



**Regione Lombardia**

UFFICIO TERRITORIALE REGIONALE  
VAL PADANA - SEDE DI MANTOVA

LAVORI URGENTI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA DI UN TRATTO  
DEL CANALE GARDESANA ALL'INTERSEZIONE CON LA S.P.249  
NELL'ABITATO DI ROVERBELLA (MN)

## PROGETTO ESECUTIVO

**ELENCO ELABORATI:**

CALCOLI ESECUTIVI DELLE STRUTTURE  
E DEGLI IMPIANTI

**ELABORATO:**

2

**DATA:** AGOSTO 2017

**RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:** DOTT. PAOLO ILDO BACCOLO

**GRUPPO DI PROGETTAZIONE**

Arch. Eligio Fabio Salardi

Arch. Patrizia Spazzini

# CALCOLO ESECUTIVI DELLE STRUTTURE

## INDICE

---

<b>1</b>	<b>CALCOLI ESECUTIVI DELLE STRUTTURE E DEGLI IMPIANTI.....</b>	<b>2</b>
1.1.	PREMESSA.....	2
1.2.	DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA E CRITERI GENERALI DI PROGETTAZIONE, ANALISI E VERIFICA. ....	3
1.3.	QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO ADOTTATO. ....	4
1.3.1.	<i>Norme di riferimento adottato</i> .....	4
1.4.	AZIONI DI PROGETTO SULLA COSTRUZIONE.....	4
1.5.	MODELLO NUMERICO. ....	9
1.5.1.	<i>Modellazione della geometria e delle proprietà meccaniche.</i> .....	14
1.5.2.	<i>Modellazione dei vincoli interni ed esterni</i> .....	23
1.5.3.	<i>Modellazione delle azioni</i> .....	24
1.6.	PRINCIPALI RISULTATI .....	26
1.6.1.	<i>Deformate e sollecitazioni per condizioni di carico</i> .....	26
1.6.2.	<i>Inviluppo delle sollecitazioni maggiormente significative</i> .....	29
1.6.3.	<i>Reazioni vincolari</i> .....	34
1.7.	GIUDIZIO MOTIVATO DI ACCETTABILITÀ DEI RISULTATI .....	36
1.8.	VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI.....	37

# 1 CALCOLI ESECUTIVI DELLE STRUTTURE E DEGLI IMPIANTI

## 1.1. Premessa.

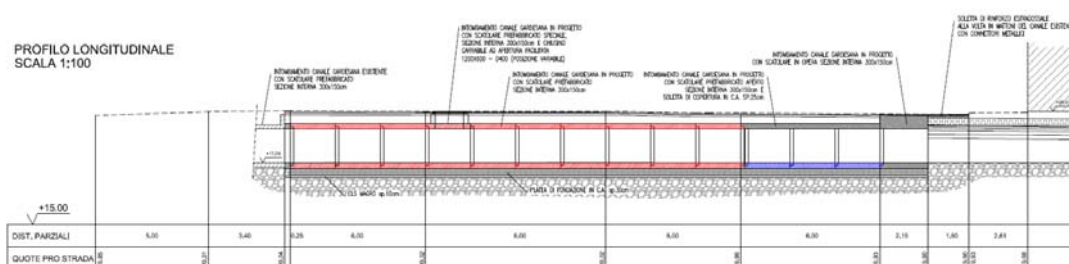
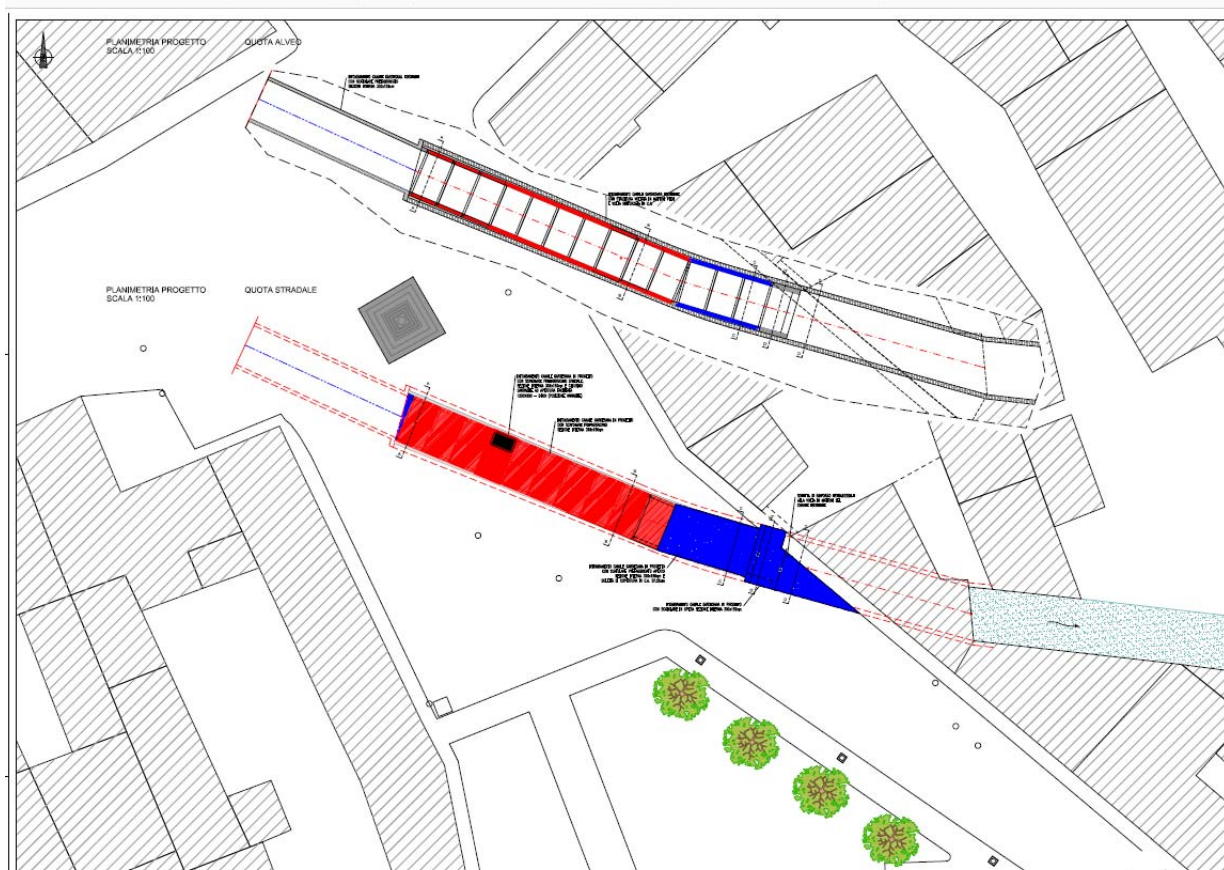


L'area si trova all'interno del centro abitato di Roverbella all'incrocio tra la SP 249 e la SP 17. Sull'incrocio dove è anche presente un monumento dedicato ai caduti di tutte le guerre, si affacciano edifici residenziali, edifici commerciali (pasticceria, edicola) oltre alla chiesa del paese. Il traffico veicolare è oggi stato fortemente ridotto a causa del cedimento di un tratto di volta del canale che ha di fatto comportato la chiusura di un senso di marcia della SP 249. Il traffico pedonale e ciclabile risulta ancora presente e soprattutto in determinate occasioni risulta anche intenso (messe domenicali ed eventi religiosi). Al di là della SP 17 si affaccia la residenza comunale e i traffici veicolare non sono mutati. E' presumibile la presenza di molteplici servi interrate in corrispondenza della futura area di cantiere, mentre non si sono rilevate linee aeree.

## 1.2. Descrizione generale dell'opera e criteri generali di progettazione, analisi e verifica.

### • Descrizione generale dell'opera.

Il lavoro consiste nell'apertura a cielo aperto di un tratto di canale dal marciapiede sul lato nord della piazza fino all'inizio del tratto intombato con uno scatolare in c.a. prefabbricato sul lato sud della piazza stessa. Verrà inserito un nuovo scatolare chiuso prefabbricato partendo da quello esistente e proseguendo nel tratto terminale con uno scatolare aperto e relativa soletta gettata in opera. In adiacenza al fabbricato costruito sul canale stesso verrà realizzato uno scatolare tutto realizzato in opera per permettere l'opera di raccordo con il marciapiede esistente ed il consolidamento del tratto di volta interessato. Una volta riposizionati i sottoservizi che potranno essere inglobati nei getti delle solette in opera si provvederà a realizzare il nuovo pacchetto stradale.





## ***Criteri generali di analisi e verifica***

### ***– Metodo di calcolo agli stati limite***

In generale ai fini della sicurezza sono stati adottati i criteri contemplati dal metodo semiprobabilistico agli stati limite. In particolare si verificheranno i requisiti per la sicurezza allo stato limite ultimo (anche sotto l'azione sismica) ed allo stato limite di esercizio. Per quanto riguarda le azioni sismiche verranno anche esaminate le deformazioni relative.

### ***– Verifiche struttura in fondazione***

Le fondazioni verranno verificate sia nel caso statico che nel caso sismico; nel caso statico verranno riportati i diagrammi delle tensioni sul terreno allo SLU.

### ***– Verifica struttura in elevazione***

Verranno eseguite invece le verifiche di resistenza e di deformabilità delle pareti e delle solette in c.a.; in particolare verrà impostata l'armatura minima di normativa e verrà indicata l'armatura aggiuntiva necessaria per il soddisfacimento delle verifiche sia allo stato limite ultimo che di esercizio. Per maggiore leggibilità si riporteranno solo i diagrammi principali senza i tabulati di calcolo che saranno comunque allegati in apposito documento. Si evidenzia come lo scatolare e le solette verranno calcolate per carichi stradali di 1° categoria.

## ***1.3. Quadro normativo di riferimento adottato.***

### ***1.3.1. Norme di riferimento adottato***

- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274, G.U. n.105 8 maggio 2003: "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" e s.m.i..
- D.M. 14/01/2008: "Nuove Norme Tecniche per le costruzioni".
- Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 – Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove Norme tecniche per le costruzioni".

## ***1.4. Azioni di progetto sulla costruzione.***

In accordo con le Nuove Norme Tecniche del 2008 sono stati valutati i carichi agenti sulle strutture; i valori dei parametri sismici e dei coefficienti del terreno sono quelli indicati nei capitoli precedenti.

### ***• Peso proprio***

$$P = Vol \cdot \gamma_{cls}$$

dove:

*Vol*: volume dei setti in conglomerato armato (m<sup>3</sup>);

$\gamma_{cls} = 25 \text{ kN/m}^3$  peso specifico del conglomerato armato.

Viene calcolato automaticamente dal software, una volta inserita la geometria della struttura e le proprietà dei materiali.

## DATI DI INGRESSO

Caso:	1	(-)
1 "Livello di falda al di sotto della struttura di sostegno"		
2 "Terreno impermeabile in condizioni dinamiche al di sotto del livello di falda"		
3 "Terreno a elevata permeabilità dinamica al di sotto del livello di falda"		
$\phi$ = angolo di resistenza al taglio del terreno	29.0	(<45°)
$\psi$ = inclinazione rispetto all'orizzontale della parete interna del muro	90.0	(°)
$\beta$ = inclinazione rispetto all'orizzontale della superficie del terreno	0.0	(°)
$\delta$ = angolo di attrito terra-muro	20.0	(°)
$\gamma$ = peso di volume naturale del terreno	20.0	(kN/m <sup>3</sup> )
$\gamma_d$ = peso di volume secco del terreno	20.0	(kN/m <sup>3</sup> )
$\gamma_w$ = peso di volume dell'acqua	10.0	(kN/m <sup>3</sup> )
$k_h$ = coefficiente sismico orizzontale (I° cat.: $K_h=0.10$ II° cat.: $K_h=0.07$ III° cat.: $K_h=0.04$ )	0.040	(-)
$k_v$ = coefficiente sismico verticale	0.000	(-)

## RISULTATI

### Condizioni statiche

○ Muller-Breslau (sup. rottura piane)	$k_a$	0.31
consigliato per la sola spinta attiva	$k_p$	5.76
○ Caquot-Kerisel (sup. rottura curvilinee)	$k_a$ : vedi grafico allegato	
	$k_p$ , grafico	5.83
	$k_p$ , ridotto	5.12

### Condizioni sismiche (Mononobe-Okabe)

$k_a$	0.33
$k_p$	2.81

### • Spinta attiva del terreno (combinazione statica)

La spinta attiva dovuta alla presenza di terreno a tergo dell'opera viene inserita come un carico a pressione variabile agente in direzione ortogonale alle pareti in elevazione che costituiscono le pareti del manufatto. La pressione in sommità assume un valore pari a  $p_i = 0 \text{ kN/m}^2$ , in corrispondenza della fondazione  $p_f = K_a \cdot \gamma_t \cdot H_m = 14.26 \text{ kN/m}^2$ .

dove:

$H_m = 2.30 \text{ m}$  altezza del terreno arrotondata rispetto alla mezzeria della soletta di fondo

$K_a = 0.31$  coefficiente di spinta attiva cautelativo (con  $\phi=29^\circ$  e  $\gamma_t = 20.0 \text{ kN/m}^3$ ), calcolato mediante la relazione di Coulomb con estensione di Muller Breslau.

- **Spinta attiva del terreno (combinazione sismica)**

In presenza dell'azione sismica la formula della pressione al piede del manufatto si modifica nel seguente modo:  $p_f = K_a \cdot \gamma_t \cdot H_m \cdot (1 \pm k_v) = 15.18 \text{ kN/m}^2$ .

dove:

$K_a = 0.33$  coefficiente di spinta attiva, calcolato mediante la formula di Mononobe e Okabe

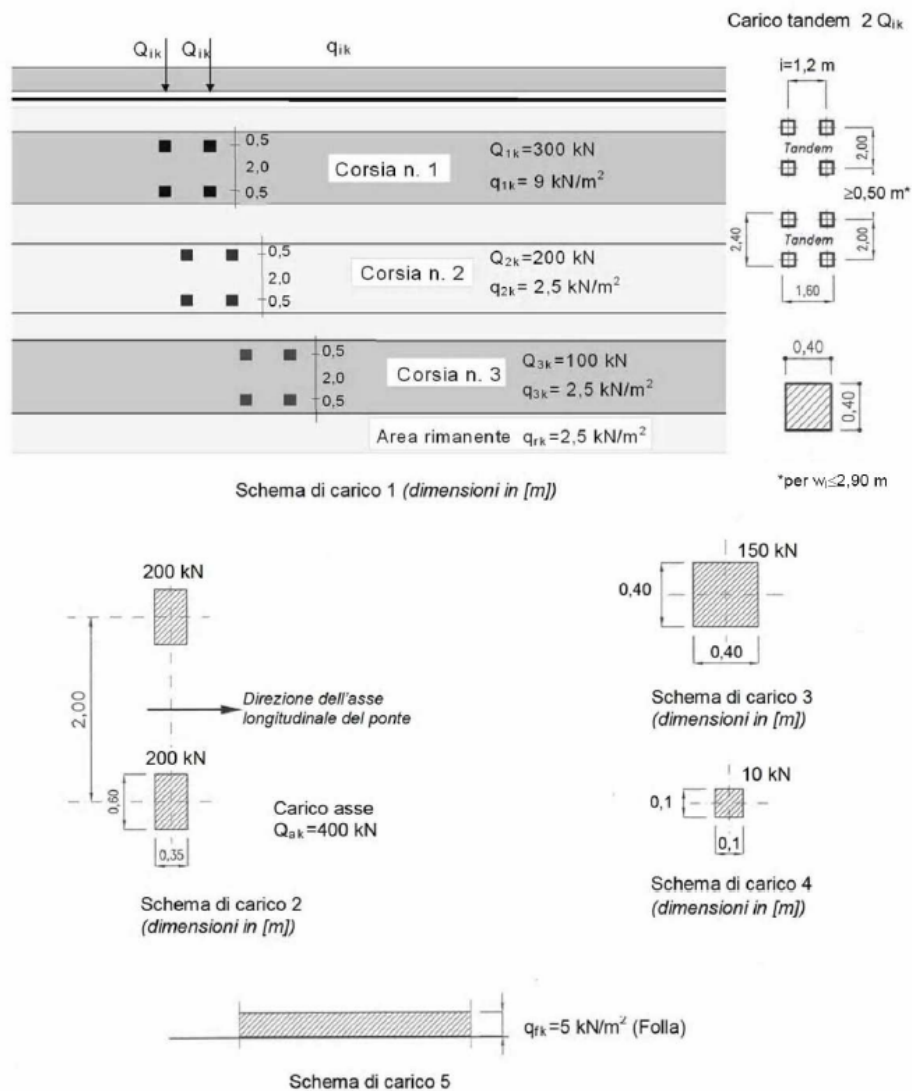
$k_v$  è il coefficiente sismico verticale (trascurato).

