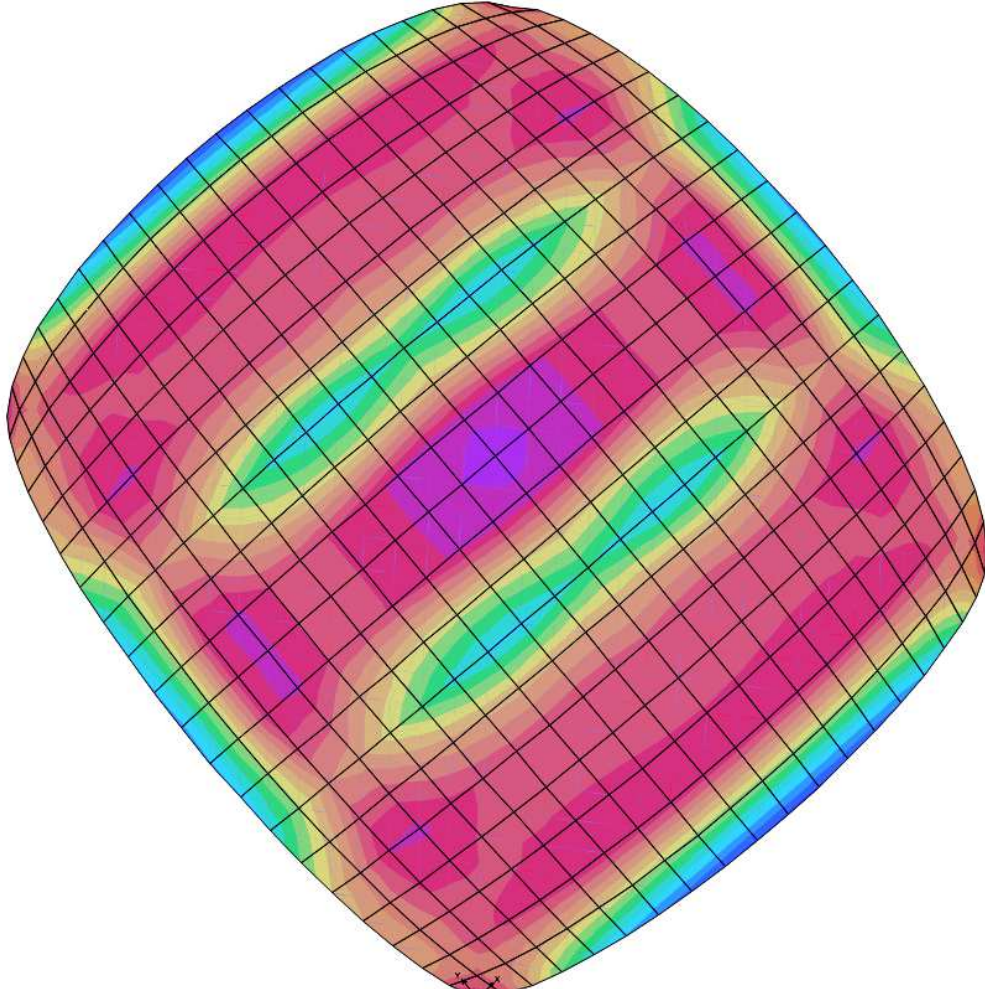
Azioni normali F_{min}



Azioni flettenti M_{max}



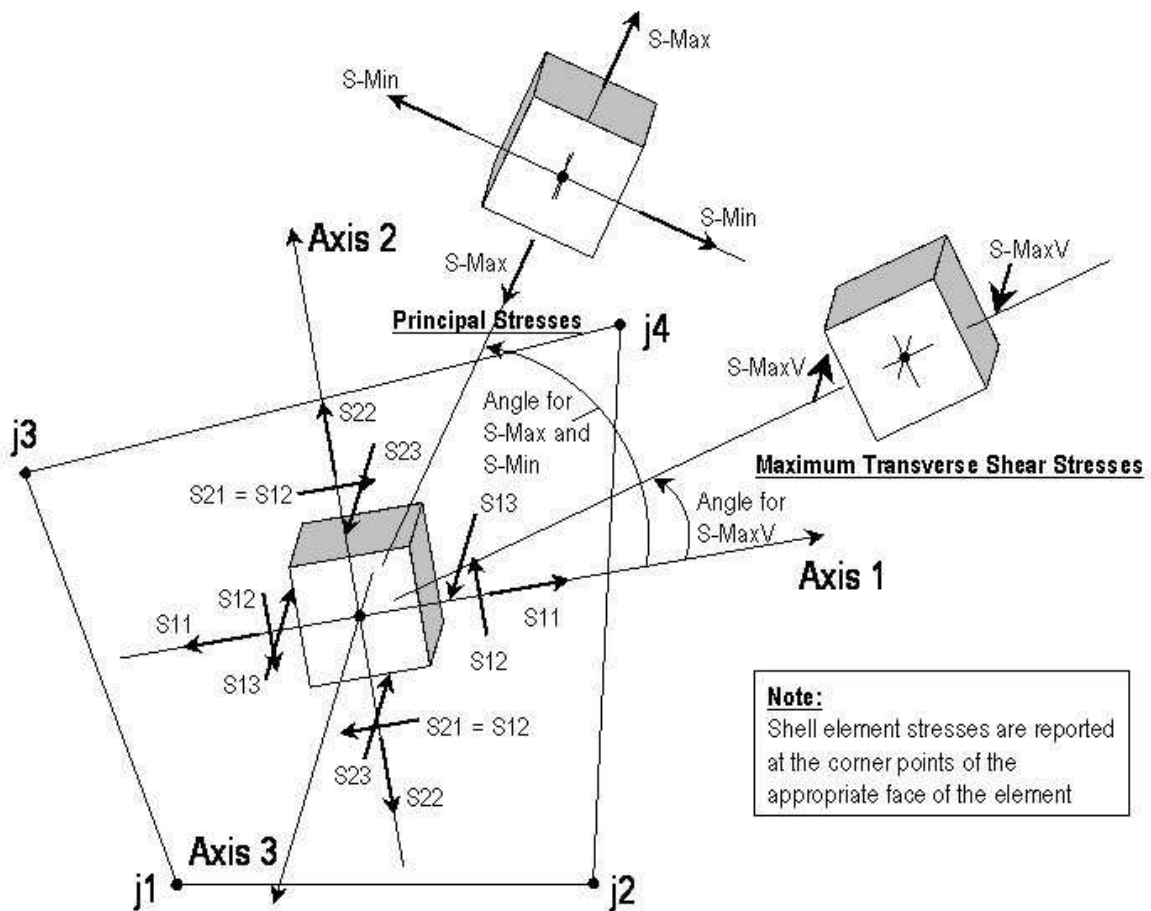
Azioni flettenti M_{min}

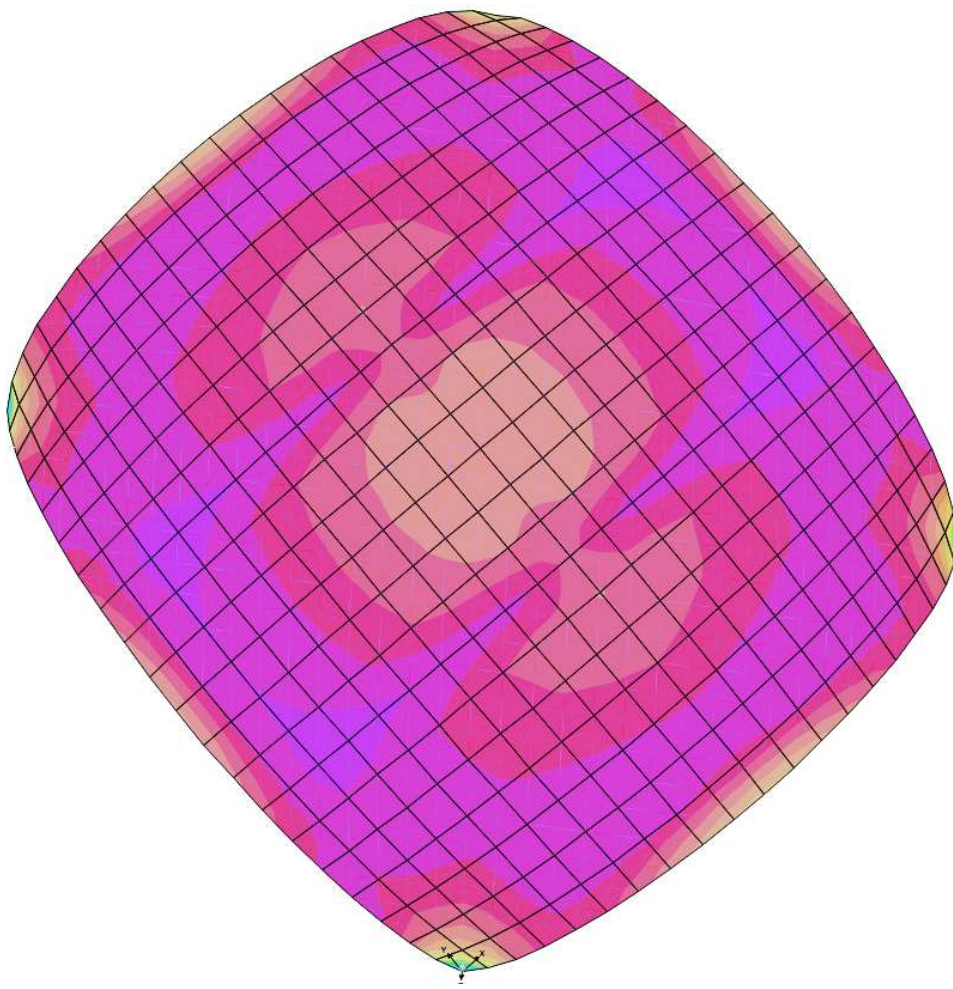


Azioni taglienti V_{max}

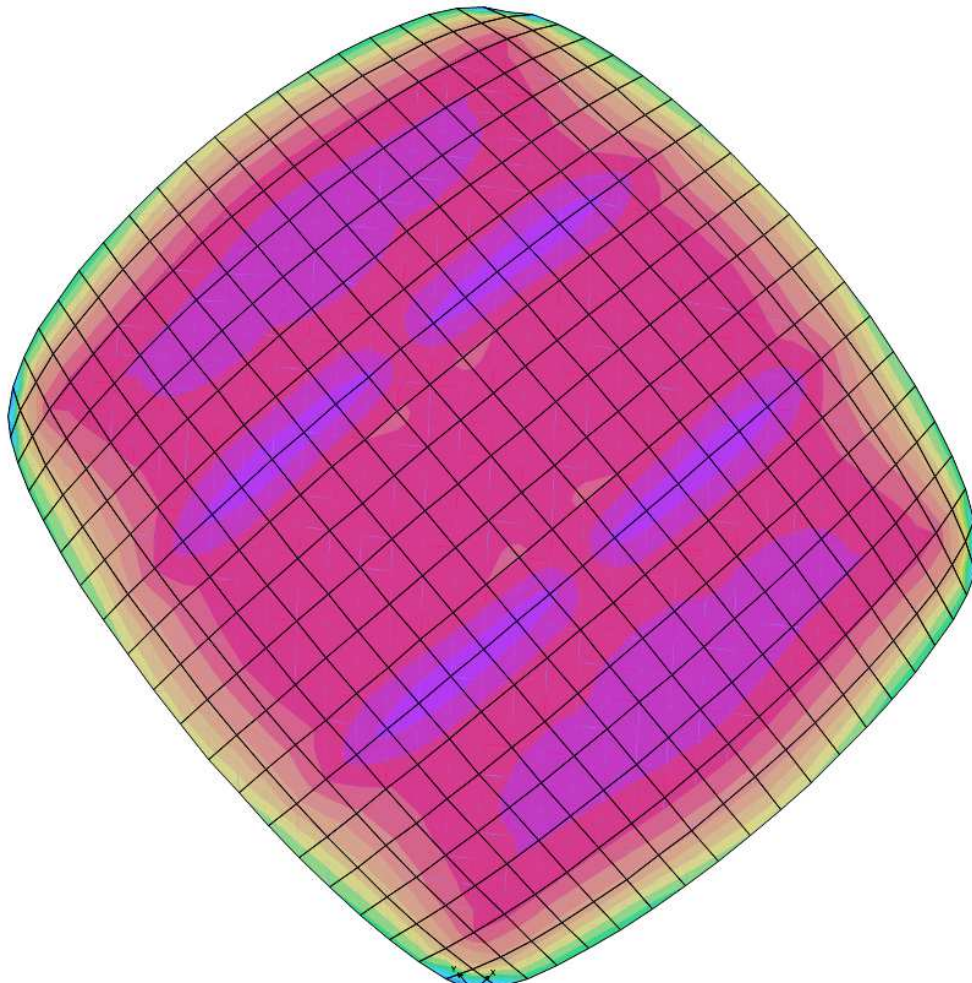
Dall'esame dei grafici esposti si può notare come siano di valore relativamente modesto le azioni flettenti fuori piano tutte < 50 daNxm a fronte di azioni assiali di compressione che raggiungono il valore di 5850 daN.

Il programma, comunque fornisce anche la rappresentazione grafica delle sollecitazioni massime e minime (espresse in daN/cm²) secondo le direzioni principali che, con riferimento al 1° grafico, si riportano come segue:

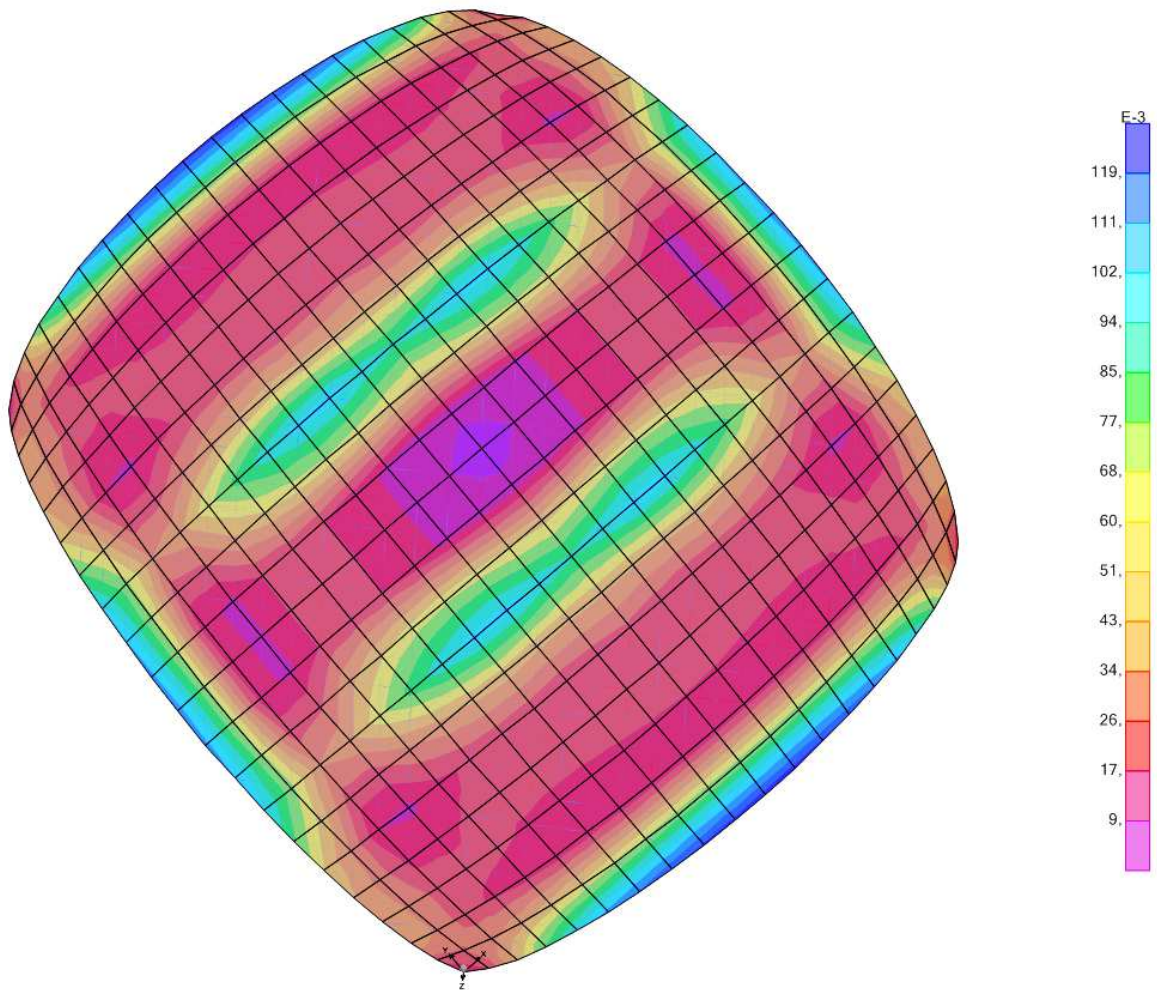




Sollecitazioni assiali S_{min}



Sollecitazioni assiali S_{max}



Sollecitazioni di taglio S_{Vmax}

Come può rilevarsi i valori massimi rilevati sono :

