

# **ESEMPIO DI MODELLAZIONE AGLI ELEMENTI FINITI**

**ANALISI SISMICA STATICA LINEARE DI UNA  
STRUTTURA IN LEGNO CON SISTEMA X-RAD**

## Sommario

1. INTRODUZIONE .....	3
2. DESCRIZIONE EDIFICIO .....	3
3. DEFINIZIONE CARICHI .....	5
4. COSTRUZIONE DEL MODELLO AGLI ELEMENTI FINITI.....	7
5. CALCOLO DELLE AZIONI SOLLECITANTI SU OGNI NODO .....	14
6. VERIFICHE DEL CONNETTORE X-ONE .....	16

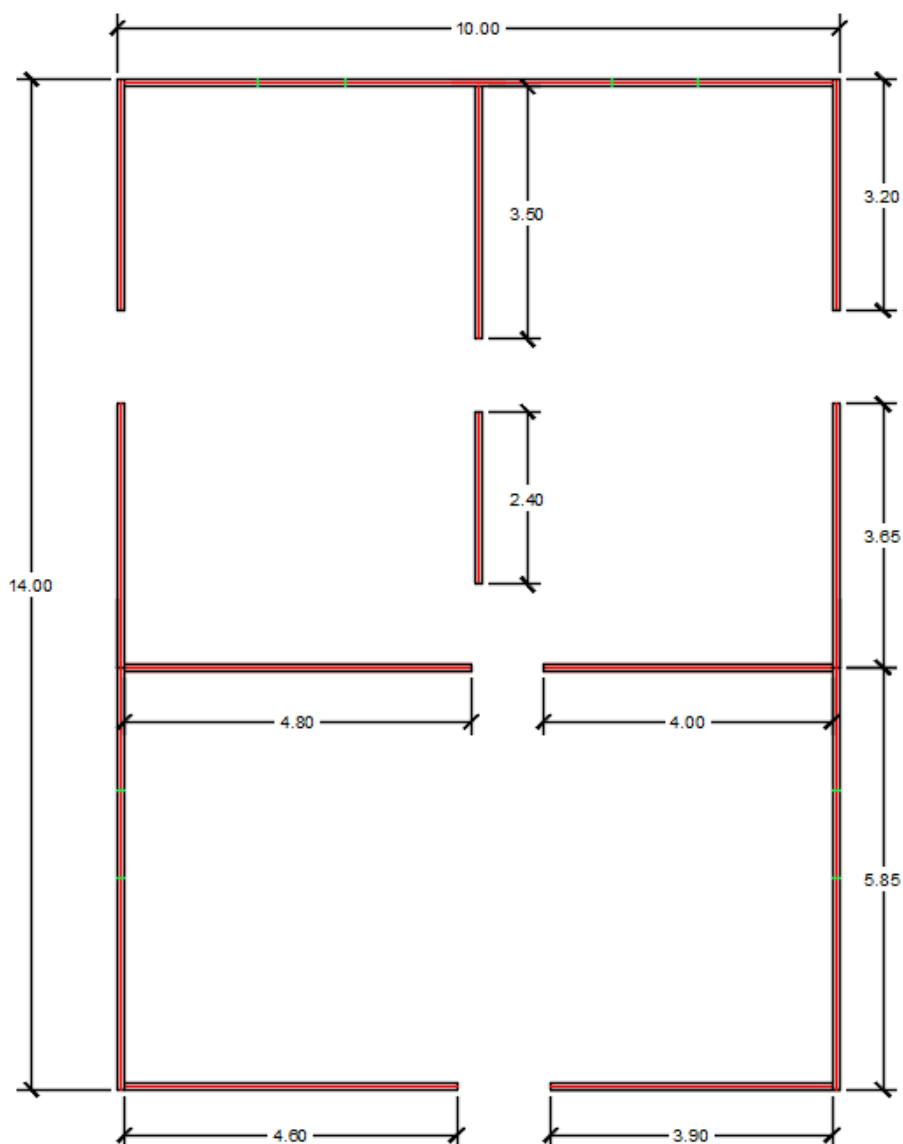
## 1. INTRODUZIONE

Si riporta un esempio di modellazione agli elementi finiti di una struttura connessa con sistema X-RAD. Nel dettaglio verrà illustrato passo per passo come implementare un'analisi sismica statica lineare.

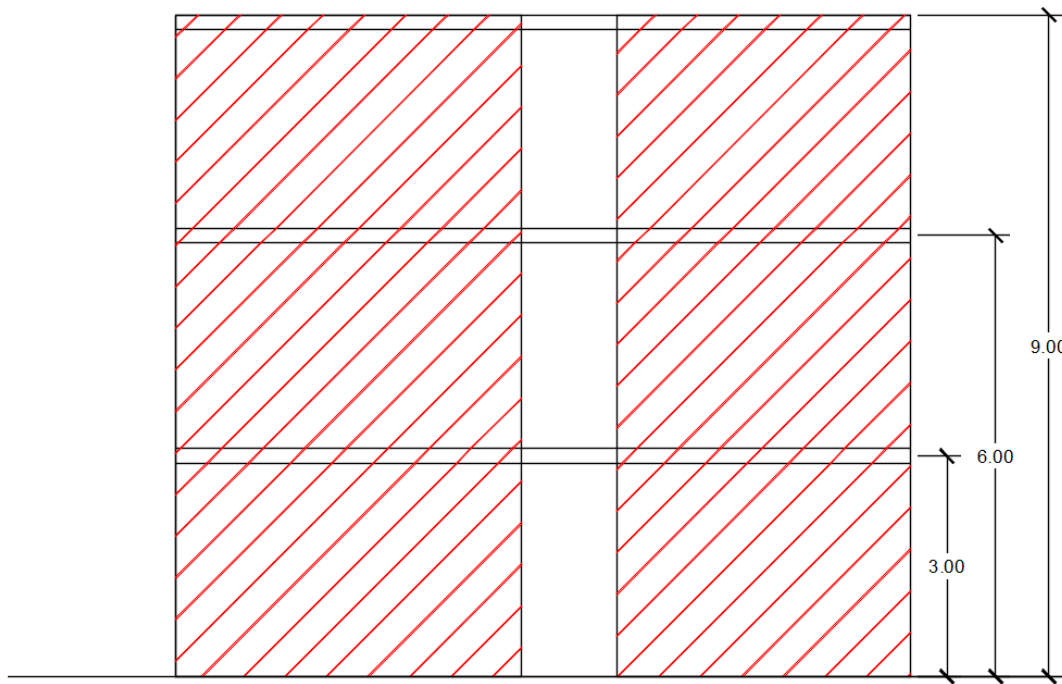
## 2. DESCRIZIONE EDIFICIO

L'edificio soggetto dell'analisi presenta le seguenti caratteristiche:

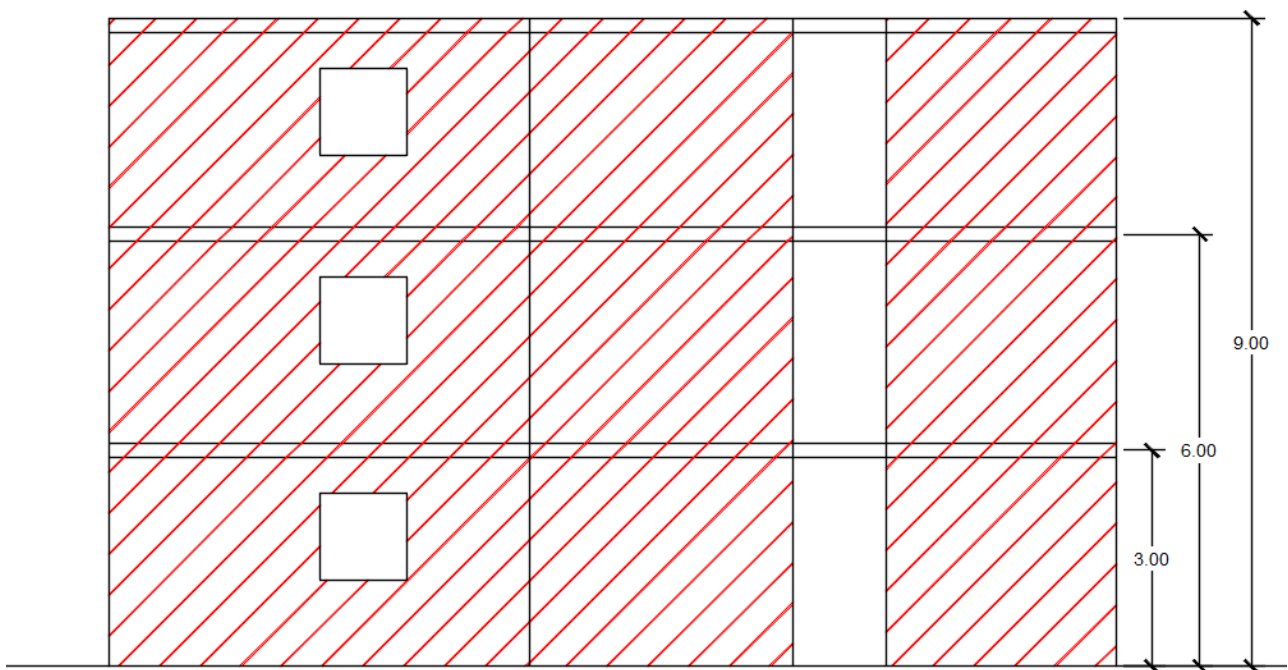
- Edificio a tre piani di altezza 9 m;
- Dimensioni in pianta 14x10 m;
- Copertura piana;
- Connettori X-RAD presenti ad ogni angolo dei pannelli in CLT;
- Geometria dei setti riportata in Figura 1.



**Figura 1: Pianta Edificio**



**Figura 2: Prospetto lato corto edificio**



**Figura 3: Prospetto lato lungo edificio**

### 3. DEFINIZIONE CARICHI

Si sono ipotizzati i seguenti carichi:

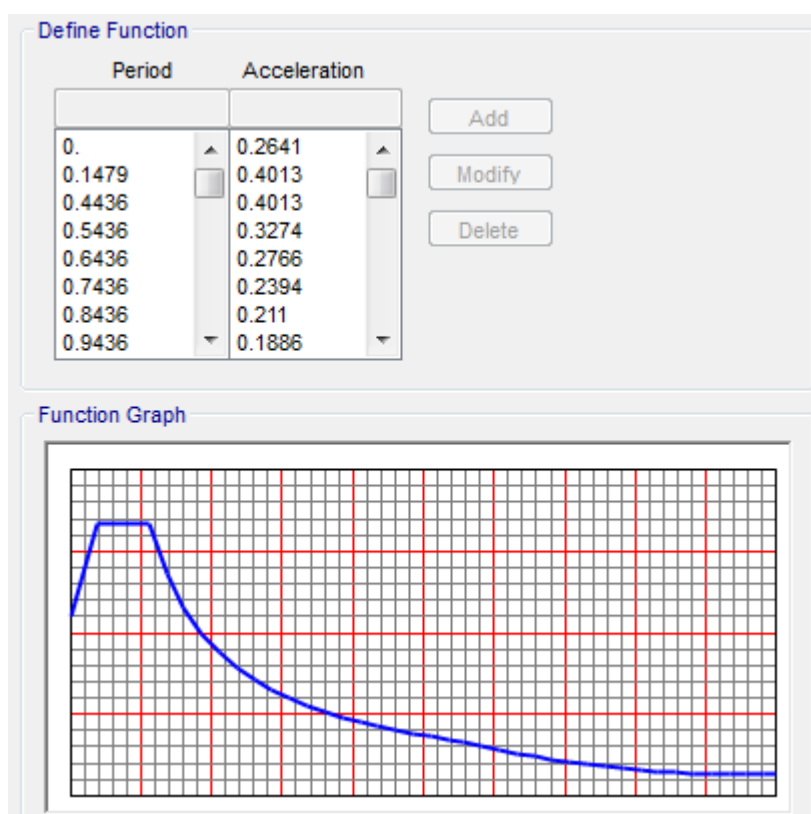
AZIONE STATICA:

- Peso proprio + permanente portato impalcati: 3.5 kN/m<sup>2</sup>;
- Peso proprio + permanente portato pareti: 1.0 kN/m<sup>2</sup>;
- Carico accidentale impalcati CAT A: 2.0 kN/m<sup>2</sup>;

AZIONE SISMICA (Comune di Verona):

- $a_g=0.157$  g;
- categoria di sottosuolo C;
- categoria topografica T<sub>2</sub> con h/H=0.7;
- struttura non regolare in altezza con fattore di struttura  $q=1.6$ ;