- **Carico pacchetto stradale**

Per il sovraccarico del pacchetto stradale si è considerato lo spessore massimo di 55cm tra misto cementato ed asfalto con un peso specifico di 20kN/mc per un totale di 11kN/mq.

- **Carichi stradali**

Si fa riferimento al D.M. 14.01.08 – norme tecniche, di cui si riporta una breve sintesi per completezza di trattazione.



La soletta viene considerata di 1a Categoria: ponti per il transito dei carichi mobili sopra indicati con il loro intero valore.

Si trascurano in quanto non rilevanti rispetto ai carichi stradali di normativa l'effetto della neve, della temperatura visto il consistente ricoprimento, così come la frenata.

- **Azione sismica**

In virtù della regolarità in pianta e altezza della struttura verrà svolta un' **analisi si-smica di tipo statico equivalente** (NTC 2008 par. 7.3.3.2). La forza sismica oriz-zontale assume le seguente espressione:

$$F_h = \frac{S_d(T_1) \cdot W \cdot \lambda}{g}$$

dove:

- $W$ : peso complessivo della costruzione (massa sismica);
- $\lambda$ : coefficiente che, nel caso specifico, assume valore unitario;
- $S_d(T_1)$ : ordinata dello spettro di risposta di progetto ottenuto moltiplicando lo spettro di risposta elastico corrispondente per  $1/q$ ;
- $q$ : fattore di struttura da utilizzare in ciascuna direzione dell'azione sismica, dipende dalla tipologia strutturale, dal suo grado di iperstaticità e dai criteri di progettazione adottati. Nel caso specifico è pari a  $1.0$ .
- $T_1$ : periodo del modo di vibrare principale;
- $g$ : accelerazione di gravità.

**FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO**

☒ Ricerca per coordinate    LONGITUDINE: 10.76912    LATITUDINE: 45.26641

☐ Ricerca per comune    REGIONE: Lombardia    PROVINCIA: Mantova    COMUNE: Roverbella

Elaborazioni grafiche  
 Grafici spettri di risposta  
 Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche  
 Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito

Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo  
☐ Sito esterno al reticolo  
☐ Interpolazione su 3 nodi  
☒ Interpolazione corretta

Interpolazione  
 superficie rigata

INTRO    **FASE 1**    FASE 2    FASE 3



## FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) -  $V_N$   info  
 Coefficiente d'uso della costruzione -  $c_U$   info

**Valori di progetto**  
 Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) -  $V_R$   info  
 Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) -  $T_R$  info  
 Stati limite di esercizio - SLE {
 

SLO -  $P_{VR} = 81\%$    
 SLD -  $P_{VR} = 63\%$    
 SLV -  $P_{VR} = 10\%$    
 SLC -  $P_{VR} = 5\%$

**Elaborazioni**  
 Grafici parametri azione ☐  
 Grafici spettri di risposta ☐  
 Tabella parametri azione ☐

**Strategia di progettazione**

**LEGENDA GRAFICO**  
 - - - - - Strategia per costruzioni ordinarie  
 - - - - - Strategia scelta

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

**Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_C^*$  per i periodi di ritorno  $T_R$  associati a ciascuno SL**

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_C^*$ [s]
SLO	30	0.036	2.516	0.225
SLD	50	0.045	2.511	0.259
SLV	475	0.121	2.473	0.283
SLC	975	0.160	2.478	0.283

## FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

**Stato Limite**  
 Stato Limite considerato SLV info

**Risposta sismica locale**  
 Categoria di sottosuolo B info  
 Categoria topografica T1 info  

$S_s = 1.200$   
 $h/H = 0.000$   
(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

$C_c = 1.416$  info  
 $S_T = 1.000$  info

**Compon. orizzontale**  
☐ Spettro di progetto elastico (SLE)  $\xi = 5$   
☒ Spettro di progetto inelastico (SLU) Fattore  $q_o = 1$  Regol. in altezza sì info

**Compon. verticale**  
 Spettro di progetto Fattore  $q = 1$   $\eta = 1.000$  info

**Elaborazioni**  
 Grafici spettri di risposta ☐  
 Parametri e punti spettri di risposta ☐

**Spettri di risposta**

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

Secondo quanto riportato nella relazione sismica allegata si utilizza l'accelerazione sismica massimo ottenuta dalla risposta sismica locale pari 0.147g.

### **1.5. Modello numerico.**

La struttura e il suo comportamento sotto le azioni statiche e dinamiche è stata adeguatamente valutata, interpretata e trasferita nel modello che si caratterizza per la sua impostazione completamente tridimensionale. A tal fine ai nodi strutturali possono convergere diverse tipologie di elementi, che corrispondono nel codice numerico di calcolo in altrettante tipologie di elementi finiti. Le pareti, le piastre, le platee ovvero in generale i componenti strutturali bidimensionali, con due dimensioni prevalenti sulla terza (lo spessore), sono stati modellati con elementi "shell" a comportamento flessionale e membranale. I vincoli con il mondo esterno vengono rappresentati, nei casi più semplici (apparecchi d'appoggio, cerniere, carrelli), con elementi in grado di definire le modalità di vincolo e le rigidità nello spazio. Questi elementi, coniugati con i precedenti, consentono di modellare i casi più complessi ma più frequenti di interazione con il terreno, realizzabile tipicamente mediante fondazioni, pali, platee nonché attraverso una combinazione di tali situazioni.

I parametri dei materiali utilizzati per la modellazione riguardano il modulo di Young, il coefficiente di Poisson, ma sono disponibili anche opzioni per ridurre la rigidità flessionale e tagliente dei materiali per considerare l'effetto di fenomeni fessurativi nei materiali. Il calcolo viene condotto mediante analisi lineare.

Si ritiene che il modello utilizzato sia rappresentativo del comportamento reale della struttura.

**Sono stati realizzati due modelli, uno per la struttura prefabbricata con lo scopo di dare le armature minime considerando che poi sarà la ditta produttrice a dimensionare il manufatto secondo la propria produzione e un modello per lo scatolare aperto per valutare la soletta superiore semplicemente appoggiata.**

Per la risoluzione completa della struttura si è utilizzata la versione 2016 SP1 del programma agli elementi finiti Mastersap (prodotto dalla AMV srl di Ronchi dei Legionari – GO).

Il modello viene generalmente utilizzato per la verifica delle membrane bidimensionali e per la verifica sismica, utilizzando l'analisi statica equivalente, sia per le deformazioni che per le sollecitazioni. In generale le geometrie utilizzate (interassi delle membrane e sezioni) coincidono con quelle reali dei corrispondenti elementi, i carichi applicati (come pressioni applicate sugli elementi bidimensionali) sono quelli dedotte dalla tabella di analisi dei carichi, mentre i pesi propri vengono sempre messi in conto automaticamente dal programma.

Per completezza si riportano i tabulati di input (comprendenti geometrie, materiali, carichi e condizioni di carico), le immagini delle verifiche SLU-SLE nonché lo schema del modello, della numerazione degli elementi e la visualizzazione sintetica delle sollecitazioni principali.

L'azione statica e l'azione sismica sono state applicate alla struttura in conformità alle disposizioni delle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14.01.2008).

L'azione statica è stata calcolata attraverso un'analisi statica lineare mentre l'azione sismica è calcolata mediante analisi lineare statica equivalente.

Le verifiche verranno eseguite con il metodo semiprobabilistico agli stati limite.

- **Codice di calcolo adottato, solutore e affidabilità dei risultati**

In base a quanto richiesto al par. 10.2 del D.M. 14.01.2008 (Norme Tecniche per le Costruzioni) il produttore e distributore Studio Software AMV s.r.l. espone la seguente relazione riguardante il solutore numerico e, più in generale, la procedura di analisi e dimensionamento MasterSap. Si fa presente che sul proprio sito ([www.amv.it](http://www.amv.it)) è disponibile sia il manuale teorico del solutore sia il documento comprendente i numerosi esempi di validazione. Essendo tali documenti (formati da centinaia di pagine) di pubblico dominio, si ritiene pertanto sufficiente proporre una sintesi, sia pure adeguatamente esauriente, dell'argomento.

Il motore di calcolo adottato da MasterSap, denominato LiFE-Pack, è un programma ad elementi finiti che permette l'analisi statica e dinamica in ambito lineare e non lineare, con estensioni per il calcolo degli effetti del secondo ordine.

Il solutore lineare usato in analisi statica ed in analisi modale è basato su un classico algoritmo di fattorizzazione multifrontale per matrici sparse che utilizza la tecnica di condensazione supernodale ai fini di velocizzare le operazioni. Prima della fattorizzazione viene eseguito un riordino simmetrico delle righe e delle colonne del sistema lineare al fine di calcolare un percorso di eliminazione ottimale che massimizza la sparsità del fattore.

Il solutore modale è basato sulla formulazione inversa dell'algoritmo di Lanczos noto come Thick Restarted Lanczos ed è particolarmente adatto alla soluzione di problemi di grande e grandissima dimensione ovvero con molti gradi di libertà. L'algoritmo di Lanczos oltre ad essere supportato da una rigorosa teoria matematica, è estremamente efficiente e competitivo e non ha limiti superiori nella dimensione dei problemi, se non quelli delle risorse hardware della macchina utilizzata per il calcolo.

Per la soluzione modale di piccoli progetti, caratterizzati da un numero di gradi di libertà inferiore a 500, l'algoritmo di Lanczos non è ottimale e pertanto viene utilizzato il classico solutore modale per matrici dense simmetriche contenuto nella ben nota libreria LAPACK.

L'analisi con i contributi del secondo ordine viene realizzata aggiornando la matrice di rigidezza elastica del sistema con i contributi della matrice di rigidezza geometrica.

Un'estensione non lineare, che introduce elementi a comportamento multilineare, si avvale di un solutore incrementale che utilizza nella fase iterativa della soluzione il metodo del gradiente coniugato preconditionato.

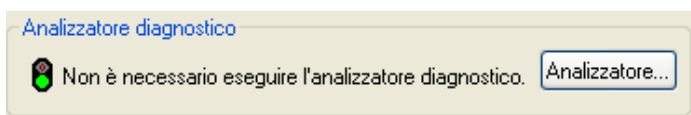
Grande attenzione è stata riservata agli esempi di validazione del solutore. Gli esempi sono stati tratti dalla letteratura tecnica consolidata e i confronti sono stati realizzati con i risultati teorici e, in molti casi, con quelli prodotti, sugli esempi stessi, da prodotti internazionali di comparabile e riconosciuta validità. Il manuale di validazione è disponibile sul sito [www.amv.it](http://www.amv.it).

E' importante segnalare, forse ancora con maggior rilievo, che l'affidabilità del programma trova

riscontro anche nei risultati delle prove di collaudo eseguite su sistemi progettati con MasterSap. I verbali di collaudo (per alcuni progetti di particolare importanza i risultati sono disponibili anche nella letteratura tecnica) documentano che i risultati delle prove, sia in campo statico che dinamico, sono corrispondenti con quelli dedotti dalle analisi numeriche, anche per merito della possibilità di dar luogo, con MasterSap, a raffinate modellazioni delle strutture.

In MasterSap sono presenti moltissime procedure di controllo e filtri di autodiagnostica. In fase di input, su ogni dato, viene eseguito un controllo di compatibilità. Un ulteriore procedura di controllo può essere lanciata dall'utente in modo da

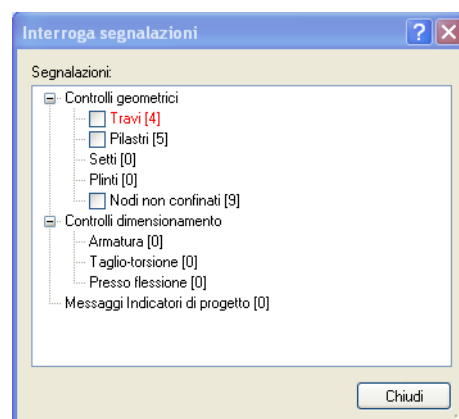
individuare tutti gli errori gravi o gli eventuali difetti della modellazione. Analoghi controlli



vengono eseguiti da MasterSap in fase di calcolo prima della preparazione dei dati per il solutore. I dati trasferiti al solutore sono facilmente consultabili attraverso la lettura del file di input in formato XML, leggibili in modo immediato dall'utente.

Apposite procedure di controllo sono predisposte per i programmi di dimensionamento per il c.a., acciaio, legno, alluminio, muratura etc.

Tali controlli riguardano l'esito della verifica: vengono segnalati, per via numerica e grafica (vedi esempio a fianco), i casi in contrasto con le comuni tecniche costruttive e gli errori di dimensionamento (che bloccano lo sviluppo delle fasi successive della progettazione, ad esempio il disegno esecutivo). Nei casi previsti dalla norma, ad esempio qualora



contemplato dalle disposizioni sismiche in applicazione, vengono eseguiti i controlli sulla geometria strutturale, che vengono segnalati con la stessa modalità dei difetti di progettazione.

Ulteriori funzioni, a disposizione dell'utente, agevolano il controllo dei dati e dei risultati. E' possibile eseguire una funzione di ricerca su tutte le proprietà (geometriche, fisiche, di carico etc) del modello individuando gli elementi interessati.

Si possono rappresentare e interrogare graficamente, in ogni sezione desiderata, tutti i risultati dell'analisi e del dimensionamento strutturale. Nel caso sismico viene evidenziata la posizione del centro di massa e di rigidezza del sistema.

Per gli edifici è possibile, per ogni piano, a partire delle fondazioni, conoscere la risultante delle azioni verticali orizzontali. Analoghi risultati sono disponibili per i vincoli esterni.

- **Attestato dell'affidabilità del codice di calcolo e delle procedure implementate nei prodotti Software "AMV"**

**Attestato dell'affidabilità del codice di calcolo e delle procedure implementate nei prodotti software AMV  
In base al paragrafo 10.2 delle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14.01.2008 e successivi aggiornamenti).**

In base a quanto richiesto al par. 10.2 del D.M. 14/01/2008 (Norme Tecniche per le Costruzioni) il produttore e distributore AMV s.r.l. espone la seguente relazione riguardante il solutore numerico e, più in generale, la procedura di analisi e dimensionamento MasterSap. Si fa presente che sul proprio sito ([www.amv.it](http://www.amv.it)) è disponibile sia il manuale teorico del solutore sia il documento comprendente i numerosi esempi di validazione. Essendo tali documenti (formati da centinaia di pagine) di pubblico dominio, si ritiene sufficiente proporre una sintesi, sia pure adeguatamente esauriente, dell'argomento.

