

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile

Tesi di Laurea Magistrale

**Sviluppo di un macro-modello per la
simulazione del collasso progressivo di strutture
intelaiate con tamponamenti in muratura**



Relatore

Ing. Fabio Di Trapani

Candidata

Chiper Mihaela Sabina

Anno Accademico 2018/2019

*Dedico questo lavoro
alle persone la cui presenza è stata
indispensabile per me in questi anni di studi,
Mia mamma e il mio fidanzato.*

Indice

Introduzione	1
Capitolo 1. Introduzione alla robustezza strutturale	5
1.1 Il concetto di robustezza strutturale	5
1.2 Fattori che influenzano la robustezza delle strutture	9
1.3 Meccanismi resistenti.....	9
Capitolo 2. Modellazione in OpenSees di fenomeni di collasso progressivo in strutture intelaiate in c.a.	13
2.1 Modellazione attraverso elementi a fibre.....	14
2.2 Large displacement	17
2.3 Corotational Transformation.....	17
2.4 Materiali utilizzati in <i>OpenSees</i>	18
2.4.1 Calcestruzzo.....	18
2.4.2 Acciaio	23
Capitolo 3. Validazione della proposta di modellazione per gli elementi frame	27
3.1 Specimens J. Weng et al., 2016 (7).....	27
3.1.1 Specimen FR	30
3.1.2 Specimen FR-S	35
3.1.3 Specimen PR.....	40
3.2 Specimens of Hai S Lew et al. (4).....	45
3.2.1 Specimen IMF	47
3.3 Specimen S3 of Yu J, Tan KH, 2013 (9)	50
3.4 Specimens BNS and BSS (10)	57
3.4.1 Telaio non tamponato senza dettagli sismici	59
3.4.2 Telaio non tamponato con dettagli sismici:	67
Capitolo 4. Proposta di modellazione dei telai tamponati.....	77
4.1 Definizione dei telai tamponati considerati	78
4.1.1 Casi sperimentali considerati	79
4.1.2 Casi numerici considerati	83
4.2 Modellazione in <i>OpenSees</i> del telaio in calcestruzzo armato	89
4.3 Macromodellazione del tamponamento in muratura	105
4.4 Confronto dei risultati	119
Capitolo 5. Simulazione di scenari di collasso progressivo su un edificio in calcestruzzo armato a 10 elevazioni	137
5.1 Modellazione della struttura mediante il software <i>Edilus</i>	137

5.1.1	Sisma e struttura:	138
5.2	Modellazione della struttura mediante il software <i>OpenSees</i>	142
5.3	Confronto dei risultati	157
5.3.1	Valutazione dell'influenza del numero di piani.....	157
5.3.2	Influenza della posizione della colonna rimossa	161
Capitolo 6.	Analisi dinamiche con rimozione istantanea del pilastro	163
6.1	Analisi dinamiche mediante <i>OpenSees</i>	163
6.1.1	Analisi dinamiche con rimozione della colonna centrale.....	165
6.1.2	Analisi dinamiche con rimozione della colonna di bordo	166
6.1.3	Influenza della posizione della colonna rimossa	167
6.2	Confronto dei risultati	169
Conclusioni	171
Ringraziamenti	173
Bibliografia	175

Introduzione

La robustezza strutturale rappresenta la capacità di una struttura di resistere al collasso progressivo in seguito ad un danneggiamento locale di un elemento strutturale primario dovuto ad un'azione accidentale, come ad esempio la perdita di una colonna di un edificio. Risulta quindi fondamentale garantire una certa solidità strutturale in caso di eventi eccezionali di questo genere, ed in tal senso, le strutture vengono classificate come robuste se presentano la capacità di non mostrare danni sproporzionati rispetto alle cause scatenanti come ad esempio esplosioni o urti.

L'interesse verso questo argomento è sempre più aumentato negli ultimi anni e questo è evidenziato dal sempre maggiore numero di test sperimentali e numerici effettuati e dalle raccomandazioni presenti all'interno delle norme tecniche. Questo si lega alla necessità di garantire un'elevata sicurezza pubblica, contenendo i danni economici che derivano dal collasso multiplo di strutture residenziali, commerciali o di uso pubblico.

Negli ultimi anni sono stati diversi gli autori che si sono concentrati sul tema della robustezza strutturale e sulla ricerca di metodi di valutazione della stessa. Tra questi possono risultare interessanti citare il metodo di valutazione della domanda di carico dinamico-spostamento attraverso un approccio pseudo-statico di Izzuddin et al. (2008). In seguito è stata proposta un'applicazione di tale metodo sulle strutture in acciaio (Vlassis et al., 2008).

Altri studi sperimentali sono stati condotti su strutture intelaiate in scala ridotta in calcestruzzo armato (Ren et al., 2016) e su strutture reali (Xiao et al., 2015). Insieme a questi è interessante citare anche gli studi sperimentali, accompagnati da interpretazioni numeriche, di Yu et al., 2013, Pham et al., 2015, Pham et al., 2017 e Weng et al., 2017, che hanno determinato i parametri geometrici e meccanici che influiscono sulla robustezza strutturale. In seguito sono state effettuate prove di tipo numerico su modelli tridimensionali di strutture intelaiate, che simulavano la rimozione istantanea di pilastri (Arshian e Morgenthal, (2017)). È stata inoltre applicata l'analisi dinamica incrementale, con la definizione di funzioni di fragilità (Brunesi et al., (2015)).

Tuttavia tutti gli studi sopra citati non tengono in considerazione il contributo di resistenza fornito dalla presenza dei tamponamenti in muratura sui telai in calcestruzzo armato. Per questo motivo risulta interessante menzionare gli studi numerici effettuati da Farazman 2013 e Xavier et al., 2015 e quelli sperimentali di Quian et al., 2017 e di Li et al., 2019, i quali hanno determinato quale sia l'influenza della tamponatura in muratura su strutture soggette a carichi gravitazionali. Questi studi hanno messo in evidenza la necessità di identificazione di un modello che tenga in conto l'interazione tra la muratura e il telaio in calcestruzzo armato.

In questa tesi dunque si è posta l'attenzione su questo aspetto, che risulta essere quindi di fondamentale importanza nel campo dell'ingegneria civile. In particolare si è cercato di determinare quale sia l'influenza del tamponamento in muratura sulla robustezza degli edifici intelaiati in calcestruzzo armato soggetti a collasso progressivo.

A tal fine dunque si è cercato di determinare un metodo di modellazione della tamponatura stessa, di semplice applicazione, in modo tale da poter studiarne il comportamento nonostante il problema risulta caratterizzato da numerose non linearità. Ciò richiederebbe una modellazione accurata e dispendiosa dal punto di vista computazionale, di conseguenza in questa tesi viene proposto un metodo semplificato utilizzando puntoni equivalenti, di cui in seguito verranno determinate tutte le caratteristiche meccaniche e geometriche.

La modellazione del tamponamento in muratura è avvenuto in seguito all'osservazione del meccanismo di fessurazione dei telai in calcestruzzo armato tamponato. Sono stati quindi utilizzati modelli sperimentali e numerici accurati appartenenti a studi pregressi, di cui si aveva a disposizione il quadro fessurativo in situazione di collasso progressivo, al fine di trovare un metodo di modellazione che potesse riproporre le curve dei test di pushdown a disposizione.

I casi studio analizzati sono stati in totale quindici. Per essi è stato calibrato un modello numerico, utilizzando il software *OpenSees*, ed è stata condotta un'analisi non lineare di pushover. In seguito è stato progettato un edificio in calcestruzzo armato tamponato in muratura in zona sismica, mediante l'utilizzo del software *Edilus*, al fine di ricavarne il comportamento in caso di azioni accidentali agenti su di esso. In questo modo, una volta validato il metodo di valutazione del contributo di resistenza dovuto alla tamponatura, esso è stato applicato su un caso di cui non si avevano a disposizione le curve sperimentali o numeriche, osservando che il comportamento ottenuto è risultato essere in linea con i modelli analizzati precedentemente.

Come anticipato, l'analisi numerica è stata condotta utilizzando il software *OpenSees*. Esso restituisce infatti risultati attendibili, in quanto permette di modellare gli elementi strutturali attraverso elementi a fibre. In questo modo è possibile effettuare un'analisi non lineare delle strutture, in quanto c'è la possibilità di attribuire ad ogni fibra legami costitutivi non lineari dei materiali.

La presente tesi dunque tratta l'argomento della robustezza cercando di tenere in considerazione tutte queste variabile che la influiscono. I capitoli che la compongono dunque presentano il percorso seguito per arrivare alla determinazione della macro-modellazione della tamponatura.

Il primo capitolo infatti presenta un'introduzione alla robustezza strutturale, mettendo in luce quali sono i fattori che la influiscono e come negli ultimi anni essa abbia assunto un ruolo sempre più importante all'interno della progettazione strutturale.

Nel secondo capitolo verrà introdotto l'utilizzo del software *OpenSees*, facendo una proposta di modellazione a partire dai criteri geometrici utilizzati fino ad arrivare alla definizione dei materiali implementati per la modellazione. L'obiettivo di questa parte è quello di determinare una proposta di modellazione delle strutture sottoposte al collasso progressivo.

Nel terzo capitolo la proposta di modellazione di cui sopra verrà validata, applicandola su telai in cemento armato, di cui si hanno a disposizione le curve sperimentali derivanti da prove di laboratorio effettuate rimuovendo la colonna centrale, prese da articoli riguardanti l'argomento della robustezza.

Dal quarto capitolo ci si concentrerà invece sui telai tamponati in muratura, al fine di determinare un metodo di modellazione efficace ma semplice in grado di rappresentare il comportamento dei telai in condizioni di collasso progressivo. Come si vedrà, la presenza della tamponatura determina una modifica del meccanismo resistente della struttra, perciò risulta importante tenerne conto.

Nel quinto capitolo verrà condotta la progettazione di un edificio in cemento armato tamponato a dieci piani, al fine di eseguire le stesse analisi in condizioni di azioni accidentali anche su di esso. La progettazione avviene mediante il software *Edilus*.

Infine nel sesto capitolo verranno condotte analisi dinamiche sullo stesso edificio, attraverso l'ausilio del software *OpenSees*. L'obiettivo di questa fase del lavoro è quello di determinare

quale sia la domanda di resistenza della struttura in condizioni di collasso progressivo, al fine di effettuare un confronto con la curva di capacità ricavata attraverso un'analisi pushover.

Capitolo 1. Introduzione alla robustezza strutturale

1.1 Il concetto di robustezza strutturale

Il concetto di robustezza strutturale nasce nell'ambito dell'ingegneria strutturale in seguito all'osservazione del comportamento delle strutture in calcestruzzo armato quando esse risultano sottoposte ad una azione di tipo accidentale. Nello specifico, è stato osservato in alcuni casi come la perdita improvvisa di un elemento primario della struttura abbia portato al collasso totale. Questo fatto è avvenuto a causa della mancanza della capacità di contenere gli effetti conseguenti a questo fenomeno, provocando quindi un effetto domino incontrollabile.

Le azioni accidentali a cui possono essere sottoposte le strutture sono ad esempio le esplosioni, gli impatti e le azioni conseguenti ad errori umani. La struttura deve avere la capacità di contenere il danno e questo si ottiene attraverso una progettazione mirata per affrontare questo tipo di problema, basata sullo studio della resistenza disponibile. Questo tipo di azioni hanno sulla struttura un effetto dinamico improvviso ed il suo contenimento è fortemente legato al comportamento non lineare delle parti strutturali. Nel condurre uno studio che porta alla determinazione della resistenza, risulta quindi fondamentale tener conto di tutte queste variabili.

Negli ultimi anni si è posta sempre più attenzione sul tema della robustezza strutturale, specialmente in seguito ad alcuni episodi di collasso parziale o totale di edifici in cemento armato. Si possono ad esempio osservare gli effetti catastrofici riscontrati nei casi del Ronan Point Building (London, 1968), dell'Alfred P. Murrah Federal Building (Oklahoma City, 1995) ed infine del World Trade Center (New York, 2001). Nel primo caso (**Figura 1-1**) il collasso è stato scatenato da un'esplosione dovuta ad una fuga di gas al diciottesimo piano e, come si può osservare, questo ha avuto conseguenze sull'intero edificio. Per quanto riguarda gli ultimi due casi invece (**Figura 1-2** e **Figura 1-3**), l'origine del crollo è imputabile ad attacchi terroristici.



Figura 1-1.Collasso parziale del Ronan Point Building (London, 1968)



Figura 1-2.Collasso parziale dell'Alfred P. Murrah Federal Building (Oklahoma City, 1995)



Figura 1-3.Collasso del World Trade Center (New York, 2001)

Per tutti e tre i casi presentati non sono stati riscontrati errori di progettazione ed è stata verificata l'assenza di anomalie in fase costruttiva. Le strutture tuttavia non sono state di in grado di ridistribuire i carichi attraverso percorsi alternativi, giungendo quindi al collasso. In seguito a questi episodi è risultata necessaria la stesura di nuove norme per la progettazione, che possano portare alla realizzazione di strutture robuste, in grado di contenere le conseguenze delle azioni accidentali. Per poter sottostare quindi alle nuove regole, i progettisti hanno dovuto prendere in considerazione la non linearità meccanica dei materiali impiegati e la non linearità geometrica. Altri accorgimenti da prendere in considerazione per garantire un comportamento adeguato, specialmente nelle strutture nuove, sono l'individuazione di percorsi di carico alternativi oppure l'individuazione di elementi chiave per la stabilità della struttura, la cui progettazione viene fatta in modo accurato per resistere alle azioni accidentali. Infine possono essere condotte analisi di rimozione degli elementi strutturali, e questo può essere fatto sia sulle strutture nuove sia su quelle esistenti, al fine di individuare la riserva di resistenza disponibile.

Tuttavia la varietà delle strutture nuove ed esistenti e la difficoltà nel prevedere le possibili azioni accidentali portano ad una difficile valutazione del grado di robustezza necessario. Per questo motivo, nella progettazione, è importante considerare il massimo evento credibile ed adottare tecniche costruttive in grado di dar vita a strutture duttili seguendo il concetto di *Capacity Design*, che possano far innescare il meccanismo di catenaria, con connessioni tra gli

elementi strutturali capaci di trasmettere il momento flettente e percorsi alternativi per i carichi. Tutto questo determina necessariamente un aumento dei costi di progettazione, perciò risulta necessario essere ragionevoli nel valutare tutte le variabili.

Molti sono i fattori che influiscono sulla riserva di resistenza in caso di scenari di carico eccezionali e, a tale proposito, è stato effettuato uno studio legato all'effetto del tamponamento in muratura sulla robustezza dei telai in calcestruzzo armato. È stata quindi eseguita un'analisi numerica di pushover su telai perimetrali estratti da edifici tridimensionali in cui sono stati fatti variare i parametri geometrici e meccanici che ne influenzano il comportamento, come ad esempio la luce delle travi, la presenza dei dettagli sismici, il numero di piani, la deformabilità del telaio e la sezione delle travi.

Poiché i telai considerati risultano essere tamponati in muratura, è risultato fondamentale determinare un metodo di modellazione del tamponamento. In tal senso sono stati utilizzati puntoni equivalenti che ne simulano il comportamento in situazioni di carico accidentale, caratterizzate da precisi parametri meccanici e geometrici, che variano a seconda delle proprietà dell'edificio considerato.

1.2 Fattori che influenzano la robustezza delle strutture

La robustezza delle strutture è una caratteristica che può essere raggiunta attraverso particolari costruttivi da definire in fase progettuale, tutti fattori che, al di là dell'aleatorietà dell'evento, possano permettere di contenere i danni che ne conseguono. Secondo quanto riportato nelle Norme Tecniche per le Costruzioni (2018), le strutture progettate al fine di resistere alle azioni accidentale devono presentare una certa duttilità e resistenza strutturale, che siano in grado di contenere il danneggiamento senza andare incontro al collasso globale. Inoltre, oltre alle strategie che possono essere adottate in fase di progetto, possono essere adottati sistemi di controllo della struttura in esercizio, scelti in relazione alle azioni alle quali essa potrebbe essere soggetta.

Alcuni degli accorgimenti da adottare al fine di rispettare questi requisiti sono la monoliticità delle strutture, garantendo quindi un comportamento di insieme, e la loro iperstaticità. Questo si ottiene attraverso adeguate connessioni, che ne garantiscono un buon collegamento tra gli elementi strutturali. Altri fattori che influiscono la robustezza strutturale sono il rispetto del criterio della gerarchia delle resistenze, la presenza dei dettagli costruttivi per quanto riguarda i nodi trave-colonna al fine di garantire capacità di plasticizzazione degli stessi, rigidità della struttura e resistenza al taglio.

Tutti questi elementi dunque permettono di progettare strutture duttili, resistenti e robuste, in grado di evitare il collasso progressivo.

1.3 Meccanismi resistenti

Determinare la riserva di capacità portante di una struttura in cemento armato in caso di rimozione di un elemento strutturale risulta essere altamente complicato. L'improvviso scenario della perdita della colonna determina infatti una risposta dinamica altamente non lineare. Per questo motivo risulta importante tenere in conto le non linearità del problema nella valutazione della riserva di resistenza. Tuttavia l'utilizzo di analisi dinamiche non lineari nella progettazione strutturale diventa complicato. Da qui nasce la necessità di utilizzare metodi semplificati per la determinazione della resistenza, prendendo in considerazione l'amplificazione dinamica dovuta allo scenario di carico.

La rimozione accidentale di una colonna all'interno di un edificio in cemento armato determina l'improvviso instaurarsi di un meccanismo di collasso, che può essere riprodotto attraverso test

numerici di pushdown. In particolare viene applicato uno spostamento verticale nel punto alla sommità della colonna che viene rimossa, e attraverso il monitoraggio dei punti di vincolo, viene determinato il valore di carico verticale che ne risulta.

Il tipico risultati di un test di pushdown viene riportato in **Figura 1-4**, in cui si può osservare un primo tratto in cui la trave risulta essere interessata da meccanismo ad arco, per poi raggiungere una seconda configurazione di equilibrio, in cui, all'aumentare dello spostamento verticale, si innesca il meccanismo di catenaria.

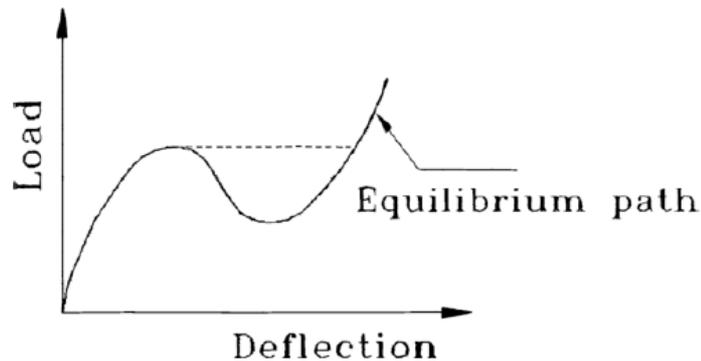


Figura 1-4. Tipico andamento della curva di pushdown

Durante l'istaurarsi dei meccanismi sopra citati, in cui aumenta lo spostamento verticale, la trave in cemento armato passa dall'essere interessata da un'iniziale azione di compressione ad una successiva azione di trazione, come viene riportato in **Figura 1-5**:

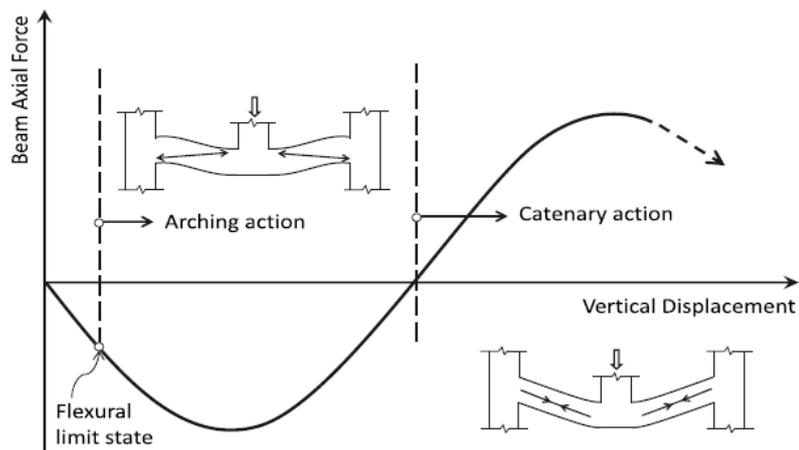


Figura 1-5. Evoluzione della forza assiale durante il meccanismo di collasso

In particolare, una volta superato il limite elastico, le barre di armatura presenti all'interno della trave iniziano a snervarsi, arrivando alla formazione delle cerniere plastiche. A questo punto si innesca il meccanismo ad arco che porta a generare una spinta all'interno delle travi, che incrementa la loro resistenza. Man mano che lo spostamento verticale aumenta, si giunge allo stadio in cui dalla compressione si passa alla trazione della trave, in quanto si innesca il meccanismo di catenaria (**Figura 1-6**).

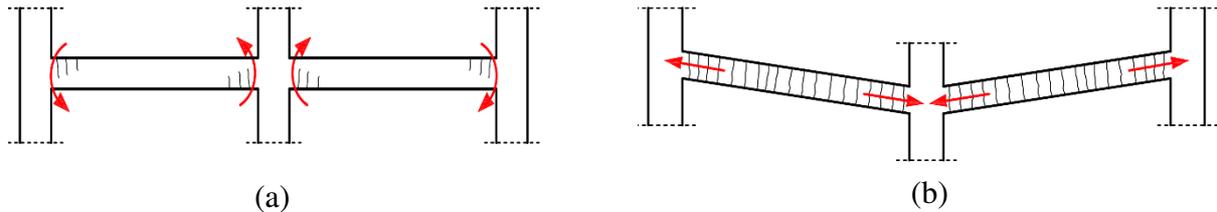


Figura 1-6. Meccanismo ad arco (a) e meccanismo a catenaria (b)

Nel momento in cui il meccanismo della trave cambia, entrano in gioco anche le barre di armatura longitudinale del pilastro, in quanto determinano un contenimento della deformabilità laterale della trave.

Il collasso della trave avviene nel momento in cui le barre di armatura presenti all'interno della trave giungono a rottura nelle zone di giunzione tra la trave e le colonne esterne. In questi punti infatti si vengono ad innescare sforzi elevati di trazione nel momento in cui la trave si trova in regime di catenaria.

Il meccanismo di catenaria può svilupparsi oppure no, a seconda della capacità della trave. Di conseguenza, può presentarsi il caso in cui non ci sia il recupero di capacità di carico della struttura, affidando tutta la capacità portante alla risposta flessionale con la conseguente formazione del meccanismo ad arco. In quest'ultimo caso, la struttura arriva al collasso se la domanda di resistenza supera il valore massimo di capacità di resistenza, senza poter ulteriormente contare sul recupero dovuto alla catenaria.

La presenza della tamponatura, modifica in questo senso la risposta da parte della struttura all'improvvisa rimozione della colonna. Le curve di pushdown dei telai tamponati risultano essere nettamente più alte, offrendo quindi una riserva di resistenza superiore, ed inoltre cambiano i meccanismi resistenti rispetto al caso di telaio non tamponato, osservando una migrazione dei punti di formazione della cerniera plastica sulle travi che costituiscono il telaio. Inoltre il meccanismo resistente a catenaria non si viene a formare nel caso di telai tamponati,

in quanto la presenza della tamponatura determina un minor danneggiamento dei giunti del telaio a causa della minore forza assiale che si genera nella trave, la quale diminuisce proprio per la forza di compressione che si genera all'interno della muratura. Tenere quindi in conto la presenza della tamponatura risulta essere fondamentale per poter determinare la capacità portante dei telai in calcestruzzo armato tamponati.

Capitolo 2. Modellazione in OpenSees di fenomeni di collasso progressivo in strutture intelaiate in c.a.

Nel presente capitolo viene proposta una modellazione del comportamento dei telai in calcestruzzo armato sottoposti a collasso progressivo. In tal senso risulta importante prendere in considerazione tutte le problematiche legate a questo fenomeno.

È stato osservato infatti come una struttura sottoposta a collasso progressivo presenti una prima fase iniziale flessionale, in cui l'elemento trave passa dalla fase elastica per arrivare infine allo snervamento delle barre di armatura inferiori. A questo punto si innesca il meccanismo ad arco, che porta ad avere compressione nella trave, che ha effetti benefici dal punto di vista della resistenza. All'aumentare dello spostamento in direzione verticale del punto di mezzeria della trave, essa si trova a passare dalla compressione alla trazione, per arrivare infine a trovare un nuovo stato di equilibrio in cui si innesca il meccanismo a catenaria. Come si può osservare il comportamento meccanico in questione risulta essere complicato, e per modellare una struttura sottoposta a collasso progressivo sarebbe importante prendere in considerazione tutte le non linearità del caso, a partire dall'analisi in regime di grandi spostamenti, per passare al comportamento non lineare dei materiali che vengono utilizzati. In tal senso viene presa in considerazione anche l'instabilità in compressione delle barre longitudinali di armatura, che diminuisce all'aumentare del passo dell'armatura trasversale e il diverso comportamento del calcestruzzo in compressione nella fase post-picco al crescere del confinamento laterale.

Tutti questi aspetti sono stati presi in considerazione eseguendo un'analisi non lineare mediante l'ausilio del software di calcolo *OpenSees*, che ha permesso di eseguire una modellazione a fibre degli elementi strutturali. Questo ha portato a determinare una proposta di modellazione che ha restituito risultati validi, della quale in seguito vengono mostrati i passaggi.

2.1 Modellazione attraverso elementi a fibre

Il software di calcolo strutturale *OpenSees* (*Open System for Earthquake Engineering*) permette di eseguire una modellazione a fibre delle sezioni degli elementi strutturali. Ciò risulta essere conveniente poiché permette di condurre analisi di tipo non lineare su tali elementi, in quanto dà la possibilità di attribuire ad ogni fibra legami costitutivi dei materiali costituenti che non presentano comportamento puramente elastico. Risulta quindi che ogni fibra costituente l'elemento presenta un comportamento di tipo monoassiale (**Figura 2-1**).

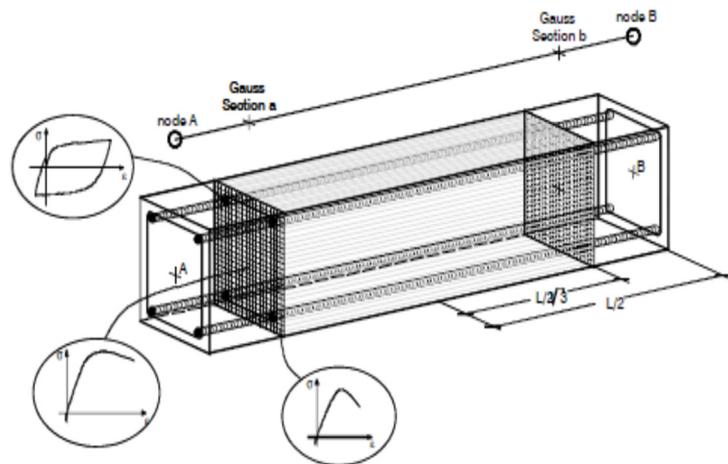


Figura 2-1.Modellazione a fibre di una sezione in calcestruzzo armato

Prendendo in considerazione una sezione in calcestruzzo armato, risulta necessario eseguire una modellazione utilizzando le fibre sia l'area di calcestruzzo sia l'area di armatura. In particolare il calcestruzzo presenta un comportamento differente a seconda che esso sia confinato o meno. Per questo motivo al calcestruzzo confinato all'interno delle staffe è possibile attribuire una legge costitutiva differente rispetto a quello esterno alle staffe.

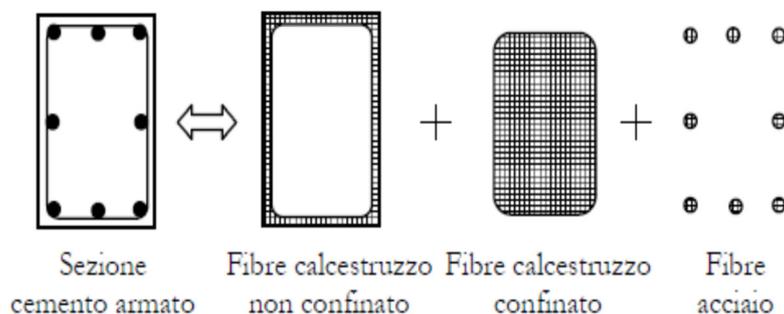


Figura 2-2.Modellazione a fibre di una sezione in calcestruzzo armato

Come si può meglio osservare in **Figura 2-2**, la sezione finale si ottiene sovrapponendo le 3 aree differentemente modellate.

L'elemento strutturale così creato viene in seguito suddiviso in una serie di sezioni di controllo, i quali rappresentano i punti di integrazione di Gauss-Lobatto lungo l'elemento stesso.

Per gli elementi a fibre si utilizza il concetto di plasticità distribuita. Esso si differenzia dalla plasticità concentrata, in quanto prevede di distribuire la plasticità sull'intero elemento, piuttosto che considerarla concentrata nelle cerniere plastiche (**Figura 2-3**).

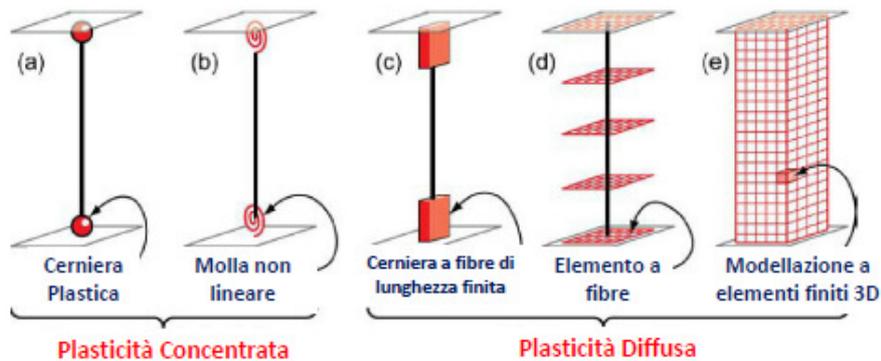


Figura 2-3. Concetto di plasticità concentrata e plasticità distribuita

Come è noto infatti, nel campo della plasticità concentrata, gli elementi costituenti la struttura rimangono in campo elastico, prevedendo quindi dei punti precisi di formazione delle cerniere plastiche, in cui viene concentrata tutta la non linearità del problema. Questo risulta non del tutto in linea con il comportamento reale delle strutture, specialmente per la difficoltà di un'individuazione precisa della posizione della cerniera plastica. Per contro, questo metodo permette di avere un vantaggio dal punto di vista computazionale, arrivando ad avere elementi strutturali facilmente gestibili.

Per quanto riguarda invece la modellazione a fibre, la plasticità risulta diffusa lungo tutto l'elemento. In questo modo non è necessaria la determinazione del punto di formazione della cerniera plastica e il calcolo del momento di plasticizzazione. Tuttavia, questo modo richiede un maggior onere computazionale, a fronte però di un comportamento più realistico dell'elemento.

Gli elementi a fibre risultano essere essenzialmente di due tipi:

- *Force Based Elements* (FBE)
- *Displacement Based Elements* (DBE)

Per gli elementi *Displacement Based* viene seguito il classico approccio degli elementi finiti, in cui la deformazione dell'elemento viene interpolata a partire dall'approssimazione del campo degli spostamenti. In seguito viene utilizzato il principio dei lavori virtuali per ricavarne le forze nodali.

Per interpolare il campo di deformazioni, si sceglie di adottare per il campo degli spostamenti $u(x)$ funzioni di forma con andamento lineare e per $v(x)$ con andamento quadratico. Si ottengono così una deformazione assiale costante ed una curvatura lineare. A causa dell'approssimazione scelta, risulta quindi necessario adottare una discretizzazione sufficientemente raffinata per poter cogliere in modo adeguato il campo di deformazione.

Per gli elementi *Forced Based* invece non è richiesta una discretizzazione fitta, in quanto l'approssimazione risulterà essere adeguata grazie all'utilizzo di sezioni di controllo definite dai punti di integrazione.

La risposta degli elementi cambia in modo significativo a seconda che venga utilizzato un tipo di elemento piuttosto che l'altro, ma si ottiene comunque un buon comportamento se la mesh viene gestita in modo adeguato.

2.2 Large displacement

Le analisi che vengono eseguite in ambito strutturale possono fare riferimento a due tipi di configurazione. In particolare gli elementi possono essere analizzati in configurazione indeformata, facendo l'ipotesi di avere piccoli spostamenti e valutando così l'equilibrio della struttura trascurando la deformata dovuta all'applicazione dei carichi esterni.

Tuttavia, nel momento in cui un elemento strutturale, come per esempio una trave in cemento armato, viene caricato, esso si deforma in maniera non trascurabile. Per questo motivo è possibile eseguire analisi sotto l'ipotesi di grandi spostamenti, assumendo quindi che la trave possa raggiungere configurazioni differenti rispetto allo stato indeformato. Ciò comporta l'introduzione di ipotesi differenti in quanto le due configurazioni si legano ad analisi strutturali completamente diverse tra di loro e questo lo si può osservare dai risultati in termini di sollecitazioni che vengono ricavati.

L'analisi in configurazione indeformata porta ad avere notevoli vantaggi dal punto di vista del calcolo, in quanto permette di attribuire leggi costitutive elastiche lineari ai materiali utilizzati e consente l'applicare il principio di sovrapposizione degli effetti. Per contro invece l'analisi in configurazione deformata si porta dietro tutti i problemi legati alla non linearità geometrica e meccanica, in cui la configurazione finale di equilibrio della struttura dipende dalla posizione che essa assume in seguito all'applicazione dei carichi esterni.

Il discorso dell'analisi non lineare in regime di grandi spostamenti si lega alla robustezza strutturale, in quanto, in caso di azioni accidentali, le travi che compongono la struttura devono manifestare la capacità di passare da un meccanismo flessionale ad un meccanismo a catenaria, che si allontana di molto dalla configurazione indeformata.

2.3 Corotational Transformation

A seconda del problema che si sta affrontando, risulta importante determinare in *OpenSees* anche il tipo di trasformazione geometrica che si intende eseguire. In particolare, per tenere conto del regime in grandi spostamenti e della non linearità del modello, è stata scelta la *Corotational Coordinate Transformation*, che svolge una trasformazione geometrica esatta della rigidità della trave dal sistema locale al sistema globale.

La sintassi utilizzata in *OpenSees* per applicare questo tipo di trasformazione è la seguente:

geomTransf Corotational \$transfTag <-jntOffset \$dXi \$dYi \$dXj \$dYj>

\$transfTag = etichetta per la trasformazione corotational;

\$dXi \$dYi \$dXj \$dYj = (facoltativi) coordinate del nodo iniziale e del nodo finale dell'elemento nel sistema di riferimento globale.

2.4 Materiali utilizzati in *OpenSees*

I materiali da costruzione sono caratterizzati da un legame tensionale σ - ε fortemente non lineare il quale conferisce una non linearità meccanica alla struttura. La presenza di questo comportamento elasto-plastico nel materiale rende inadeguata la teoria lineare per la valutazione dello stato limite ultimo. L'accoppiamento dell'acciaio e del calcestruzzo, materiali costitutivi del cemento armato, crea un legame costitutivo non lineare in cui, superata la tensione di snervamento, nascono plasticizzazioni che rendono non lineare il rapporto tra carico applicato e deformazione. Affiancando al comportamento fragile del calcestruzzo il comportamento duttile dell'acciaio, l'effetto non è la rottura catastrofica una volta superato lo snervamento, ma è la generazione di una deformazione plastica permanente che può portare ad una nuova configurazione di equilibrio. Questo è possibile sotto l'ipotesi di perfetta aderenza tra calcestruzzo e barre di acciaio che assicura la piena collaborazione tra i due materiali.

In questa sezione si descrivono le caratteristiche principali dei legami costitutivi scelti per modellare al meglio il comportamento dei due materiali.

2.4.1 Calcestruzzo

Il calcestruzzo è un materiale composto da cemento e inerti, fortemente non omogeneo e che determina un comportamento non lineare anche per la sollecitazione di compressione pura. Si instaurano, infatti, all'interfaccia tra pasta cementizia e aggregati, delle concentrazioni di sollecitazione che portano a fenomeni di microfessurazione interna.

Per questa modellazione si utilizza il legame proposto da Kent e Park (1971), modificato da Park et al. (1982), in base al quale la curva nel piano sforzo-deformazione si è ottenuta con una prova monoassiale di compressione. Questo modello è implementato su *OpenSees* con il comando *Concrete02* della libreria *uniaxialMaterial* (**Figura 2-4**)

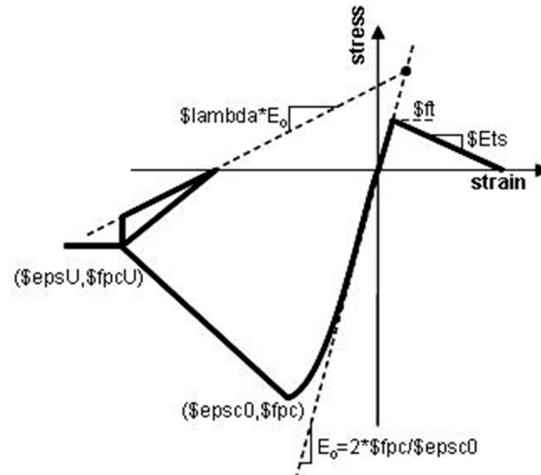


Figura 2-4. Legame costitutivo del calcestruzzo implementato dal comando Concrete02 di *OpenSees*

Il ramo crescente di compressione è rappresentato da una parabola limitata da una deformazione del 2‰ la quale non è influenzata dell'entità di armatura trasversale. La necessità di ricorrere alla modifica operata da Park et al., 1982 consente di prendere in considerazione l'incremento di duttilità dovuto alla presenza di rinforzi trasversali, il quale modifica il comportamento del ramo decrescente (**Figura 2-5**).

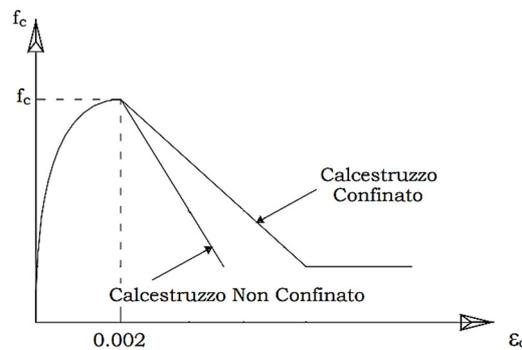


Figura 2-5. Legame costitutivo del calcestruzzo proposto da (Park et al.,1982)

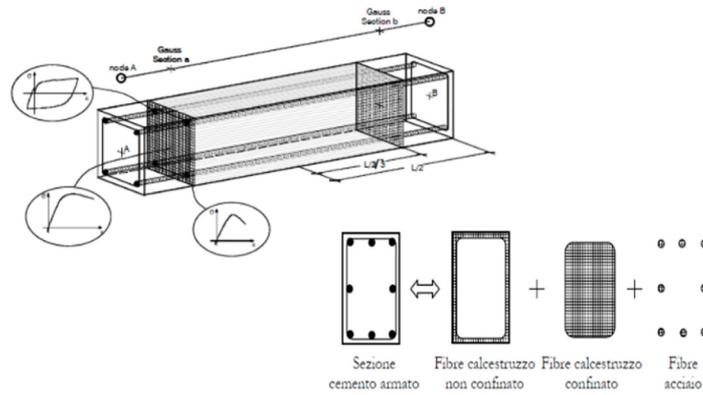


Figura 2-6. Modellazione tramite fibre

Con una modellazione a fibre è possibile associare alle varie fibre di cui è composta la sezione diversi materiali (**Figura 2-6**). In questo modo il confinamento della sezione, per mezzo della presenza di staffe, è reso possibile definendo un materiale che ha come parametri di resistenza quelli calcolati, mediante implementazione su *Excel*, del modello di *Saatcioglu e Razvi (1999)*. Il calcestruzzo confinato dal rinforzo trasversale è sottoposto ad una pressione laterale che si sviluppa in seguito alla compressione assiale, creando uno stato di stress multiassiale di difficile formulazione teorica (**Figura 2-7**).

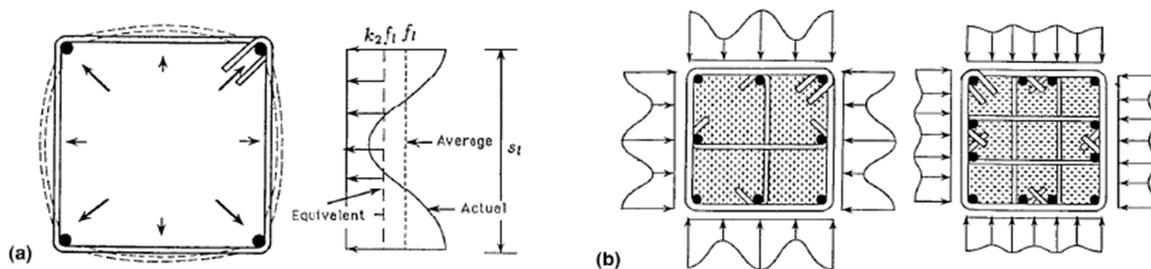


Figura 2-7. Pressione di confinamento: (a) sviluppo della pressione di confinamento in una sezione quadrata; (b) variazione di pressione di confinamento per mezzo del rinforzo trasversale. (1)

Più aumenta il numero delle barre longitudinali bloccate dal rinforzo trasversale più aumentano i parametri di resistenza delle fibre di calcestruzzo confinato. Il modello empirico di *Saatcioglu e Razvi (2)*, propone una pressione equivalente (f_{le}) che comporta la stessa pressione di confinamento esercitata dall'elemento trasversale. Tale pressione risulta avere dei picchi in corrispondenza dei nodi poiché qui si ha una maggiore rigidezza flessionale.

Si riportano di seguito le formulazioni necessarie per l'implementazione del modello:

$$f'_{cc} = f'_{c0} + k_1 f_{le} \quad (2.1)$$

$$f'_{cc} = f'_{c0} + k_1 f_{le} \quad (2.2)$$

$$f_{le} = k_2 f_l \quad (2.3)$$

$$f_l = \frac{\sum_{i=1}^q A_s f_s \sin \alpha}{s b_c} \quad (2.4)$$

$$k_1 = 6.7 (f_{le})^{-0.17} \quad (2.5)$$

$$k_2 = 0.26 \sqrt{\left(\frac{b_c}{s}\right) \left(\frac{b_c}{s_1}\right) \left(\frac{1}{f_l}\right)} \leq 1.0 \quad (2.6)$$

in cui q rappresenta il numero di rinforzi trasversali nella sezione considerata. La pressione equivalente f_{le} calcolata in MPa è il rapporto tra le forze di trazione nei rinforzi e l'area stessa della sezione. I coefficienti riduttivi k_1 e k_2 tengono conto della pressione di confinamento che aumenta con l'aumentare della forza, spaziatura dell'armatura trasversale (s) e dell'interasse dell'armatura longitudinale (s_1).

Il modello risulta così definito e validato da prove sperimentali di Saatcioglu e Razvi (1) (Figura 2-8):

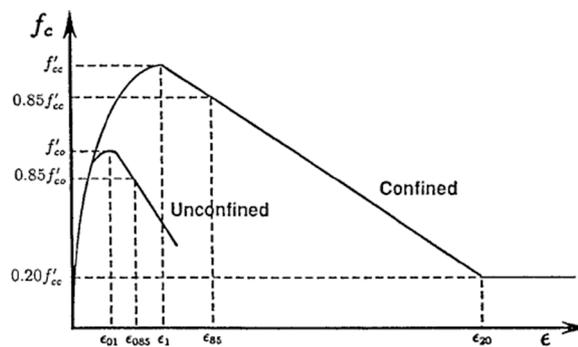


Figura 2-8. Modello Saatcioglu and Razvi

In cui si ha il ramo crescente della curva:

$$f(\varepsilon) = f'_{cc} \left[2 \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_1} \right) - \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_1} \right)^2 \right]^{\frac{1}{1+2K}} \quad 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_1 \quad (2.7)$$

ed il ramo decrescente lineare della curva:

$$f(\varepsilon) = \max \left(\begin{array}{c} f'_{cc} \left[1 - 0.15 \frac{\varepsilon - \varepsilon_1}{\varepsilon_{85} - \varepsilon_1} \right] \\ 0.2 f'_{cc} \end{array} \right) \quad \varepsilon_1 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{20} \quad (2.8)$$

In cui valgono:

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_{01} (1 + 5K) \quad (2.9)$$

$$K = \frac{k_1 f_{le}}{f'_{c0}} \quad (2.10)$$

$$\rho_c = \frac{\sum_{i=1}^n (A_{sx})_i + \sum_{j=1}^m (A_{sy})_j}{[s(b_{cx} + b_{cy})]} \quad (2.11)$$

$$\varepsilon_{85} = \varepsilon_{085} + 260 \rho_c \varepsilon_1 \quad (2.12)$$

I parametri ε_1 e ε_{01} rappresentano la deformazione di picco del calcestruzzo confinato e non confinato. La pendenza del ramo post-picco è regolata dalla deformazione ε_{85} la quale è funzione del rapporto di rinforzo laterale nelle due direzioni ρ_c . Il coefficiente K, equivale al rapporto tra l'incremento di resistenza svolto dalle staffe e il valore di resistenza al picco iniziale f'_{c0} del calcestruzzo non confinato. Al parametro ε_{085} si associa il valore 0.00306(1).

Il modello si ritiene valido dal confronto tra i risultati analitici e sperimentali ottenuti per i diversi valori che caratterizzano la disposizione e la geometria delle staffe. Non si tiene conto in questo modello dell'instabilità per buckling dell'armatura longitudinale, la quale è definita per mezzo di altre leggi nel legame costitutivo dell'acciaio.

2.4.2 Acciaio

Il legame elasto-plastico con incrudimento dell'acciaio è stato descritto ricorrendo al comando *Hysteretic* della libreria *uniaxialMaterial* (**Figura 2-9**)

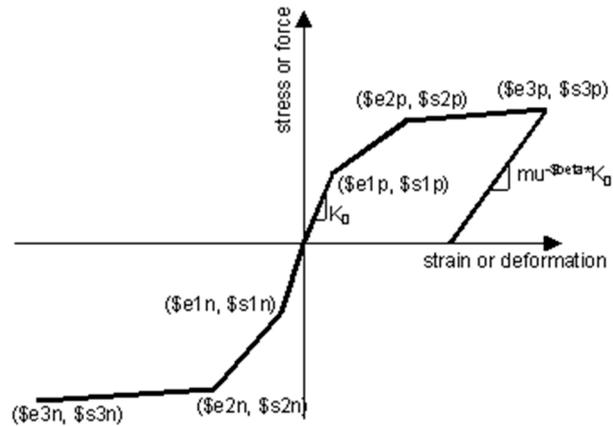


Figura 2-9. Legame costitutivo dell'acciaio implementato dal comando Hysteretic di *OpenSees*

La scelta di un legame costitutivo di questo tipo è giustificata dal fatto che è possibile ricostruire il comportamento del materiale a trazione e compressione definendo i singoli punti della spezzata stress-strain. Infatti, il legame costitutivo definito dalla bilatera classica del modello di Prandtl con incrudimento, non permette di cogliere la rottura delle singole barre longitudinali all'interno della simulazione effettuata con *OpenSees*. Pertanto, è stato utile definire un terzo punto oltre allo stato di snervamento e rottura degli acciai. Il comportamento dell'acciaio sottoposto ad uno stato di trazione monoassiale è definito in **Figura 2-10**.

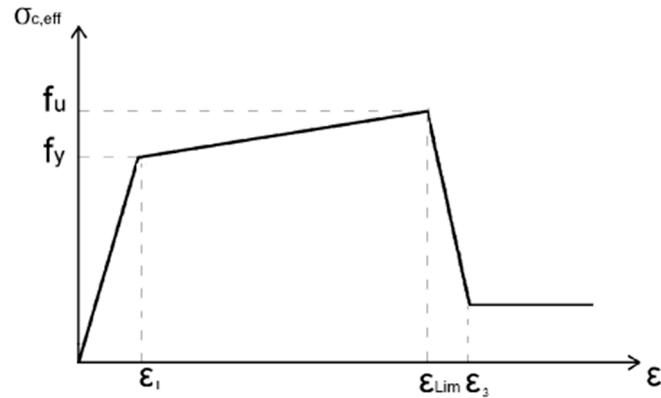


Figura 2-10. Comportamento a trazione scelto per l'acciaio e implementato dal comando Hysteretic di *OpenSees*

Il comportamento a trazione dell'acciaio è caratterizzato dal modulo elastico E , dalla resistenza a snervamento f_y , dalla deformazione a snervamento ϵ_1 , dalla resistenza ultima f_u , dalla deformazione di rottura $\epsilon_2 = \epsilon_{lim}$ e dalla σ_3 e ϵ_3 i quali identificano il terzo punto del comportamento a trazione del materiale. È necessario assegnare i termini riguardanti il danneggiamento dovuto alla duttilità, in questo caso pari a 0 e i parametri riguardanti il pinching durante la fase di ricarico, considerato pari ad 1.

Durante la fase di validazione del modello si è riscontrata l'importanza di una adeguata modellazione del comportamento in compressione dell'acciaio. Per tener conto dell'instabilità per buckling dell'armatura longitudinale si è preso in considerazione il *modello di Dhakal e Maekawa, 2002 (3)*.

Nelle membrature in cemento armato, i ferri d'armatura possono subire, in seguito ad un'alta compressione, una grande deformazione laterale, dunque incorrere in fenomeni di instabilità. A causa di ciò la resistenza media a compressione diminuisce nella fase seguente allo snervamento.

Il modello di Dhakal e Meakawa propone una relazione sforzo-deformazione in compressione che può essere applicata alle barre di rinforzo con qualsiasi proprietà geometriche e meccaniche. Per generare le relazioni che reggono il modello, hanno sviluppato uno studio parametrico basato su esperimenti o analisi di alcuni studi sperimentali eseguiti in passato (Monti and Nuti, 1992). Le barre di rinforzo sono state modellate come delle colonne verticali di lunghezza L e diametro D con incastrati i due nodi. Si è applicato uno spostamento incrementale in testa all'elemento e si è adottato un comportamento elastico perfettamente plastico con $f_y =$

400MPa e $E = 200GPa$. Attraverso lo studio parametrico analitico, gli autori esprimono qual è il comportamento medio delle barre di armatura in compressione. In particolare, riportano:

- La tensione e deformazione media a compressione dipende solo dal rapporto di snellezza definito come L/D e dalla $\sqrt{f_y}$;
- Subito dopo la fase di buckling la curva ha una pendenza negativa approssimativamente pari al 2% del modulo di Young;
- La tensione media post-buckling è costante e si attesta sul 20% della resistenza a snervamento.

Il modello proposto è mostrato in **Figura 2-11**.

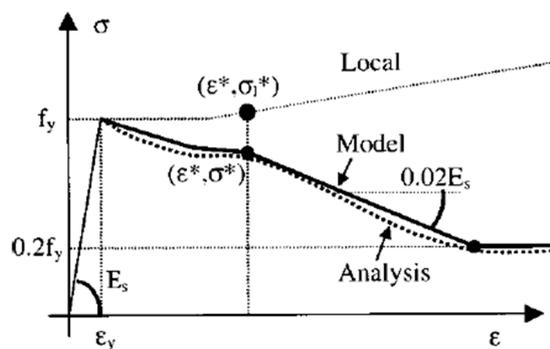


Figura 2-11. Modello Dhakal and Maekawa (2002)

Le coordinate del punto intermedio possono essere valutate dalle seguenti relazioni:

$$\frac{\epsilon^*}{\epsilon_y} = 55 - 2.3 \sqrt{\frac{f_y}{100}} \frac{L}{D} \quad \frac{\epsilon^*}{\epsilon_y} \geq 7 \quad (2.13)$$

$$\frac{\sigma^*}{\sigma_l^*} = \alpha(1.1 - 0.016 \sqrt{\frac{f_y}{100}} \frac{L}{D}) \quad \sigma^* \geq 0.2f_y \quad (2.14)$$

Queste relazioni derivano dall'analisi condotta su barre che hanno un incrudimento lineare. Il coefficiente α tiene conto di diversi modelli di incrudimento che si possono avere e per i due casi estremi esso vale 1.0 per le barre con incrudimento lineare e 0.75 per barre elastiche perfettamente plastiche.

Il modello a fibre che sfrutta gli elementi finiti riesce a prevedere il comportamento medio delle barre di rinforzo in compressione caratterizzate da grandi non linearità geometriche. Questo

comportamento risulta essere influenzato solo da L/D e $\sqrt{f_y}$. l'analisi di Dhakal e Meaekawa è validata anche da un confronto con risultati sperimentali per provini con applicazione di carico sia monotona che ciclica.

L'applicazione di questo modello è stata prevista per ricreare il ramo in compressione del legame costitutivo delle barre di acciaio attraverso i tre punti previsti dal comando *Hysteretic* di *OpenSees*. L'instabilità, e dunque la perdita di resistenza in compressione, è funzione della spaziatura tra le staffe. Il parametro L , infatti, ha assunto il valore del passo tra gli elementi di rinforzo trasversale.

Capitolo 3. Validazione della proposta di modellazione per gli elementi frame

Le scelte operate sulla geometria e sui materiali della proposta di modellazione per gli elementi strutturali sono state validate su campioni presi da articoli presenti in letteratura riguardanti test numerici e sperimentali.

I dati sperimentali di J. Weng et al. (7) , Hai S Lew et al. (4) e Anh Tuan Phan et al. (9) sono stati usati come riferimento per tarare i parametri sforzo-deformazione. La scelta di questi studi è dovuta alla completezza dei loro programmi sperimentali ed alla chiarezza con cui sono riportati i dettagli strutturali. Tuttavia, per alcuni parametri, omessi nei vari articoli, è stato necessario fare delle assunzioni la cui validità è resa possibile dalla calibrazione iterativa per i diversi campioni.

Lo scopo di questo capitolo è quello di ottenere gli stessi risultati dei vari studi condotti sulla robustezza delle strutture in c.a., applicando il modello proposto nel capitolo precedente. Per ogni articolo preso in considerazione si confrontano dunque i risultati sperimentali con i risultati numerici ottenuti mediante l'ausilio del software *OpenSees*.

3.1 Specimens J. Weng et al., 2016 (7)

Lo studio congiunto della Nanyang Technological University di Singapore e della University of New South Wales di Canberra proposto da J. Weng et al., 2016, modella il processo che porta al collasso tre diversi campioni in scala in cemento armato. Nella modellazione numerica che porta al collasso progressivo si è tenuto conto dell'azione catenaria come ultimo stato sotto una deformazione estrema. In particolare a fronte della perdita improvvisa di un pilastro, si passa da un iniziale meccanismo resistente di tipo flessionale ad un successivo meccanismo resistente di catenaria. Nonostante la formazione di cerniere plastiche si raggiunge una nuova configurazione di equilibrio stabile in cui i vincoli servono a mobilitare la catenaria alle grandi deformazioni dopo una instabilità transitoria.

Questo studio punta a sviluppare uno schema che quantifica il danno e può essere facilmente implementato. Il comportamento non lineare del materiale è stato caratterizzato da una discretizzazione a fibre della sezione e da più punti di integrazione su ogni elemento. Di

conseguenza il modello *fiber beam element* (**Figura 3-1**) utilizzato da J.Weng et al., 2016, risulta essere ideale per validare il modello proposto in questa tesi.

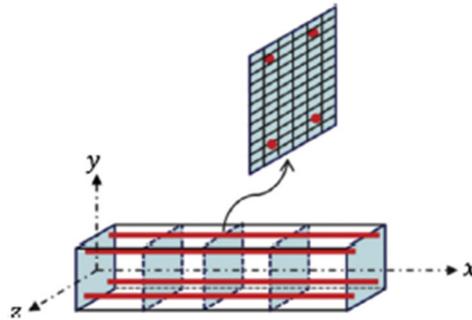


Figura 3-1. Modello Fiber Beam Element

Per ricreare il meccanismo strutturale del telaio sottoposto a danneggiamento progressivo, si sono creati tre campioni in scala 1:3 estratti dalla zona centrale e laterale di un telaio a grandezza reale (**Figura 3-2**)

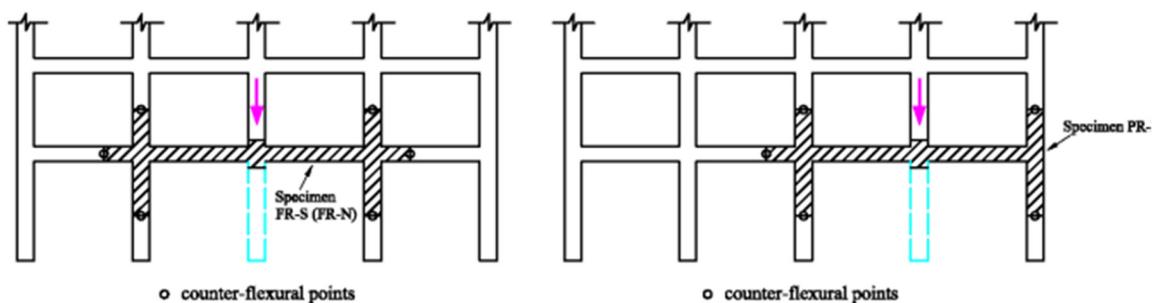


Figura 3-2. Localizzazione dei campioni e prototipi da testare

I tre campioni *FR* (*Full Restraint*), *PR* (*Partial Restraint*), *FRS* (*Full Restraint Seismic*), sono realizzati tenendo conto dei criteri dell'EC2 con un peso proprio e peso permanente portato pari a 5.0kN/m^2 e 7.1kN/m^2 rispettivamente e diverse armature che prendono in considerazione la presenza di dettagli costruttivi in zone sismiche. Per simulare l'estrazione dei campioni dal telaio e ricreare le stesse condizioni di vincolo hanno utilizzato delle celle di carico di trazione-compressione per monitorare le reazioni orizzontali e verticali alla base delle colonne e alle estremità delle travi. Lo schema statico presenta due cerniere alla base delle travi e quattro vincoli elastici (tre per il campione *PR*) con rigidità bilineare come vincoli orizzontali.