- Sollecitazione assiale massima di compressione $S_{max} \approx - 4.20 \text{ daN/cm}^2 < 5.92$
- Sollecitazione assiale massima di trazione $S_{max} \approx 1.05 \text{ daN/cm}^2 > 0.00$
- Sollecitazione massima di taglio $S_{Vmax} \approx 0.12 \text{ daN/cm}^2 < 0.15$

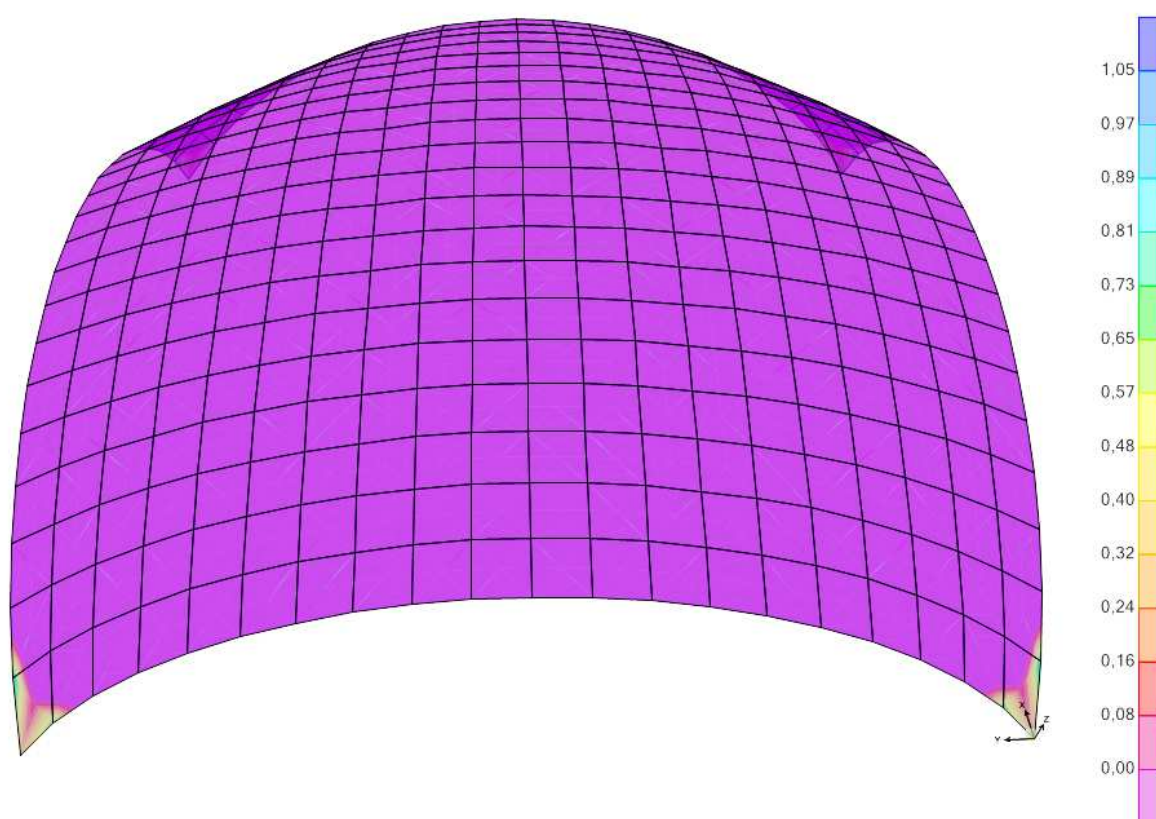
Considerando che i valori limite di confronto sono:

- $f_d = 24/(FC \gamma_m) = 24/(1.35 \times 3) = 5.92 \text{ daN/cm}^2$ resistenza di progetto a compressione
- $f_{vd} = 0.6/(FC \gamma_m) = 0.6/(1.35 \times 3) = 0.15 \text{ daN/cm}^2$ resistenza di progetto a taglio

si può dedurre come non sia soddisfatta la verifica allo sforzo di trazione (>0) mentre sia la compressione che il taglio sono sempre inferiori ai valori limite.

Per quanto detto in premessa sulla affidabilità dell'analisi lineare è, fra l'altro, importante determinare l'estensione dell'area nella quale si sviluppano eventuali sollecitazioni di trazione. A tal fine il programma permette di identificare le varie *shell* dove i valori delle tensioni sono compresi in un dato intervallo.

Si riporta quindi il grafico delle sollecitazioni assiali che evidenzia dove queste sono comprese tra i valori di **0.00 e 1.05** daN/cm²



Sollecitazioni assiali $0.00 < S_{max} < 1.05$

E' evidente la ridotta dimensione delle superfici interessate situate nella parte terminale dei piani d'imposta.

Può quindi concludersi come la struttura sia, sostanzialmente, verificata e adeguata all'attuale destinazione d'uso.

5.4 Interventi di progetto e verifica statica volta in cls.

Ciò posto considerato che il progetto prevede la ristrutturazione dell'edificio a seguito della quale si dovrà procedere, tra l'altro, alla completa asportazione e sostituzione dei pavimenti e del loro sottofondo, al risanamento di alcune porzioni della muratura, al reintegro dei colle-

gamenti (catene/tiranti) murari e che, inoltre, è prevista la variazione di destinazione d'uso con aggravio dei carichi variabili (200/300 daN/mq), si ritiene necessario procedere ad un intervento locale sulle volte che preveda:

- l'asportazione del materiale di rinfiacco all'estradosso delle volte;
- l'asportazione del pavimento e dei vari strati di sottofondo (marmette, massetto, cocciopesto ecc.);
- la realizzazione di una controvolta estradosale in calcestruzzo armato a basso ritiro previa applicazione di adesivo strutturale per ripresa di getto (cca – estradosso volta);
- il reintegro del rinfiacco con calcestruzzo alleggerito (con peso specifico non superiore a 800 daN/mc);
- l'esecuzione del sottofondo del massetto di pavimentazione con calcestruzzo alleggerito;
- la formazione del massetto di pavimentazione in calcestruzzo armato con rete elettrosaldata dello spessore di circa 10 cm;
- il ripristino e/o sostituzione delle catene di collegamento fra le murature perimetrali portanti;
- il collegamento alle murature sia della controvolta che del massetto di pavimentazione;

Tale intervento di riparazione locale comporterà diversi miglioramenti delle condizioni di sicurezza preesistenti sia ai fini statici propriamente detti che sotto il profilo del comportamento globale rispetto alle azioni sismiche dato che :

- viene migliorata la resistenza ai carichi verticali della volta e la loro redistribuzione;
- si diminuiscono i carichi verticali statici mediante la riduzione del peso del materiale di rinfiacco e degli strati di sottofondo della pavimentazione. La globalità dei carichi diminuisce nonostante l'incremento del carico variabile che viene compensato dalla minore massa globale dei nuovi materiali. Come risulta dall'elaborazione dei calcoli, la somma dei carichi verticali (compreso il carico variabile) per la volta in esame è pari a **40812 daN** allo SLE e **54013 daN** allo SLU, di contro con gli interventi proposti i valori analoghi sono di **34444 daN** per SLE e **46214 daN** per SLU
- con il ripristino/sostituzione e incremento delle connessioni tra le murature si otterrà un miglioramento del comportamento globale e della resistenza della struttura;
- l'estradosso della volta, unitamente al massetto di sottopavimentazione, riescono ad assorbire notevoli sforzi di trazione nella fase di parzializzazione pre-collasso delle sezioni grazie all'armatura metallica;
- la resistenza della volta aumenta in modo notevole in quanto viene a crearsi un nuovo elemento strutturale di spessore maggiorato;
- la soletta collaborante, ben ammorsata alle pareti, ha l'effetto di meglio ripartire i carichi variabili e contribuisce a creare un effetto scatolare della struttura funzionando da catena e impedendo l'allontanamento delle imposte.

5.5 Parametri calcestruzzo della soletta di estradosso.

Per la realizzazione della soletta all'estradosso della volta e del sottofondo del massetto si prevede l'utilizzo di calcestruzzo della classe C20/25 per il quale si adottano i seguenti valori di resistenza :

- $R_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$ resistenza caratteristica cubica
- $f_{ck} = 20 \text{ N/mm}^2$ resistenza caratteristica cilindrica
- $f_{cm} = 28 \text{ N/mm}^2$ resistenza cilindrica media
- $f_{ctm} = 2.27 \text{ N/mm}^2$ resistenza media a trazione semplice
- $f_{ctk} = 1.59 \text{ N/mm}^2$ resistenza caratteristica a trazione semplice
- $f_{ctm} = 2.72 \text{ N/mm}^2$ resistenza media a trazione per flessione
- $f_{cd} = 11.76 \text{ N/mm}^2$ resistenza di calcolo a compressione
- $f_{ctd} = 1.06 \text{ N/mm}^2$ resistenza di calcolo a trazione
- $\tau_{c0} = 0.533 \text{ N/mm}^2$ resistenza a taglio
- $E_{cm} = 29962 \text{ N/mm}^2$ modulo elastico

5.6 Analisi dei carichi volta in cls.

Considerando i materiali previsti in progetto avremo:

- volta in muratura 0.15x1800		270 daN/mq
- sottofondo pavimentazione in cc allegg.		90 daN/mq
- pavimento e massetto di sottofondo		<u>250</u> daN/mq
	G_k	610 daN/mq

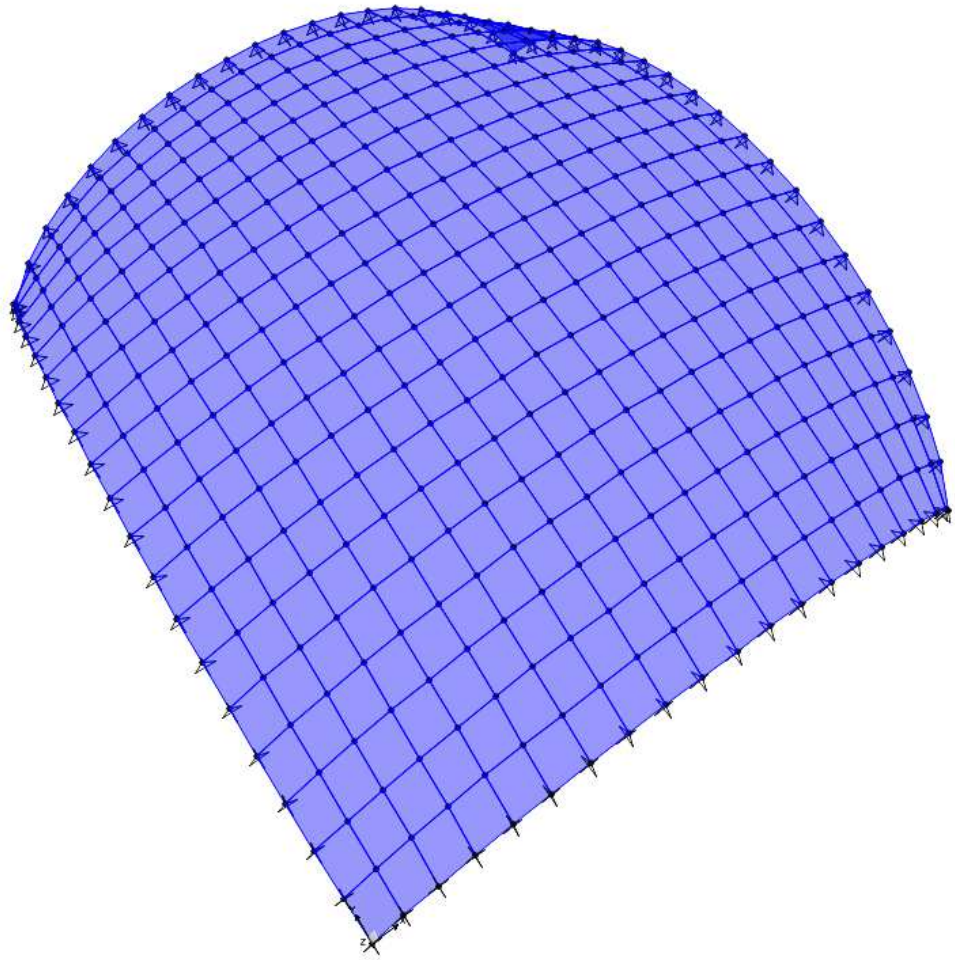
carico variabile ambienti aperti al pubblico Q_k **300** daN/mq

Il peso proprio della controvolta in cls viene considerato automaticamente dal programma di calcolo e il rinfiacco in cls alleggerito viene valutato considerando lo spessore medio dello stesso moltiplicato per il peso specifico di 800 daN/mc.

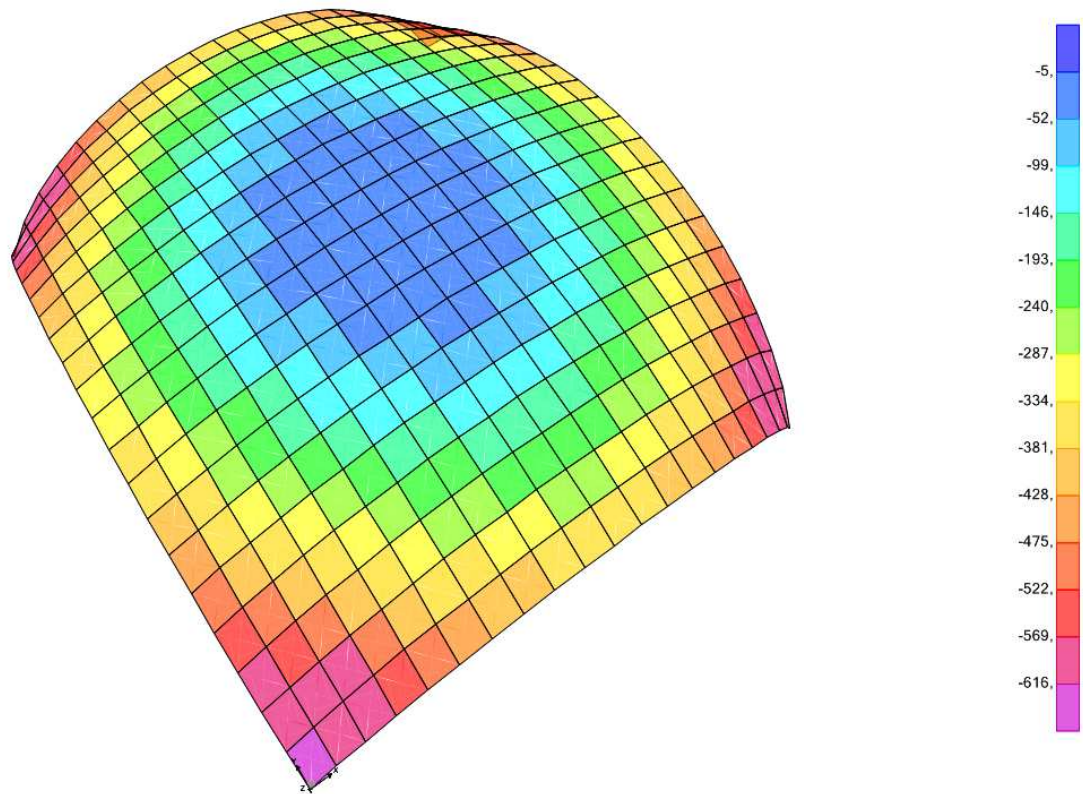
I carichi elencati verranno considerati, per la verifica allo S.L.U., con la seguente combinazione: $F_d = \gamma_g \cdot G_k + \gamma_q \cdot Q_k$ con $\gamma_g=1.3$ e $\gamma_q=1.5$

Si riportano due immagini grafiche che rappresentano lo schema statico ed il valore, riportato alla proiezione orizzontale dei vari elementi, del carico trasmesso dal terreno di rinfiacco.