Il motore di calcolo adottato da MasterSap, denominato LiFE-Pack, è un programma ad elementi finiti che permette l'analisi statica e dinamica in ambito lineare e non lineare, con estensioni per il calcolo degli effetti del secondo ordine.

Il solutore lineare usato in analisi statica ed in analisi modale è basato su un classico algoritmo di fattorizzazione multifrontale per matrici sparse che utilizza la tecnica di condensazione supernodale ai fini di velocizzare le operazioni. Prima della fattorizzazione viene eseguito un riordino simmetrico delle righe e delle colonne del sistema lineare al fine di calcolare un percorso di eliminazione ottimale che massimizza la sparsità del fattore.

Il solutore modale è basato sulla formulazione inversa dell'algoritmo di Lanczos noto come *Thick Restarted Lanczos* ed è particolarmente adatto alla soluzione di problemi di grande e grandissima dimensione ovvero con molti gradi di libertà. L'algoritmo di Lanczos oltre ad essere supportato da una rigorosa teoria matematica, è estremamente efficiente e competitivo e non ha limiti superiori nella dimensione dei problemi, se non quelli delle risorse hardware della macchina utilizzata per il calcolo.

Per la soluzione modale di piccoli progetti, caratterizzati da un numero di gradi di libertà inferiore a 500, l'algoritmo di Lanczos non è ottimale e pertanto viene utilizzato il classico solutore modale per matrici dense simmetriche contenuto nella ben nota libreria LAPACK.

L'analisi con i contributi del secondo ordine viene realizzata aggiornando la matrice di rigidezza elastica del sistema con i contributi della matrice di rigidezza geometrica.

Un'estensione non lineare, che introduce elementi a comportamento multilineare, si avvale di un solutore incrementale che utilizza nella fase iterativa della soluzione il metodo del gradiente coniugato preconditionato.

Grande attenzione è stata riservata agli esempi di validazione del solutore. Gli esempi sono stati tratti dalla letteratura tecnica consolidata e i confronti sono stati realizzati con i risultati teorici e, in molti casi, con quelli prodotti, sugli esempi stessi, da prodotti internazionali di comparabile e riconosciuta validità. Il manuale di validazione è disponibile sul sito [www.amv.it](http://www.amv.it).

E' importante segnalare, forse ancora con maggior rilievo, che l'affidabilità del programma trova riscontro anche nei risultati delle prove di collaudo eseguite su sistemi progettati con MasterSap. I verbali di collaudo (per alcuni progetti di particolare importanza i risultati sono disponibili anche nella letteratura tecnica) documentano che i risultati delle prove, sia in campo statico che dinamico, sono corrispondenti con quelli dedotti dalle analisi numeriche, anche per merito della possibilità di dar luogo, con MasterSap, a raffinate modellazioni delle strutture.

In MasterSap sono presenti moltissime procedure di controllo e filtri di autodiagnostica. In fase di input, su ogni dato, viene eseguito un controllo di compatibilità. Un'ulteriore procedura di controllo può essere lanciata dall'utente in modo da individuare tutti gli errori gravi o gli eventuali difetti della modellazione. Analoghi controlli vengono eseguiti da MasterSap in fase di calcolo prima della preparazione dei dati per il solutore. I dati trasferiti al solutore sono facilmente consultabili attraverso la lettura del file di input in formato XML, leggibili in modo immediato dall'utente.

Apposite procedure di controllo sono predisposte per i programmi di dimensionamento per l'acciaio, legno, alluminio, muratura etc. Tali controlli riguardano l'esito della verifica: vengono segnalati, per via numerica e grafica (vedi esempio a fianco), i casi in contrasto con le comuni tecniche costruttive e gli errori di dimensionamento (che bloccano lo sviluppo delle fasi successive della progettazione, ad esempio il disegno esecutivo). Nei casi previsti dalla norma, ad esempio qualora contemplato dalle disposizioni sismiche in applicazione, vengono eseguiti i controlli sulla geometria strutturale, che vengono segnalati con la stessa modalità dei difetti di progettazione.

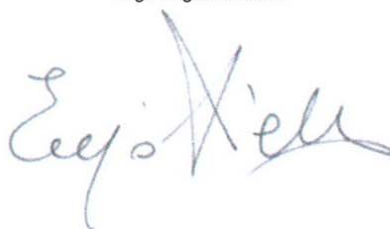
Ulteriori funzioni, a disposizione dell'utente, agevolano il controllo dei dati e dei risultati. E' possibile eseguire una funzione di ricerca su tutte le proprietà (geometriche, fisiche, di carico etc) del modello individuando gli elementi interessati.

Si possono rappresentare e interrogare graficamente, in ogni sezione desiderata, tutti i risultati dell'analisi e del dimensionamento strutturale. Nel caso sismico viene evidenziata la posizione del centro di massa e di rigidezza del sistema.

Per gli edifici è possibile, per ogni piano, a partire dalle fondazioni, conoscere la risultante delle azioni verticali orizzontali. Analoghi risultati sono disponibili per i vincoli esterni.

Le altre procedure di calcolo, oltre a MasterSap, seguono la medesima impostazione teorica e lo stesso procedimento di validazione.

AMV s.r.l.  
Il legale rappresentante  
Ing. Eugenio Aiello



- **Solutore LIFE 1.2. Elementi di teoria.**

Il programma usa il Solutore Life 1.2, impostato secondo i canoni dei codici di calcolo originari della famiglia Sap. Il solutore è stato sottoposto ad una serie intensiva di test di validazione prendendo in esame, come di prassi, casi significativi tratti dalla lette-

ratura scientifica, soluzioni esatte proposte dalla teoria classica, nonché realizzando confronti con solutori di provata affidabilità. Tutti i test significativi sono raccolti in un documento specifico di validazione del solutore (sotto si mostra il indice). Oltre che per l'affidabilità e attendibilità dei risultati, **LIFE** si qualifica per le straordinarie prestazioni in termini di velocità, di assoluta preminenza in campo internazionale.

Il solutore Life 1.2  
Elementi di teoria



AMV s.r.l.  
Via San Lorenzo, 106  
34077 Ronchi dei Legionari (GO)  
E-mail: [info@amv.it](mailto:info@amv.it)

12 gennaio 2006

## Indice

0.1	Premessa	5
1	Caratteristiche generali	7
1.1	Nodi, gradi di libertà e sistemi di riferimento nodali	7
1.2	Masse nodali	10
1.3	Gradi di libertà e vincoli	10
1.3.1	Interventi sui gradi di libertà	11
1.3.2	Relazioni cinematiche complesse tra gradi di libertà	11
1.3.3	Piano rigido	13
1.4	Carichi	19
1.4.1	Condizioni di carico	19
1.4.2	Carichi nodali	19
1.4.3	Carichi elementari	19
1.4.4	Combinazioni di carico	20
2	La libreria di elementi finiti	23
2.1	Generalità	23
2.2	Elemento <i>truss</i> (asta reticolare)	24
2.2.1	Caratteristiche generali	24
2.2.2	Matrice di rigidità	25
2.2.3	Matrice di massa	25
2.2.4	Carichi	25
2.2.5	Sforzi	27
2.3	Elemento <i>frame</i> (travi e pilastri)	28
2.3.1	Caratteristiche generali	28
2.3.2	Il riferimento locale	28
2.3.3	Matrice di rigidità e vettore dei carichi	29
2.3.4	Offsets	31
2.3.5	Connessioni elastiche	34
2.3.6	Sconnessioni	35
2.3.7	Effetto delle connessioni elastiche e delle sconessioni sulla matrice di massa	36
2.3.8	Prescrizione contemporanea di offsets e sconessioni o connessioni elastiche	36
2.4	Elemento <i>shell</i> (guscio - piastra)	37
2.4.1	Caratteristiche generali	37
2.4.2	Materiale e caratteristiche geometriche	38
2.4.3	Carichi	40
2.4.4	Sforzi	41

2.5	Elemento <i>plane4</i> (stato piano di tensione)	42
2.5.1	Caratteristiche generali	42
2.5.2	Stati piani di tensione	42
2.5.3	Stati piani di deformazione	44
2.5.4	Problemi assialsimmetrici	44
2.5.5	Carichi	45
2.5.6	Sforzi	45
2.6	Elemento <i>boundary</i> (vincolo)	46
3	Analisi	49
3.1	Analisi strutturale ad elementi finiti	49
3.2	Analisi statica lineare	50
3.2.1	Il solutore lineare	51
3.3	Analisi Modale associata allo spettro di risposta	52
3.3.1	Analisi dinamica	52
3.3.2	Richiami di teoria	53
3.3.1	Analisi modale associata allo spettro di risposta con LIFE 1.2	59
3.3.1	Analisi dinamica	51
3.4	Analisi statica e modale con i contributi geometrici del secondo ordine	52
4	Appendice	65
4.1	Notazioni e convenzioni	65
4.2	Formato dei files	66
4.3	Carichi applicati ad una trave con conetti rigidi	67
4.4	Calcolo delle caratteristiche di sollecitazione e degli spostamenti nelle travi inflesse	68
4.4.1	Flessione sul piano 1-2	70
4.4.2	Flessione sul piano 1-3	72
4.4.3	Azione normale e momento torcente	74
4.5	Calcolo delle NURBS per la rappresentazione della deformata	74
4.6	TMESH: generatore di mesh piane	77
4.6.1	Introduzione	77
4.6.2	Rappresentazione della superficie	77
4.6.3	Generazione della mesh	79
4.6.4	Rappresentazione della geometria in TMESH	80
4.6.5	Aspetti teorici	82



### 1.5.1. Modellazione della geometria e delle proprietà meccaniche.

#### • Informazioni e caratteristiche di progetto – SCATOLARE CHIUSO

##### INTESTAZIONE E DATI CARATTERISTICI DELLA STRUTTURA

Nome dell'archivio di lavoro	Scatolare
Intestazione del lavoro	
Tipo di struttura	Nello Spazio
Tipo di analisi	Statica sismica equivalente
Tipo di soluzione	Lineare
Unita' di misura delle forze	daN
Unita' di misura delle lunghezze	cm
Normativa	NTC/2008

##### NORMATIVA

Vita nominale costruzione	50 anni
Classe d'uso costruzione	II
Vita di riferimento	50 anni
Spettro di risposta	Stato limite ultimo
Probabilità di superamento periodo di riferimento	10
Tempo di ritorno del sisma	475 anni
Località	roverbella
ag/g	0.147
F0	2.47
Tc	0.28
Categoria del suolo	B
Fattore topografico	1

##### DATI SPETTRO

Eccentricità accidentale	5%
Periodo proprio T1	0.0761 [C1 = 0.05 H = 175]
$\lambda$	1
Fattore q di struttura	$q_{or} = 1$ [ $q_{0X} = 1$ $q_{0Y} = 1$ $k_w = 1$ $K_r = 1$ ]
Duttilità	Bassa Duttilità
Sd (T1)	0.325 g
Coeff. globale accelerazione sismica	0.325

##### INTESTAZIONE E DATI CARATTERISTICI DELLA STRUTTURA

Nome dell'archivio di lavoro	Scatolare
Intestazione del lavoro	
Tipo di struttura	Nello Spazio
Tipo di analisi	Statica sismica equivalente
Tipo di soluzione	Lineare
Unita' di misura delle forze	daN
Unita' di misura delle lunghezze	cm
Normativa	NTC/2008

##### NORMATIVA

Vita nominale costruzione	50 anni
Classe d'uso costruzione	II
Vita di riferimento	50 anni
Spettro di risposta	Stato limite ultimo
Probabilità di superamento periodo di riferimento	10
Tempo di ritorno del sisma	475 anni
Località	roverbella
ag/g	0.147

F0 2.47  
Tc 0.28  
Categoria del suolo B  
Fattore topografico 1

## DATI SPETTRO

Eccentricita' accidentale 5%  
Periodo proprio T1 0.0761 [C1 = 0.05 H = 175]  
 $\lambda$  1  
Fattore q di struttura qor = 1 [q0X = 1 q0Y = 1 kw = 1 Kr = 1]  
Duttilita' Bassa Duttilita'  
Sd (T1) 0.325 g  
Coeff.globale accelerazione sismica 0.325

## CARICHI PER ELEMENTI BIDIMENSIONALI

### Carico di superficie nella direzione locale z, agente sulla superficie reale

Descrizione	Codice	Cond. carico	Tipo Azione/categoria	Valore	Aliq.dinamica	Aliq.inerz.SLD
Pressione terreno statica	3	Condizione 3	Nessuna	0.142600	0.0000	0.0000
Pressione terreno sismica	4	Condizione 4	Nessuna	0.151800	0.0000	0.0000

### Carico di superficie nella direzione globale Z, agente sulla superficie reale

Descrizione	Codice	Cond. carico	Tipo Azione/categoria	Valore	Aliq.dinamica	Aliq.inerz.SLD
Pacchetto stradale	1	Condizione 1	Permanente: Permanente portato	-0.110000	1.0000	1.0000
Carico q1k prima categoria	2	Condizione 2	Nessuna	-0.090000	0.0000	0.0000

## LISTA MATERIALI UTILIZZATI

Codice	Descrizione	Mod. elast.	Coef. Poisson	Peso unit.	Dil. term.	Aliq. inerz.	Rigid. taglio	Rigid. fless.
1	Calcestruzzo C32/40 (Rck 400)	+3.40e+005	0.120	0.00250	+1.00e-005	1.000	+1.00e+000	+1.00e+000

## GRUPPI DELLA STRUTTURA

### ELEMENTO FINITO: PIASTRA

Numero gruppo	Descrizione gruppo	
1	soletta inf	
2	pareti	
3	soletta sup	

### ELEMENTO FINITO: VINCOLO

Numero gruppo	Descrizione gruppo	
1	Vincoli di platea cost. sottofondo = 7.8	

## COMBINAZIONI DI CARICO

### NORMATIVA: NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI - D.M. 14/01/2008 (STATICO E SISMICO)

### COMBINAZIONI PER LE VERIFICHE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Num.	Descrizione	Parametri	Tipo azione/categoria	Condizione	Moltiplicatore
------	-------------	-----------	-----------------------	------------	----------------

Num.	Descrizione	Parametri	Tipo azione/categoria	Condizione	Moltiplicatore
1	Statica 1a cat.	Azione sismica: Sisma assente Torsione: Assente	Nessuna	Condizione 2	1.350
			Nessuna	Condizione 3	1.350
			Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.350
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.350
2	Sisma +X	Azione sismica: SISMA +X Torsione: Assente	Nessuna	Condizione 4	1.000
			Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000
6	Sisma +Y	Azione sismica: SISMA +Y Torsione: Assente	Nessuna	Condizione 4	1.000
			Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000

#### COMBINAZIONI PER LE VERIFICHE ALLO STATO LIMITE D'ESERCIZIO

Num.	Descrizione	Parametri	Tipo azione/categoria	Condizione	Moltiplicatore
18	Rara	Tipologia: Rara	Nessuna	Condizione 3	0.750
			Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000
19	Frequente	Tipologia: Frequente	Nessuna	Condizione 3	0.750
			Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000
20	Quasi permanente	Tipologia: Quasi permanente	Nessuna	Condizione 3	0.000
			Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000

#### NORMATIVA: NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI - D.M. 14/01/2008 (STATICO E SISMICO)

#### CARICHI NODALI

Num. comb. car.	Descrizione							
1	Statica 1a cat.	Nodo	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
		673			-2.03e+004			
		668			-2.03e+004			
2	Sisma +X							
6	Sisma +Y							
18	Rara	Nodo	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
		673			-1.13e+004			
		668			-1.13e+004			
19	Frequente	Nodo	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
		673			-1.13e+004			
		668			-1.13e+004			
20	Quasi permanente							

- Informazioni e caratteristiche di progetto – SCATOLARE APERTO**

## INTESTAZIONE E DATI CARATTERISTICI DELLA STRUTTURA

Nome dell'archivio di lavoro	Scatolare aperto
Intestazione del lavoro	
Tipo di struttura	Nello Spazio
Tipo di analisi	Statica sismica equivalente
Tipo di soluzione	Lineare
Unita' di misura delle forze	daN
Unita' di misura delle lunghezze	cm
Normativa	NTC/2008

## NORMATIVA

Vita nominale costruzione	50 anni
Classe d'uso costruzione	II
Vita di riferimento	50 anni
Spettro di risposta	Stato limite ultimo
Probabilita' di superamento periodo di riferimento	10
Tempo di ritorno del sisma	475 anni
Localita'	roverbella
ag/g	0.147
F0	2.47
Tc	0.28
Categoria del suolo	B
Fattore topografico	1

## DATI SPETTRO

Eccentricita' accidentale	5%
Periodo proprio T1	0.0777 [C1 = 0.05 H = 180]
$\lambda$	1
Fattore q di struttura	qor = 1 [q0X = 1 q0Y = 1 kw = 1 Kr = 1]
Duttilita'	Bassa Duttilita'
Sd (T1)	0.329 g
Coeff.globale accelerazione sismica	0.329

## RIEPILOGO DELLE SEZIONI UTILIZZATE NEL MODELLO STRUTTURALE

### SEZIONE CIRCOLARE PIENA

Codice	Diametro
1	10.000

Elemento di collegamento tra scatolare aperto e soletta in opera.