Con il software *OpenSees* si è ricostruito lo stesso schema statico utilizzando il modello a fibre proposto per ricreare la stessa non linearità geometrica e meccanica. Ogni elemento è stato modellato con il comando *dispBeamColumn* secondo quanto riportato in fase di proposta del

modello con la conseguente trasformazione geometrica del sistema di riferimento *corotational*. I vincoli orizzontali configurati come dei vincoli elastici dalla rigidezza prestabilita dallo studio di J. Weng et al., 2016, sono stati creati mediante la sovrapposizione di due nodi di coordinate uguali e collegati da un elemento *zerolengthsection* di lunghezza unitaria. A questo si è associata una rigidezza assiale che ha come modulo di Young quello derivante dalla rigidezza dei vincoli, e come area della sezione la stessa della trave.

I materiali utilizzati nella sperimentazione e i loro parametri di resistenza richiamati nell'articolo sono raccolti in **Tabella 3-1**.

<i>Concrete</i>	f_c	30	MPa
	f_t	$0.56\sqrt{f_c}$	MPa
<i>Steel</i>	f_y	505	MPa
	f_u	605	MPa

Tabella 3-1. parametri di resistenza del materiale. Spec.FR-FRS-PR

Nello studio sperimentale si è adottato per il calcestruzzo il modello modificato Kent-Park con il comportamento isteretico basato sulle regole di Spacone et al. Per l'acciaio hanno adottato un modello bilineare simmetrico elasto-plastico con incrudimento.

Il modello ricreato in *OpenSees*, sulla base delle considerazioni precedenti, realizza materiali con parametri di resistenza differenti per la zona non confinata e confinata dal rinforzo trasversale. Quest'ultima varia nelle diverse sezioni individuate nei tre campioni. Le dimensioni del copriferro sono state ipotizzate con un valore di 20mm poiché nello studio sperimentale non si accenna a questo dettaglio costruttivo.

Per l'acciaio si sono indicati i tre punti caratteristici per il comportamento a trazione e a compressione secondo il modello di Dhakal e Meaekawa (3).

I quattro vincoli elastici orizzontali hanno un comportamento bilineare simmetrico a trazione e a compressione le cui rigidezze richiamate nell'articolo risultano in **Tabella 3-2**.

Campione	Vincolo	$K1 [N/mm]$	Gap [mm]	$K2 [N/mm]$
FR	1	636	2.4	18355
	2	244	3.1	27677
	3	337	3.7	10566
	4	455	2.6	85010
FRS	1	2715	2.2	20641
	2	716	4.5	23667
	3	160	7.8	101894
	4	2073	3.9	4080
PR	1	1359	2.9	27860
	2	396	1.9	5917
	3	2695	1.7	27606

Tabella 3-2. Proprietà dei vincoli elastici dei campioni

3.1.1 Specimen FR

Il campione *FR* è caratterizzato dalla geometria rappresentata in **Figura 3-3**.

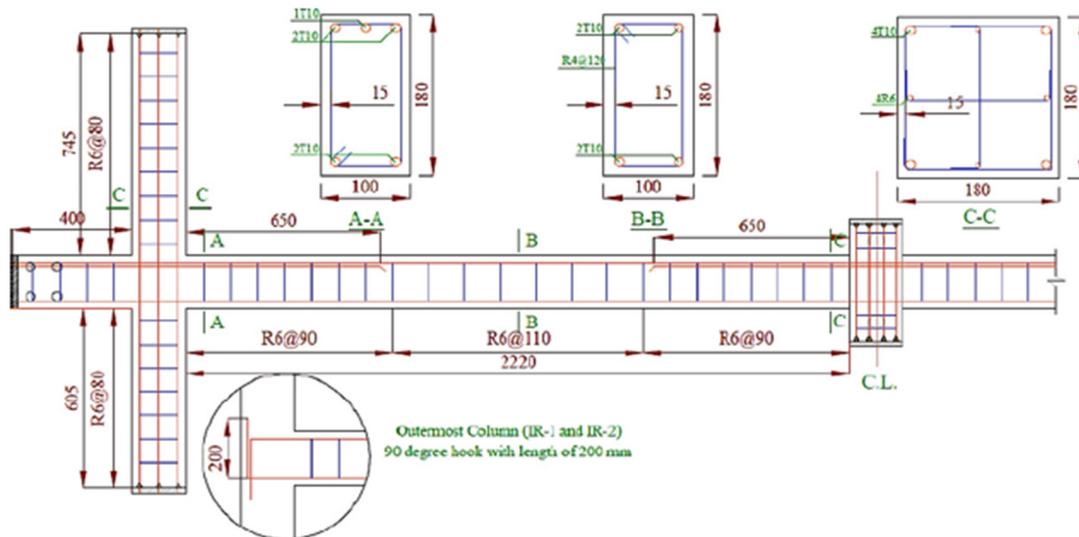


Figura 3-3. Dettaglio costruttivo campione FR

La discretizzazione degli elementi tiene conto di cambi di sezione (si sono individuate tre sezioni) ed inoltre nelle vicinanze del vincolo è stata effettuata una divisione degli elementi secondo uno schema: $h/2 - h - 3h / 2$.

Lo schema statico adottato per il modello viene riportato in **Figura 3-4**:

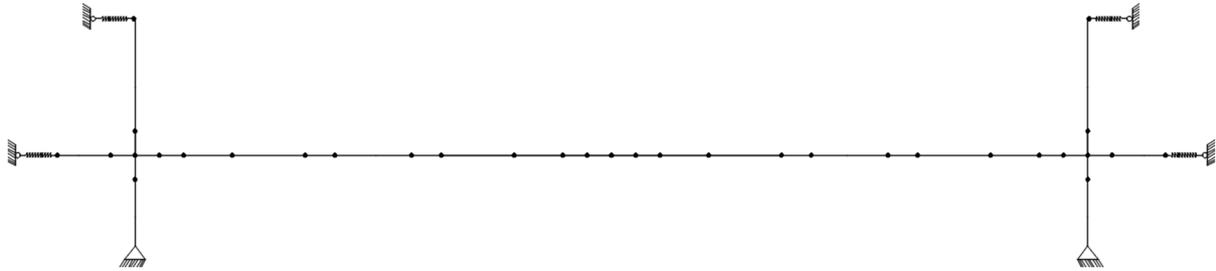


Figura 3-4. Schema statico

Per questo campione le caratteristiche del materiale sono richiamate in **Tabella 3-3** e **Tabella 3-4**.

		<i>Uniaxial Concrete</i>			
		<i>Unconfined</i>	<i>Confined Sez C-C</i>	<i>Confined Sez A-A</i>	<i>Confined Sez B-B</i>
<i>Concrete compressive strength at 28 days</i>	<i>\$fpc</i>	-30	-35.18	-33.65	-32.8
<i>Concrete strain at maximum strength</i>	<i>\$epsc0</i>	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004
<i>Concrete crushing strength</i>	<i>\$fpcu</i>	-12	-12	-12	-12
<i>Concrete strain at crushing strength</i>	<i>\$epscU</i>	-0.03	-0.02	-0.018	-0.015
<i>Ratio between unloading slope at \$epscu and initial slope</i>	<i>\$lambda</i>	0.1	0.1	0.1	0.1
<i>Tensile strength</i>	<i>\$ft</i>	2	2	2	2
<i>Tension softening stiffness (slope of the linear tension softening branch)</i>	<i>\$Et</i>	1500	1500	1500	1500

Tabella 3-3. Parametri calcestruzzo campione FR

<i>Stress at first point of the envelope in the positive direction</i>	<i>\$s1p</i>	505	[Mpa]
<i>Strain at first point of the envelope in the positive direction</i>	<i>\$e1p</i>	0.002	[-]
<i>Stress at second point of the envelope in the positive direction</i>	<i>\$s2p</i>	605	[Mpa]
<i>Strain at second point of the envelope in the positive direction</i>	<i>\$e2p</i>	0.14	[-]
<i>Stress at third point of the envelope in the positive direction</i>	<i>\$s3p</i>	20	[Mpa]
<i>Strain at third point of the envelope in the positive direction</i>	<i>\$e3p</i>	0.161	[-]
<i>Stress at first point of the envelope in the negative direction</i>	<i>\$s1n</i>	-505	[Mpa]
<i>Strain at first point of the envelope in the negative direction</i>	<i>\$e1n</i>	-0.002	[-]
<i>Stress at second point of the envelope in the negative direction</i>	<i>\$s2n</i>	-304.6	[Mpa]
<i>Strain at second point of the envelope in the negative direction</i>	<i>\$e2n</i>	-0.07	[-]
<i>Stress at third point of the envelope in the negative direction</i>	<i>\$s3n</i>	-101	[Mpa]
<i>Strain at third point of the envelope in the negative direction</i>	<i>\$e3n</i>	-0.2	[-]
<i>Pinching factor for strain (or deformation) during reloading</i>	<i>\$pinchx</i>	1	[-]
<i>Pinching factor for stress (or force) during reloading</i>	<i>\$pinchy</i>	1	[-]
<i>Damage due to ductility</i>	<i>\$damage1</i>	0	[-]
<i>Damage due to energy</i>	<i>\$damage2</i>	0	[-]

Tabella 3-4. Parametri acciaio campione FR

I vincoli elastici sono stati modellati con il comando *Hysteretic* associando il materiale a ciascun elemento *zerolengthSection*. I valori riportati nel codice di calcolo sono riassunti in **Tabella 3-5**.

<i>Element</i>	<i>88</i>	<i>81</i>	<i>82</i>	<i>87</i>	
<i>\$s1p</i>	0.085	0.042	0.069	0.066	[Mpa]
<i>\$e1p</i>	2.4	3.1	3.7	2.6	[-]
<i>\$s2p</i>	4.895	9.533	4.344	24.558	[Mpa]
<i>\$e2p</i>	4.8	6.2	7.4	5.2	[-]
<i>\$s3p</i>	106.867	163.294	63.044	496.836	[Mpa]
<i>\$e3p</i>	104.8	106.2	107.4	105.2	[-]
<i>\$s1n</i>	-0.085	-0.042	-0.069	-0.066	[Mpa]
<i>\$e1n</i>	-2.4	-3.1	-3.7	-2.6	[-]
<i>\$s2n</i>	-4.895	-9.533	-4.344	-24.558	[Mpa]
<i>\$e2n</i>	-4.8	-6.2	-7.4	-5.2	[-]
<i>\$s3n</i>	-106.867	-163.294	-63.044	-496.836	[Mpa]
<i>\$e3n</i>	-104.8	-106.2	-107.4	-105.2	[-]
<i>\$pinchx</i>	1	1	1	1	[-]
<i>\$pinchy</i>	1	1	1	1	[-]
<i>\$damage1</i>	0	0	0	0	[-]
<i>\$damage2</i>	0	0	0	0	[-]

Tabella 3-5. Parametri vincoli elastici campione FR

Si riportano i risultati numerici di taratura del modello proposto a partire dai risultati sperimentali ottenuti e riportati dallo studio di J. Weng et al. (**Figura 3-5, Figura 3-6, Figura 3-7, Figura 3-8**). Dal confronto delle curve si evince una buona affidabilità del modello proposto, in quanto si sono ottenute delle previsioni ragionevolmente accurate ma non perfette. Come in qualsiasi modello numerico, è impossibile considerare tutti i fattori che possono influenzare l'accuratezza della modellazione. Ad esempio, nel presente modello numerico, così come in quello sviluppato nel report di J. Weng et al., 2016, non viene presa in considerazione la discontinuità con cui si sviluppa il cracking. Tuttavia, ci si aspetta che, se fosse disponibile

un modello numerico ragionevolmente più accurato si arriverebbe ad un'indicazione più utile circa lo stato di danno dei membri strutturali dei telai.

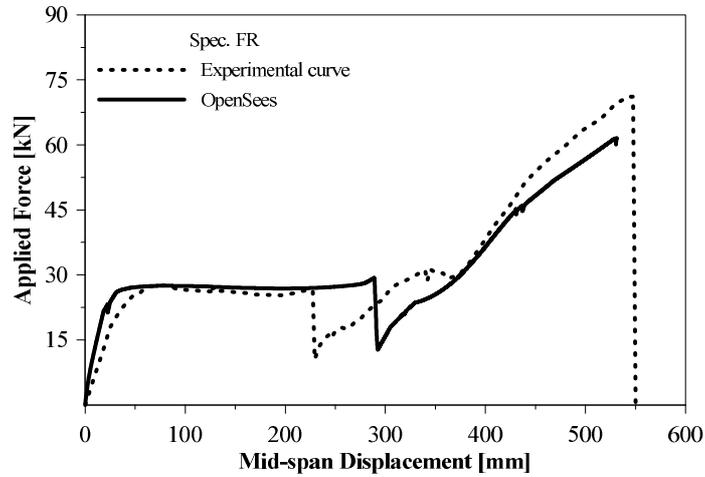


Figura 3-5. Confronto campione FR di J. Weng et al., 2016.

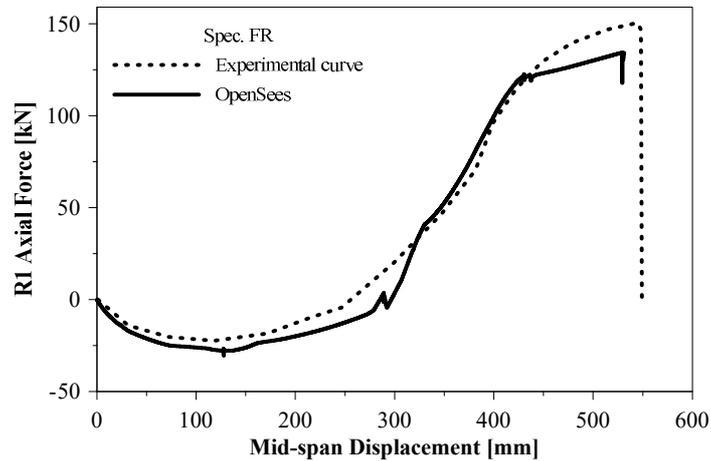


Figura 3-6. Confronto su elemento 3 del Campione FR di J. Weng et al., 2016.

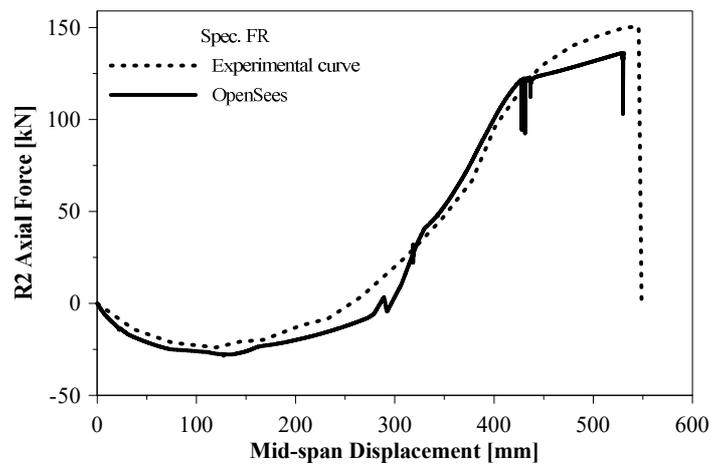


Figura 3-7. Confronto su elemento 13 del Campione FR di J. Weng et al., 2016.

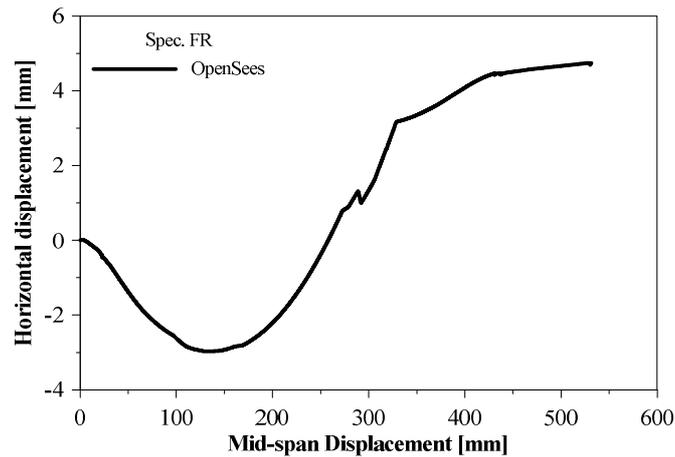


Figura 3-8. Vertical displacement - Horizontal displacement del Campione FR di J. Weng et al., 2016

3.1.2 Specimen FR-S

Il campione *FR-S* è caratterizzato dalla geometria rappresentata in **Figura 3-9**. La geometria è pressoché uguale al precedente campione con l'aggiunta di dettagli costruttivi utili in ambito sismico, cambia infatti la disposizione dei rinforzi trasversali in prossimità degli appoggi.

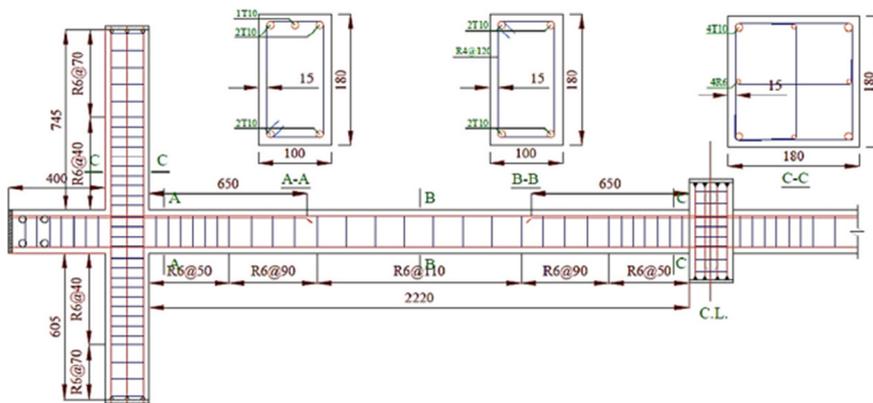
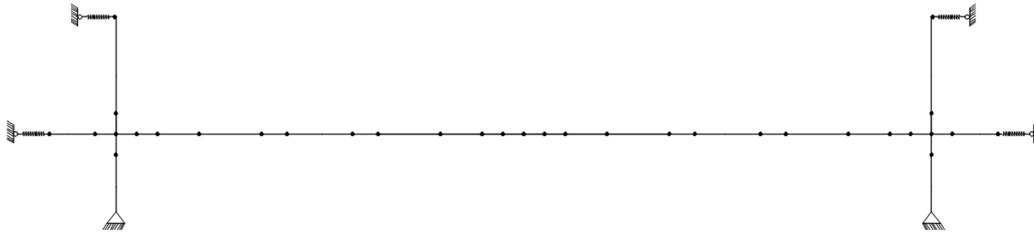


Figura 3-9. Dettaglio costruttivo campione FR-S

La discretizzazione degli elementi tiene conto di cambi di sezione (si sono individuate quattro sezioni) ed inoltre nelle vicinanze del vincolo è stata effettuata una divisione degli elementi secondo uno schema: $h/2 - h - 3h/2$.

Lo schema statico adottato per il modello viene riportato in **Figura 3-4**:


Figura 3-10. Schema statico

Per simulare il diverso confinamento dovuto ai dettagli sismici rispetto al campione precedente, le caratteristiche di resistenza del materiale sono richiamate in **Tabella 3-6** e **Tabella 3-7**.

		<i>Uniaxial Concrete</i>				
		<i>Unconfined</i>	<i>Confined Sez C-C</i>	<i>Confine d Sez A-A</i>	<i>Confine d Sez B-B</i>	<i>Confine d Sez D-D</i>
Concrete compressive strength at 28 days	\$fpc	-30	-35.18	-33.65	-32.8	-35.8
Concrete strain at maximum strength	\$epsc0	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004
Concrete crushing strength	\$fpcu	-10	-10	-10	-10	-10
Concrete strain at crushing strength	\$epscU	-0.03	-0.02	-0.018	-0.015	-0.03
Ratio between unloading slope at \$epscu and initial slope	\$lambd a	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Tensile strength	\$ft	2	2	2	2	2
Tension softening stiffness (slope of the linear tension softening branch)	\$Et	1500	1500	1500	1500	1500

Tabella 3-6. Parametri calcestruzzo campione FR-S

<i>Stress at first point of the envelope in the positive direction</i>	\$s1p	505	[Mpa]
<i>Strain at first point of the envelope in the positive direction</i>	\$e1p	0.002	[-]
<i>Stress at second point of the envelope in the positive direction</i>	\$s2p	605	[Mpa]
<i>Strain at second point of the envelope in the positive direction</i>	\$e2p	0.14	[-]
<i>Stress at third point of the envelope in the positive direction</i>	\$s3p	20	[Mpa]
<i>Strain at third point of the envelope in the positive direction</i>	\$e3p	0.161	[-]
<i>Stress at first point of the envelope in the negative direction</i>	\$s1n	-505	[Mpa]
<i>Strain at first point of the envelope in the negative direction</i>	\$e1n	-0.002	[-]
<i>Stress at second point of the envelope in the negative direction</i>	\$s2n	-304.6	[Mpa]
<i>Strain at second point of the envelope in the negative direction</i>	\$e2n	-0.07	[-]
<i>Stress at third point of the envelope in the negative direction</i>	\$s3n	-101	[Mpa]
<i>Strain at third point of the envelope in the negative direction</i>	\$e3n	-0.2	[-]
<i>Pinching factor for strain (or deformation) during reloading</i>	\$pinchx	1	[-]
<i>Pinching factor for stress (or force) during reloading</i>	\$pinchy	1	[-]
<i>Damage due to ductility</i>	\$damage1	0	[-]
<i>Damage due to energy</i>	\$damage2	0	[-]

Tabella 3-7. Parametri acciaio campione FR-S

I vincoli elastici sono stati modellati con il comando *Hysteretic* associando il materiale a ciascun elemento *zerolengthSection*. I valori riportati nel codice di calcolo sono riassunti in **Tabella 3-8.**

<i>Element</i>	<i>88</i>	<i>81</i>	<i>82</i>	<i>87</i>	
<i>\$s1p</i>	0.332	0.179	0.069	0.449	[Mpa]
<i>\$e1p</i>	2.2	4.5	7.8	3.9	[-]
<i>\$s2p</i>	5.046	11.834	88.308	1.768	[Mpa]
<i>\$e2p</i>	4.4	9.0	15.6	7.8	[-]
<i>\$s3p</i>	119.718	143.317	654.386	24.435	[Mpa]
<i>\$e3p</i>	104.4	109.0	115.6	107.8	[-]
<i>\$s1n</i>	-0.332	-0.179	-0.069	-0.449	[Mpa]
<i>\$e1n</i>	-2.2	-4.5	-7.8	-3.9	[-]
<i>\$s2n</i>	-4.895	-9.533	-4.344	-24.558	[Mpa]
<i>\$e2n</i>	-4.4	-9.0	-15.6	-7.8	[-]
<i>\$s3n</i>	-119.718	-143.317	-654.386	-24.435	[Mpa]
<i>\$e3n</i>	-104.4	-109.0	-115.6	-107.8	[-]
<i>\$pinchx</i>	1	1	1	1	[-]
<i>\$pinchy</i>	1	1	1	1	[-]
<i>\$damage1</i>	0	0	0	0	[-]
<i>\$damage2</i>	0	0	0	0	[-]

Tabella 3-8. Parametri vincoli elastici campione FR-S

Di seguito si riportano i risultati di taratura del modello proposto a partire dai risultati ottenuti e riportati dallo studio di J. Weng et al., 2016. Dal confronto delle curve si evince una buona affidabilità del modello proposto, in quanto in tutti i casi si arriva al risultato sperimentale. (da **Figura 3-11** a **Figura 3-14**)

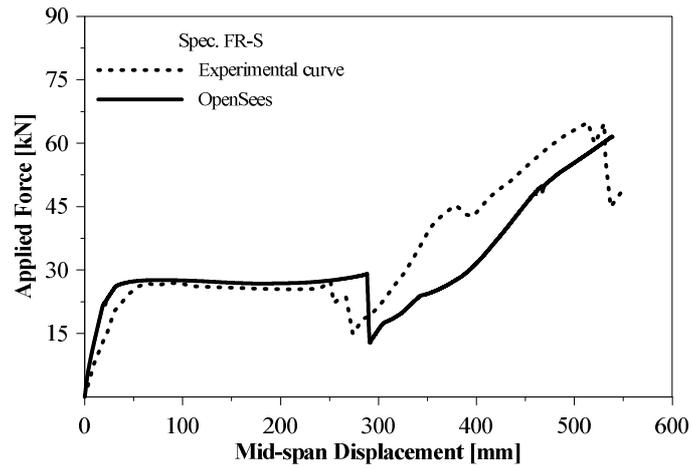


Figura 3-11. Confronto campione Fr-S di J. Weng et al., 2016

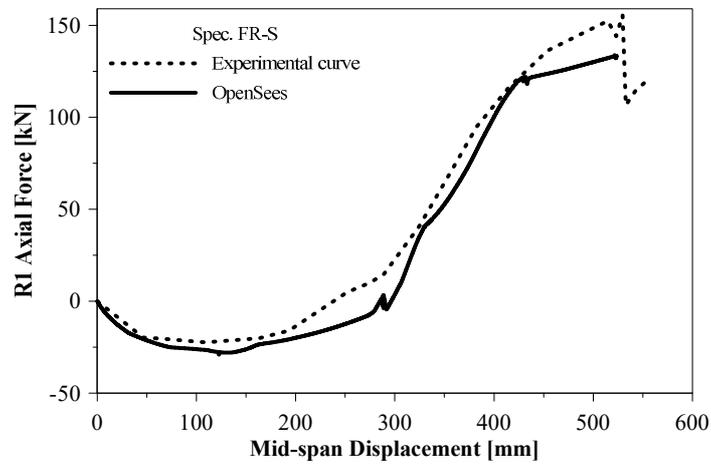


Figura 3-12. Confronto su elemento 3 del Campione Fr-S di J. Weng et al., 2016

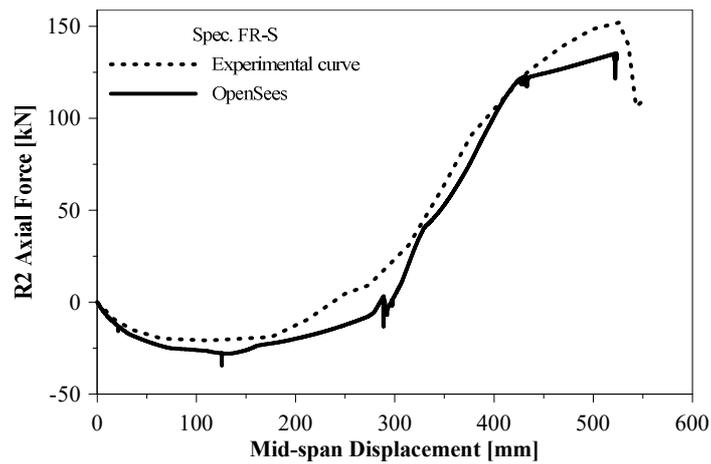


Figura 3-13. Confronto su elemento 13 del Campione FR-S di J. Weng et al., 2016

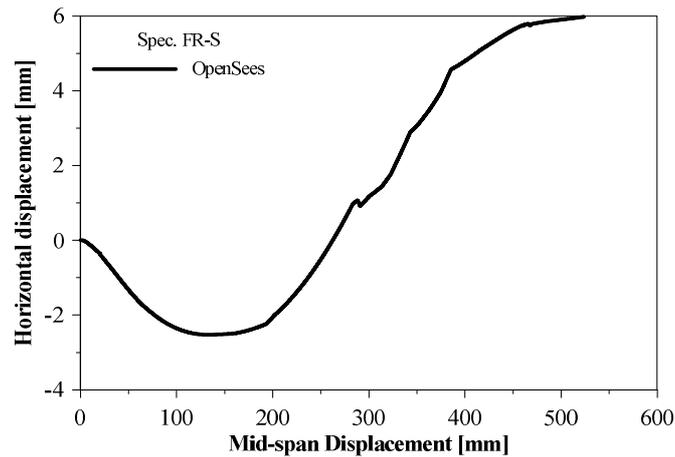


Figura 3-14. Vertical displacement - Horizontal displacement del Campione FR-S di J. Weng et al., 2016

3.1.3 Specimen PR

Il campione *PR* è caratterizzato dalla geometria rappresentata in Figura 3-3. La differenza rispetto al campione *FR* la si può notare dallo schema statico utilizzato, il quale, in accordo con quanto studiato da J. Weng et al., 2016, è riportato in **Figura 3-15**.

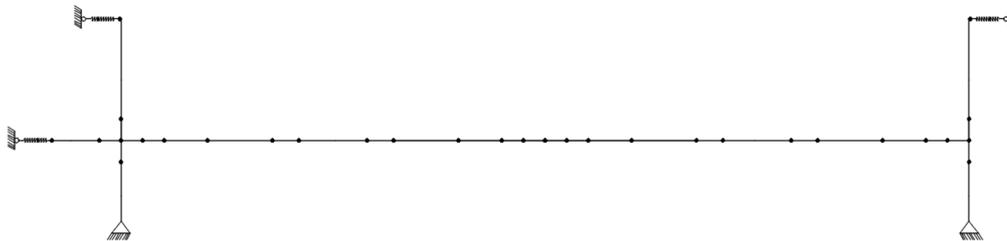


Figura 3-15. Schema statico

La discretizzazione degli elementi tiene conto di cambi di sezione (si sono individuate tre sezioni) ed inoltre nelle vicinanze del vincolo è stata effettuata una divisione degli elementi secondo uno schema: $h/2 - h - 3h / 2$ per cogliere al meglio le variazioni di curvatura.

Per questo campione le caratteristiche del materiale sono richiamate in **Tabella 3-9** e **Tabella 3-10**.

		<i>uniaxialMaterial Concrete02</i>			
		<i>Unconfined</i>	<i>Confined Sez C-C</i>	<i>Confined Sez A-A</i>	<i>Confined Sez B-B</i>
Concrete compressive strength at 28 days	<i>\$fpc</i>	-30	-35.18	-33.65	-32.8
Concrete strain at maximum strength	<i>\$epsc0</i>	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004
Concrete crushing strength	<i>\$fpcu</i>	-12	-12	-12	-12
Concrete strain at crushing strength	<i>\$epscU</i>	-0.03	-0.02	-0.018	-0.015
Ratio between unloading slope at <i>\$epscu</i> and initial slope	<i>\$lambda</i>	0.1	0.1	0.1	0.1
Tensile strength	<i>\$ft</i>	2	2	2	2
Tension softening stiffness (slope of the linear tension softening branch)	<i>\$Et</i>	1500	1500	1500	1500

Tabella 3-9. Parametri calcestruzzo campione FR

Stress at first point of the envelope in the positive direction	<i>\$s1p</i>	505	[Mpa]
Strain at first point of the envelope in the positive direction	<i>\$e1p</i>	0.002	[-]
Stress at second point of the envelope in the positive direction	<i>\$s2p</i>	605	[Mpa]
Strain at second point of the envelope in the positive direction	<i>\$e2p</i>	0.15	[-]
Stress at third point of the envelope in the positive direction	<i>\$s3p</i>	20	[Mpa]
Strain at third point of the envelope in the positive direction	<i>\$e3p</i>	0.171	[-]
Stress at first point of the envelope in the negative direction	<i>\$s1n</i>	-505	[Mpa]
Strain at first point of the envelope in the negative direction	<i>\$e1n</i>	-0.002	[-]
Stress at second point of the envelope in the negative direction	<i>\$s2n</i>	-304.6	[Mpa]
Strain at second point of the envelope in the negative direction	<i>\$e2n</i>	-0.07	[-]
Stress at third point of the envelope in the negative direction	<i>\$s3n</i>	-101	[Mpa]
Strain at third point of the envelope in the negative direction	<i>\$e3n</i>	-0.2	[-]
Pinching factor for strain (or deformation) during reloading	<i>\$pinchx</i>	1	[-]
Pinching factor for stress (or force) during reloading	<i>\$pinchy</i>	1	[-]
Damage due to ductility	<i>\$damage1</i>	0	[-]
Damage due to energy	<i>\$damage2</i>	0	[-]

Tabella 3-10. Parametri acciaio campione FR

I vincoli elastici sono stati modellati con il comando *Hysteretic* associando il materiale a ciascun elemento *zerolengthSection*. I valori riportati nel codice di calcolo sono riassunti in **Tabella 3-11**.

<i>Element</i>	<i>88</i>	<i>81</i>	<i>82</i>	
<i>\$s1p</i>	0.085	0.042	0.069	[Mpa]
<i>\$e1p</i>	2.4	3.1	3.7	[-]
<i>\$s2p</i>	4.895	9.533	4.344	[Mpa]
<i>\$e2p</i>	4.8	6.2	7.4	[-]
<i>\$s3p</i>	106.867	163.294	63.044	[Mpa]
<i>\$e3p</i>	104.8	106.2	107.4	[-]
<i>\$s1n</i>	-0.085	-0.042	-0.069	[Mpa]
<i>\$e1n</i>	-2.4	-3.1	-3.7	[-]
<i>\$s2n</i>	-4.895	-9.533	-4.344	[Mpa]
<i>\$e2n</i>	-4.8	-6.2	-7.4	[-]
<i>\$s3n</i>	-106.867	-163.294	-63.044	[Mpa]
<i>\$e3n</i>	-104.8	-106.2	-107.4	[-]
<i>\$pinchx</i>	1	1	1	[-]
<i>\$pinchy</i>	1	1	1	[-]
<i>\$damage1</i>	0	0	0	[-]
<i>\$damage2</i>	0	0	0	[-]

Tabella 3-11. Parametri vincoli elastici campione PR

Di seguito si riportano i risultati di taratura del modello proposto a partire dai risultati ottenuti e riportati dallo studio di J. Weng et al., 2016. Dal confronto delle curve si evince una buona affidabilità del modello proposto, in quanto in tutti i casi si arriva al risultato sperimentale (da **Figura 3-16** a **Figura 3-19**).

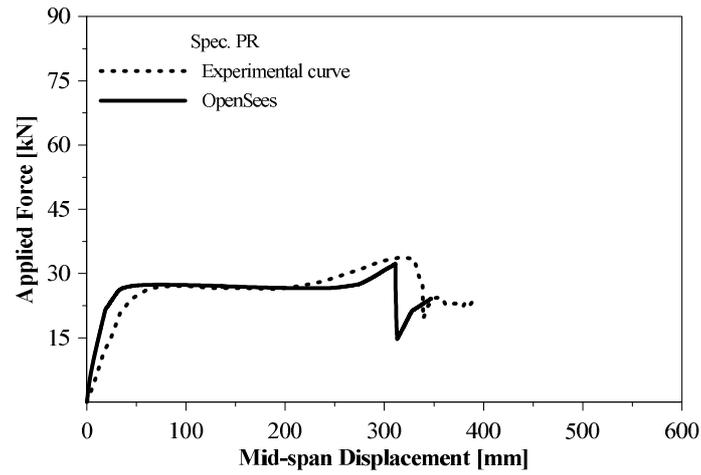


Figura 3-16. Confronto campione PR di J. Weng et al., 2016

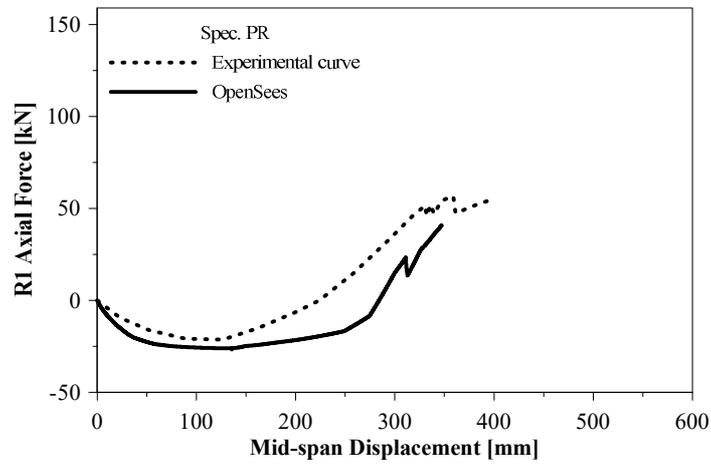


Figura 3-17. Confronto su elemento 3 del Campione PR di J. Weng et al., 2016

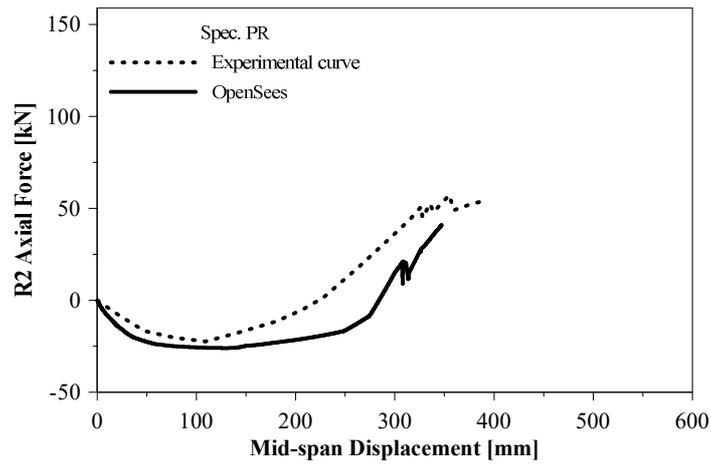


Figura 3-18. Confronto su elemento 13 del Campione PR di J. Weng et al., 2016

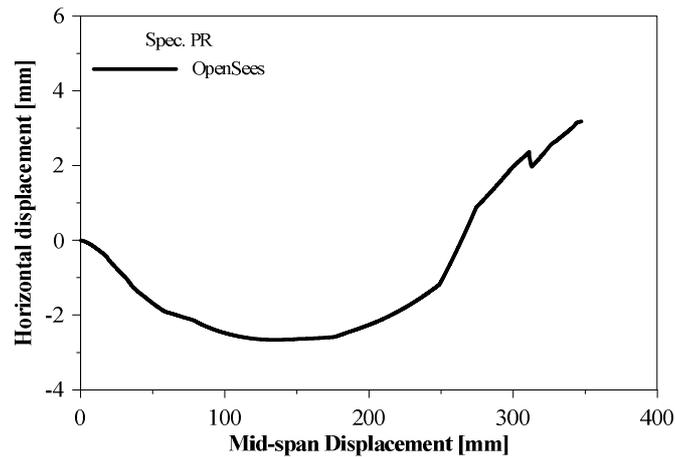


Figura 3-19. Vertical displacement - Horizontal displacement del Campione PR di J. Weng et al., 2016

In generale, è possibile trovare un buon accordo tra tutti i risultati ottenuti, in termini di resistenza di picco dei telai di prova sia nelle fasi di flessione che in quelle di catenaria. Si dimostra dunque la validità dei criteri di modellazione proposti in questa tesi.

Come mostrato nella **Figura 3-5** e nella **Figura 3-11**, la prima improvvisa caduta della forza applicata per i campioni FR e FR-S è stata causata dalla frattura delle barre di acciaio inferiori a metà campata. Tali occorrenze causano solo una piccola deviazione tra i modelli numerici e quelli effettivi. La seconda caduta nella curva forza-spostamento si trova in corrispondenza della rottura delle barre superiori, in mezzeria per il campione FR, in corrispondenza dell'incastro per il campione FR-S. Tuttavia, la frattura della barra di armatura di entrambi i casi implica l'eventuale collasso della struttura dovuto alla tensione assiale nella fase di azione della catenaria.

Il comportamento del campione PR con un contenimento orizzontale inferiore è diverso da FR e FR-S. L'azione catenaria non potrebbe svilupparsi ulteriormente dopo la frattura delle barre di armatura longitudinali inferiori di metà campata.

Quindi si può concludere che il modello numerico può fornire buoni input per la convalida delle considerazioni successive di questa tesi.

3.2 Specimens of Hai S Lew et al. (4)

Lo studio condotto dal National Institute of Standard and Technology e dal Purdue University (West Lafayette, Indiana) rappresenta uno studio numerico sperimentale di un sistema composto da trave e tre colonne in cemento armato. Il blocco trave-colonna rappresenta una porzione del telaio strutturale che compone un edificio di cemento armato di dieci piani (Intermediate Moment Frame: IMF). Lo studio è volto a mitigare il collasso strutturale sproporzionato. Il prototipo costruito su scala reale è stato sottoposto a spostamento verticale monotono crescente della colonna centrale per simulare il caso di rimozione di una colonna. Il test si è concluso quando si è sviluppato il meccanismo di collasso ultimo. Sono state misurate le caratteristiche di risposta del campione tra cui gli spostamenti verticali e orizzontali in posizioni specifiche, rotazioni alle estremità della trave e deformazioni nelle barre d'armatura in varie posizioni.

Il collasso è stato caratterizzato dallo schiacciamento del calcestruzzo nella parte superiore della trave vicino alla colonna centrale, dallo sviluppo delle principali fessure di flessione, e dalla frattura delle barre di rinforzo longitudinali inferiori della trave in corrispondenza della colonna centrale.

Le analisi numeriche del blocco trave-colonna sono state effettuate utilizzando diverse modellazioni che hanno fornito informazioni dettagliate sul comportamento generale e sulle modalità di collasso della trave. È stato osservato un buon accordo tra i risultati sperimentali e numerici.

Le analisi confermano che dopo lo scenario di rimozione della colonna si giunge al carico finale attraverso l'azione di catenaria, in cui si sviluppa una tensione assiale nella trave. L'aumento della forza di trazione è limitato dalla resistenza a frattura del rinforzo longitudinale della trave.

Tutte le travi e le colonne sono state progettate con calcestruzzo avente una resistenza nominale alla compressione di 27,6 Mpa, con barre di rinforzo ASTM A706-Grade 60 con una resistenza minima allo snervamento di 413.7 MPa. Le tabelle di seguito (**Tabella 3-12**, **Tabella 3-13**) mostrano la resistenza media a compressione e trazione del calcestruzzo e le proprietà meccaniche delle barre di armatura utilizzate per il test.

Compressive Strength f'_c [MPa]	Tensile Strength f'_t [MPa]
32	3.1

Tabella 3-12. Tensione media di compressione e trazione del calcestruzzo del blocco trave-colonna. Spec. IMF

Bar Size	Diameter [mm]	Yield Strength f_y [MPa]	Ultimate Strength f_u [MPa]	Rupture Strain [%]
A	#8	25.40	476	21
B	#9	28.65	462	18
C	#9	28.65	483	17
D	#4	12.70	524	14

Tabella 3-13. Proprietà meccaniche dell'armatura. Spec. IMF

Come mostrato in **Figura 3-20** tutte le barre longitudinali della trave sono state ancorate ai giunti esterni del blocco trave-colonna mediante ancoraggio meccanico per simulare la continuità delle barre longitudinali nel telaio reale.

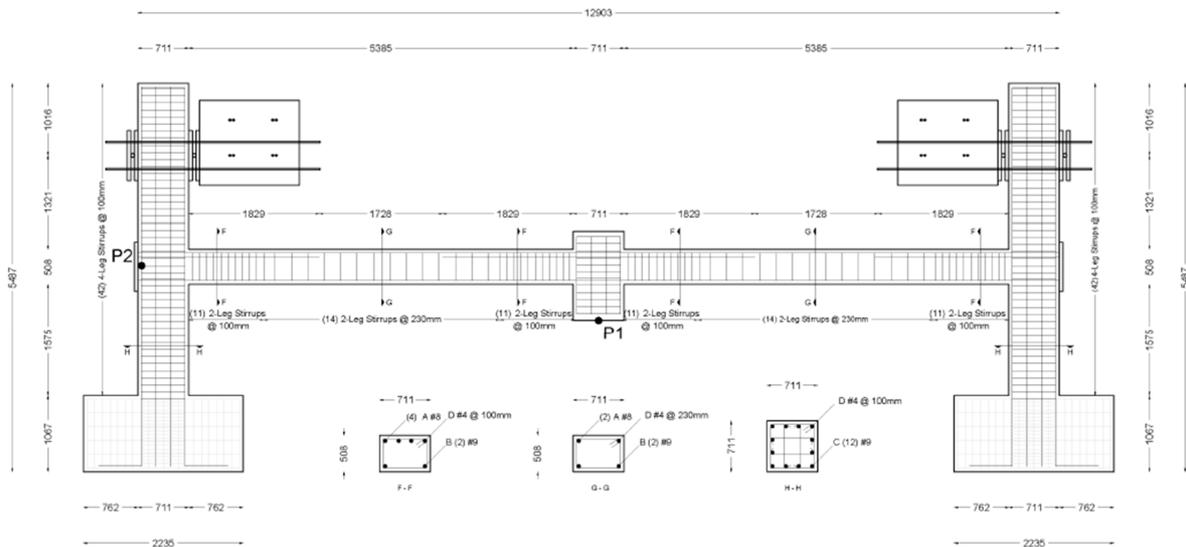


Figura 3-20. Disposizione dell'armatura del campione

Le basi delle colonne sono state progettate per simulare dei vincoli rigidi. La parte superiore delle colonne è trattenuta da un dispositivo a due rulli che ne impedisce lo spostamento orizzontale mentre sono consentiti gli altri gradi di libertà.

Per applicare il carico alla colonna centrale sono stati utilizzati quattro martinetti idraulici da 534 kN posti al di sotto del pavimento del laboratorio; il carico è stato trasferito al campione

utilizzando quattro aste post-tensionate ancorate a una piastra di acciaio che ha trasferito il carico nella parte superiore della colonna. Il test è stato eseguito sotto controllo di spostamento con una velocità di circa 25 mm/min. Il movimento fuori dal piano dell'intero blocco è stato bloccato da quattro guide in acciaio fissate al pavimento.

3.2.1 Specimen IMF

Il modello sperimentale proposto dal NIST risulta essere un ulteriore esempio per la validazione del modello proposto in questa tesi, pertanto si è associato il modello numerico sviluppato in *OpenSees*.

Lo schema statico utilizzato è riportato **Figura 3-21**.

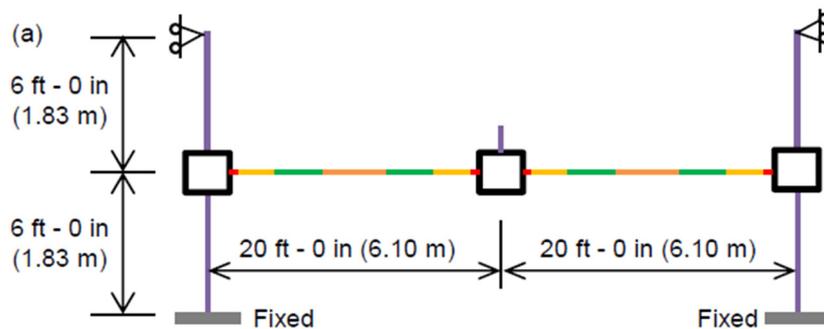


Figura 3-21. Schema statico del campione

La discretizzazione degli elementi tiene conto di cambi di sezione (si sono individuate tre sezioni) ed inoltre nelle vicinanze del vincolo è stata effettuata una divisione degli elementi secondo uno schema: $h/2-h-3h/2$ per cogliere al meglio le variazioni di curvatura.

In effetti una integrazione della sezione trasversale lungo lo sviluppo della trave condotta con un passo molto ampio compromette la risposta del materiale. Tuttavia un passo molto piccolo causa una risposta del materiale non oggettiva e un'inefficienza computazionale.

A differenza dei campioni proposti nello studio J. Weng et al., 2016, tutti i vincoli di questo modello sono rigidi.

Per questo campione le caratteristiche del materiale sono richiamate in **Tabella 3-14** e in **Tabella 3-15**. Dal confronto con la **Tabella 3-15** si può notare che la deformazione ultima dell'acciaio utilizzata nel modello implementato con *OpenSees* è maggiore di quella dichiarata nel report del NIST-TN 1720. Dopo numerosi tentativi per tarare il modello numerico sulla base di quello sperimentale si è ritenuto veritiera una deformazione ultima pari a 0,25. Poiché

questo parametro è stato stimato con una procedura iterativa, si è ritenuto opportuno assegnare a tutte le tipologie di barre di rinforzo longitudinale la stessa deformazione ultima. Nel report, infatti, non si specificano i motivi che hanno determinato le scelte delle caratteristiche delle diverse armature.

		<i>uniaxialMaterial Concrete02</i>			
		<i>Unconfined</i>	<i>Confined Sez H-H</i>	<i>Confined Sez F-F</i>	<i>Confined Sez G-G</i>
<i>Concrete compressive strength at 28 days</i>	<i>\$fpc</i>	-32	-45.14	-39.71	-32.68
<i>Concrete strain at maximum strength</i>	<i>\$epsco</i>	-0.004	-0.009	-0.007	-0.004
<i>Concrete crushing strength</i>	<i>\$fpcu</i>	-12	-35	-35	-30
<i>Concrete strain at crushing strength</i>	<i>\$epscoU</i>	-0.03	-0.04	-0.04	-0.04
<i>Ratio between unloading slope at \$epscoU and initial slope</i>	<i>\$lambda</i>	0.5	0.5	0.5	0.5
<i>Tensile strength</i>	<i>\$ft</i>	3.1	3.1	3.1	3.1
<i>Tension softening stiffness (slope of the linear tension softening branch)</i>	<i>\$Et</i>	2000	2000	2000	2000

Tabella 3-14. Parametri calcestruzzo campione IMF

<i>Stress at first point of the envelope in the positive direction</i>	<i>\$s1p</i>	476	462	483
<i>Strain at first point of the envelope in the positive direction</i>	<i>\$e1p</i>	0.002	0.002	0.002
<i>Stress at second point of the envelope in the positive direction</i>	<i>\$s2p</i>	648	641	690
<i>Strain at second point of the envelope in the positive direction</i>	<i>\$e2p</i>	0.25	0.25	0.25
<i>Stress at third point of the envelope in the positive direction</i>	<i>\$s3p</i>	20	20	20
<i>Strain at third point of the envelope in the positive direction</i>	<i>\$e3p</i>	0.29	0.29	0.29
<i>Stress at first point of the envelope in the negative direction</i>	<i>\$s1n</i>	-476	462	-483
<i>Strain at first point of the envelope in the negative direction</i>	<i>\$e1n</i>	-0.002	-0.002	-0.002
<i>Stress at second point of the envelope in the negative direction</i>	<i>\$s2n</i>	-648	-641	-690
<i>Strain at second point of the envelope in the negative direction</i>	<i>\$e2n</i>	-0.25	-0.25	-0.25
<i>Stress at third point of the envelope in the negative direction</i>	<i>\$s3n</i>	-20	-20	-20
<i>Strain at third point of the envelope in the negative direction</i>	<i>\$e3n</i>	-0.29	-0.29	-0.29
<i>Pinching factor for strain (or deformation) during reloading</i>	<i>\$pinchx</i>	1	1	1
<i>Pinching factor for stress (or force) during reloading</i>	<i>\$pinchy</i>	1	1	1
<i>Damage due to ductility</i>	<i>\$damage1</i>	0	0	0
<i>Damage due to energy</i>	<i>\$damage2</i>	0	0	0

Tabella 3-15. Parametri acciaio campione IMF

Di seguito si riportano i risultati di taratura del modello proposto a partire dai risultati ottenuti e riportati dallo studio proposto dal NIST-TN 1720, 2011(Figura 3-22, Figura 3-23, Figura 3-24).

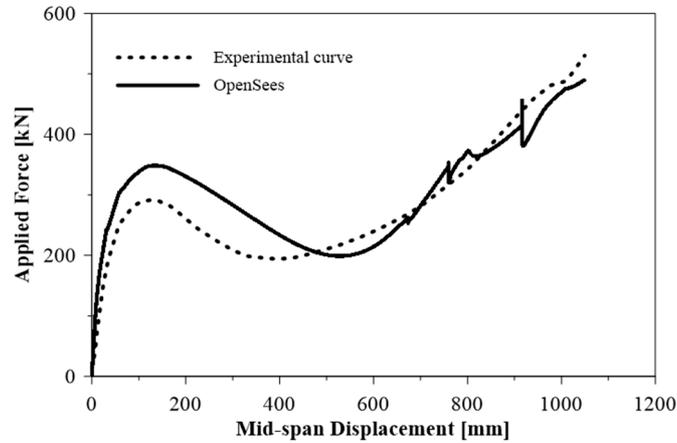


Figura 3-22. Diagramma carico applicato - spostamento verticale del campione

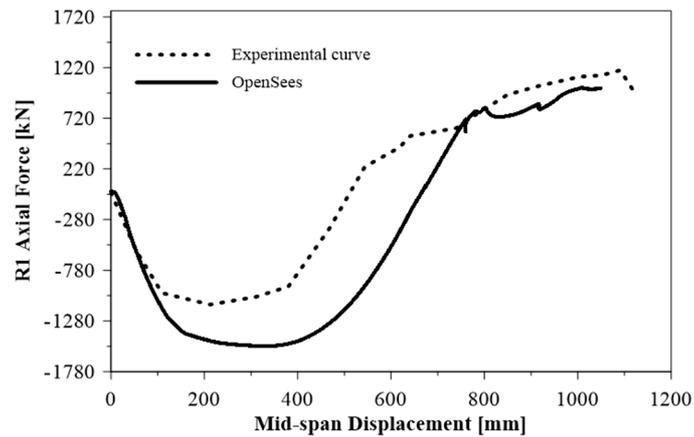


Figura 3-23. Diagramma sforzo normale - spostamento verticale del campione

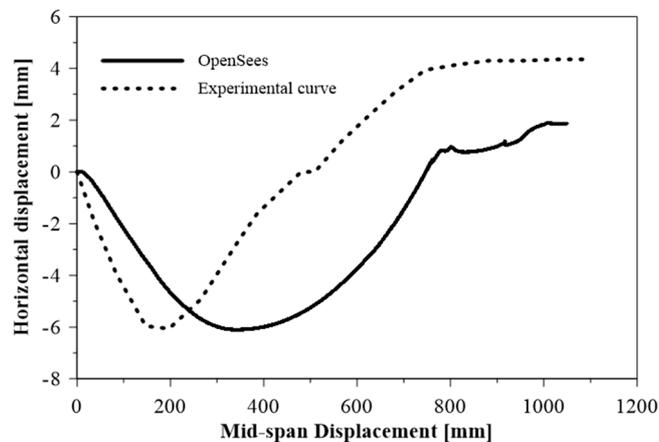


Figura 3-24. Diagramma spostamento orizzontale - spostamento verticale del campione

Lo scopo di questo paragrafo è confrontare i risultati numerici su uno studio computazionale di un sistema trave-colonna in cemento armato con quelli sperimentali provenienti da un test su scala reale e valutare la capacità del modello proposto in questa tesi di simulare il comportamento strutturale del telaio.

Il modello proposto è in grado di riprodurre adeguatamente il comportamento strutturale complessivo. Si evince una sovrastima della resistenza alla flessione del 18%. Questa è funzione delle diverse leggi costitutive e dei livelli di confinamento considerato, nonché delle assunzioni semplificative adottate. Nonostante queste si riesce ad approssimare in modo soddisfacente il comportamento strutturale nella fase finale dal punto di vista della forza applicata in relazione allo spostamento verticale della sezione di mezzeria. (Bertagnoli, 2016) (Lew, 2011)

3.3 Specimen S3 of Yu J, Tan KH, 2013 (9)

Le assunzioni esposte per la validazione del modello utilizzando il software *OpenSees* vengono applicate anche su un modello ad elementi finiti di Yu J, Tan KH, 2013, di cui vengono riportati i risultati all'interno dell'articolo "Numerical investigations on static and dynamic responses of reinforced concrete sub-assemblages under progressive collapse" di Anh Tuan Pham , Kang Hai Tan , Jun Yu,(9) .

In particolare in questo articolo viene proposto un modello ad elementi finiti basato su un provino sottoposto ad una serie di prove di laboratorio condotte su un sotto-assemblaggio di due travi unite tramite un tronco di colonna, ricavato all'interno di un telaio tridimensionale. L'obiettivo è quello di determinarne il comportamento in caso di collasso progressivo dovuto alla rimozione di una colonna in presenza di azioni accidentali. Ciò che è stato osservato a partire dalle prove sperimentali conferma la formazione del meccanismo a catenaria che impedisce il collasso totale della trave.

Le prove di laboratorio effettuate sul campione su cui si basa il modello ad elementi finiti di cui sopra sono state condotte alla Nanyang Technological University nel 2010. In particolare le prove sono state effettuate su 8 campioni, in cui sono state variate le dimensioni complessive e la quantità di armatura longitudinale.

Al fine di validare i risultati riportati, è stato creato un modello a fibre analizzato mediante il software *OpenSees* del provino S3, inserendo le leggi costitutive dell'acciaio e del calcestruzzo esposte precedentemente.

La configurazione di prova iniziale viene riportata in **Figura 3-25**:

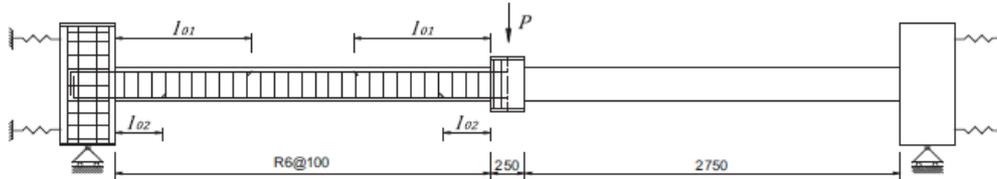


Figura 3-25. Configurazione di prova

Nella **Figura 3-26** viene riportata la disposizione dell'armatura longitudinale e dell'armatura a taglio, insieme alle principali dimensioni geometriche del provino.