Lo spettro sismico di progetto è riportato in Figura 4:



**Figura 4: Spettro sismico di progetto**

Per il calcolo del periodo  $T_1$  si seguono le prescrizioni normative (NTC08):

$$T_1 = 0.05 \cdot H^{3/4} = 0.26 \text{ s}$$

Ci si trova quindi nella zona di plateau dello spettro di Figura 4, di conseguenza:

$$S_d(T_1) = 0.4013 \text{ g}$$

A titolo esemplificativo verranno riportati i risultati di 9 combinazioni di carico differenti come riportato nella seguente tabella:

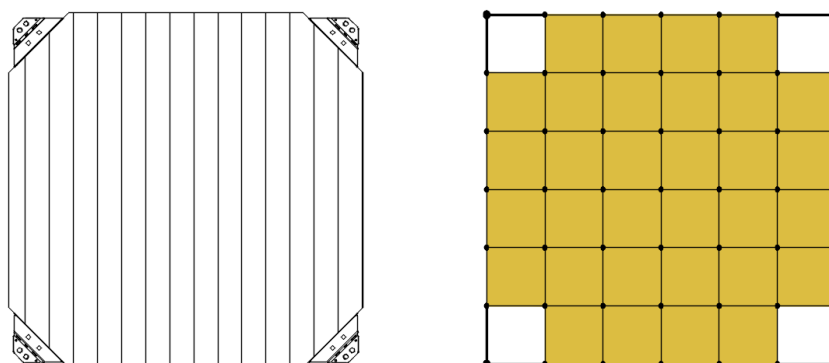
**Tabella1: Combinazioni di carico:**

NUMERO COMB.	TIPO DI COMBINAZIONE
1	SLU Statica
2	SLV +100%X + 30%Y
3	SLV +100%X - 30%Y
4	SLV -100%X + 30%Y
5	SLV -100%X - 30%Y
6	SLV +30%X + 100%Y
7	SLV +30%X - 100%Y
8	SLV -30%X + 100%Y
9	SLV -30%X - 100%Y

Non si considera quindi l'azione del vento e lo spostamento del baricentro delle masse sismiche del 5%.

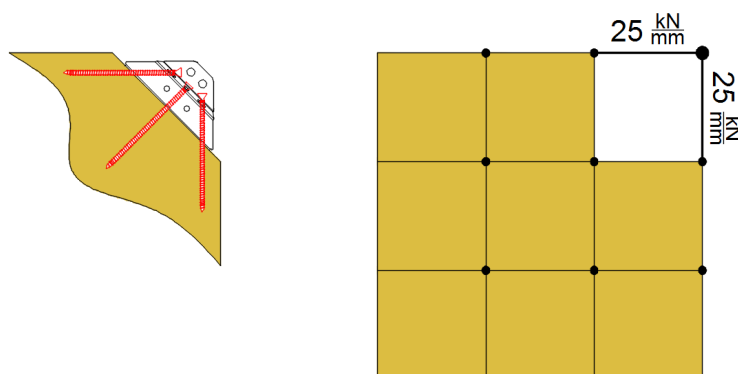
#### 4. COSTRUZIONE DEL MODELLO AGLI ELEMENTI FINITI

L'elemento base del modello prevede un X-RAD in ogni angolo del pannello CLT.



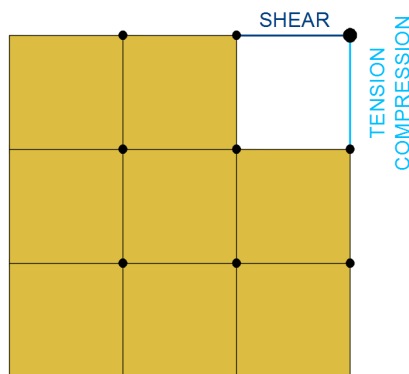
**Figura 5: Elemento base modello**

Il connettore è modellato con due bielle in materiale acciaio di sezione quadrata con lato  $l=5.51$  mm e lunghezza 255 mm (elementi "frame" posti agli angoli del pannello in Figura 5 e Figura 6). Si ottiene così una rigidezza finale della connessione X-RAD pari a  $k=25$  kN/mm. Il pannello in CLT è modellato con degli elementi di tipo "shell" (materiale isotropo con rigidezza  $E=5500$  MPa). Tale schematizzazione semplificata del materiale CLT è giustificata dall'osservazione che la rigidezza del sistema CLT-XRAD è governata dalla deformabilità della connessione.



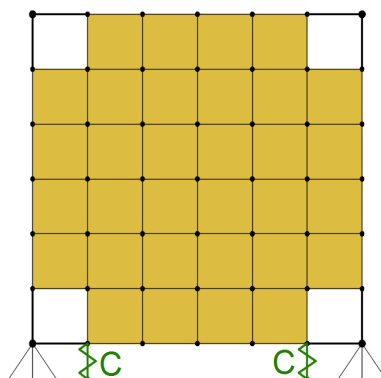
**Figura 6: Particolare X-RAD modellato con elementi di tipo "frame"**

Si è scelto di rappresentare ogni X-RAD con due bielle così da poter associare all'elemento frame verticale una forza di trazione/compressione, mentre all'elemento frame orizzontale è associata una forza di taglio (vedi Figura 7).