## CARICHI PER ELEMENTI BIDIMENSIONALI

### Carico di superficie nella direzione locale z, agente sulla superficie reale

Descrizione	Codice	Cond. carico	Tipo Azione/categoria	Valore	Aliq.dinamica	Aliq.inerz.SLD
Pressione terreno statica	3	Condizione 3	Nessuna	0.142600	0.0000	0.0000
Pressione terreno sismica	4	Condizione 4	Nessuna	0.151800	0.0000	0.0000

### Carico di superficie nella direzione globale Z, agente sulla superficie reale

Descrizione	Codice	Cond. carico	Tipo Azione/categoria	Valore	Aliq.dinamica	Aliq.inerz.SLD
Pacchetto stradale	1	Condizione 1	Permanente: Permanente portato	-0.110000	1.0000	1.0000
Carico q1k prima categoria	2	Condizione 2	Nessuna	-0.090000	0.0000	0.0000

## LISTA MATERIALI UTILIZZATI

Codice	Descrizione	Mod. elast.	Coef. Poisson	Peso unit.	Dil. term.	Aliq. inerz.	Rigid. taglio	Rigid. fless.
1	Calcestruzzo C32/40 (Rck 400)	+3.40e+005	0.120	0.00250	+1.00e-005	1.000	+1.00e+000	+1.00e+000
2	Acciaio	+2.10e+006	0.300	0.00785	+1.20e-005	1.000	+1.00e+000	+1.00e+000

## GRUPPI DELLA STRUTTURA

### ELEMENTO FINITO: TRAVE

Numero gruppo	Descrizione gruppo	
1	connessioni	

### ELEMENTO FINITO: PIASTRA

Numero gruppo	Descrizione gruppo	
1	soletta inf	
2	pareti	
3	soletta sup	

### ELEMENTO FINITO: VINCOLO

Numero gruppo	Descrizione gruppo	
1	Vincoli di platea cost. sottofondo = 7.8	

## COMBINAZIONI DI CARICO

### NORMATIVA: NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI - D.M. 14/01/2008 (STATICO E SISMICO)

#### COMBINAZIONI PER LE VERIFICHE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Num.	Descrizione	Parametri	Tipo azione/categoria	Condizione	Moltiplicatore
1	Statica 1a cat.	Azione sismica: Sisma assente Torsione: Assente	Nessuna	Condizione 2	1.500
			Nessuna	Condizione 3	1.350
			Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.350
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.350
2	Sisma +X	Azione sismica: SISMA +X Torsione: Assente	Nessuna	Condizione 4	1.000
			Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000
6	Sisma +Y	Azione sismica: SISMA +Y Torsione: Assente	Nessuna	Condizione 4	1.000
			Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000

#### COMBINAZIONI PER LE VERIFICHE ALLO STATO LIMITE D'ESERCIZIO

Num.	Descrizione	Parametri	Tipo azione/categoria	Condizione	Moltiplicatore
18	Rara	Tipologia: Rara	Nessuna	Condizione 3	0.750
			Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000
19	Frequente	Tipologia: Frequente	Nessuna	Condizione 3	0.750
			Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000
20	Quasi permanente	Tipologia: Quasi permanente	Nessuna	Condizione 3	0.000
			Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000

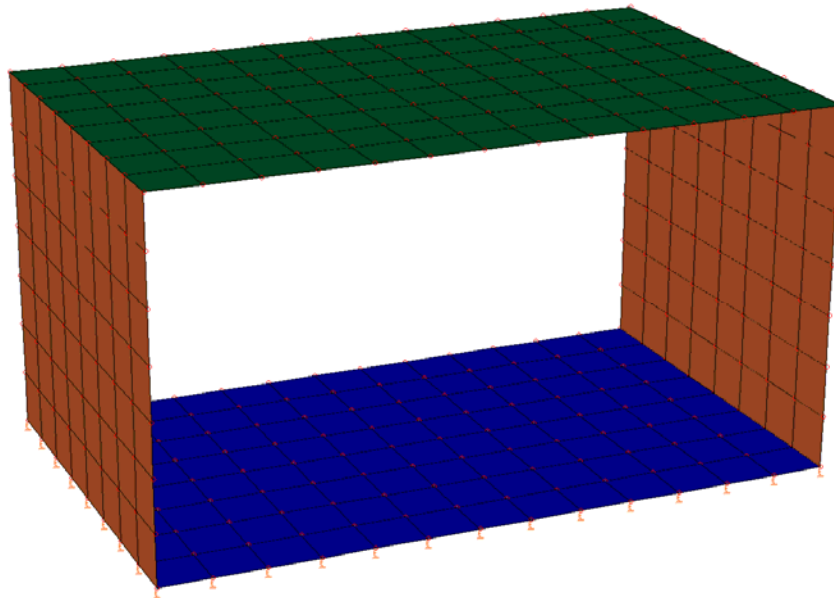
## NORMATIVA: NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI - D.M. 14/01/2008 (STATICO E SISMICO)

### CARICHI NODALI

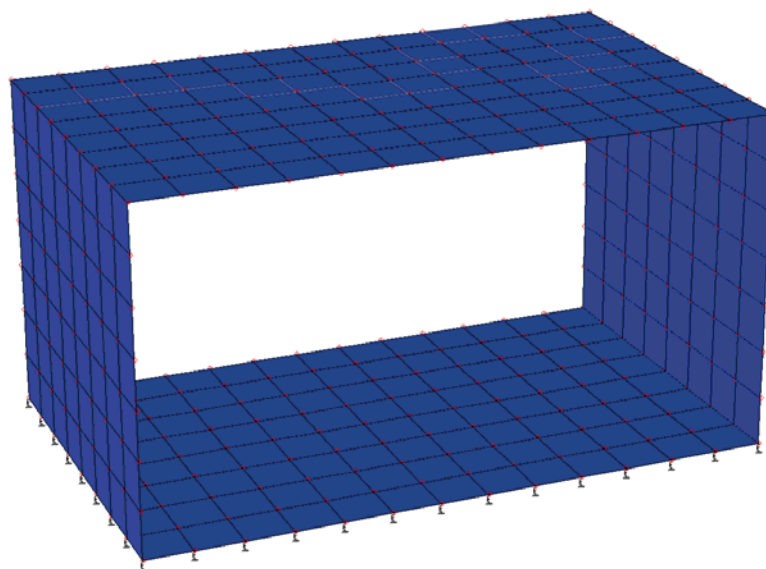
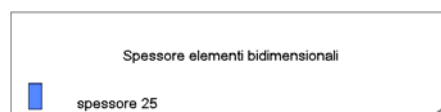
Num. comb. car.	Descrizione							
1	Statica 1a cat.	Nodo	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
		61			-2.03e+004			
		56			-2.03e+004			
2	Sisma +X							
6	Sisma +Y							
18	Rara	Nodo	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
		61			-1.13e+004			
		56			-1.13e+004			
19	Frequente	Nodo	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
		61			-1.13e+004			
		56			-1.13e+004			
20	Quasi permanente							



- **Presentazione del modello strutturale e sue proprietà – SCATOLARE CHIUSO**

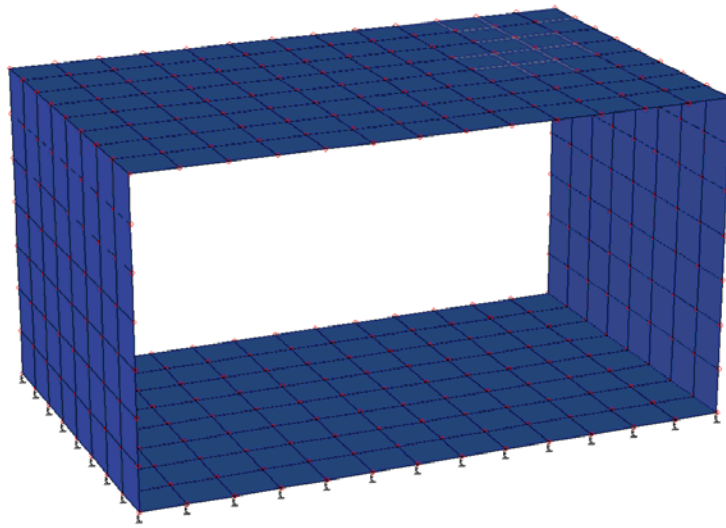


Modello – vista 1



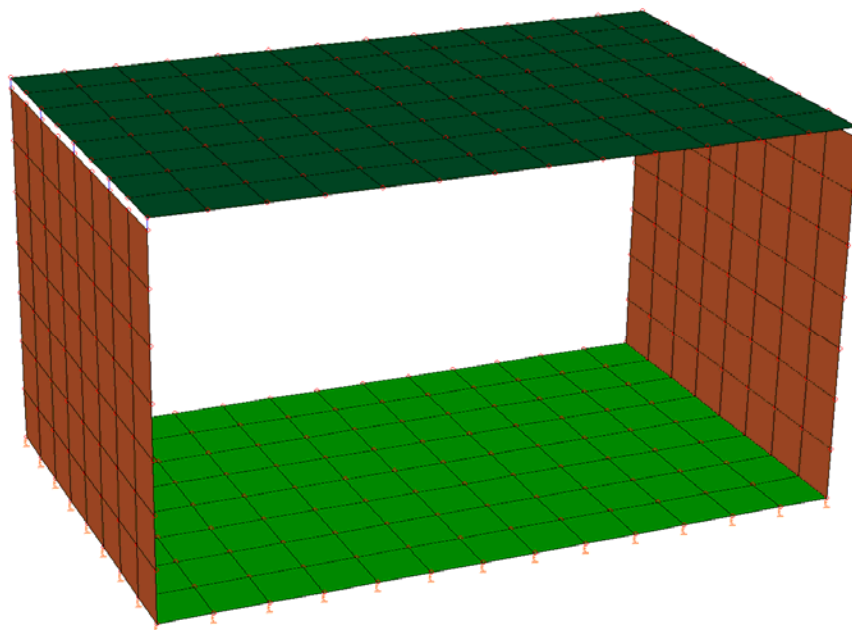
Spessori

Materiali	
	1 Calcestruzzo C32/40 ( Rck 400)

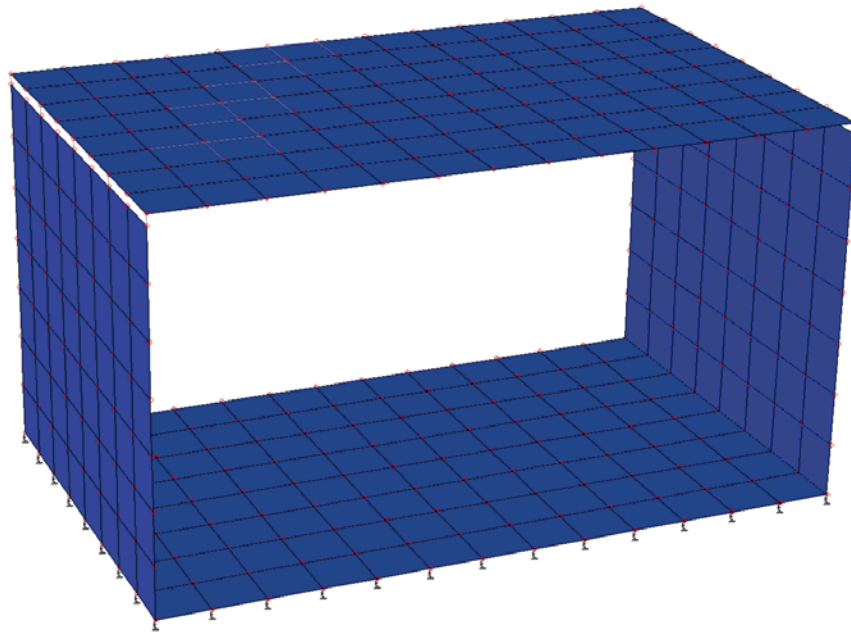
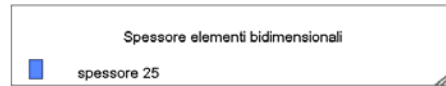


Materiali

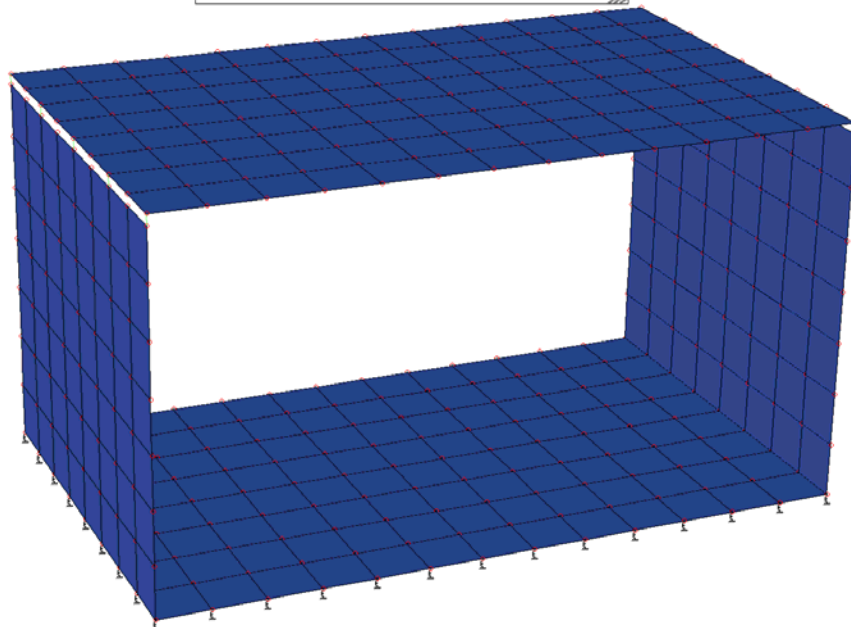
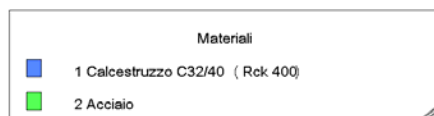
- ***Presentazione del modello strutturale e sue proprietà – SCATOLARE APERTO***