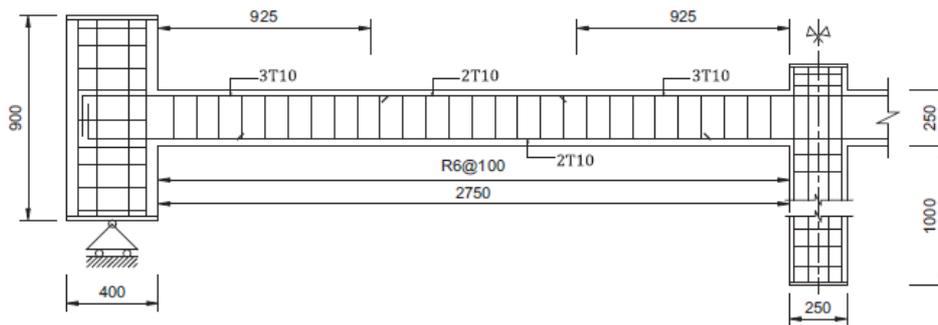


Figura 3-26. Prospetto del provino

In **Tabella 3-16 A-B** vengono riportate le dimensioni del provino, le barre utilizzate e le caratteristiche meccaniche del provino S3:

<i>Specimen S3</i>	
<i>Ln [mm]</i>	2750
<i>Beam section [mm]</i>	150 x 250
<i>l01[mm]</i>	1000
<i>l02[mm]</i>	345
<i>Long. Reinforcement- top end span</i>	3T13
<i>Long. Reinforcement- bottom end span</i>	2T10

<i>Long. Reinforcement- top mid span</i>	2T13
<i>Long. Reinforcement- bottom mid span</i>	2T10+1T13

	<i>Elastic modulus [MPa]</i>	<i>Yield strength [MPa]</i>	<i>Ultimate strength [MPa]</i>	<i>Fracture strain [%]</i>	<i>Concrete strength [MPa]</i>
R6	199,177	349	459	-	
T10	211,020	511	622	11.00	38.15
T13	184,423	494	593	10.92	

Tabella 3-16 A-B. Proprietà geometriche e meccaniche del provino S3

Lo schema statico adottato per il campione in questione segue quello indicato per il modello numerico presentato all'interno dell'articolo e viene riportato in **Figura 3-27**:

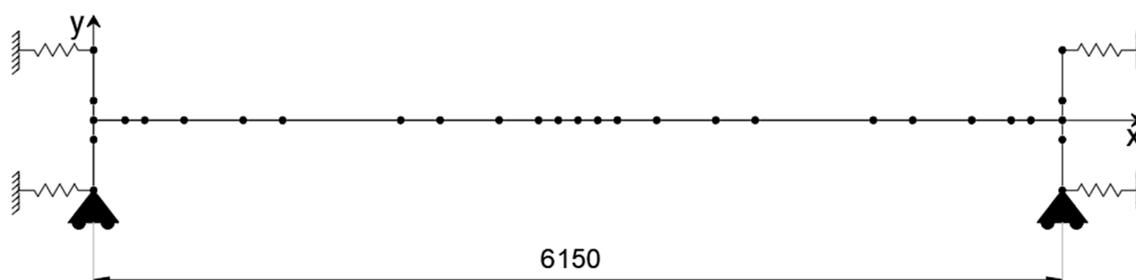


Figura 3-27. Schema statico adottato

Di conseguenza si hanno alle due estremità della trave, in corrispondenza dei due tronchi di colonna esterni, due carrelli ad asse verticale, che impediscono quindi lo spostamento in direzione verticale, ma permettono quello in direzione orizzontale. Per quanto riguardano invece i vincoli laterali a molla, essi sono stati modellati in *OpenSees* attraverso degli elementi “truss” a comportamento elastico, ai quali viene attribuito un modulo elastico alto, confrontabile con quello dell'acciaio. È stato adottato questo tipo di vincolo in seguito all'osservazione del fatto che una modellazione più accurata dei vincoli a molla portava a risultati fuorvianti, di conseguenza si è scelto di semplificare il problema.

Le due travi ed i tronchi di colonna sono stati discretizzati tenendo conto del cambio di sezione e del cambio del passo delle staffe. Inoltre, nell'intorno del nodo trave colonna, è stata adottata una discretizzazione più fitta al fine di cogliere in maniera adeguata i gradienti di deformazione, posizionando altri tre nodi alle distanze pari a $h/2 - h - 3h/2$ a partire dal bordo della colonna, dove h rappresenta l'altezza della trave. Per tutti gli elementi che compongono la

struttura sono stati utilizzati elementi *dispBeamColumn*, senza considerare all'incrocio tra trave e colonna alcun elemento rigido, in quanto è stato osservato che la loro presenza restituiva risultati non del tutto soddisfacenti.

Vengono inoltre riportati in **Tabella 3-17**, **Tabella 3-18**, **Tabella 3-19**, **Tabella 3-20** i materiali implementati in *OpenSees*, che seguono tutte le indicazioni e le leggi esposte nella parte teorica della validazione del modello. In particolare il calcestruzzo risulta essere differente nelle travi e nelle colonne a causa della differente armatura e del differente confinamento. Per l'acciaio invece viene indicato il comportamento in trazione e in compressione, quest'ultimo in base al modello di Dhakal e Meekawa (3) .

		<i>Beam Concrete</i>	
		<i>Core concrete</i>	<i>Cover concrete</i>
<i>Concrete compressive strength at 28 days</i>	\$fpc	-42.73	-39.15
<i>Concrete strain at maximum strength</i>	\$epsc0	-0.00316	-0.004
<i>Concrete crushing strength</i>	\$fpcu	-10.05	-10.25
<i>Concrete strain at crushing strength</i>	\$epsu	-0.01	-0.01
<i>Ratio between unloading slope at epscu and initial slope</i>	\$lambda	0.1	0.1
<i>Tensile strength</i>	\$ft	2	2
<i>Tension softening stiffness (slope of the linear tension softening branch)</i>	\$Ets	1500	1500

Tabella 3-17. Calcestruzzo utilizzato per le travi

		Column Concrete	
		Core concrete	Cover concrete
Concrete compressive strength at 28 days	\$fpc	-42.85	-39.15
Concrete strain at maximum strength	\$epsc0	-0.00316	-0.004
Concrete crushing strength	\$fpcu	-10.97	-10.25
Concrete strain at crushing strength	\$epsu	-0.01	-0.01
Ratio between unloading slope at epscu and initial slope	\$lambda	0.1	0.1
Tensile strength	\$ft	2	2
Tension softening stiffness (slope of the linear tension softening branch)	\$Ets	1500	1500

Tabella 3-18. Calcestruzzo utilizzato per le colonne

		Bars $\Phi 10$
		(stirrups $\Phi 6/100$)
Stress at first point of the envelope in the positive direction [Mpa]	\$s1p	511
Strain at first point of the envelope in the positive direction [-]	\$e1p	0.00243
Stress at second point of the envelope in the positive direction [Mpa]	\$s2p	622
Strain at second point of the envelope in the positive direction [-]	\$e2p	0.20
Stress at third point of the envelope in the positive direction [Mpa]	\$s3p	20
Strain at third point of the envelope in the positive direction [-]	\$e3p	0.601
Stress at first point of the envelope in the negative direction [Mpa]	\$s1n	-511
Strain at first point of the envelope in the negative direction [-]	\$e1n	-0.00243
Stress at second point of the envelope in the negative direction [Mpa]	\$s2n	-94.10
Strain at second point of the envelope in the negative direction [-]	\$e2n	-0.02
Stress at third point of the envelope in the negative direction [Mpa]	\$s3n	-102.2
Strain at third point of the envelope in the negative direction [-]	\$e3n	-0.05
Pinching factor for strain (or deformation) during reloading [-]	\$pinchx	1
Pinching factor for stress (or force) during reloading [-]	\$pinchy	1
Damage due to ductility: $D1(\mu-1)$ [-]	\$damage1	0
Damage due to energy: $D2(Eii/Eult)$ [-]	\$damage2	0

Tabella 3-19. Barre di armatura di diametro 10 mm

		Bars Φ 13 (stirrups Φ 6/100)
Stress at first point of the envelope in the positive direction [Mpa]	\$s1p	494
Strain at first point of the envelope in the positive direction [-]	\$e1p	0.00235
Stress at second point of the envelope in the positive direction [Mpa]	\$s2p	593
Strain at second point of the envelope in the positive direction [-]	\$e2p	0.20
Stress at third point of the envelope in the positive direction [Mpa]	\$s3p	20
Strain at third point of the envelope in the positive direction [-]	\$e3p	0.601
Stress at first point of the envelope in the negative direction [Mpa]	\$s1n	-494
Strain at first point of the envelope in the negative direction [-]	\$e1n	-0.00235
Stress at second point of the envelope in the negative direction [Mpa]	\$s2n	-164.77
Strain at second point of the envelope in the negative direction [-]	\$e2n	-0.04
Stress at third point of the envelope in the negative direction [Mpa]	\$s3n	-98.8
Strain at third point of the envelope in the negative direction [-]	\$e3n	-0.07
Pinching factor for strain (or deformation) during reloading [-]	\$pinchx	1
Pinching factor for stress (or force) during reloading [-]	\$pinchy	1
Damage due to ductility: $D1(\mu-1)$ [-]	\$damage1	0
Damage due to energy: $D2(Eii/Eult)$ [-]	\$damage2	0

Tabella 3-20. Barre di armatura di diametro pari a 13 mm

Vengono inoltre riportate tutte le curve ricavate attraverso l'analisi non lineare del modello numerico del provino S3. In particolare può essere fatto un confronto tra la curva pushdown sperimentale e quella numerica ottenuta con *OpenSees*, osservando come il modello abbia restituito risultati soddisfacenti, ma non perfetti, dovuti al fatto che in un modello numerico risulta difficile tenere conto di tutte le non linearità del problema (**Figura 3-28**). Tuttavia l'andamento qualitativo risulta essere il medesimo, riuscendo a prendere in modo adeguato la fase legata alla ripresa di resistenza.

Negli altri grafici (**Figura 3-29**, **Figura 3-30**) si possono osservare l'andamento dello sforzo normale nella trave e lo spostamento orizzontale dei nodi vincolati mediante i carrelli.

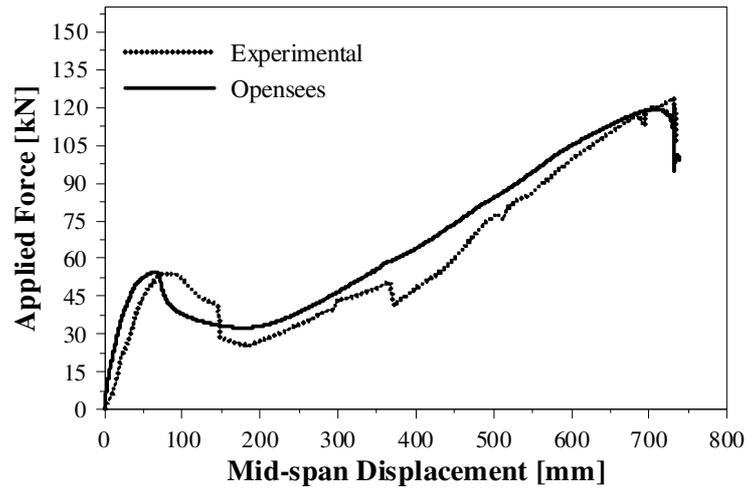


Figura 3-28. Curva carico-spostamento verticale

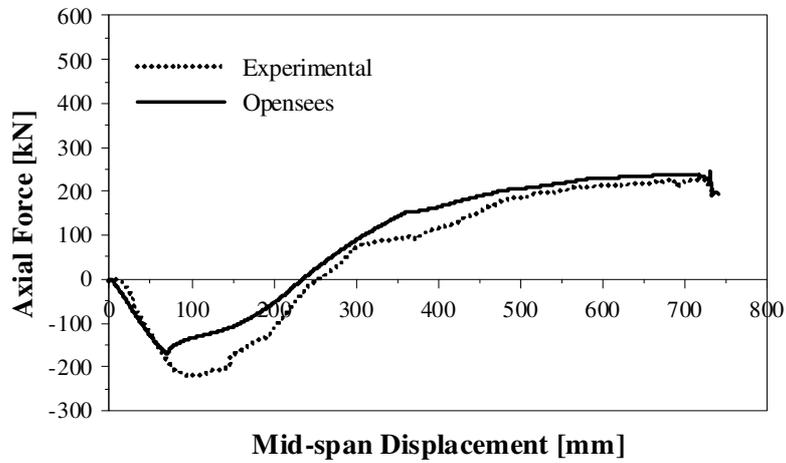


Figura 3-29. Curva sforzo normale-spostamento verticale

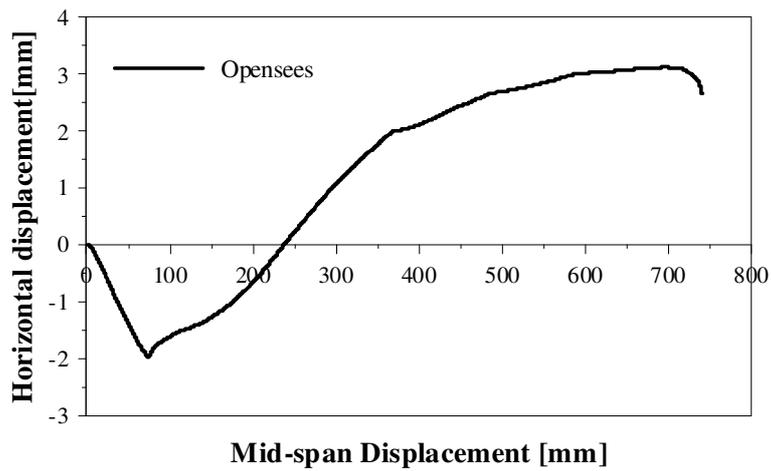


Figura 3-30. Curva spostamento orizzontale-spostamento verticale

3.4 Specimens BNS and BSS (10)

All'interno dell'articolo "Effects of Masonry Infill Wall on the Performance of RC Frames to Resist Progressive Collapse" di Kai Qian, M. ASCE1; and Bing Li, M. ASCE2 (10) vengono riportati i risultati delle prove sperimentali effettuate su 6 provini, che rappresentano un sotto-assemblaggio di travi e colonne appartenente ad un edificio reale, con dimensioni scalate rispetto alla struttura originaria di cui fanno parte. In particolare, in questa fase di calibrazione del modello, sono stati considerati i due provini non tamponati, di cui vengono riportate le caratteristiche meccaniche e geometriche in **Tabella 3-21**:

	<i>Element size</i>		<i>Beam Reinforcement</i>			<i>Column</i>		<i>Specimen description</i>
	<i>Span [mm]</i>	<i>Infill wall</i>	<i>Longitudinal Positive(%)</i>	<i>Longitudinal negative (%)</i>	<i>Transverse in ends (%)</i>	<i>Transverse in ends (%)</i>	<i>Joint (%)</i>	
BNS	1800	None	0.73	0.97	0.32	0.32	N/A	<i>Nonseismic designed bare frame with short span</i>
BSS	1800	None	1.40	1.40	1.20	1.00	1.00	<i>Seismic designed bare frame with short span</i>

Tabella 3-21. Dimensioni ed armatura dei provini non tamponati

I due provini considerati presentano dunque la medesima geometria, essendo entrambi telai a tre piani e a due campate (**Figura 3-31**). Come si può osservare è stato considerato un sotto-assemblaggio di bordo dell'edificio. Per questo motivo sono presenti vincoli alla traslazione orizzontale in corrispondenza delle travi solamente a sinistra, per simulare la presenza del resto dell'edificio, che garantisce una minore deformabilità del telaio stesso.

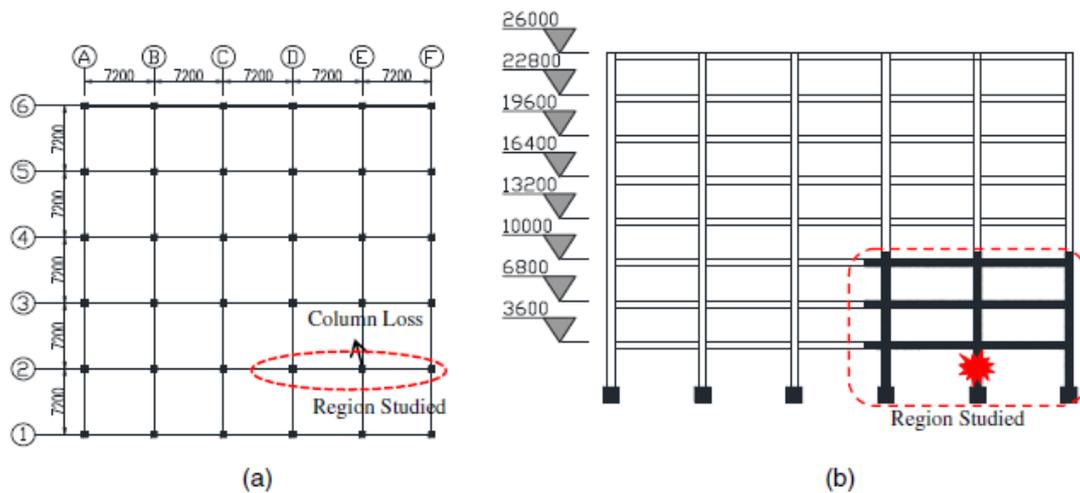


Figura 3-31. Vista in pianta dell'edificio (a) e vista in prospettiva, con individuazione del telaio a due campate considerato (b)

In condizioni di rimozione accidentale della colonna centrale, infatti, il telaio di bordo non presenta il vincolo alla deformazione laterale dell'intero edificio circostante, perciò questo rappresenta il caso peggiore.

Su questi provini è stata condotta una prova sperimentale di pushdown, di cui sono presenti all'interno dell'articolo le curve ricavate, in cui viene riportato l'andamento del carico applicato all'aumentare dello spostamento in direzione verticale del punto in corrispondenza della colonna rimossa.

Al fine di fare un confronto con i risultati sperimentali riportati, è stata condotta un'analisi numerica sugli stessi telai, utilizzando il software *OpenSees*, in cui viene eseguita una modellazione a fibre degli elementi strutturali. In questo modo si è cercato di tenere conto della non linearità del problema, attribuendo ad ogni fibra della sezione legami costitutivi non lineari. Per simulare invece la presenza della parte restante dell'edificio, sono stati posti, in corrispondenza delle travi, carrelli ad asse orizzontale, che bloccano quindi la deformazione del telaio considerato.

Come anticipato, sono stati presi in considerazione i due telai non tamponati con e senza la presenza di dettagli sismici. Vengono quindi di seguito riportate le fasi di taratura del modello.

3.4.1 Telaio non tamponato senza dettagli sismici

In **Figura 3-32** viene riportata la geometria del telaio senza dettagli sismici, in cui si può osservare come il passo delle staffe rimanga costante in corrispondenza dei nodi trave-colonna:

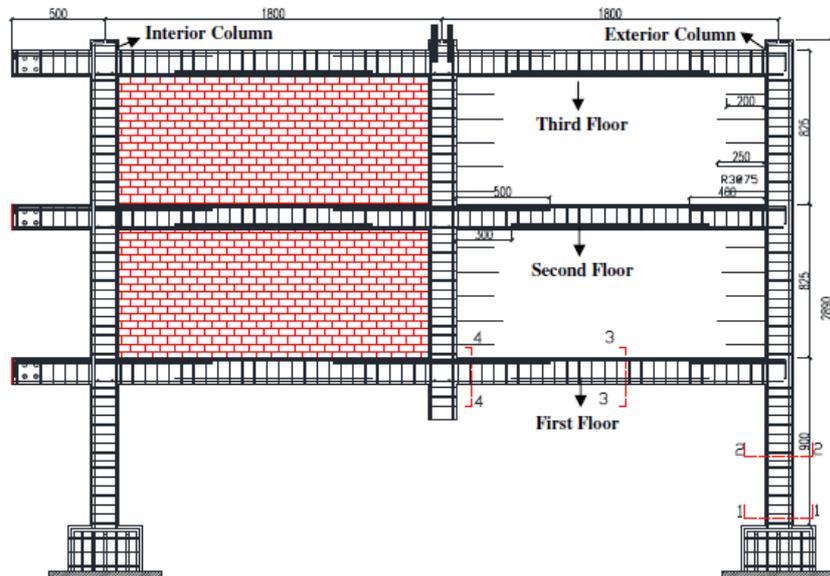


Figura 3-32. Dimensioni ed armatura del provino considerato

Le sezioni 1 e 2 sono relative alle colonne del telaio, mentre le sezioni 3 e 4 si riferiscono alle travi e vengono riportate in **Figura 3-33**:

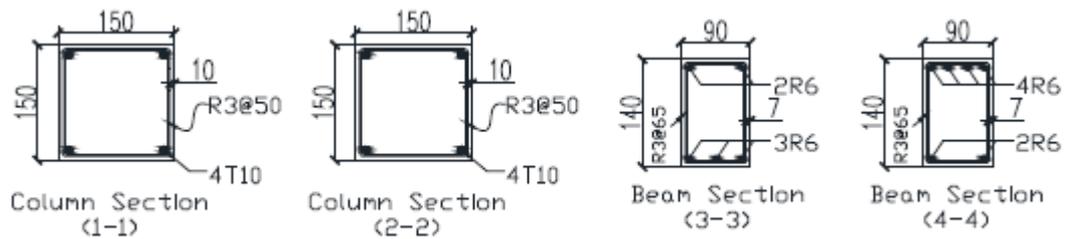


Figura 3-33. Sezioni delle colonne e delle trave

In **Figura 3-34** viene riportato lo schema statico adottato per questo telaio.

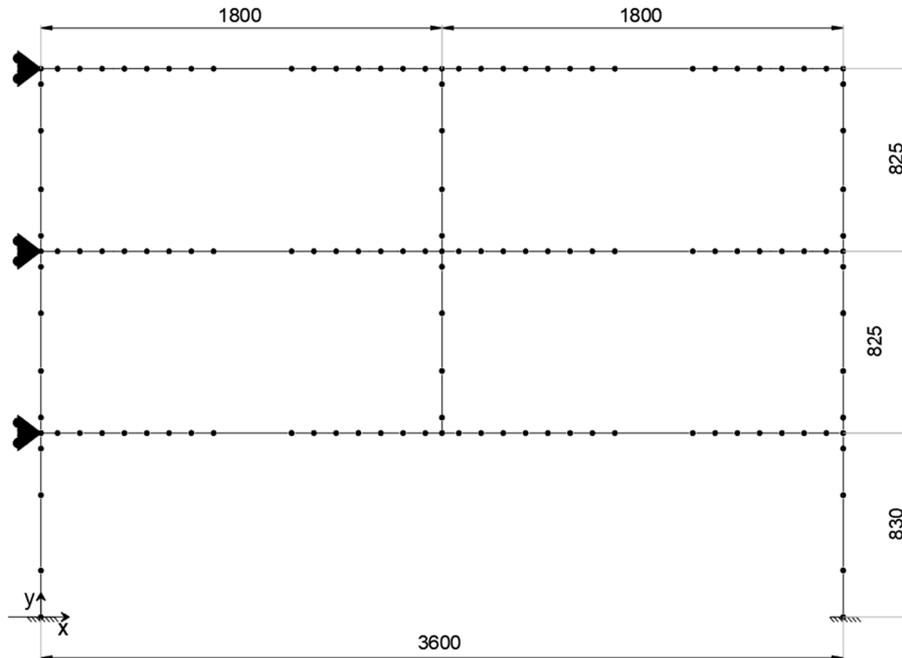


Figura 3-34. Schema statico adottato

Le travi e le colonne che compongono il telaio vengono modellati in *OpenSees* utilizzando gli elementi *dispBeamColumn*. Essi richiedono una discretizzazione delle parti strutturali accurata, in modo da poter cogliere in modo adeguato il gradiente di deformazione.

La discretizzazione adottata tiene conto del cambio di sezione, quindi della disposizione dell'armatura longitudinale.

Ad esempio, all'interno della singola campata, si è scelto di mettere un nodo ogni 10 cm nelle due parti terminale, arrivando fino a 70 cm vicino alla colonna centrale e fino a 60 cm vicino alle colonne laterali. In questo modo si è tenuto conto anche delle sezioni in cui si sovrappongono le barre per il momento negativo con quelle per il momento positivo.

Per modellare il calcestruzzo si è scelto di utilizzare il *Concrete02*, tenendo conto della differenza tra calcestruzzo confinato e non confinato. Vengono riportati in **Tabella 3-22**, **Tabella 3-23**, **Tabella 3-24**, **Tabella 3-25** i parametri meccanici implementati in *OpenSees*, per ognuna delle 4 sezioni considerate:

		<i>Concrete Section 1</i>	
		<i>Core concrete</i>	<i>Cover concrete</i>
<i>Concrete compressive strength at 28 days</i>	f_c	-35.68	-32.1
<i>Concrete strain at maximum strength</i>	ϵ_{psc0}	-0.00311	-0.002
<i>Concrete crushing strength</i>	f_{cu}	-7.14	-6.48
<i>Concrete strain at crushing strength</i>	ϵ_{psc}	-0.0155	-0.01
<i>Ratio between unloading slope at epscu and initial slope</i>	λ	0.1	0.1
<i>Tensile strength</i>	f_t	2	2
<i>Tension softening stiffness (slope of the linear tension softening branch)</i>	E_t	1500	1500

Tabella 3-22. Materiali utilizzati per la sezione 1

		<i>Concrete Section 2</i>	
		<i>Core concrete</i>	<i>Cover concrete</i>
<i>Concrete compressive strength at 28 days</i>	f_c	-35.68	-32.1
<i>Concrete strain at maximum strength</i>	ϵ_{psc0}	-0.00311	-0.002
<i>Concrete crushing strength</i>	f_{cu}	-7.14	-6.48
<i>Concrete strain at crushing strength</i>	ϵ_{psc}	-0.0155	-0.01
<i>Ratio between unloading slope at epscu and initial slope</i>	λ	0.1	0.1
<i>Tensile strength</i>	f_t	2	2
<i>Tension softening stiffness (slope of the linear tension softening branch)</i>	E_t	1500	1500

Tabella 3-23. Materiali utilizzati per la sezione 2

		<i>Concrete Section 3</i>	
		<i>Core concrete</i>	<i>Cover concrete</i>
<i>Concrete compressive strength at 28 days</i>	$\$f_c$	-35.15	-32.1
<i>Concrete strain at maximum strength</i>	$\$\epsilon_{psc0}$	-0.00294	-0.002
<i>Concrete crushing strength</i>	$\$f_{cu}$	-7.03	-6.42
<i>Concrete strain at crushing strength</i>	$\$\epsilon_{psc_u}$	-0.016	-0.01
<i>Ratio between unloading slope at epscu and initial slope</i>	$\$\lambda$	0.1	0.1
<i>Tensile strength</i>	$\$f_t$	2	2
<i>Tension softening stiffness (slope of the linear tension softening branch)</i>	$\$E_t$	1500	1500

Tabella 3-24. Materiali utilizzati per la sezione 3

		<i>Concrete Section 4</i>	
		<i>Core concrete</i>	<i>Cover concrete</i>
<i>Concrete compressive strength at 28 days</i>	$\$f_c$	-35.41	-32.1
<i>Concrete strain at maximum strength</i>	$\$\epsilon_{psc0}$	-0.00311	-0.002
<i>Concrete crushing strength</i>	$\$f_{cu}$	-7.08	-6.42
<i>Concrete strain at crushing strength</i>	$\$\epsilon_{psc_u}$	-0.0155	-0.01
<i>Ratio between unloading slope at epscu and initial slope</i>	$\$\lambda$	0.1	0.1
<i>Tensile strength</i>	$\$f_t$	2	2
<i>Tension softening stiffness (slope of the linear tension softening branch)</i>	$\$E_t$	1500	1500

Tabella 3-25. Materiale utilizzati per la sezione 4

Per la modellazione delle barre di acciaio è stato utilizzato il materiale *Hysteretic*, tenendo conto in compressione del modello di Dhakal-Maekawa(3) . Vengono quindi riportati in **Tabella 3-26** e **Tabella 3-27** i parametri meccanici importati in *OpenSees*, che caratterizzano il materiale:

		Bars $\Phi 6$ (stirrups $\Phi 3/65$)
<i>Stress at first point of the envelope in the positive direction [Mpa]</i>	\$s1p	449
<i>Strain at first point of the envelope in the positive direction [-]</i>	\$e1p	0.00214
<i>Stress at second point of the envelope in the positive direction [Mpa]</i>	\$s2p	537
<i>Strain at second point of the envelope in the positive direction [-]</i>	\$e2p	0.18
<i>Stress at third point of the envelope in the positive direction [Mpa]</i>	\$s3p	20
<i>Strain at third point of the envelope in the positive direction [-]</i>	\$e3p	0.3
<i>Stress at first point of the envelope in the negative direction [Mpa]</i>	\$s1n	-449
<i>Strain at first point of the envelope in the negative direction [-]</i>	\$e1n	-0.00214
<i>Stress at second point of the envelope in the negative direction [Mpa]</i>	\$s2n	-96.49
<i>Strain at second point of the envelope in the negative direction [-]</i>	\$e2n	-0.02
<i>Stress at third point of the envelope in the negative direction [Mpa]</i>	\$s3n	-89.8
<i>Strain at third point of the envelope in the negative direction [-]</i>	\$e3n	-0.05
<i>Pinching factor for strain (or deformation) during reloading [-]</i>	\$pinchx	1
<i>Pinching factor for stress (or force) during reloading [-]</i>	\$pinchy	1
<i>Damage due to ductility: $D1(\mu-1)$ [-]</i>	\$damage1	0
<i>Damage due to energy: $D2(E_{ii}/E_{ult})$ [-]</i>	\$damage2	0

Tabella 3-26. Barre $\Phi 6$ (staffe $\Phi 3/65$)

		Bars $\Phi 10$ (stirrups $\Phi 3/50$)
<i>Stress at first point of the envelope in the positive direction [Mpa]</i>	\$s1p	515
<i>Strain at first point of the envelope in the positive direction [-]</i>	\$e1p	0.00245
<i>Stress at second point of the envelope in the positive direction [Mpa]</i>	\$s2p	594
<i>Strain at second point of the envelope in the positive direction [-]</i>	\$e2p	0.18
<i>Stress at third point of the envelope in the positive direction [Mpa]</i>	\$s3p	20
<i>Strain at third point of the envelope in the positive direction [-]</i>	\$e3p	0.35
<i>Stress at first point of the envelope in the negative direction [Mpa]</i>	\$s1n	-515
<i>Strain at first point of the envelope in the negative direction [-]</i>	\$e1n	-0.00245
<i>Stress at second point of the envelope in the negative direction [Mpa]</i>	\$s2n	-307.99
<i>Strain at second point of the envelope in the negative direction [-]</i>	\$e2n	-0.07
<i>Stress at third point of the envelope in the negative direction [Mpa]</i>	\$s3n	-103
<i>Strain at third point of the envelope in the negative direction [-]</i>	\$e3n	-0.1
<i>Pinching factor for strain (or deformation) during reloading [-]</i>	\$pinchx	1
<i>Pinching factor for stress (or force) during reloading [-]</i>	\$pinchy	1
<i>Damage due to ductility: $D1(\mu-1)$ [-]</i>	\$damage1	0
<i>Damage due to energy: $D2(E_{ii}/E_{ult})$ [-]</i>	\$damage2	0

Tabella 3-27. Barre $\Phi 10$ (staffe $\Phi 3/50$)

Vengono riportati i risultati ottenuti in seguito alla calibrazione del modello in **Figura 3-35**, dove viene fatto un confronto con la curva sperimentale riportata all'interno dell'articolo (10) . Come si può osservare, i risultati ottenuti mostrano una buona attendibilità del modello utilizzato, con la necessità di generarne uno più accurato al fine di sopperire alla difficoltà nel tenere in conto tutte le non-linearità del problema.

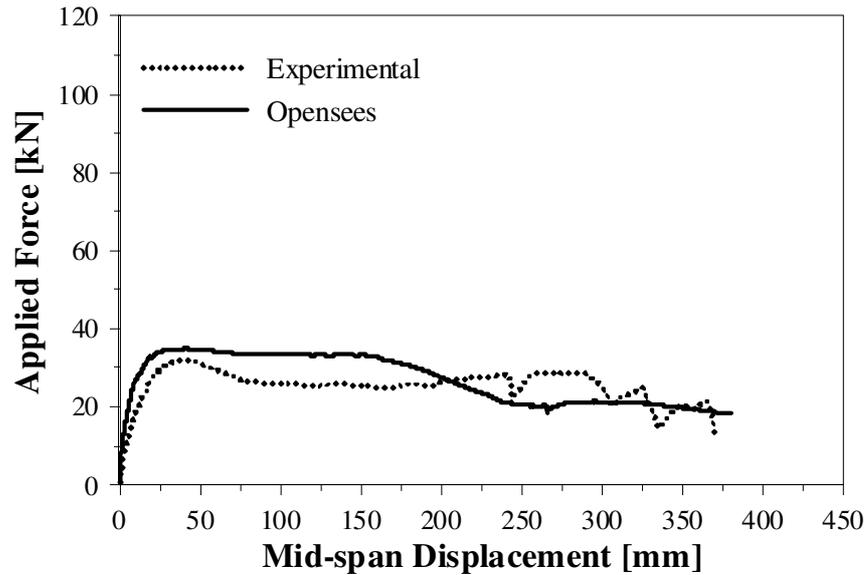


Figura 3-35. Confronto tra la curva sperimentale e la curva numerica di pushdown

Nelle **Figura 3-36**, **Figura 3-37**, **Figura 3-38** viene riportato l'andamento dello spostamento in direzione orizzontale in corrispondenza di ogni piano, facendo anche in questo caso un confronto con le curve sperimentali.

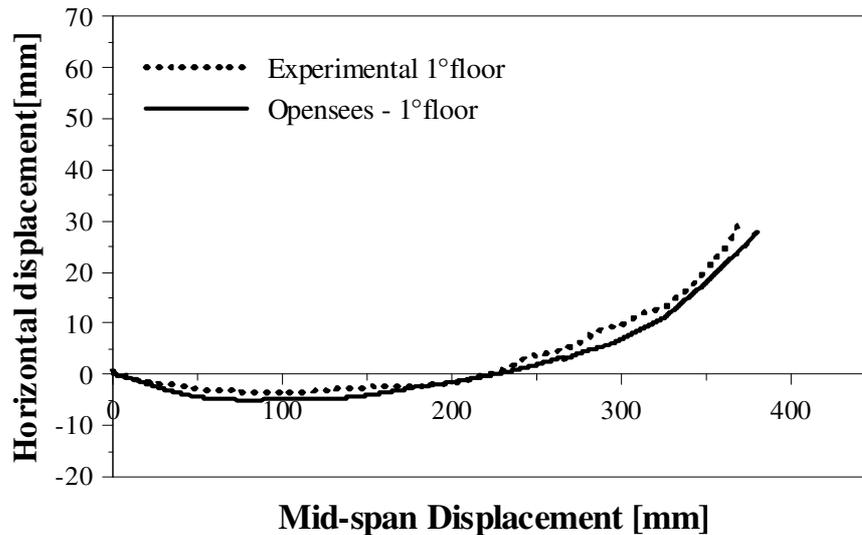


Figura 3-36. Spostamento orizzontale del primo piano

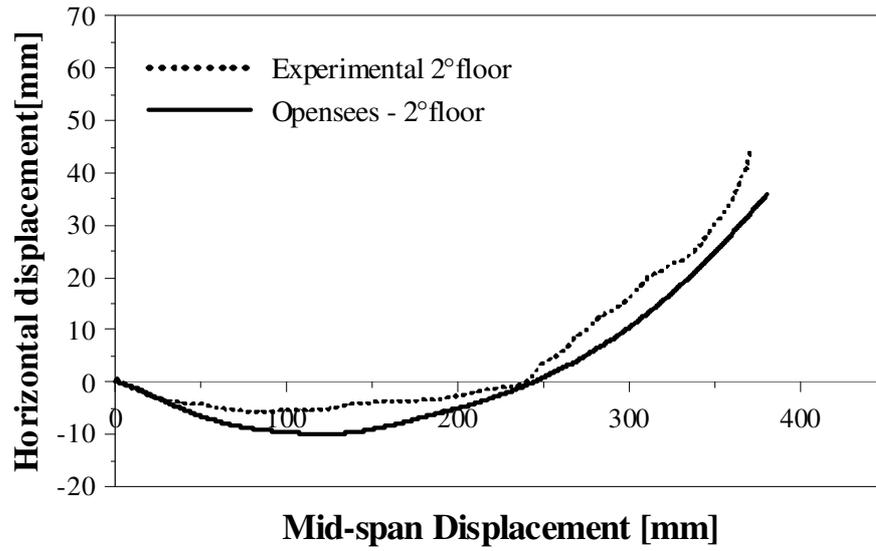


Figura 3-37. Spostamento orizzontale del secondo piano

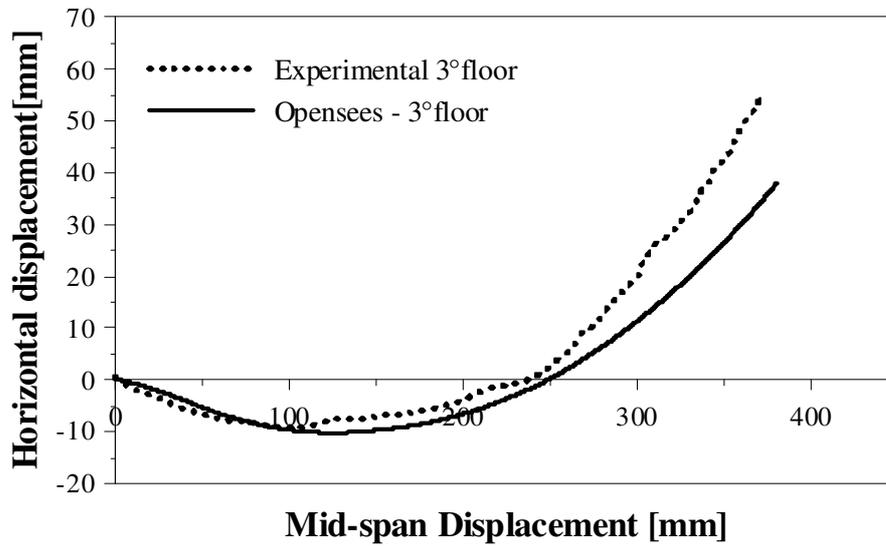


Figura 3-38. Spostamento orizzontale del terzo piano

3.4.2 Telaio non tamponato con dettagli sismici:

In **Figura 3-39** viene riportata la geometria del telaio con dettagli sismici.



Figura 3-39. Dimensioni ed armatura del provino considerato

Le sezioni 1 e 2 sono relative alle colonne del telaio, mentre le sezioni 3 e 4 si riferiscono alle travi e vengono riportate in **Figura 3-40**:

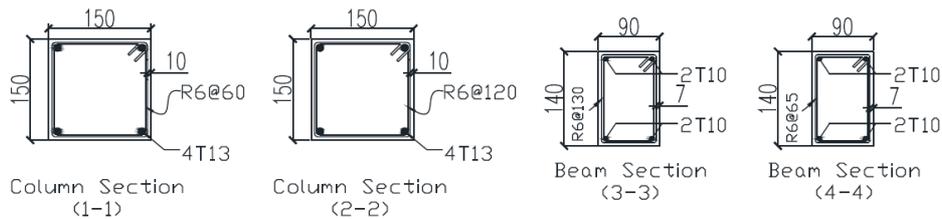


Figura 3-40. Sezioni delle colonne e delle travi

In **Figura 3-41** viene riportato lo schema statico adottato per questo telaio.

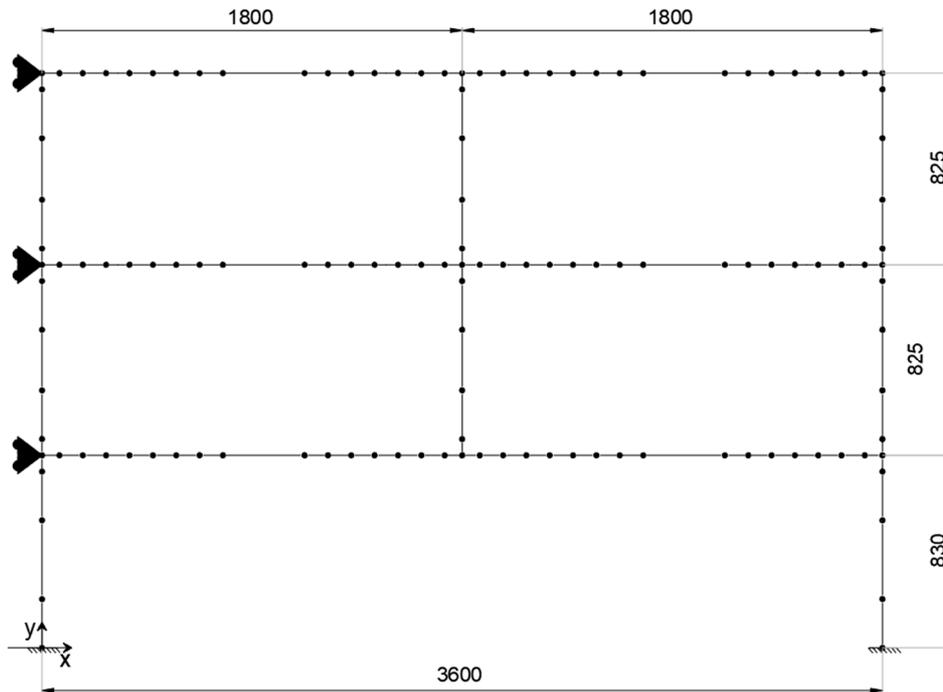


Figura 3-41. Schema statico adottato

Come nel caso del telaio senza dettagli sismici, le travi e le colonne che compongono il telaio vengono modellati in *OpenSees* utilizzando gli elementi *dispBeamColumn*. Anche in questo caso è stata eseguita una discretizzazione delle parti strutturali accurata al fine di cogliere i gradienti di deformazione.

La discretizzazione adottata tiene conto in questo caso sia della disposizione delle armature longitudinali sia del cambio del passo delle staffe, in quanto esso diminuisce notevolmente in corrispondenza dei nodi trave-colonna.

Per modellare il calcestruzzo è stato scelto il materiale *Concrete02*, tenendo conto della differenza tra calcestruzzo confinato e non confinato. Vengono riportati nelle **Tabella 3-28**, **Tabella 3-29**, **Tabella 3-30**, **Tabella 3-31** i parametri meccanici implementati in *OpenSees*, per ognuna delle 4 sezioni considerate, ricavati a partire dalla classe di calcestruzzo utilizzata:

		<i>Concrete Section 1</i>	
		<i>Core concrete</i>	<i>Cover concrete</i>
<i>Concrete compressive strength at 28 days</i>	f_c	-39.62	-33.9
<i>Concrete strain at maximum strength</i>	ϵ_{psc0}	-0.00369	-0.002
<i>Concrete crushing strength</i>	f_{cu}	-12	-6.78
<i>Concrete strain at crushing strength</i>	ϵ_{psc}	-0.03	-0.01
<i>Ratio between unloading slope at epscu and initial slope</i>	λ	0.1	0.1
<i>Tensile strength</i>	f_t	2	2
<i>Tension softening stiffness (slope of the linear tension softening branch)</i>	E_t	1500	1500

Tabella 3-28. Materiali utilizzati per la sezione 1

		<i>Concrete Section 2</i>	
		<i>Core concrete</i>	<i>Cover concrete</i>
<i>Concrete compressive strength at 28 days</i>	f_c	-37.12	-33.9
<i>Concrete strain at maximum strength</i>	ϵ_{psc0}	-0.00295	-0.002
<i>Concrete crushing strength</i>	f_{cu}	-7.42	-6.78
<i>Concrete strain at crushing strength</i>	ϵ_{psc}	-0.0235	-0.01
<i>Ratio between unloading slope at epscu and initial slope</i>	λ	0.1	0.1
<i>Tensile strength</i>	f_t	2	2
<i>Tension softening stiffness (slope of the linear tension softening branch)</i>	E_t	1500	1500

Tabella 3-29. Materiali utilizzati per la sezione 2

		<i>Concrete Section 3</i>	
		<i>Core concrete</i>	<i>Cover concrete</i>
<i>Concrete compressive strength at 28 days</i>	f_c	-36.91	-33.9
<i>Concrete strain at maximum strength</i>	ϵ_{psc0}	-0.00289	-0.002
<i>Concrete crushing strength</i>	f_{cu}	-7.38	-6.78
<i>Concrete strain at crushing strength</i>	ϵ_{pscuc}	-0.0275	-0.01
<i>Ratio between unloading slope at epscu and initial slope</i>	λ	0.1	0.1
<i>Tensile strength</i>	f_t	2	2
<i>Tension softening stiffness (slope of the linear tension softening branch)</i>	E_t	1500	1500

Tabella 3-30. Materiali utilizzati per la sezione 3

		<i>Concrete Section 4</i>	
		<i>Core concrete</i>	<i>Cover concrete</i>
<i>Concrete compressive strength at 28 days</i>	f_c	-39.42	-33.9
<i>Concrete strain at maximum strength</i>	ϵ_{psc0}	-0.00358	-0.002
<i>Concrete crushing strength</i>	f_{cu}	17	-6.78
<i>Concrete strain at crushing strength</i>	ϵ_{pscuc}	-0.03	-0.01
<i>Ratio between unloading slope at epscu and initial slope</i>	λ	0.1	0.1
<i>Tensile strength</i>	f_t	2	2
<i>Tension softening stiffness (slope of the linear tension softening branch)</i>	E_t	1500	1500

Tabella 3-31. Materiale utilizzati per la sezione 4

Per la modellazione delle barre di acciaio è stato utilizzato il materiale *Hysteretic*, tenendo conto in compressione della legge di Dhakal-Maekawa, come nel caso precedente. Vengono quindi riportati nelle **Tabella 3-32**, **Tabella 3-33**, **Tabella 3-34**, **Tabella 3-35** i parametri meccanici importati in *OpenSees* riferiti alle bare di armature utilizzate:

		Bars $\Phi 10$ (stirrups $\Phi 3/130$)
<i>Stress at first point of the envelope in the positive direction [Mpa]</i>	\$s1p	515
<i>Strain at first point of the envelope in the positive direction [-]</i>	\$e1p	0.00245
<i>Stress at second point of the envelope in the positive direction [Mpa]</i>	\$s2p	594
<i>Strain at second point of the envelope in the positive direction [-]</i>	\$e2p	0.17
<i>Stress at third point of the envelope in the positive direction [Mpa]</i>	\$s3p	20
<i>Strain at third point of the envelope in the positive direction [-]</i>	\$e3p	0.25
<i>Stress at first point of the envelope in the negative direction [Mpa]</i>	\$s1n	-515
<i>Strain at first point of the envelope in the negative direction [-]</i>	\$e1n	-0.00245
<i>Stress at second point of the envelope in the negative direction [Mpa]</i>	\$s2n	-92.95
<i>Strain at second point of the envelope in the negative direction [-]</i>	\$e2n	-0.02
<i>Stress at third point of the envelope in the negative direction [Mpa]</i>	\$s3n	-103
<i>Strain at third point of the envelope in the negative direction [-]</i>	\$e3n	-0.05
<i>Pinching factor for strain (or deformation) during reloading [-]</i>	\$pinchx	1
<i>Pinching factor for stress (or force) during reloading [-]</i>	\$pinchy	1
<i>Damage due to ductility: $D1(\mu-1)$ [-]</i>	\$damage1	0
<i>Damage due to energy: $D2(E_{ii}/E_{ult})$ [-]</i>	\$damage2	0

Tabella 3-32. Barre $\Phi 10$ (staffe $\Phi 3/130$)

		Bars $\Phi 10$ (stirrups $\Phi 3/65$)
<i>Stress at first point of the envelope in the positive direction [Mpa]</i>	\$s1p	515
<i>Strain at first point of the envelope in the positive direction [-]</i>	\$e1p	0.00245
<i>Stress at second point of the envelope in the positive direction [Mpa]</i>	\$s2p	594
<i>Strain at second point of the envelope in the positive direction [-]</i>	\$e2p	0.17
<i>Stress at third point of the envelope in the positive direction [Mpa]</i>	\$s3p	20
<i>Strain at third point of the envelope in the positive direction [-]</i>	\$e3p	0.25
<i>Stress at first point of the envelope in the negative direction [Mpa]</i>	\$s1n	-515
<i>Strain at first point of the envelope in the negative direction [-]</i>	\$e1n	-0.00245
<i>Stress at second point of the envelope in the negative direction [Mpa]</i>	\$s2n	-227.35
<i>Strain at second point of the envelope in the negative direction [-]</i>	\$e2n	-0.05
<i>Stress at third point of the envelope in the negative direction [Mpa]</i>	\$s3n	-103
<i>Strain at third point of the envelope in the negative direction [-]</i>	\$e3n	-0.08
<i>Pinching factor for strain (or deformation) during reloading [-]</i>	\$pinchx	1
<i>Pinching factor for stress (or force) during reloading [-]</i>	\$pinchy	1
<i>Damage due to ductility: $D1(\mu-1)$ [-]</i>	\$damage1	0
<i>Damage due to energy: $D2(E_{ii}/E_{ult})$ [-]</i>	\$damage2	0

Tabella 3-33. Barre $\Phi 10$ (staffe $\Phi 3/65$)

	Bars $\Phi 13$ (stirrups $\Phi 3/60$)	
<i>Stress at first point of the envelope in the positive direction [Mpa]</i>	\$s1p	534
<i>Strain at first point of the envelope in the positive direction [-]</i>	\$e1p	0.00245
<i>Stress at second point of the envelope in the positive direction [Mpa]</i>	\$s2p	618
<i>Strain at second point of the envelope in the positive direction [-]</i>	\$e2p	0.16
<i>Stress at third point of the envelope in the positive direction [Mpa]</i>	\$s3p	20
<i>Strain at third point of the envelope in the positive direction [-]</i>	\$e3p	0.25
<i>Stress at first point of the envelope in the negative direction [Mpa]</i>	\$s1n	-534
<i>Strain at first point of the envelope in the negative direction [-]</i>	\$e1n	-0.00245
<i>Stress at second point of the envelope in the negative direction [Mpa]</i>	\$s2n	-336.09
<i>Strain at second point of the envelope in the negative direction [-]</i>	\$e2n	-0.06
<i>Stress at third point of the envelope in the negative direction [Mpa]</i>	\$s3n	-106.80
<i>Strain at third point of the envelope in the negative direction [-]</i>	\$e3n	-0.08
<i>Pinching factor for strain (or deformation) during reloading [-]</i>	\$pinchx	1
<i>Pinching factor for stress (or force) during reloading [-]</i>	\$pinchy	1
<i>Damage due to ductility: $D1(\mu-1)$ [-]</i>	\$damage1	0
<i>Damage due to energy: $D2(E_{ii}/E_{ult})$ [-]</i>	\$damage2	0

Tabella 3-34. Barre $\Phi 13$ (staffe $\Phi 3/60$)

		Bars $\Phi 13$ <i>(stirrups $\Phi 3/120$)</i>
<i>Stress at first point of the envelope in the positive direction [Mpa]</i>	\$s1p	534
<i>Strain at first point of the envelope in the positive direction [-]</i>	\$e1p	0.00245
<i>Stress at second point of the envelope in the positive direction [Mpa]</i>	\$s2p	618
<i>Strain at second point of the envelope in the positive direction [-]</i>	\$e2p	0.16
<i>Stress at third point of the envelope in the positive direction [Mpa]</i>	\$s3p	20
<i>Strain at third point of the envelope in the positive direction [-]</i>	\$e3p	0.25
<i>Stress at first point of the envelope in the negative direction [Mpa]</i>	\$s1n	-534
<i>Strain at first point of the envelope in the negative direction [-]</i>	\$e1n	-0.00245
<i>Stress at second point of the envelope in the negative direction [Mpa]</i>	\$s2n	-117.77
<i>Strain at second point of the envelope in the negative direction [-]</i>	\$e2n	-0.03
<i>Stress at third point of the envelope in the negative direction [Mpa]</i>	\$s3n	-106.80
<i>Strain at third point of the envelope in the negative direction [-]</i>	\$e3n	-0.06
<i>Pinching factor for strain (or deformation) during reloading [-]</i>	\$pinchx	1
<i>Pinching factor for stress (or force) during reloading [-]</i>	\$pinchy	1
<i>Damage due to ductility: $D1(\mu-1)$ [-]</i>	\$damage1	0
<i>Damage due to energy: $D2(E_{ii}/E_{ult})$ [-]</i>	\$damage2	0

Tabella 3-35. Barre $\Phi 13$ (staffe $\Phi 3/120$)

Come nel caso precedente, viene riportata nella **Figura 3-42** la curva di pushdown ottenuta in seguito alla taratura del modello. Come si può osservare, i risultati ottenuti in questo secondo caso risultano essere peggiori rispetto al telaio senza dettagli sismici. La curva ottenuta infatti mostra un andamento simile alla curva sperimentale, riuscendo a determinare il punto di crisi della struttura, ma non la riprende in modo preciso, nonostante i criteri utilizzati per il modello strutturale adottate siano gli stessi nei due telai. Questo dimostra che, nonostante il modello sia accurato, non si riescono a considerare in modo adeguato tutte le non linearità del problema(**Figura 3-42**).

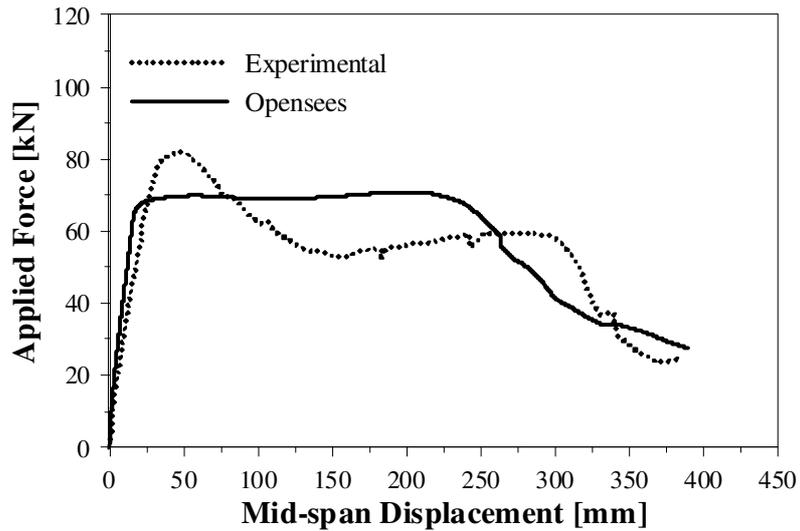


Figura 3-42. Confronto tra la curva sperimentale e la curva numerica di pushdown

Vengono inoltre riportati gli spostamenti orizzontali in corrispondenza dei tre piani, in funzione dello spostamento verticale in del punto centrale del telaio. **Figura 3-43, Figura 3-44, Figura 3-45.**

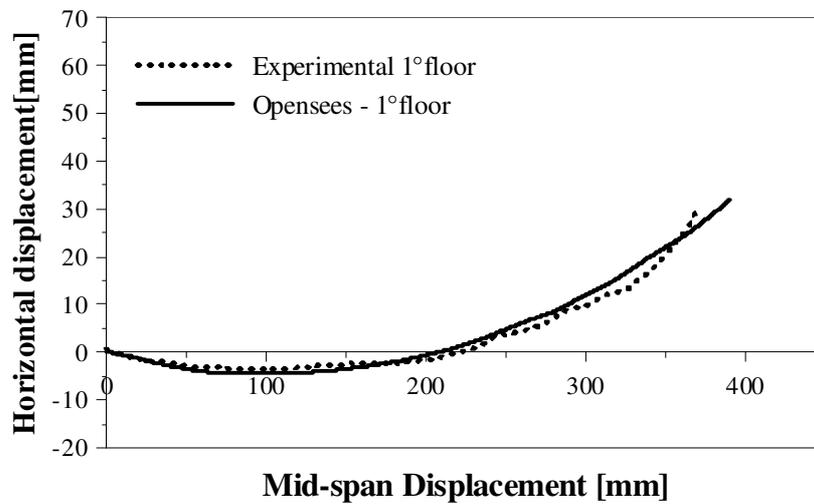


Figura 3-43. Spostamento orizzontale del primo piano

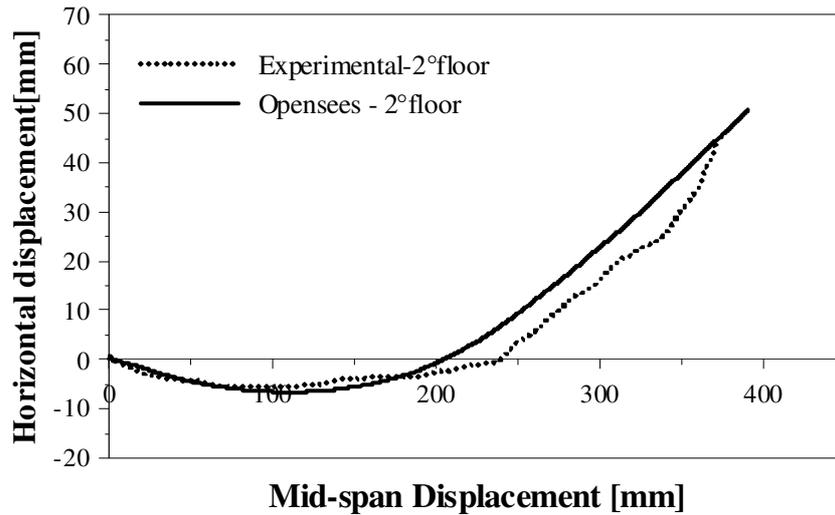


Figura 3-44. Spostamento orizzontale del secondo piano

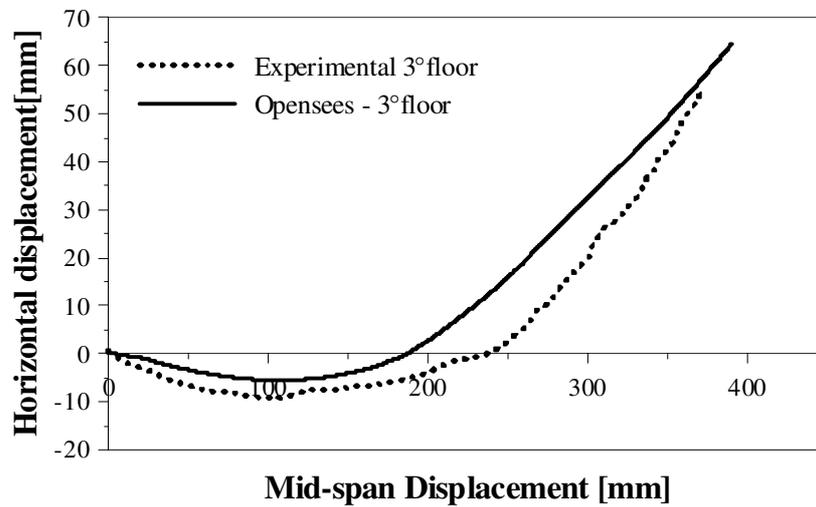


Figura 3-45. Spostamento orizzontale del terzo piano

Si può quindi concludere che la modellazione a fibre e l'infillimento della mesh permette di ottenere risultati attendibili in termini di resistenza offerta in caso di rimozione accidentale della colonna centrale. Tuttavia il comportamento della struttura risulta essere fortemente non lineare e si presenta dunque la difficoltà di individuare un modello numerico preciso che possa essere del tutto in linea con i risultati sperimentali.