Si precisa inoltre che la volta viene esaminata, a favore della stabilità, come costituita dal solo calcestruzzo al quale è applicata la totalità dei carichi (compreso il p.p. della volta in muratura) in quanto è di difficile e incerta determinazione l'effettiva collaborazione fra i due strati della volta (mattoni-cls).



Modello a elementi finiti

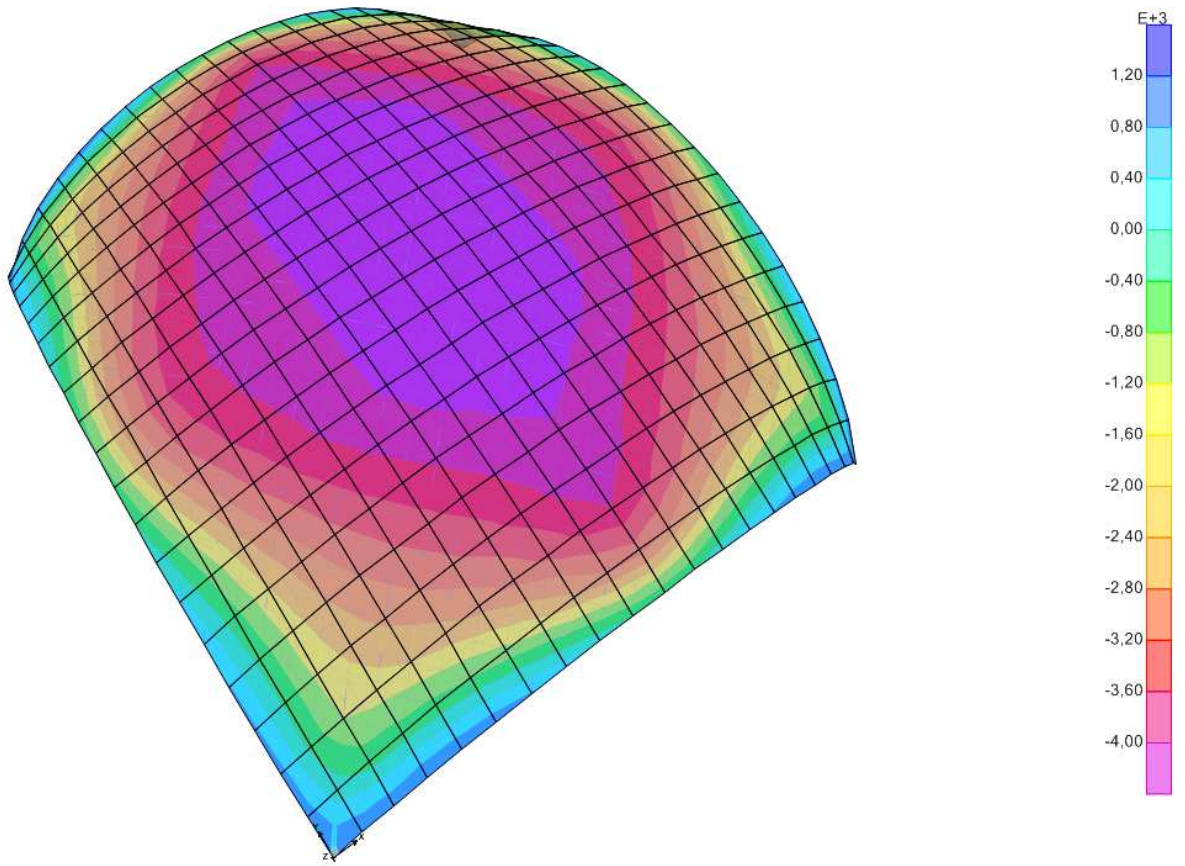


Schema carichi cls di rinfianco

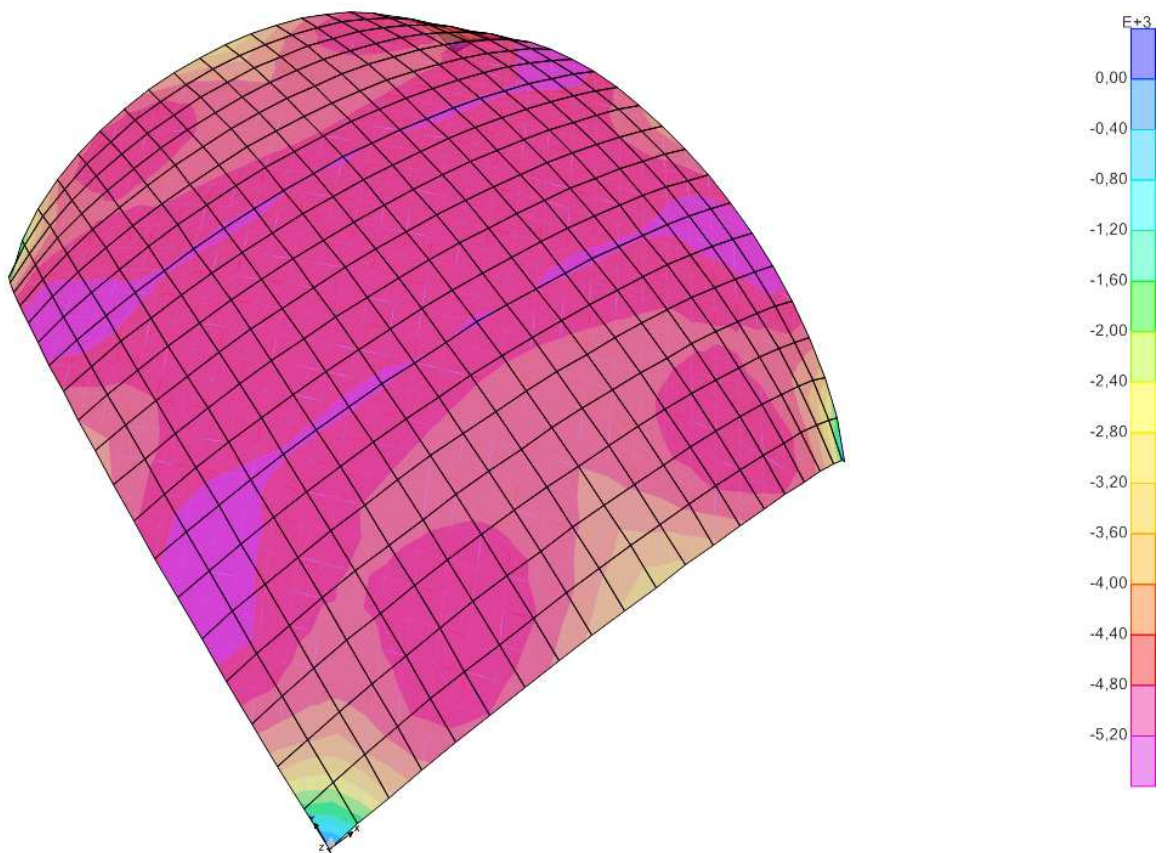
5.7 Risultati dell'analisi statica

Sempre con riferimento alle convenzioni di segno, orientamento degli assi, unità di misura ecc. precedentemente descritte si riportano alcune tavole grafiche con la rappresentazione dei risultati.

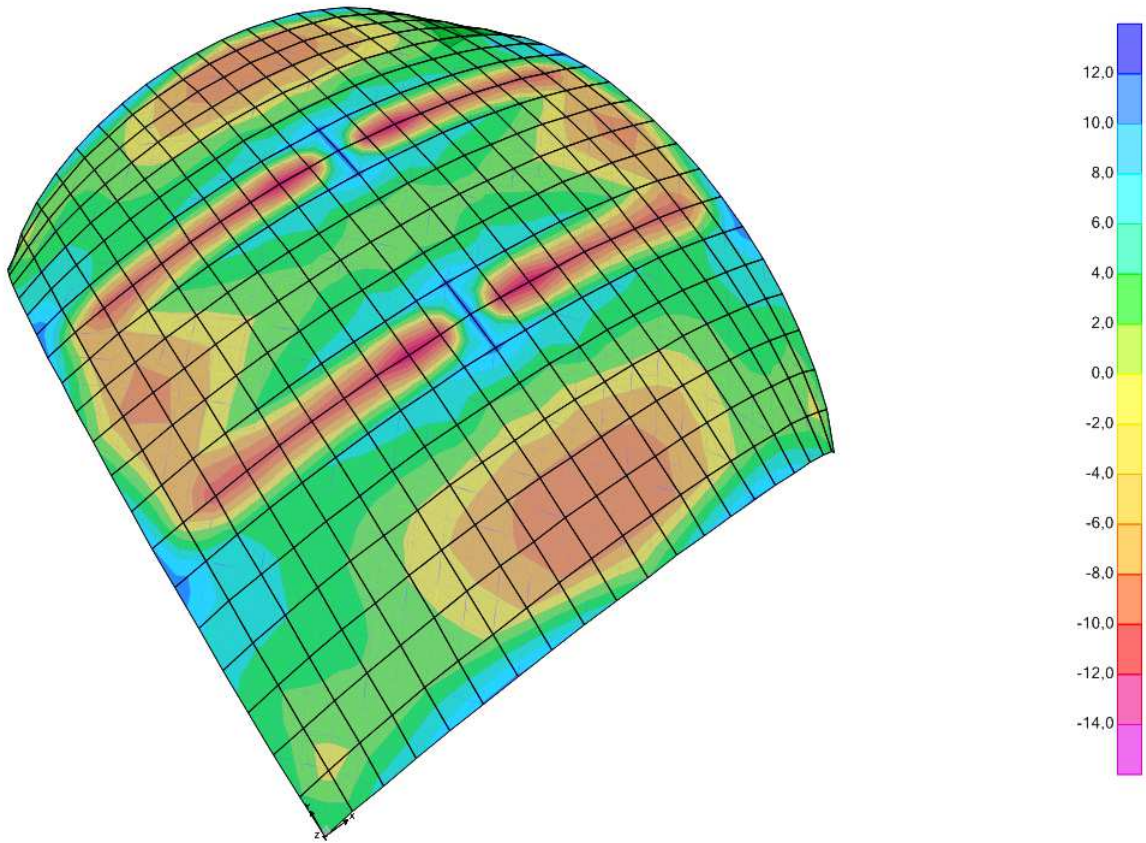
Per brevità si riportano le tavole più indicative.