## Modello – vista 1



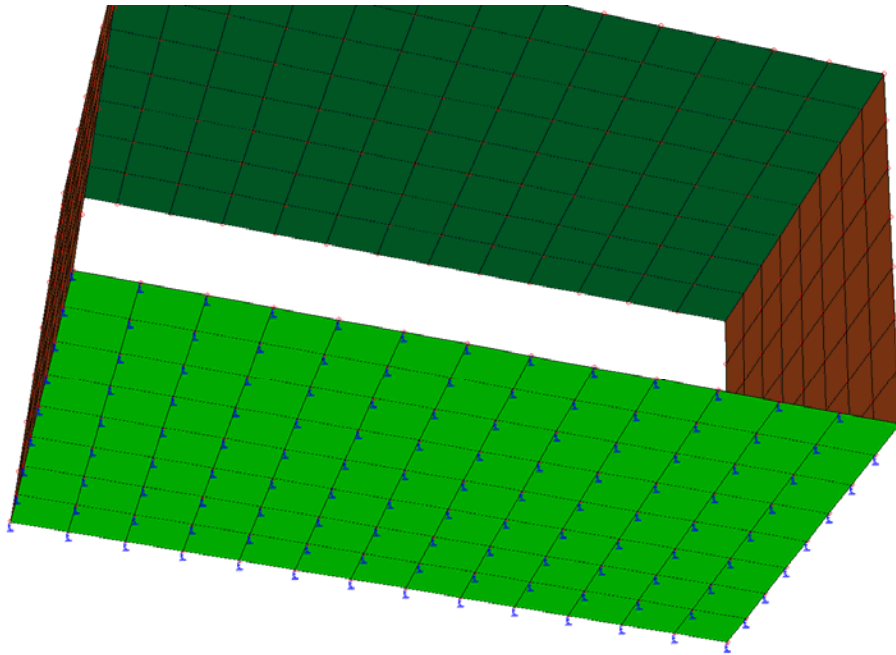
Spessori



Materiali

### 1.5.2. Modellazione dei vincoli interni ed esterni

- **Vincolo – SCATOLARE CHIUSO E APERTO**

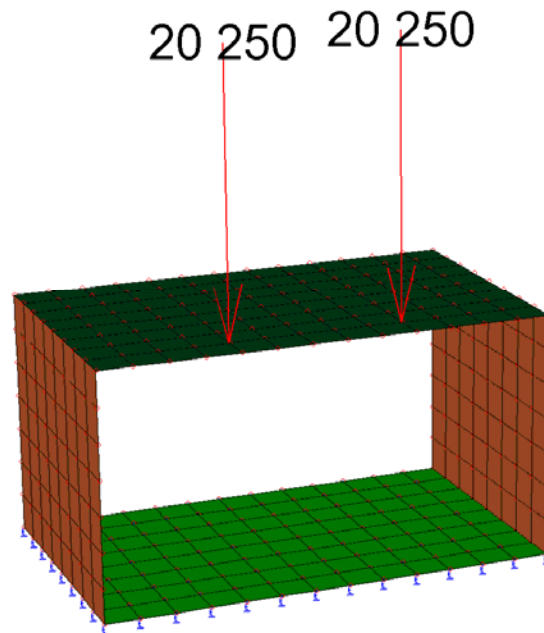


Vincoli di simulazione dell'interazione con il terreno

A questi vincoli viene attribuita la descrizione “Vincoli di platea cost. sottofondo =7.8” per suolo elastico secondo il modello di Winkler ( $K_w=7.8 \text{ daN/cm}^3$ )

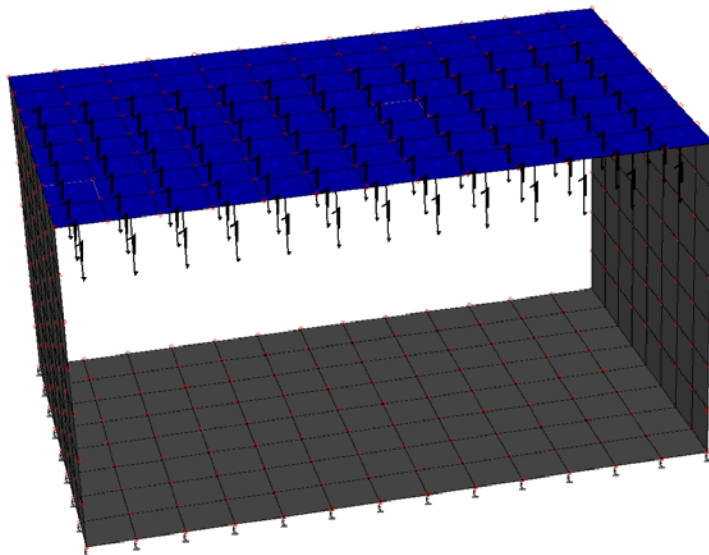
### 1.5.3. Modellazione delle azioni

- **Carichi nodali – SCATOLARE CHIUSO E APERTO**

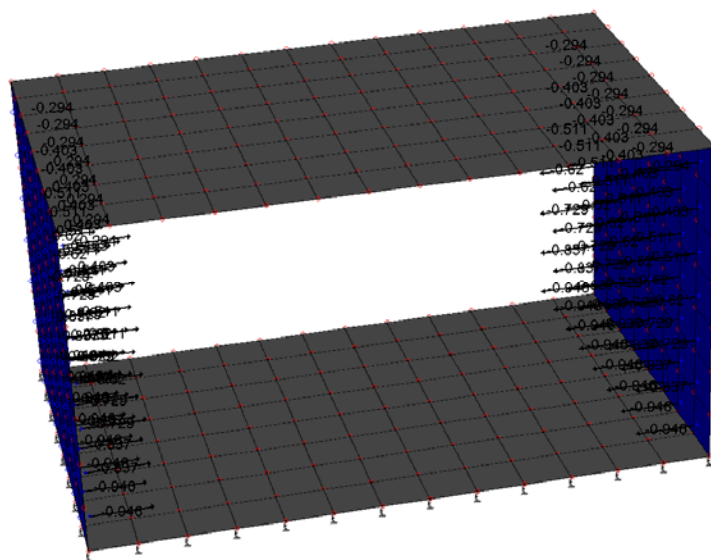


Carico stradale condizione SLU ( $150\text{kN} \cdot 1.35$ )