Capitolo 4. Proposta di modellazione dei telai tamponati

All'interno del presente capitolo viene studiata l'influenza del tamponamento perimetrale in muratura sul comportamento dei telai in calcestruzzo armato sottoposti al collasso progressivo. Come è stato possibile osservare nei precedenti capitoli, le strutture interessate da questo tipo di azione accidentale presentano un comportamento tipico, mostrando un iniziale meccanismo resistente flessionale, in seguito al quale si innescano i meccanismi ad arco e a catenaria. Nel momento in cui viene introdotta la tamponatura perimetrale attraverso pannelli di muratura, questo comportamento dei telai in calcestruzzo armato tende a variare. È stato osservato infatti, mediante studi di tipo sperimentale, come all'interno di un telaio tamponato ci sia una modifica del meccanismo resistente, in cui non si osserva solitamente l'istaurarsi del meccanismo a catenaria. Questo è dovuto ad un minor danneggiamento del nodo trave-colonna in quanto all'interno della trave risulta esserci uno sforzo di compressione minore, che viene in parte scaricato all'interno della muratura. Si osserva inoltre una migrazione della zona di formazione della cerniera plastica e un generale aumento della resistenza della struttura in termini di capacità portante. Tutti questi aspetti portano dunque ad avere un comportamento differente della struttura, di conseguenza da questo deriva la necessità di prendere in considerazione l'influenza del tamponamento.

Tuttavia il problema risulta essere di difficile calibrazione e una modellazione accurata richiederebbe un elevato costo computazionale. In queste condizioni diventa importante determinare un metodo di modellazione del tamponamento che risulti semplice ed efficace e che allo stesso tempo rappresenti l'influenza di una grande quantità di variabili geometriche e meccaniche. Per questo motivo, come verrà spiegato nel dettaglio all'interno del presente capitolo, è stata scelta una modellazione della tamponatura attraverso puntoni equivalenti, che possano restituire una risposta anelastica relativamente semplice.

Al fine di validare un metodo di modellazione accurato, sono stati presi in considerazione casi sperimentali e numerici appartenenti a studi precedenti. Le variabili presenti all'interno di questi studi sono la presenza dei dettagli sismici, la presenza dei vincoli laterali, il numero di piani e la variazione delle dimensioni delle travi costituenti il telaio. A partire dunque da questi dati, l'obiettivo è stato quello di trovare una modellazione, che permettesse di ricavare gli stessi risultati ottenuti per via sperimentale e numerica FEM. In questo modo, una volta ottenuti tali

risultati, è stato possibile effettuare delle osservazioni e delle correlazioni, che hanno in seguito permesso di determinare una proposta di modellazione dei telai tamponati, tenendo in considerazione di tutte le variabili caratterizzanti il problema.

È stata quindi condotta una modellazione di ciascun telaio considerato in *OpenSees*, utilizzando il metodo del puntone equivalente. Sono stati così calibrati i parametri meccanici e geometrici per ogni modello considerato al fine di ottenere la migliore corrispondenza con i risultati sperimentali e numerici dei test associati. Infine è stata condotta una ricerca delle relazioni di correlazione tra i parametri dei puntoni, al fine di determinare un metodo semplificato applicabile ad ogni telaio in calcestruzzo armato tamponato in muratura.

4.1 Definizione dei telai tamponati considerati

Sono stati considerati in questo studio sei differenti edifici, da cui sono stati estrapolati telai perimetrali di dimensioni ridotte rispetto a quelle dell'intera struttura. Su questi telai sono state effettuate prove sperimentali e numeriche, utili ai fini della modellazione che verrà in seguito esposta. In particolare sono stati considerati i campioni scalati rispetto alle dimensioni reali sottoposti a prove sperimentali di pushdown i cui risultati sono riportati all'interno dell'articolo **Qian, K. & Li, B.** 2017 "Effects of Masonry Infill Wall on the Performance of RC Frames to Resist Progressive Collapse." *J Struct Eng*, 143(9): 04017118. di Qian, K. & Li, B. 2017. I telai sottoposti a prove numeriche invece sono presenti all'interno della tesi di laurea magistrale di Dalmasso M., 2018 (27) , in cui sono presenti tutti i risultati ottenuti mediante l'utilizzo dei software *Atena* e *OpenSees*. Viene riportata di seguito una tabella che riassume i casi considerati, con un codice identificativo per ognuno di essi, i quali verranno illustrati nel dettaglio nel seguente paragrafo.

	Codice identificativo
<i>Telaio tamponato sismico sperimentale senza vincoli con $l/h = 2(25)$</i>	tts2
<i>Telaio tamponato non sismico sperimentale senza vincoli con $l/h = 2(25)$</i>	ttns2
<i>Telaio tamponato sismico senza vincoli con $l/h = 1$</i>	tts
<i>Telaio tamponato sismico con vincoli con $l/h = 1$</i>	ttsv
<i>Telaio tamponato non sismico con vincoli con $l/h = 1$</i>	ttnsv
<i>Telaio tamponato non sismico senza vincoli con $l/h = 1$</i>	ttns
<i>Telaio tamponato sismico senza vincoli con $l/h = 2$</i>	ttsl
<i>Telaio tamponato sismico con vincoli con $l/h = 2$</i>	ttsvl
<i>Telaio tamponato non sismico con vincoli con $l/h = 2$</i>	ttnsvl
<i>Telaio tamponato non sismico senza vincoli con $l/h = 2$</i>	ttnsv
<i>Telaio tamponato non sismico con vincoli con $l/h = 2$ con $w/t=0,20$</i>	ts2tnsvl
<i>Telaio tamponato non sismico con vincoli con $l/h = 2$ con $w/t=0,43$</i>	ts3tnsvl
<i>Telaio tamponato non sismico con vincoli con $l/h = 2$ con $w/t=0,80$</i>	ts4tnsvl
<i>Telaio tamponato a tre piani sismico con vincoli con $l/h = 1$</i>	t3tsv
<i>Telaio tamponato a quattro piani sismico con vincoli con $l/h = 1$</i>	t4tsv

Tabella 4-1. Casi sperimentali e numerici considerati**4.1.1 Casi sperimentali considerati**

All'interno dell'articolo dall'articolo "Effects of Masonry Infill Wall on the Performance of RC Frames to Resist Progressive Collapse" di Kai Qian, M.ASCE¹; and Bing Li, M.ASCE² (10) vengono riportati i risultati ottenuti in seguito a prove sperimentali di pushdown effettuate su telai bidimensionali scalati rispetto alle dimensioni reali. Essi sono stati estrapolati da un edificio a otto piani (**Figura 4-1**), del quale in particolare sono stati considerati i telai di bordo, che presentano dunque i vincoli alla deformabilità laterale solamente a sinistra, mentre a destra risulta essere liberi di muoversi in direzione orizzontale. Il campione sottoposto al test di laboratorio presenta dunque la stessa geometria del telaio reale, essendo esso solamente di dimensioni scalate. In particolare sono stati considerati i due telai tamponati con (WSS) e senza (WNS) la presenza dei dettagli sismici, al fine di indagare l'influenza di questa ulteriore variabile.

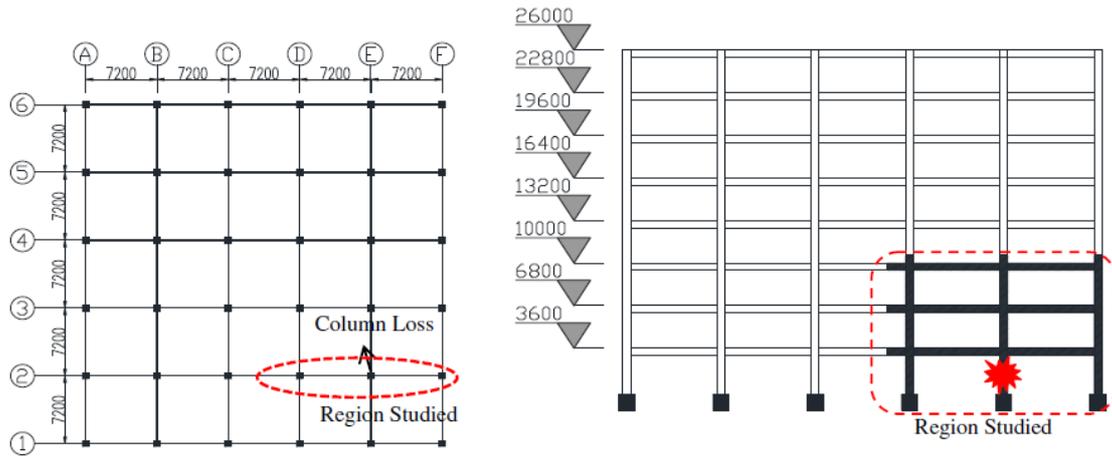


Figura 4-1. Edificio reale

Per quanto riguarda il campione con dettagli sismici, viene riportata la **Figura 4-2** in cui si può osservare la sua geometria e la disposizione dell'armatura longitudinale e trasversale.

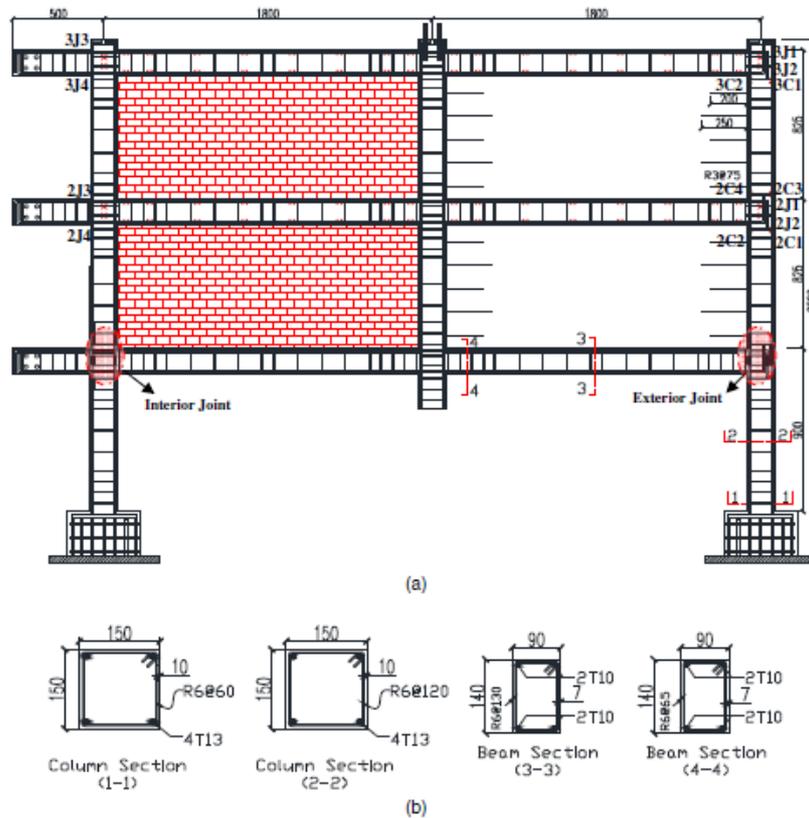


Figura 4-2. Campione sismico *tts2* sottoposto a prove di laboratorio (a); Sezioni delle travi e delle colonne considerate (b)

Il campione senza dettaglio sismici, esso presenta la seguente disposizione dell'armatura (Figura 4-3):

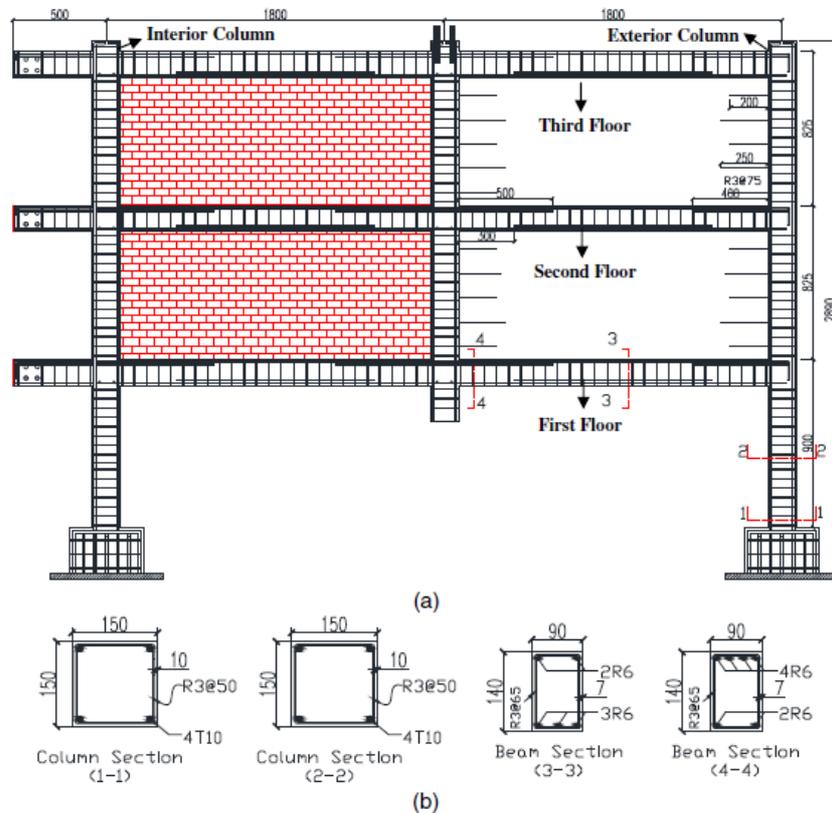


Figura 4-3. Campione non sismico *ttns2* sottoposto a prove di laboratorio (a); Sezioni delle travi e delle colonne considerate (b)

I due campioni sono stati costruiti senza la colonna centrale al piano inferiore, per simulare la sua rimozione a causa di esplosioni o impatti di veicoli a terra. Le due colonne laterali invece sono state ancorate alla base mediante plinti di dimensioni 300x400 mm. Inoltre, al fine di simulare il vincolo orizzontale offerto dalle restanti campate dell'edificio, sono stati utilizzati tre carelli ad asse orizzontale, posti in corrispondenza dell'asse delle travi, solamente nella parte sinistra del telaio. Il carico verticale è stato applicato ai provini attraverso un martinetto idraulico in corrispondenza della colonna centrale.

Per quanto riguarda il provino con dettagli sismici *tts2* viene riportato in **Figura 4-4** il suo quadro fessurativo in seguito alla prova di pushdown:

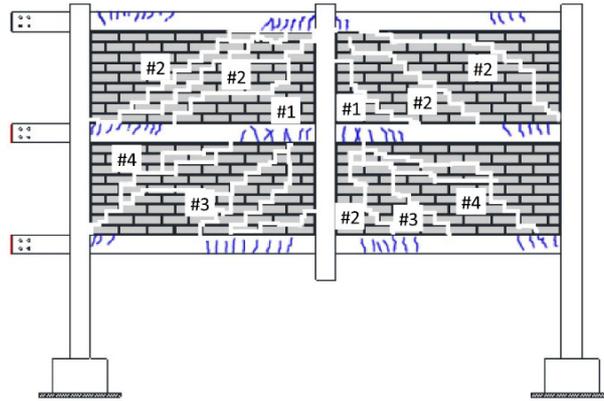


Figura 4-4. Quadro fessurativo del provino con dettagli sismici

La figura mostra in ordine quali sono le fessure che si vengono a creare all'interno dei pannelli all'aumentare dello spostamento verticale del punto di mezzeria. Risulta infatti che la fessurazione si viene a creare inizialmente all'interno dei pannelli di tamponamento, per interessare infine le travi in cemento armato, con conseguente rottura delle barre di armatura. La curva carico-spostamento ottenuta in seguito alla prova eseguita viene riportata in **Figura 4-5**:

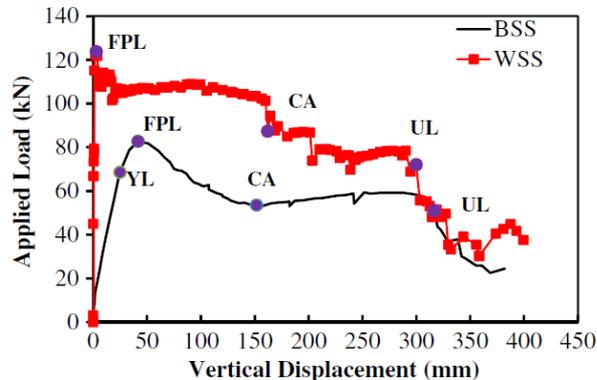


Figura 4-5. Curva sperimentale carico-spostamento verticale del provino con dettagli sismici (curva rossa)

Come si può osservare il carico di picco è stato ottenuto in corrispondenza dello spostamento verticale pari a 3 mm. Oltre questo valore è stata osservata una caduta improvvisa della capacità portante del telaio fino allo spostamento pari ad 8 mm, per mantenere poi un andamento circa costante fino allo spostamento pari a 156 mm.

Il provino senza dettagli sismici *ttns2* presenta il quadro fessurativo riportato in **Figura 4-6**:

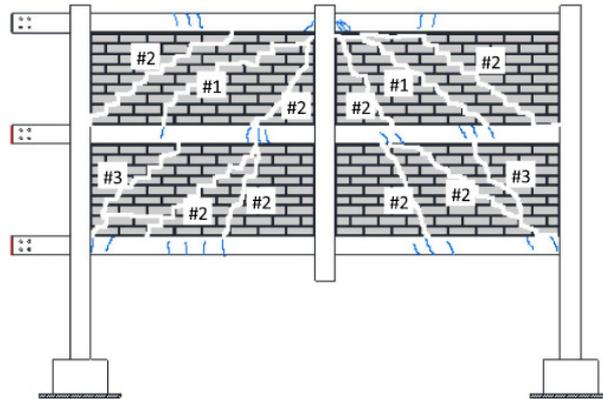


Figura 4-6. Quadro fessurativo del provino senza dettagli sismici

Anche in questo caso i numeri riportati in figura indicano la sequenza con cui si formano le fessure all'interno del provino all'aumentare del carico applicato. In seguito alla prova effettuata è stato possibile affermare che la capacità resistente del campione è da attribuire principalmente ai pannelli di tamponamento piuttosto che al telaio in c.a. nella fase iniziale del test. Viene riportata in **Figura 4-7** la curva carico-spostamento ottenuta per questo campione:

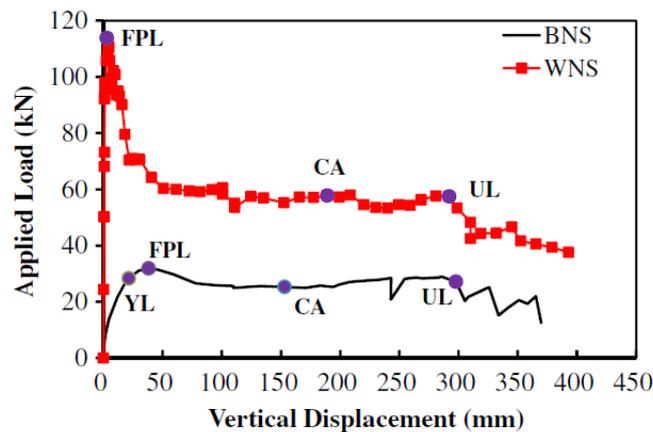


Figura 4-7. Curva carico-spostamento verticale del campione senza dettagli sismici (curva rossa)

4.1.2 Casi numerici considerati

Viene preso in considerazione in questa fase il caso studio riferito ad un edificio residenziale a cinque piani in cemento armato, di cui sono riportate tutte le analisi numeriche effettuate all'interno della tesi di laurea magistrale di Dalmasso M, (2018)(27) . Si è supposto che l'edificio subisca una perdita accidentale di una colonna centrale di uno dei telai perimetrali. La struttura dell'edificio è stata progettata ipotizzando due diverse configurazioni di campate

centrali convergenti alla colonna di interesse. In questo modo si ottengono due disposizioni a campata centrale, una con campate corte e rapporto l/h_c (luce/altezza della colonna) pari a 1 (*edificio A-Figura 4-8(a)*) e l'altra con campate lunghe e rapporto l/h_c pari a 2 (*edificio B-Figura 4-8(b)*). Gli edifici appena presentati sono stati progettati considerando delle travi alte (30x50 cm). La struttura dell'edificio B è stata progettata anche considerando altre due configurazioni del rapporto base-altezza della trave b/h . In particolare sono state utilizzate le travi con dimensioni 100x20 cm (*edificio C-Figura 4-8(c)*), 70x30 cm (*edificio D-Figura 4-8(d)*) e 50x40 cm (*edificio E-Figura 4-8(e)*)

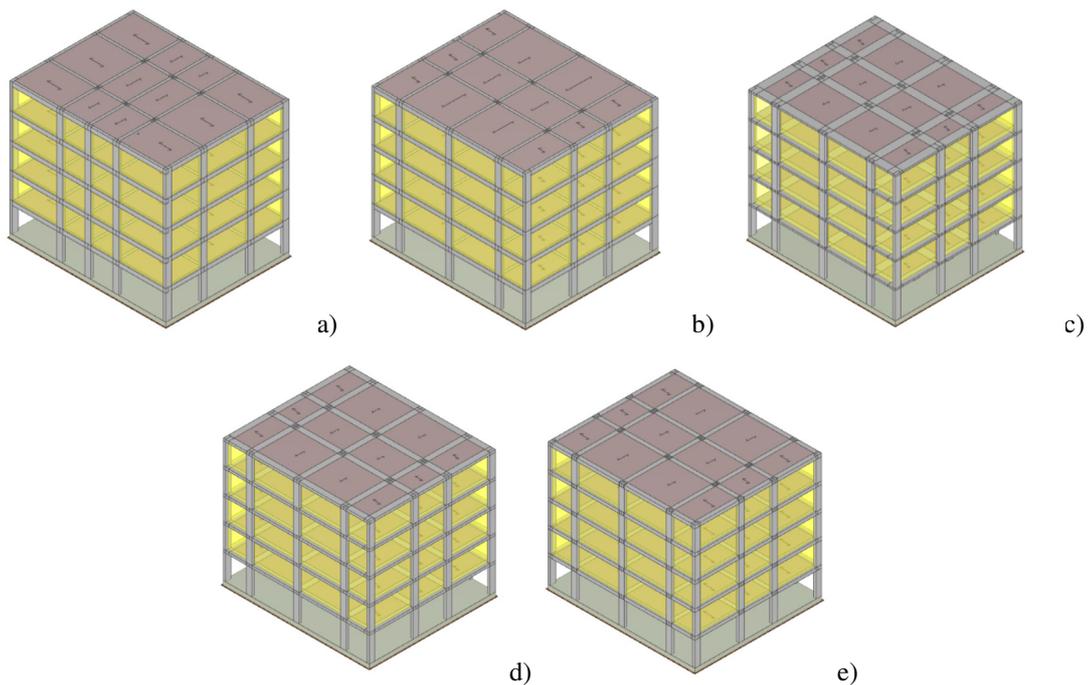


Figura 4-8. Vista 3D degli edifici considerati e telai ricavati: a) Edificio A; b) Edificio B; c) Edificio C; d) Edificio D; e) Edificio E

Le dimensioni in pianta degli edifici sono 19,08 x 16,48 metri, mentre le altezze dell'interpiano sono 3,57 m dal piano campagna alla prima elevazione e 3,07 m dalla seconda elevazione in poi. Gli edifici sono progettati utilizzando il valore caratteristico delle resistenze del calcestruzzo e dell'acciaio $f_c = 25$ MPa e $f_y = 450$ MPa rispettivamente. I carichi caratteristici di progetto sui solai sono $G_{1k} = 3,20$ kN / m, $G_{2k} = 3,80$ kN / m, $Q_{k1} = 2,00$ kN / m (affollamento), mentre i carichi agenti sul tetto sono $G_{1k} = 3,20$ kN / m, $G_{2k} = 2,10$ kN / m, $Q_{k1} = 0,50$ kN / m (manutenzione), $Q_{k1} = 0,48$ kN / m (neve). Gli edifici A e B sono stati progettati considerando i carichi sismici, i dettagli sismici e le regole di progettazione secondo la gerarchia delle resistenze. Il rischio sismico del sito (Palermo) è stato definito coerentemente con l'uso

residenziale dell'edificio e le caratteristiche del suolo (terreno roccioso). I parametri di rischio secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018) sono $VN = 50$ (vita nominale), $S = 1$ (fattore del suolo), $TR = 475$ anni (periodo di ritorno), $a_g = 0,176$ g (accelerazione di picco). Per estendere l'indagine a strutture non sismicamente progettate, gli edifici A e B sono stati progettati anche considerando solo carichi verticali e ignorando i dettagli sismici.

Tutti i telai presentati sono stati sottoposti al test di pushdown, al fine di valutare quale sia la loro capacità portante in caso di rimozione della colonna centrale. Sono stati inoltre considerati i casi in cui i telai vengono vincolati lateralmente, al fine di valutare quale sia l'influenza della deformabilità laterale del telaio sulla sua resistenza.

La tamponatura utilizzata per queste strutture è dello stesso tipo di quella testata sperimentalmente da Cavaleri & Di Trapani (2014), composta da laterizi cavi in argilla, connessi attraverso uno strato di malta cementizia di 10 mm, di cui vengono riportati in **Tabella 4-2** i parametri meccanici:

f_{m1} (MPa)	f_{m2} (MPa)	f_{vm} (MPa)	E_1 (MPa)	E_2 (MPa)	G (MPa)
4.18	8.66	1.07	5032	6401	2547

Tabella 4-2. Parametri meccanici della muratura

Dei telai presentati è stata effettuata una modellazione raffinata ad elementi finiti, attraverso l'utilizzo del software di calcolo *Atena 2D*, di cui viene riportato un esempio in figura:

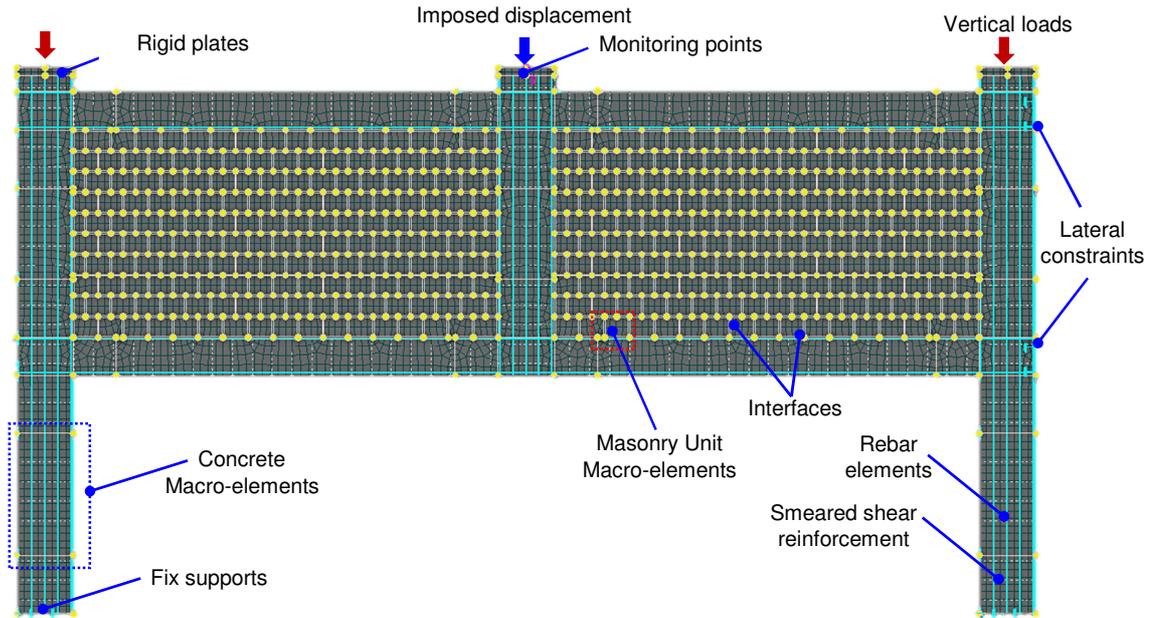


Figura 4-9. Tipico modello FE realizzato in *Atena*

A tutti gli elementi descritti è stata assegnata inoltre la non linearità geometrica, al fine di poter condurre un'analisi in condizione indeformata della struttura, sotto l'ipotesi di grandi spostamenti.

Tutti i telai tamponati descritti sono stati quindi sottoposti al test di pushdown, in seguito ai quali essi hanno mostrato la formazione di un meccanismo resistente complicato.

Per quanto riguarda il telaio con rapporto $l/h_c = 1$ è stata infatti osservata la formazione di due regioni diffusive per ciascun pannello di tamponamento che individuano due campi di compressione caratterizzati da fessure diagonali che lo attraversano. Questo meccanismo va a influenzare la distribuzione delle tensioni locali all'interno delle travi in calcestruzzo, che porta ad avere una migrazione delle cerniere plastiche verso l'interno della trave stessa. Si osserva infine un rapido decadimento della resistenza del sistema in seguito allo scorrimento che verifica all'interno dei giunti di malta. Viene di seguito riportata la curva di pushdown ottenuta in seguito alla prova (**Figura 4-10**).

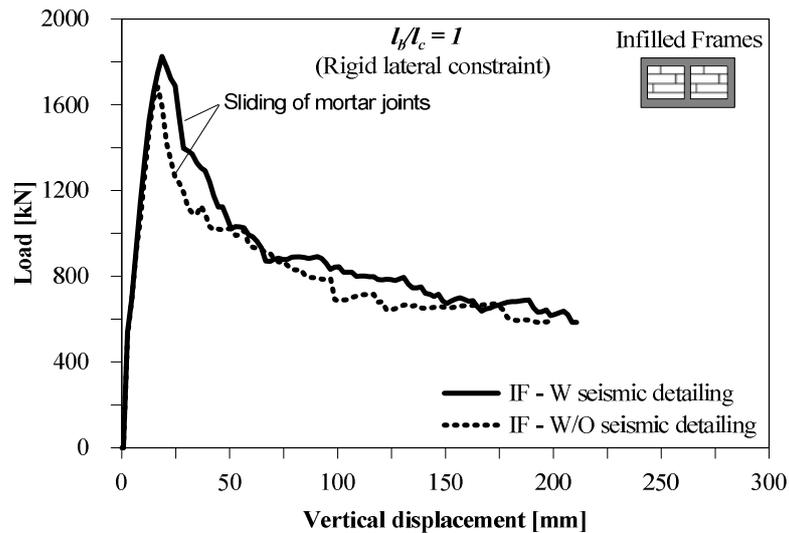


Figura 4-10. Curva pushdown dei campioni *ttsv* e *ttnsv*

Come si può osservare l'influenza della progettazione sismica sui telai con tamponamento in muratura non risulta essere rilevante. Le due curve per i campioni sismico e non sismico risultano avere all'incirca lo stesso andamento. Questo è dovuto proprio alla presenza della tamponatura, la quale determina un incremento della resistenza tale da rendere irrilevante l'influenza dei dettagli sismici.

Di seguito invece viene riportata la curva pushdown dei campioni non vincolati lateralmente (**Figura 4-11**). Per essi è stato osservato che la maggiore deformabilità laterale del sistema si traduce in una significativa riduzione dell'azione di compressione sulle travi, che si trasforma in una riduzione della resistenza complessiva del telaio. Inoltre a differenza dei telai vincolati lateralmente, la resistenza ultima viene mantenuta fino al collasso del sistema, che avviene a causa della rottura delle barre di armatura.

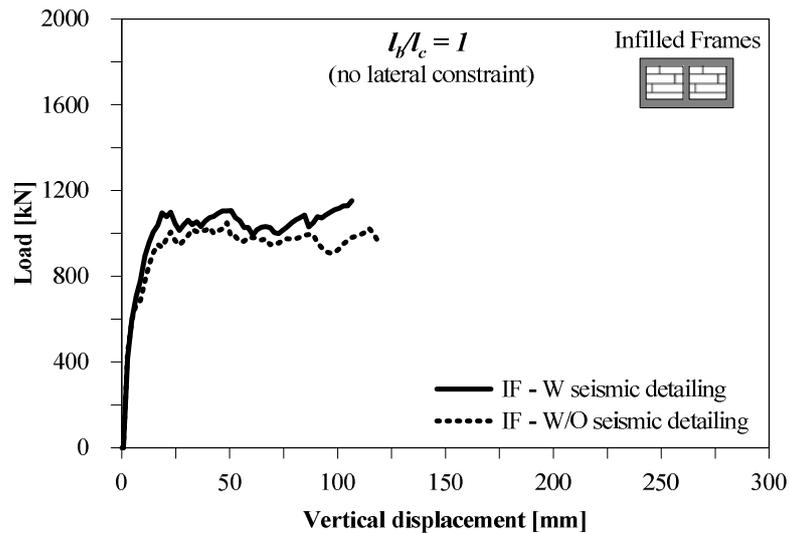


Figura 4-11. Curva pushdown dei campioni *tts* e *ttns*

Risulta interessante osservare come per tutti i campioni non si osserva la formazione del meccanismo di catenaria in seguito alla fase di flessione.

Per quanto riguarda i campione con rapporto $l/h_c = 2$, si possono fare le stesse osservazioni dei telai con $l/h_c = 1$. Anche in questo caso si può osservare (**Figura 4-12** e **Figura 4-13**) come per i campioni vincolati lateralmente ci sia una caduta di resistenza in seguito al raggiungimento del picco a causa dello scorrimento dei giunti di malta, mentre quelli senza vincoli laterali mantengono lo stesso valore massimo fino al collasso, che avviene a causa della frattura delle barre. Inoltre è stata osservata una migrazione più marcata della posizione di formazione della cerniera plastica rispetto al caso dei telai con $l/h_c = 1$, a causa della maggiore flessibilità delle travi, che seguono la deformazione del pannello di tamponamento.

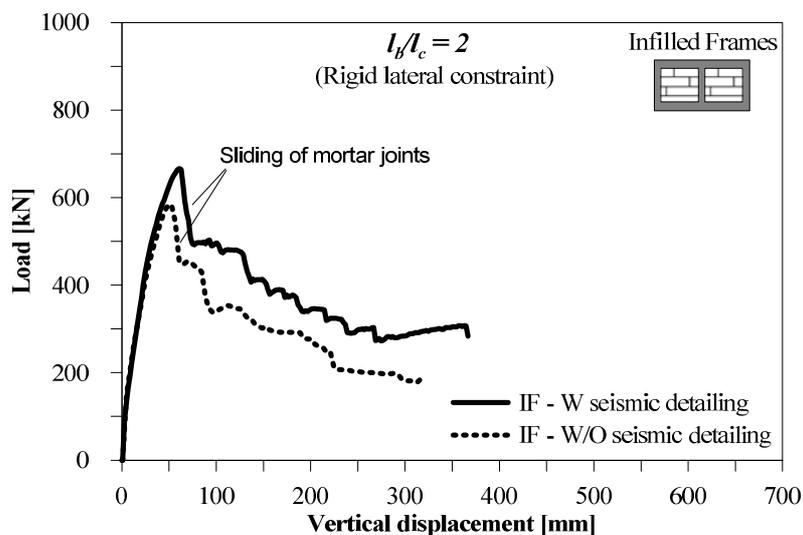


Figura 4-12. Curva pushdown dei campioni *ttsvl* e *ttnsvl*

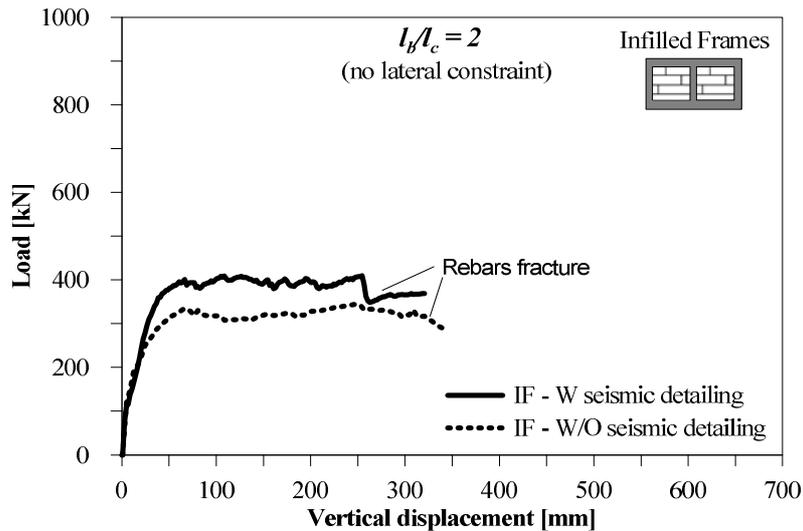


Figura 4-13. Curva pushdown dei campioni *ttsl* e *ttnsl*

Infine sono stati analizzati i campioni con differenti dimensioni delle travi, imponendo che esse siano in spessore, a differenza dei primi casi in cui sono state utilizzate travi spesse. È stato osservato come per i telai con rapporti h_b/t_b bassi ci sia una elevata capacità di spostamento, la quale potrebbe essere attribuita alla maggiore duttilità delle travi.

4.2 Modellazione in *OpenSees* del telaio in calcestruzzo armato

I casi sperimentali e numerici introdotti sono stati presi in considerazione al fine di determinare una proposta di modellazione delle strutture in calcestruzzo armato tamponate sottoposte al collasso progressivo. Il ragionamento seguito è stato quello di riproporre le stesse curve di pushdown senza la necessità di effettuare una modellazione accurata ad elementi finiti, ma cercando allo stesso tempo di prendere in considerazione tutte le criticità legate al problema in esame. Per quanto riguarda i pannelli in muratura, come si è visto, risulta complicato determinarne il comportamento. Inoltre la loro presenza determina una modifica dei meccanismi resistenti dell'intero sistema.

A tal fine è stato utilizzato il software *OpenSees* e sono state adottate le medesime regole di calibrazione introdotte nel capitolo 2, le quali vengono di seguito riassunte:

- Il software di calcolo permette di eseguire una modellazione a fibre degli elementi strutturali, attraverso la quale è possibile attribuire ad ogni fibra costituente la sezione trasversale una legge costitutiva differente a seconda del materiale che viene utilizzato. Attraverso la modellazione a fibre inoltre è possibile servirsi del concetto di plasticità

distribuita, che non richiede dunque la determinazione della posizione delle cerniere plastiche che si andranno a formare sull'elemento strutturale.

- Attraverso un'accurata mesh, è possibile ottenere una buona approssimazione del campo degli spostamenti, anche attraverso l'utilizzo dell'elemento *displacement based* (DBE) sia per le travi che per le colonne.
- Le analisi eseguite attraverso il software di calcolo vengono effettuate sotto l'ipotesi di grandi spostamenti, prendendo in considerazione la configurazione deformata degli elementi.
- Viene applicata una trasformazione di tipo *Corotational* della rigidezza delle travi e dei pilastri dal sistema locale al sistema globale.
- I materiali utilizzati, appartenenti alla libreria *uniaxialMaterial*, sono il *Concrete02* per il calcestruzzo, adottando il modello di Saatcioglu e Razvi(2) precedentemente esposta, e l'*Hysteretic* per l'acciaio, per il quale si seguono in compressione il modello sperimentale di Dhakal e Maekawa(3).

Vengono quindi riportati inizialmente riportati i parametri di calibrazione utilizzati in *OpenSees* per la modellazione degli elementi in calcestruzzo armati che costituiscono telai, ed in seguito, verrà esposta la modellazione adottata per i pannelli di tamponamento.

Il significato dei simboli utilizzati per il materiale *Hysteretic* è il seguente:

Stress at first point of the envelope in the positive direction [Mpa]	<i>\$s1p</i>
Strain at first point of the envelope in the positive direction [-]	<i>\$e1p</i>
Stress at second point of the envelope in the positive direction [Mpa]	<i>\$s2p</i>
Strain at second point of the envelope in the positive direction [-]	<i>\$e2p</i>
Stress at third point of the envelope in the positive direction [Mpa]	<i>\$s3p</i>
Strain at third point of the envelope in the positive direction [-]	<i>\$e3p</i>
Stress at first point of the envelope in the negative direction [Mpa]	<i>\$s1n</i>
Strain at first point of the envelope in the negative direction [-]	<i>\$e1n</i>
Stress at second point of the envelope in the negative direction [Mpa]	<i>\$s2n</i>
Strain at second point of the envelope in the negative direction [-]	<i>\$e2n</i>
Stress at third point of the envelope in the negative direction [Mpa]	<i>\$s3n</i>
Strain at third point of the envelope in the negative direction [-]	<i>\$e3n</i>
Pinching factor for strain (or deformation) during reloading [-]	<i>\$pinchx</i>
Pinching factor for stress (or force) during reloading [-]	<i>\$pinchy</i>
Damage due to ductility: $D1(\mu-1)$ [-]	<i>\$damage1</i>
Damage due to energy: $D2(E_{ii}/E_{ult})$ [-]	<i>\$damage2</i>

Il significato dei simboli utilizzati per il materiale *Concrete02* è il seguente:

Concrete compressive strength at 28 days	<i>\$fpc</i>
Concrete strain at maximum strength	<i>\$epsc0</i>
Concrete crushing strength	<i>\$fpcu</i>
Concrete strain at crushing strength	<i>\$epsu</i>
Ratio between unloading slope at $epsu$ and initial slope	<i>\$lambda</i>
Tensile strength	<i>\$ft</i>
Tension softening stiffness (slope of the linear tension softening branch)	<i>\$Ets</i>

4.2.1.1 Casi sperimentali *tts2* e *ttns2*

Viene inizialmente considerato il telaio con dettagli sismici *tts2*. Per quanto riguarda l'acciaio sono stati considerati 4 diversi materiali, in quanto cambiano sia le barre longitudinali sia il passo delle staffe e questo influisce sul ramo di compressione dell'acciaio, per il quale si è utilizzata la teoria di *Dhakai e Maekawa* (3) (**Tabella 4-3**).

	<i>Bars Φ 10</i> <i>Stirrups spacing</i> <i>130 mm</i>	<i>Bars Φ 10</i> <i>Stirrups spacing</i> <i>65 mm</i>	<i>Bars Φ 13</i> <i>Stirrups spacing</i> <i>60 mm</i>	<i>Bars Φ 13</i> <i>Stirrups spacing</i> <i>120 mm</i>
\$s1p	515	515	534	534
\$e1p	0.00245	0.00245	0.00254	0.00254
\$s2p	594	594	618	618
\$e2p	0.17	0.17	0.16	0.16
\$s3p	20	20	20	20
\$e3p	0.25	0.25	0.25	0.25
\$s1n	-515	-515	-534	-534
\$e1n	-0.00245	-0.00245	-0.00254	-0.00254
\$s2n	-92.95	-227.35	-336.09	-117.77
\$e2n	-0.02	-0.05	-0.06	-0.03
\$s3n	-103	-103	-106.8	-106.8
\$e3n	-0.05	-0.08	-0.08	-0.06
\$pinchx	1	1	1	1
\$pinchy	1	1	1	1
\$damage1	0	0	0	0
\$damage2	0	0	0	0

Tabella 4-3. Hysteretic utilizzato per la modellazione in *OpenSees*

Per quanto riguarda il calcestruzzo, sono stati definiti 4 diversi materiali per tenere conto delle 4 diverse sezioni considerate (**Tabella 4-4**, **Tabella 4-5**).

	<i>Column Concrete Section 1</i>		<i>Column Concrete Section 2</i>	
	<i>Core concrete</i>	<i>Cover concrete</i>	<i>Core concrete</i>	<i>Cover concrete</i>
\$fpc	-39.62	-33.9	-37.12	-33.9
\$epsc0	-0.00369	-0.002	-0.00295	-0.002
\$fpcu	-12	-6.78	-7.42	-6.78
\$epsu	-0.03	-0.01	-0.0235	-0.01
\$lambda	0.1	0.1	0.1	0.1
\$ft	2	2	2	2
\$Ets	1500	1500	1500	1500

Tabella 4-4. Concrete02 utilizzato per le sezioni delle colonne

	<i>Beam Concrete Section 3</i>		<i>Beam Concrete Section 4</i>	
	<i>Core concrete</i>	<i>Core concrete</i>	<i>Core concrete</i>	<i>Cover concrete</i>
\$fpc	-36.91	-39.42	-39.42	-33.9
\$epsc0	-0.00289	-0.00358	-0.00358	-0.002
\$fpcu	-7.38	-17	-17	-6.78
\$epsu	-0.0275	-0.03	-0.03	-0.01
\$lambda	0.1	0.1	0.1	0.1
\$ft	2	2	2	2
\$Ets	1500	1500	1500	1500

Tabella 4-5. Concrete02 utilizzato per le sezioni delle travi

Si procede dunque con il telaio senza dettagli sismici *tms2*. Vengono riportate le tabelle che riassumono i materiali importati in *OpenSees*.

Per quanto riguarda l'acciaio sono stati considerati due diversi materiali poiché variano sia le barre longitudinali sia il passo delle staffe all'interno delle travi e delle colonne, e questo influisce sul ramo di compressione per il quale si è adottata la teoria di *Dhakar e Maekawa*(3) (**Tabella 4-6**).

	<i>Bars Φ 6</i>	<i>Bars Φ 10</i>
	<i>Stirrups spacing</i>	<i>Stirrups spacing</i>
	<i>65 mm</i>	<i>50 mm</i>
\$s1p	449	515
\$e1p	0.00214	0.00245
\$s2p	537	594
\$e2p	0.18	0.18
\$s3p	20	20
\$e3p	0.3	0.35
\$s1n	-449	-515
\$e1n	-0.00214	-0.00245
\$s2n	-96.49	-307.99
\$e2n	-0.02	-0.07
\$s3n	-89.80	-103
\$e3n	-0.05	-0.10
\$pinchx	1	1
\$pinchy	1	1
\$damage1	0	0
\$damage2	0	0

Tabella 4-6. Hysteretic utilizzato per la modellazione in *OpenSees*

Per quanto riguarda il calcestruzzo, sono stati definiti 4 diversi materiali per tenere conto delle 4 diverse sezioni considerate (**Tabella 4-7**, **Tabella 4-8**):

<i>Column Concrete Section 1 - 2</i>		
	<i>Core concrete</i>	<i>Core concrete</i>
\$fpc	-35.68	-35.68
\$epsc0	-0.00311	-0.00311
\$fpcu	-7.14	-7.14
\$epsu	-0.0155	-0.0155
\$lambda	0.1	0.1
\$ft	2	2
\$Ets	1500	1500

Tabella 4-7. Concrete02 utilizzato per le sezioni 1 e 2 delle colonne

	<i>Beam Concrete Section 3</i>		<i>Beam Concrete Section 4</i>	
	<i>Core concrete</i>	<i>Core concrete</i>	<i>Core concrete</i>	<i>Cover concrete</i>
\$fpc	-35.15	-32.1	-35.41	-32.1
\$epsc0	-0.00294	-0.002	-0.00303	-0.002
\$fpcu	-7.03	-6.42	-7.08	-6.42
\$epsu	-0.016	-0.01	-0.0155	-0.01
\$lambda	0.1	0.1	0.1	0.1
\$ft	2	2	2	2
\$Ets	1500	1500	1500	1500

Tabella 4-8. Concrete02 utilizzato per le sezioni delle travi

4.2.1.2 Casi numerici *tts, ttsv, ttnsv, ttns, ttsl, ttsvl, ttnsvl e ttnsl*

I materiali implementati in *OpenSees* cambiano a seconda del fatto che siano presenti dettagli sismici o meno, in quanto cambia sia il confinamento del calcestruzzo sia il ramo di compressione dell'acciaio a causa dell'infittimento della staffatura. Come spiegato nel capitolo 2, infatti, per il calcestruzzo viene utilizzato il modello di *Saatcioglu e Razvi*(2) che tiene conto del confinamento del calcestruzzo, mentre per quanto riguarda l'acciaio, si è scelto di tenere conto dell'instabilità delle barre di armatura in compressione, utilizzando le formulazioni di *Dhakar e Maekawa*(3).

Si inizia quindi dai telai senza dettagli sismici *ttns* (*ttnsv*) e *ttnsl* (*ttnsvl*) appartenenti agli edifici A e B.

Per quanto riguarda l'acciaio sono stati considerati quattro diversi materiali nonostante le barre longitudinali siano le medesime sia nelle travi che nelle colonne. Il motivo è legato al cambiamento del passo delle staffe e questo influisce sul ramo di compressione dell'acciaio, in quanto si è utilizzato il modello di *Dhakai-Maekawa*(3) . Tuttavia per rispettare i limiti imposti sulla deformazione si è dovuta fare un'approssimazione mettendo il passo delle staffe pari a 130 ovunque e, in questo modo, il materiale risulta essere uguale in tutti e quattro i casi (**Tabella 4-9**).

<i>Bars Φ 14</i>	
<i>Stirrups spacing</i>	
<i>150, 160, 190, 200</i>	
<i>\$s1p</i>	450
<i>\$e1p</i>	0.002
<i>\$s2p</i>	540
<i>\$e2p</i>	0.12
<i>\$s3p</i>	0
<i>\$e3p</i>	0.121
<i>\$s1n</i>	-450
<i>\$e1n</i>	-0.002
<i>\$s2n</i>	-96.25
<i>\$e2n</i>	-0.02
<i>\$s3n</i>	-90
<i>\$e3n</i>	-0.04
<i>\$pinchx</i>	1
<i>\$pinchy</i>	1
<i>\$damage1</i>	0
<i>\$damage2</i>	0

Tabella 4-9. Hysteretic utilizzato per i telai senza dettagli sismici degli edifici A e B

Per quanto riguarda il calcestruzzo, sono stati definiti 4 diversi materiali per tenere conto delle 4 diverse sezioni considerate, rispettivamente quelle della colonna con passo 150 mm e con passo 160 mm e quelle della trave con passo 190 mm e 200 mm (**Tabella 4-10** e **Tabella 4-11**):

	<i>Column Concrete Section 1</i>		<i>Column Concrete Section 2</i>	
	<i>Core concrete</i>	<i>Cover concrete</i>	<i>Core concrete</i>	<i>Cover concrete</i>
\$fpc	-29.26	-25	-29.04	-25
\$epsc0	-0.0037	-0.002	-0.0036	-0.002
\$fpcu	-6	-5	-6	-5
\$epsu	-0.01	-0.011	-0.01	-0.011
\$lambda	0.1	0.1	0.1	0.1
\$ft	2	2	2	2
\$Ets	1500	1500	1500	1500

Tabella 4-10. Concrete02 utilizzato per le sezioni delle colonne

	<i>Beam Concrete Section 3</i>		<i>Beam Concrete Section 4</i>	
	<i>Core concrete</i>	<i>Core concrete</i>	<i>Core concrete</i>	<i>Cover concrete</i>
\$fpc	-27.47	-25	-27.37	-25
\$epsc0	-0.003	-0.002	-0.0029	-0.002
\$fpcu	-5.5	-5	-5.5	-5
\$epsu	-0.012	-0.011	-0.012	-0.011
\$lambda	0.1	0.1	0.1	0.1
\$ft	2	2	2	2
\$Ets	1500	1500	1500	1500

Tabella 4-11. Concrete02 utilizzato per le sezioni delle travi

Procediamo quindi con i telai con dettagli sismici *tts* (*ttsv*) e *ttsl* (*ttslv*) appartenenti agli edifici A e B. Per quanto riguarda l'acciaio sono stati considerati 4 diversi materiali nonostante le barre longitudinali siano le stesse sia nelle travi che nelle colonne, in quanto, come nel caso precedente, cambia il passo delle staffe e questo influisce sul ramo di compressione dell'acciaio in quanto è stata utilizzato il modello di *Dhakar e Maekawa*(3) (**Tabella 4-12**).

	<i>Bars Φ 16</i> <i>Stirrups spacing</i> <i>50 mm</i>	<i>Bars Φ 16</i> <i>Stirrups spacing</i> <i>170 mm</i>	<i>Bars Φ 16</i> <i>Stirrups spacing</i> <i>110 mm</i>	<i>Bars Φ 16</i> <i>Stirrups spacing</i> <i>220 mm</i>
\$s1p	450	450	450	450
\$e1p	0.002	0.002	0.002	0.002
\$s2p	540	540	540	540
\$e2p	0.12	0.12	0.12	0.12
\$s3p	0	0	0	0
\$e3p	0.121	0.121	0.121	0.121
\$s1n	-450	-450	-450	-450
\$e1n	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002
\$s2n	-366.78	-92.33	-201.11	-92.33
\$e2n	-0.08	-0.02	-0.04	-0.02
\$s3n	-90	-90	-90	-90
\$e3n	-0.10	-0.14	-0.07	-0.14
\$pinchx	1	1	1	1
\$pinchy	1	1	1	1
\$damage1	0	0	0	0
\$damage2	0	0	0	0

Tabella 4-12. Hysteretic utilizzato per la modellazione in *OpenSees*

Per quanto riguarda il calcestruzzo, sono stati definiti 4 diversi materiali per tenere conto delle 4 diverse sezioni considerate, rispettivamente quelle della colonna con passo 50 mm e con passo 170 mm e quelle della trave con passo 110 mm e 220 mm (da **Tabella 4-13** a **Tabella 4-14**):

	<i>Column Concrete Section 1</i>		<i>Column Concrete Section 2</i>	
	<i>Core concrete</i>	<i>Cover concrete</i>	<i>Core concrete</i>	<i>Cover concrete</i>
\$fpc	-37.36	-25	-29.48	-25
\$epsc0	-0.0069	-0.002	-0.0038	-0.002
\$fpcu	-7.5	-5	-6	-5
\$epsu	-0.032	-0.011	-0.009	-0.011
\$lambda	0.1	0.1	0.1	0.1
\$ft	2	2	2	2
\$Ets	1500	1500	1500	1500

Tabella 4-13. Concrete02 utilizzato per le sezioni delle colonne

	<i>Beam Concrete Section 3</i>		<i>Beam Concrete Section 4</i>	
	<i>Core concrete</i>	<i>Core concrete</i>	<i>Core concrete</i>	<i>Cover concrete</i>
\$fpc	-29.38	-25	-27.67	-25
\$epsc0	-0.0038	-0.002	-0.0031	-0.002
\$fpcu	-6	-5	-5.8	-5
\$epsu	-0.016	-0.011	-0.0115	-0.011
\$lambda	0.1	0.1	0.1	0.1
\$ft	2	2	2	2
\$Ets	1500	1500	1500	1500

Tabella 4-14. Concrete02 utilizzato per le sezioni delle travi

4.2.1.3 Caso numerico *ts2tnsvl*

Le proprietà meccaniche dei materiali del telaio non sismico con travi sottili *ts2tnsvl* non cambiano rispetto ai precedenti considerati, ma variano le barre di armatura e la staffatura, e questo porta a dover implementare in *OpenSees* materiali diversi rispetto ai casi precedenti, in quanto il calcestruzzo risulta essere diversamente confinato e il ramo di compressione delle barre di armatura cambia a causa del buckling.

In alcuni casi sono stati raggruppati acciai che in teoria dovrebbero avere rami di compressione differenti. Tuttavia per rispettare i limiti imposti sulla deformazione del modello di Dhakal-

Maekawa(3) si è dovuta fare un'approssimazione mettendo un passo delle staffe inferiore e in questo modo si sono ottenuti acciai con le stesse proprietà (**Tabella 4-15**).