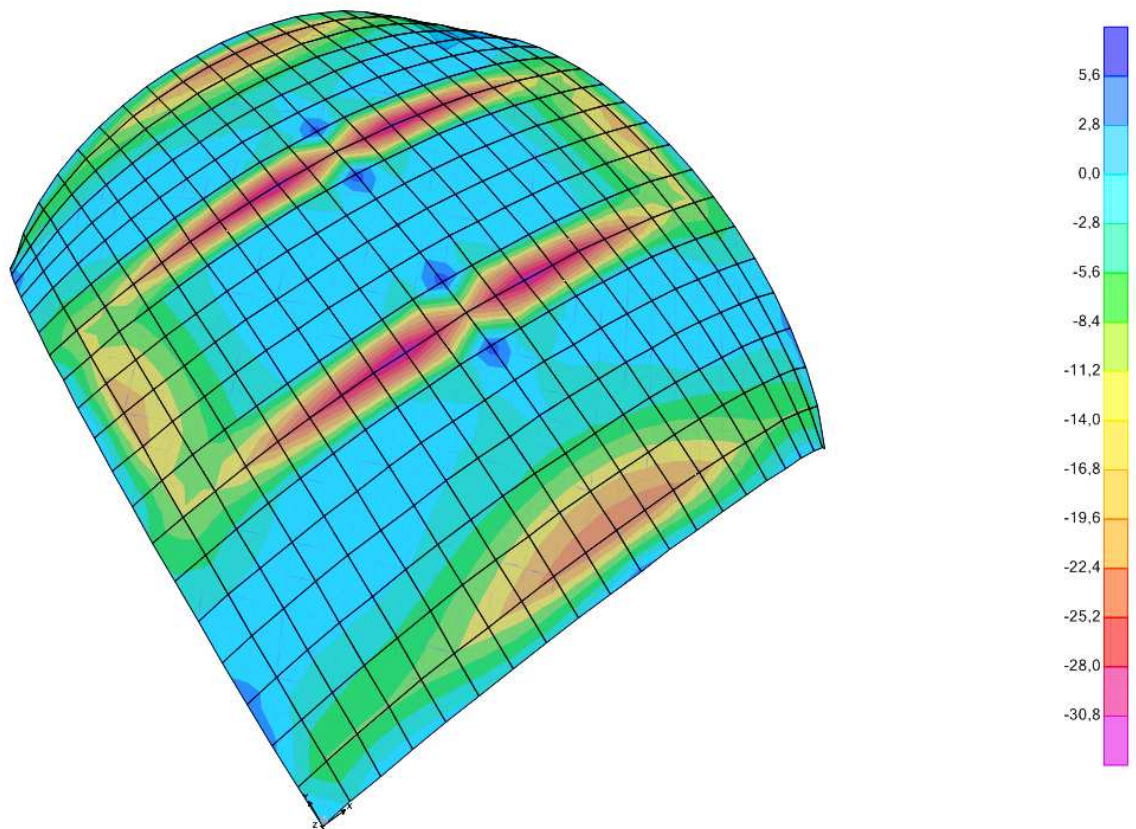
Azioni normali F_{max}



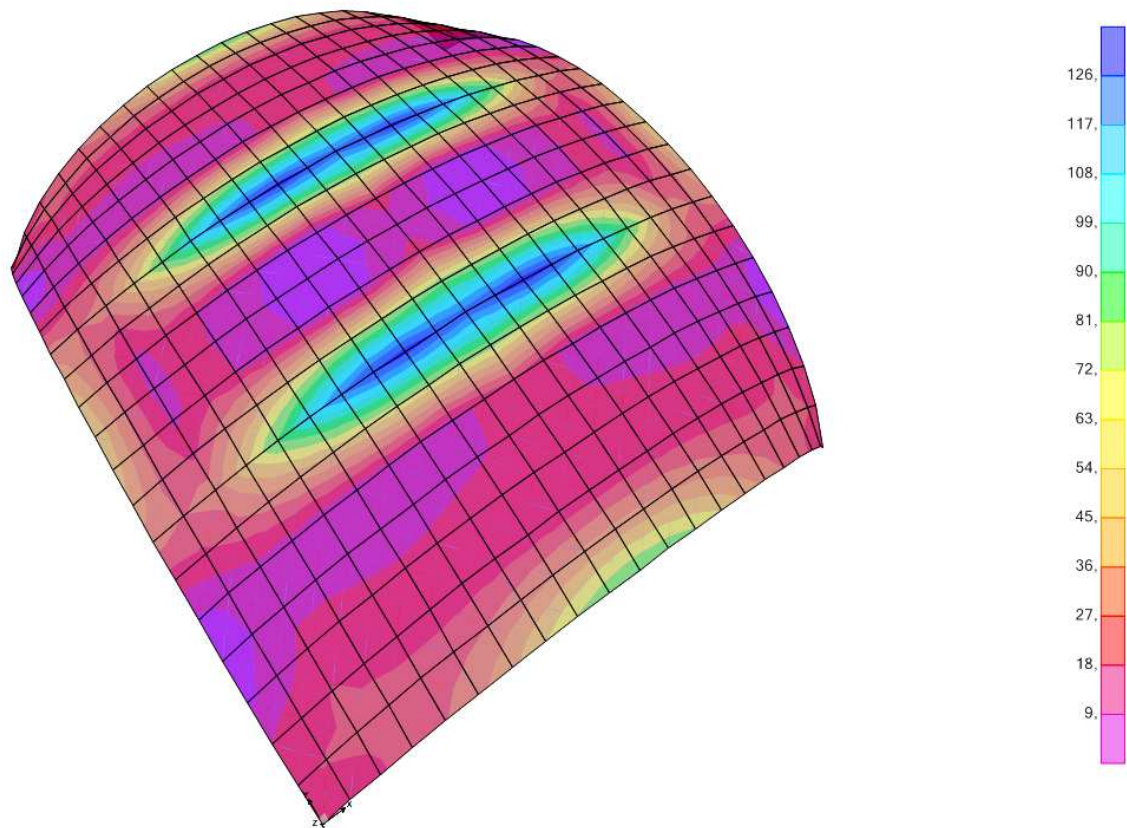
Azioni normali F_{min}



Azioni flettenti M_{max}



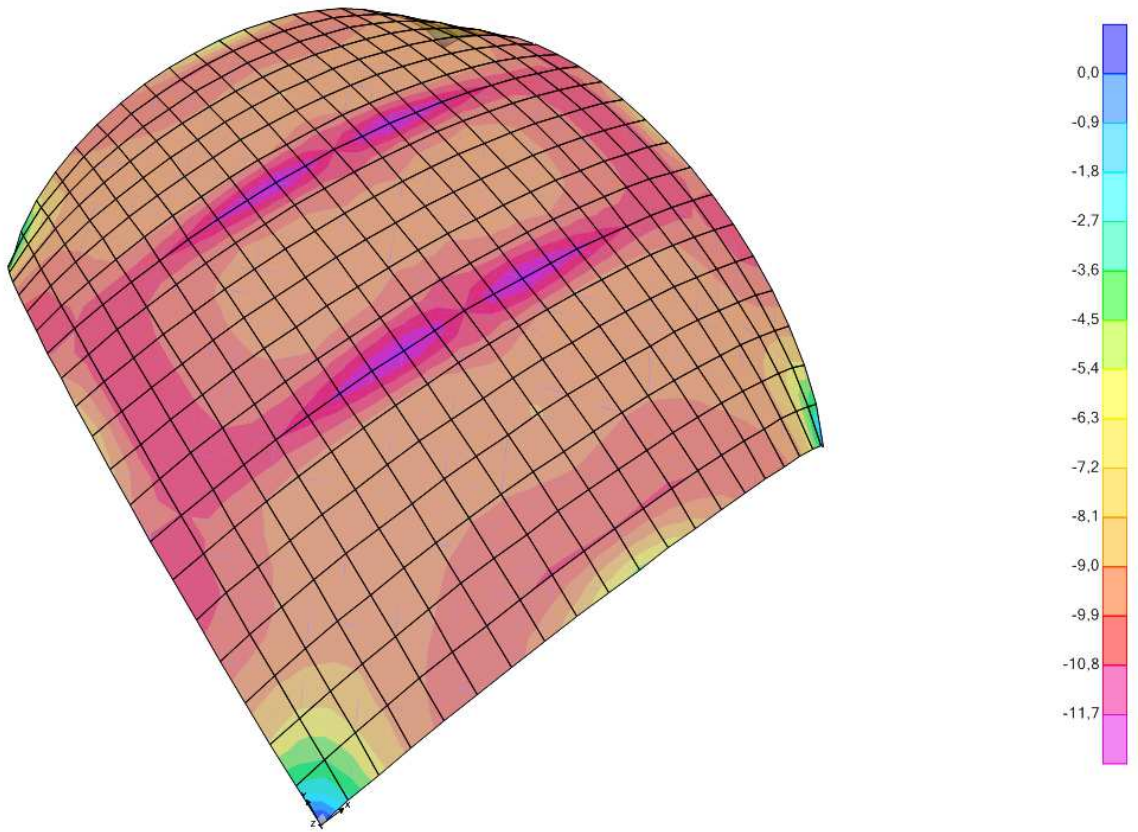
Azioni flettenti M_{min}



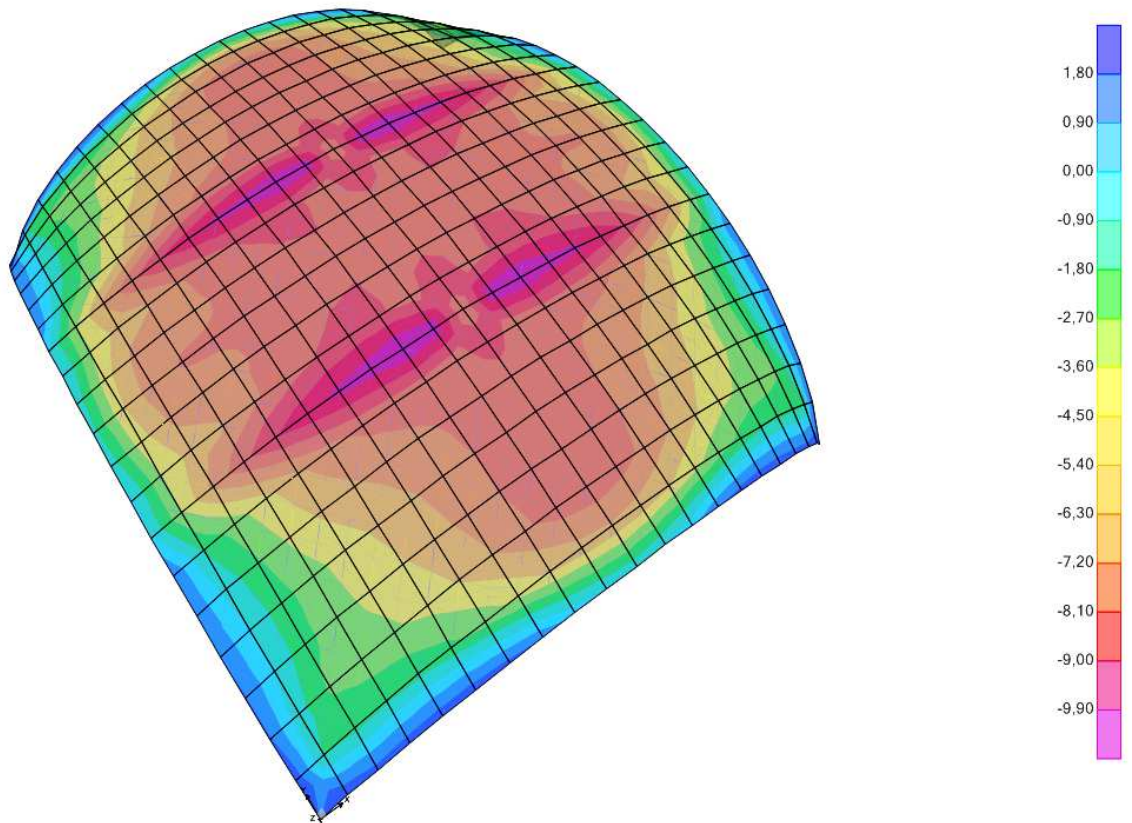
Azioni taglianti V_{max}

Anche in questo caso, dall'esame dei grafici esposti, si può notare come siano di valore relativamente modesto le azioni flettenti fuori piano tutte < 31 daNxm a fronte di azioni assiali di compressione che raggiungono il valore di 5200 daN.

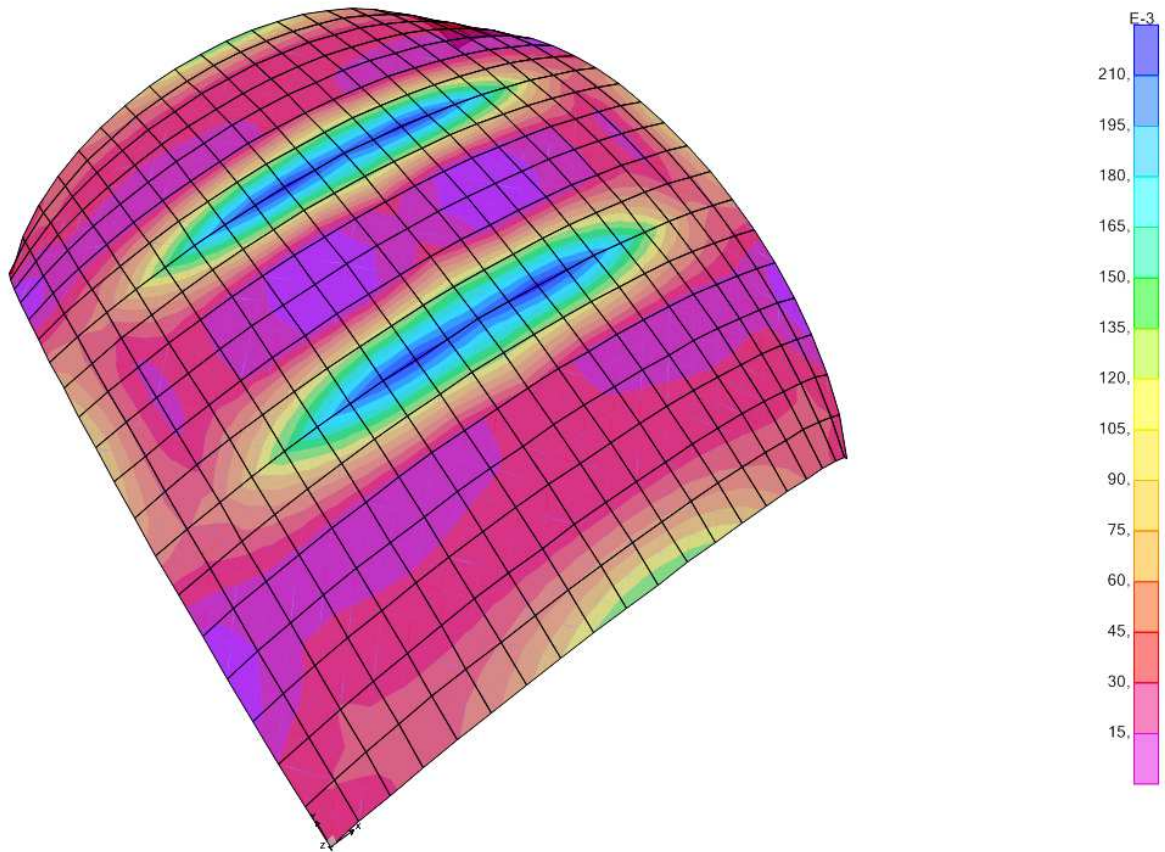
Come in precedenza si riportano le rappresentazioni grafiche delle sollecitazioni massime e minime secondo le direzioni principali.



Sollecitazioni assiali S_{min}



Sollecitazioni assiali S_{max}



Sollecitazioni di taglio S_{Vmax}

I valori massimi rilevati sono quindi :

- Sollecitazione assiale massima di compressione **$S_{max} \approx - 11.70 \text{ daN/cm}^2 < -$**
117.60
- Sollecitazione assiale massima di trazione **$S_{max} \approx 1.80 \text{ daN/cm}^2 < 10.60$**
- Sollecitazione massima di taglio **$S_{Vmax} \approx 0.21 \text{ daN/cm}^2 < 5.33$**

Notevolmente minori di quelli di norma.

5.8 Volte a botte solaio secondo livello

Come esplicitato in premessa, le volte che costituiscono il solaio del secondo livello sono del tipo "a botte con testa di padiglione" e hanno, per gli ambienti principali, misure a caratteristiche pressoché identiche.

5.9 Analisi dei carichi volta in muratura

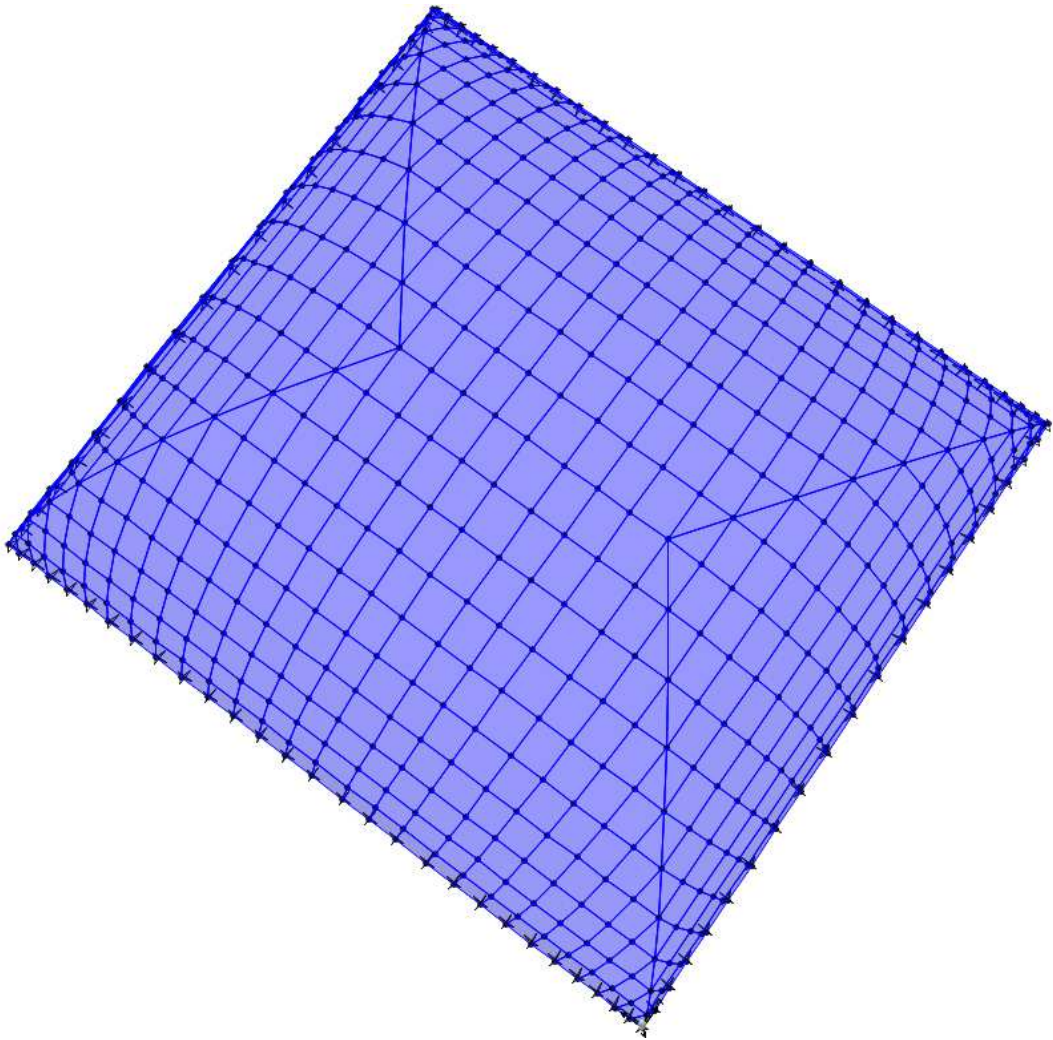
L'analisi dei carichi, che verranno trasmessi sulla proiezione orizzontale dei vari elementi, è in questo caso:

- pavimento in piastrelle e massetto di sottofondo		130 daN/mq
- cocciopesto		<u>90</u> daN/mq
	G_k	220 daN/mq
carico variabile copertura		100 daN/mq
Q_k		

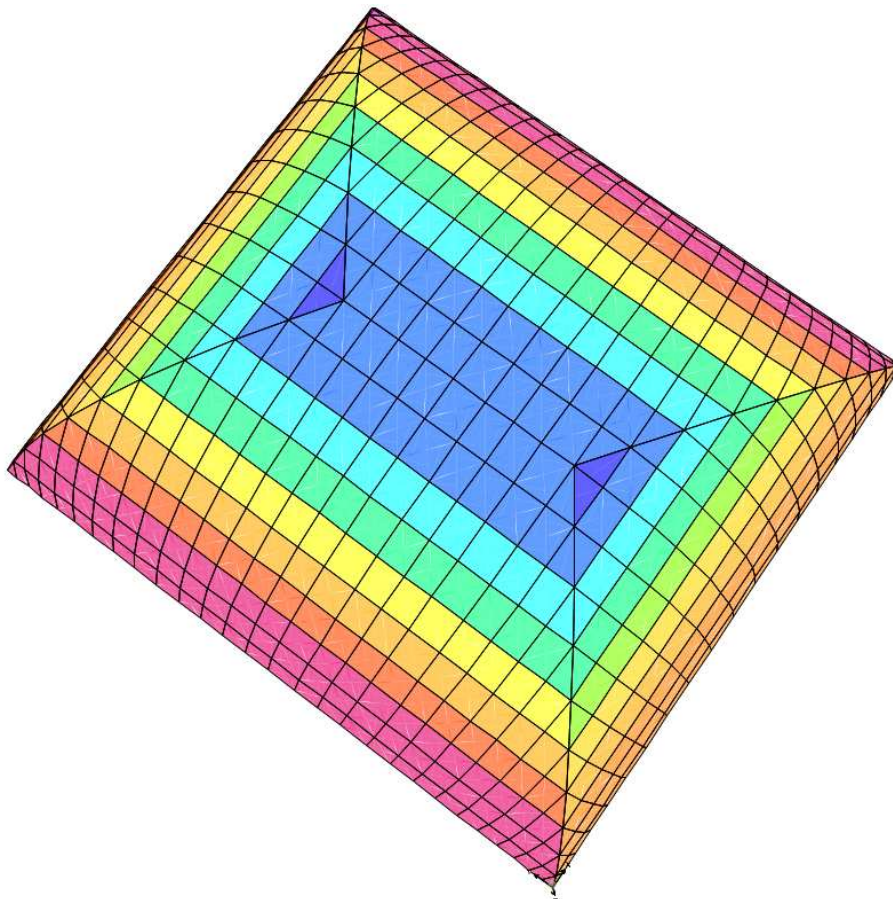
Ai carichi permanenti suesposti viene inoltre aggiunto quello trasmesso dal rinfiacco che è valutato (sempre sulla proiezione orizzontale dei vari elementi) considerando lo spessore medio di questo moltiplicato per il peso specifico di 1700 daN/mc.