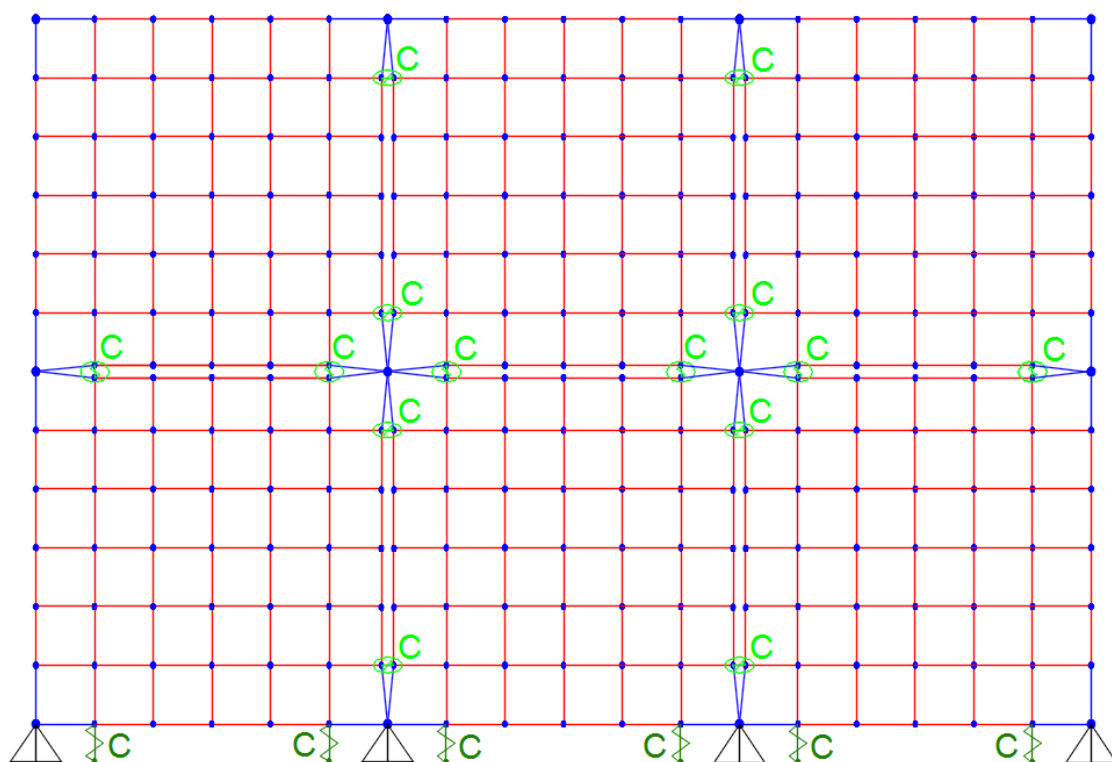
**Figura 7: Azioni associate ai due elementi “frame”**

Per simulare il contatto tra pannello-pannello e pannello-fondazione sono state definite delle molle non lineari di tipo gap. Quest’ultime hanno rigidità infinita a compressione e nulla a trazione. Sono schematizzate con il colore verde affiancate da una C in Figura 8.



**Figura 8: Molle di tipo “gap” infinitamente rigide a compressione**

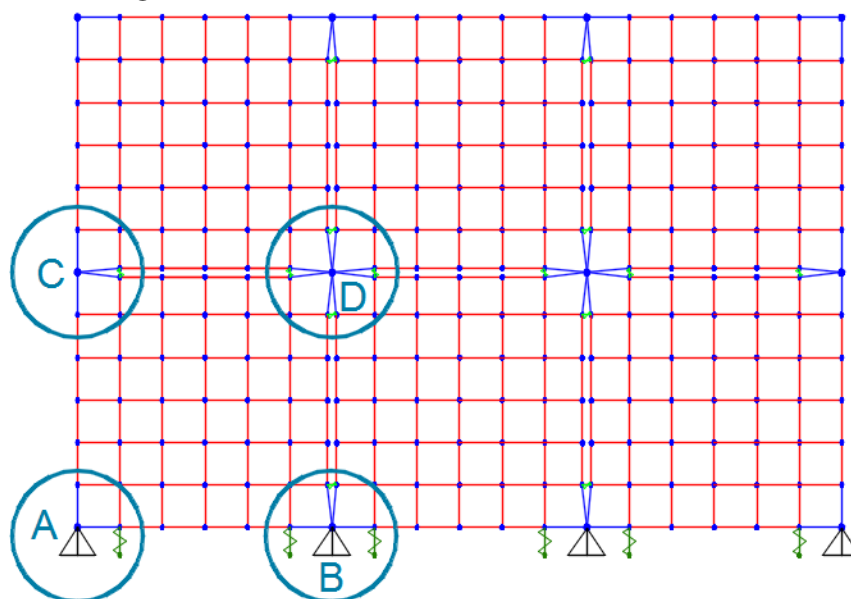
Viene disposta una molla ad ogni estremità del pannello, sia in verticale che in orizzontale (simulano il contatto tra pannelli in CLT e sono rappresentate in verde chiaro in Figura 9). Le molle posizionate alla base delle pareti simulano il contatto tra pannello-fondazione (verde scuro).



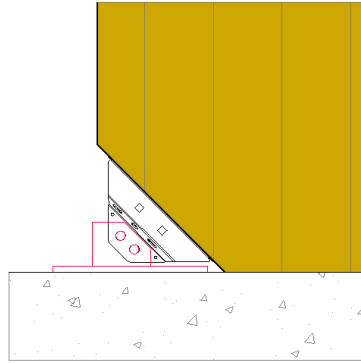
**Figura 9: Esempio di disposizione delle molle**

Come si può osservare in Figura 9, per distanziare i pannelli in CLT, è necessario dare una leggera inclinazione alle bielle che simulano il connettore. Si è dimostrato che tale inclinazione comporta errori inferiori al 4% in termini di forze sollecitanti su ogni X-RAD, accettabili quindi dal punto di vista ingegneristico.

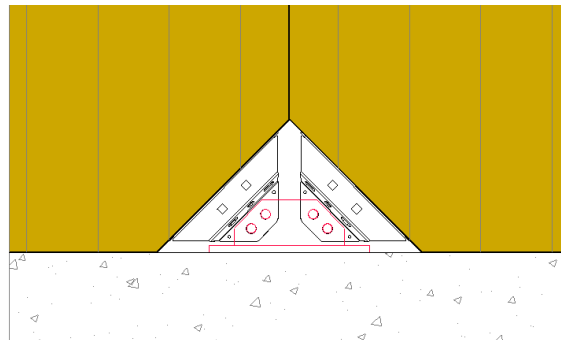
Vengo ora raffigurate le quattro diverse configurazioni di X-RAD utilizzabili in un edificio con i relativi modelli agli elementi finiti:



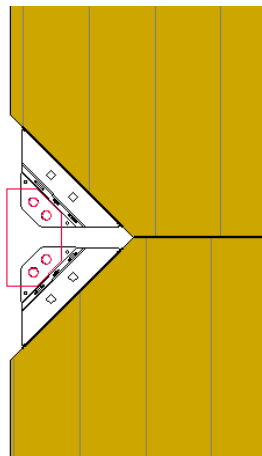
**Figura 10: Quattro possibili configurazione X-RAD**