- **Carichi per elementi Bidimensionali – SCATOLARE CHIUSO E APERTO**



Carico pacchetto stradale e distribuito  $q1k$

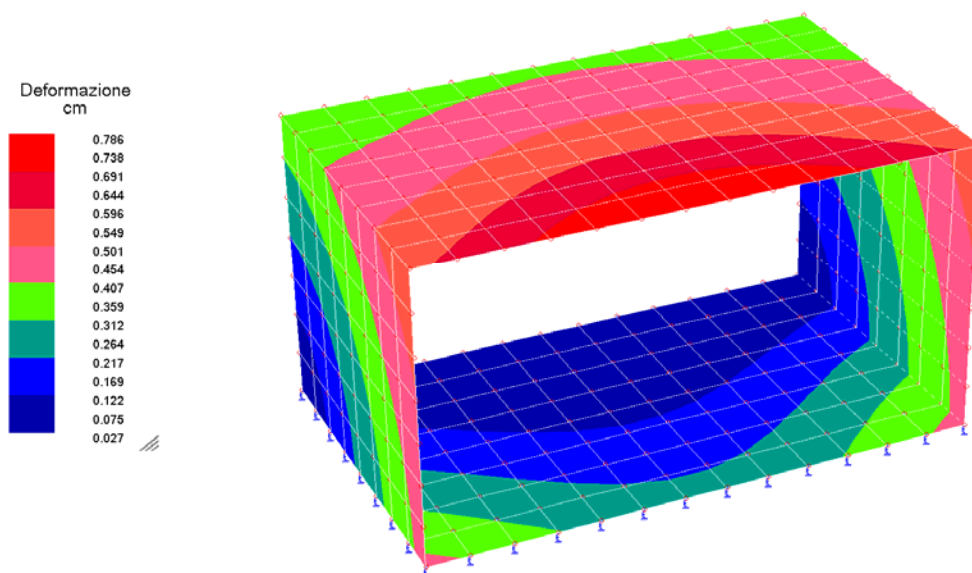




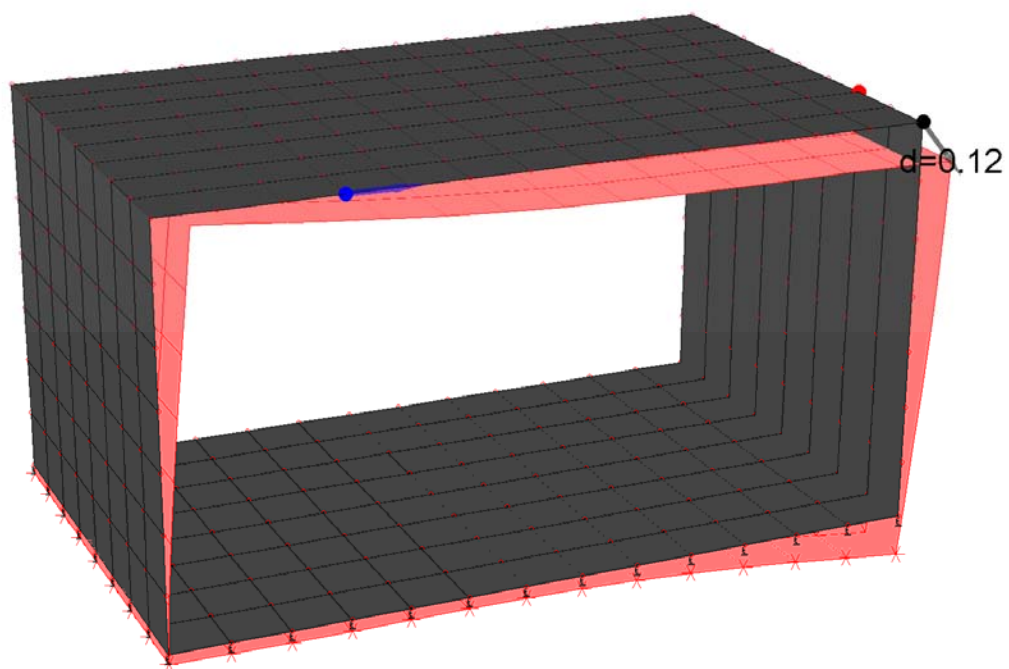
## 1.6. *Principali risultati*

### 1.6.1. *Deformate e sollecitazioni per condizioni di carico*

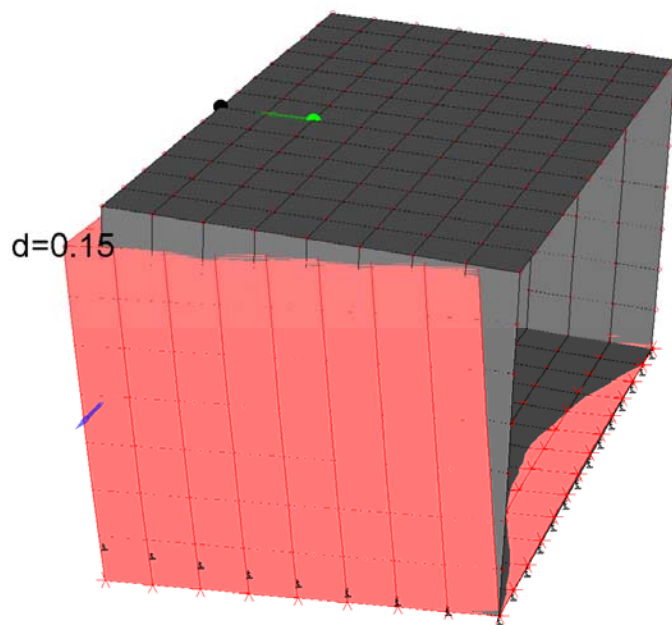
- **Deformata – SCATOLARE CHIUSO**



Deformata (cm) – combinazione 1. Statica

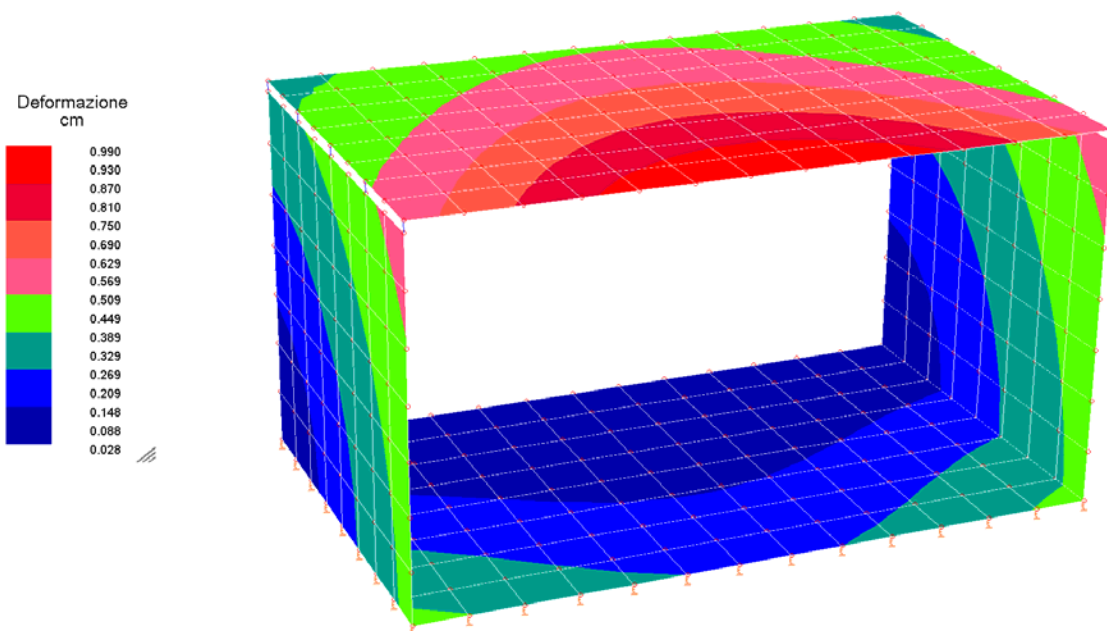


Deformata (cm) – comb. 2. – Sisma +X

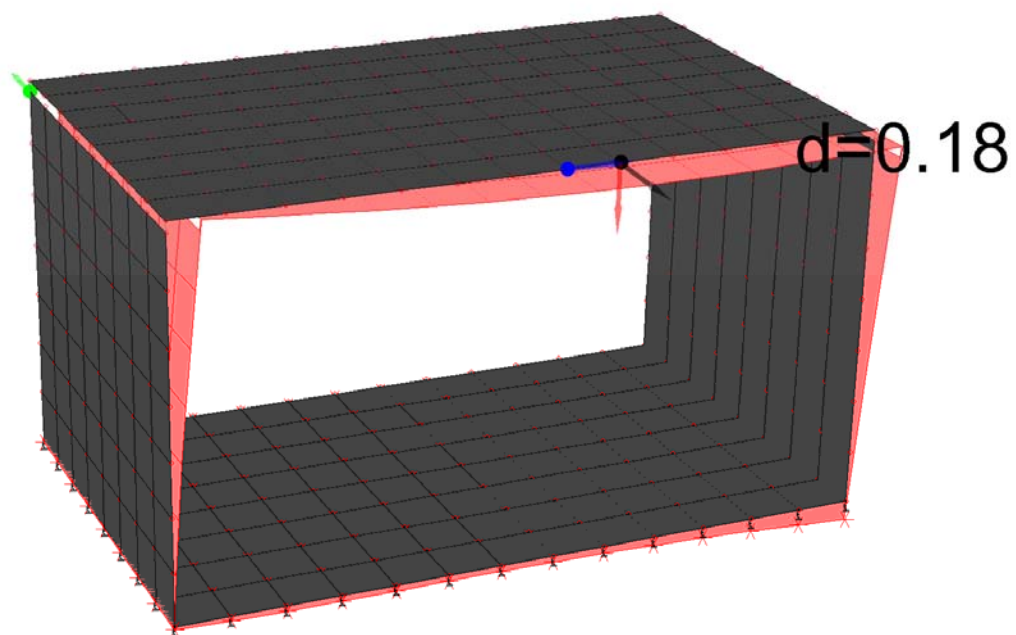


Deformata (cm) – comb. 3. Sisma -Y

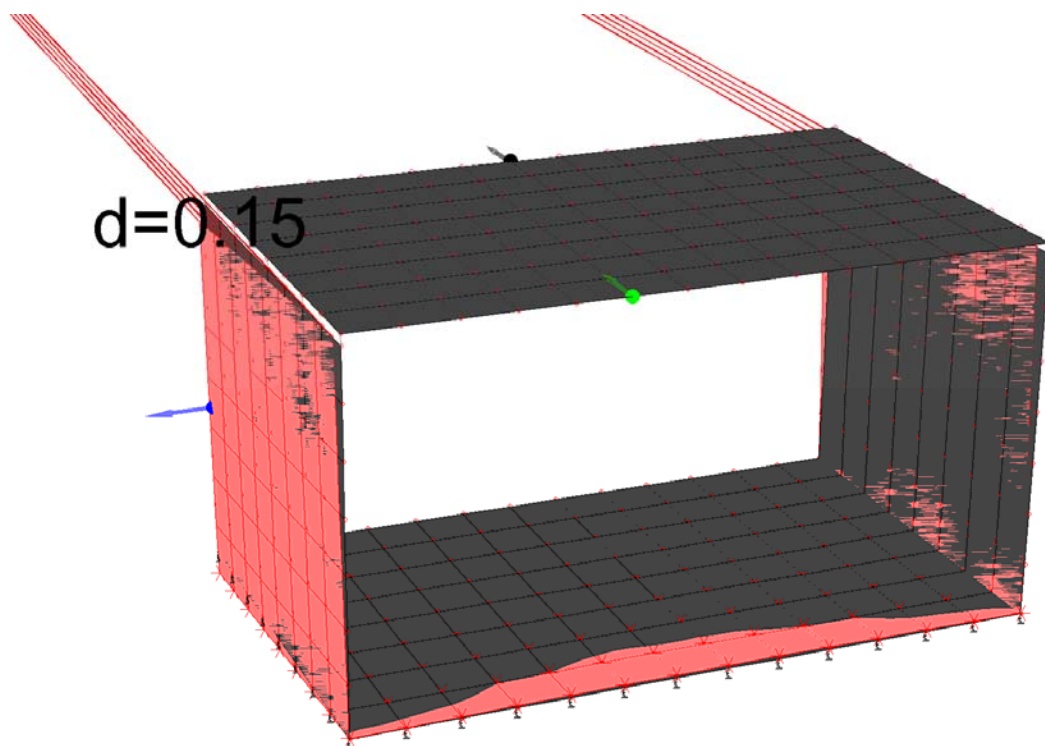
- **Deformata – SCATOLARE APERTO**



Deformata (cm) – combinazione 1. Statica



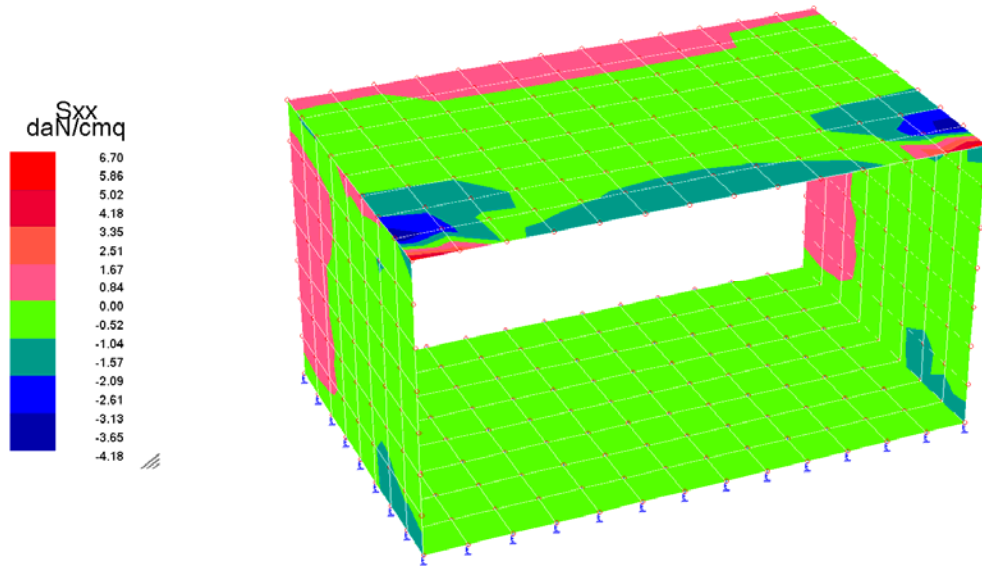
Deformata (cm) – comb. 2. – Sisma +X



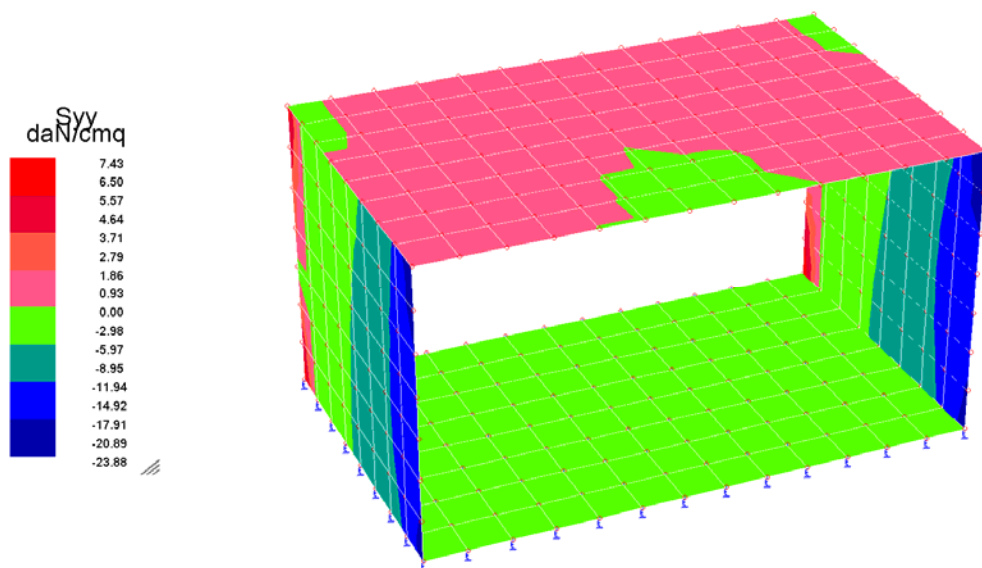
Deformata (cm) – comb. 3. Sisma -Y

### 1.6.2. Involuppo delle sollecitazioni maggiormente significative

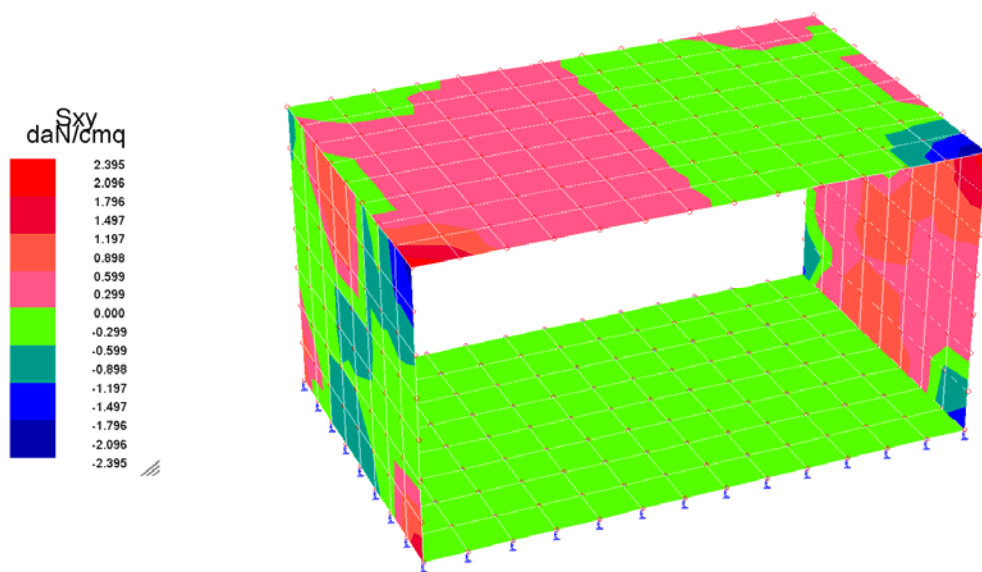
- **Sollecitazioni pareti esterne – SCATOLARE CHIUSO**



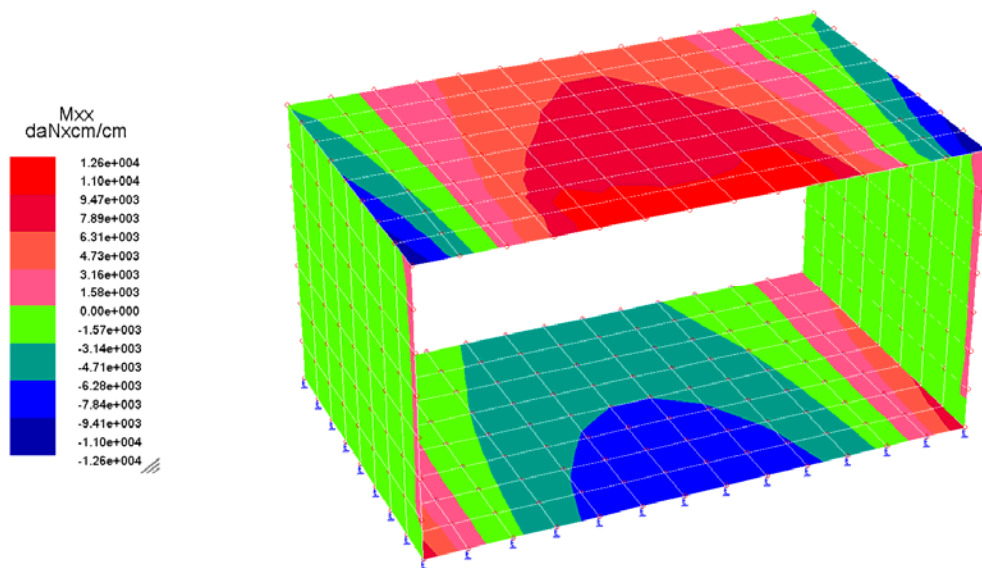
Sollecitazioni Sxx (daN)– Involuppo



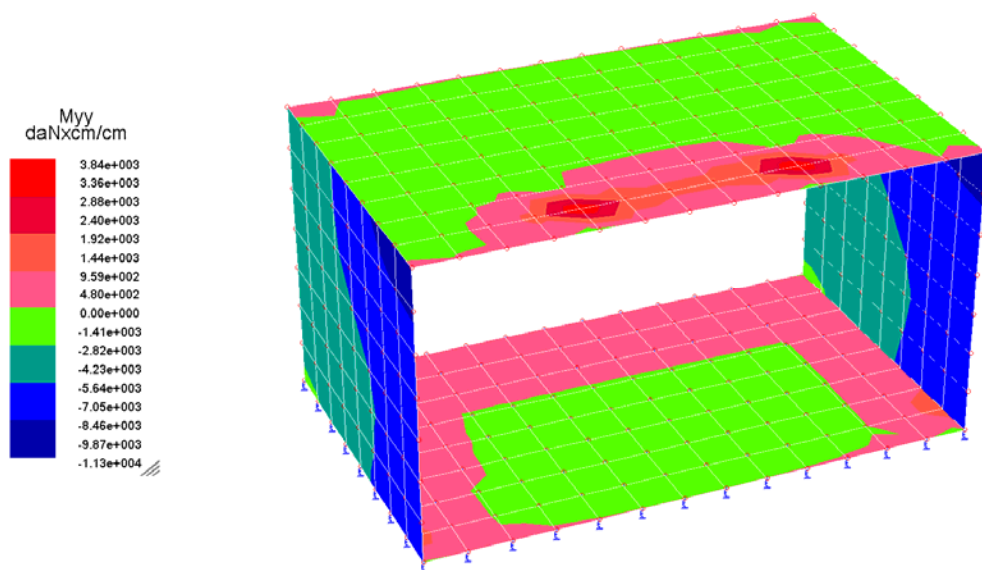
Sollecitazioni Syy (daN)– Involuppo



Sollecitazioni Sxy (daN)– Involuppo

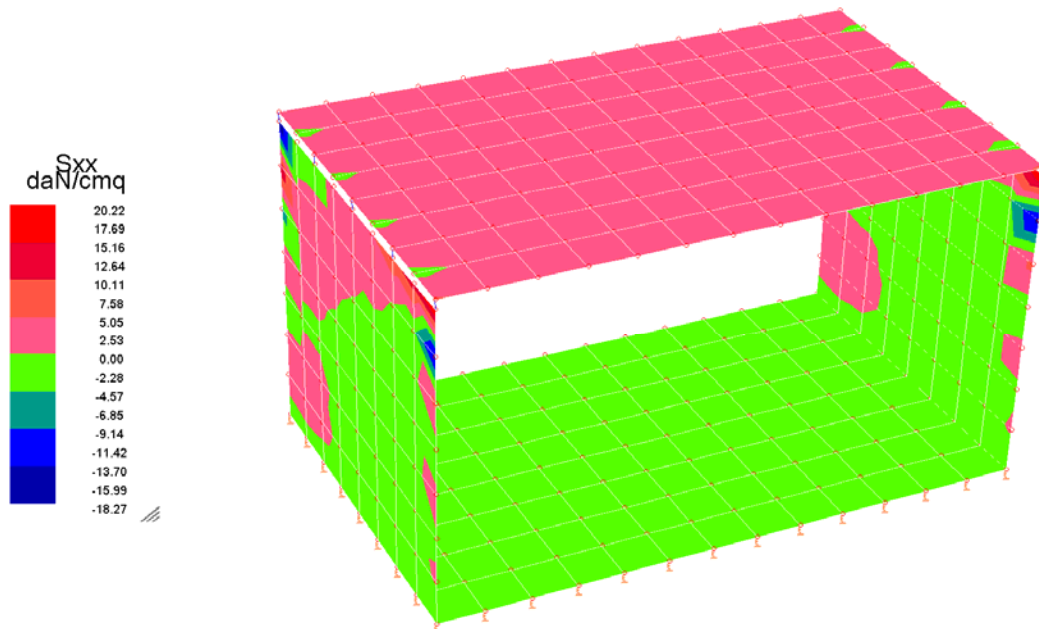


Sollecitazioni Mxx (daNcm)– Involuppo



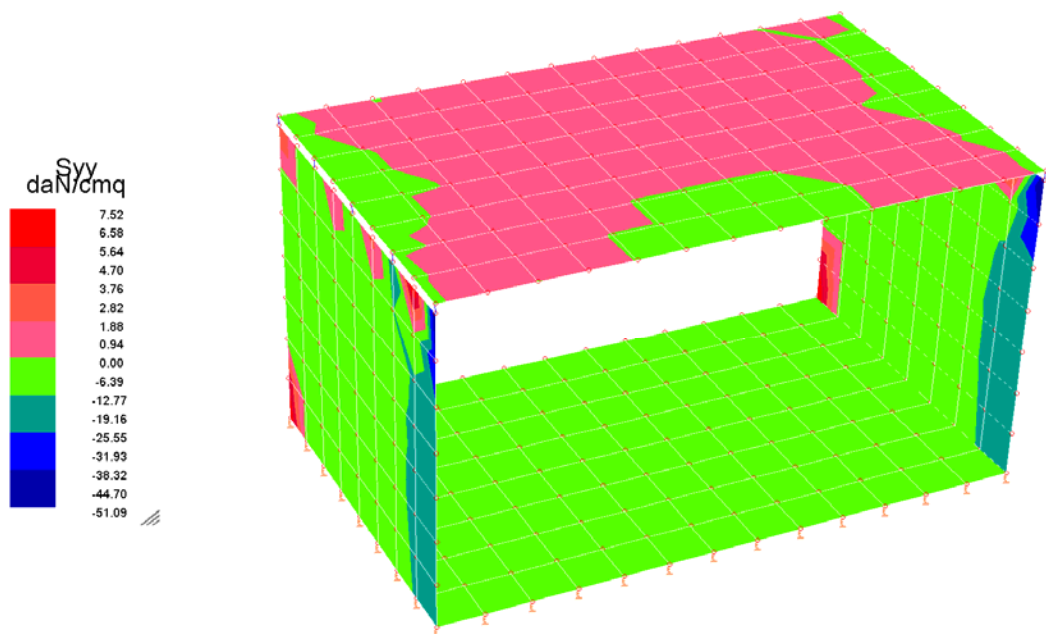
Sollecitazioni  $M_{yy}$  ( $\text{daN}\cdot\text{cm}$ ) – Involuppo