I carichi elencati verranno considerati, per la verifica allo S.L.U., con la seguente combinazione: $F_d = \gamma_g \cdot G_k + \gamma_q \cdot Q_k$ con $\gamma_g=1.3$ e $\gamma_q=1.5$

Si riportano due immagini grafiche che rappresentano lo schema statico ed il valore, riportato alla proiezione orizzontale dei vari elementi, del carico trasmesso dal terreno di rinfiacco.



Modello a elementi finiti

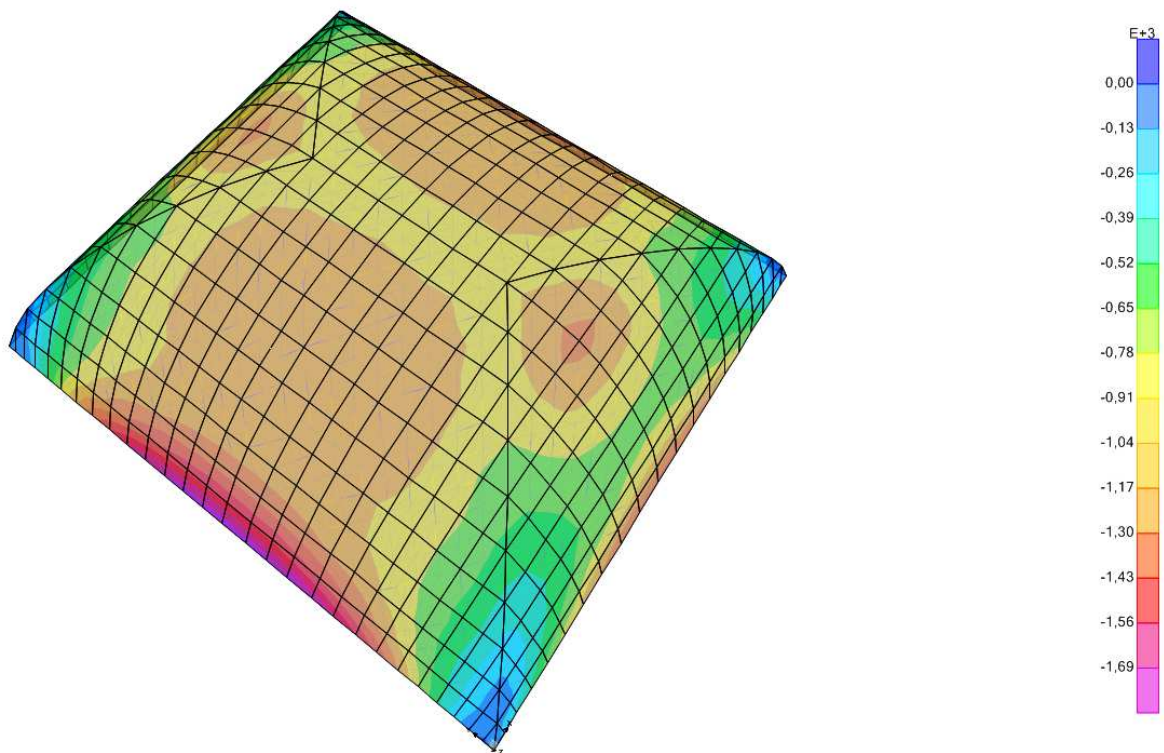


Schema carichi terra di rinfianco

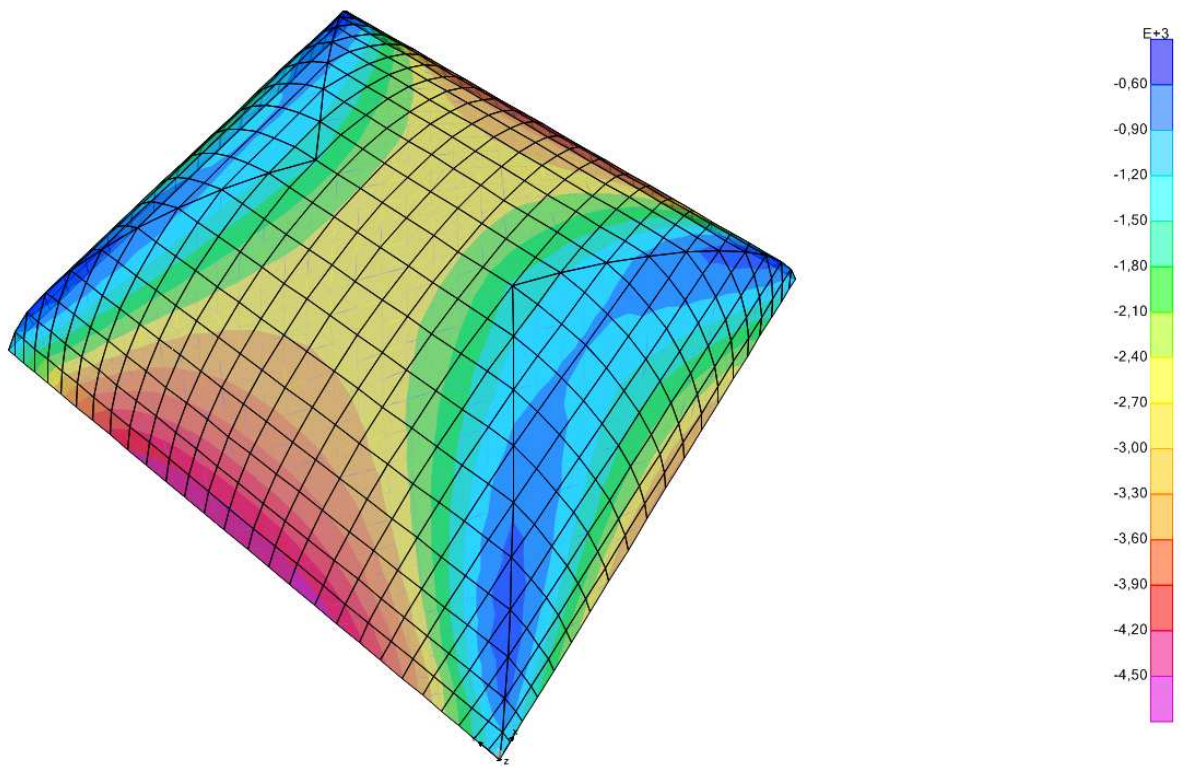
5.10 Risultati dell'analisi statica

Sempre con riferimento alle convenzioni di segno, orientamento degli assi, unità di misura ecc. precedentemente descritte si riportano alcune tavole grafiche con la rappresentazione dei risultati.

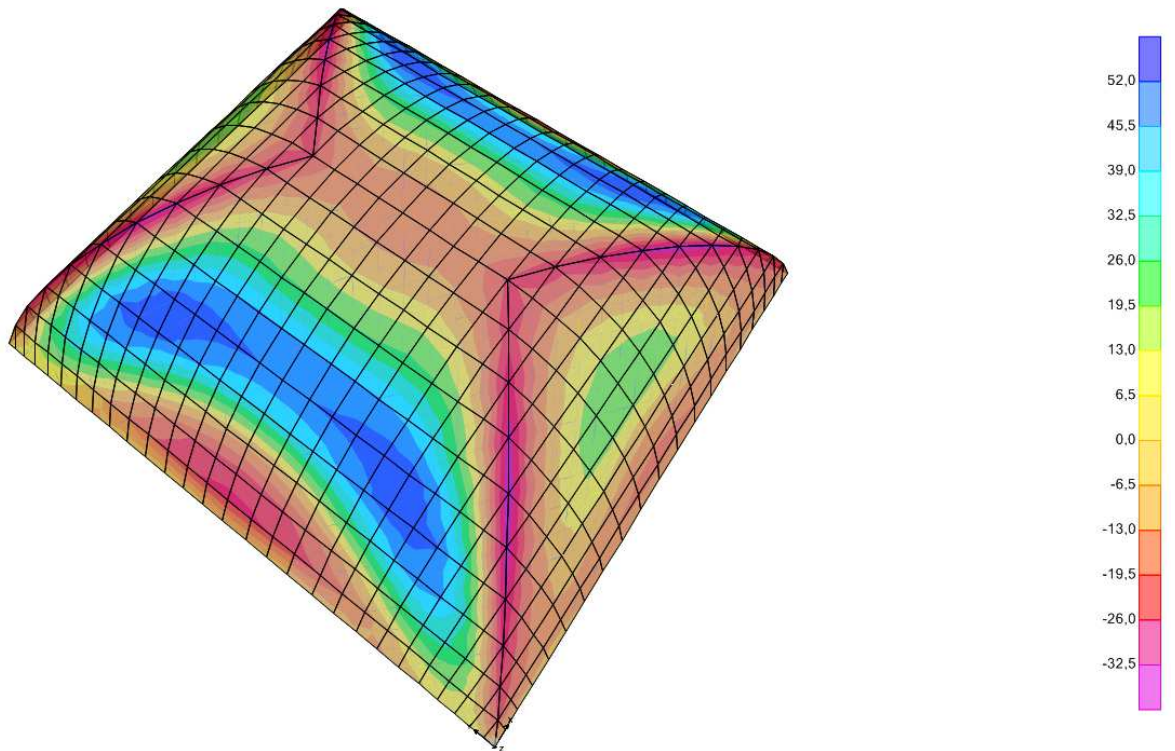
Per brevità si riportano le tavole più indicative.