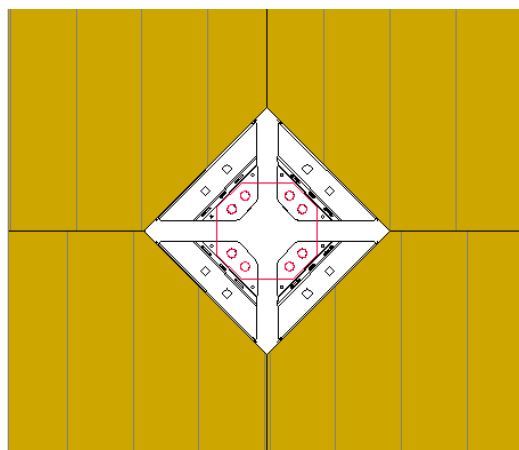
**Figura 11: Configurazione a una via (A in Figura 10)**



**Figura 12: Configurazione a due vie orizzontale (B in Figura 10)**

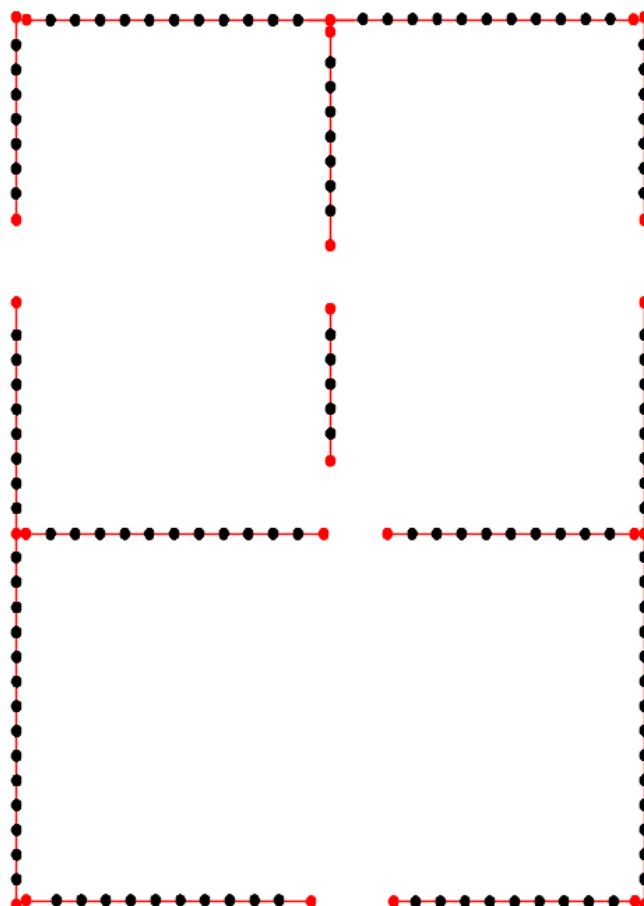


**Figura 13: Configurazione a due vie verticale (C in Figura 10)**



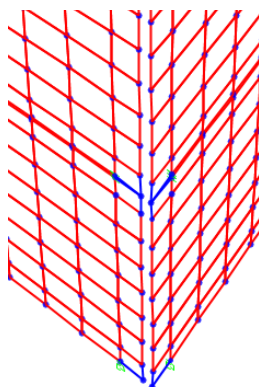
**Figura 14: Configurazione a quattro (C in Figura 10)**

Ad ogni orizzontamento sono stati inseriti dei diaframmi rigidi per conferire a tutti i punti collegati dal solaio il medesimo spostamento orizzontale. Tale vincolo va a modellare il controvento di piano costituito dai pannelli CLT del solaio opportunamente collegati tra loro. Per evitare errori di implementazione è importante escludere dal diaframma orizzontale i nodi di X-RAD (In Figura 15 i nodi in nero fanno parte del diaframma, mentre i nodi di colore rosso appartenenti a X-RAD, ne sono esclusi).



**Figura 15: Definizione diaframmi orizzontali**

I pannelli disposti in direzione ortogonale fra loro sono supposti svincolati. Le piastre che nella realtà andranno a collegare le pareti ortogonali sono inserite come connessione costruttiva fuori dal calcolo.



**Figura 16: Svincolo tra pannelli ortogonali**

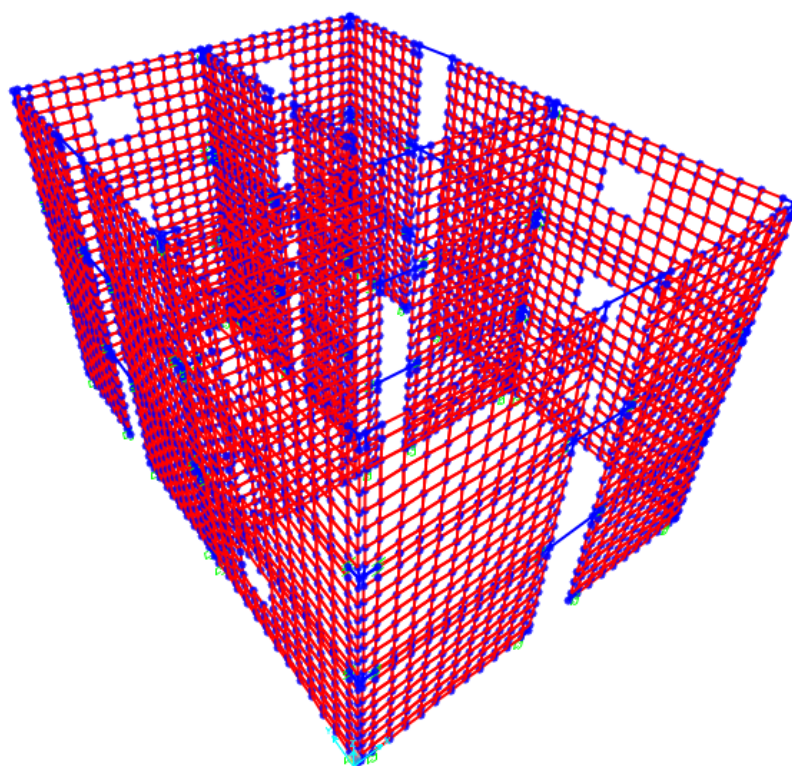
Per quanto riguarda l'inserimento dei carichi nel modello si possono scegliere due diverse metodologie:

- Si possono inserire direttamente i carichi in corrispondenza dei punti degli elementi "shell" delle pareti sui quali scaricano i solai;
- Si possono definire appositamente degli elementi tipicamente chiamati "travi porta-carico" facendo attenzione a svincolare quest'ultimi a momento (fungono così da bielle).