	<i>Bars Φ 14</i>	<i>Bars Φ 16</i>
	<i>Stirrups spacing</i>	<i>Stirrups spacing</i>
	<i>150, 160 mm</i>	<i>190, 200 mm</i>
\$s1p	450	450
\$e1p	0.002	0.002
\$s2p	540	540
\$e2p	0.12	0.12
\$s3p	0	0
\$e3p	0.121	0.121
\$s1n	-450	-450
\$e1n	-0.002	-0.002
\$s2n	-96.25	-92.33
\$e2n	-0.02	-0.02
\$s3n	-90	-90
\$e3n	-0.04	-0.04
\$pinchx	1	1
\$pinchy	1	1
\$damage1	0	0
\$damage2	0	0

Tabella 4-15. Hysteretic utilizzato per la modellazione in *OpenSees*

Per quanto riguarda il calcestruzzo, sono stati definiti 4 diversi materiali per tenere conto delle 4 diverse sezioni considerate, rispettivamente quelle della colonna con passo 150 mm e con passo 160 mm e quelle della trave con passo 190 mm e 200 mm (**Tabella 4-16**, **Tabella 4-17**):

	<i>Column Concrete Section 1</i>		<i>Column Concrete Section 2</i>	
	<i>Core concrete</i>	<i>Cover concrete</i>	<i>Core concrete</i>	<i>Cover concrete</i>
\$fpc	-29.26	-25	-29.04	-25
\$epsc0	-0.0037	-0.002	-0.0036	-0.002
\$fpcu	-6	-5	-6	-5
\$epsu	-0.01	-0.011	-0.01	-0.011
\$lambda	0.1	0.1	0.1	0.1
\$ft	2	2	2	2
\$Ets	1500	1500	1500	1500

Tabella 4-16. Concrete02 utilizzato per la sezione 1 delle colonne

	<i>Beam Concrete Section 3-4</i>	
	<i>Core concrete</i>	<i>Cover concrete</i>
\$fpc	-25	-25
\$epsc0	-0.002	-0.002
\$fpcu	-5	-5
\$epsu	-0.011	-0.011
\$lambda	0.1	0.1
\$ft	2	2
\$Ets	1500	1500

Tabella 4-17. Concrete02 utilizzato per le sezioni 3 e 4 delle travi

4.2.1.4 Caso numerico *ts3tnsvl*

Le proprietà meccaniche dei materiali del telaio non sismico con travi sottili *ts3tnsvl* non cambiano rispetto ai casi precedenti, ma variano le barre di armatura e la staffatura, e questo, come precedentemente specificato, porta a dover implementare in *OpenSees* materiali diversi rispetto ai casi precedenti (**Tabella 4-18**).

	<i>Bars Φ 14</i> <i>Stirrups spacing</i> <i>140 mm</i>	<i>Bars Φ 14</i> <i>Stirrups spacing</i> <i>90 mm</i>	<i>Bars Φ 16</i> <i>Stirrups spacing</i> <i>90 mm</i>
\$s1p	450	450	450
\$e1p	0.002	0.002	0.002
\$s2p	540	540	540
\$e2p	0.12	0.12	0.12
\$s3p	0	0	0
\$e3p	0.121	0.121	0.121
\$s1n	-450	-450	-450
\$e1n	-0.002	-0.002	-0.002
\$s2n	-96.25	-221.71	-257
\$e2n	-0.02	-0.05	-0.06
\$s3n	-90	-90	-90
\$e3n	-0.04	-0.07	-0.08
\$pinchx	1	1	1
\$pinchy	1	1	1
\$damage1	0	0	0
\$damage2	0	0	0

Tabella 4-18. Hysteretic utilizzato per la modellazione in *OpenSees*

Per quanto riguarda il calcestruzzo, sono stati definiti 2 diversi materiali per tenere conto delle 3 diverse sezioni considerate, rispettivamente quelle della colonna con passo 140 mm e con passo 90 mm e quelle della trave con passo 90 mm (**Tabella 4-19**):

	<i>Column Concrete Section 1</i>		<i>Column and Beam Concrete Section 2,3</i>	
	<i>Core concrete</i>	<i>Cover concrete</i>	<i>Core concrete</i>	<i>Cover concrete</i>
\$fpc	-29.50	-25	-32.76	-25
\$epsc0	-0.0038	-0.002	-0.0051	-0.002
\$fpcu	-6	-5	-7	-5
\$epsu	-0.01	-0.011	-0.014	-0.011
\$lambda	0.1	0.1	0.1	0.1
\$ft	2	2	2	2
\$Ets	1500	1500	1500	1500

Tabella 4-19. Concrete02 utilizzato per le sezioni delle colonne e delle travi

4.2.1.5 Caso numerico *ts4tnsvl*

Le proprietà meccaniche dei materiali del telaio non sismico con travi sottili *ts4tnsvl* non cambiano rispetto ai casi precedenti, ma variano le barre di armatura e la staffatura (**Tabella 4-20**).

	<i>Bars Φ 14</i> <i>Stirrups spacing</i> <i>140 mm</i>	<i>Bars Φ 14</i> <i>Stirrups spacing</i> <i>90 mm</i>
<i>\$s1p</i>	450	450
<i>\$e1p</i>	0.002	0.002
<i>\$s2p</i>	540	540
<i>\$e2p</i>	0.12	0.12
<i>\$s3p</i>	0	0
<i>\$e3p</i>	0.121	0.121
<i>\$s1n</i>	-450	-450
<i>\$e1n</i>	-0.002	-0.002
<i>\$s2n</i>	-96.25	-221.71
<i>\$e2n</i>	-0.02	-0.05
<i>\$s3n</i>	-90	-90
<i>\$e3n</i>	-0.04	-0.07
<i>\$pinchx</i>	1	1
<i>\$pinchy</i>	1	1
<i>\$damage1</i>	0	0
<i>\$damage2</i>	0	0

Tabella 4-20. Hysteretic utilizzato in corrispondenza del passo delle staffe pari a 140 mm

Per quanto riguarda il calcestruzzo, sono stati definiti 2 diversi materiali per tenere conto delle 3 diverse sezioni considerate, rispettivamente quelle della colonna con passo 140 mm e con passo 90 mm e quelle della trave con passo 90 mm (**Tabella 4-21**):

	<i>Column Concrete Section 1</i>		<i>Column and Beam Concrete Section 2,3</i>	
	<i>Core concrete</i>	<i>Cover concrete</i>	<i>Core concrete</i>	<i>Cover concrete</i>
$\$f_{pc}$	-29.50	-25	-29.89	-25
$\$eps_{c0}$	-0.0038	-0.002	-0.0040	-0.002
$\$f_{pcu}$	-6	-5	-6	-5
$\$eps_u$	-0.01	-0.011	-0.0125	-0.011
$\$lambda$	0.1	0.1	0.1	0.1
$\$f_t$	2	2	2	2
$\$E_{ts}$	1500	1500	1500	1500

Tabella 4-21. Concrete02 utilizzato per la sezione 1 delle colonne

4.3 Macromodellazione del tamponamento in muratura

La simulazione del collasso progressivo di un telaio tamponato attraverso un modello ad elementi finiti raffinato risulta essere dispendiosa dal punto di vista computazionale. Come è stato precedentemente osservato la presenza del tamponato perimetrale in una struttura in c.a. determina un cambiamento del meccanismo resistente. Come si può osservare in **Figura 4-14**, il tipico quadro fessurativo di un pannello di tamponatura sottoposto al collasso progressivo presenta due regioni diffusive di compressione che portano alla migrazione della cerniera plastica verso l'interno della trave. Questo determina una riduzione della luce di calcolo per il meccanismo resistente. Inoltre lungo la digonale del pannello si osserva una regione in cui si verifica lo scorrimento dei giunti di malta, che determina la formazione di un meccanismo attritivo. L'osservazione del meccanismo che si viene a creare nei modelli sperimentali e numerici considerati ha portato alla determinazione della proposta di modellazione del tamponamento. A tal fine è stata testata la modellazione del tamponamento in muratura attraverso puntoni equivalenti, come viene presentata nell'articolo redatto da Di Trapani et. al.(11).

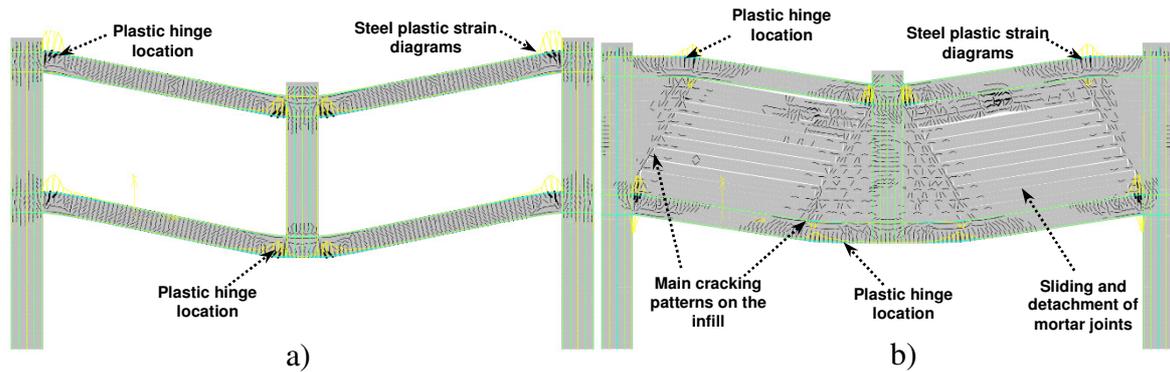


Figura 4-14. Quadro fessurativo osservato sul modello FE al termine del test pushdown del campione con $l_b/l_c=2$ e vincoli laterali: a) telaio non tamponato; b) telaio tamponato.

Il modello a puntoni equivalenti si riferisce a telai tamponati soggetti ad azioni sismiche, perciò applicate attraverso forze equivalenti orizzontali. Per questo motivo è importante riadattare le relazioni utilizzate al caso di rimozione istantanea di una colonna. Anche in questo caso il telaio risulta essere sottoposto ad azioni dinamiche, ma la direzione del carico è verticale ed inoltre i meccanismi di collasso risultano essere differenti. Per questo motivo i puntoni equivalenti utilizzati per modellare la tamponatura andranno riadattati al caso in esame.

I test numerici effettuati sono stati numerosi, tuttavia ciò ha portato alla determinazione di un modello sempre più raffinato che ha permesso di riprendere le curve sperimentali e numeriche di carico-spostamento in maniera via via più precisa. Le prime prove effettuate hanno previsto la modellazione del tamponamento prima attraverso un puntone diagonale ed in seguito attraverso tre puntoni diversamente inclinati. In particolare nella prima configurazione è stata utilizzato il modello semi-empirico di Di Trapani et. al(11) in cui sono state invertite, nelle relazioni matematiche, la luce interna e l'altezza interna della colonna, proprio perché il carico risulta essere verticale.

Nella seconda configurazione, la quale si è rivelata infine la modellazione più appropriata, sono stati utilizzati tre puntoni diversamente inclinati. In **Figura 4-15** vengono riportate le due configurazioni di puntoni utilizzati.

Queste due configurazioni derivano proprio dall'osservazione del meccanismo resistente osservato. Mentre nella configurazione ad un puntone diagonale si va a modellare solamente il meccanismo attritivo in cui si osserva lo scorrimento dei giunti, nella configurazione a tre puntoni si vanno a modellare anche le due parti laterali diffusive.

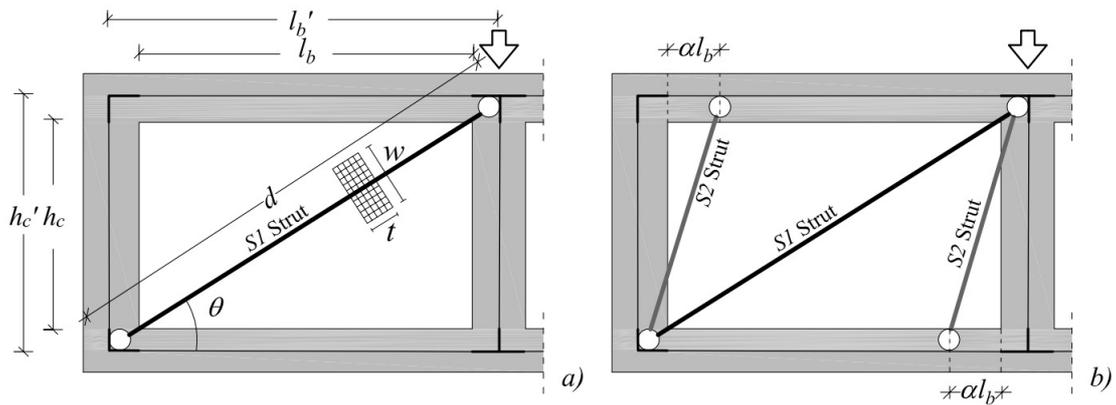


Figura 4-15. Configurazione del puntone equivalente per il telaio tamponato a) modello con puntone singolo; b) modello con tre puntoni

La modellazione dei puntoni equivalenti in *OpenSees* è avvenuta utilizzando gli elementi *truss* sia nella configurazione ad un puntone che in quella a tre, che lavorano solamente in compressione. A questi elementi è possibile attribuire un materiale e un'area trasversale. Per quanto riguarda il materiale è stata attribuita la legge costitutiva del *Concrete02*, che viene riportata in **Figura 4-16**, caratterizzata da una resistenza e una deformazione di picco, in seguito alle quali è presente un ramo discendente per il quale vengono definite la resistenza e la deformazione ultime.

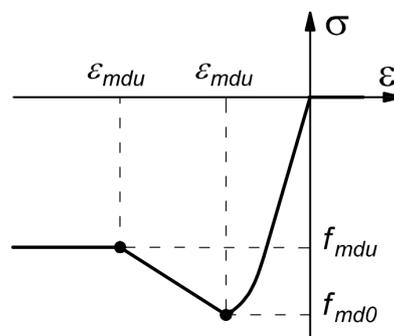


Figura 4-16. Legge costitutiva del punto equivalente

L'identificazione dell'area trasversale del puntone equivalente nella prima configurazione considerata è avvenuta moltiplicando lo spessore reale del pannello di muratura per una larghezza equivalente, determinata utilizzando la relazione (4.1), nella quale vengono invertite la luce e l'altezza del pannello rispetto alla formulazione originale:

$$w = \frac{l_b}{h_b} \frac{c^*}{\lambda^{*\beta^*}} d \quad (4.1)$$

Inoltre l'influenza dei carichi verticali sulle colonne viene ignorata. Il parametro λ^* viene valutato attraverso la formula proposta da Papia et al. (2003)(12), dove risultano nuovamente invertiti i termini relativi alle travi e alle colonne:

$$\lambda^* = \frac{\tilde{E}_m}{E_c} \frac{t l_b'}{A_b} \left(\frac{l_b'^2}{h_c'^2} + \frac{I}{4} \frac{A_b}{A_c} \frac{h_c'}{l_b'} \right) \quad (4.2)$$

I simboli A_b e A_c rappresentano l'area della sezione trasversale delle travi e delle colonne mentre il significato degli altri simboli possono essere osservati in **Figura 4-17**:

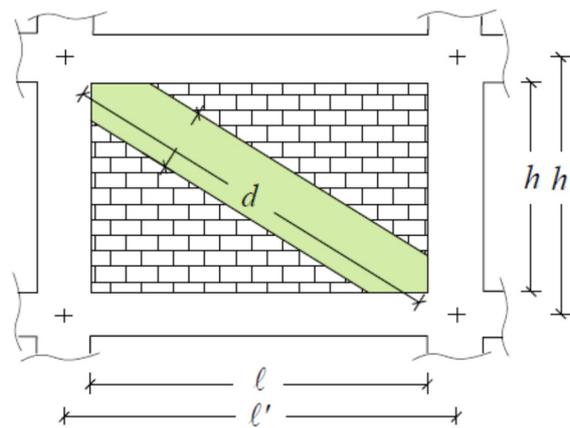


Figura 4-17. Identificazione dei parametri geometrici utilizzati

I parametri c^* e β^* vengono ricavati utilizzando le seguenti equazioni, nelle quali compare il modulo di Poisson, valutato lungo la direzione diagonale del pannello di muratura, che può essere in prima approssimazione assunto pari a 1:

$$\begin{aligned} c^* &= 0.249 - 0.0116\nu + 0.567\nu^2 \\ \beta^* &= 0.146 - 0.0073\nu + 0.126\nu^2 \end{aligned} \quad (4.3)$$

I valori di resistenza e di deformazione da attribuire infine ai puntoni equivalenti, sono valutati con le seguenti relazione:

$$f_{md0} = \tilde{f}_m \cdot 26.9 \cdot \alpha^{-0.287} \quad (4.4)$$

$$f_{mdu} = f_{md0} \cdot 0.043 \cdot \beta - 0.06 \quad (4.5)$$

$$\varepsilon_{md0} = \varepsilon_{m0} \cdot 3.024 \cdot \gamma^{0.347} \quad (4.6)$$

$$\varepsilon_{mdu} = \varepsilon_{md0} \cdot 0.0184 \cdot \delta^{-1.166} \quad (4.7)$$

Dove i parametri α , β , γ e δ assumono la seguente espressione:

$$\alpha = \frac{\tilde{f}_m^2 \cdot w \cdot t}{f_{vm}^{0.2} (h_c / l_b) \cdot \lambda^{*0.2}} \quad (4.8)$$

$$\beta = \frac{f_{md0}^{0.7} \cdot w \cdot t}{\tilde{E}_m^{0.2} d} \quad (4.9)$$

$$\gamma = \left(\frac{f_{mdu}^2}{f_{md0}} \right) \left(\frac{E_c}{\tilde{E}_m^{1.5}} \right) \quad (4.10)$$

$$\delta = \tilde{E}_m^{0.20} \cdot \varepsilon_{md0} \quad (4.11)$$

dove $\varepsilon_{m0} = 0.0015$.

Nella prima configurazione quindi è stato adottato un solo puntone per ogni pannello di muratura, posizionato lungo la sua diagonale, modellato secondo le relazioni sopra riportate.

Per quanto riguarda invece la configurazione a tre puntoni, risulta importante fare una differenziazione tra i due tipi di elementi utilizzati.

Per comprendere in dettaglio il posizionamento dei puntoni nella seconda configurazione, si è scelto di prendere in considerazione uno dei telai analizzati. Precisamente, se si considera un telaio tamponato a due campate, esso risulta essere interessato da due pannelli di tamponatura: quello di sinistra, che va dalla colonna esterna sinistra fino a quella centrale che viene rimossa, e quello di destra, che va dalla colonna centrale fino alla colonna esterna destra (la schematizzazione viene riportata in **Figura 4-18**). Esaminando ad esempio la parte sinistra del telaio, il tamponamento verrà modellato attraverso puntoni compressi posizionati nel seguente

modo:

- due puntone (che verranno chiamati Puntone Lateralali B1 e B2) che assumono la seguente posizione:
 - il primo puntone B1 parte dal nodo in basso a sinistra, che si forma all'intersezione tra l'asse della trave del primo piano e la colonna di sinistra, fino al punto dove si forma la cerniera plastica sulla trave dell'ultimo piano. Questo puntone quindi attraversa l'intero telaio nel suo sviluppo in altezza.
 - Il secondo puntone B2 parte dal punto dove si forma la cerniera plastica sulla trave del primo piano accanto alla colonna centrale che viene rimossa e arriva fino al nodo che si forma tra l'asse della trave dell'ultimo piano e la colonna centrale del telaio, attraversando così tutti i piani del telaio.
- un puntone (che verrà chiamato Puntone Centrale BC) che va dal nodo che si forma all'intersezione tra l'asse trave di un certo piano con il puntone B1 e l'asse della trave del piano successivo col la biella B2. Di conseguenza, se il telaio è a due piani, si avrà un solo puntone BC; se il telaio è a tre piani, si avranno due puntone BC e così via.

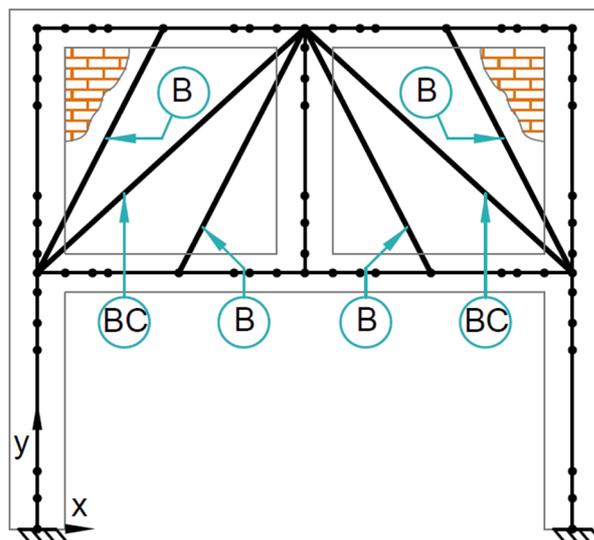


Figura 4-18. Schematizzazione del posizionamento delle bielle

La scelta di puntare i puntone B nel punto in cui si formano le cerniere plastiche è sempre risultata adeguata, anche nei casi in cui sono variati la luce della campata o il numero di piani.

L'individuazione del punto in cui si forma la cerniera plastica è avvenuto inizialmente in modo del tutto qualitativo, in seguito all'osservazione del quadro fessurativo del telaio.

In seguito tuttavia è stato osservato come questa posizione, espressa attraverso una percentuale della luce, assumesse un andamento proporzionale al rapporto tra la luce e l'altezza della colonna (**Tabella 4-22 Figura 4-19**). In particolare essa vale circa 0,4 per $l/h_c = 1$ e 0,3 per $l/h_c = 2$.

	h_c [mm]	l [mm]	l/h_c	αlb
tts2	825	1800	2	0.278
ttns2	825	1800	2	0.319
tts	3170	3440	1	0.471
ttsv	3170	3440	1	0.363
ttnsv	3170	3440	1	0.392
ttns	3170	3440	1	0.5
ttsl	3170	6160	2	0.317
ttsvl	3170	6160	2	0.266
ttnsvl	3170	6160	2	0.282
ttnsv	3170	6160	2	0.333
ts2ttnsvl	3170	6160	2	0.317
ts3ttnsvl	3170	6160	2	0.317
ts4ttnsvl	3170	6160	2	0.317
t3ttsv	3170	3440	1	0.392
t4ttsv	3170	3440	1	0.397

Tabella 4-22. Posizione della cerniera plastica

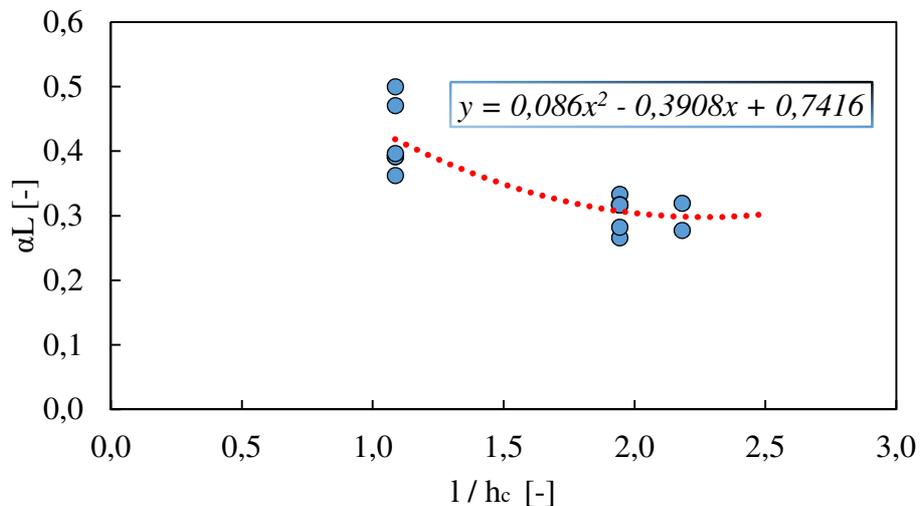


Figura 4-19. Variazione della posizione della cerniera plastica

Nella configurazione a tre puntoni è stato nuovamente adottato come modello per la determinazione dei parametri geometrici e meccanici delle bielle BC quello di Di Trapani et. Al., utilizzando quindi le relazioni precedentemente riportate. Per quanto riguarda invece i puntoni laterali, essi sono stati modellati attraverso elementi singoli a comportamento elastico. Ciò che si è ottenuto in seguito a questi primi test viene riportato in **Figura 4-20**, **Figura 4-21**, **Figura 4-22**, **Figura 4-23**.

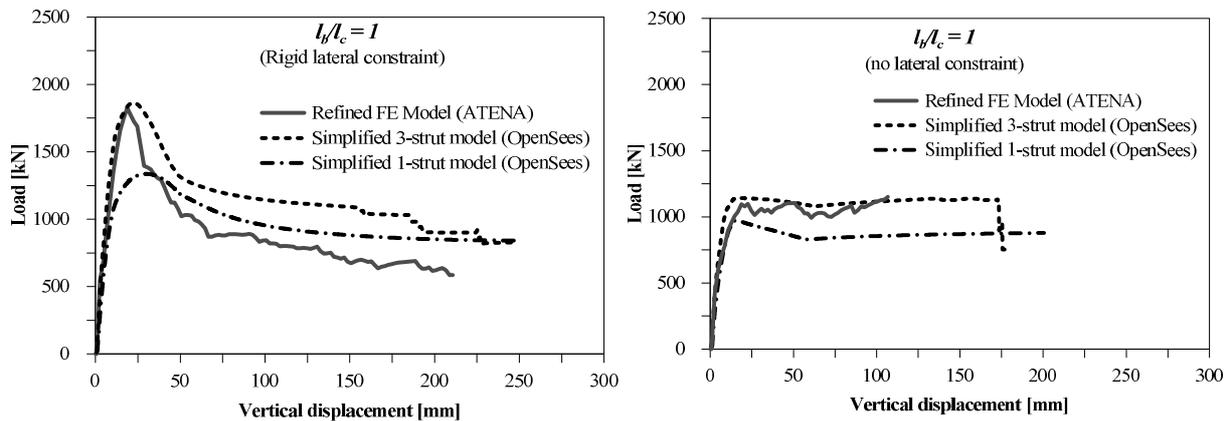


Figura 4-20. Confronto tra analisi pushdown effettuate su telai tamponati con rapporto $l_b/h_c = 1$: a) presenza di vincoli laterali; b) assenza di vincoli laterali

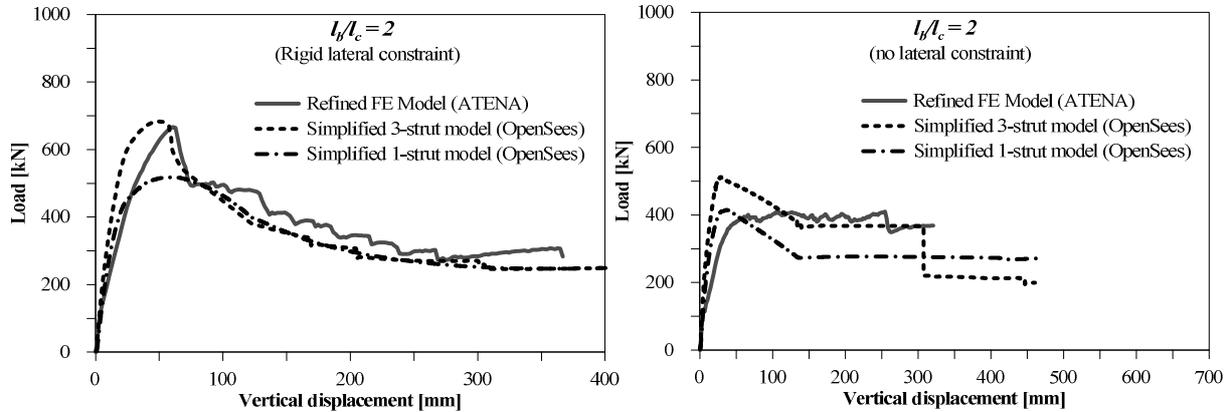


Figura 4-21. Confronto tra analisi pushdown effettuate su telai tamponati con rapporto $l_b/h_c = 2$: a) presenza di vincoli laterali; b) assenza di vincoli laterali.

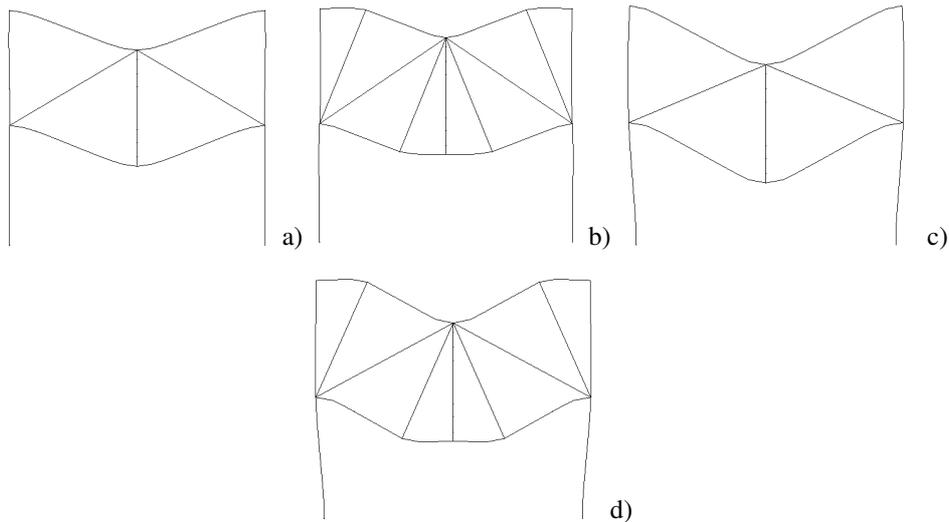


Figura 4-22. Deformata in *OpenSees* dei modelli con 1 e 3 puntone dei telai tamponati con rapporto $l_b/h_c=1$: a) un puntone con vincoli laterali rigidi; b)3 puntone con vincoli laterali rigidi; c) un puntone senza vincoli laterali rigidi; d)3 puntone senza vincoli laterali rigidi;

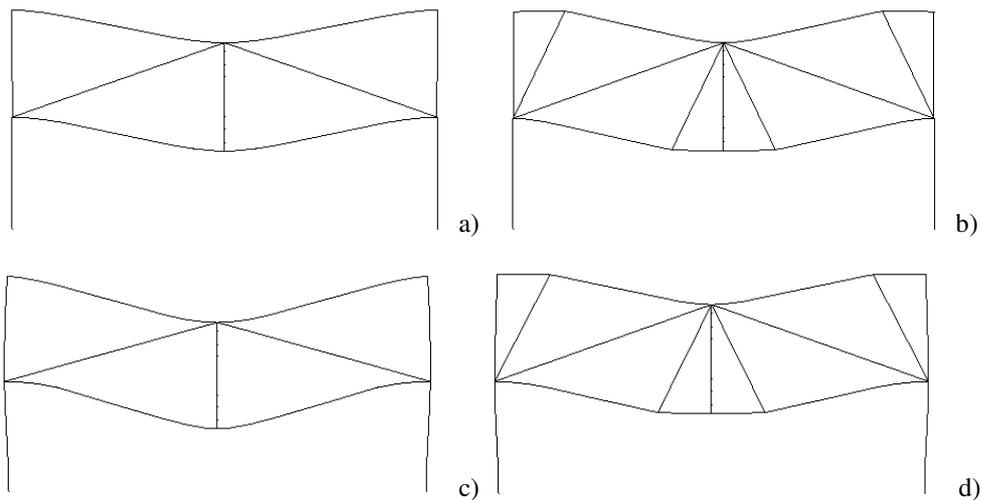


Figura 4-23. Deformata in *OpenSees* dei modelli con 1 e 3 puntone dei telai tamponati con rapporto $l_b/h_c=2$: a) un puntone con vincoli laterali rigidi; b)3 puntone con vincoli laterali rigidi; c) un puntone senza vincoli laterali rigidi; d)3 puntone senza vincoli laterali rigidi;

Dai risultati ottenuti attraverso questi primi test è stato osservato come il modello a tre puntone abbia restituito risultati soddisfacenti, ma non del tutto precisi, specialmente per i telai con un numero di piani superiore oppure nei casi in cui non sono presenti vincoli laterali.

Per questo motivo si è deciso di aumentare l'accuratezza della modellazione, cercando di introdurre fattori correttivi della resistenza dei puntone.

Per quanto riguarda i puntoni laterali B1 e B2 si è scelto di adottare il legame costitutivo del *Concrete02*, dove come valore di resistenza è stato considerato quello della muratura a compressione (**Tabella 4-23**).

	$f_m [MPa]$
tts2	10.1
ttns2	10.1
tts	8.66
ttsv	8.66
ttnsv	8.66
ttns	8.66
ttsl	8.66
ttsvl	8.66
ttnsvl	8.66
ttnsv	8.66
ts2tnsvl	8.66
ts3tnsvl	8.66
ts4tnsvl	8.66
t3tsv	8.66
t4tsv	8.66

Tabella 4-23. Valore medio di resistenza a compressione della muratura

Il valore di resistenza di picco delle bielle BC invece è stato determinato per via iterativa, cercando di ottenere curve carico-spostamento che si adattassero a quelle dei modelli numerici e sperimentali, calcolando l'area trasversale delle bielle moltiplicando lo spessore della muratura per il valore di w calcolato utilizzando la formulazione di Di Trapani et. Al.(11)

$$w = \frac{l_b}{h_b} \frac{c^*}{\lambda^{*\beta^*}} d \quad (4.12)$$

Sono stati ottenuti i seguenti valori di area trasversale e di resistenza di picco delle bielle BC (**Tabella 4-24**):

	$w[mm]$	$t [mm]$	$A [mm^2]$	$f_{md0}[MPa]$
tts2	836	65	54370	0.44
ttns2	836	65	54370	0.50
tts	1122	300	336478	1.82
ttsv	1122	300	336478	1.82
ttnsv	1122	300	336478	1.82
ttns	1122	300	336478	1.82
ttsl	2611	300	783296	0.33
ttsvl	2611	300	783296	0.33
ttnsvl	2611	300	783296	0.33
ttnsv	2611	300	783296	0.33
ts2tnsvl	2611	300	783296	0.34
ts3tnsvl	2611	300	783296	0.34
ts4tnsvl	2611	300	783296	0.34
t3tsv	1122	300	336478	2.31
t4tsv	1122	300	336478	2.48

Tabella 4-24. Parametri meccanici e geometrici delle bielle B

Si può osservare come il rapporto tra la resistenza di picco dei puntoni e la resistenza media a compressione della muratura, utilizzando questo criterio, assuma un andamento lineare in funzione dell'inclinazione di questi puntoni rispetto all'orizzontale (**Figura 4-24**):

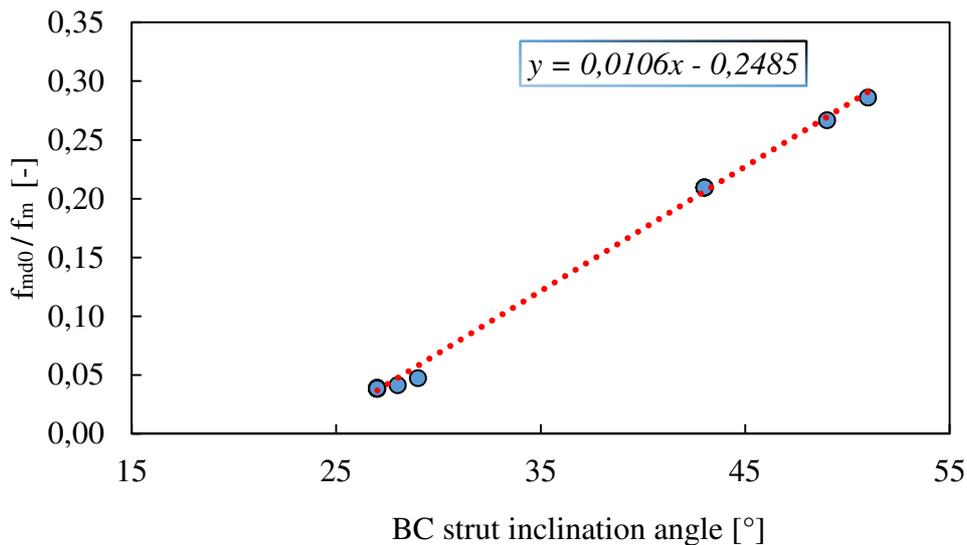


Figura 4-24. Andamento della resistenza di picco delle bielle BC in funzione della loro inclinazione rispetto all'asse della trave

Poiché i puntoni compressi sono stati definiti in *OpenSees* attraverso il *Concrete02*, è risultato necessario determinare anche una deformazione di picco, insieme ad una resistenza e una deformazione ultime.

Per quanto riguarda la resistenza ultima dei puntoni BC, è stato necessario uno studio più approfondito rispetto alla resistenza di picco, in quanto essa non risultava dipendente solamente dall'inclinazione delle bielle. In particolare è stata notata la sua dipendenza dalla deformabilità del telaio in direzione orizzontale, in quanto i telai non vincolati lateralmente presentano una curva di pushdown più "piatta", senza il tipico picco iniziale dei telai tamponati.

È risultato inoltre importante prendere in considerazione il numero dei piani, il rapporto base/altezza della trave, la presenza dei dettagli sismici ed il rapporto luce/altezza della colonna del telaio, tutti elementi che, combinati tra di loro, hanno portato a determinare la resistenza ultima dei puntoni.

Per questo motivo sono stati dunque introdotti dei fattori che possano tenere in conto tutte queste variabili, e in particolare, questi fattori vanno moltiplicati per una resistenza ultima "di base", la quale invece varia solamente in funzione dell'inclinazione dei puntoni.

Nella **Tabella 4-25** vengono riportati la resistenza ultima di base (**Figura 4-25**) ed i fattori correttivi per i quali essa viene moltiplicata, secondo una relazione del tipo:

$$f_{cu} = f_{cu,base} \cdot \beta \cdot \gamma \cdot \delta \cdot \zeta \cdot \eta \quad (4.13)$$

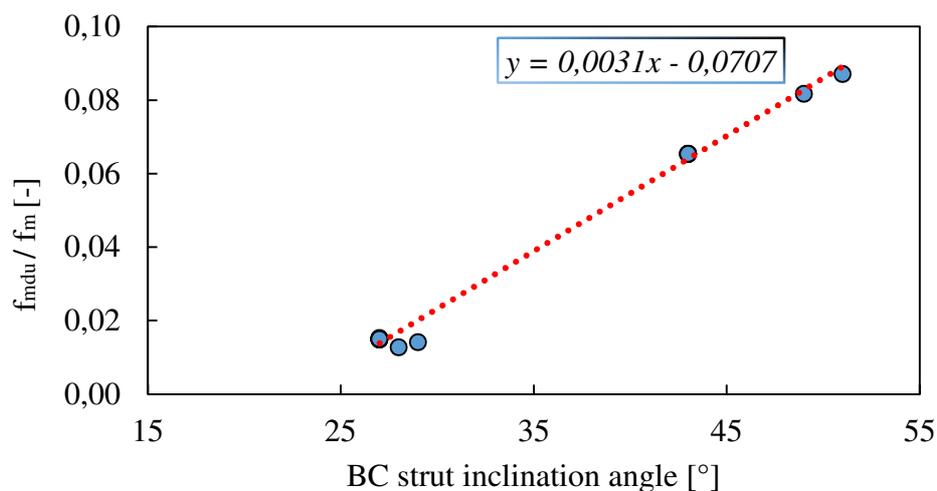


Figura 4-25. Andamento della resistenza ultima "di base" delle bielle BC in funzione della loro inclinazione rispetto all'asse della trave

In particolare si hanno i seguenti coefficienti correttivi:

- β = coefficiente che tiene conto della presenza dei dettagli sismici e assume il valore 1.1 in caso di telaio sismico e 1.5 in caso di telaio non sismico;
- γ = coefficiente che tiene conto della deformabilità laterale del telaio, che assume il valore 1.5 nel caso di presenza di vincoli laterali e 1 nel caso di assenza di vincoli laterali. Tutti i casi intermedi, come ad esempio presenza di vincoli solo da un lato del telaio, si collocano tra questi due casi estremi.
- δ = coefficiente che tiene conto del numero di piani. In particolare è stato osservato come passare da un telaio a due piani ad uno a tre piani provocasse l'abbattimento della resistenza ultima di quasi il 50 %, senza però notare particolari cambiamenti all'ulteriore aumento del numero di piani. Di conseguenza è stato introdotto questo coefficiente che vale 0.9 nel caso di telaio a due piani e 0.45 nel caso di telai con numero di piani superiore a due.
- ζ = coefficiente che tiene conto del rapporto tra la luce della trave e l'altezza del piano, che assume il valore 1 nel caso questo rapporto valga 1 e 1.1 nel caso valga 2 (**Figura 4-26**).

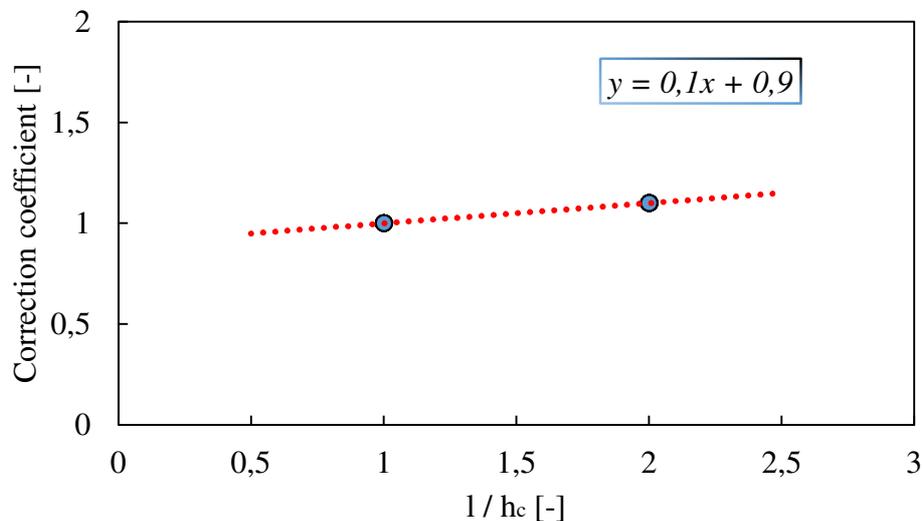


Figura 4-26. Andamento del coefficiente ζ

- η = coefficiente che tiene conto del rapporto tra la base della trave e l'altezza della trave, assumendo un andamento di tipo quadratico rispetto a questo parametro(**Figura 4-27**).

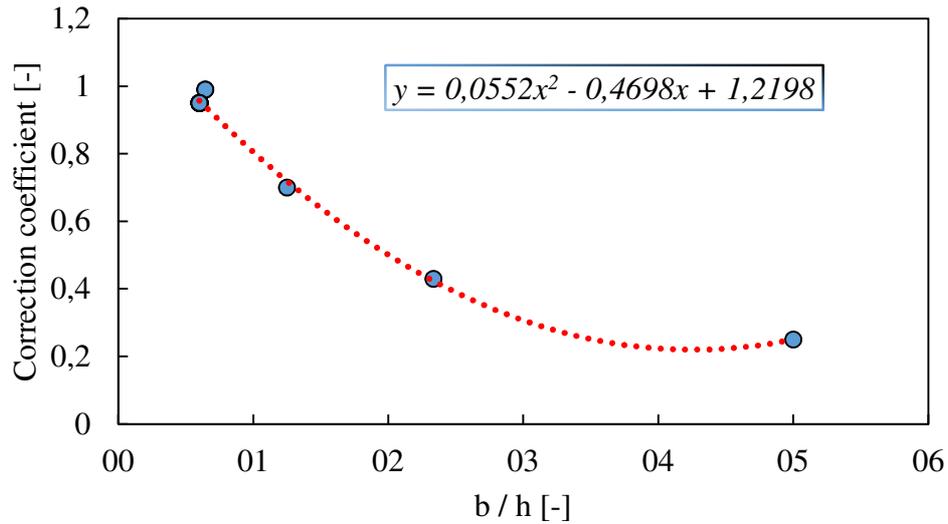


Figura 4-27. Andamento del coefficiente η

	β	γ	δ	ζ	η	$f_{u,base}[MPa]$	$f_{ud}[MPa]$
tts2	1.1	1.4	0.45	1.1	0.99	0.13	0.10
ttns2	1.5	1.4	0.45	1.1	0.99	0.15	0.15
tts	1.1	1.5	0.9	1	0.95	0.57	0.80
ttsv	1.1	1	0.9	1	0.95	0.57	0.53
ttnsv	1.5	1	0.9	1	0.95	0.57	0.73
ttns	1.5	1.5	0.9	1	0.95	0.57	1.09
ttsl	1.1	1.5	0.9	1.1	0.95	0.13	0.20
ttsvl	1.1	1	0.9	1.1	0.95	0.13	0.13
ttnsvl	1.5	1	0.9	1.1	0.95	0.13	0.18
ttnsv	1.5	1.5	0.9	1.1	0.95	0.13	0.27
ts2tnsvl	1.5	1	0.9	1.1	0.25	0.13	0.05
ts3tnsvl	1.5	1	0.9	1.1	0.43	0.13	0.08
ts4tnsvl	1.5	1	0.9	1.1	0.7	0.13	0.14
t3tsv	1.1	1	0.45	1	0.95	0.71	0.33
t4tsv	1.1	1	0.45	1	0.95	0.76	0.36

Tabella 4-25. Resistenza ultima dei puntoni BC

Per quanto riguarda i due valori di deformazione, si è osservato come mantenendo un valore costante per ognuno dei due parametri si ottenessero comunque risultati accettabili. In una prima fase infatti si è cercato di determinare valori di deformazione molto precisi, tuttavia al fine di semplificare la modellazione, si è infine deciso di attribuire il valore di circa 1.9‰ alla deformazione di picco e di circa 7‰ alla deformazione ultima.

4.4 Confronto dei risultati

In base alle considerazioni fatte riguardo la modellazione della tamponatura perimetrale dei telai in calcestruzzo armato, si possono andare ad osservare i risultati ottenuti. In molti casi si può osservare come la curva ottenuta attraverso il test pushdown effettuato in *OpenSees* riprenda quasi perfettamente quelle ricavate utilizzando un modello ad elementi finiti raffinato. Vengono quindi riportati gli schemi statici adottati e i diagrammi ottenuti per tutti i casi considerati, in cui viene effettuato un confronto tra le curve sperimentali e numeriche (da **Figura 4-28** a **Figura 4-57**).

▪ Caso sperimentale *tts2*

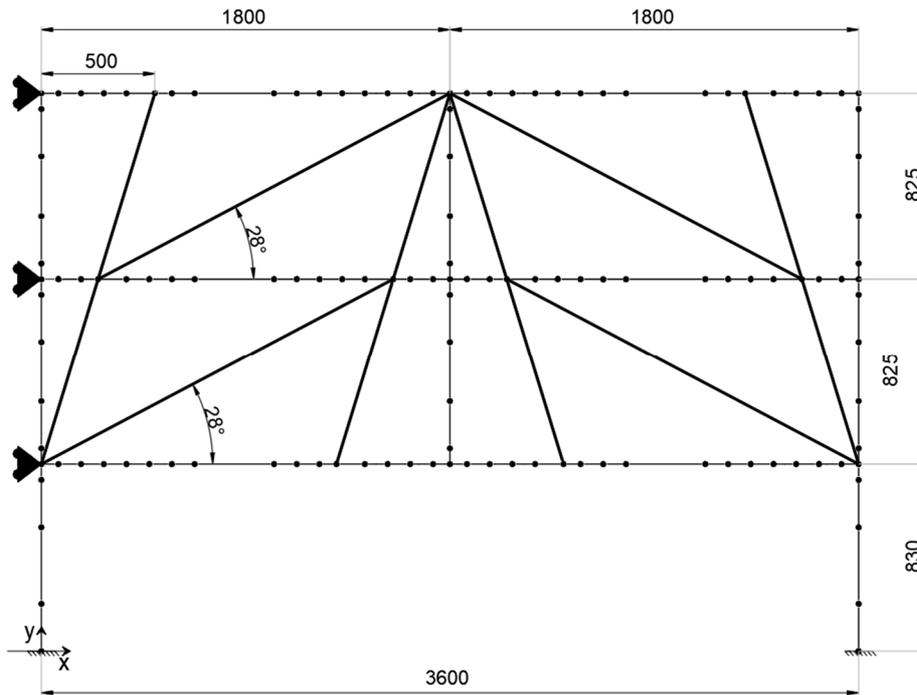


Figura 4-28. Schema statico adottato

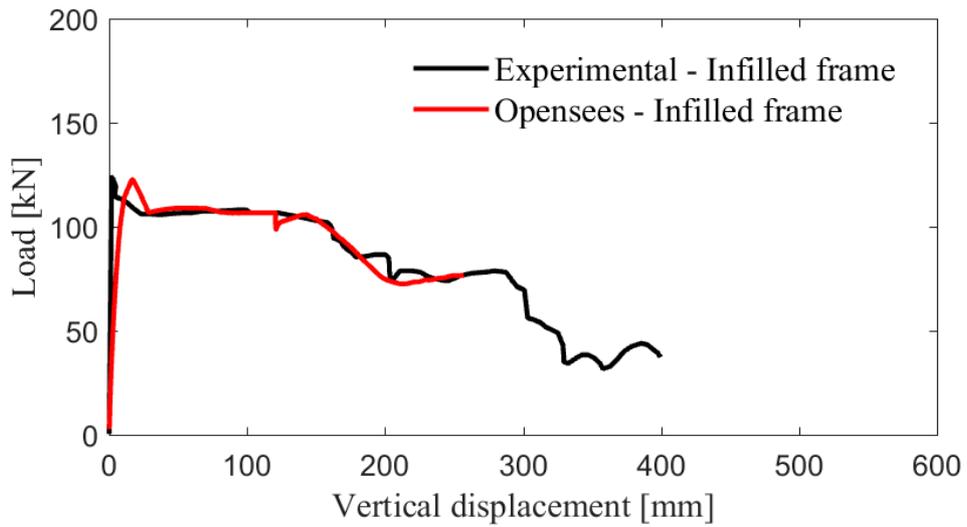


Figura 4-29. Telaio tamponato con dettagli sismici (10)

▪ Caso sperimentale *ttns2*

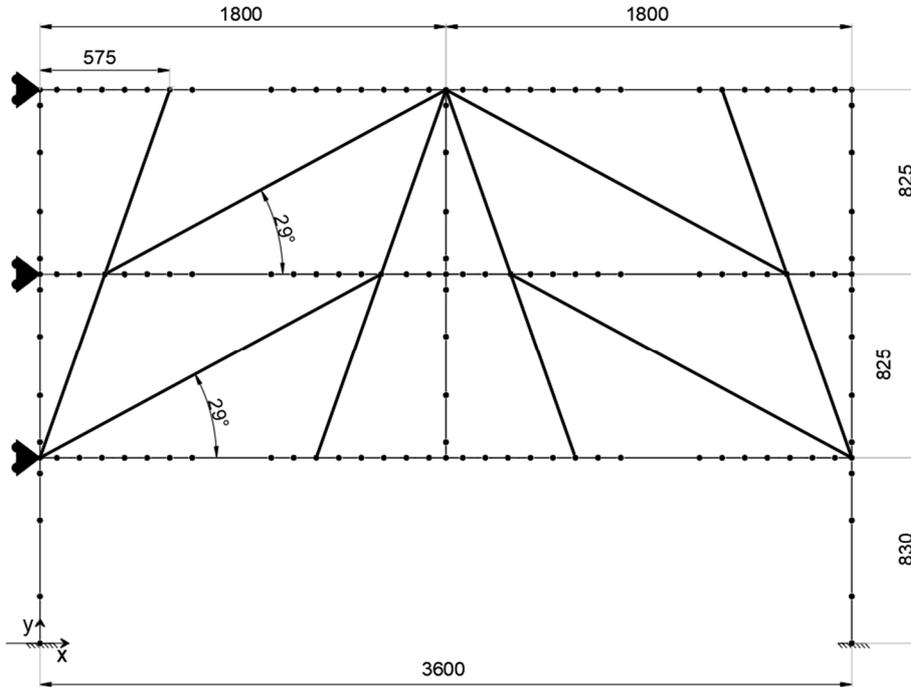


Figura 4-30. Schema statico adottato

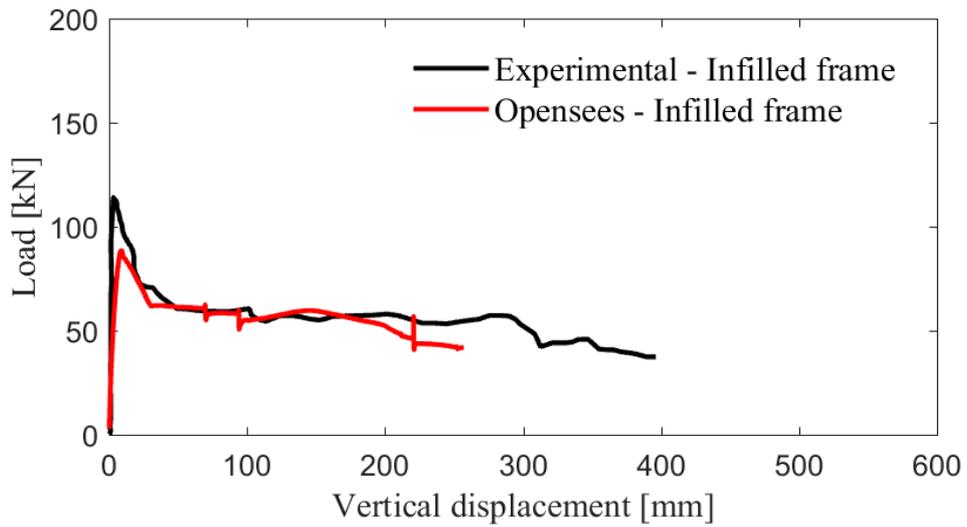


Figura 4-31. Telaio tamponato senza dettagli sismici (10)

▪ **Caso numerico *tts***

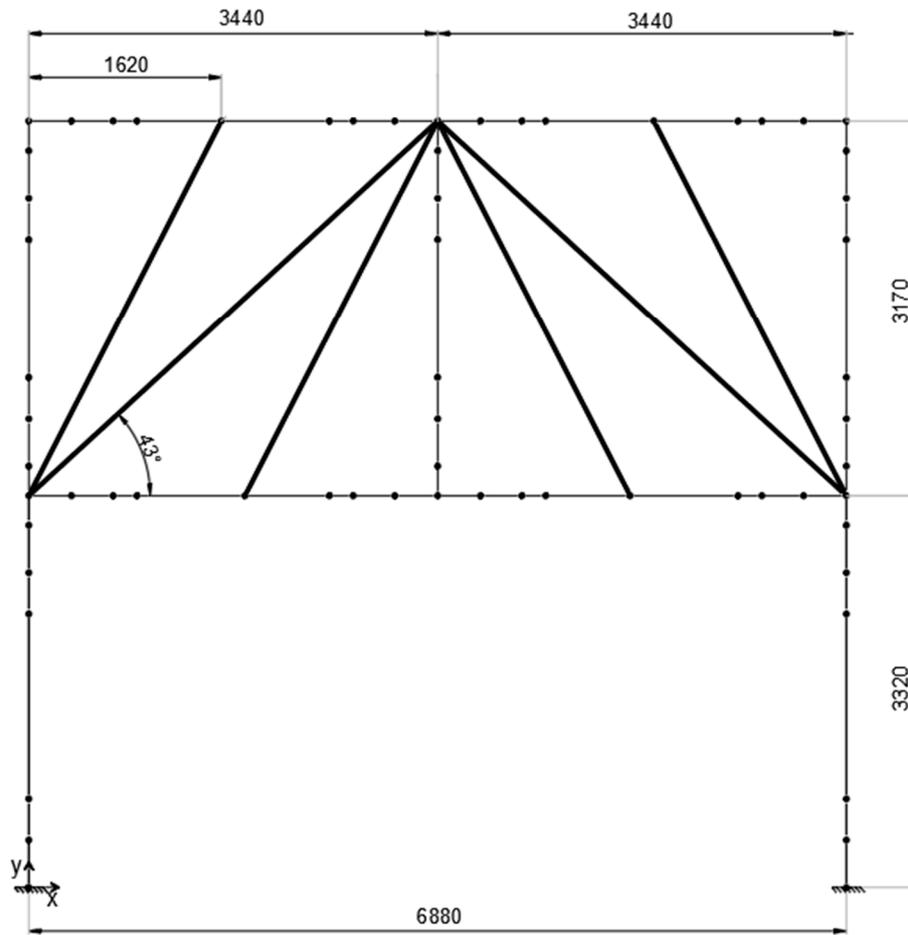


Figura 4-32. Schema statico adottato

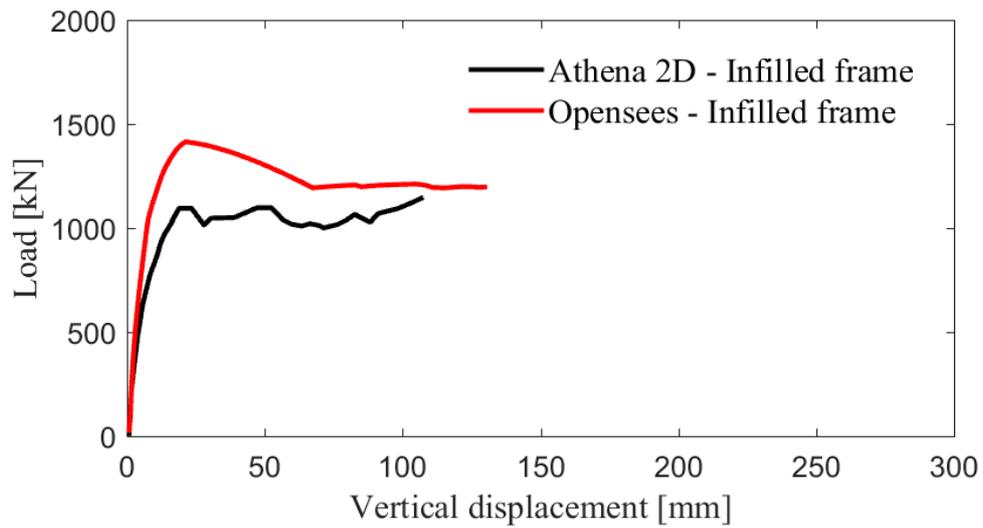


Figura 4-33. Telaio tamponato con dettagli sismici senza vincoli laterali con $l/h=1$