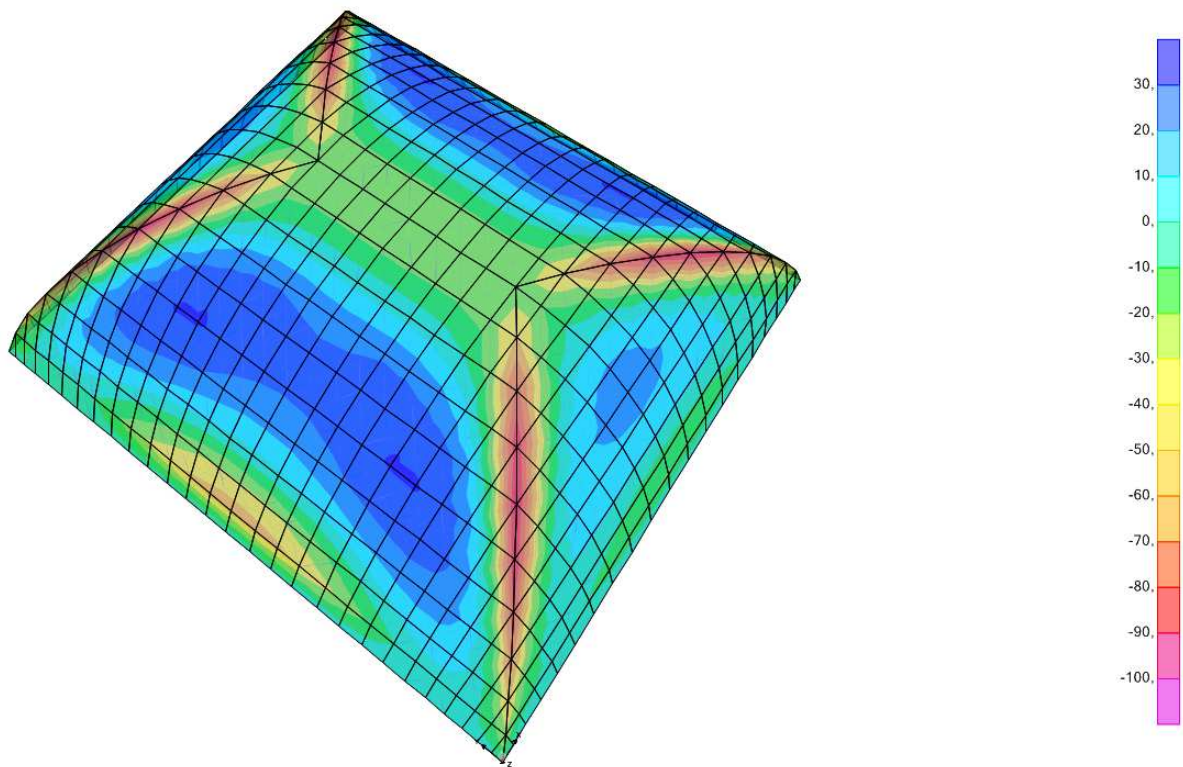
Azioni normali F_{max}



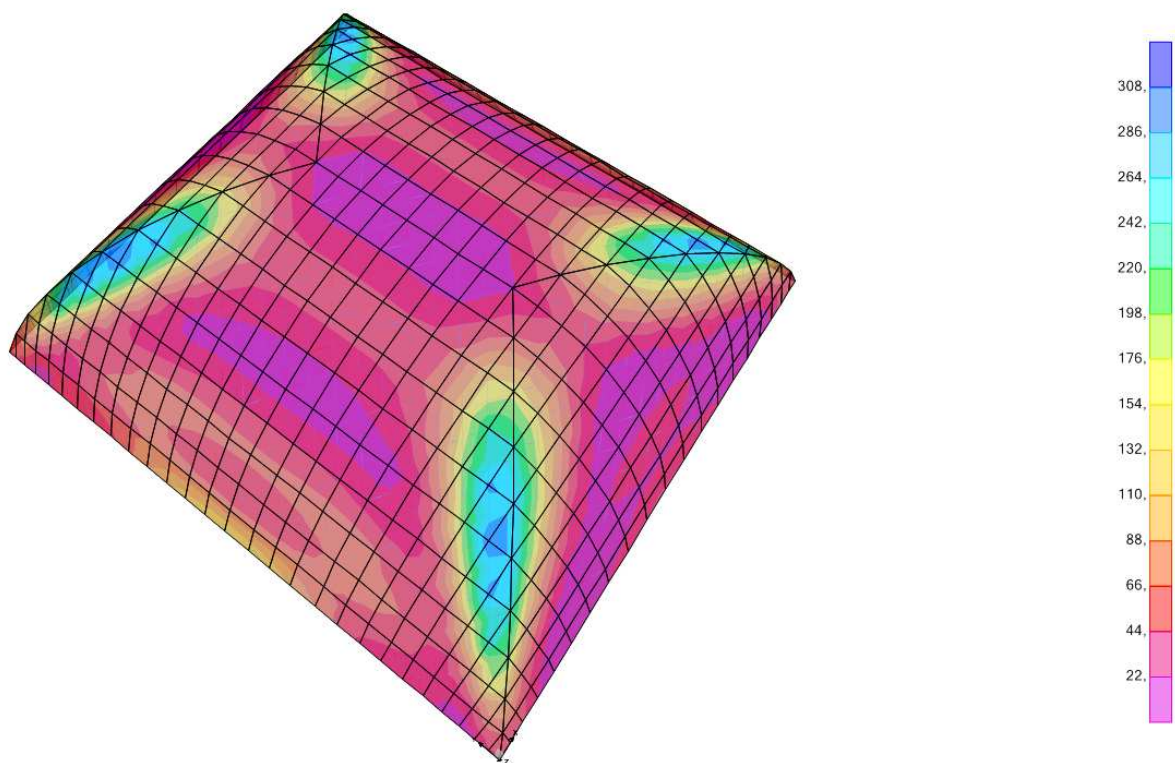
Azioni normali F_{min}



Azioni flettenti M_{max}

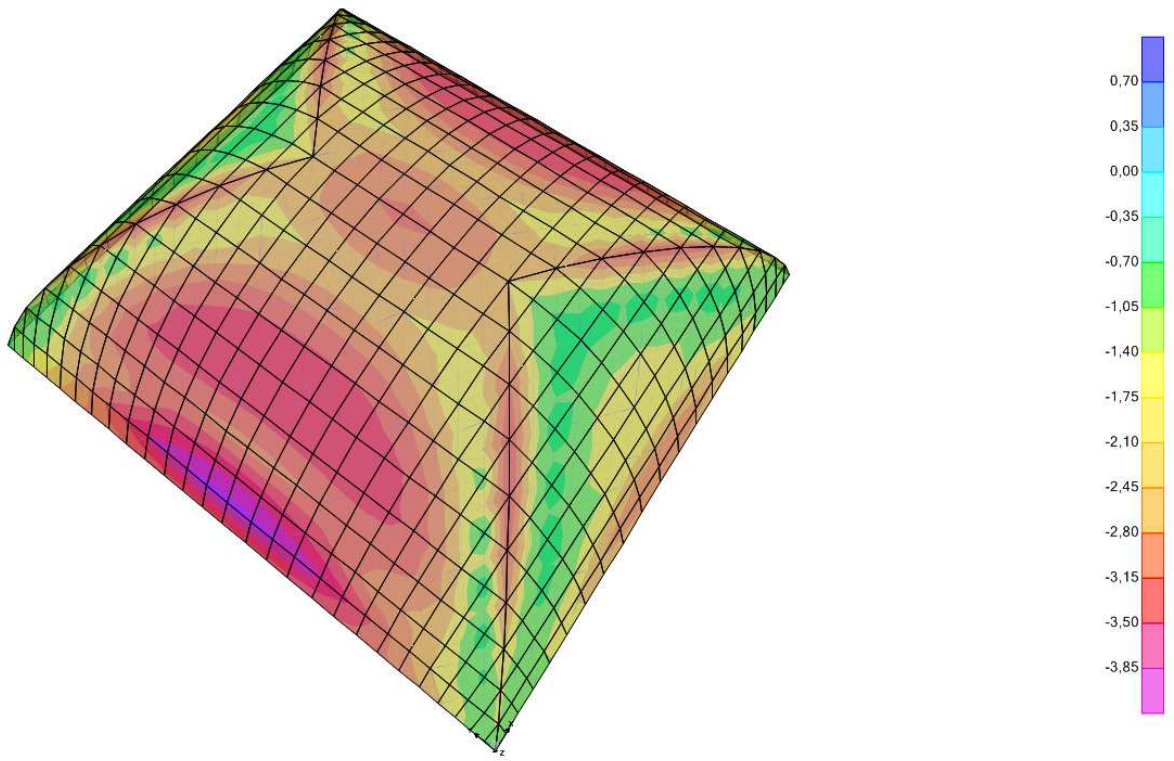


Azioni flettenti M_{min}

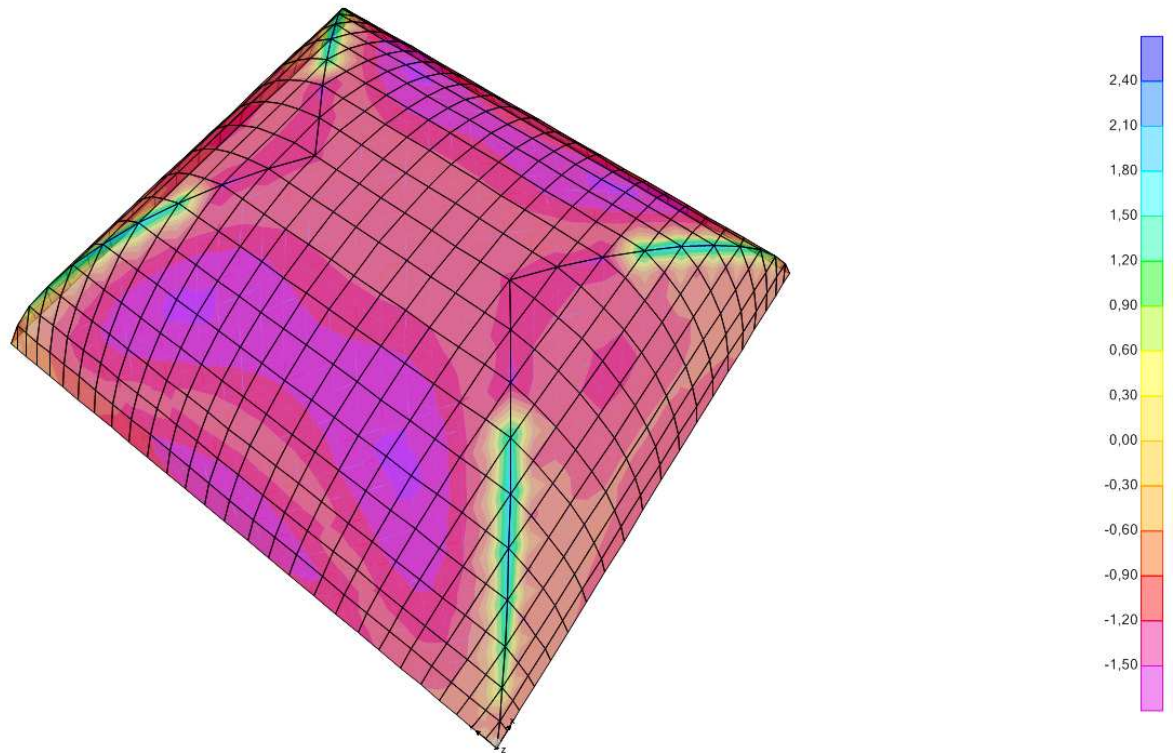


Azioni taglienti V_{max}

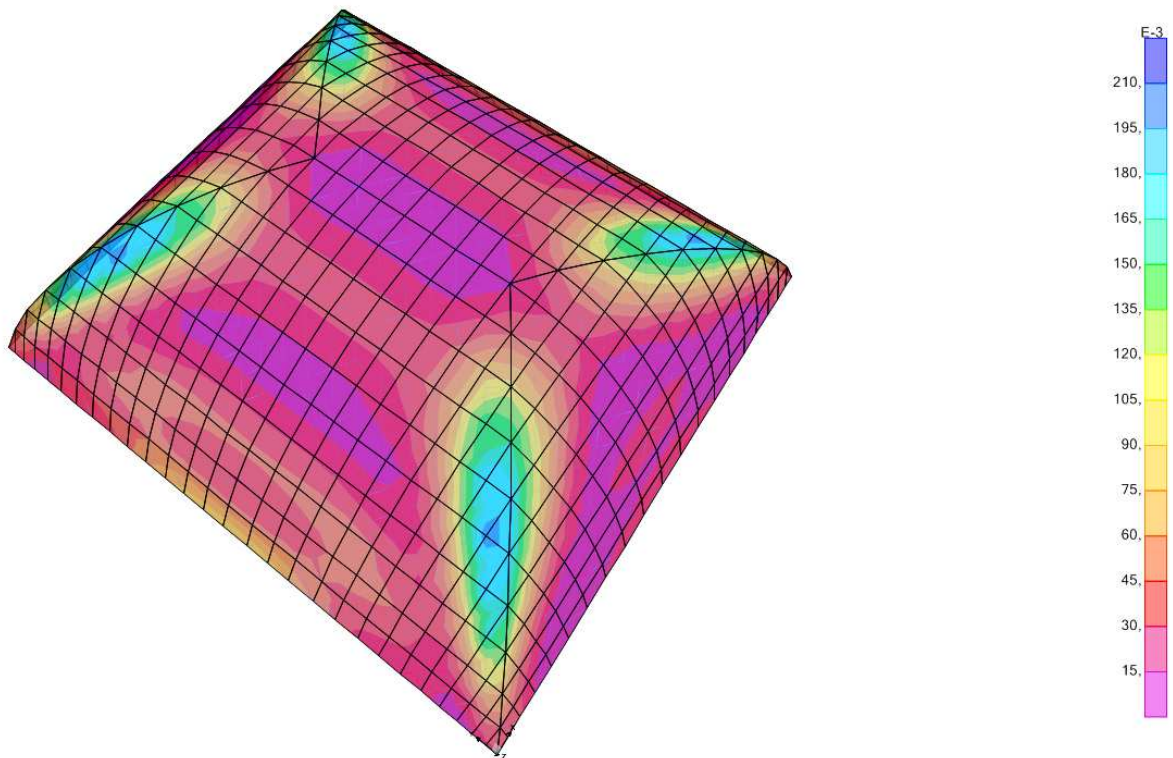
Come in precedenza si riportano le rappresentazioni grafiche delle sollecitazioni massime e minime secondo le direzioni principali.



Sollecitazioni assiali S_{min}



Sollecitazioni assiali S_{max}



Sollecitazioni di taglio S_{Vmax}

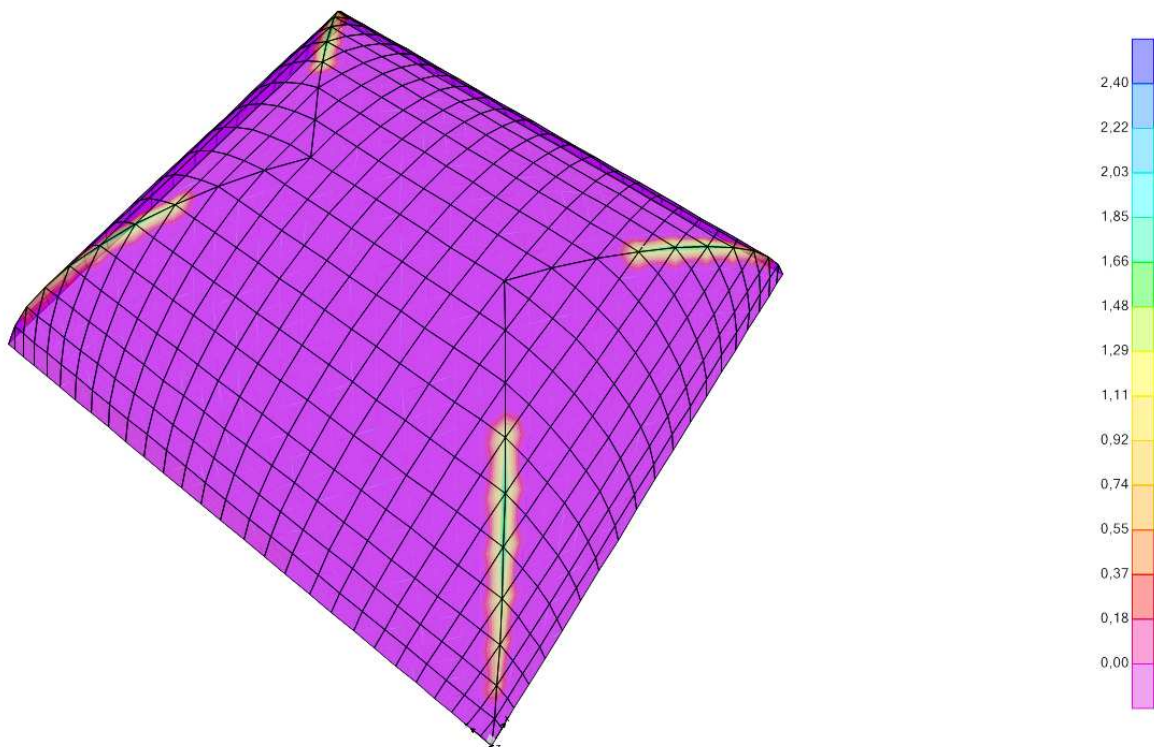
Come può rilevarsi i valori massimi rilevati sono :

- Sollecitazione assiale massima di compressione **$S_{max} \approx - 3.90 \text{ daN/cm}^2 < 5.92$**
- Sollecitazione assiale massima di trazione **$S_{max} \approx 2.40 \text{ daN/cm}^2 > 0.00$**
- Sollecitazione massima di taglio **$S_{Vmax} \approx 0.21 \text{ daN/cm}^2 > 0.15$**

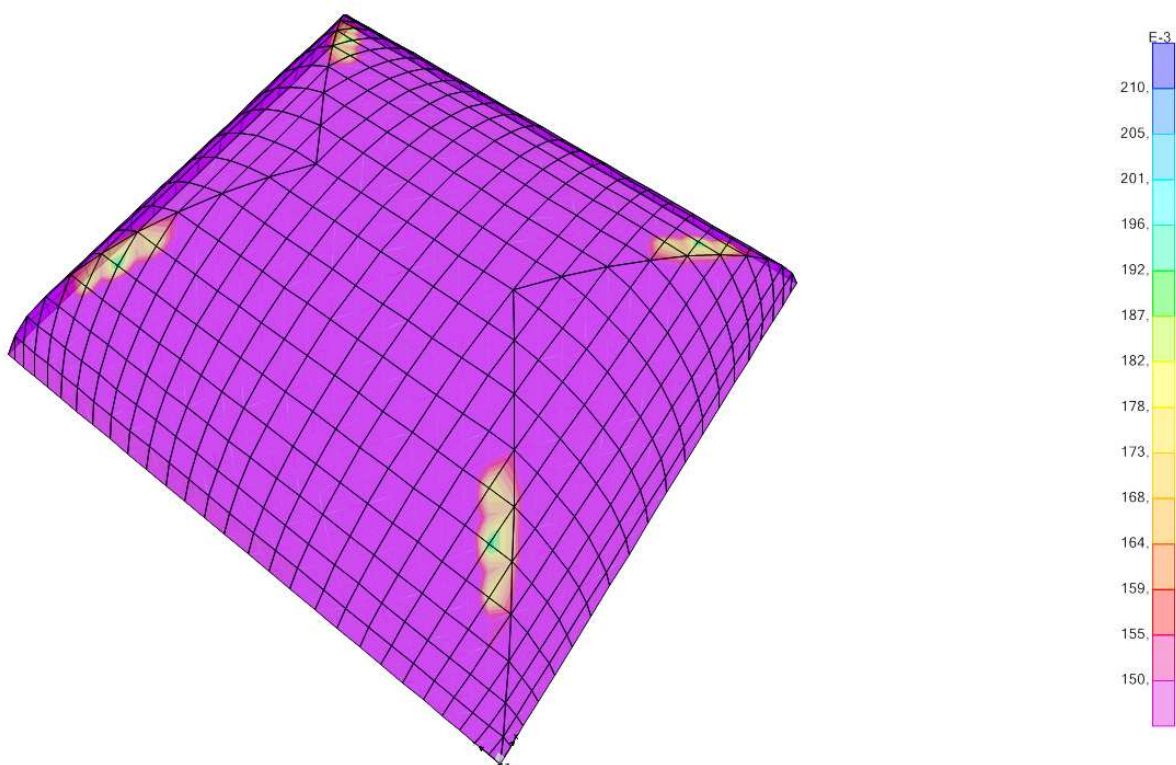
In questo caso le massime sollecitazioni di trazione e di taglio sono di valore non trascurabile e significativamente maggiori di quelle di riferimento.

In particolare il valore massimo della tensione di trazione (2.40 daN/cm²) è nell'ordine di grandezza della tensione a rottura a trazione di una malta di calce di mediocre qualità.

