

MODELLAZIONE ad ELEMENTI FINITI per il  
SISTEMA COSTRUTTIVO PLATFORM FRAME

Fabiana Riparbelli

Parte Seconda

## 2.5 GENERAZIONE DELLA DISCRETIZZAZIONE (FEM)

Possiamo procedere con la modellazione. Gli strumenti che utilizzeremo inizialmente sono presenti nella barra dei comandi rapidi di SAP2000, e sono riportati in Fig. 21:

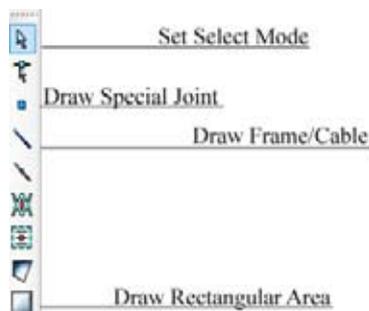


Fig. 21

Come prima cosa disegniamo i pannelli di OSB. Utilizzando il codice di calcolo ad elementi finiti è buona norma discretizzare quanto possibile le superfici; scegliamo allora di disegnare la superficie del pannello come un insieme di superfici elementari più piccole e connesse tra di loro.

Tramite il comando *Draw Rectangular Area* è possibile disegnare una superficie rettangolare a partire da due vertici opposti; per farlo è necessario che siano fissati nello spazio i punti che corrisponderanno ai vertici delle suddette aree. Nel nostro caso abbiamo modellato la griglia assegnandole le dimensioni del foglio OSB, quindi non abbiamo bisogno di fissare ulteriori punti.

Per poter utilizzare il comando *Draw Rectangular Area* è necessario lavorare in piano, e non nella modalità di visualizzazione tridimensionale; scegliamo quindi di spostare la visualizzazione sul piano  $XZ$  in corrispondenza di  $Y=0$ . Oltre ai comandi rapidi di visualizzazione precedentemente riportati, è possibile impostare la vista dei diversi piani utilizzando il comando *View, Set 2D View...*. Disegniamo quindi il primo pannello:

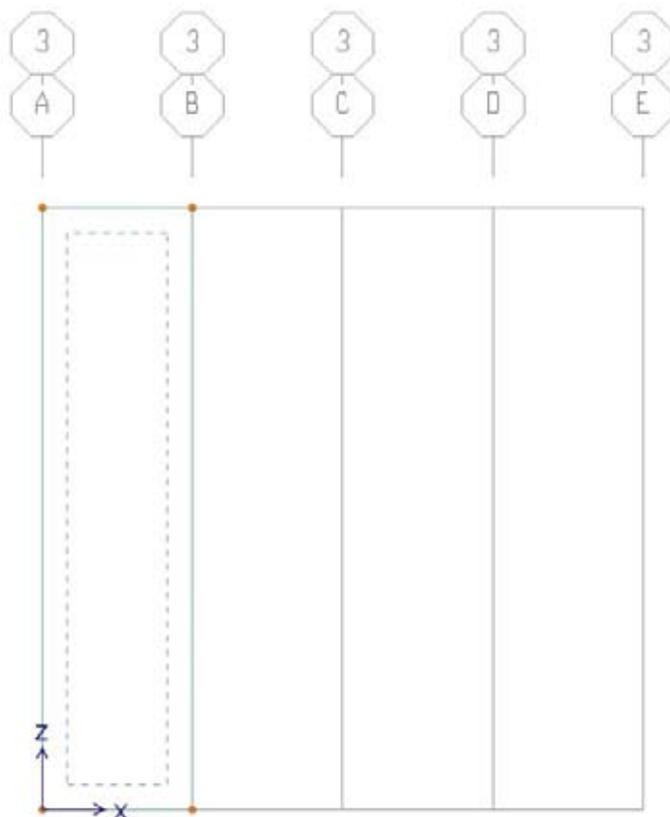


Fig. 22

Come premesso, è bene che le superfici siano discretizzate; selezioniamo l'area riportata in Fig.22 ed andiamo su *Edit*, *Edit Areas* e *Divide Areas*. Sappiamo che nel pannello le cambrette sono posizionate a circa 10 cm di distanza le une dalle altre; possiamo quindi scegliere di discretizzare la superficie in geometrie elementari della dimensione di circa 10 cm per lato, in modo da poter utilizzare questa stessa discretizzazione anche per l'applicazione dei *Link*, come vedremo alla fine del paragrafo. Nella finestra *Divide Selected Areas* possiamo specificare in quanti elementi vogliamo che sia suddivisa la superficie selezionata nella direzione *X* (*Along Edge from Point 1 to 2*) e nella direzione *Z* (*Along Edge from Point 1 to 3*); essendo le dimensioni del foglio 0,605 m in direzione *X* e 2,44 m in direzione *Z*, scegliamo suddividerlo rispettivamente in 6 e 24 parti:

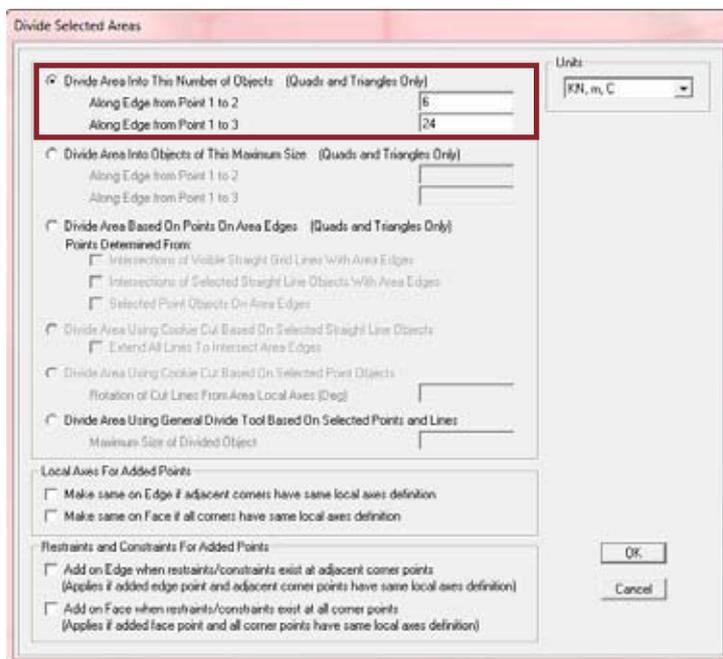


Fig. 23

Ottenendo il seguente risultato:

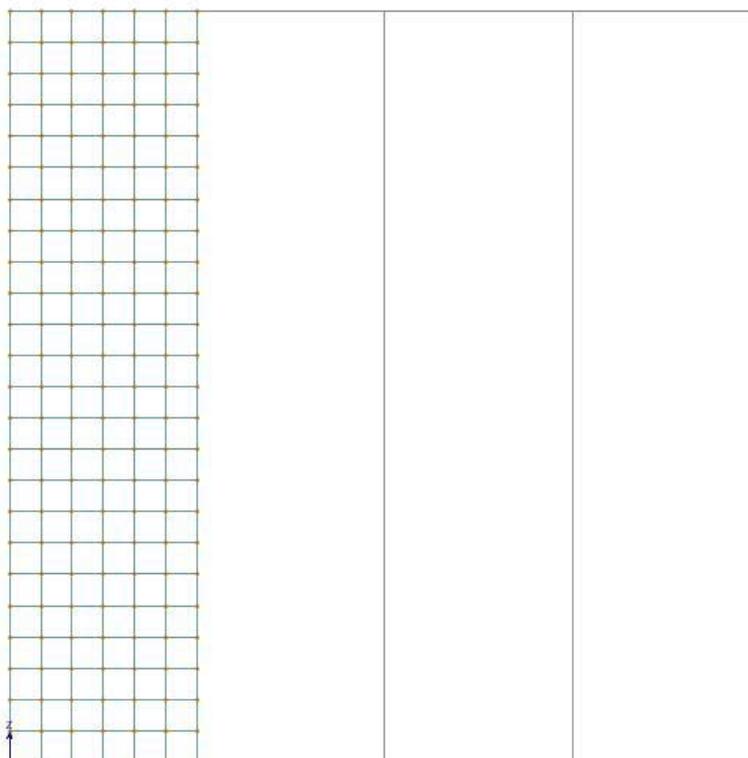


Fig. 24

Utilizzando lo stesso procedimento modelliamo tutte le superfici che rappresentano i fogli di chiusura OSB del pannello *Platform Frame* di sinistra:

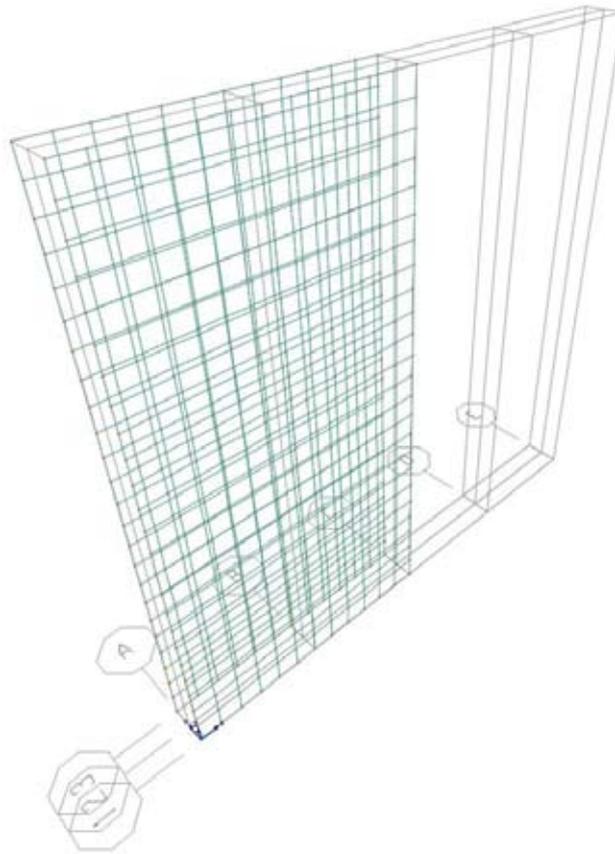


Fig. 25

Il modello che si sta generando si compone di molti elementi; per comodità, soprattutto nella lettura dei risultati, possiamo decidere di suddividere determinati elementi in dei gruppi. Selezioniamo tutti i punti e le aree generate e scegliamo *Assign*, *Assign to Group* ed infine *Add New Group*:

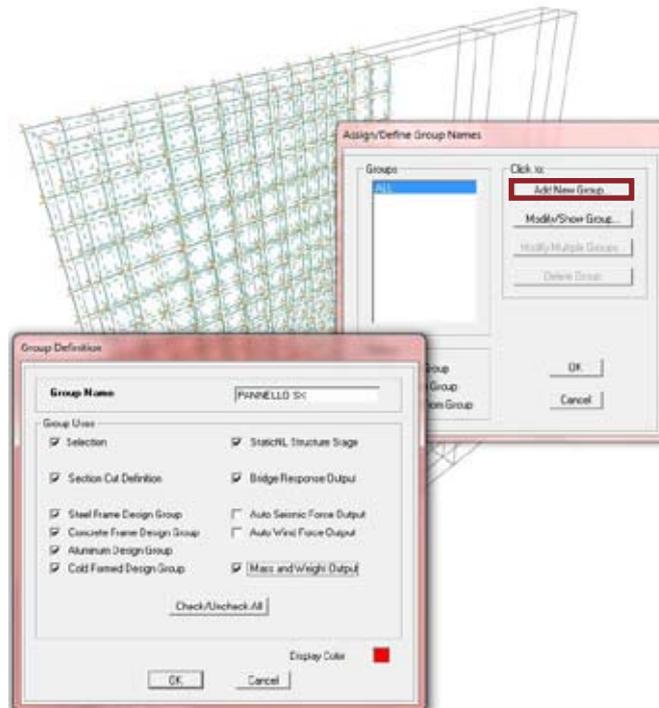


Fig. 26

Utilizzando i comandi copia ed incolla (*Ctrl+c* e *Ctrl+v*) generiamo le superfici che rappresentano i fogli di chiusura OSB del pannello di destra ed assegniamo tutti gli elementi ad un gruppo che chiameremo "PANNELLO DX".