▪ **Caso numerico *ttsv***

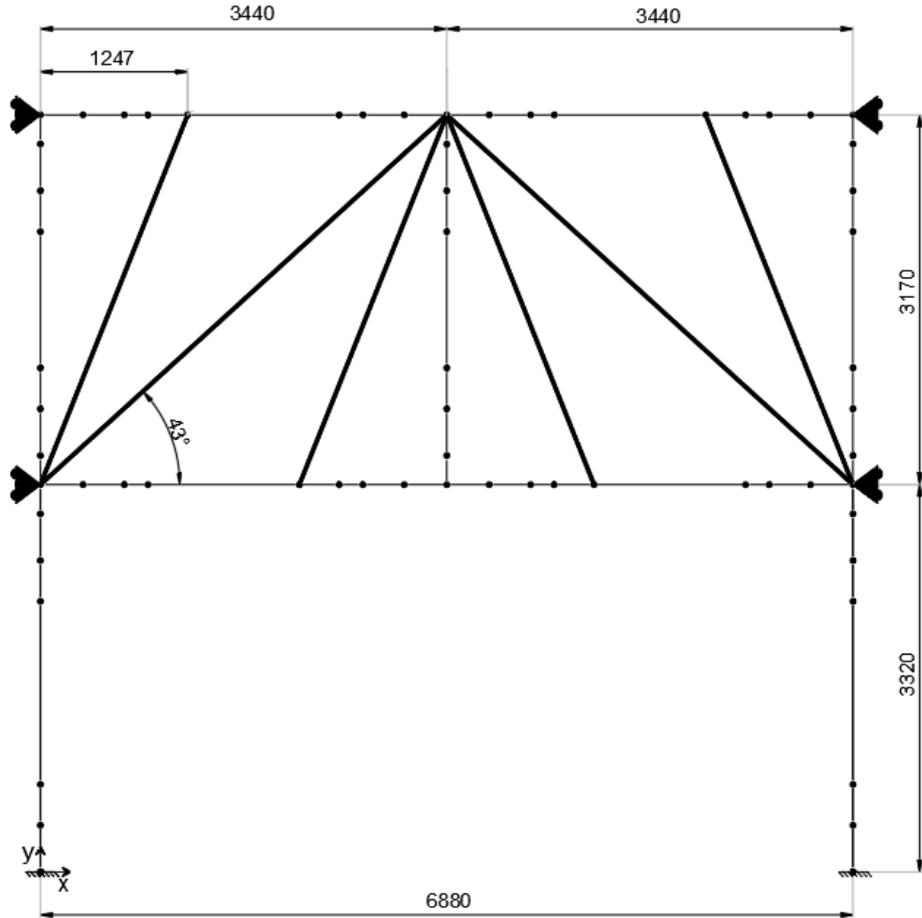


Figura 4-34. Schema statico adottato

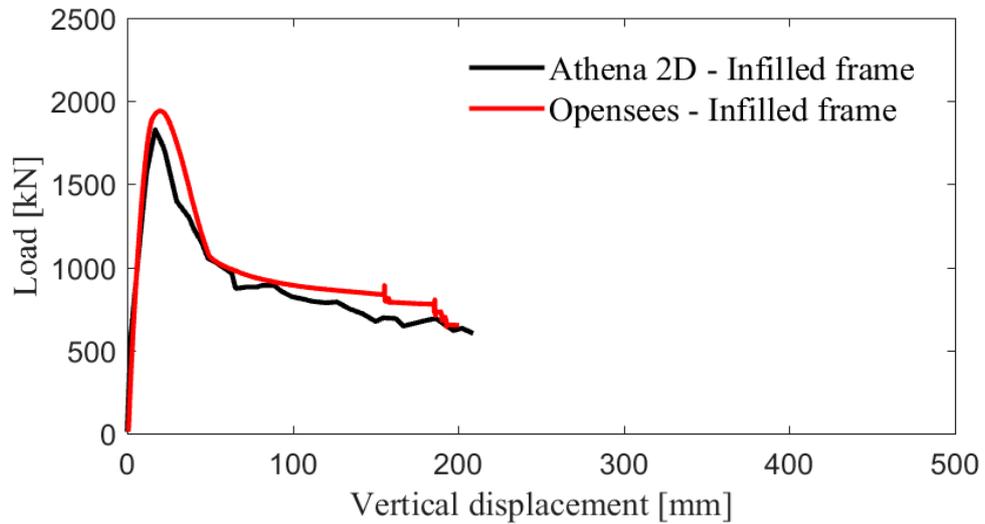


Figura 4-35. Telaio tamponato con dettagli sismici con vincoli laterali con $l/h=1$

▪ **Caso numerico *ttnsv***

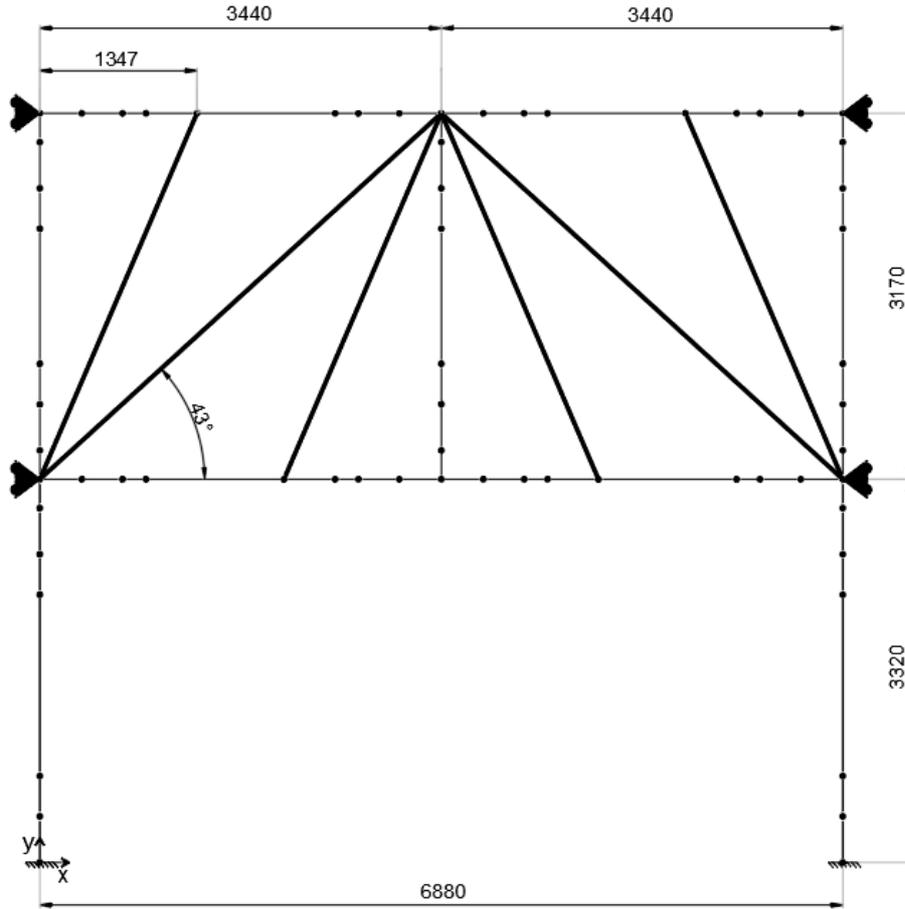


Figura 4-36. Schema statico adottato

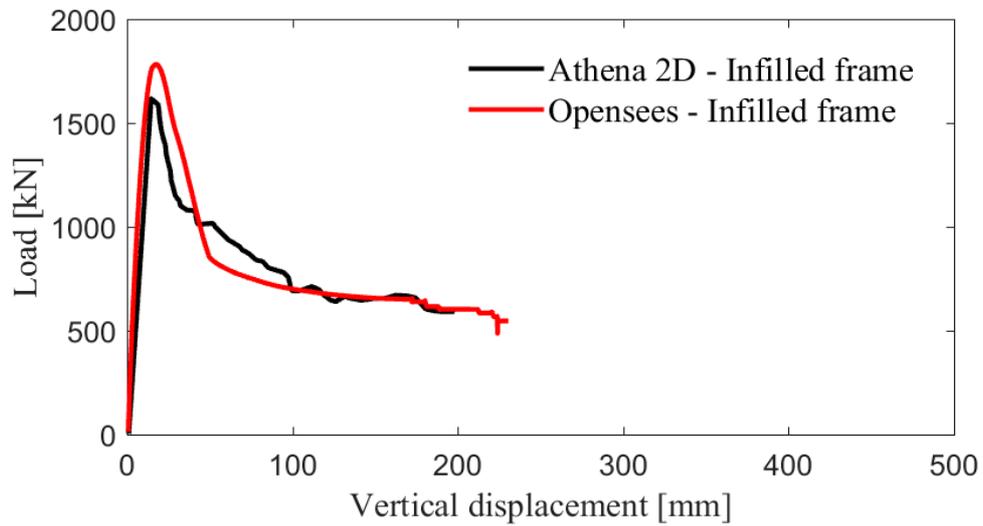


Figura 4-37. Telaio tamponato senza dettagli sismici con vincoli laterali con $l/h=1$

▪ **Caso numerico *ttns***

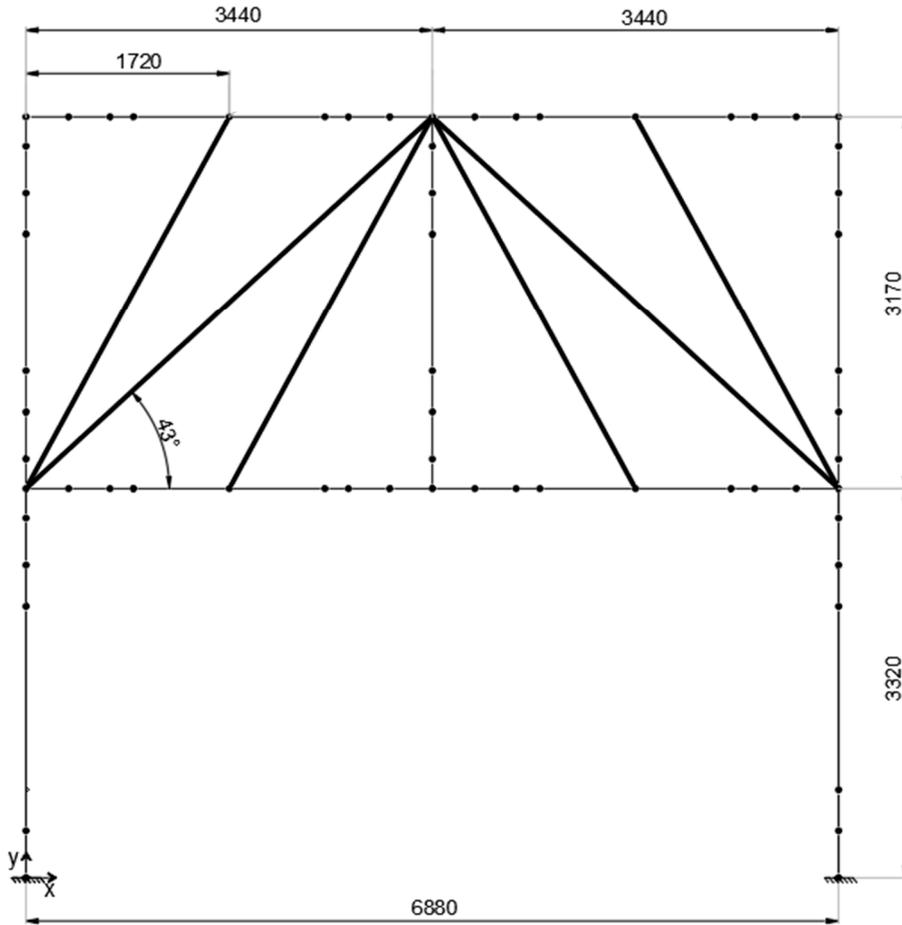


Figura 4-38. Schema statico adottato

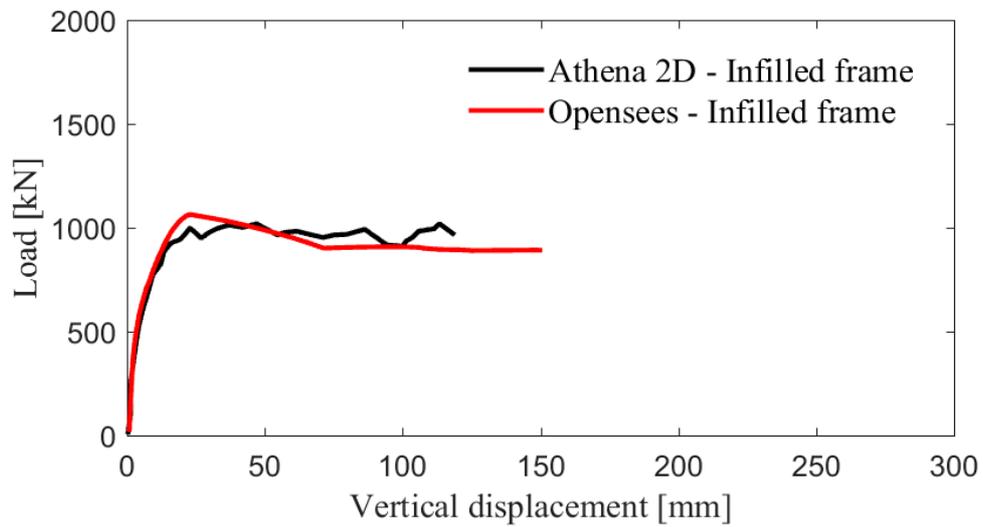


Figura 4-39. Telaio tamponato senza dettagli sismici senza vincoli laterali con $l/h=1$

▪ **Caso numerico *ttsl***

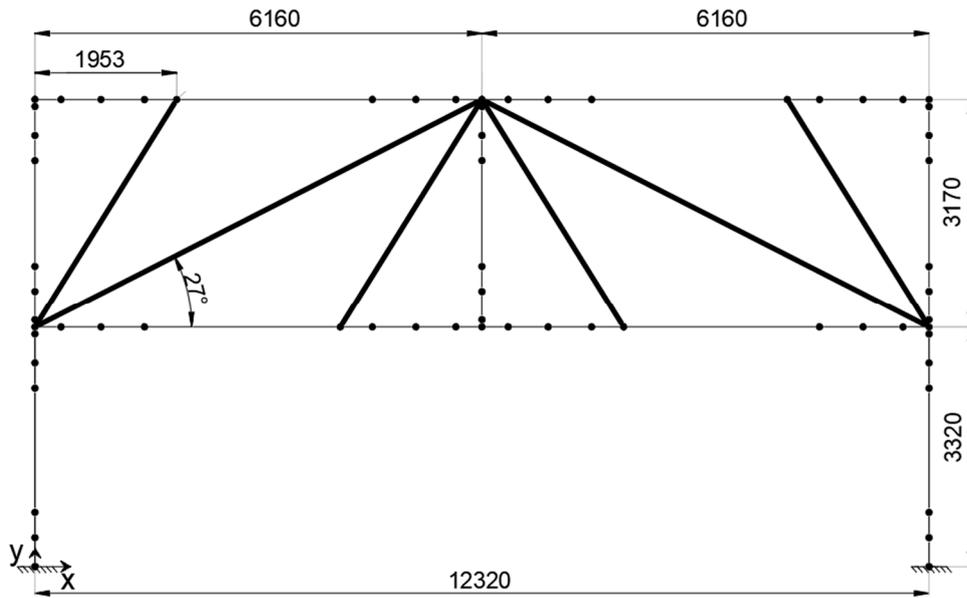


Figura 4-40. Schema statico adottato

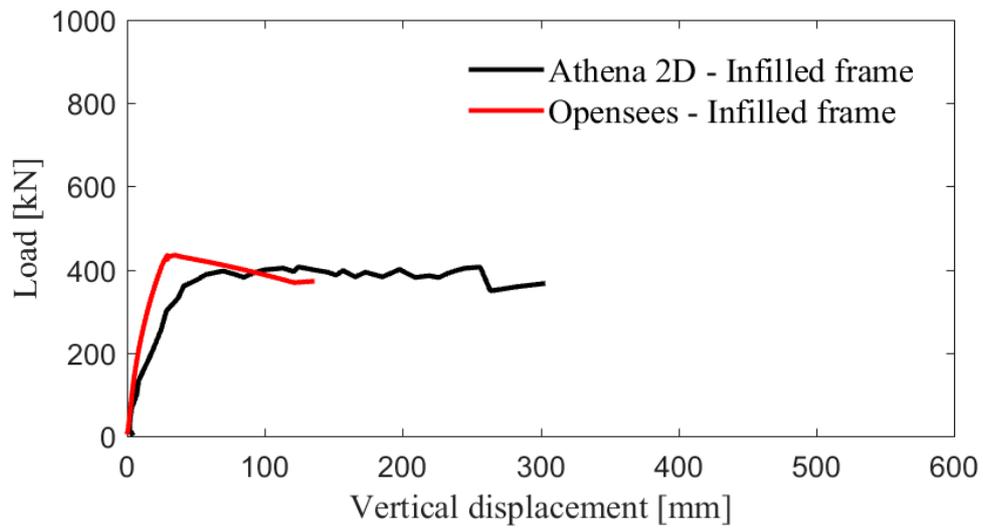


Figura 4-41. Telaio tamponato con dettagli sismici senza vincoli laterali con $l/h=2$

▪ **Caso numerico *ttsvl***

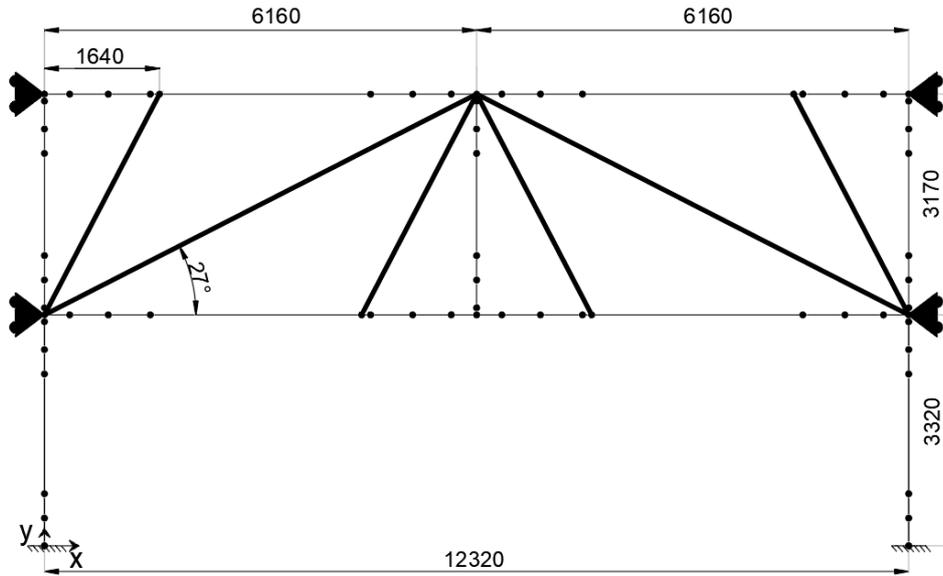


Figura 4-42. Schema statico adottato

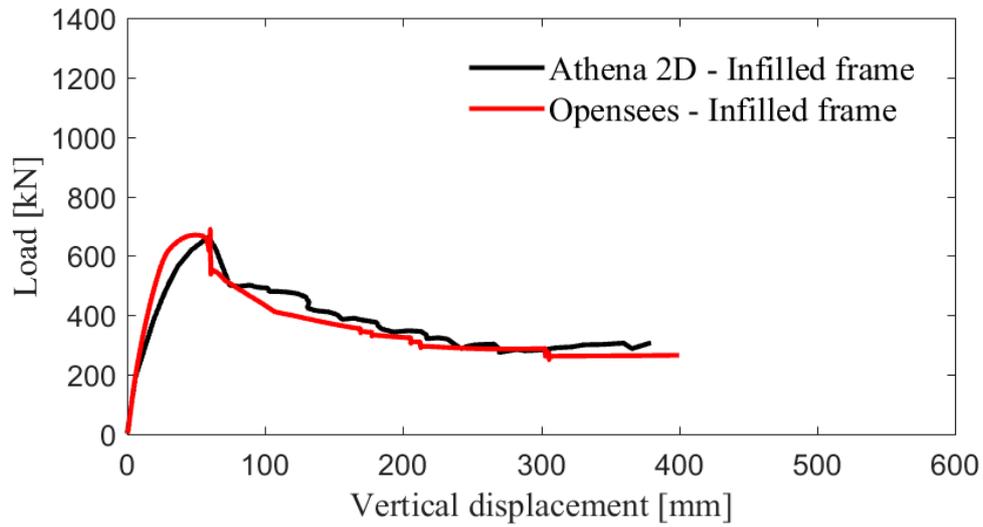


Figura 4-43. Telaio tamponato con dettagli sismici con vincoli laterali con $l/h=2$

▪ **Caso numerico *ttnsvl***

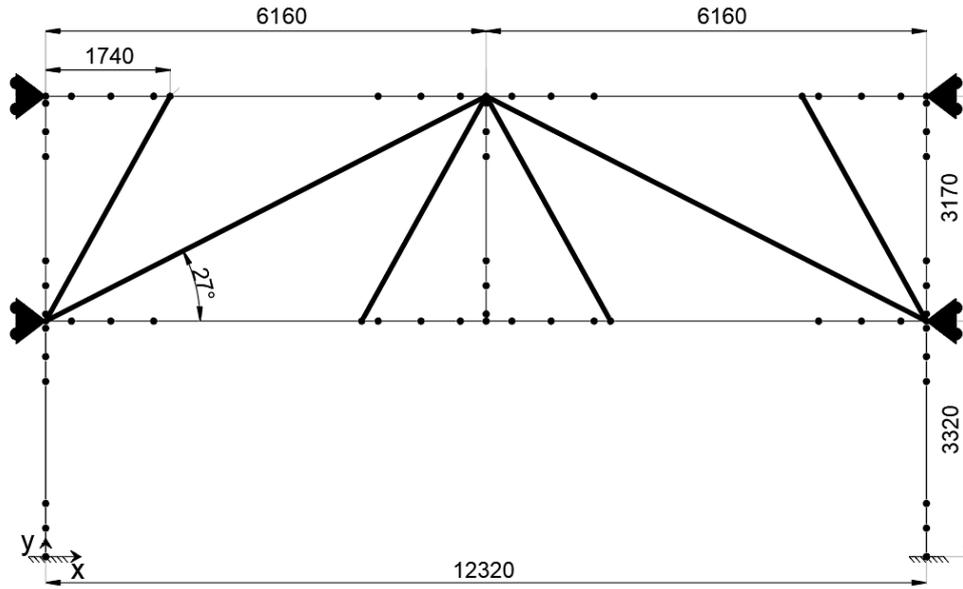


Figura 4-44. Schema statico adottato

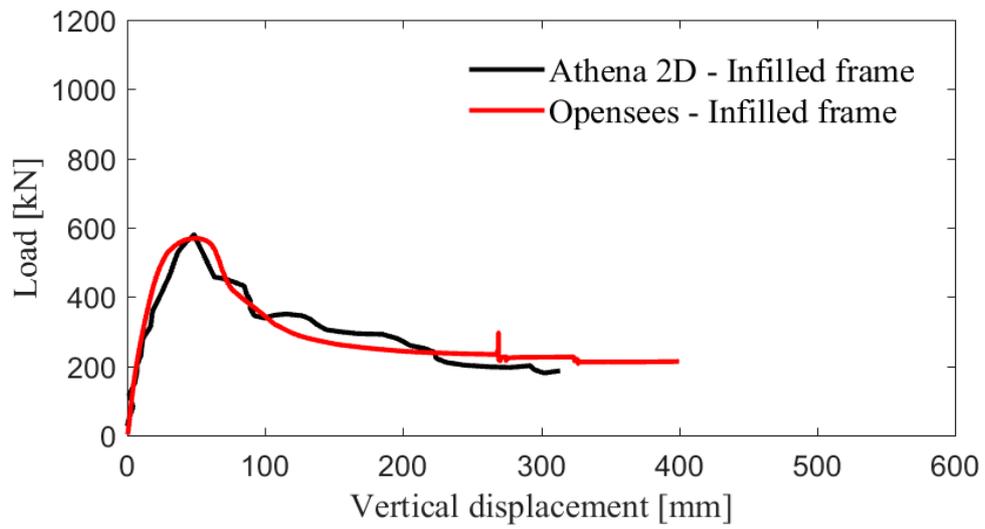


Figura 4-45. Telaio tamponato senza dettagli sismici con vincoli laterali con $l/h=2$

▪ **Caso numerico *ttnsl***

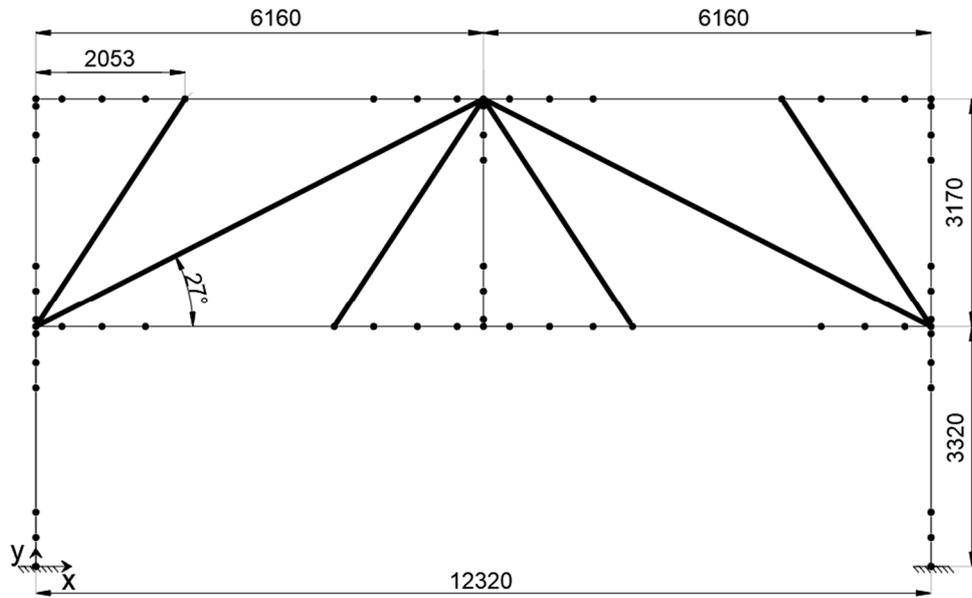


Figura 4-46. Schema statico adottato

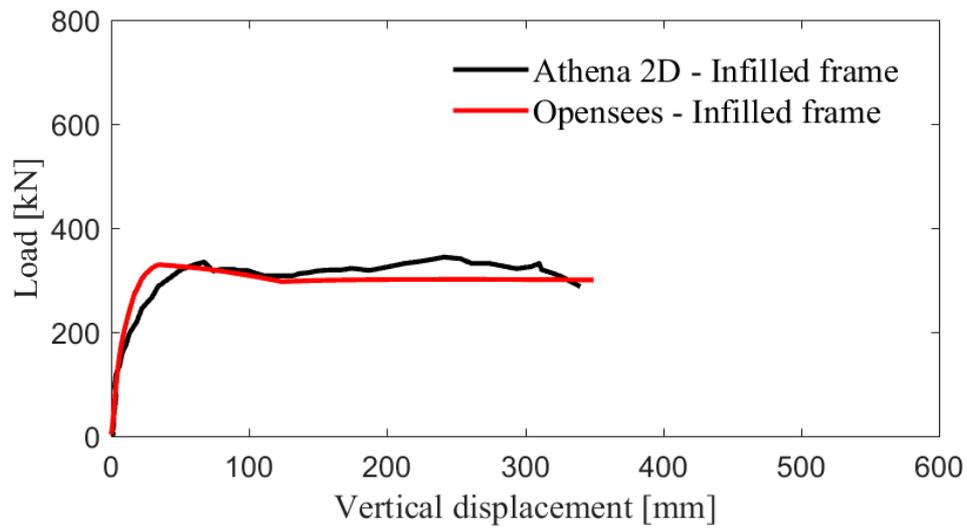


Figura 4-47. Telaio tamponato senza dettagli sismici senza vincoli laterali con $l/h=2$

▪ **Caso numerico *ts2tnsvl***

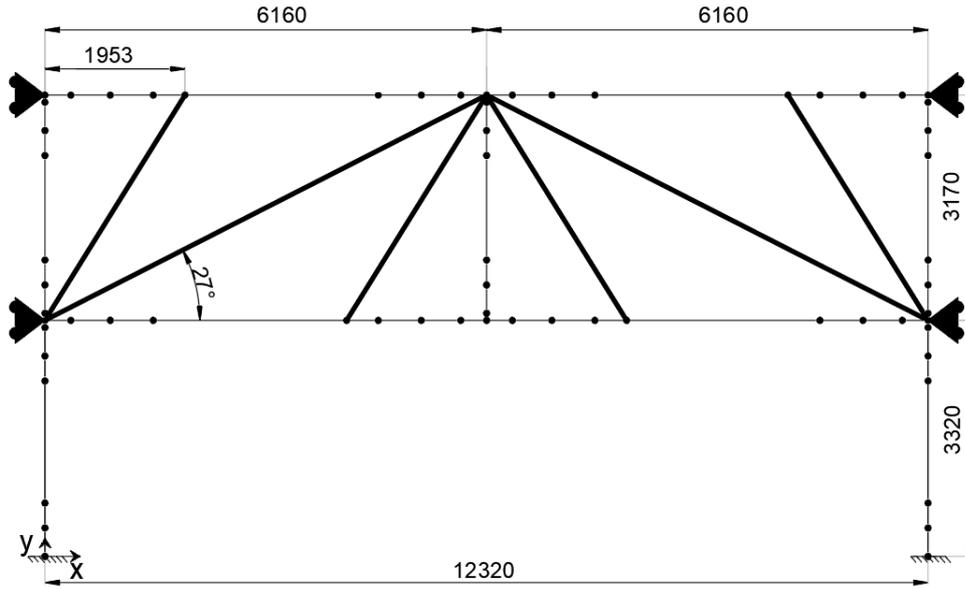


Figura 4-48. Schema statico adottato

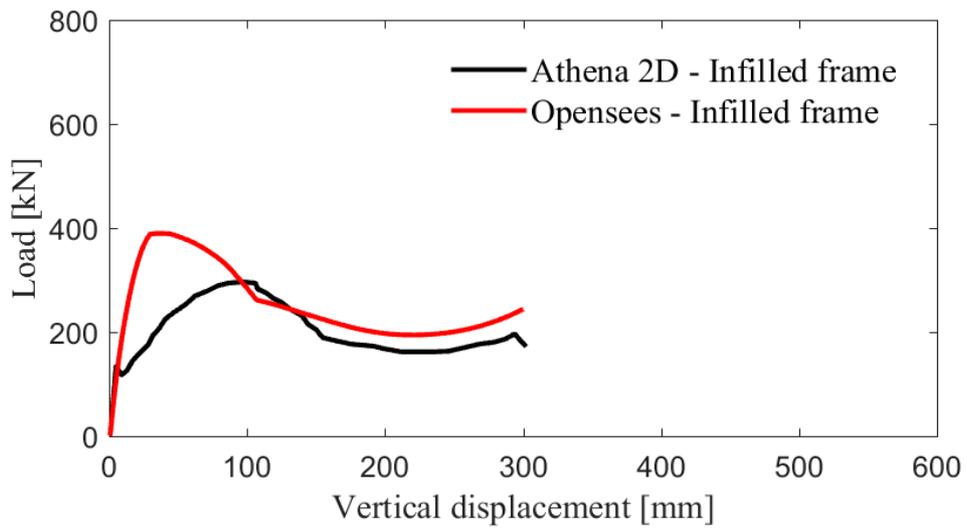


Figura 4-49. Telaio tamponato senza dettagli sismici con vincoli laterali con $l/h=2$ con $w/t=0.2$

▪ **Caso numerico *ts3tnsvl***

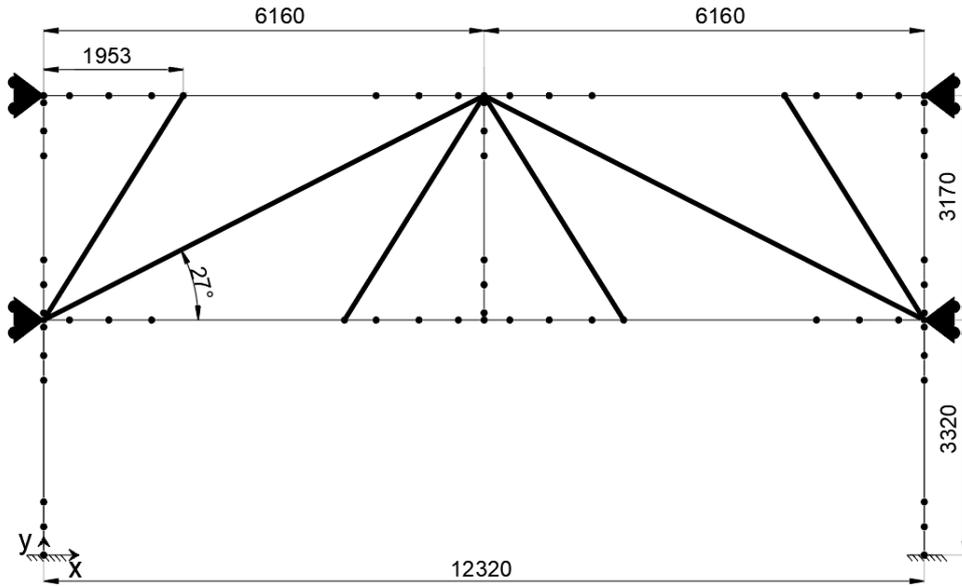


Figura 4-50. Schema statico adottato

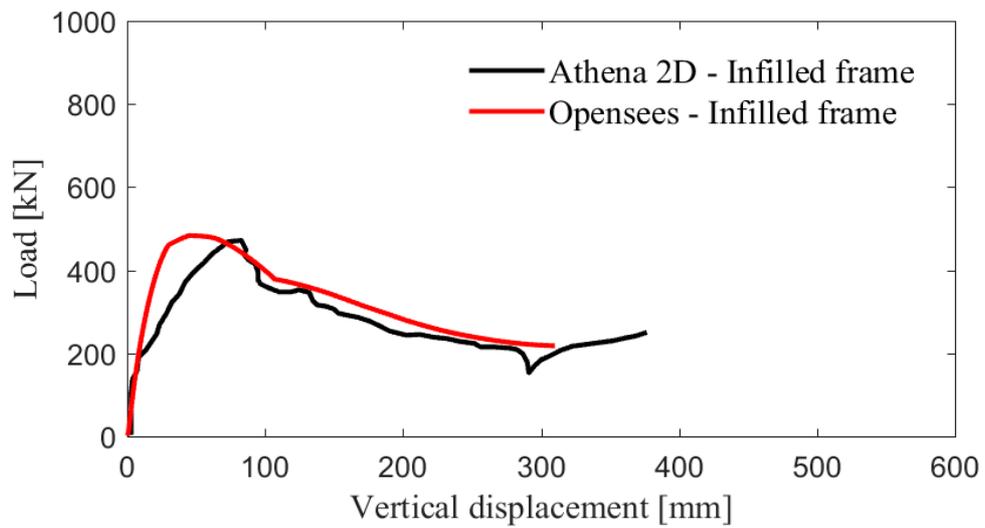


Figura 4-51. Telaio tamponato senza dettagli sismici con vincoli laterali con $l/h=2$ con $w/t=0.43$

▪ **Caso numerico *ts4tnsvl***

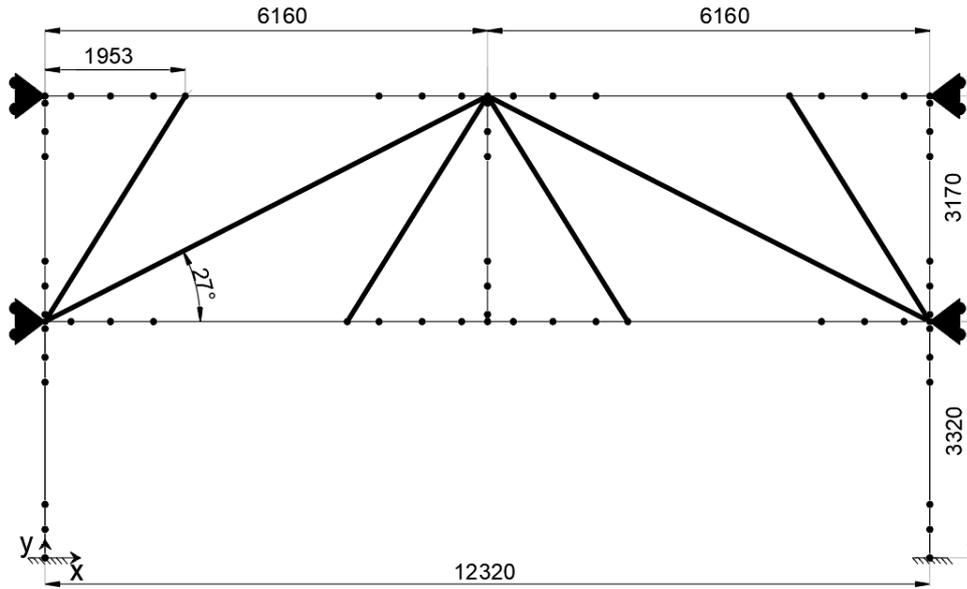


Figura 4-52. Schema statico adottato

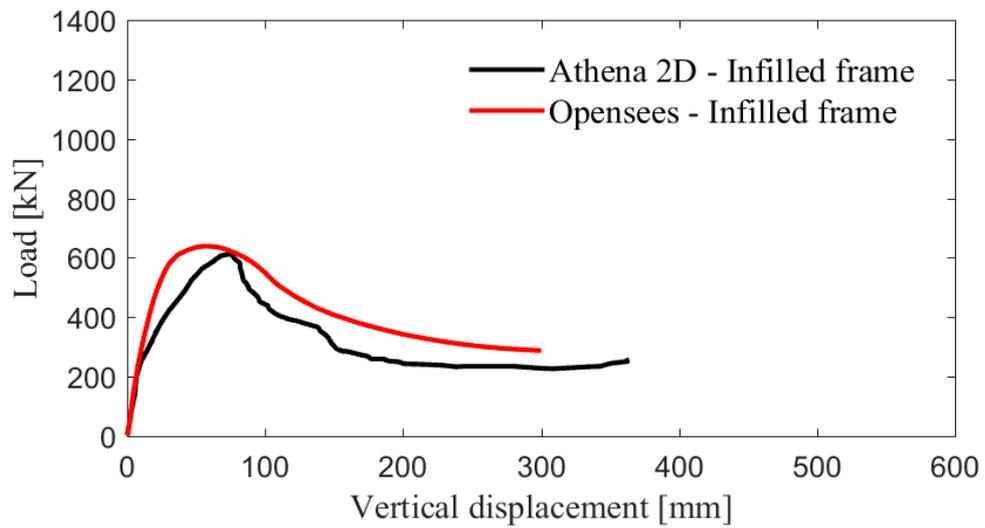


Figura 4-53. Telaio tamponato senza dettagli sismici con vincoli laterali con $l/h=2$ con $w/t=0.8$

▪ **Caso numerico *t3tsv***

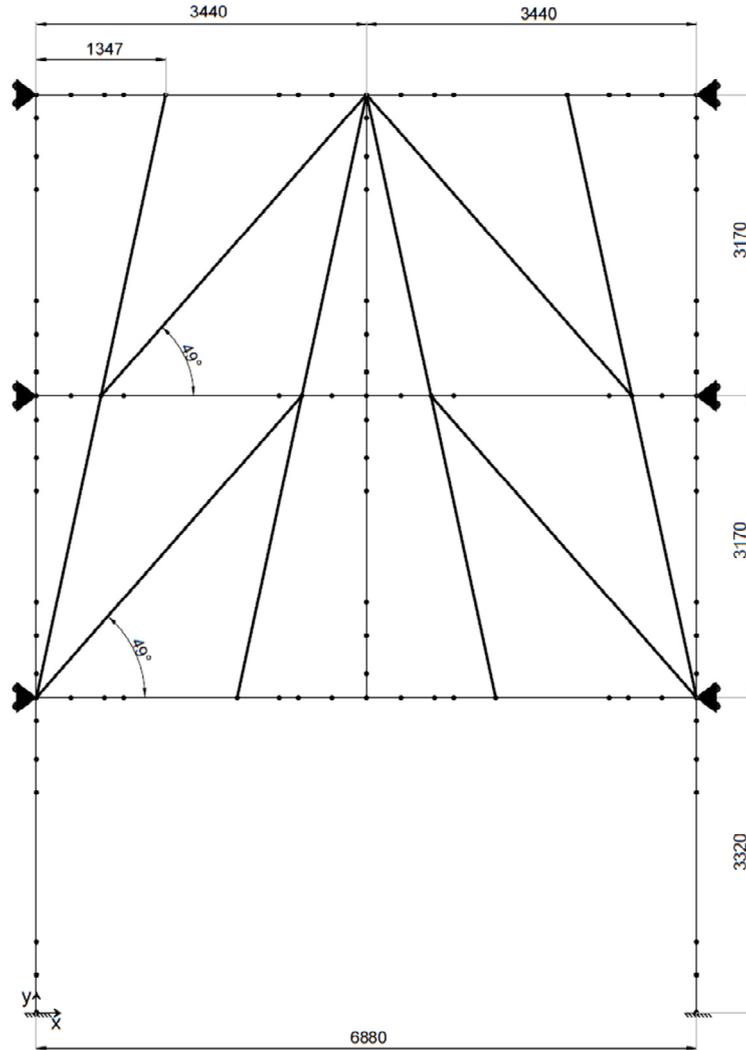


Figura 4-54. Schema statico adottato

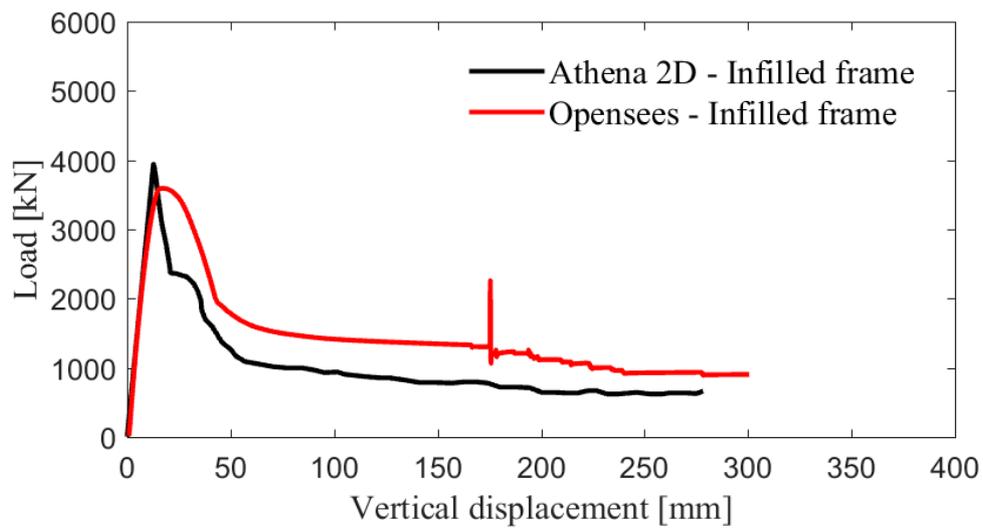


Figura 4-55. Telaio tamponato con dettagli sismici con vincoli laterali a tre piani

▪ **Caso numerico *t4tsv***

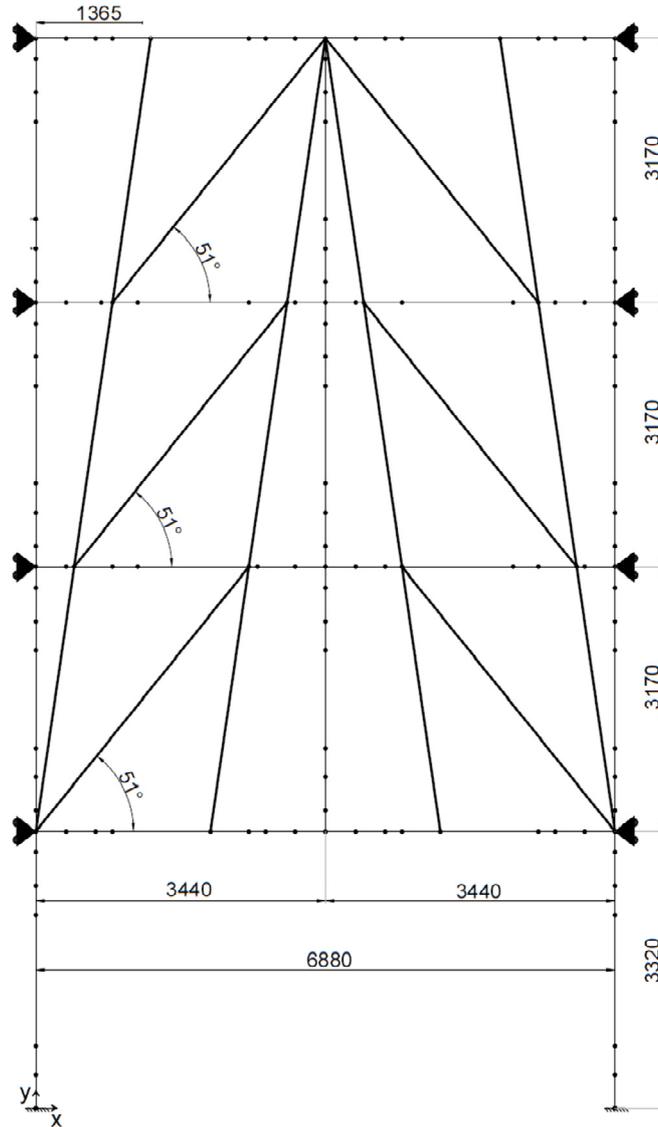


Figura 4-56. Schema statico adottato

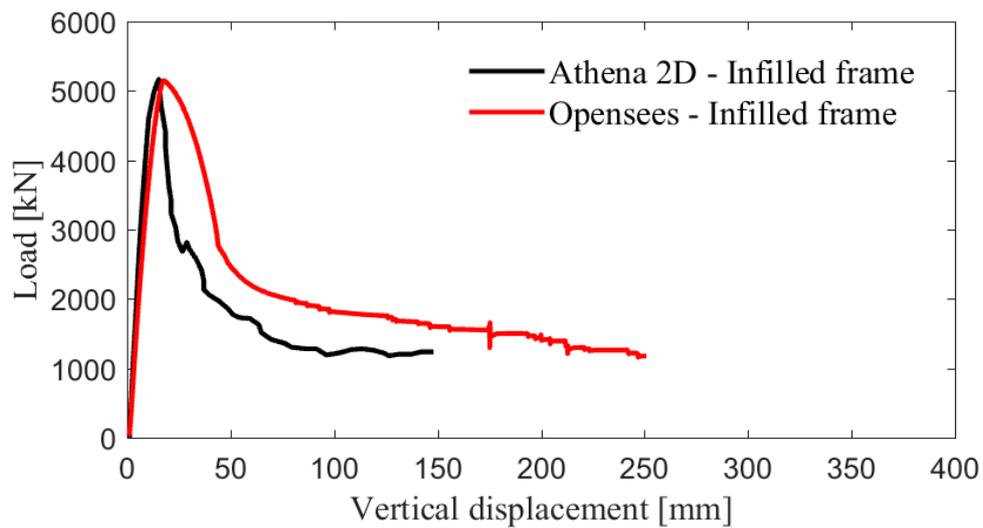


Figura 4-57. Telaio tamponato con dettagli sismici con vincoli laterali a quattro piani

Come si può osservare le risposte ottenute risultano essere soddisfacenti, in quanto si ottengono diagrammi, che in modo qualitativo, ripercorrono le curve ottenute effettuando le simulazioni sui modelli raffinati ad elementi finiti. I casi in cui sono stati ottenuti i risultati migliori sono rappresentati dai telai vincolati lateralmente, per i quali questo tipo di modellazione a puntoni risulta essere particolarmente indicata. Per quanto riguarda invece i telai non vincolati lateralmente, si sono riscontrate alcune difficoltà, specialmente dovute alla determinazione della resistenza ultima dei puntoni. Da qui nasce l'esigenza di introdurre i coefficienti correttivi di cui sopra.

Poiché la modellazione ha restituito risultati soddisfacenti, si è scelto di applicarla, nel capitolo seguente, ad un edificio tamponato di dieci piani, che è stato modellato utilizzando il software di calcolo *Edilus*, al fine di ricavare gli stessi risultati, studiando allo stesso tempo l'influenza del numero di piani e del numero di campate. Sullo stesso edificio verranno effettuate analisi di tipo dinamico, in modo da poter confrontare la riserva di resistenza con la domanda.

Capitolo 5. Simulazione di scenari di collasso progressivo su un edificio in calcestruzzo armato a 10 elevazioni

All'interno del presente capitolo verrà condotta la progettazione di un edificio in calcestruzzo armato a dieci piani, al fine di poter in seguito applicare le regole di modellazione degli elementi in c.a. e della tamponatura individuate nei capitoli precedenti. Questo verrà fatto con il fine di poter determinare la capacità di una struttura di grandi dimensioni in situazione di collasso progressivo. A tal fine sarà considerato un telaio perimetrale della struttura, che verrà sottoposto al test di pushdown, rimuovendo sia la colonna centrale sia la colonna di bordo, simulando così un'azione accidentale come un'esplosione o un impatto veicolare al piano terra. La stessa struttura sarà utilizzata inoltre per determinare l'influenza del numero di piani sulla capacità portante.

La struttura verrà inizialmente modellata utilizzando il software *Edilus*, per andare in seguito ad utilizzare il software *OpenSees* per eseguire le analisi pushover. Ciò richiede anche la modellazione a fibre del telaio, per la quale verrà applicata la proposta di modellazione introdotta nel Capitolo 2.

5.1 Modellazione della struttura mediante il software *Edilus*

È stata condotta, attraverso l'utilizzo del software di calcolo strutturale *Edilus*, la progettazione di un edificio tamponato avente 10 elevazioni fuori terra, al fine di poter applicare ad uno dei telai appartenenti all'edificio la modellazione della tamponatura attraverso puntoni equivalenti precedentemente esposta.

In questa fase sono stati analizzati gli effetti del numero dei piani, del collasso di colonne differenti rispetto a quella centrale, avendo a disposizione telai a tre campate, e della presenza della tamponatura al di fuori di quella strettamente adiacente alla colonna che viene rimossa.

L'edificio progettato presenta una regolarità strutturale sia in pianta sia in altezza. Viene riportata in **Figura 5-1** la pianta dell'edificio, in cui viene evidenziato il telaio che è stato analizzato.

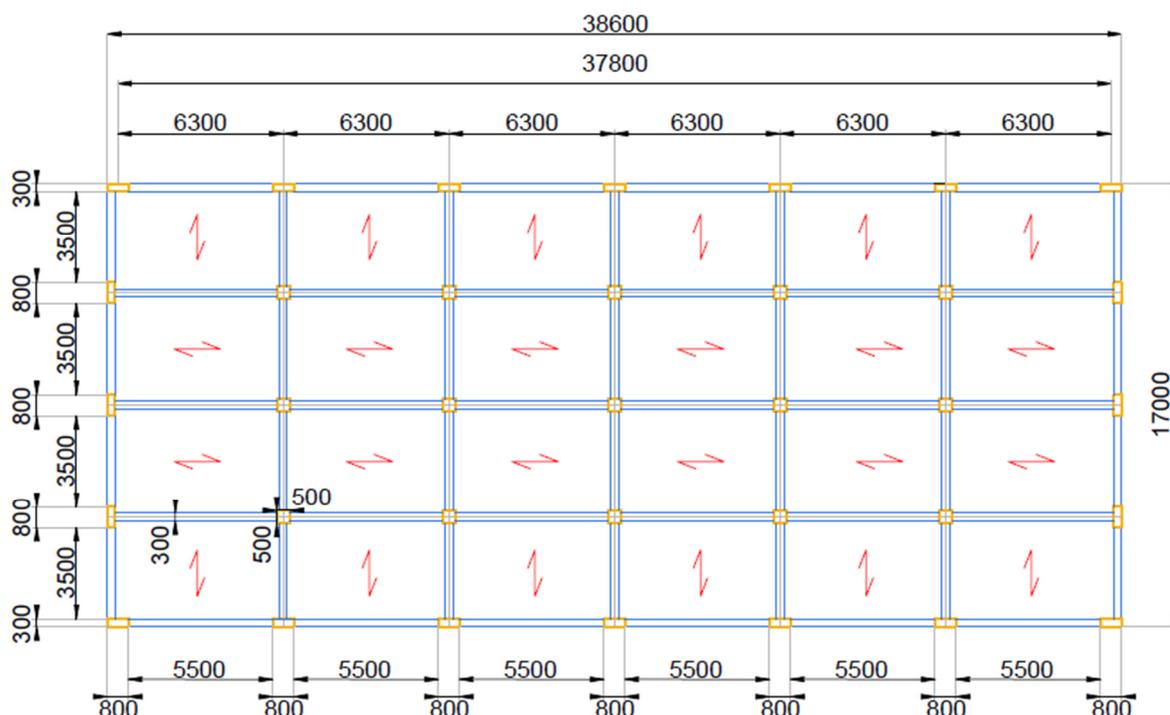


Figura 5-1. Pianta dell'edificio con individuazione del telaio considerato

L'edificio progettato è stato supposto ad uso ufficio pubblico. Esso è situato nel comune di Palermo, a 14 metri sul livello del mare, in zona sismica 2. L'azione sismica è stata valutata in conformità con le Norme Tecniche per le Costruzioni.

Gli spettri di risposta sono stati determinati mediante l'ausilio del software di calcolo *Edilus*, utilizzato per la progettazione dell'intera struttura. A tal fine, sono stata fatte le seguenti assunzioni:

5.1.1 Sisma e struttura:

- Accelerazione orizzontale massima del terreno: 0,176 Ag/g
- Tipo di terreno prevalente: C
- Classe dell'edificio: Classe 2
- Tipologia della struttura: A telaio, miste equivalenti a telaio con più campate sia in direzione X sia in direzione Y
- Classe di duttilità: Bassa
- Coefficiente viscoso equivalente: 5%
- Coefficiente di amplificazione topografica: 1,00
- Fattore di struttura q- SLU per sisma verticale: 1,5

- Fattore di struttura q – SLU per sisma orizzontale: 3,120 sia in direzione X sia in direzione Y;
- Valore di base q_0 : 3,9 sia in direzione X sia in direzione Y;
- Fattore K_w : 0,5 sia in direzione X sia in direzione Y;
- Rapporto α_u/α_1 : 1,3 sia in direzione X sia in direzione Y;
- La configurazione in pianta è compatta ossia la distribuzione di masse e rigidzze è approssimativamente simmetrica rispetto a due direzioni ortogonali e il contorno di ogni orizzontamento è convesso;
- Il rapporto tra i lati del rettangolo circoscritto alla pianta di ogni orizzontamento è inferiore a 4;
- Ciascun orizzontamento ha una rigidezza nel proprio piano tanto maggiore della corrispondente rigidezza degli elementi strutturali verticali da potersi assumere che la sua deformazione in pianta influenzi in modo trascurabile la distribuzione delle azioni sismiche tra questi ultimi e ha resistenza sufficiente a garantire l'efficacia di tale distribuzione;
- Tutti i sistemi resistenti alle azioni sismiche si estendono per tutta l'altezza della costruzione.

Viene riportato in **Figura 5-2** il diagramma degli spettri di risposta ottenuti attraverso Edilus:

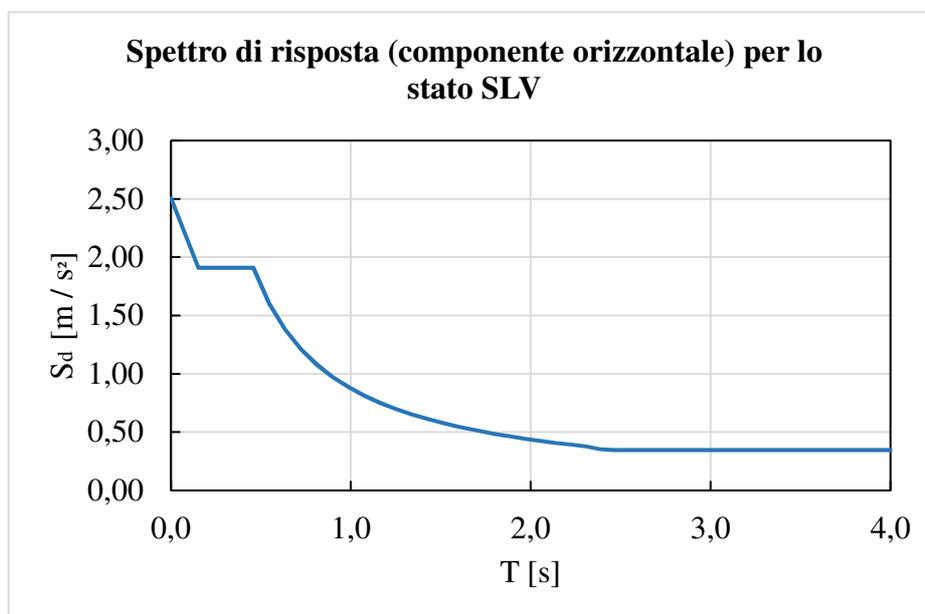


Figura 5-2. Spettro di progetto SLV in direzione orizzontale e in direzione verticale

La costruzione è costituita da dieci piani fuori terra, arrivando ad una quota finale di 34 metri, con un interpiano pari a 3,4 metri ognuno. Il software *Edilus* permette di condurre la

progettazione attraverso l'utilizzo di elementi *pilastro*, *trave*, *solaio in cemento armato* e *tamponatura*. Vengono infatti definiti i nodi degli elementi, per completare infine il modello utilizzando gli elementi predefiniti. Infine esiste la possibilità di visualizzare la struttura in tre dimensioni, al fine di eseguire un controllo visivo della stessa, come viene riportato in **Figura 5-3**.