Si procede quindi a verificare quali parti della volta sono interessate da una sollecitazione di trazione con i valori compresi fra **$0.00 < S_{max} < 2.40$** e di taglio **$0.15 < S_{Vmax} < 0.21$** .



Sollecitazioni assiali $0.00 < S_{max} < 2.40$



Sollecitazioni di taglio $015 < S_{vmax} < 0.21$

Come era prevedibile le maggiori sollecitazioni si hanno in prossimità delle diagonali del pa-

diglione (brusca variazione di sezione e rigidità) dove si concentrano i maggiori valori di momento flettente (con trazione delle fibre superiori) unitamente a valori relativamente ridotti di azione assiale.

I valori riscontrati rendono, quindi, indispensabile un intervento di rinforzo locale che avrà le stesse modalità (controvolta estradosale) esaminato in precedenza.

Inoltre, data la particolare forma della volta (a botte con testate a padiglione) il cordolo in cca posto sul perimetro del piano d'imposta, permetterà una "cerchiatura" della volta stessa e un ottimo collegamento fra le murature perimetrali.

Anche in questo caso, infine, il carico complessivo trasmesso dalla volta verrà ridotto in quanto la somma dei carichi verticali (compreso il carico variabile) per la volta in esame è pari a **43562 daN** allo SLE e **57131 daN** allo SLU, di contro con gli interventi proposti i valori analoghi sono di **38.229 daN** per SLE e **50197 daN** per SLU

5.11 Analisi dei carichi volta in cls.

Considerando i materiali previsti in progetto avremo:

- volta in muratura 0.15x1800		270 daN/mq
- soletta in c.c.a.		225 daN/mq
- pavimento e formazione di pendenza		100 daN/mq
	G_k	595 daN/mq

carico variabile copertura **100 daN/mq**

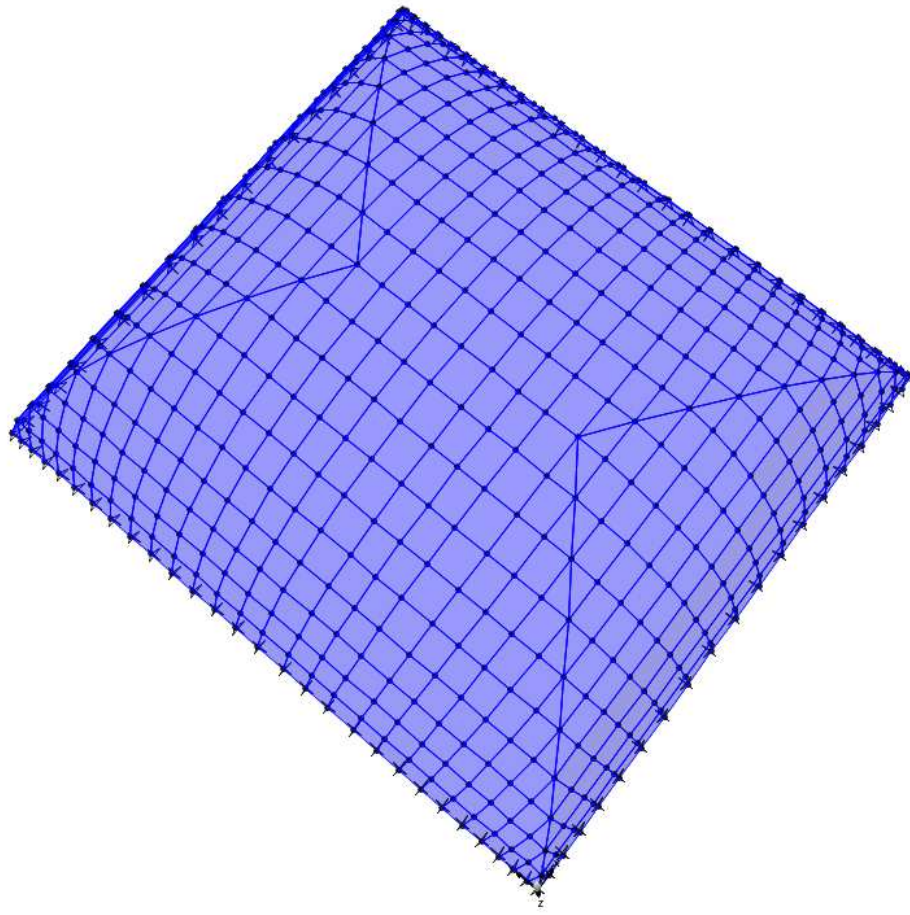
Q_k

Il peso proprio della controvolta in cls viene considerato automaticamente dal programma di calcolo e il rinfiacco in cls alleggerito viene valutato considerando lo spessore medio dello stesso moltiplicato per il peso specifico di 800 daN/mc.

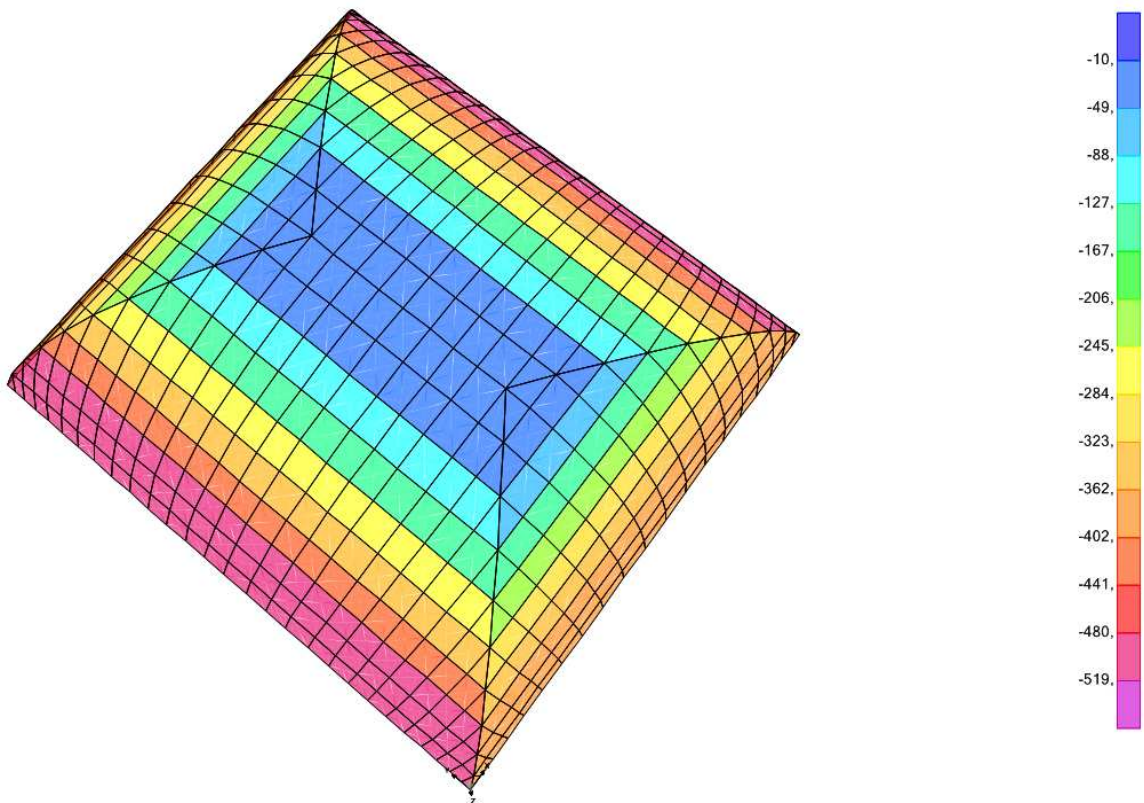
I carichi elencati verranno considerati, per la verifica allo S.L.U., con la seguente combinazione: $F_d = \gamma_g \cdot G_k + \gamma_q \cdot Q_k$ con $\gamma_g=1.3$ e $\gamma_q=1.5$

Si riportano due immagini grafiche che rappresentano lo schema statico ed il valore, riportato alla proiezione orizzontale dei vari elementi, del carico trasmesso dal rinfiacco in cls alleggerito.

Si precisa inoltre che, come in precedenza, la volta viene esaminata, a favore della stabilità, come costituita dal solo calcestruzzo al quale è applicata la totalità dei carichi (compreso il p.p. della volta in muratura) in quanto è di difficile e incerta determinazione l'effettiva collaborazione fra i due strati della volta (mattoni-cls).



Modello a elementi finiti

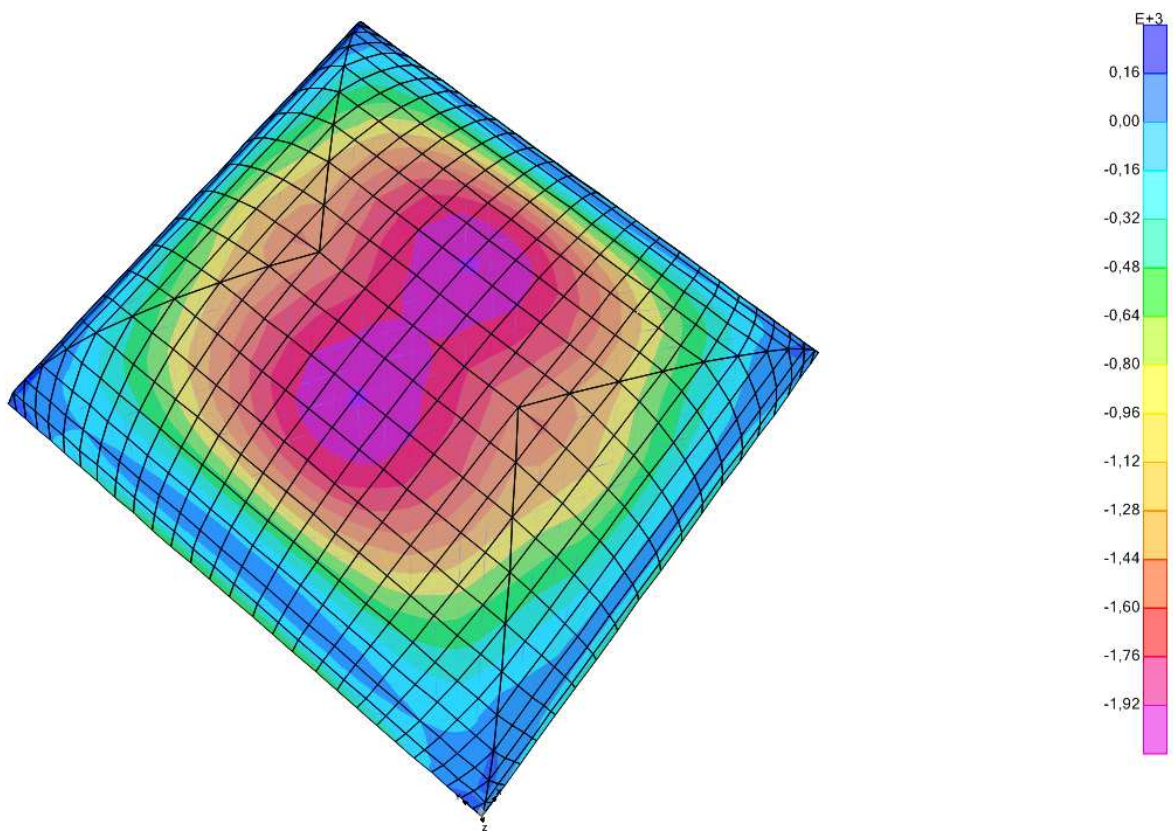


Schema carichi cls di rinfianco

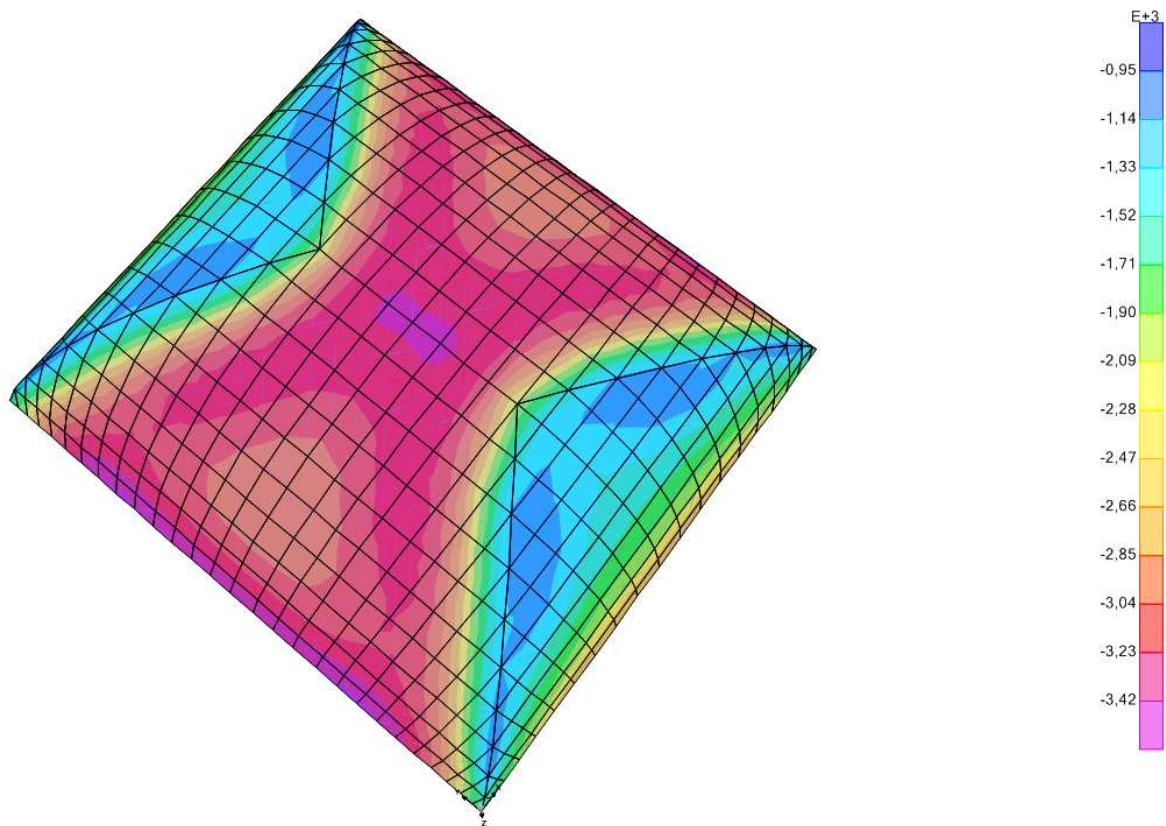
5.12 Risultati dell'analisi statica

Sempre con riferimento alle convenzioni di segno, orientamento degli assi, unità di misura ecc. precedentemente descritte si riportano alcune tavole grafiche con la rappresentazione dei risultati.