- Sollecitazioni pareti esterne – SCATOLARE APERTO**

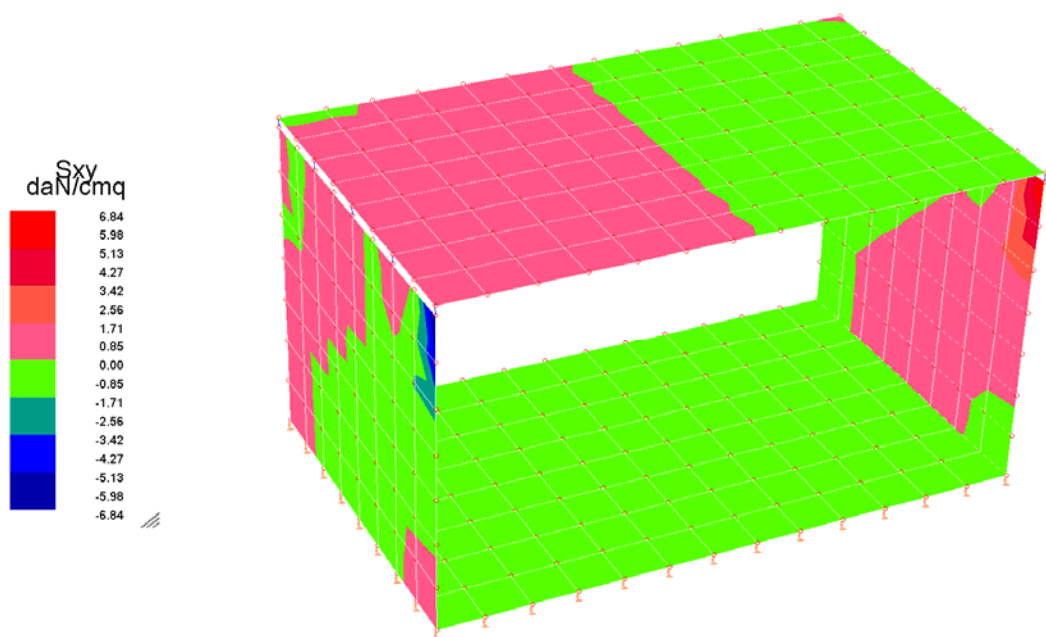


Sollecitazioni  $S_{xx}$  ( $\text{daN}$ ) – Involuppo

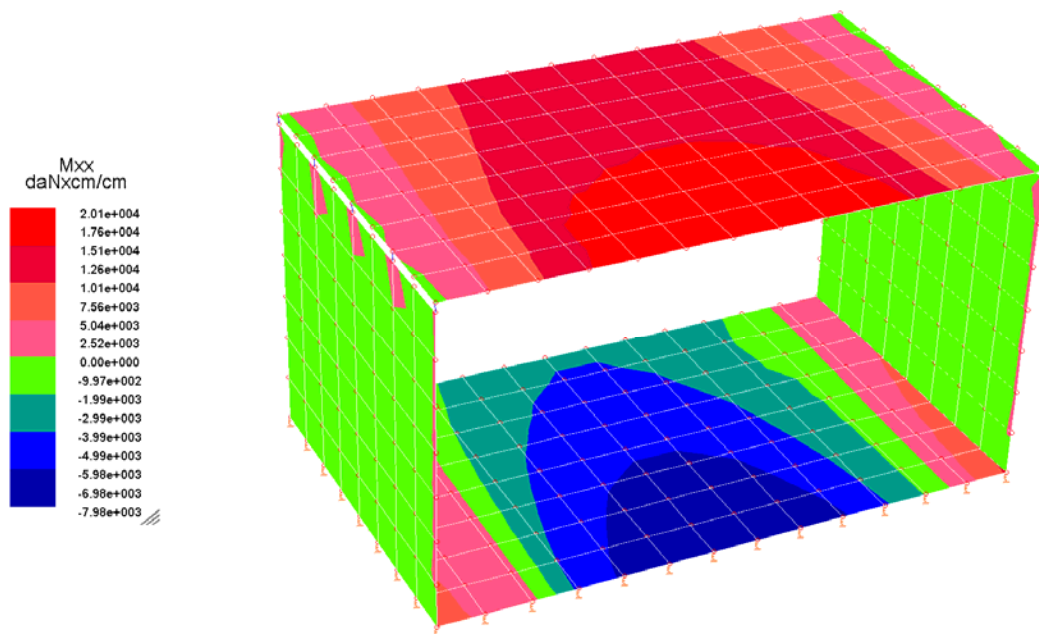




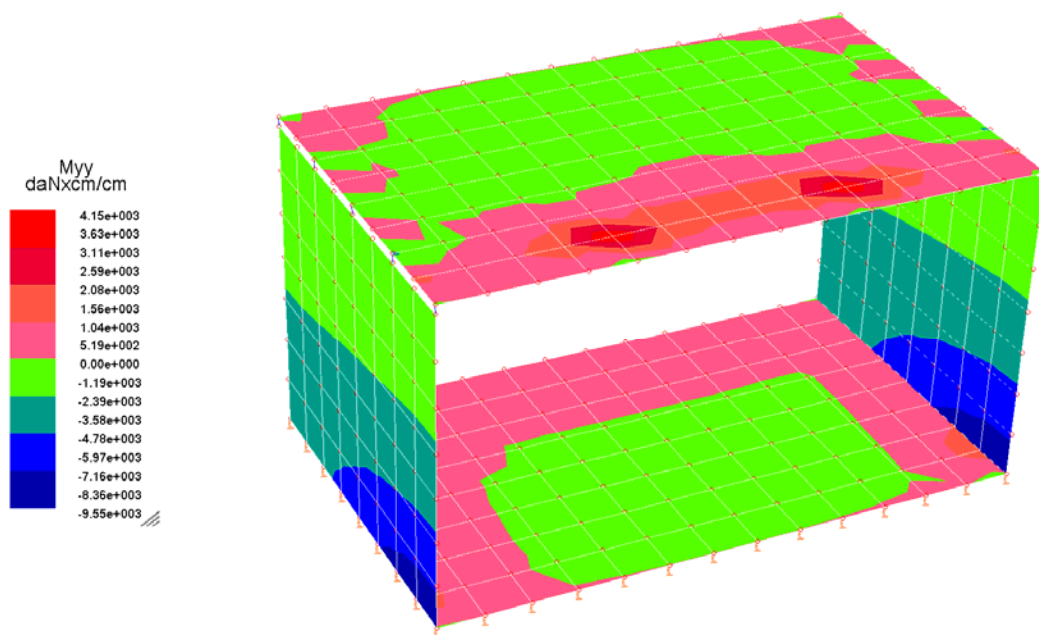
Sollecitazioni  $S_{yy}$  (daN)– Involuppo



Sollecitazioni  $S_{xy}$  (daN)– Involuppo



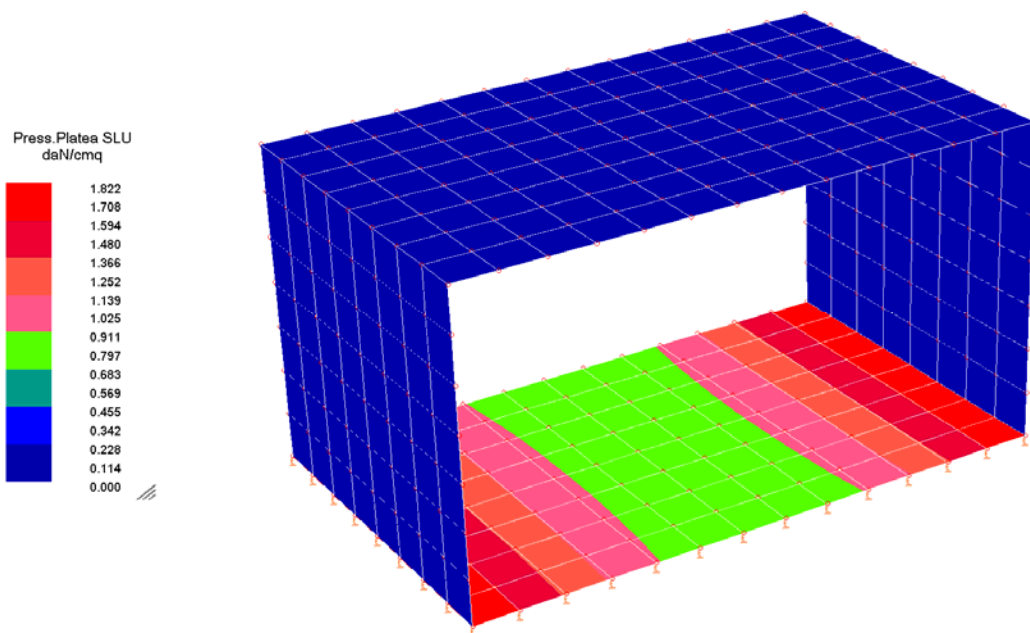
Sollecitazioni Mxx (daNcm)– Inviluppo



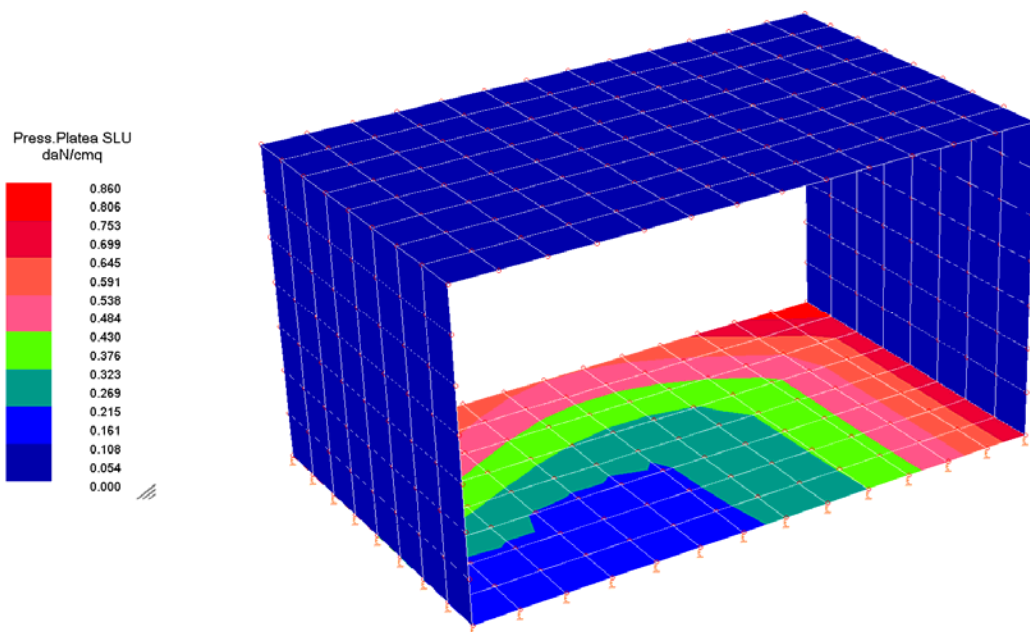
Sollecitazioni Myy (daNcm)– Inviluppo

### 1.6.3. Reazioni vincolari

- **Pressioni sul terreno – SCATOLARE CHIUSO**



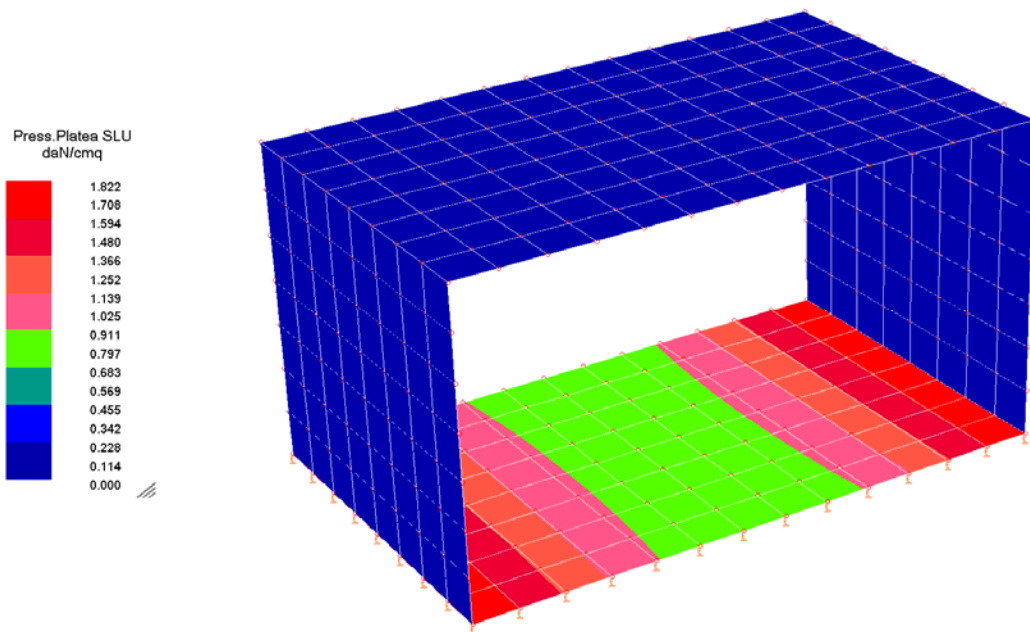
Pressioni sul terreno (daN/cm<sup>2</sup>) – Involuppo Statico