Per quanto riguarda la modellazione di eventuali travi o architravi presenti nell'edificio, si possono definire delle bielle (esempio architravi in blu in Figura 17).

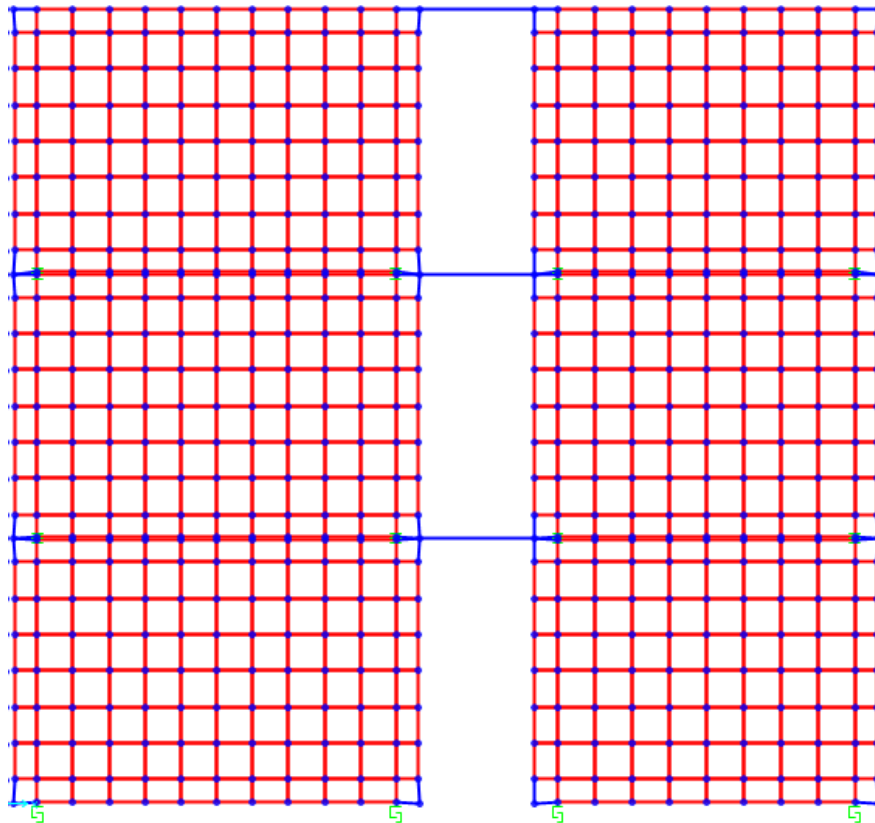
Si arriva così alla definizione finale del modello:

- VISTA 3D

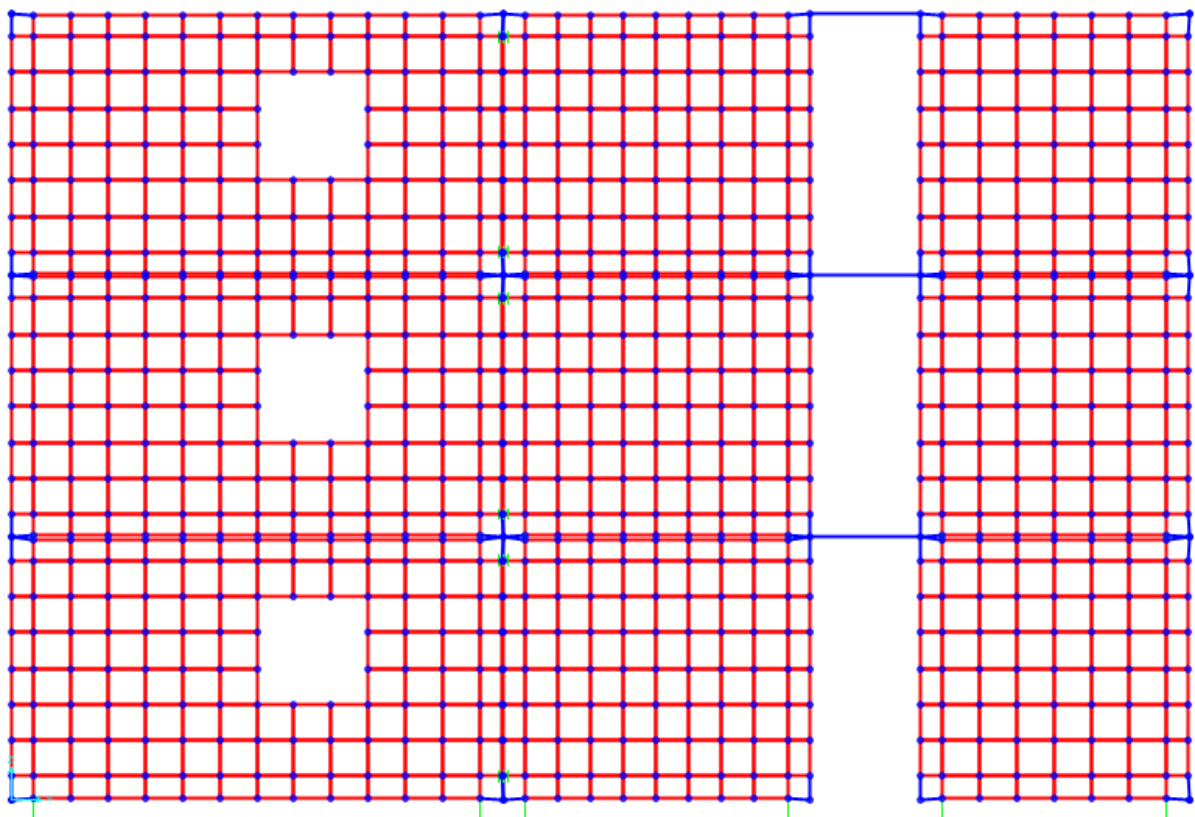


**Figura 17: Vista 3D modello finito**

- ESEMPI DI "SISTEMA PARETE"