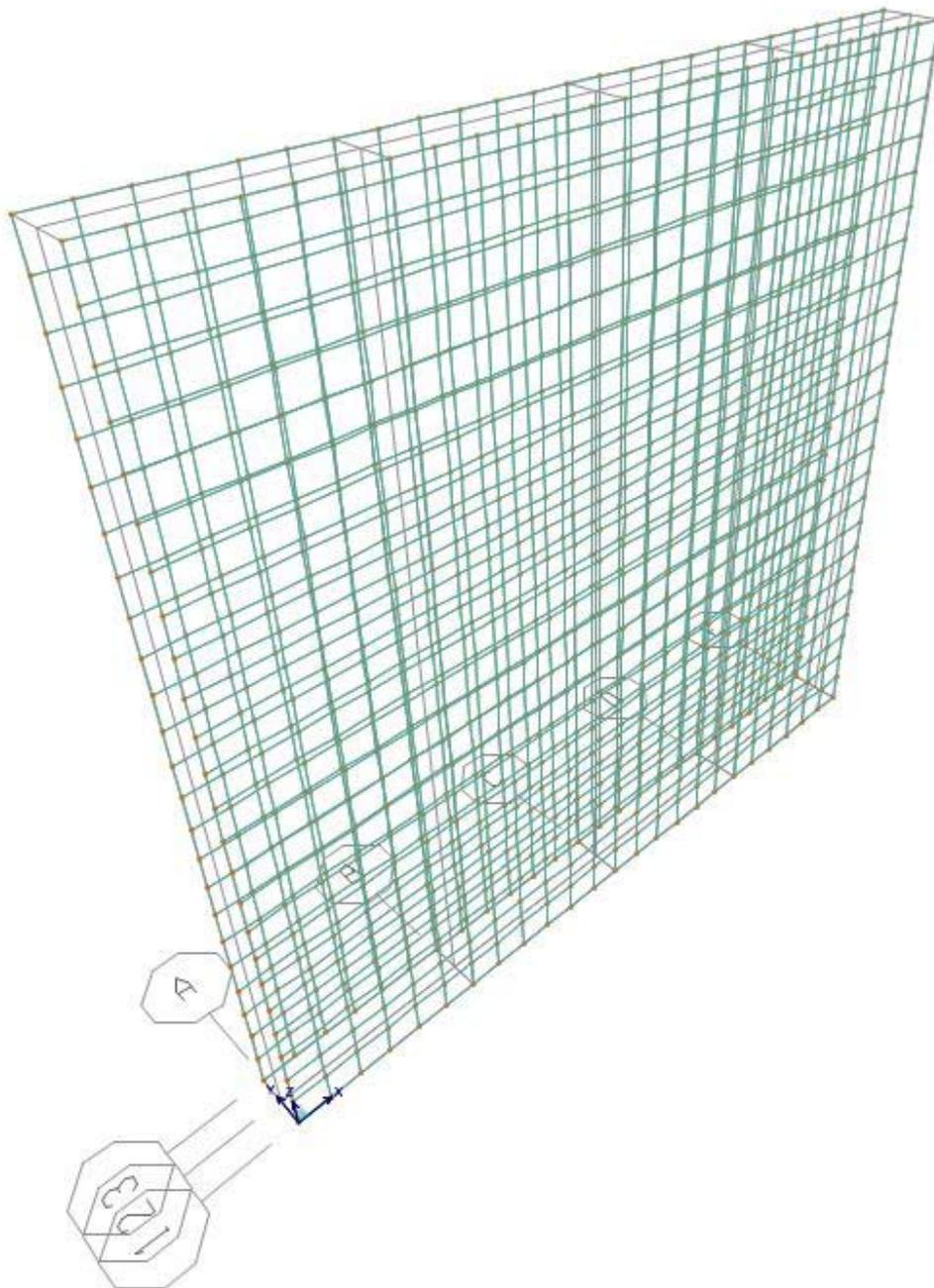


Fig. 27

A questo punto bisogna fare una considerazione: nella realtà il pannello di destra è indipendente da quello di sinistra. A meno di specifiche, in SAP2000 quando due punti o due spigoli hanno la stessa posizione vengono considerati coincidenti; una delle soluzioni al problema è quella di distaccare le aree appartenenti al pannello di sinistra da quelle appartenenti al pannello di destra.

Per farlo selezioniamo, ad esempio, tutte le aree del pannello di sinistra ed utilizziamo il comando *Move* (*Ctrl+m*):

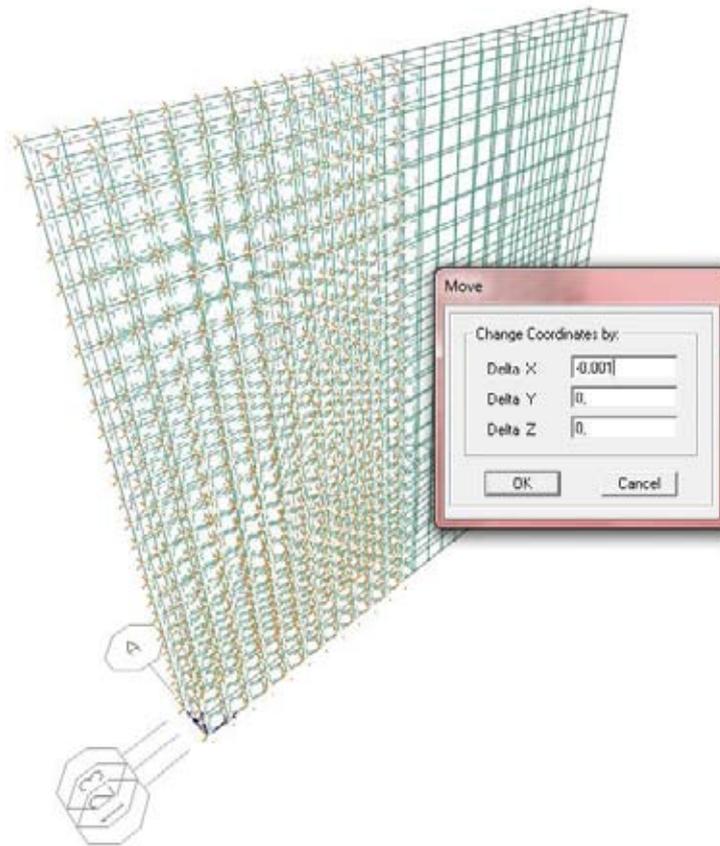


Fig. 28

Assegniamo uno spostamento pari ad un millimetro (uno spostamento inferiore non viene letto da SAP) in direzione  $X$ ; allo stesso modo distanziamo il pannello di destra di un millimetro, in modo tale da ripristinare la simmetria del sistema. Ingrandendo il punto originariamente in comune dovremmo notare un piccolo distacco:

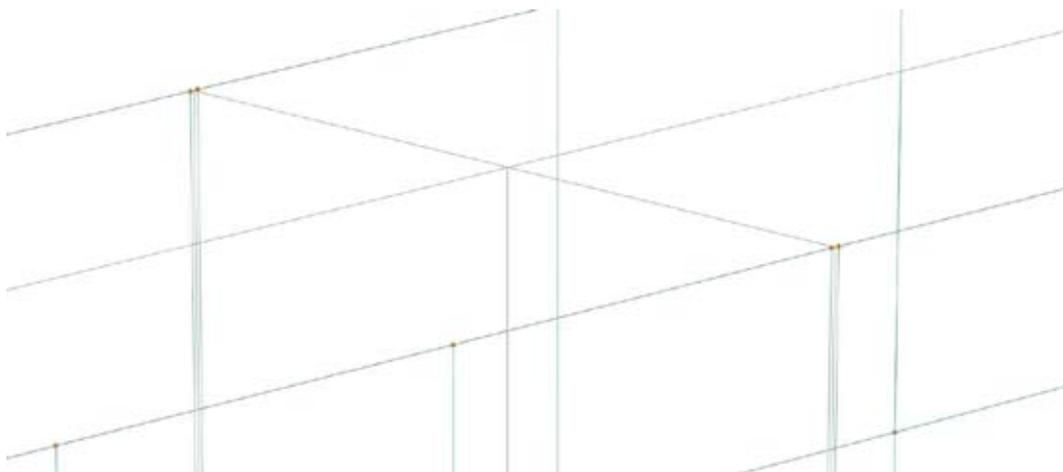


Fig. 29

Modellati i pannelli andiamo a disegnare travi e montanti. Utilizziamo il comando *Draw Frame/Cable* e disegniamo gli elementi orizzontali assegnando direttamente la sezione "TRAVERSI" precedentemente definita:

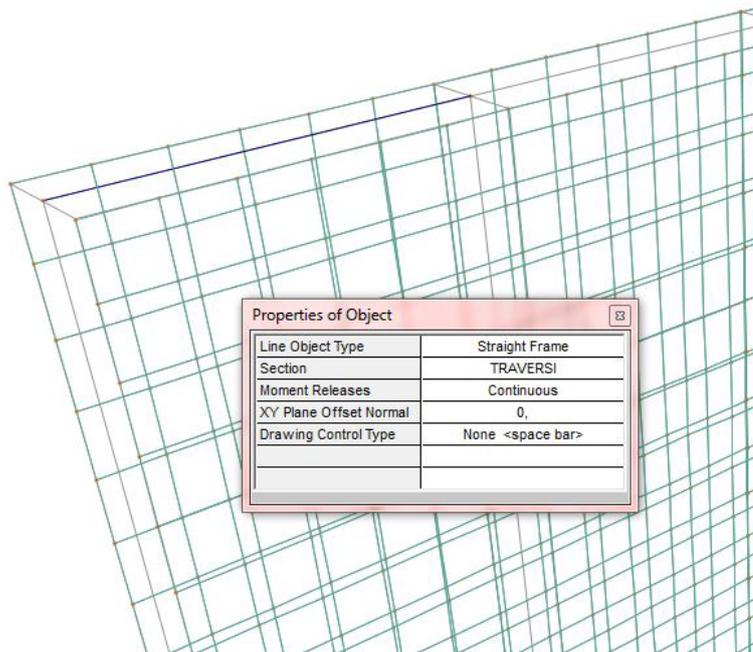


Fig. 30

E disegniamo gli elementi verticali assegnando la sezione “MONTANTI”, ottenendo il seguente risultato:

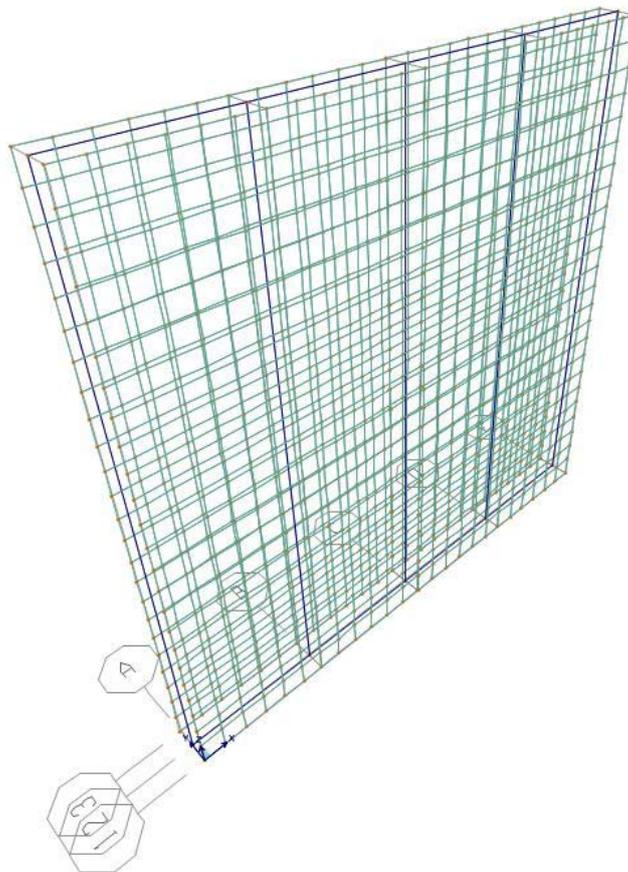


Fig. 31

Nel modello utilizzato, il collegamento tra traversi e montanti è una cerniera interna. Per definire questa

condizione su SAP2000 è sufficiente assegnare all'inizio ed alla fine di ogni elemento *Frame* il rilascio del momento. Selezioniamo tutti gli elementi trave e scegliamo *Assign, Frame, Release/Partial Fixity*, assegnando appunto il rilascio del solo momento 3-3:

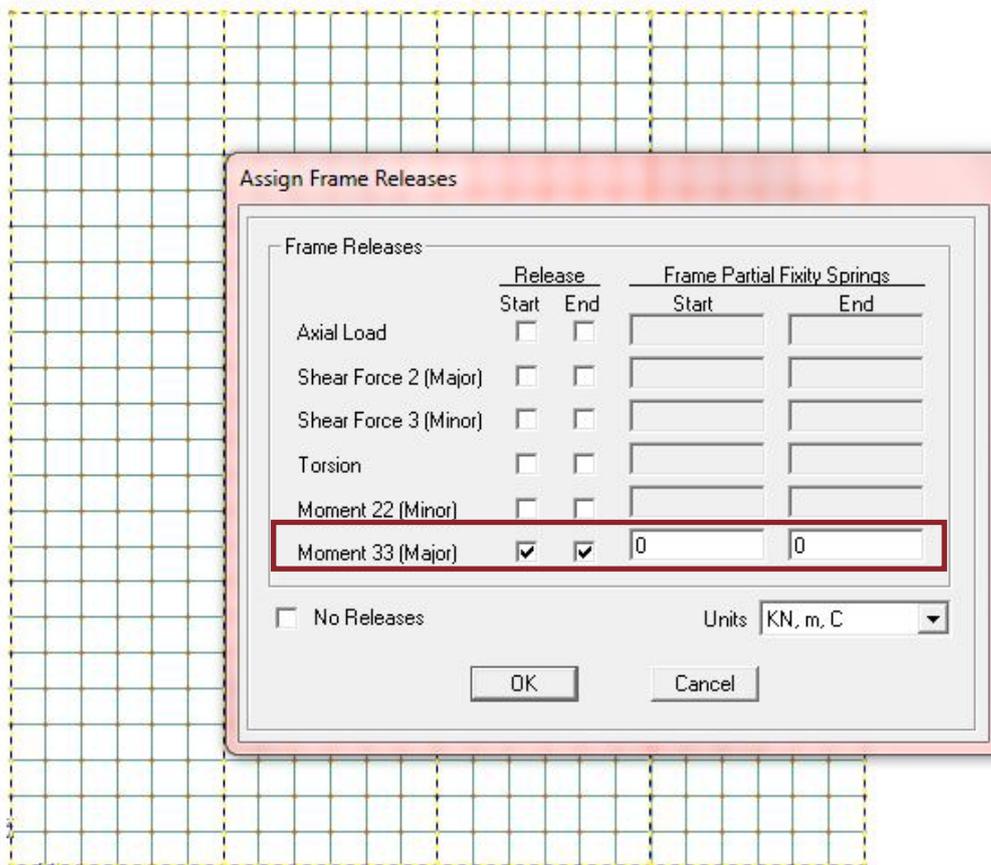


Fig. 32

Possiamo procedere con la modellazione dei link. Gli elementi link dovranno connettere il pannello al relativo traverso, o montante; come prima cosa sarà necessario identificare sui traversi ed i montanti tutti i punti in cui dovranno convergere i link. Possiamo disegnare i punti con il comando *Draw Special Joint* posizionandoli alle stesse distanze utilizzate per definire le aree rettangolari dei pannelli:

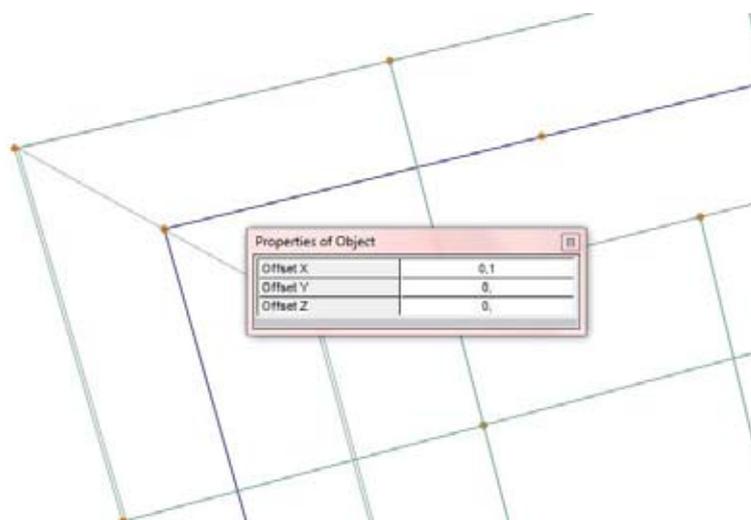


Fig. 33

A questo punto è sufficiente disegnare i link. Andiamo su *Draw, Joint 2 Link* e selezioniamo i due punti che

vogliamo connettere, stando attenti che le proprietà del link che si sta disegnando siano quelle precedentemente impostate:

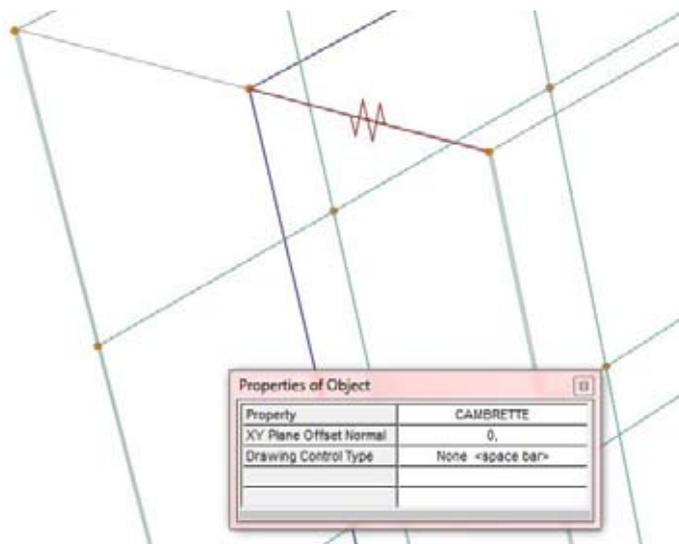


Fig. 34

Procediamo disegnando uno per un tutti i link. Facendo riferimento al pannello di Fig. 1, nei montanti centrali il numero le cambrette è circa la metà rispetto ai montanti di bordo, ovvero rispetto ai limiti del foglio OSB. Bisogna replicare questa distribuzione anche nel modello; nel montante comune ai due pannelli sarà necessario disegnare due link per ogni punto, uno che connette il montante al pannello di destra ed uno che connette il montante al pannello di sinistra:

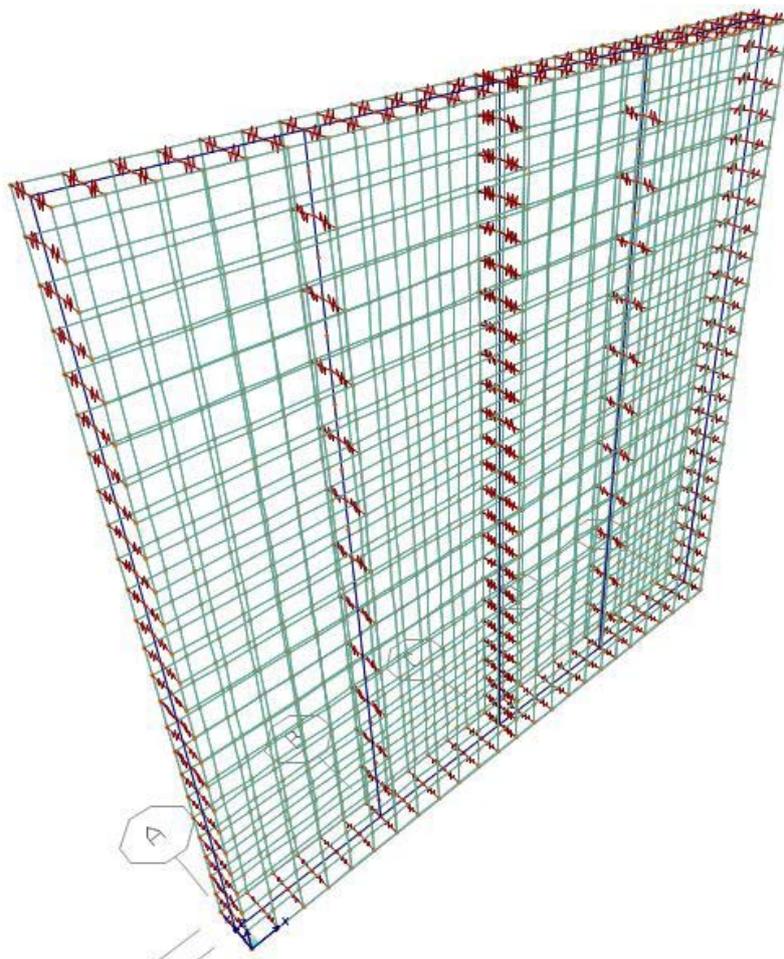


Fig. 35

Come ultima cosa dobbiamo vincolare la struttura. Nella realtà questi pannelli sarebbero vincolati a terra

tramite *hold-down* in due soli punti, mentre tutto il corrente inferiore risulterebbe semplicemente appoggiato; sotto l'effetto di una forza orizzontale agente nel piano è lecito pensare che parte del corrente inferiore si sollevi, poiché la struttura è molto leggera. Questa condizione di vincolo monolatero è difficile da replicare nel modello che si sta costruendo; una buona approssimazione di calcolo è però garantita inserendo una cerniera, che ha lo stesso comportamento di un *hold-down*, in corrispondenza dei montanti di chiusura del singolo pannello:

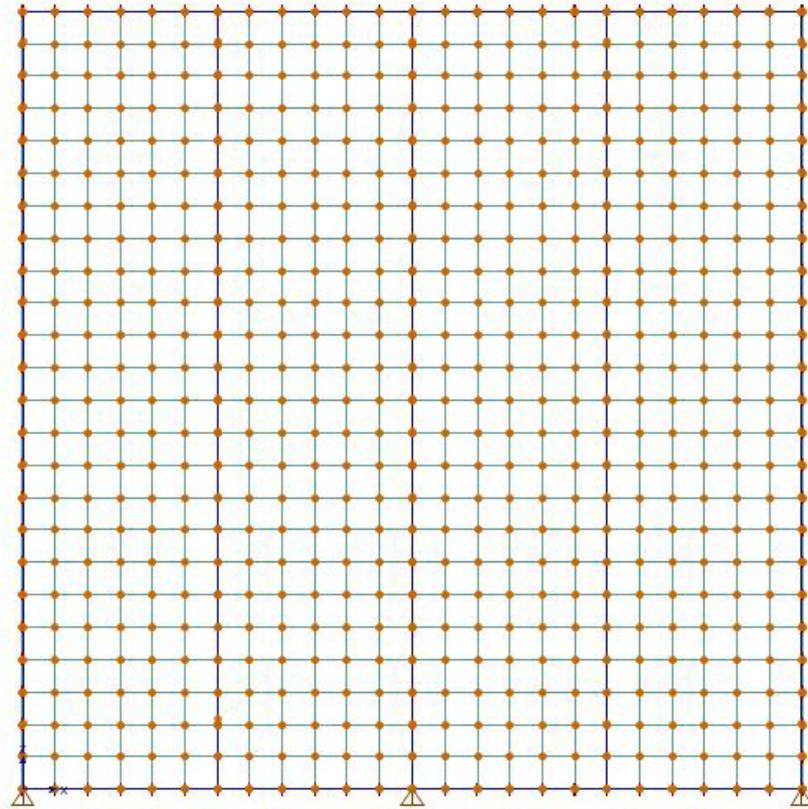


Fig. 36

Per quanto riguarda il vincolo fuori dal piano sarà sufficiente selezionare i nodi della struttura lignea ed assegnare un vincolo interno che impedisca lo spostamento lungo l'asse  $Y$ , ovvero lo spostamento  $U_2$ :

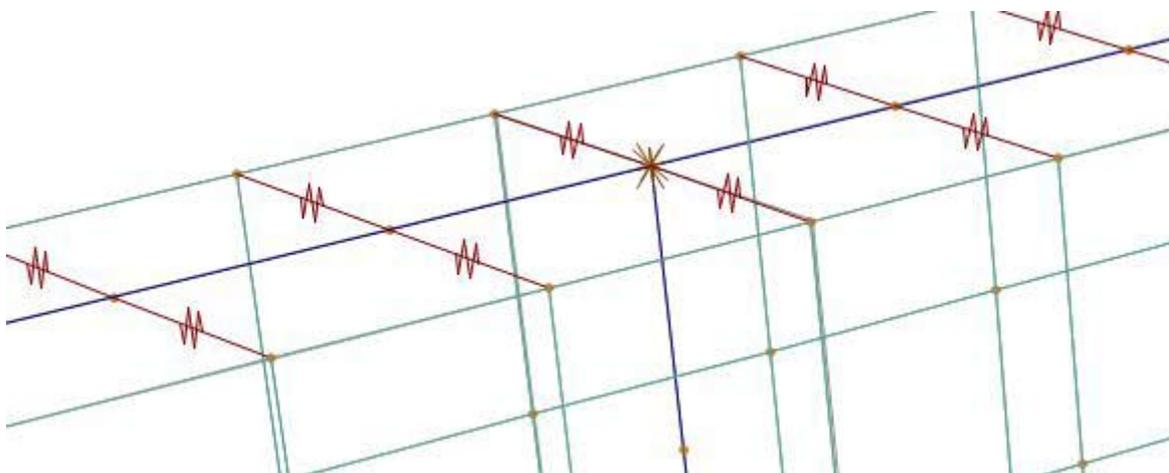


Fig. 37

La modellazione geometrica è completata.

### 3. ESEMPIO DI CALCOLO: DETERMINAZIONE DELLA RIGIDEZZA DEL PANNELLO

Il pannello che stiamo analizzando si compone di elementi diversi a loro volta definiti da materiali diversi, tutti connessi tra di loro. Il sistema costruttivo è complesso poiché il comportamento dell'insieme è frutto dell'interazione del comportamento dei singoli elementi, ed è quindi di non immediata determinazione.

Il modello che abbiamo modellato è molto raffinato, ed è utile proprio per capire il comportamento d'insieme del pannello quando questo è sottoposto a sollecitazioni esterne. Noto il comportamento dell'unità sarà possibile utilizzare i risultati delle analisi ai fini di studiare un sistema costruttivo più complesso, composto da una molteplicità di pannelli.

Facciamo un esempio di calcolo e poniamoci l'obiettivo di determinare la rigidezza del pannello. Pur conoscendo la rigidezza di montanti, traversi, pannelli OSB e link, non è possibile determinare gli effetti della loro interazione senza analisi mirate, per cui la rigidezza del pannello risulta di fatto un'incognita.

Muoviamoci in campo elastico lineare; sappiamo che forza, rigidezza e spostamento sono legati dalla relazione:

$$F = k u$$

Da cui ricaviamo:

$$k = F / u$$

Vogliamo determinare la rigidezza del pannello nel piano. Possiamo quindi procedere in questo modo: assegniamo una forza esterna  $F$ , effettuiamo l'analisi numerica del pannello, registriamo il valore dello spostamento  $u$  direttamente legato ad  $F$  e ricaviamo il valore della rigidezza  $k$  del pannello applicando la formula  $k = F/u$ .

Per assegnare la forza dobbiamo anzitutto definirla; andiamo su *Define, Load Patterns* ed aggiungiamo il pattern  $F$  che utilizzeremo per la forza orizzontale:

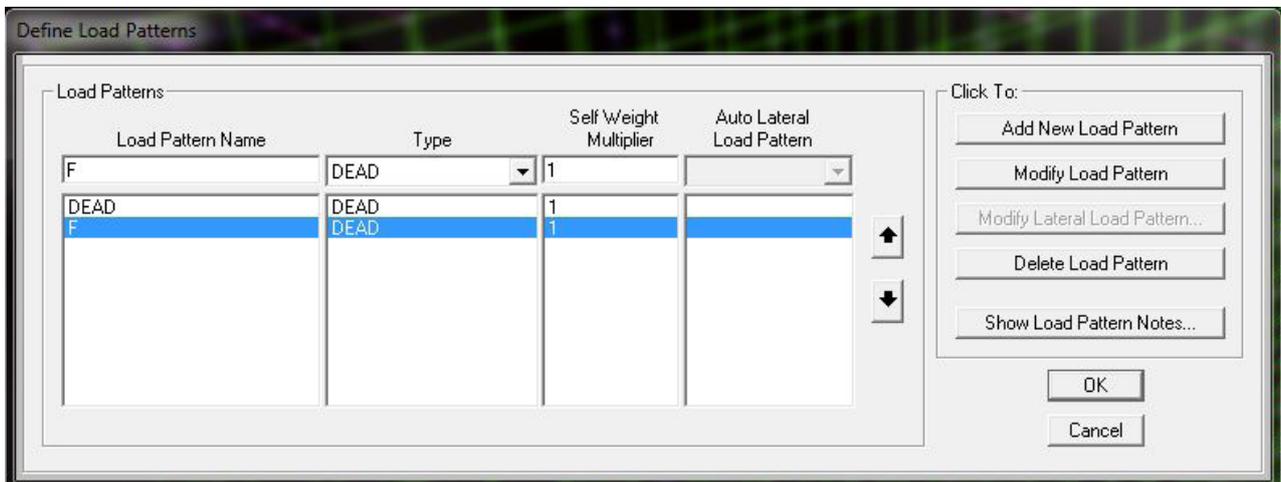


Fig. 38

Selezioniamo il punto del pannello nel quale vogliamo applicare la forza ed andiamo su *Assign, Joint, Joint Forces*.

Nella finestra che si apre, Fig. 45, selezioniamo  $F$  nel menù a tendina *Load Pattern Name*, ed assegniamo il valore della forza, *Loads*. Per determinare la rigidezza nel piano bisogna assegnare una forza orizzontale in direzione  $X$ . Per questo tipo di analisi è sufficiente assegnare un valore unitario della forza. Inseriamo quindi il valore 1 nella casella *Force Global X*:

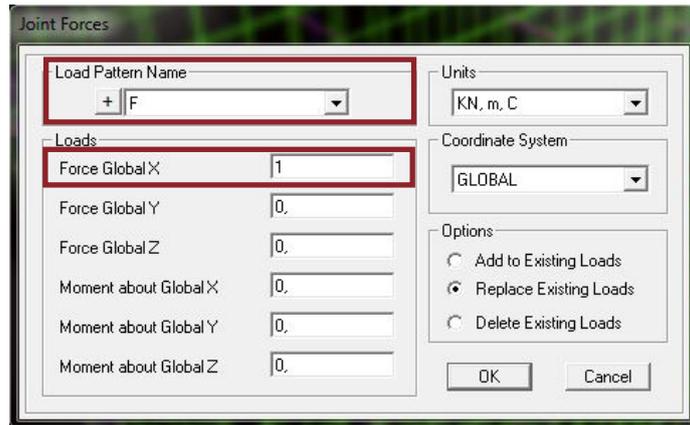


Fig. 39

Nello spazio modello comparirà la forza appena assegnata:

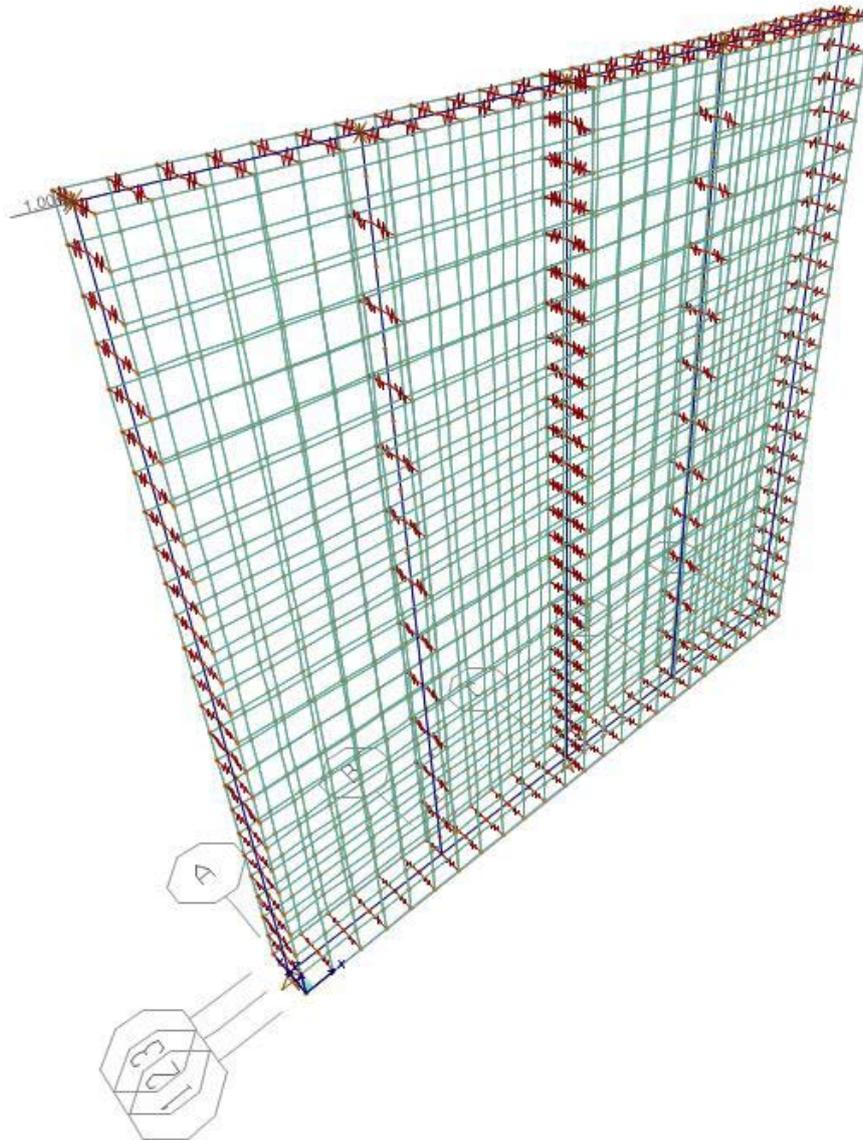


Fig. 40

Possiamo avviare l'analisi. Per farlo selezioniamo il comando *Run* nella barra degli strumenti superiore:



Fig. 41

Salviamo il modello ed avviamo l'analisi. Una volta completata la prima cosa che vedremo sarà la deformata del pannello:

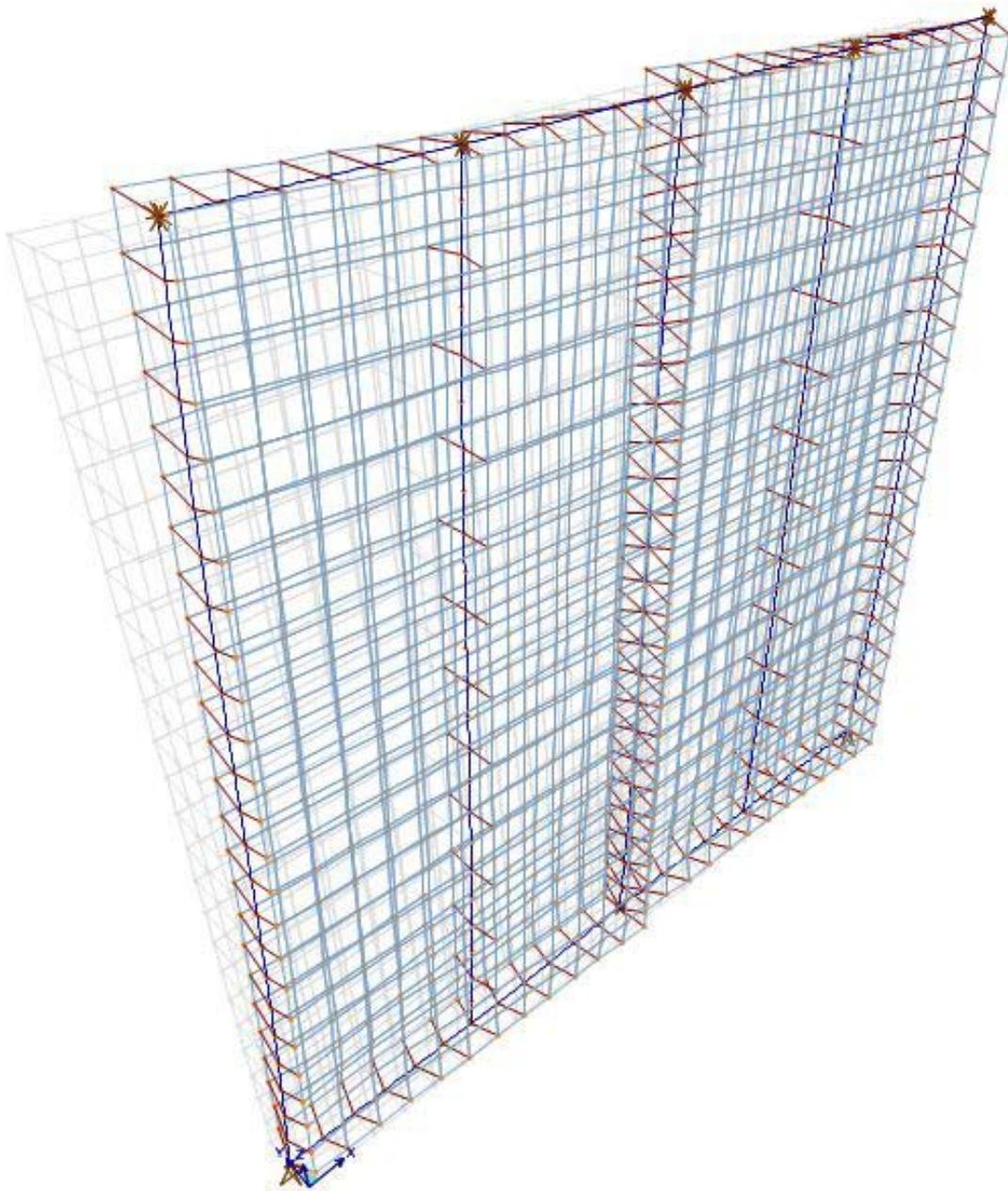


Fig. 42

È importante che i due fogli di OSB si deformino in modo indipendente l'uno dall'altro; ponendoci nel piano  $XZ$  la deformata risulterà sicuramente più chiara, come si vede in Fig. 43:

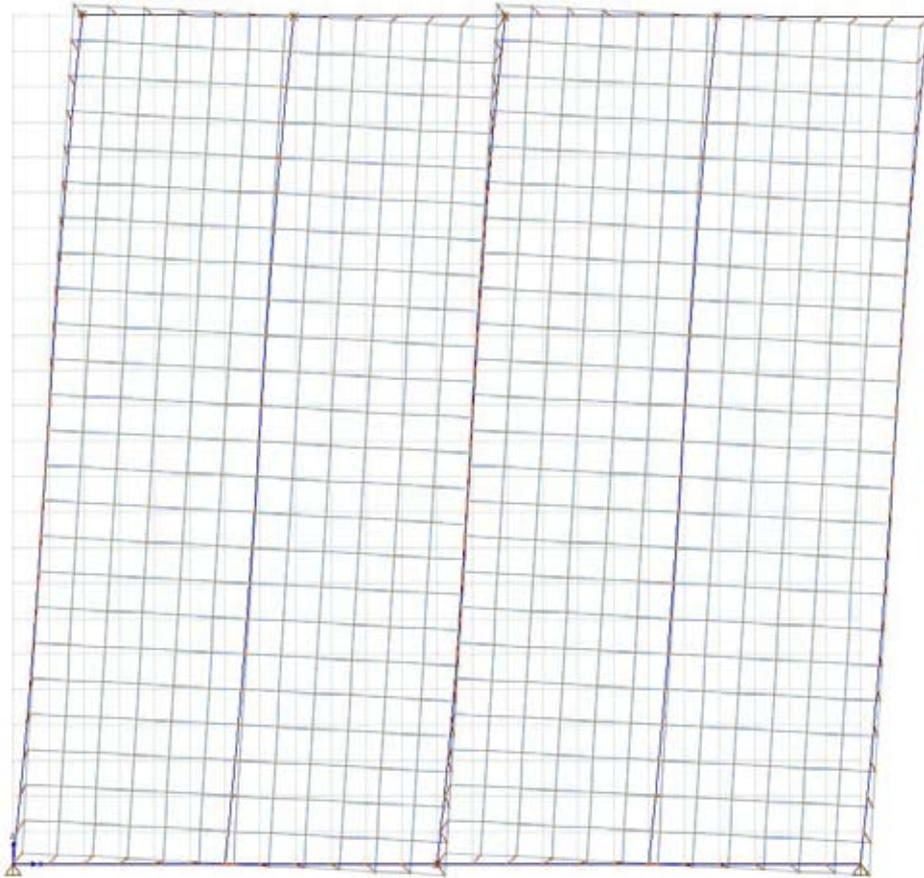


Fig. 43

Troviamo il valore dello spostamento. Dobbiamo considerare lo spostamento nella direzione della forza  $F$ , ovvero lo spostamento  $UI$ , che dovrebbe essere uguale per ognuno dei punti del corrente superiore. Per visualizzarne il valore clicchiamo, ad esempio, sul punto evidenziato in Fig. 49 col il tasto destro del *mouse*:

	Joint Object 2085	Joint Element 2085	
	1	2	3
Trans	5,738E-04	0,00000	-1,594E-05
Rotn	0,00000	0,00000	0,00000

Fig. 44

Nella Fig. 50 sono riassunti tutti gli spostamenti, *Trans*, e tutte le rotazioni, *Rotn*, del punto in questione nelle direzioni 1, 2 e 3. Il valore dello spostamento  $UI$  è di  $5,738 \times 10^{-4}$  m. Possiamo infine calcolare:

$$k = 1/5,738 \times 10^{-4} = 1747,77 \text{ kN/m}$$