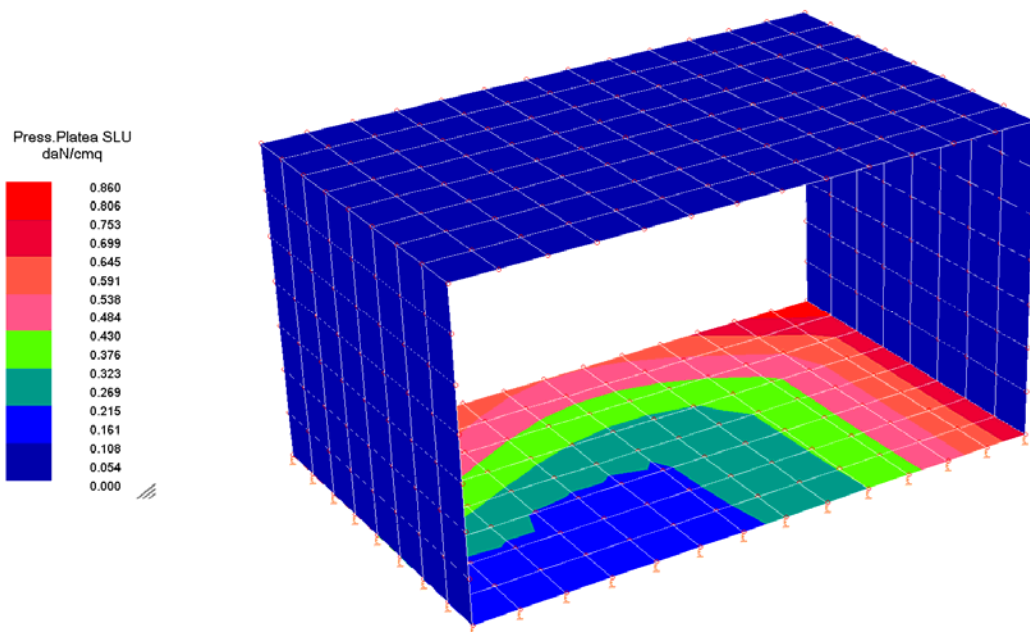
Pressioni sul terreno (daN/cm<sup>2</sup>) – Involuppo Sismico

Confrontando i valori massimi con la  $q_{lim,d}$  in condizione statica risultano verificati.

- **Pressioni sul terreno – SCATOLARE APERTO**



Pressioni sul terreno (daN/cm<sup>2</sup>) – Involuppo Statico



Pressioni sul terreno (daN/cm<sup>2</sup>) – Involuppo Sismico

Confrontando i valori massimi con la  $q_{lim,d}$  in condizione statica risultano verificati.

### **1.7. Giudizio motivato di accettabilità dei risultati**

Il programma di calcolo utilizzato MasterSap è idoneo a riprodurre nel modello matematico il comportamento della struttura e gli elementi finiti disponibili e utilizzati sono rappresentativi della realtà costruttiva. Le funzioni di controllo disponibili, innanzitutto quelle grafiche, consentono di verificare la riproduzione della realtà costruttiva ed accertare la corrispondenza del modello con la geometria strutturale e con le condizioni di carico ipotizzate. Si evidenzia che il modello viene generato direttamente dal disegno architettonico riproducendone così fedelmente le proporzioni geometriche. In ogni caso sono stati effettuati alcuni controlli dimensionali con gli strumenti software a disposizione dell'utente. Tutte le proprietà di rilevanza strutturale (materiali, sezioni, carichi, sconnessioni, etc.) sono state controllate attraverso le funzioni di indagine specificatamente previste.

Sono state sfruttate le funzioni di autodiagnostica presenti nel software che hanno accertato che non sussistono difetti formali di impostazione.

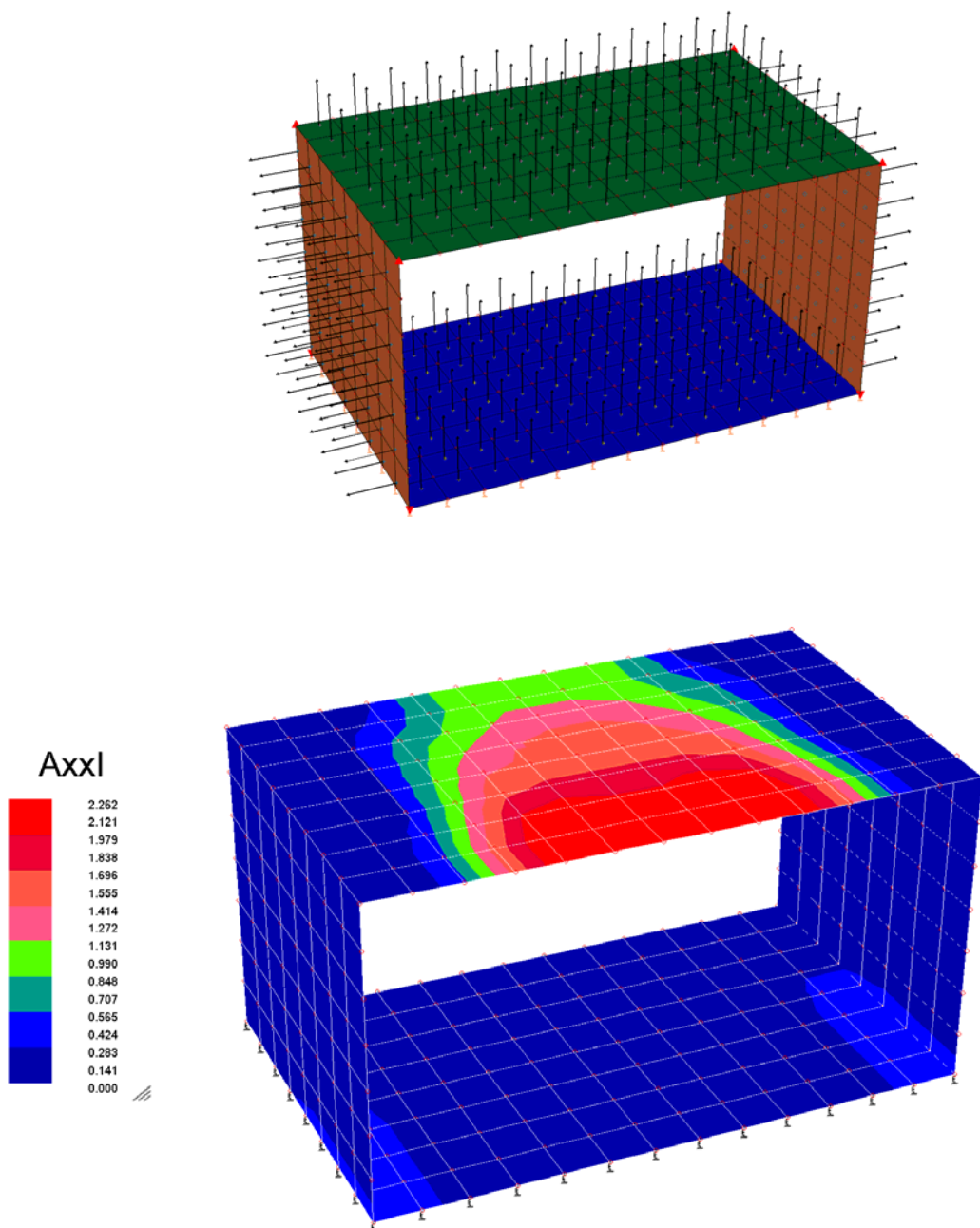
E' stato accertato che le risultanti delle azioni verticali sono in equilibrio con i carichi applicati.

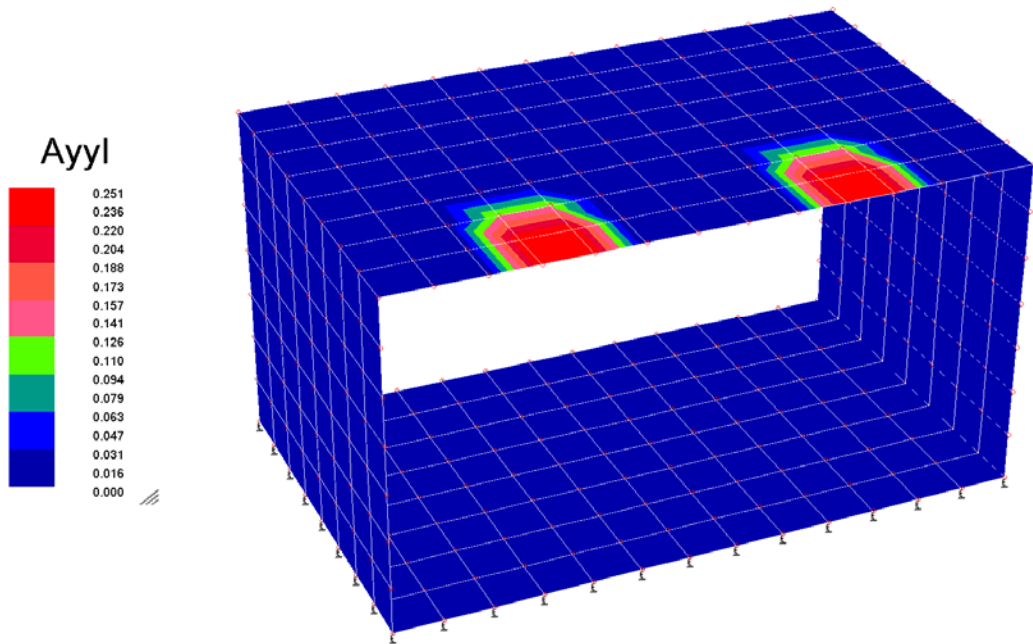
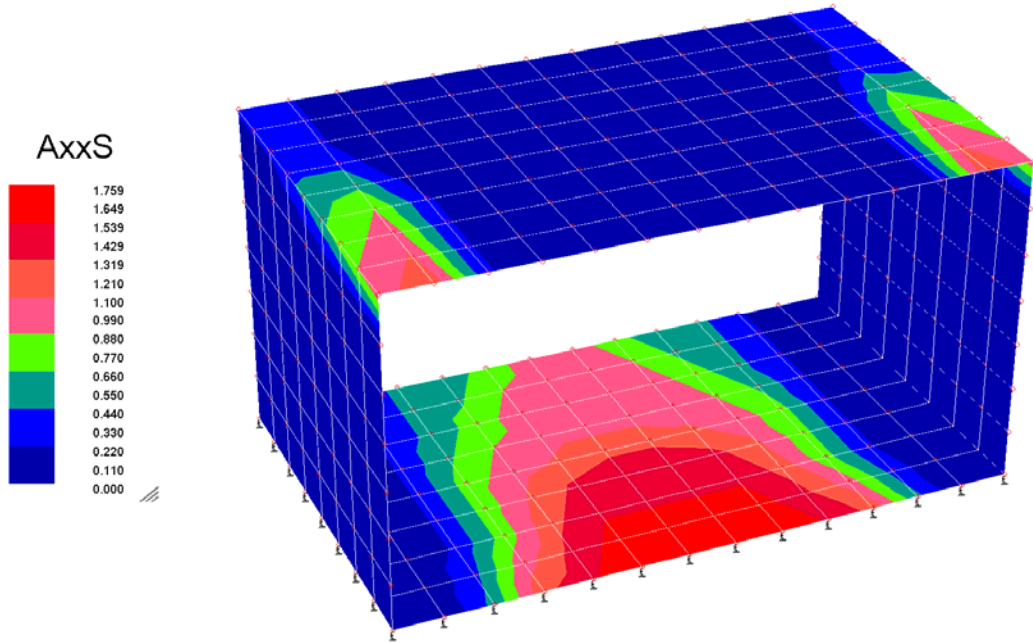
Sono state controllate le azioni taglianti di piano ed accertata la loro congruenza con quella ricavabile da semplici ed agevoli elaborazioni. Le sollecitazioni prodotte da alcune combinazioni di carico di prova hanno prodotto valori prossimi a quelli ricavabili adottando consolidate formulazioni ricavate dalla Scienza delle Costruzioni. Anche le deformazioni risultano prossime ai valori attesi. Il dimensionamento e le verifiche di sicurezza hanno determinato risultati che sono in linea con casi di comprovata validità, confortati anche dalla propria esperienza.

### 1.8. Verifiche agli Stati Limite Ultimi.

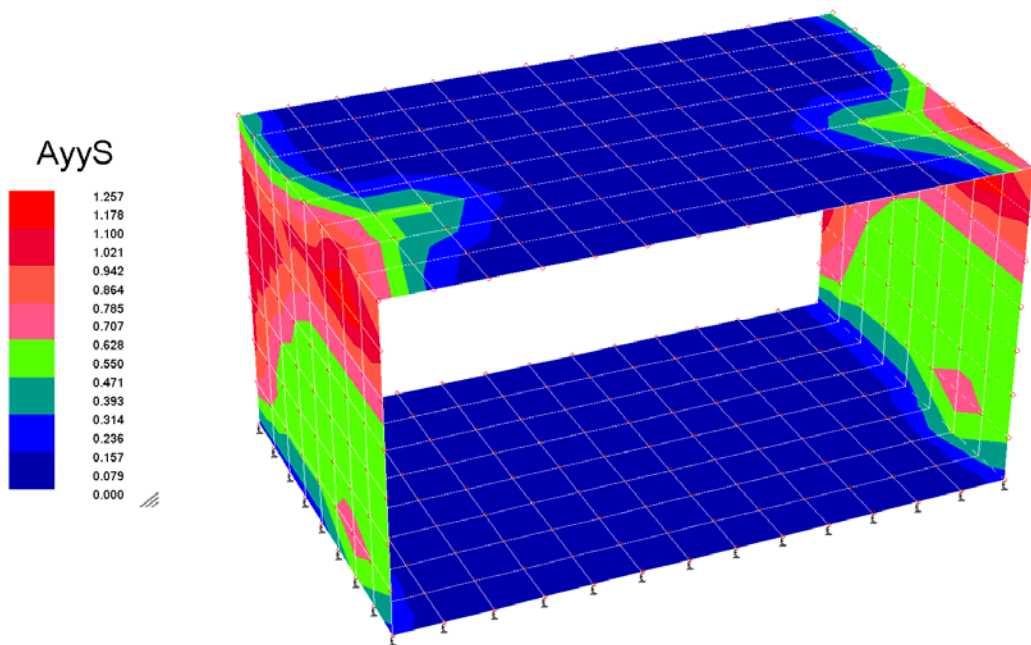
- **Elementi in c.a. – SCATOLARE CHIUSO**

La verifica dello scatolare prefabbricato chiuso viene eseguita impostando l'armatura minima di regolamento, maglia inferiore e superiore  $\phi 8/20 \times 20$ ". Nei seguenti diagrammi viene indicata l'armatura aggiuntiva eventualmente necessaria per soddisfare le verifiche allo SLU (con lo stesso passo ed oltre a quella base impostata). Le indicazioni di Superiore e Inferiore sono riferite agli orientamenti di cui sotto.









- **Elementi in c.a. – SCATOLARE APERTO**

La verifica dello scatolare prefabbricato chiuso viene eseguita impostando l'armatura minima di regolamento, maglia inferiore e superiore  $\phi 8/20'' \times 20''$ . Nei seguenti diagrammi viene indicata l'armatura aggiuntiva eventualmente necessaria per soddisfare le verifiche allo SLU (con lo stesso passo ed oltre a quella base impostata). Le indicazioni di Superiore e Inferiore sono riferite agli orientamenti di cui sotto.