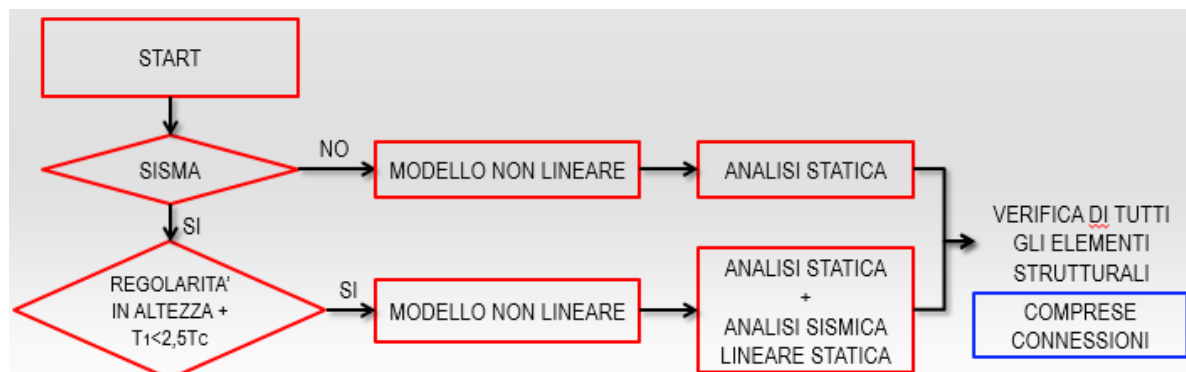
**Figura 18: Modello pareti esterne lato corto**



**Figura 19: Modello pareti esterne lato lungo**

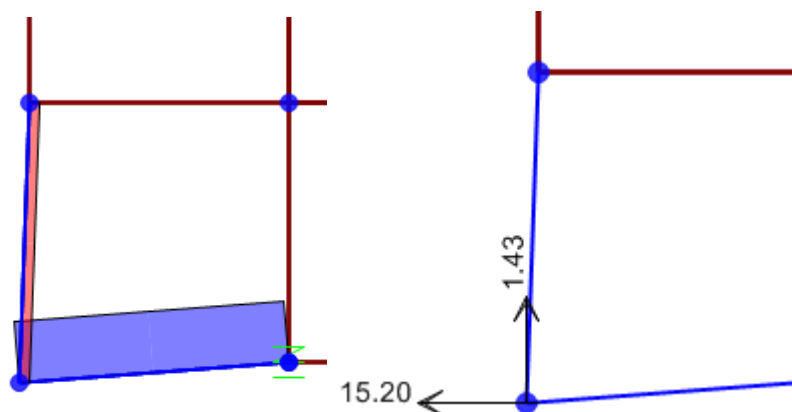
## 5. CALCOLO DELLE AZIONI SOLLECITANTI SU OGNI NODO

Per il calcolo delle azioni sollecitanti su ogni connettore, necessarie in fase di verifica, si segue il seguente diagramma di flusso.



**Figura 20: Diagramma di flusso**

L'analisi prevede un metodo risolutivo del modello agli elementi finiti NON LINEARE vista la presenza delle molle che lavorano solo a compressione descritte in precedenza. Definite le azioni esterne, ed eseguite le diverse combinazioni di carico, dall'output del programma FEM si ricavano le azioni assiali su ogni biella. Come già menzionato, alle bielle verticali sono associate delle forze di trazione/compressione mentre a quelle orizzontali dei tagli (Figura 7).

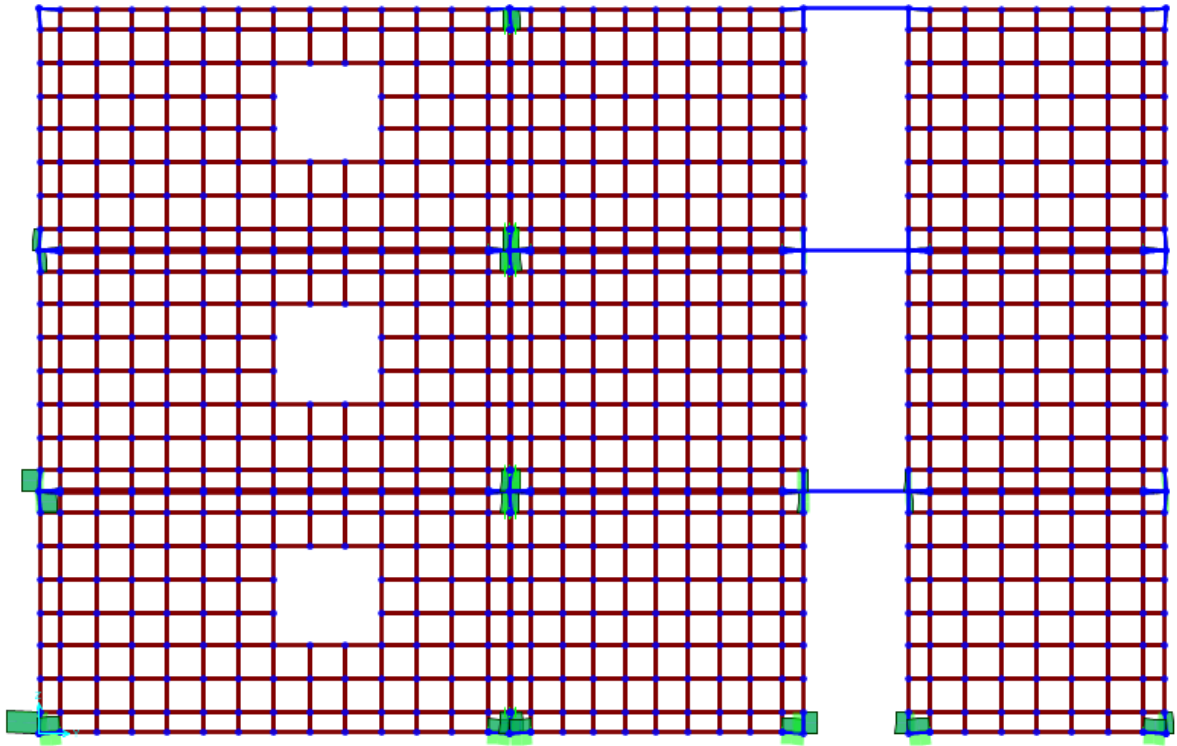


**Figura 21: Esempio di sollecitazione su un X-RAD in fondazione**

L'X-RAD di Figura 21 è soggetto ad un'azione di compressione (in rosso) pari a 1.43 kN e un taglio (in blu) di 15.20 kN.