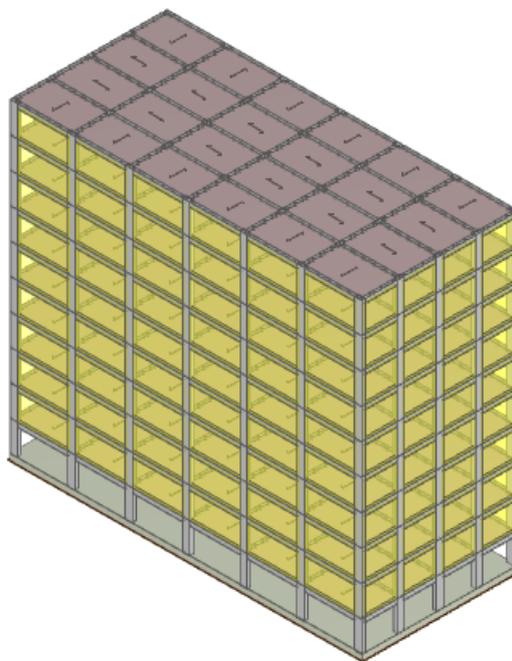


Figura 5-3. Edificio tamponato a dieci piani progettato in *Edilus*

L'edificio rappresenta una struttura a telai portanti in calcestruzzo armato orditi nelle due direzioni X e Y, tamponata in muratura portante. La fondazione è stata realizzata attraverso una platea di spessore pari a 60 cm. La stratigrafia mostra una sabbia argillosa mediamente consolidata entro la profondità di scavo a partire dal piano campagna, pari a 75 cm, senza che vi sia la presenza della falda.

Le travi sono state progettate a sezione rettangolare 30x50 cm, mentre le colonne presentano sezione 40x80. Il solaio risulta essere in latero-cemento, di spessore complessivo pari a 25, di cui 4 cm di soletta piena. Le pignatte hanno spessore pari a 40 cm, mentre ogni travetto risulta spesso 10 cm. Le tamponature perimetrali sono realizzate in muratura portante di spessore pari a 30 cm.

Il software di calcolo permette di ottenere tutte le tavole di carpenteria dei piani, le armature delle travi, dei pilastri, della platea e dei solai. Vengono riportate all'interno dell'Allegato 2 le

tavole di interesse riguardanti il telaio perimetrale preso in considerazione. Di seguito invece viene riportata la **Tabella 5-1**, contenente l'analisi dei carichi dell'edificio in esame.

		kN/m^2	Lunghezza di influenza [m]	kN/m
Solaio	<i>Peso proprio solaio</i>	3.53	2.15	7.59
	<i>Permanente non strutturale</i>	2.36	2.15	5.07
	<i>Sovraccarico accidentale</i>	3	2.15	6.45
	<i>Neve</i>	0.5	2.15	1.08
Tamponatura	<i>Peso proprio tamponatura</i>	1.6	2.9	4.64
	<i>Permanente non strutturale</i>	0.74	2.9	1.15
Trave	<i>Peso proprio</i>	12.5	0.3	3.75

Tabella 5-1. Carichi agenti sulla struttura tamponata

Al fine di effettuare in confronto tra un edificio tamponato ed uno non tamponato, è stata inoltre eseguita la progettazione dello stesso edificio senza tamponatura perimetrale (**Figura 5-4**).

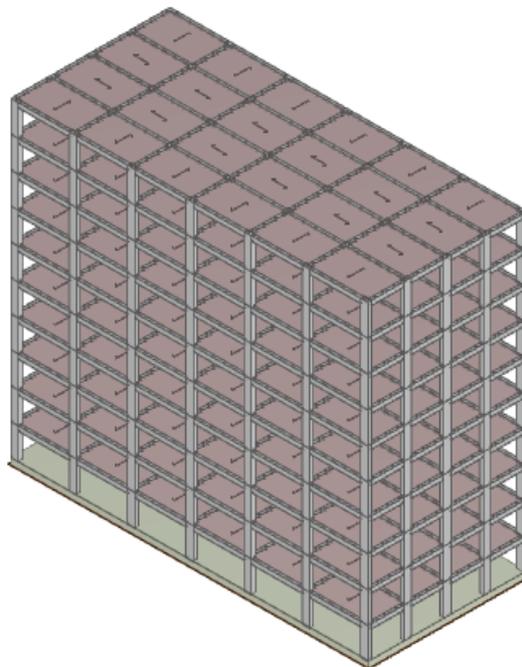


Figura 5-4. Edificio non tamponato progettato in *Edilus*

5.2 Modellazione della struttura mediante il software *OpenSees*

La modellazione dell'edificio mediante il software *OpenSees* ha seguito le stesse regole adottate per i casi esaminati nei capitoli precedenti. Prima di riportare i parametri di calibrazione dei telai modellati in *OpenSees*, viene riportata una tabella (**Tabella 5-2**) riassuntiva di tutti i casi considerati e sottoposti all'analisi di pushdown, insieme ad un codice identificativo per ognuno di essi.

	Codice
<i>Telaio tamponato sismico a sei campate e dieci piani con rimozione della colonna centrale</i>	et10
<i>Telaio tamponato sismico a sei campate e otto piani con rimozione della colonna centrale</i>	et8
<i>Telaio tamponato sismico a sei campate e sei piani con rimozione della colonna centrale</i>	et6
<i>Telaio tamponato sismico a sei campate e quattro piani con rimozione della colonna centrale</i>	et4
<i>Telaio tamponato sismico a sei campate e due piani con rimozione della colonna centrale</i>	et2
<i>Telaio tamponato sismico a due campate e dieci piani con rimozione della colonna centrale</i>	tt10
<i>Telaio tamponato sismico a due campate e otto piani con rimozione della colonna centrale</i>	tt8
<i>Telaio tamponato sismico a due campate e sei piani con rimozione della colonna centrale</i>	tt6
<i>Telaio tamponato sismico a due campate e quattro piani con rimozione della colonna centrale</i>	tt4
<i>Telaio tamponato sismico a due campate e due piani con rimozione della colonna centrale</i>	tt2
<i>Telaio tamponato sismico a due campate e dieci piani con vincoli laterali con rimozione della colonna centrale</i>	tt10v
<i>Telaio tamponato sismico a due campate e otto piani con vincoli laterali con rimozione della colonna centrale</i>	tt8v
<i>Telaio tamponato sismico a due campate e sei piani con vincoli laterali con rimozione della colonna centrale</i>	tt6v
<i>Telaio tamponato sismico a due campate e quattro piani con vincoli laterali con rimozione della colonna centrale</i>	tt4v
<i>Telaio tamponato sismico a due campate e due piani con vincoli laterali con rimozione della colonna centrale</i>	tt2v
<i>Telaio tamponato sismico a sei campate e dieci piani con rimozione della colonna di bordo</i>	edst1
<i>Telaio sismico a sei campate e dieci piani con rimozione della colonna centrale</i>	e10
<i>Telaio sismico a sei campate e otto piani con rimozione della colonna centrale</i>	e8
<i>Telaio sismico a sei campate e sei piani con rimozione della colonna centrale</i>	e6
<i>Telaio sismico a sei campate e quattro piani con rimozione della colonna centrale</i>	e4
<i>Telaio sismico a sei campate e due piani con rimozione della colonna centrale</i>	e2
<i>Telaio sismico a due campate e dieci piani con rimozione della colonna centrale</i>	t10
<i>Telaio sismico a due campate e otto piani con rimozione della colonna centrale</i>	t8
<i>Telaio sismico a due campate e sei piani con rimozione della colonna centrale</i>	t6
<i>Telaio sismico a due campate e quattro piani con rimozione della colonna centrale</i>	t4
<i>Telaio sismico a due campate e due piani con rimozione della colonna centrale</i>	t2
<i>Telaio sismico a due campate e dieci piani con vincoli laterali con rimozione della colonna centrale</i>	t10v
<i>Telaio sismico a due campate e otto piani con vincoli laterali con rimozione della colonna centrale</i>	t8v
<i>Telaio sismico a due campate e sei piani con vincoli laterali con rimozione della colonna centrale</i>	t6v
<i>Telaio sismico a due campate e quattro piani con vincoli laterali con rimozione della colonna centrale</i>	t4v
<i>Telaio sismico a due campate e due piani con vincoli laterali con rimozione della colonna centrale</i>	t2v
<i>Telaio sismico a sei campate e dieci piani con rimozione della colonna di bordo</i>	eds1

Tabella 5-2. Telai sottoposti ad analisi di pushdown

Vengono quindi riportate di seguito le principali ipotesi adottate per la modellazione del telaio in calcestruzzo armato:

- Il software di calcolo permette di eseguire una modellazione a fibre degli elementi strutturali, attraverso la quale è possibile attribuire ad ogni fibra costituente la sezione trasversale una legge costitutiva differente a seconda del materiale che viene utilizzato. Attraverso la modellazione a fibre inoltre è possibile servirsi del concetto di plasticità distribuita, che non richiede dunque la determinazione della posizione delle cerniere plastiche che si andranno a formare sull'elemento strutturale.
- Attraverso un'accurata mesh, è possibile ottenere una buona approssimazione del campo degli spostamenti, anche attraverso l'utilizzo dell'elemento *displacement based* (DBE) sia per le travi che per le colonne.
- Le analisi eseguite attraverso il software di calcolo vengono effettuate sotto l'ipotesi di grandi spostamenti, prendendo in considerazione la configurazione deformata degli elementi.
- Viene applicata una trasformazione di tipo *Corotational* della rigidezza delle travi e dei pilastri dal sistema locale al sistema globale.
- I materiali utilizzati, appartenenti alla libreria *uniaxialMaterial*, sono il *Concrete02* per il calcestruzzo, adottando il modello di Saatcioglu e Razvi precedentemente esposta, e l'*Hysteretic* per l'acciaio, per il quale si seguono in compressione il modello sperimentale di Dhakal e Maekawa.

Per semplicità di compressione viene riportato all'interno dell'Allegato 1 tutto lo script del telaio perimetrale tamponato estrapolato dall'edificio, utilizzato per la definizione del modello implementato in *OpenSees*. In questo modo è possibile osservare come sono stati definiti i materiali, le sezioni e gli elementi costituenti il modello.

Per quanto riguarda la modellazione della tamponatura, risulta importante effettuare delle considerazioni aggiuntive rispetto ai casi esaminati nei precedenti capitoli. In questo caso infatti la tamponatura risulta avere comportamenti differenti a seconda di dove si posiziona la colonna che viene rimossa. In effetti avendo a disposizione una struttura a sei campate, si avrà la tamponatura adiacente alla colonna rimossa, che risulta sottoposta a carichi verticali e che verrà quindi modellata seguendo le regole adottate per i telai tamponati precedentemente esaminati. Inoltre è presente la tamponatura restante, non adiacente alla colonna, che risulta prevalentemente sottoposta a carichi orizzontali, in quanto si oppone alla deformabilità in

direzione orizzontale dell'intero telaio. Per queste ultime viene adottato il modello a puntoni equivalenti di Di Trapani et al.(11) , il quale prevede si modellare la tamponatura soggetta a carichi orizzontali attraverso puntoni diagonali resistenti a compressione, i cui parametri meccanici e geometrici tengono conto di tutta la geometria del telaio.

Lo spessore t del puntone è uguale allo spessore effettivo del pannello di tamponatura, mentre la larghezza viene invece valutata secondo la relazione:

$$w = k^{\gamma^*} \left(\frac{h}{l} \right) \frac{c^*}{\lambda^{*\beta^*}} d \quad (5.1)$$

Dove h , l , d rappresentano l'altezza, la lunghezza e la diagonale del pannello di tamponatura, mentre k tiene conto dell'irrigidimento laterale esercitato dai carichi verticali agenti sul telaio e trasferiti al tamponamento, che può essere determinato attraverso la seguente relazione.

$$\kappa = [1 + (18\lambda^* + 200)\varepsilon_v] \quad (5.2)$$

In cui ε_v rappresenta la deformazione assiale verticale valutata sulle due colonne laterali:

$$\varepsilon_v = \frac{F_v}{2E_c A_c} \quad (5.3)$$

In cui F_v , E_c , A_c rappresentano il carico totale agente sulle colonne, il modulo elastico del calcestruzzo e la sezione della colonna.

Facendo uso della formulazione proposta da Papia et al. (2003)(12) , è possibile anche determinare il valore di λ :

$$\lambda^* = \frac{\tilde{E}_m}{E_c} \frac{th'}{A_c} \left(\frac{h'^2}{l'^2} + \frac{1}{4} \frac{A_c}{A_b} \frac{l'}{h'} \right) \quad (5.4)$$

Dove \tilde{E}_m e A_b rappresentano il modulo di Young della muratura in direzione diagonale e l'area della trave. Si inoltre considera $\tilde{E}_m = \sqrt{E_{m1} \cdot E_{m2}}$ in cui E_{m1} e E_{m2} corrispondono al modulo di Young della muratura in direzione orizzontale e verticale rispettivamente.

Il parametro γ tiene conto dell'eventuale presenza di aperture, con conseguente perdita di rigidità, e del rapporto di forma del pannello di tamponatura.

$$\gamma^* = 1 + 0.5 \frac{r}{(l/h)^4} \quad (5.5)$$

Si inserisce $r = 1$ essendo poiché la tamponatura risulta essere senza aperture.

Il coefficiente di Poisson ν , in assenza di dati, si considera pari a 0,1.

$$\begin{aligned} c^* &= 0.249 - 0.0116\nu + 0.567\nu^2 \\ \beta^* &= 0.146 - 0.0073\nu + 0.126\nu^2 \end{aligned} \quad (5.6)$$

Il modello ha dimostrato un buon accordo con i risultati sperimentali e permette di determinare in modo accurato la rigidità equivalente di ciascuna tipologia di telaio tamponato.

Per la loro modellazione in *OpenSees* è stato utilizzato il materiale *Concrete02*, il quale è stato attribuito ad elementi *truss*, i quali richiedono solamente la definizione dell'area trasversale complessiva.

In **Tabella 5-3** vengono riportati dei puntoni equivalenti sottoposti a carichi orizzontali:

<i>Compressive strength</i>	<i>\$fpc</i>	-1.8
<i>Strain at maximum strength</i>	<i>\$epsc0</i>	-0.0013
<i>Crushing strength</i>	<i>\$fpcu</i>	-0.8
<i>Ctrain at crushing strength</i>	<i>\$epscU</i>	-0.0074
<i>Ratio between unloading slope at \$epscu and initial slope</i>	<i>\$lambda</i>	0.1
<i>Tensile strength</i>	<i>\$ft</i>	0
<i>Tension softening stiffness (slope of the linear tension softening branch)</i>	<i>\$Et</i>	0
<i>Cross area [mm²]</i>		303219

Tabella 5-3. Concrete02 utilizzato per i puntoni equivalenti

Per quanto riguarda la modellazione dei pannelli di tamponatura sulle due campate adiacenti alla colonna che viene rimossa, vengono adottate esattamente stesse regole esposte in modo dettagliato all'interno del capitolo 4. Le proprietà meccaniche e geometriche vengono ricavata

a partire dalle relazioni di correlazione ricavate a partire dai casi sperimentali esposti. In particolare si è proceduto ricavando come prima cosa la posizione della cerniera plastica a partire dal grafico riportato in **Figura 4-19**. In seguito sono stati posizionati i puntoni B, che vanno dal primo piano fino all'ultimo, e dei puntoni BC, di cui si può adesso ricavare l'angolo di inclinazione. A partire da quest'ultimo, è stato ricavato il valore di resistenza di picco dei puntoni BC e il valore di base della resistenza ultima, servendosi dei grafici riportati in **Figura 4-24** e in **Figura 4-25**. Infine è stato ricavato il valore di resistenza ultima delle bielle BC, introducendo i coefficienti di correzione che tengono conto della presenza dei dettagli sismici, del numero di piani e delle dimensioni del telaio.

La disposizione dei puntoni utilizzati per la modellazione della tamponatura quando viene rimossa la colonna centrale dell'edificio viene riportata in **Figura 5-5**, dove si possono osservare sia i puntoni reagenti a carichi orizzontali sia quelli utilizzati per la modellazione della tamponatura adiacente alla colonna.

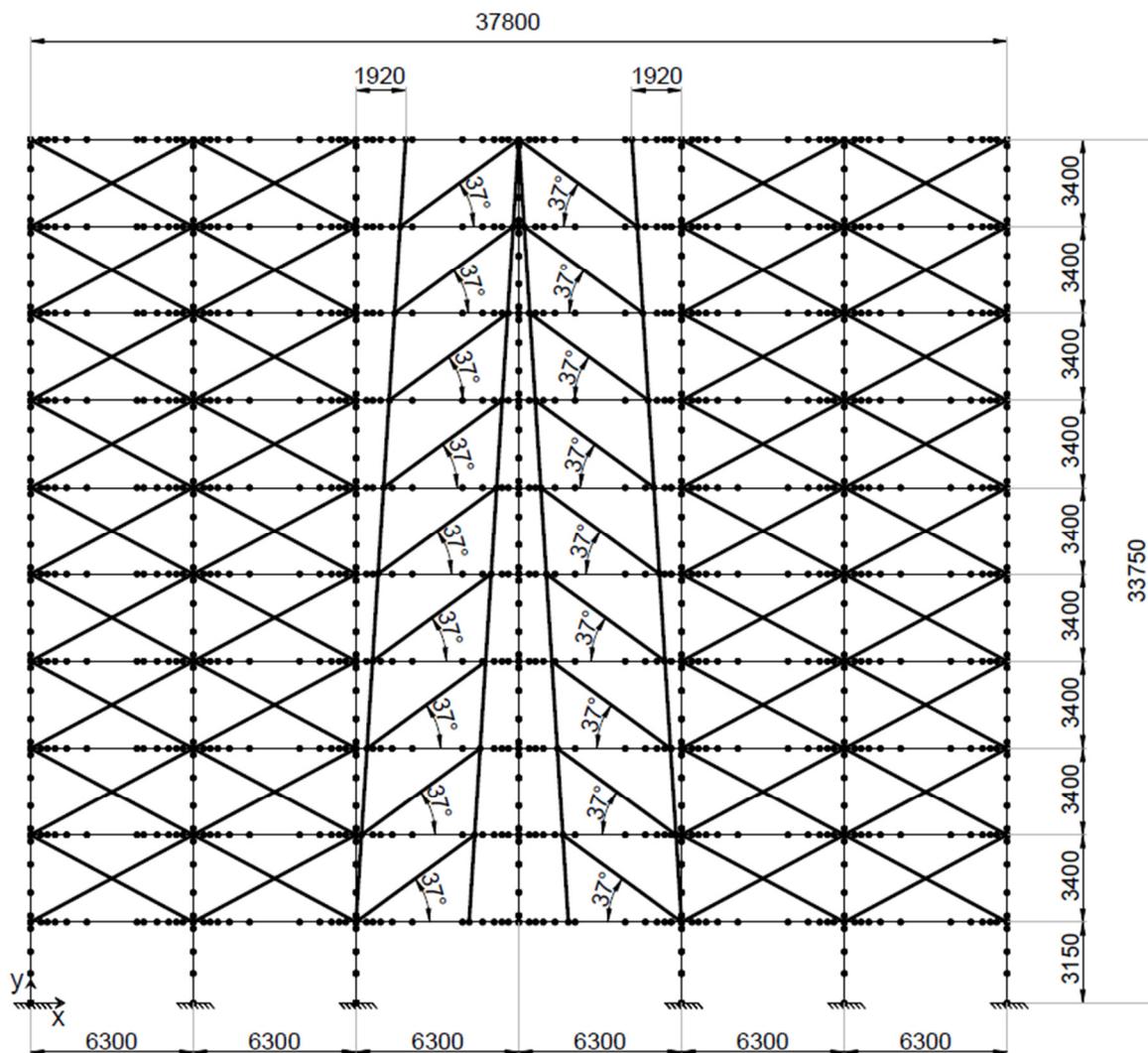


Figura 5-5. Schema statico adottato in caso di rimozione della colonna centrale dell'edificio

In **Figura 5-6** vengono invece riportate le immagini restituite dalle analisi di pushdown effettuate in *OpenSees*, in cui si può osservare la deformata che assume la struttura.

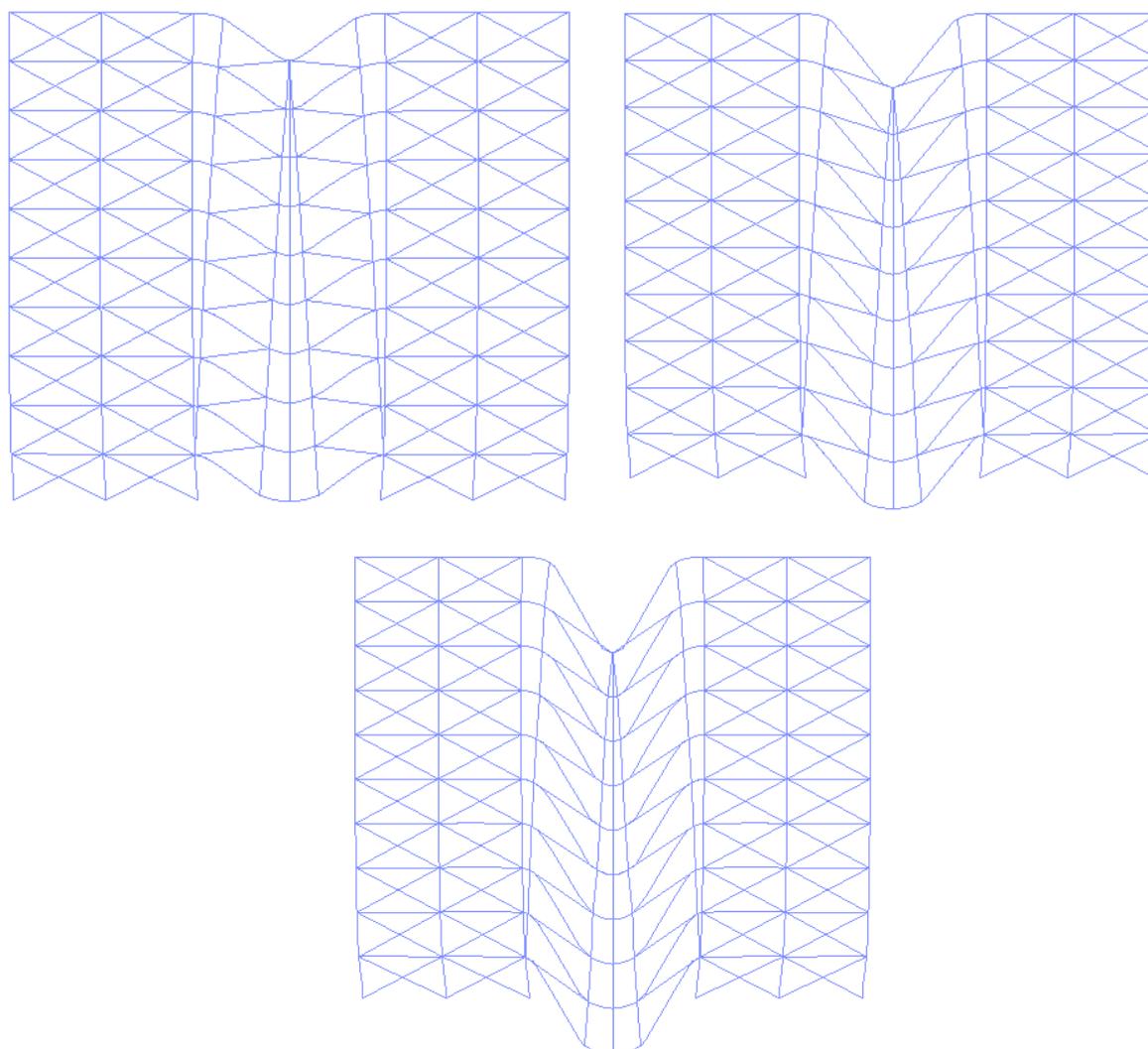


Figura 5-6. Telaio tamponato a sei campate e dieci piani - Modellazione in *OpenSees*

In questa fase è stata posta l'attenzione su diversi aspetti, come ad esempio la determinazione dell'influenza del numero di piani o quella della presenza di un numero maggiore di campate, che si porta dietro tamponatura aggiuntiva che si oppone alla deformabilità laterale del telaio.

Per questo motivo, partendo dalla struttura iniziale progettata in *Edilus*, vengono ricavati i telai con un numero di piani inferiore (in particolare sono stati considerati i telai ad uno, due, quattro, sei e otto piani) ed anche i telai a due campate. Questi ultimi prendono in considerazione le due campate adiacenti alla colonna che viene rimossa ed essi vengono analizzati sia con sia senza vincoli laterali.

Risulta quindi importante specificare che, avendo considerato telai a diversi piani a partire dall'edificio a dieci piani progettato, il valore dell'angolo di inclinazione delle bielle BC varia a seconda del caso, così come variano i coefficienti di correzione della resistenza ultima. Per

questo motivo quindi non sono stati adottati gli stessi parametri meccanici in *OpenSees* per tutti i casi considerati.

Essendo presente inoltre la tamponatura non strettamente adiacente alla colonna che viene rimossa, essa determina un contributo di vincolo laterale. Per questo motivo questo tipo di telaio è stato considerato come una via di mezzo tra un telaio vincolato e uno non vincolato lateralmente, e questo influisce sul coefficiente che tiene conto dei vincoli per la correzione della resistenza ultima.

Vengono quindi riportate le tabelle che riassumono le proprietà dei puntoni equivalenti B (**Tabella 5-4**) e BC (**Tabella 5-5 - Tabella 5-9**) per tutti i telai considerati, la cui disposizione la si può osservare in **Figura 5-7-Figura 5-10**.

<i>Compressive strength</i>	<i>\$fpc</i>	-8.66
<i>Strain at maximum strength</i>	<i>\$epsc0</i>	-0.0015
<i>Crushing strength</i>	<i>\$fpcu</i>	-2.5
<i>Ctrain at crushing strength</i>	<i>\$epscU</i>	-0.008
<i>Ratio between unloading slope at \$epscu and initial slope</i>	<i>\$lambda</i>	0.10
<i>Tensile strength</i>	<i>\$ft</i>	0
<i>Tension softening stiffness (slope of the linear tension softening branch)</i>	<i>\$Et</i>	0
<i>Cross area [mm²]</i>		310886

Tabella 5-4. Parametri meccanici e geometrici dei puntoni B

<i>Compressive strength</i>	<i>\$fpc</i>	-1.24
<i>Strain at maximum strength</i>	<i>\$epsc0</i>	-0.0018
<i>Crushing strength</i>	<i>\$fpcu</i>	-0.25
<i>Ctrain at crushing strength</i>	<i>\$epscU</i>	-0.009
<i>Ratio between unloading slope at \$epscu and initial slope</i>	<i>\$lambda</i>	0.10
<i>Tensile strength</i>	<i>\$ft</i>	0
<i>Tension softening stiffness (slope of the linear tension softening branch)</i>	<i>\$Et</i>	0
<i>Strut width w [mm]</i>		2565
<i>Cross area [mm²]</i>		769559

Tabella 5-5. Parametri meccanici e geometrici dei puntoni BC per il telaio a sei campate e a 10 piani con rimozione della colonna centrale

<i>Compressive strength</i>	<i>\$fpc</i>	-1.15
<i>Strain at maximum strength</i>	<i>\$epsco</i>	-0.0018
<i>Crushing strength</i>	<i>\$fpcu</i>	-0.23
<i>Ctrain at crushing strength</i>	<i>\$epscoU</i>	-0.009
<i>Ratio between unloading slope at \$epscoU and initial slope</i>	<i>\$lambda</i>	0.10
<i>Tensile strength</i>	<i>\$ft</i>	0
<i>Tension softening stiffness (slope of the linear tension softening branch)</i>	<i>\$Et</i>	0
<i>Strut width w [mm]</i>		2565
<i>Cross area [mm²]</i>		769559

Tabella 5-6. Parametri meccanici e geometrici dei puntoni BC per il telaio a sei campate e a 8 e 6 piani con rimozione della colonna centrale

<i>Compressive strength</i>	<i>\$fpc</i>	-0.97
<i>Strain at maximum strength</i>	<i>\$epsco</i>	-0.0018
<i>Crushing strength</i>	<i>\$fpcu</i>	-0.19
<i>Ctrain at crushing strength</i>	<i>\$epscoU</i>	-0.009
<i>Ratio between unloading slope at \$epscoU and initial slope</i>	<i>\$lambda</i>	0.10
<i>Tensile strength</i>	<i>\$ft</i>	0
<i>Tension softening stiffness (slope of the linear tension softening branch)</i>	<i>\$Et</i>	0
<i>Strut width w [mm]</i>		2565
<i>Cross area [mm²]</i>		769559

Tabella 5-7. Parametri meccanici e geometrici dei puntoni BC per il telaio a sei campate e a 4 piani con rimozione della colonna centrale

<i>Compressive strength</i>	<i>\$fpc</i>	-0.42
<i>Strain at maximum strength</i>	<i>\$epsc0</i>	-0.0018
<i>Crushing strength</i>	<i>\$fpcu</i>	-0.19
<i>Ctrain at crushing strength</i>	<i>\$epscU</i>	-0.009
<i>Ratio between unloading slope at \$epscu and initial slope</i>	<i>\$lambda</i>	0.18
<i>Tensile strength</i>	<i>\$ft</i>	0
<i>Tension softening stiffness (slope of the linear tension softening branch)</i>	<i>\$Et</i>	0
<i>Strut width w [mm]</i>		2565
<i>Cross area [mm²]</i>		769559

Tabella 5-8. Parametri meccanici e geometrici dei puntoni BC per il telaio a sei campate e a 2 piani con rimozione della colonna centrale

<i>Compressive strength</i>	<i>\$fpc</i>	-1.24
<i>Strain at maximum strength</i>	<i>\$epsc0</i>	-0.0018
<i>Crushing strength</i>	<i>\$fpcu</i>	-0.25
<i>Ctrain at crushing strength</i>	<i>\$epscU</i>	-0.009
<i>Ratio between unloading slope at \$epscu and initial slope</i>	<i>\$lambda</i>	0.18
<i>Tensile strength</i>	<i>\$ft</i>	0
<i>Tension softening stiffness (slope of the linear tension softening branch)</i>	<i>\$Et</i>	0
<i>Strut width w [mm]</i>		2565
<i>Cross area [mm²]</i>		769559

Tabella 5-9. Parametri meccanici e geometrici dei puntoni BC per il telaio a sei campate e a 10 piani con rimozione della colonna centrale

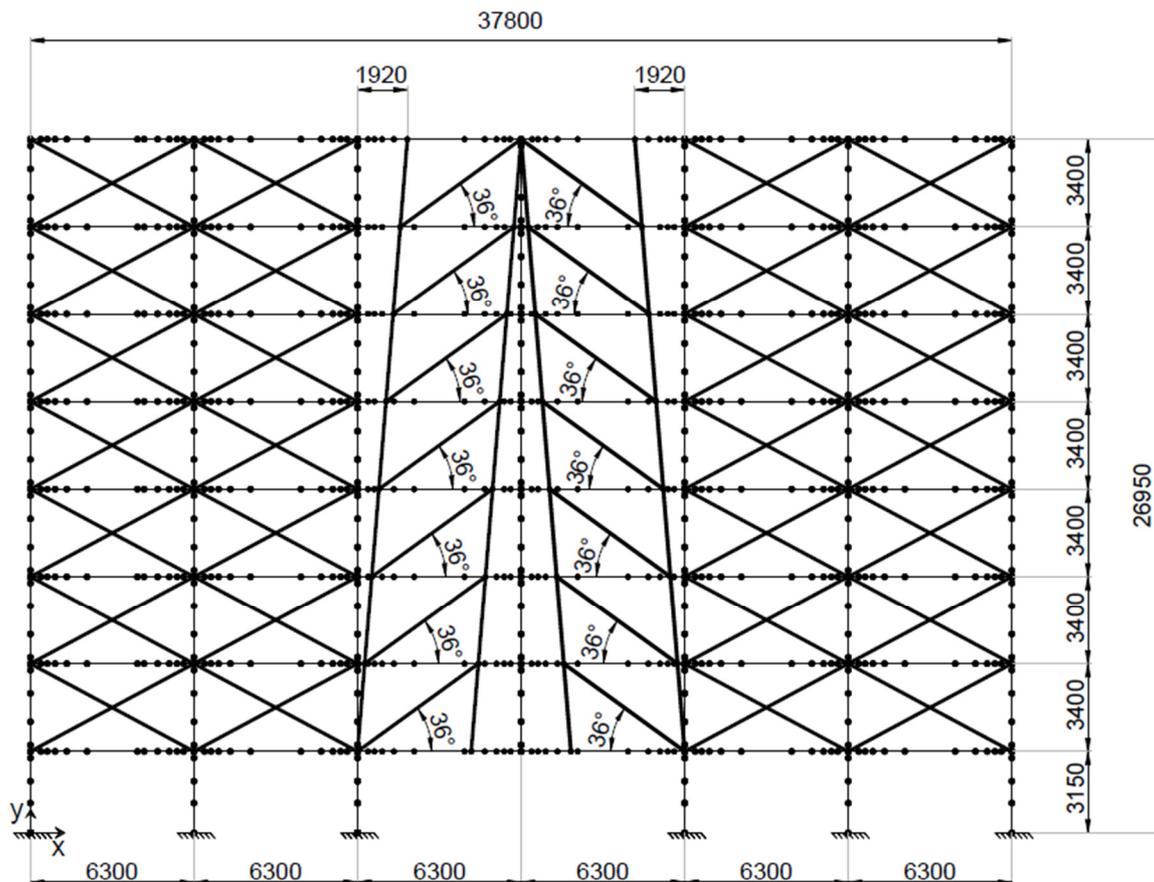


Figura 5-7. Schema statico adottato per l'edificio a otto piani e sei campate

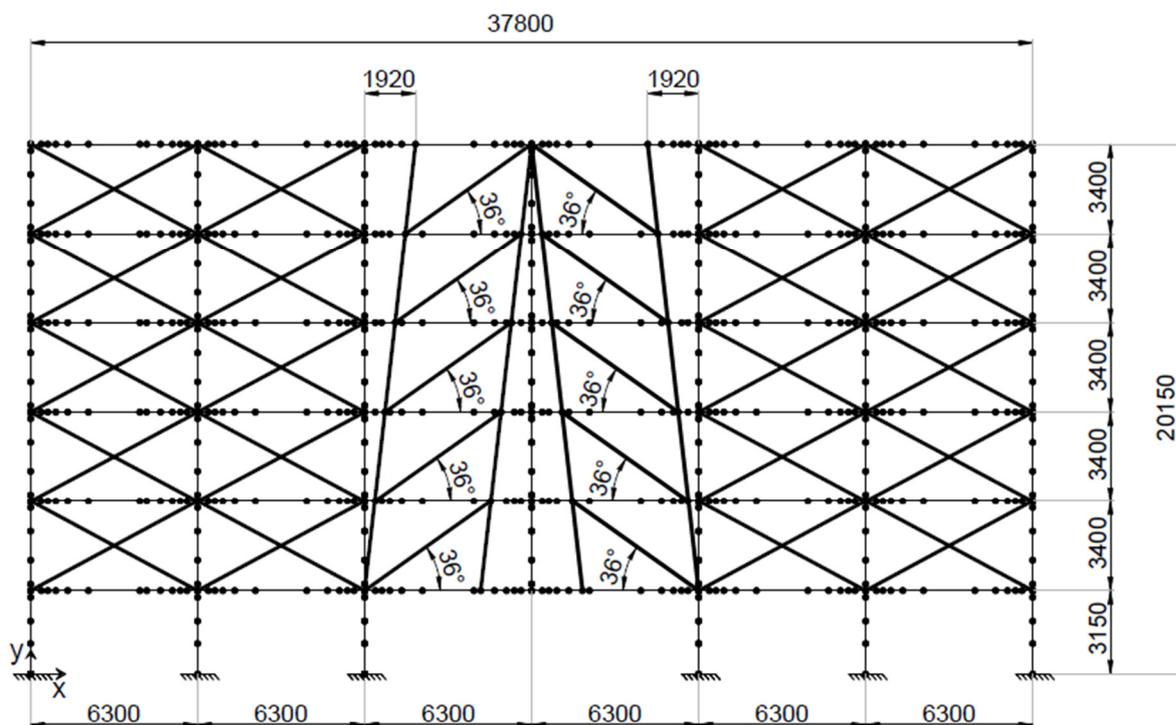


Figura 5-8. Schema statico adottato per l'edificio a sei piani e sei campate

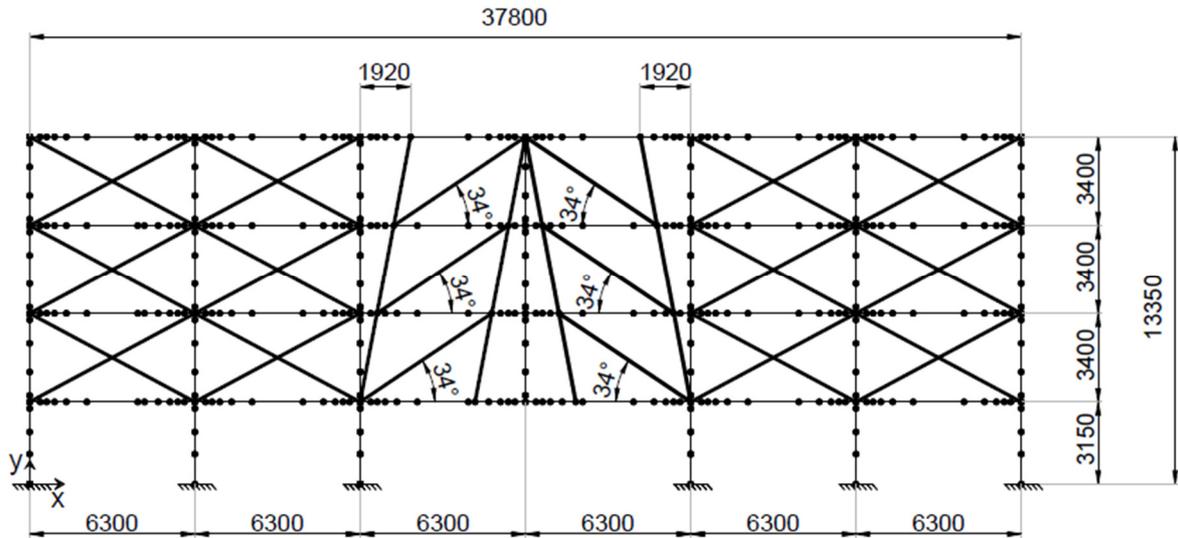


Figura 5-9.Schema statico adottato per l'edificio a quattro piani e sei campate

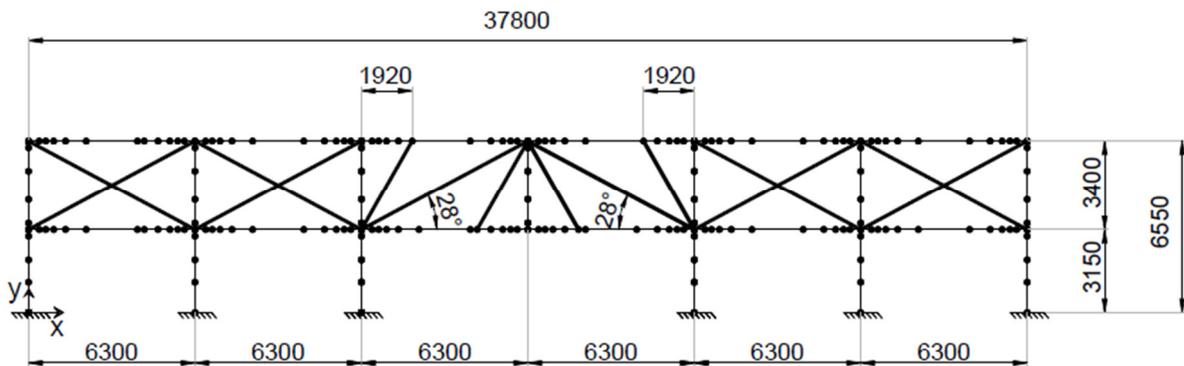


Figura 5-10.Schema statico adottato per l'edificio a due piani e sei campate

Per quanto riguarda i puntoni BC dei telai a due campate, è importante specificare che esse assumono le stesse proprietà meccaniche dei telai a 6 campate, con una leggera variazione della resistenza ultima dovuta al coefficiente di correzione che tiene conto dei vincoli laterali. Questo succede in quanto sono stati considerati i telai a due campate con e senza vincoli laterali, al fine di determinare quale sia il contributo di vincolo alla deformabilità laterale della tamponatura. Vengono di seguito riportati gli schemi statici adottati per i telai a due campate e dieci piani. Tutti gli altri telai vengono ricavati a partire a questi rimuovendo man mano i piani che li compongono.

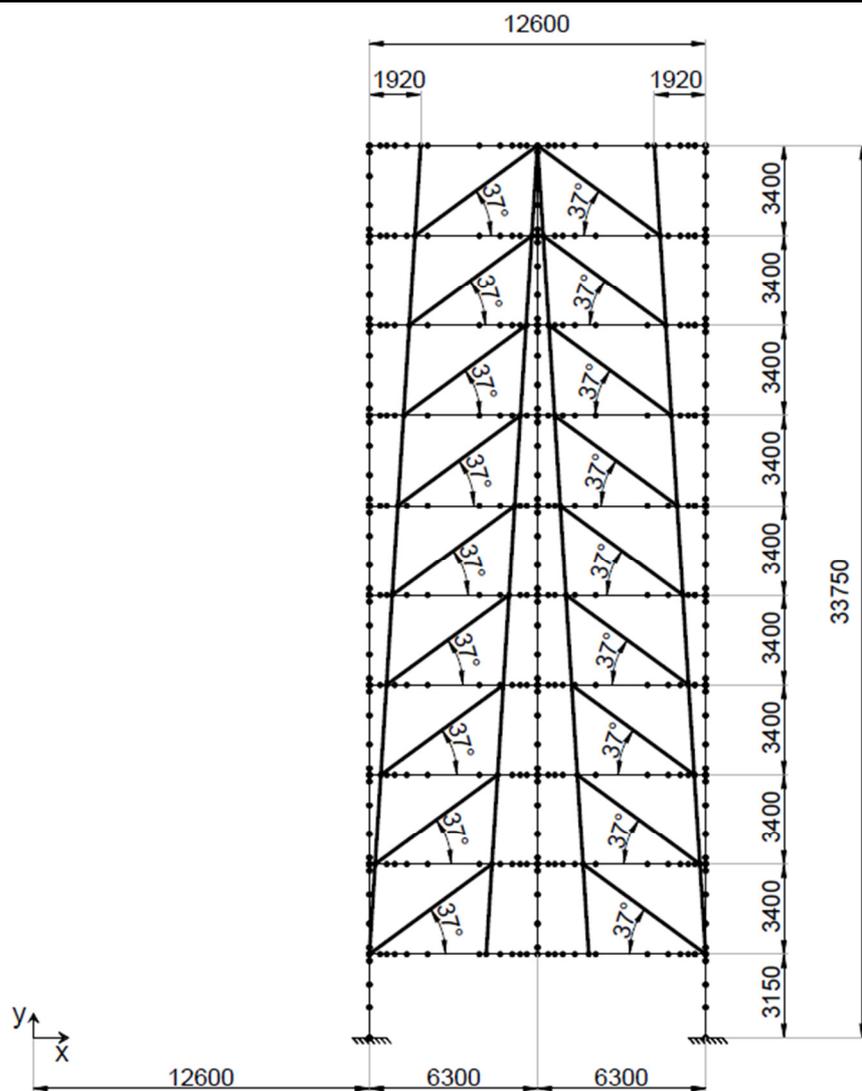


Figura 5-11. Schema statico adottato per il telaio a due campate non vincolato lateralmente

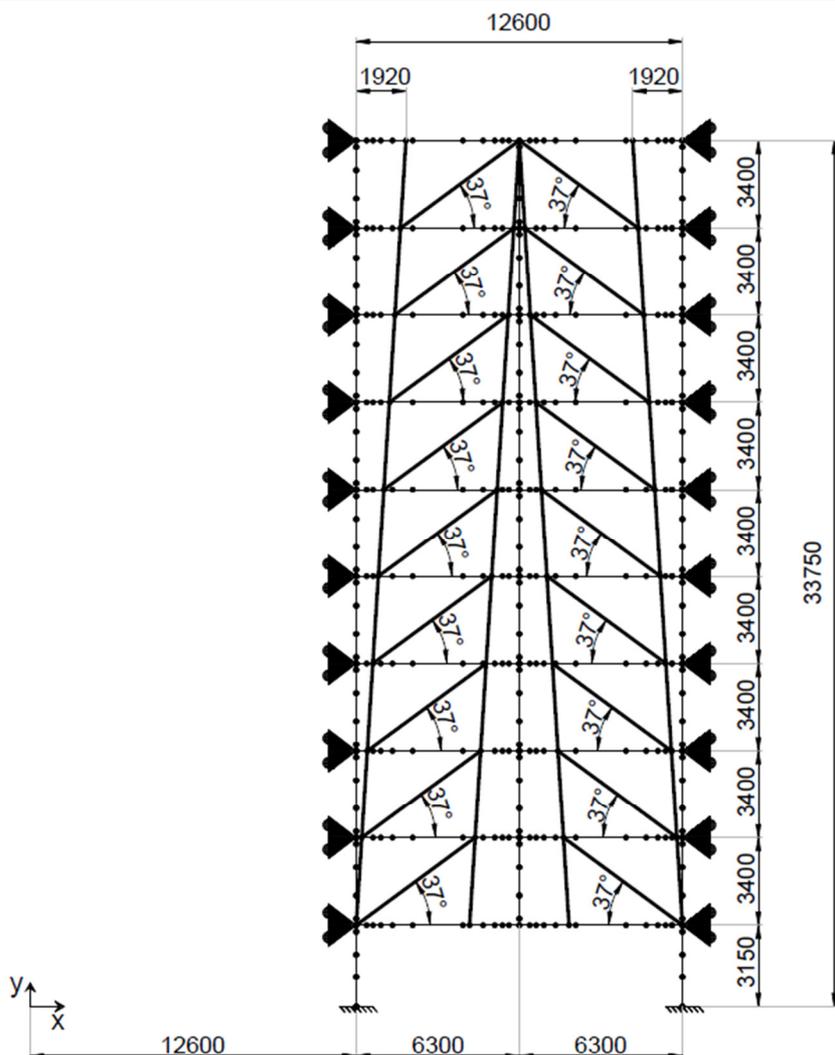


Figura 5-12. Schema statico adottato per il telaio a due campate vincolato lateralmente

Infine è stata condotta la modellazione del telaio a sei campate e a dieci piani nel caso di rimozione della colonna di bordo. Questo risulta essere un caso molto gravoso per la stabilità della struttura. La modellazione della tamponatura avviene seguendo gli stessi criteri adottati in precedenza, con la differenza che verranno considerate solamente due puntoni BC che attraversano l'intero telaio, in quanto la colonna di pannelli adiacente la colonna risulta essere singola in questo caso. Nella **Figura 5-13** si può osservare la disposizione dei puntoni utilizzati.

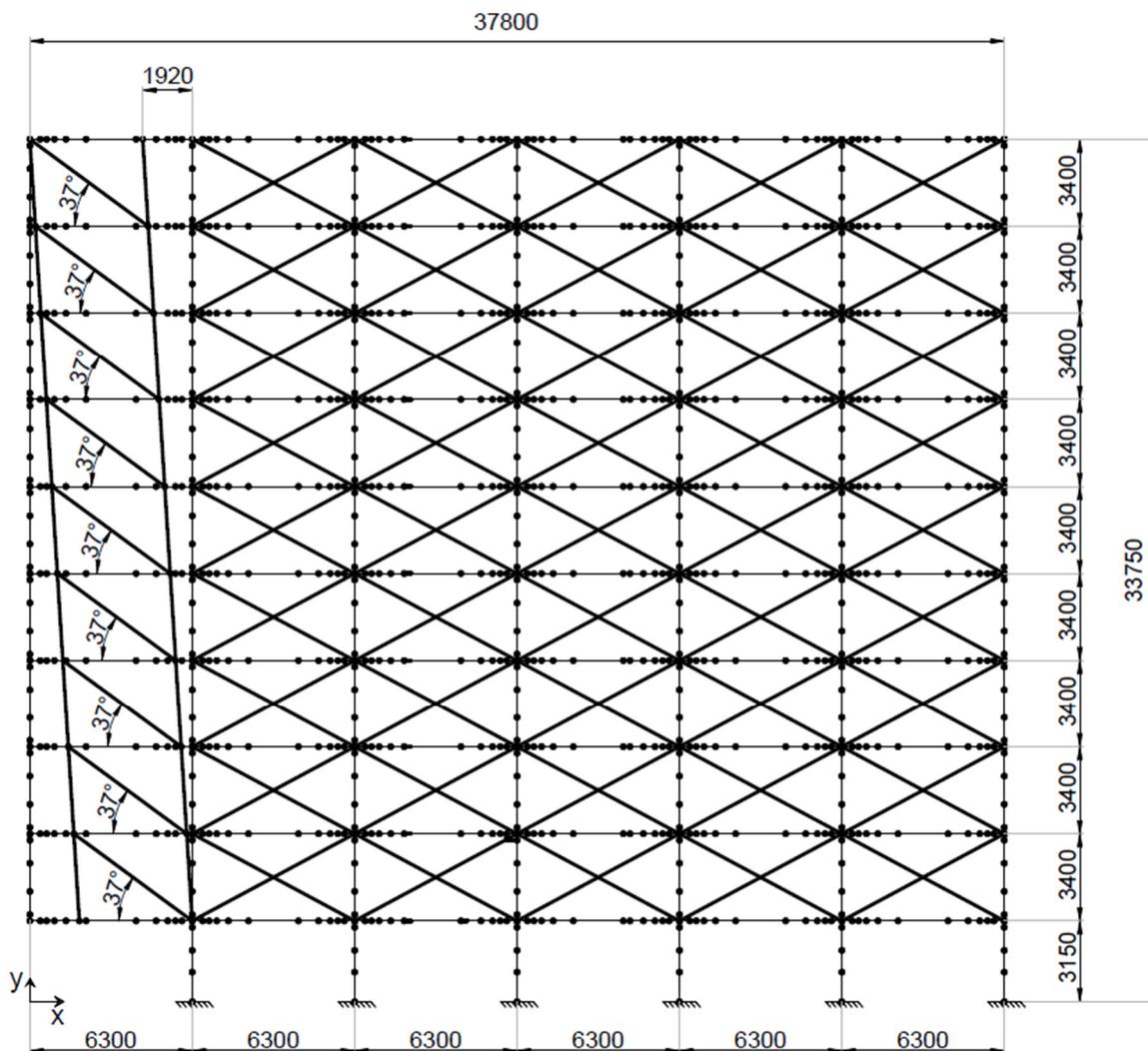


Figura 5-13. Schema statico adottato nel caso di rimozione della colonna di bordo

Di seguito viene riportata (**Figura 5-14**) la deformata che la struttura assume man mano che l'analisi di pushdown prosegue. Come si può osservare la struttura si deforma in maniera rilevante verso l'esterno, nonostante siano presenti altre cinque campate dell'edificio che si oppongono a questo spostamento.

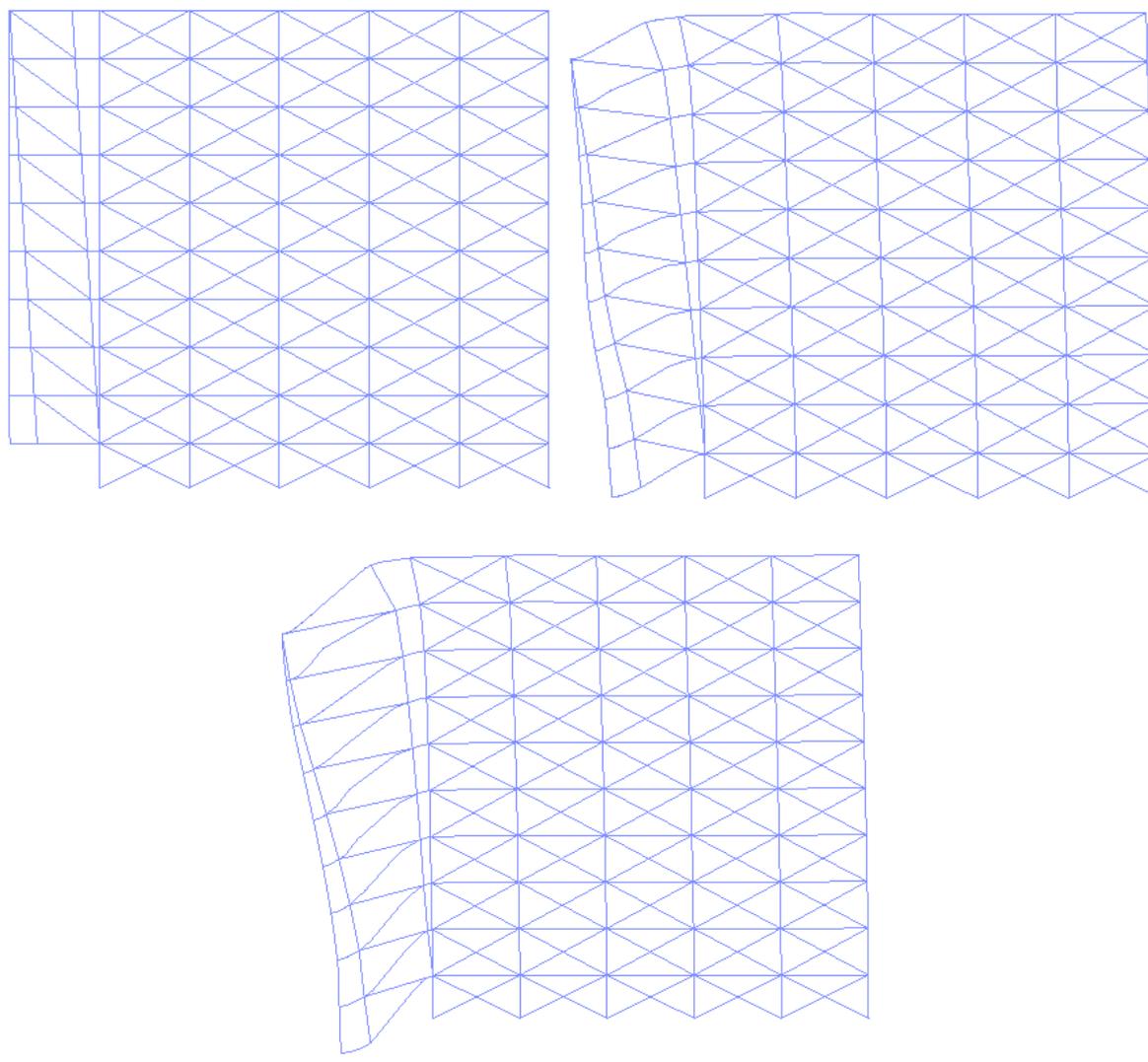


Figura 5-14. Deformata della struttura durante il test di pushdown

5.3 Confronto dei risultati

5.3.1 Valutazione dell'influenza del numero di piani

Vengono di seguito riportati i diagrammi ricavati dalle analisi condotte sui diversi tipi di telai, al fine di mettere in risalto l'influenza del numero di piano sulla capacità portante della struttura. In questo senso sono state condotte le prove di pushdown sia sui telai tamponati sia su quelli non tamponati, al fine di osservarne la differenza in termini di resistenza.