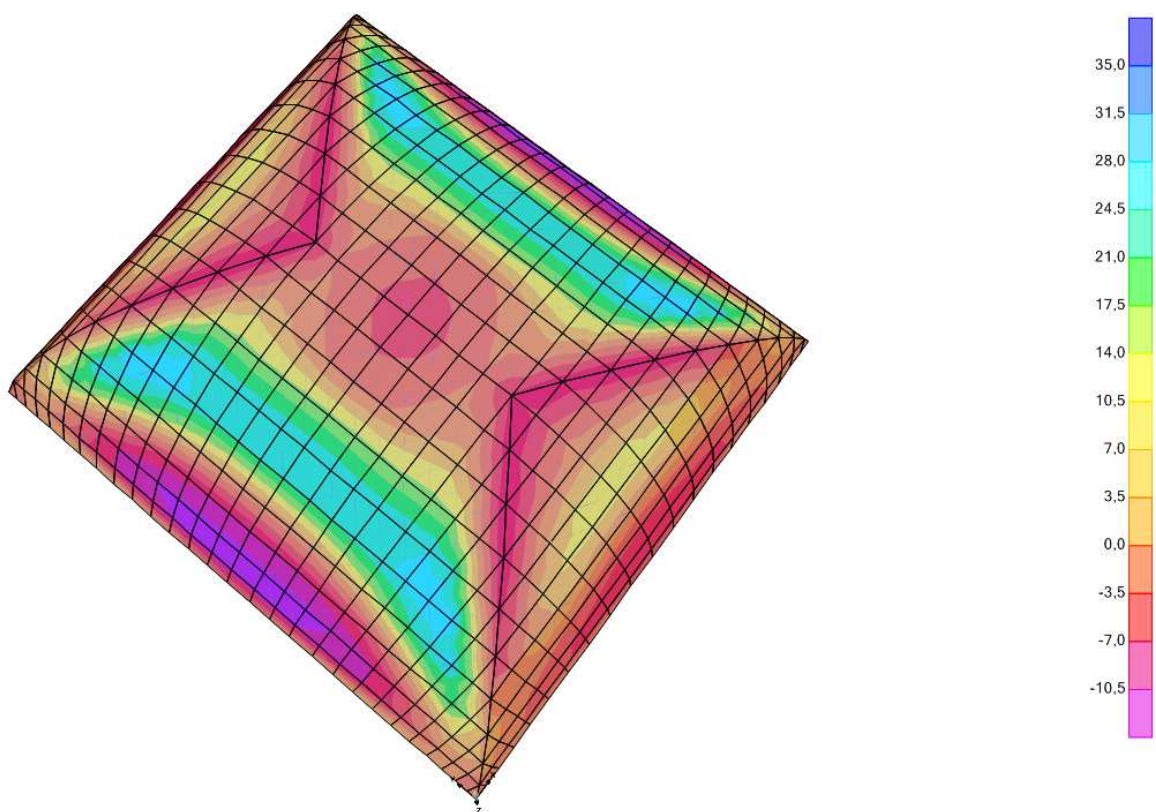
Per brevità si riportano le tavole più indicative.



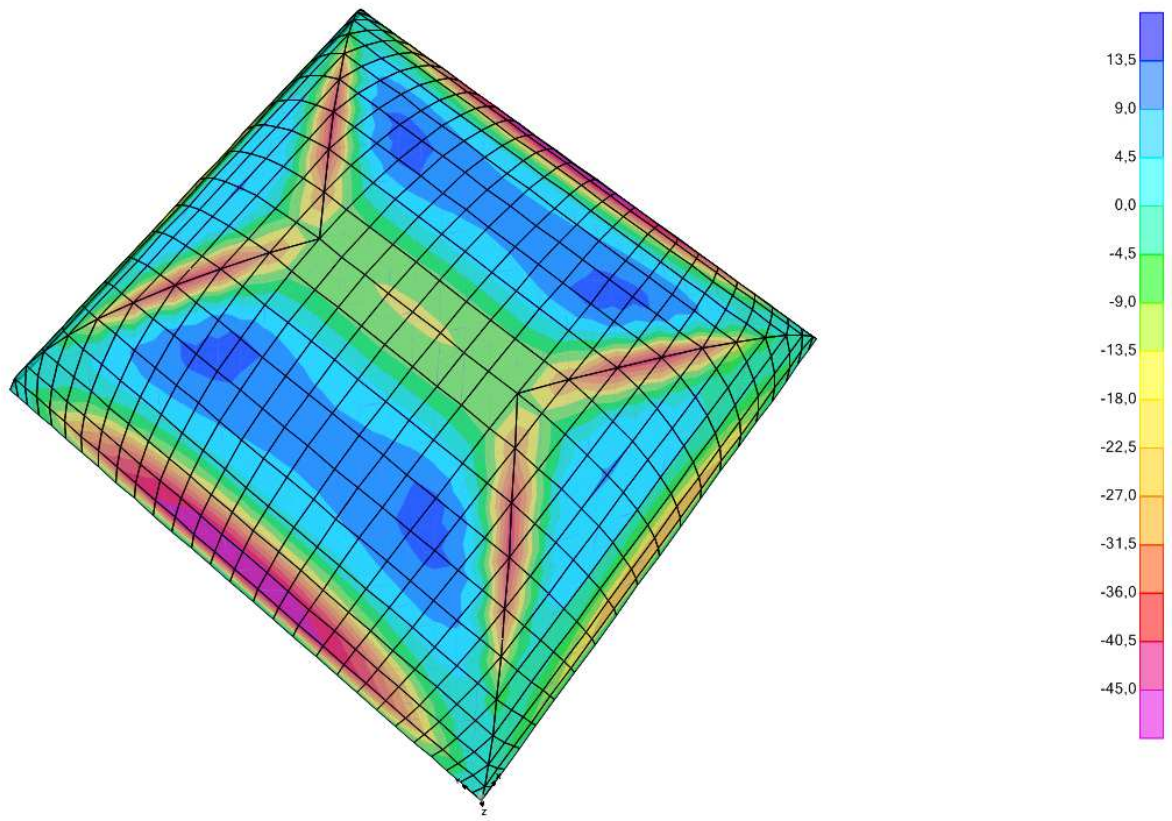
Azioni normali F_{max}



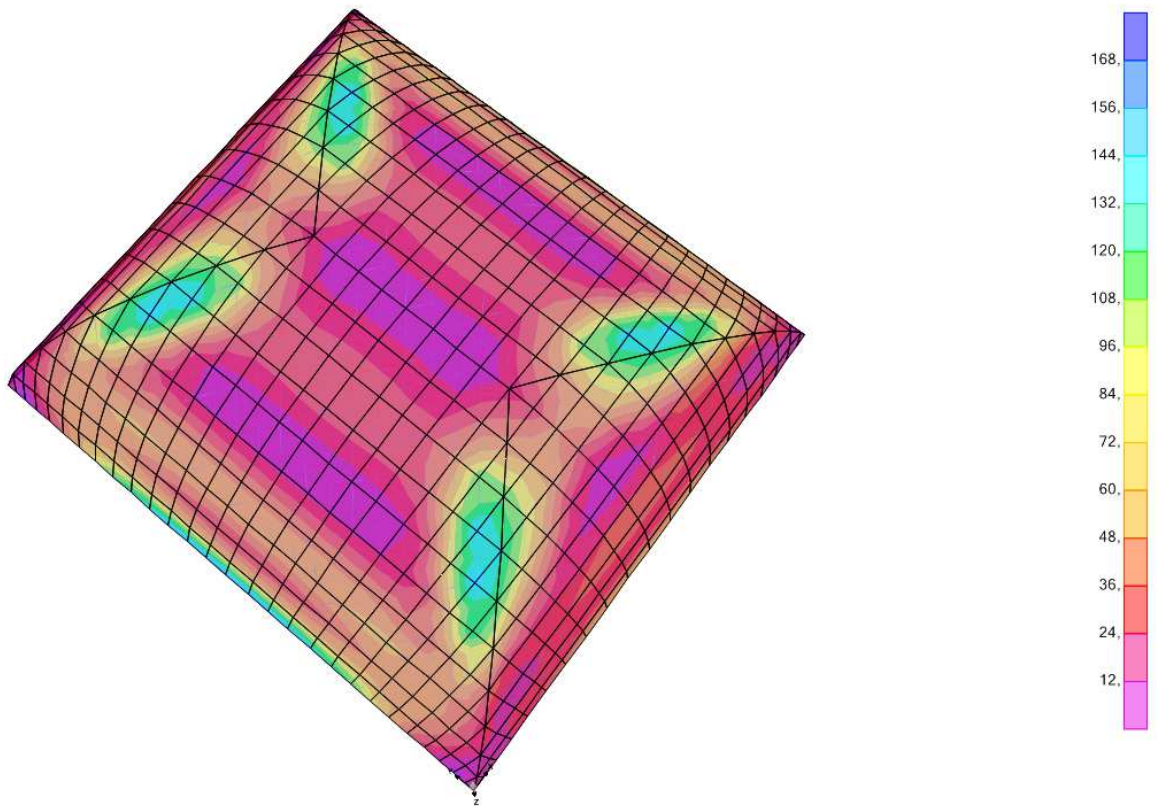
Azioni normali F_{min}



Azioni flettenti M_{max}

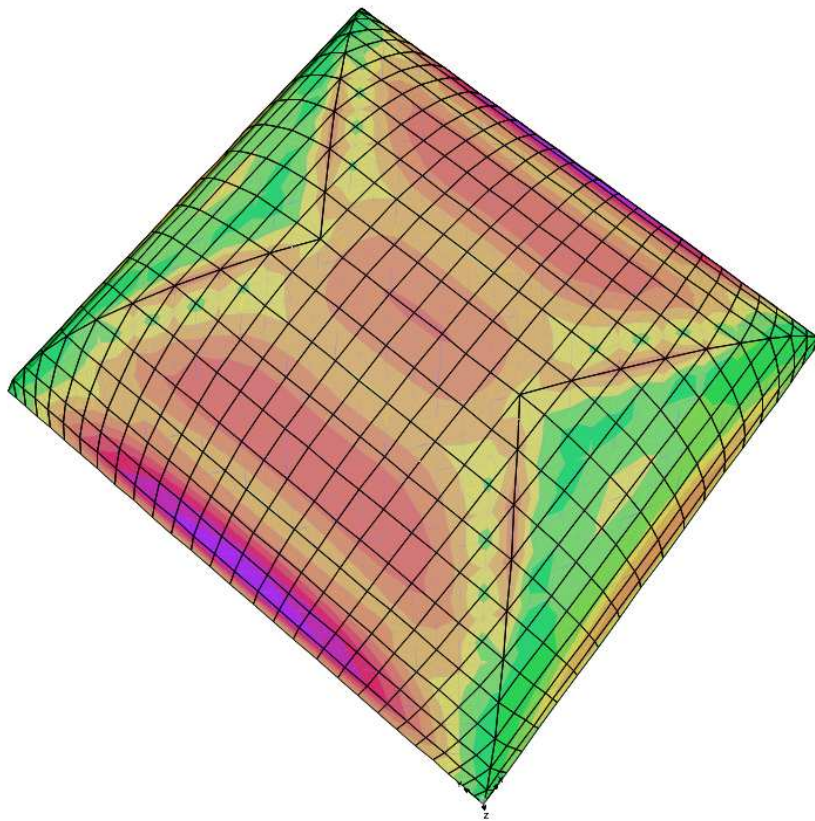


.Azioni flettenti M_{min}

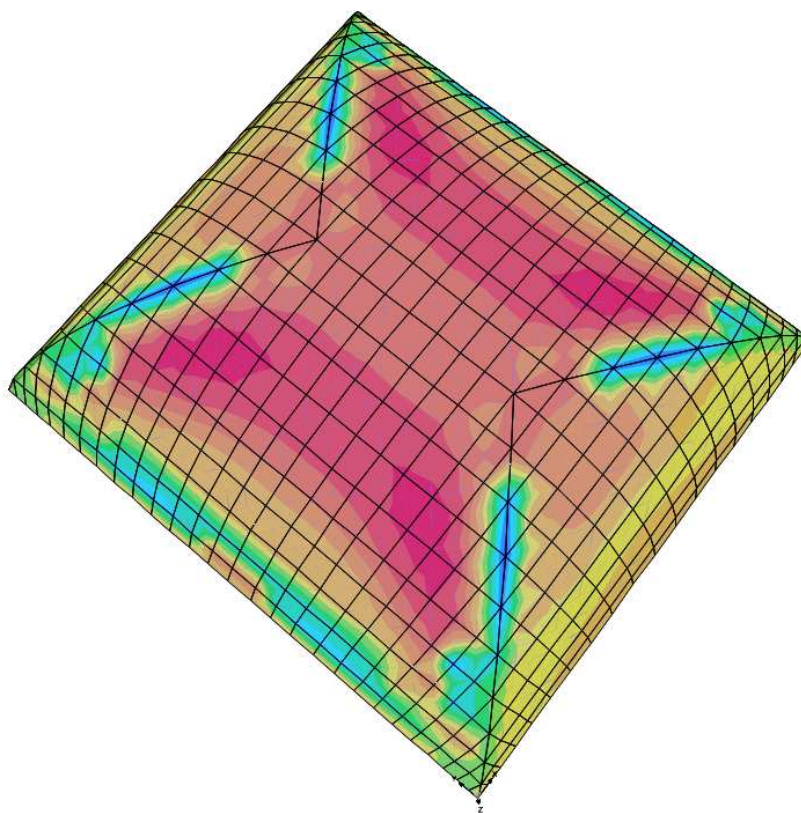


Azioni taglianti V_{max}

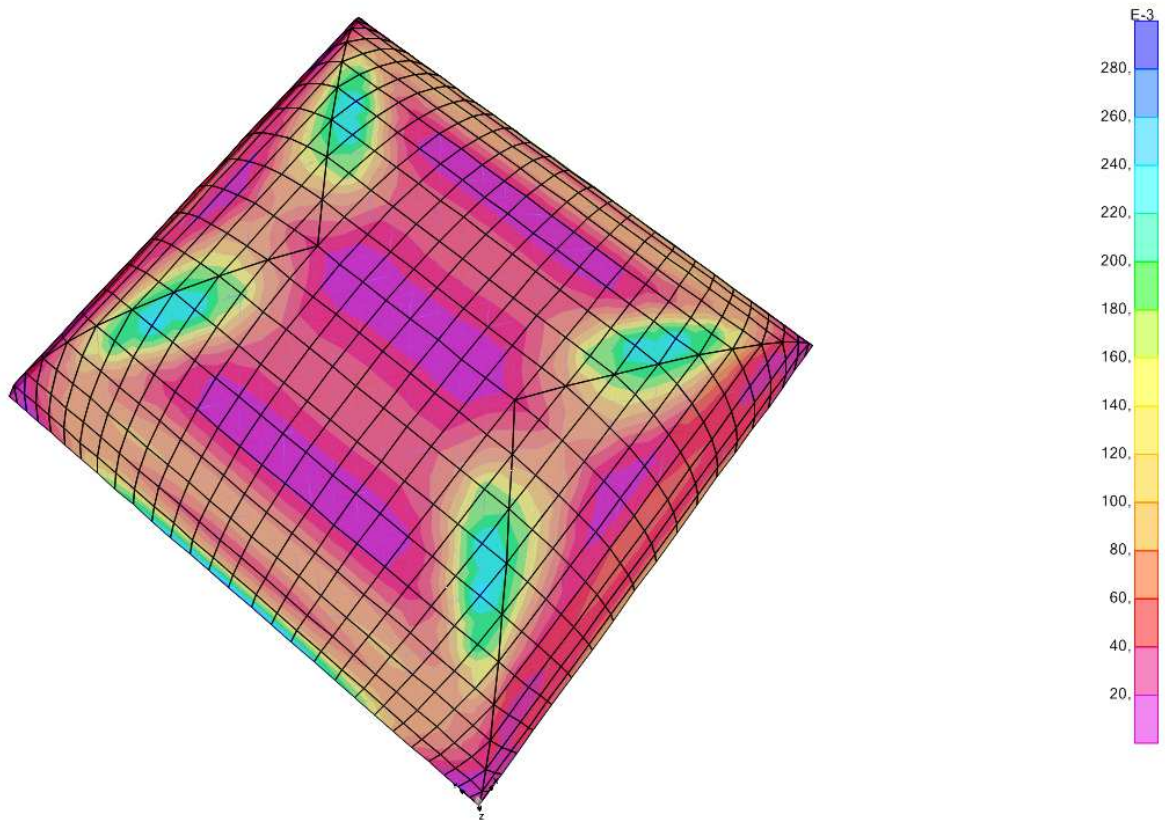
Come in precedenza si riportano le rappresentazioni grafiche delle sollecitazioni massime e minime secondo le direzioni principali.



Sollecitazioni assiali S_{min}



Sollecitazioni assiali S_{max}



Sollecitazioni di taglio S_{Vmax}

I valori massimi rilevati sono quindi :

- Sollecitazione assiale massima di compressione **$S_{max} \approx -12.10 \text{ daN/cm}^2 < -117.60$**
- Sollecitazione assiale massima di trazione **$S_{max} \approx 5.10 \text{ daN/cm}^2 < 10.60$**
- Sollecitazione massima di taglio **$S_{Vmax} \approx 0.28 \text{ daN/cm}^2 < 5.33$**

Notevolmente minori di quelli di norma.

il tecnico
(Ing. Riccardo Terziani)