Per la verifica del connettore è necessario combinare le due azioni e verificare che la forza risultante ricada all'interno del dominio di rottura. Questo passaggio è agevolato dall'utilizzo del software "MyProject", messo a disposizione dei progettisti e scaricabile dal sito [www.rothoblaas.com](http://www.rothoblaas.com). In particolare, è sufficiente, per ciascun X-RAD, copiare nel software i tabulati contenenti le due sollecitazioni (taglio e trazioni/compressioni). Il software esegue poi in maniera automatica la verifica del connettore X-ONE.

Dalla Figura 22 si osserva come i connettori più sollecitati siano quelli in fondazione. Nel caso in esame, se le verifiche risultano soddisfatte al piano terra, anche gli X-RAD dei piani superiori risultano essere verificati.

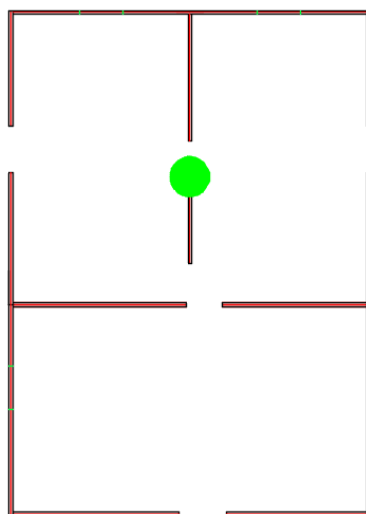


**Figura 22: Sollecitazioni su sistema parete**

## 6. VERIFICHE DEL CONNETTORE X-ONE

Una volta esportate dal modello agli elementi finiti le forze su ogni X-RAD, la verifica dei connettori è banale. Infatti il programma MyProject esegue quest'ultima in maniera automatica una volta inserite nell'apposita tabella le sollecitazioni di taglio ( $V_d$ ) e sforzo assiale ( $N_d$ ). Vanno inserite con segno positivo la trazioni e negativo le compressioni. E' possibile inserire un numero infinito di combinazioni di forze, ognuna delle quali associata ad una particolare combinazione di carico prevista dalla normativa.

A titolo esemplificativo viene riportata la verifica del un connettore X-RAD di fondazione evidenziato con il colore verde in Figura 23.



**Figura 23: X-RAD oggetto della verifica**

Le forze agenti su tale connettore, per ogni combinazione di carico, sono riportate in Tabella 2.

**Tabella 2: Sollecitazioni per le diverse combinazioni:**

TIPO DI COMBINAZIONE	$V_d$ [kN]	$N_d$ [kN]
SLU Statica	0.8	-22.2
SLV +100%X + 30%Y	-12.3	-17.3
SLV +100%X - 30%Y	11.6	-8.3
SLV -100%X + 30%Y	-12.3	-17.3
SLV -100%X - 30%Y	11.6	-8.4
SLV +30%X + 100%Y	-38.4	-33.9
SLV +30%X - 100%Y	38.7	14.9
SLV -30%X + 100%Y	-38.4	-33.9
SLV -30%X - 100%Y	38.7	14.9

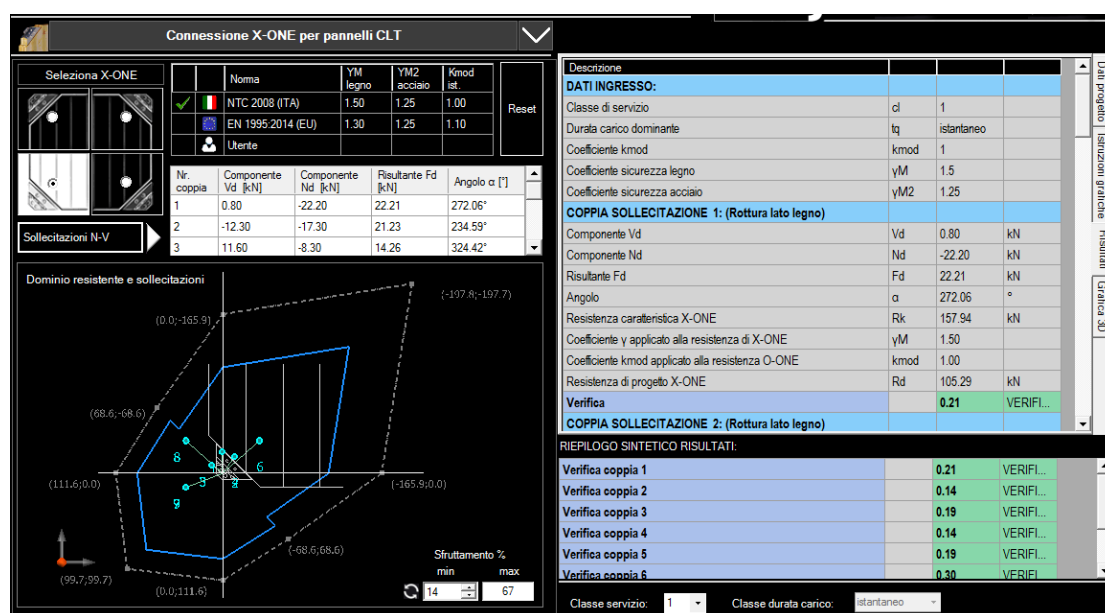
Queste coppie di sollecitazioni vanno inserite nelle tabella di input del software "MyProject" come illustrato in Figura 24.

canc	Nr. coppia	Componente Vd [kN]	Componente Nd [kN]	Risultante Fd [kN]	Angolo $\alpha$ [°]
X	1	0.80	-22.20	22.21	272.06°
X	2	-12.30	-17.30	21.23	234.59°
X	3	11.60	-8.30	14.26	324.42°
X	4	-12.30	-17.30	21.23	234.59°
X	5	11.60	-8.40	14.32	324.09°
X	6	-38.40	-33.90	51.22	221.44°
X	7	38.70	14.90	41.47	21.06°
X	8	38.40	-33.90	51.22	318.56°
X	9	38.70	14.90	41.47	21.06°

**Figura 24: Tabella di input "MyProject" contenente le 9 combinazioni**

Il programma combina automaticamente le azioni date in input e per ognuna di esse esegue una verifica sia in forma grafica che in forma numerica.

Per il caso in esame il connettore risulta verificato per tutte le combinazioni.



**Figura 25: Verifica connettore da "MyProject"**

Si può notare come tutti i punti rappresentanti la risultante agente sul connettore siano di colore verde e ricadano all'interno del dominio di rottura delimitato dalla linea blu nel grafico di Figura 25.