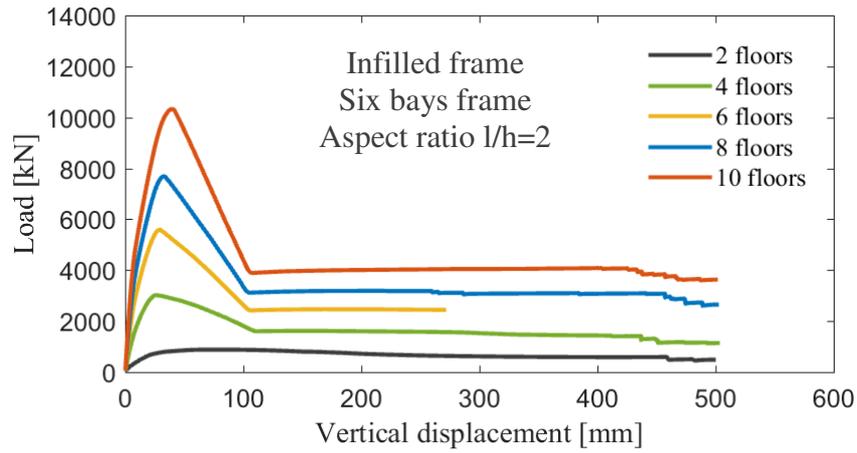


Figura 5-15. Telaio tamponato a sei campate con dettagli sismici senza vincoli laterali

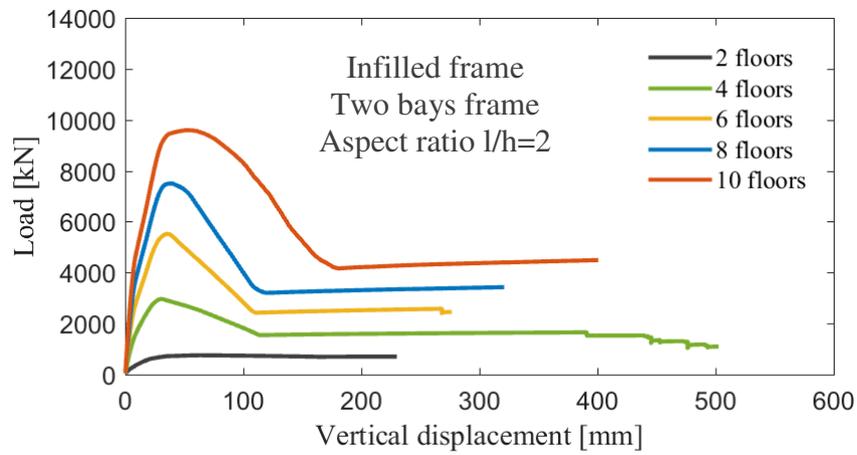


Figura 5-16. Telaio tamponato a due campate con dettagli sismici senza vincoli laterali

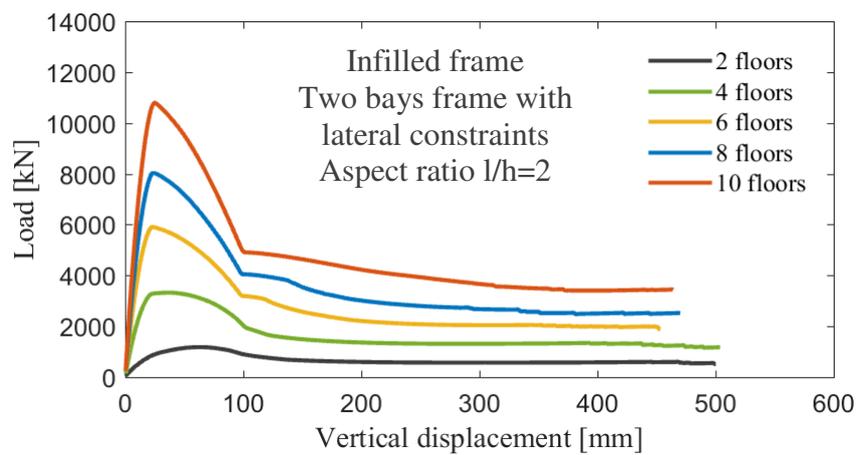


Figura 5-17. Telaio tamponato a due campate con dettagli sismici con vincoli laterali

Come si può osservare da questi primi diagrammi (**Figura 5-15-Figura 5-16-Figura 5-17**) il numero dei piani assume un'influenza rilevante sulla capacità portante dei telai tamponati. In particolare si ottengono curve che assumono approssimativamente lo stesso andamento, con la differenza che la resistenza di picco e la resistenza ultima del sistema cresce all'aumentare del numero dei piani sia nei telai a due campate sia in quelli a 6 campate.

Per quanto riguarda invece l'influenza della tamponatura sulla deformabilità del telaio, si può osservare come essa risulti non del tutto trascurabile. La presenza dei vincoli laterali e, in minore parte, la presenza dei pannelli di tamponatura sulle campate non interessate dalla rimozione della colonna, determinano una leggera variazione delle curve di capacità dei telai.

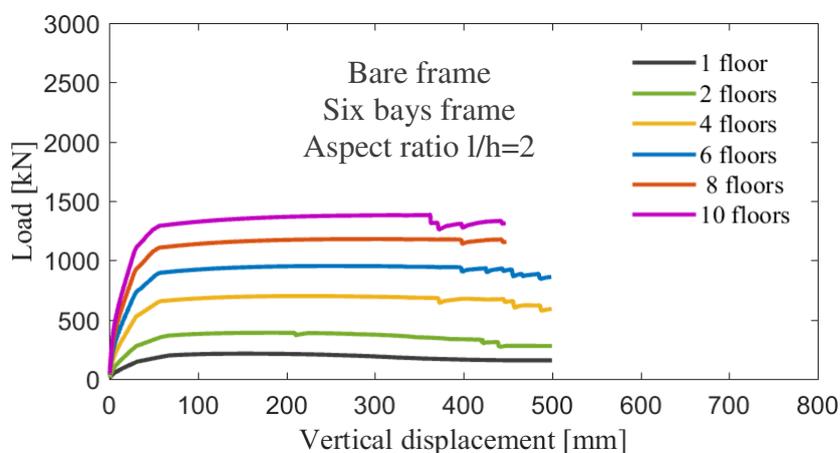


Figura 5-18. Telaio non tamponato a sei campate con dettagli sismici senza vincoli laterali:
Influenza del numero di piani

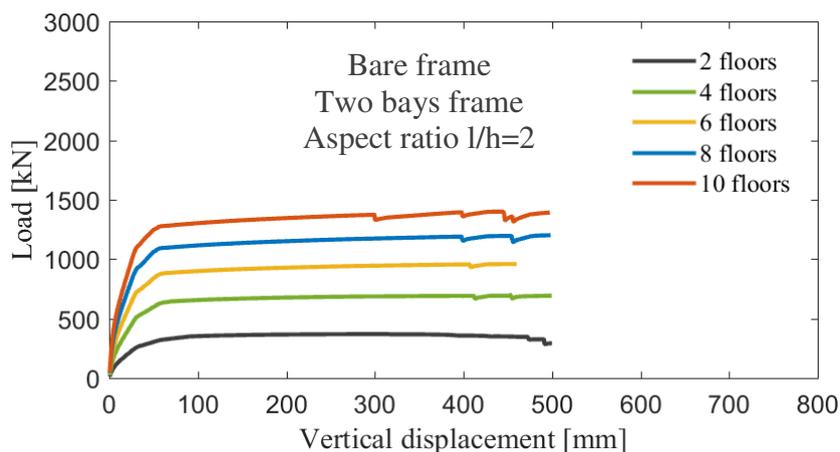


Figura 5-19. Telaio non tamponato a due campate con dettagli sismici senza vincoli laterali:
Influenza del numero di piani

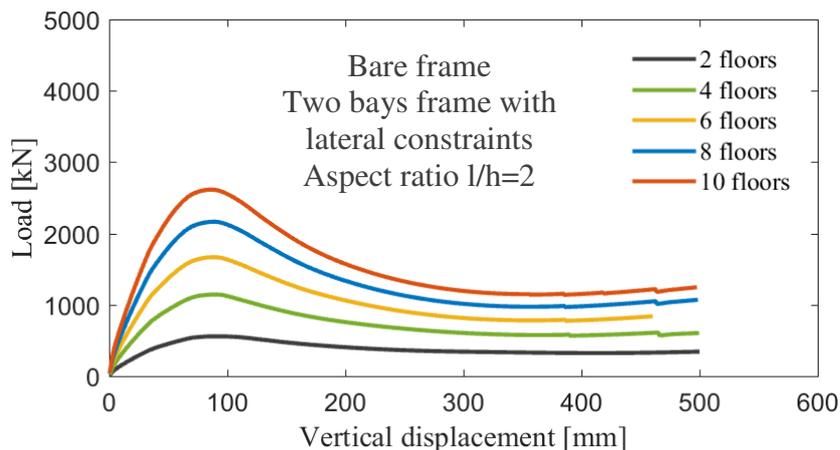


Figura 5-20. Telaio non tamponato a due campate con dettagli sismici con vincoli laterali:
Influenza del numero di piani

Le stesse considerazioni fatte per il telaio tamponati possono essere applicate al telaio non tamponato (**Figura 5-18-Figura 5-19-Figura 5-20**). In questo secondo caso tuttavia risulta più marcata l'influenza dei vincoli laterali e si può osservare come essi portino anche ad un aumento della capacità portante del telaio in calcestruzzo armato.

È possibile inoltre osservare come la presenza della tamponatura determini un rilevante incremento in termini di capacità portante del sistema, presentando un picco iniziale nelle curve di pushdown, che rappresenta un maggiore valore del carico di plasticizzazione. Poiché le curve di pushdown ricavate rappresentano la capacità dei telai, ciò vuol dire che la domanda di resistenza andrà confrontata con esse al fine di determinare se il telaio è in grado di salvarsi, rimanendo eventualmente nel tratto elastico della curva di capacità.

Le considerazioni effettuate sull'influenza del numero dei piani vengono riassunte attraverso il diagramma riportato in **Figura 5-21**, in cui vengono riportate le resistenze di picco dei sistemi tamponati e non tamponati. Le due curve partono dallo stesso punto, il quale rappresenta il telaio ad un piano, che non prevede la presenza di nessun pannello di tamponatura, per poi assumere andamenti differenti, potendo così osservare l'influenza della tamponatura in muratura sulla capacità portante dei sistemi.

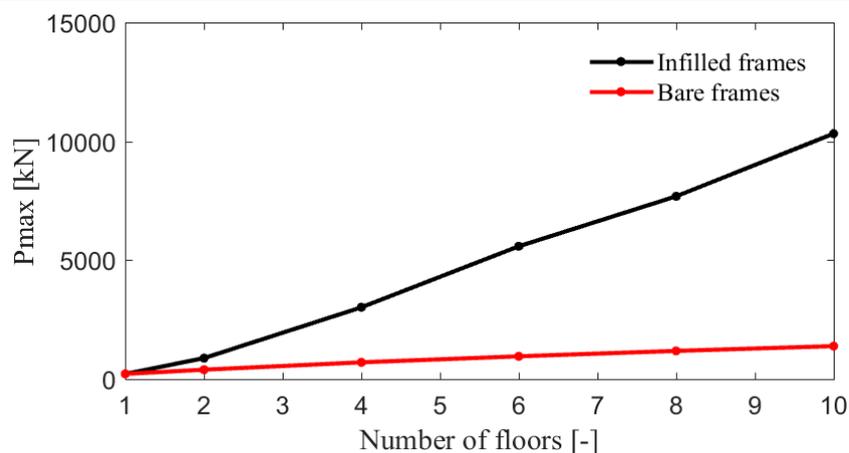


Figura 5-21. Influenza del numero di piani sulla capacità di resistenza del telaio a sei campate

Al fine di poter individuare il valore dell'incremento di resistenza che si ottiene aggiungendo la tamponatura perimetrale, viene riportato in **Figura 5-22** il diagramma che riporta tale andamento.

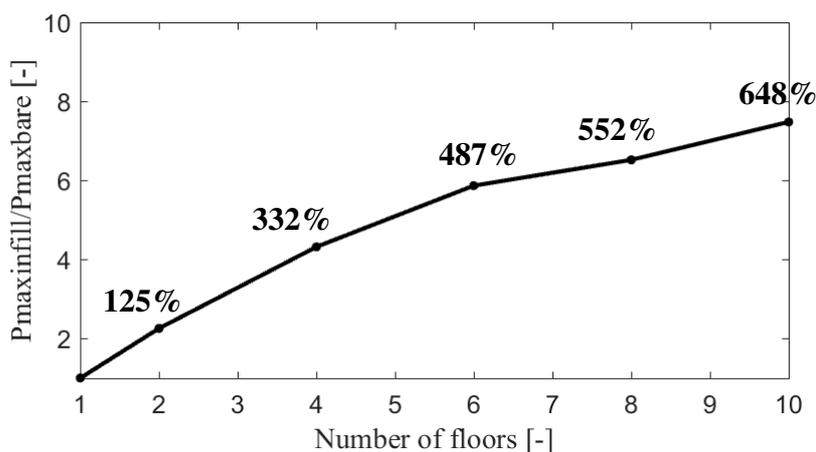


Figura 5-22. Incremento di capacità portante dovuto alla presenza della tamponatura del telaio a sei campate

5.3.2 Influenza della posizione della colonna rimossa

Sono state infine effettuate le analisi di pushdown sui telai tamponati a dieci piani e a sei campate, in cui è stata rimossa la colonna di bordo (1° colonna), al fine di effettuare un confronto con il caso di rimozione della colonna centrale.

Come si può osservare dal diagramma riportato (**Figura 5-23**), la condizione più gravosa sulla resistenza del telaio la si può osservare nella condizione di rimozione della colonna di bordo, in cui si osserva un dimezzamento della resistenza del sistema.

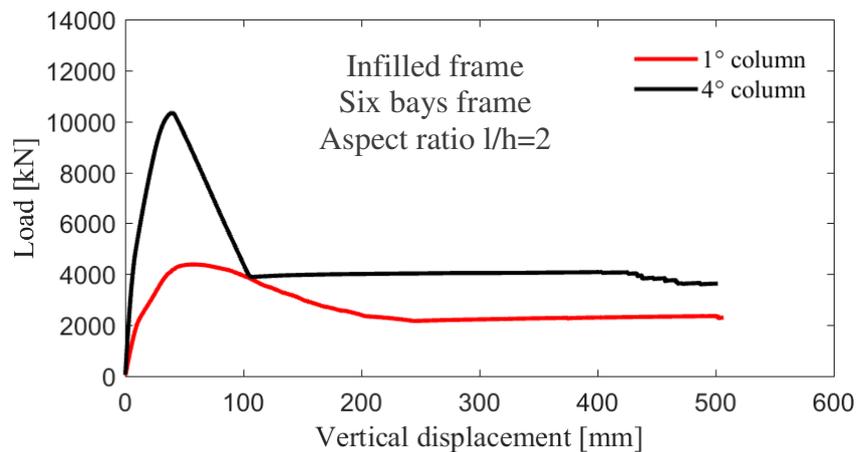


Figura 5-23. Telaio tamponato a sei campate con dettagli sismici senza vincoli laterali:
Influenza della posizione della colonna rimossa

Al fine di poter verificare tutte le informazioni riportate all'interno del presente capitolo viene riportato all'interno dell'Allegato 1 il codice del modello dell'edificio.

Capitolo 6. Analisi dinamiche con rimozione istantanea del pilastro

Le analisi effettuate fino a questo punto hanno portato alla determinazione della capacità dei telai tamponati, senza prendere in considerazione gli aspetti dinamici del problema. Questo è avvenuto mediante i test di pushdown eseguiti in *OpenSees*, in cui vengono applicati staticamente incrementi di forza all'aumentare dello spostamento verticale del telaio. Ciò che restituisce questo tipo di analisi è la curva di capacità dell'intero sistema.

Tuttavia il problema della robustezza strutturale si porta dietro la questione legata agli effetti dinamici che si vengono a generare una volta rimosso un elemento del telaio. Di conseguenza la domanda di resistenza reale dei telai può essere valutata solamente simulando la rimozione istantanea dell'elemento strutturale ed in questo modo è possibile osservare se il sistema è in grado di raggiungere un nuovo stato di equilibrio oppure se va incontro al collasso. Questo è possibile farlo effettuando un confronto tra il carico atteso staticamente ed il carico richiesto derivante dalle analisi dinamiche.

6.1 Analisi dinamiche mediante *OpenSees*

Il software di calcolo *OpenSees* permette di effettuare un'analisi dinamica della struttura in seguito alla rimozione istantanea della colonna, simulando quindi un evento accidentale. Per rimuovere un elemento strutturale è possibile utilizzare il *remove comand*, il quale richiede di indicare un elemento della colonna che viene eliminato dal modello. In seguito a questo, viene effettuata un'analisi *time history* del sistema, indicando un vettore di accelerazioni nulle.

In questa fase si osserva l'oscillazione della struttura nel tempo solamente nel caso in cui essa non vada incontro al collasso, altrimenti il sistema diverge, con spostamenti che aumentano via via nel tempo.

Poiché viene fatta un'analisi dinamica della struttura, è richiesto che vengano assegnate le masse ad ogni nodo trave-pilastro, utilizzando il comando *mass*. Ciò lo si fa andando a considerare tutti i carichi agenti sul telaio che viene preso in considerazione, applicando il metodo delle aree di influenza per poter ricavare il carico al metro lineare agente su ogni trave di ogni piano. A questo punto vengono calcolate le masse da attribuire ad ogni nodo in $N \cdot$

s^2/mm , con l'accortezza di considerare infine il valore di massa dimezzato in quanto esse vengono calcolate a partire da carichi distribuiti sulla struttura.

Oltre ad attribuire le masse ai nodi trave-colonna, vengono inoltre assegnati i carichi distribuiti agenti, attraverso il comando *eleLoad*, il quale richiede di indicare tutti gli elementi da caricare, il tipo di carico, che in questo caso risulta essere *beamUniform*, ed infine il valore del carico.

Una volta avviata l'analisi dinamica della struttura, viene inizialmente applicato il carico sulla struttura in dieci step successivi, alla fine dei quali viene rimosso l'elemento e vengono registrate le oscillazioni della struttura e le reazioni alla base nel tempo.

Al termine dell'analisi dinamica è possibile determinare la curva di richiesta di resistenza della struttura, la quale può essere raffrontata con quella di pushdown ricavata in precedenza. Da questo confronto è possibile dedurre se il sistema risulta in grado di salvarsi in seguito all'azione accidentale di rimozione della colonna oppure va incontro al collasso. Questo tipo di analisi sono state condotte sia sui telai tamponati sia non tamponati, rimuovendo sia la colonna centrale che quella di bordo. Di seguito vengono quindi riportati questi diagrammi, insieme a quelli che riportano la variazione nel tempo dello spostamento verticale e della reazione verticale alla base (**Figura 6-1-Figura 6-12**).

6.1.1 Analisi dinamiche con rimozione della colonna centrale

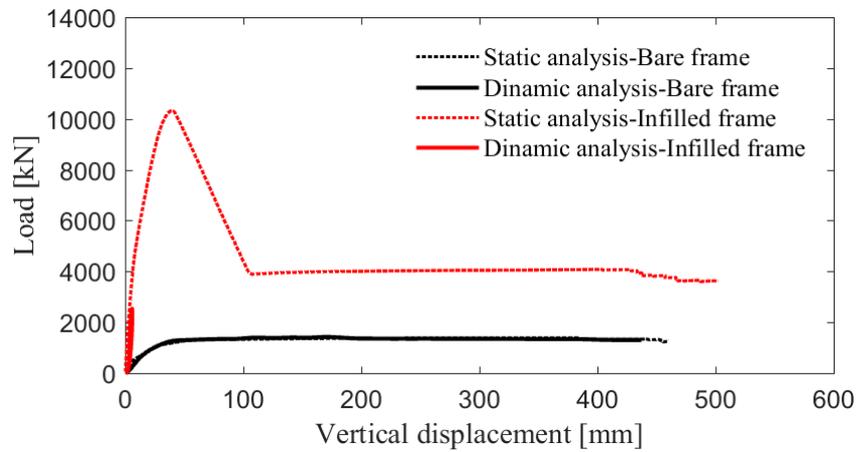


Figura 6-1.Analisi statiche e dinamiche dei telai con tamponamento e senza tamponamento

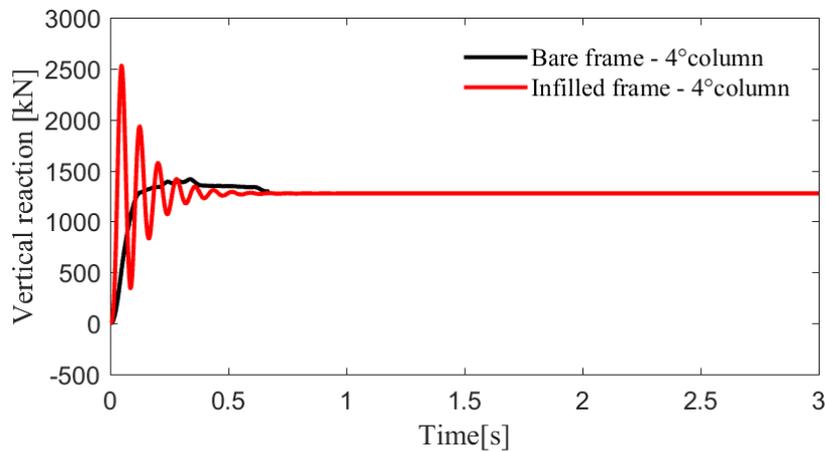


Figura 6-2.Reazione verticale nel tempo dei telai con tamponamento e senza tamponamento

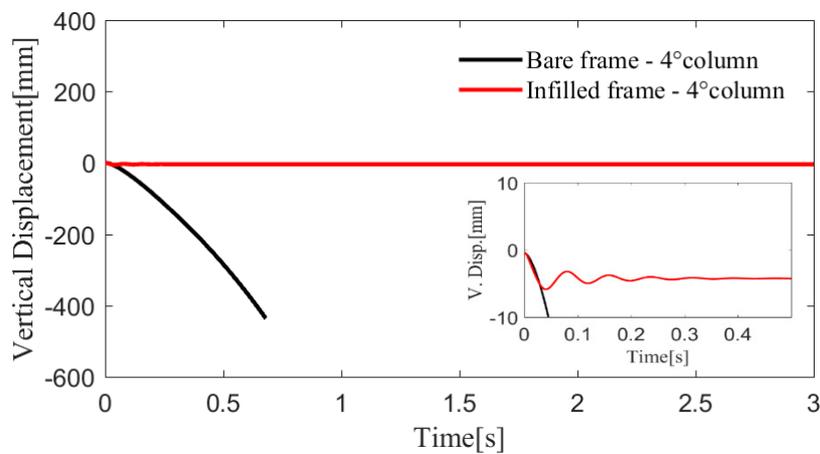


Figura 6-3. Spostamento verticale nel tempo dei telai con tamponamento e senza tamponamento

6.1.2 Analisi dinamiche con rimozione della colonna di bordo

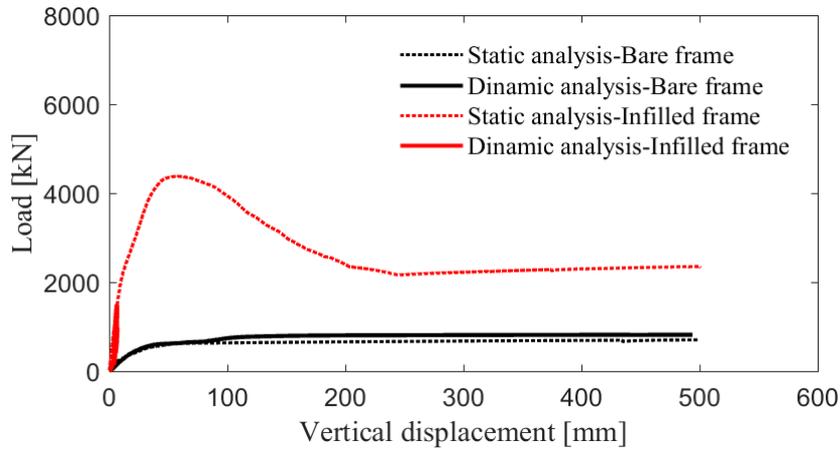


Figura 6-4.Analisi statiche e dinamiche dei telai con tamponamento e senza tamponamento

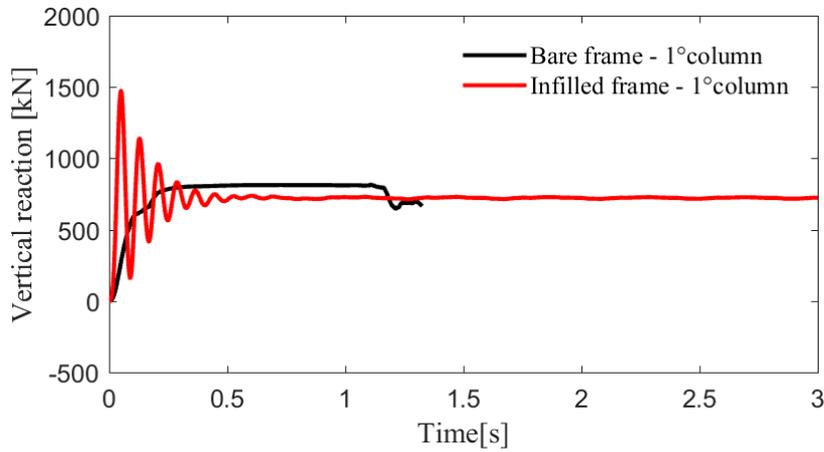


Figura 6-5. Reazione verticale nel tempo dei telai con tamponamento e senza tamponamento

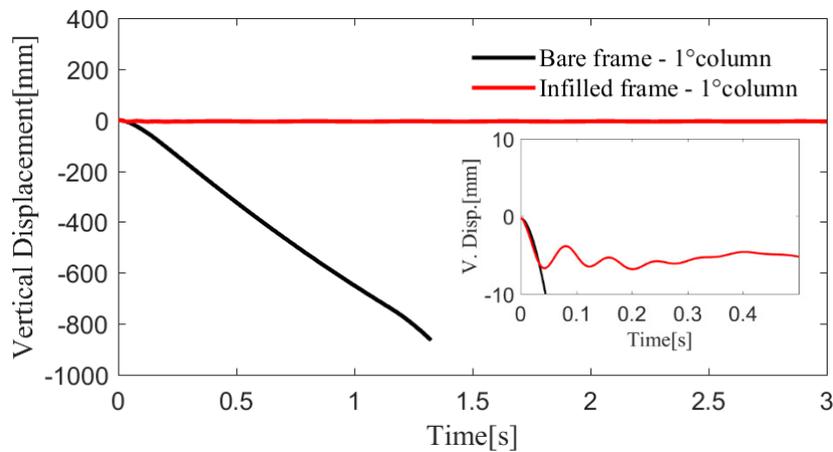


Figura 6-6.Spostamento verticale nel tempo dei telai con tamponamento e senza tamponamento

6.1.3 Influenza della posizione della colonna rimossa

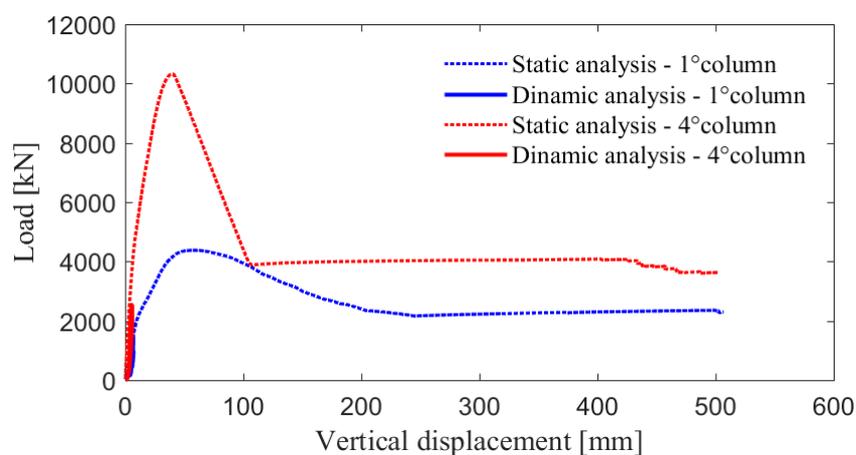


Figura 6-7.Analisi statiche e dinamiche con rimozione della colonna di bordo e della colonna centrale del telaio con tamponamento

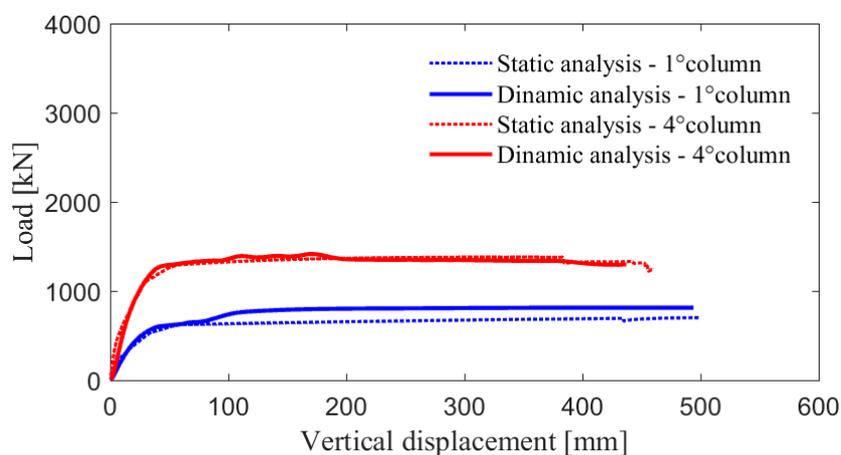


Figura 6-8.Analisi statiche e dinamiche con rimozione della colonna di bordo e della colonna centrale del telaio senza tamponamento

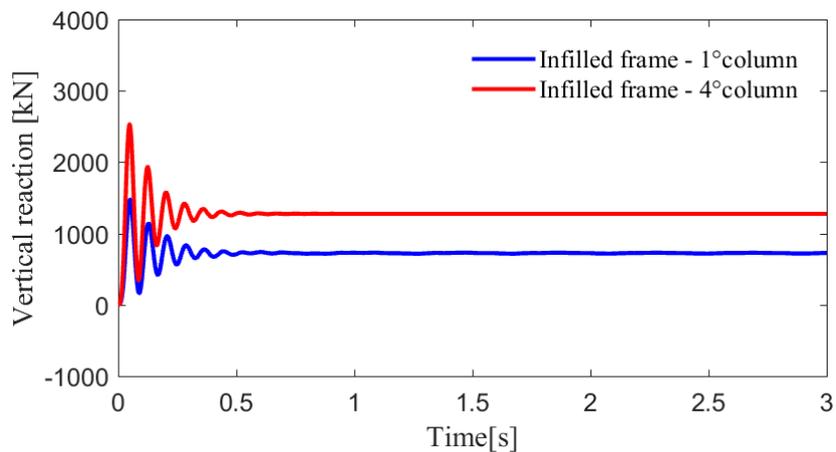


Figura 6-9. Andamento della reazione verticale nel tempo del telaio con tamponamento con rimozione della colonna di bordo e della colonna centrale

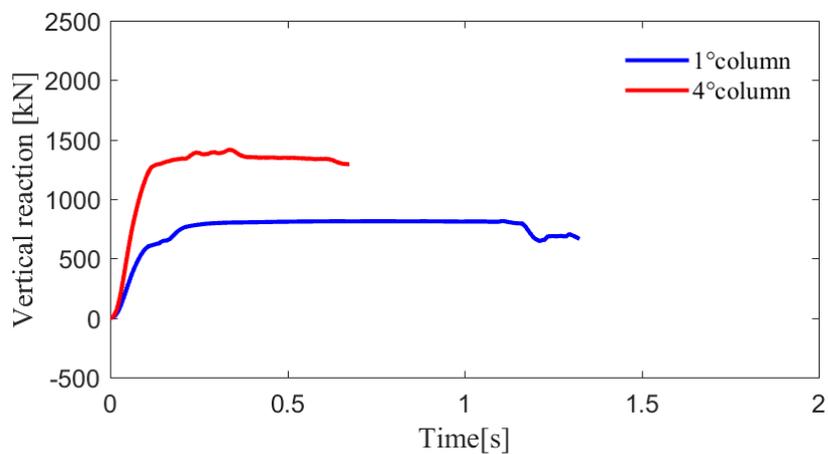


Figura 6-10. Andamento della reazione verticale nel tempo del telaio senza tamponamento con rimozione della colonna di bordo e della colonna centrale

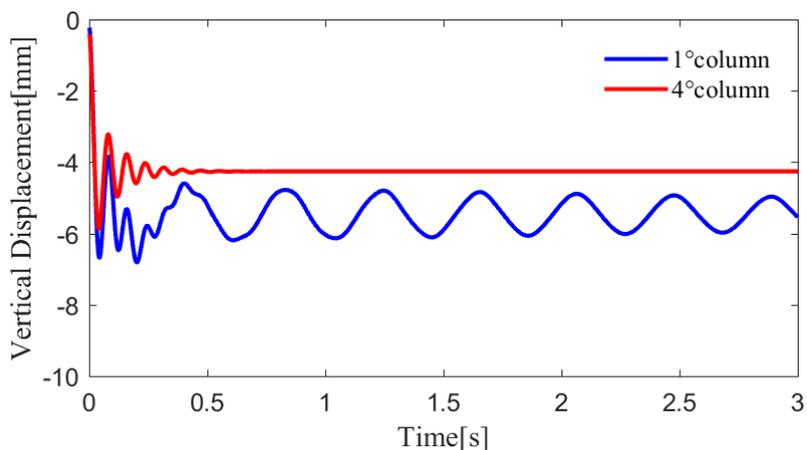


Figura 6-11. Andamento dello spostamento verticale nel tempo del telaio con tamponamento con rimozione della colonna di bordo e della colonna centrale

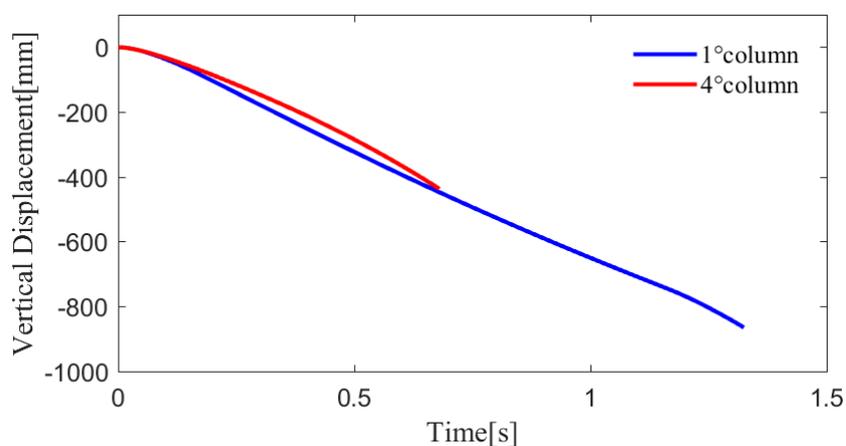


Figura 6-12. Andamento dello spostamento verticale nel tempo del telaio senza tamponamento con rimozione della colonna di bordo e della colonna centrale

6.2 Confronto dei risultati

Come si può osservare dai diagrammi riportati, i telai con tamponatura in muratura mostrano una maggiore capacità rispetto a quelli non tamponati. Questo lo si può osservare andando a confrontare la curva pushdown con la richiesta di resistenza che ne deriva dalle prove dinamiche. Risulta infatti che la curva dinamica rimane nel tratto elastico della curva di pushdown, senza che il sistema tamponato arrivi alla plasticizzazione. Di conseguenza, sia nel caso di rimozione della colonna centrale sia in quello di rimozione della colonna di bordo si può osservare come il telaio riesca a ridistribuire i carichi in maniera adeguata. Osservando inoltre i diagrammi della variazione della reazione verticale alla base nel tempo, si può notare

come il sistema oscilli inizialmente, per andare infine ad assestarsi attorno ad un valore di carico che corrisponde al valore del carico statico. Ciò che succede dal punto di vista fisico all'interno del sistema, è un aumento della reazione verticale alla base delle colonne che non vengono rimosse. Questo fenomeno è dovuto proprio alla rimozione istantanea della colonna centrale o di bordo, che risultava quindi inizialmente interessata da un certo valore di carico, il quale va a ridistribuirsi tra le colonne rimanenti.

Le stesse osservazioni non possono essere fatte per i telai non tamponati. Risulta infatti che la curva dinamica, sia nel caso di rimozione della colonna centrale sia in quello di rimozione della colonna di bordo, ripercorra tutta la curva di pushdown. Questo significa che il sistema supera il tratto elastico, per andare incontro alla plasticizzazione arrivando infine al collasso. Questo fenomeno può essere osservato anche all'interno dei grafici riguardanti la variazione di spostamento verticale nel tempo. Il sistema infatti raggiunge grandi valori di spostamento e, la curva di variazione, anziché oscillare inizialmente per andare a stabilizzarsi, diverge.

A partire da queste prove dinamiche si possono fare differenti osservazioni riguardo all'influenza della tamponatura in muratura sui telai in calcestruzzo armato. Risulta notevole l'aumento della capacità portante dei sistemi tamponati e questo è stato possibile osservarlo già a partire dalle curve di pushdown. Attraverso le prove dinamiche si è potuto osservare come un'azione istantanea, come la rimozione di una colonna, possa essere contenuta, permettendo così di salvare la struttura. Ciò risulta essere fondamentale dal punto di vista della robustezza, in quanto si è osservato come l'introduzione della tamponatura perimetrale garantisca rilevanti margini di capacità portante.

Conclusioni

Il lavoro effettuato in questa tesi ha permesso di identificare un metodo di modellazione delle strutture in calcestruzzo armato soggette a collasso progressivo quando viene rimosso un elemento strutturale primario, come ad esempio una colonna. Per questo motivo sono stati presi in considerazione studi sperimentali e numerici effettuati su campioni in c.a., di cui è stata individuata la curva di pushdown, al fine di determinare un metodo di modellazione degli stessi che permettesse di riproporre il comportamento in maniera via via più precisa. Ciò è avvenuto inizialmente per via iterativa, utilizzando il software per la modellazione a fibre *OpenSees*, attraverso il quale è stato possibile considerare alcune delle non linearità caratterizzanti il problema.

In questa tesi è stata inoltre indagata l'influenza del tamponamento in muratura sulle strutture intelaiate in calcestruzzo armato e questo è stato fatto attraverso una macro-modellazione della tamponatura stessa attraverso puntoni equivalenti. Questa scelta è stata dettata dall'osservazione del quadro fessurativo di una serie di telai tamponati sottoposti a collasso progressivo. È stato osservato infatti come la tipica fessurazione di un telaio tamponato presenti una regione diffusiva laterale, oltre alla zona centrale del pannello in cui si verifica lo scorrimento dei giunti di malta. Queste osservazioni hanno portato alla determinazione di una configurazione geometrica a tre puntoni diversamente disposti, caratterizzati ognuno da specifiche caratteristiche meccaniche, in seguito ricavate. Basandosi infatti sulle curve di pushdown numeriche e sperimentali a disposizione, si è cercato di calibrare in maniera adeguata il modello a puntoni equivalenti. Di conseguenza una volta determinata la posizione dei puntoni in base al quadro fessurativo e l'area trasversale degli stessi utilizzando la formulazione di Di Trapani et al., (2018) con i valori di luce e altezza scambiati tra di loro, si è cercato infine di determinare la loro resistenza a compressione. È stata osservata infine una certa correlazione lineare tra questa resistenza e l'inclinazione dei puntoni stessi.

Lo stesso procedimento è stato seguito per la determinazione della resistenza ultima dei puntoni equivalenti, conducendo però un'analisi dei risultati più accurata al fine di poter tenere in conto i dettagli sismici, le condizioni di vincolo e le dimensioni dell'intero telaio.

Ciò che è stato osservato in fase di calibrazione del modello, è che la tamponatura risulta in grado di fornire elevata resistenza aggiuntiva alle strutture intelaiate bidimensionali, la quale è possibile determinarla attraverso la modellazione a puntoni equivalenti. Essi infatti si sono rivelati adeguati per ricavare l'andamento delle curve pushdown dei telai tamponati, con il

tipico picco iniziale. È stato osservato infatti che i puntoni di tipo B portano ad incrementare la resistenza della struttura, portando un innalzamento della curva pushdown del telaio non tamponato, mentre i puntoni di tipo BC portano ad avere il tipico picco iniziale.

Avendo determinato un metodo di modellazione efficace della tamponatura, si è deciso di applicarlo su un telaio di grandi dimensioni, caratterizzato dall'aver sei campate e dieci piani fuori terra. Questo è stato fatto sia per indagare l'influenza del numero di piani sulla curva di capacità sia per determinare quale sia il caso più gravoso tra la rimozione della colonna centrale e la rimozione di quella di bordo del telaio. È stato osservato in questa fase un incremento della resistenza del telaio proporzionale al numero di piani, in maniera più marcata per i telai tamponati rispetto a quelli non tamponati.

Per quanto riguarda l'influenza della posizione della colonna che viene rimossa, è risultato che la condizione peggiore fosse rappresentata dalla rimozione della colonna di bordo. Risulta infatti che la curva di capacità viene pressoché dimezzata. Ciò è stato osservato anche attraverso le prove dinamiche. Rimuovendo infatti la colonna centrale, si sono osservate oscillazioni del sistema che vanno a stabilizzarsi dopo un periodo relativamente corto. Ciò non si può affermare per il caso di rimozione della colonna di bordo, in quanto a parità di periodo, le oscillazioni risultano essere decisamente più ampie rispetto al caso di rimozione della colonna centrale.

Le prove dinamiche effettuate, rimuovendo istantaneamente un pilastro, hanno messo in evidenza anche la differenza di domanda di resistenza tra i telai tamponati e non tamponati. È risultato infatti che i telai tamponati in muratura riescono a ridistribuire i carichi in maniera efficace, senza andare incontro al collasso del sistema, al contrario dei telai non tamponati, per i quali si osserva una curva degli spostamenti nel tempo divergente. Ciò significa che essi non sono in grado di contenere gli effetti dovuti alla rimozione della colonna, mostrando uno spostamento verticale, che va incrementando nel tempo.

Il lavoro effettuato offre dunque un metodo di modellazione in grado di restituire risultati soddisfacenti per quanto riguarda la determinazione della curva di capacità di telai sottoposti al collasso progressivo. Tuttavia questo tipo di fenomeno risulta essere altamente complesso. Per raggiungere una completa conoscenza del problema, si rivelano necessarie ulteriori ricerche che mettano in luce aspetti non ancora affrontati.

Ringraziamenti

Scrivo l'ultima parola della conclusione della mia tesi e mi ritrovo nel paragrafo “*ringraziamenti*”, l'ultima parte che rimane da fare prima della consegna della versione definitiva della tesi. Quasi mi mancano le parole, quasi non so da che punto iniziare. Questa tesi rappresenta per me la conclusione di un percorso lungo, troppo lungo, spesso mi è mancata la motivazione, spesso mi sono chiesta cosa mi abbia spinto ad affrontarlo. Tuttavia, tornando indietro col pensiero, mi pare di vederlo il filo conduttore che mi ha portato fino a questo punto e non ho dubbi sul fatto che la differenza nel mio percorso l'abbiano fatta tutte le persone che in questi anni mi sono state vicine.

Inizio col ringraziare il mio relatore, Fabio Di Trapani, il quale, durante il nostro primo incontro, mi disse “ti vedo convinta sulla robustezza”. Con la testa piena di possibili argomenti, ma con la voglia di iniziare il prima possibile, qualche giorno dopo mi sono ritrovata “convinta sulla robustezza”. L'interesse per questo argomento è cresciuto quotidianamente, il lavoro fatto insieme per me è diventato sempre più stimolante, merito anche dell'intesa trovata insieme. Ti ringrazio per aver creduto nelle mie capacità e per avermi dato *fiducia*. Questa fiducia mi ha stimolato a fare le cose nel migliore dei modi.

Ringrazio mia mamma, la persona che per lunghi anni è stata la mia famiglia, il mio unico punto di riferimento. Incredula davanti a tutti i sacrifici fatti per portare a termine questo percorso, ha sempre saputo aspettare, paziente, dandomi fiducia nonostante la strada sia sempre sembrata in salita. Ti ringrazio soprattutto per avermi donato la *libertà* di scegliere, di sbagliare, di pensare con la mia testa, di imparare. Ringrazio inoltre il compagno di mia mamma Dorel, che ha creduto in me in questi anni, trattandomi come una figlia.

Ringrazio il mio fidanzato, Gabriele. Mi risulta difficile mettere i pensieri in ordine per questo ringraziamento. Ci siamo conosciuti proprio tra i banchi dell'università, in questi anni siamo cresciuti insieme, vivendo quasi in simbiosi, condividendo ogni difficoltà e gioia. La tua presenza per me è stata fondamentale, quasi da non riuscire a immaginare come avrei potuto fare senza di te. Ti ringrazio per l'*amore* che mi hai sempre dimostrato e per avermi insegnato ad essere una persona migliore.

Ringrazio la famiglia del mio fidanzato, Paola, Gianfranco, Lorenzo, Valeria e i nonni. La mia piccola *famiglia* con voi è diventata enorme. Il vostro aiuto e la vostra disponibilità sono state fondamentali per me in questi anni. Il vostro ruolo più importante è stato quello di riportarmi

sempre con i piedi per terra, quando iniziavo a sentirmi smarrita. Ora che ho finito la tesi tornerò a godermi i pranzi della domenica come si deve.

Ringrazio i miei amici Francesca e Kevin. Il tempo passato con voi in questi anni per me ha rappresentato uno dei pochi momenti di svago che valeva la pena concedersi, e così ci siamo ritrovati a stringere un rapporto di *amicizia* profondo, sincero. Io vi parlavo del progetto di cemento armato e degli esami e voi mi facevate vedere la vostra prima casa, i primi mobili, la prima macchina, le prime ecografie, facendomi sognare ad occhi aperti.

Ringrazio i miei amici Alessia e Luca. Ora che siete lontani da Torino mi rendo conto di quanto sia stata importante la vostra *presenza* negli anni in cui siete stati qui, in cui abbiamo preparato insieme gli esami, le giornate in aula studio e poi i panini alle undici di sera in centro. Ora che vi siete spostati, improvvisamente le mie vacanze preferite sono a Londra.

Ringrazio i miei colleghi che mi hanno accompagnato durante questi ultimi mesi. La “*cantina*” per me è diventata una certezza: Patrizia sempre seduta alla mia sinistra, Luciano sempre il primo ad arrivare, il “poca ansia Michelle” di Giovanni, Orazio che arrivava il venerdì, Andrea che ho riempito sempre di messaggi alla ricerca disperata di aiuto, Alessandro con il quale dovevo sempre dividere gli ultimi biscotti, Maicol con la sua tranquillità, Christian che ogni tanto ci faceva viaggiare con la mente verso paesi lontani, Simone che arrivava alle quattro e attaccava la musica. Concludo quindi questo percorso con dei ricordi bellissimi insieme a voi.

Bibliografia

- (1) **Saatcioglu, M., and Razvi, S.**, 1991, “Analytical model for confined concrete.”, Res. Rep. No. 9101, Dept. of Civ. Engrg., University of Ottawa, Ottawa, ON, Canada, 59.
- (2) **Saatcioglu, M., and Razvi, S. R.**, 1992, “Strength and ductility of confined concrete.”, J. Struct. Engrg., ASCE, 118(6), 1590–1607.
- (3) **Dhakal, R. P., and Maekawa, K.**, 2002, “Modeling for Postyield Buckling of Reinforcement.”. In: Journal of Structural Engineering 128.9, pp.1147
- (4) **Hai S Lew et al.** “An experimental and computational study of reinforcement concrete assemblies under a column removal scenario.” In: NIST Technical Note 1720 (2011), p. 106.
- (5) **Namy Salim Lim, KH Tan e CK Lee.** “Effects of rotational capacity and horizontal restraint on development of catenary action in 2-D RC frames.” In: Engineering Structure 153 (2017), pp.613-627.
- (6) **Gabriele Bertagnoli et al.**, “Robustness of reinforced concrete framed buildings: a comparison between different numerical models”. In: Ket Engineering Materials. Vol. 711. Tans Tech Publ.2016, pp.814-821.
- (7) **Jian Weng et al.** “Damage assessment for reinforced concrete frames subject to progressive collapse”. In: Engineering Structures 149 (2017), pp.147-160.
- (8) **Y Xiao et al.**, “Collapse Test of Three-Story Half-Scale Reinforcement Concrete Frame Building.”. In: ACI Structural Journal 112.4 (2015).
- (9) **Anh Tuan Pham, Kang Hai Tan e Juan Yu.** “Numerical investigations on static and dynamic responses of reinforced concrete sub-assemblages under progressive collapse”. In: Engineering structures 149 (2017), pp. 2-20
- (10) **Qian, Kai, and Bing Li.** "Effects of masonry infill wall on the performance of RC frames to resist progressive collapse." Journal of Structural Engineering 143.9 (2017): 04017118.
- (11) **Di Trapani, Fabio, et al.** "Empirical Equations for the Direct Definition of Stress–Strain Laws for Fiber-Section-Based Macromodeling of Infilled Frames." Journal of Engineering Mechanics 144.11 (2018): 04018101.
- (12) **Papia, M., Cavaleri, L., Fossetti, M.** (2003). “Infilled frames: developments in the evaluation of the stiffening effect of infills.” Structural engineering and mechanics, 16(6), 675-93.

-
- (13) **Izzuddin, B.A., Vlassis, A. G., Elghazlouli, A. Y. & Nethercot, D.A.** 2008
“Progressive collapse of multi-storey buildings due to sudden column loss—Part I: Simplified assessment framework.” *Eng Struct*, 30(5): 1308–1318.
- (14) **Vlassis, A.G., Izzuddin, B.A., Elghazouli, A.Y. & Nethercot D.A.** 2008
“Progressive collapse of multi-storey buildings due to sudden column loss — Part II: Application.” *Eng Struct*, 30(5): 1424-1438
- (15) **Ren, P., Li, Y., Lu, X., Guan, H. & Zhou, Y.** 2016 “Experimental investigation of progressive collapse resistance of one-way reinforced concrete beam–slab substructures under middle-column-removal scenario.”, *Eng Struct* 118: 28–40
- (16) **Xiao, Y., Kunnath, S., Li, F.W., Zhao, Y.B., Lew, H.S. & Bao, Y.** 2015 “Collapse test of three-story half-scale reinforced concrete frame building.” *ACI Structural Journal*, 112(4): 429-438.
- (17) **Yu, J. & Tan, K.H.** 2013 “Experimental and numerical investigation on progressive collapse resistance of reinforced concrete beam column subassemblages.” *Eng Struct*, 55:90–106.
- (18) **Pham X.D., Tan K.H., Yu J.** 2015.” A simplified approach to assess progressive collapse resistance of reinforced concrete framed structures.” *Engineering Structures* 101: 45–57.
- (19) **Pham, A.T., Tan, K.H. & Yu, J.** 2017 “Numerical investigations on static and dynamic responses of reinforced concrete sub-assemblages under progressive collapse.” *Eng Struct*, 149: 2–20.
- (20) **Weng, J., Lee, C.K., Tan K.H. & Lim N.S.** 2017 “Damage assessment for reinforced concrete frames subject to progressive collapse.” *Eng Struct*, 149: 147–160.
- (21) **Arshian, A.H. & Morgenthal, G.** 2017 “Three-dimensional progressive collapse analysis of reinforced concrete frame structures subjected to sequential column removal.” *Eng Struct*, 132: 87–97.
- (22) **Brunesi, E., Nascimbene, R., Parisi, F. & Augenti N.** 2015 “Progressive collapse fragility of reinforced concrete framed structures through incremental dynamic analysis.” *Eng Struct* 104: 65–79.
- (23) **Farazman, S., Izzuddin, B.A & Cormie, D.** 2013 “Influence of Unreinforced Masonry Infill Panels on the Robustness of Multistory Buildings.” *J Perform Constr Facil*, 27(6): 673-682.

- (24) **Xavier, F.B., Macorini, L. & Izzuddin, M.B.** 2015 “Robustness of Multistory Buildings with Masonry Infill.” *J Perform Constr Facil*, 29(5): B4014004.
- (25) **Qian, K. & Li, B.** 2017 “Effects of Masonry Infill Wall on the Performance of RC Frames to Resist Progressive Collapse.” *J Struct Eng*, 143(9): 04017118.
- (26) **Li, S., Kose, M.M., Shan, S., Sezen H.** 2019. “Modeling Methods for Collapse Analysis of Reinforced Concrete Frames with Infill Walls.” *J. Struct. Eng.* 145(4): 04019011.
- (27) **Dalmasso M.**, 2018 “Influenza dei tamponamenti in muratura sulla robustezza di strutture intelaiate in calcestruzzo armato.”, Master’s Thesis, Politecnico di Torino
- (28) **Norme Tecniche per le Costruzioni.** 2018
- (29) **EN 1991-1-7, Eurocode 1:** “Actions on structures – Part 1-7:General actions – Accidental actions”, CEN, European Standard, Brussels, Belgium, 1991.

Allegato 1

Script del modello del telaio a sei campate e dieci piani

```
# SET UP -----
# units: Newton, mm, sec

# define GEOMETRY -----
wipe
model basic -ndm 2 -ndf 3

# Dimension
set x00 0;          #colonna 1
set x0 400;
set x1 650;
set x2 950;
set x3 1400;
set x4 2180;
set x5 4120;
set x555 4900;
set x6 5350;
set x7 5650;
set x8 5900;
set x9 6300;      #colonna 2
set x10 6700;
set x11 6950;
set x12 7250;
set x13 7700;
set x14 8480;
set x15 10420;
set x16 11200;
set x17 11650;
set x18 11950;
set x19 12200;
set x20 12600;
#colonna 3
set x21 13000;
set x22 13250;
set x23 13550;
set x24 14000;
set x25 14780;
set x26 16720;
set x27 17500;
set x28 17950;
set x29 18250;
set x30 18500;
set x31 18900;
#colonna 4
set x32 19300;
set x33 19550;
set x34 19850;
set x35 20300;
set x36 21080;
set x37 23020;
set x38 23800;
set x39 24250;
set x40 24550;
set x41 24800;
set x42 25200;
#colonna 5
set x43 25600;
set x44 25850;
set x45 26150;
set x46 26600;
set x47 27380;
set x48 29320;
set x49 30100;
set x50 30550;
set x51 30850;
set x52 31100;
set x53 31500;   #colonna 6
set x54 31900;
set x55 32150;

set x56 32450;
set x57 32900;
set x58 33680;
set x59 35620;
set x60 36400;
set x61 36850;
set x62 37150;
set x63 37400;
set x64 37800; #colonna 7
set y0 0;
set y1 1150;
set y2 2000;
set y3 2900;
set y4 3150; #considero
asse trave
set y5 3400;
set y555 4300;
set y6 5150;
set y7 6050;
set y8 6550; #considero
asse trave
set y9 6800;
set y10 7700;
set y11 8550;
set y12 9450;
set y13 9950; #considero
asse trave
set y14 10200;
set y15 11100;
set y16 11950;
set y17 12850;
set y18 13350; #considero
asse trave
set y19 13600;
set y20 14500;
set y21 15350;
set y22 16250;
set y23 16750;
#considero asse trave
set y24 17000;
set y25 17900;
set y26 18750;
set y27 19650;
set y28 20150;
#considero asse trave
set y29 20400;
set y30 21300;
set y31 22150;
set y32 23050;
set y33 23550;
#considero asse trave
set y34 23800;
set y35 24700;
set y36 25550;
set y37 26450;
set y38 26950;
#considero asse trave
set y39 27200;
set y40 28100;
set y41 28950;

set y42 29850;
set y43 30350;
#considero asse trave
set y44 30600;
set y45 31500;
set y46 32350;
set y47 33250;
set y48 33750;
#considero asse trave

# nodal coordinates:

#Primo piano
node 1 $x00 $y4;
node 2 $x0 $y4;
node 3 $x1 $y4;
node 4 $x2 $y4;
node 5 $x3 $y4;
node 6 $x4 $y4;
node 7 $x5 $y4;
node 8 $x555 $y4;
node 9 $x6 $y4;
node 10 $x7 $y4;
node 11 $x8 $y4;
node 12 $x9 $y4;

node 13 $x10 $y4;
node 14 $x11 $y4;
node 15 $x12 $y4;
node 16 $x13 $y4;
node 17 $x14 $y4;
node 18 $x15 $y4;
node 19 $x16 $y4;
node 20 $x17 $y4;
node 21 $x18 $y4;
node 22 $x19 $y4;
node 23 $x20 $y4;

node 24 $x21 $y4;
node 25 $x22 $y4;
node 26 $x23 $y4;
node 27 $x24 $y4;
node 28 $x25 $y4;
node 29 $x26 $y4;
node 11129 16980 $y4;
node 30 $x27 $y4;
node 31 $x28 $y4;
node 32 $x29 $y4;
node 33 $x30 $y4;
node 34 $x31 $y4;

node 35 $x32 $y4;
node 36 $x33 $y4;
node 37 $x34 $y4;
node 38 $x35 $y4;
node 11138 20820 $y4;
node 39 $x36 $y4;
node 40 $x37 $y4;
node 41 $x38 $y4;
```

node 42 \$x39 \$y4;	node 742 \$x39 \$y8;	node 844 24770 \$y13;
node 43 \$x40 \$y4;	node 743 \$x40 \$y8;	node 845 \$x42 \$y13;
node 44 \$x41 \$y4;	node 744 24990 \$y8;	
node 45 \$x42 \$y4;	node 745 \$x42 \$y8;	node 846 \$x43 \$y13;
		node 847 \$x44 \$y13;
node 46 \$x43 \$y4;	node 746 \$x43 \$y8;	node 848 \$x45 \$y13;
node 47 \$x44 \$y4;	node 747 \$x44 \$y8;	node 849 \$x46 \$y13;
node 48 \$x45 \$y4;	node 748 \$x45 \$y8;	node 850 \$x47 \$y13;
node 49 \$x46 \$y4;	node 749 \$x46 \$y8;	node 851 \$x48 \$y13;
node 50 \$x47 \$y4;	node 750 \$x47 \$y8;	node 852 \$x49 \$y13;
node 51 \$x48 \$y4;	node 751 \$x48 \$y8;	node 853 \$x50 \$y13;
node 52 \$x49 \$y4;	node 752 \$x49 \$y8;	node 854 \$x51 \$y13;
node 53 \$x50 \$y4;	node 753 \$x50 \$y8;	node 855 \$x52 \$y13;
node 54 \$x51 \$y4;	node 754 \$x51 \$y8;	node 856 \$x53 \$y13;
node 55 \$x52 \$y4;	node 755 \$x52 \$y8;	
node 56 \$x53 \$y4;	node 756 \$x53 \$y8;	node 857 \$x54 \$y13;
		node 858 \$x55 \$y13;
node 57 \$x54 \$y4;	node 757 \$x54 \$y8;	node 859 \$x56 \$y13;
node 58 \$x55 \$y4;	node 758 \$x55 \$y8;	node 860 \$x57 \$y13;
node 59 \$x56 \$y4;	node 759 \$x56 \$y8;	node 861 \$x58 \$y13;
node 60 \$x57 \$y4;	node 760 \$x57 \$y8;	node 862 \$x59 \$y13;
node 61 \$x58 \$y4;	node 761 \$x58 \$y8;	node 863 \$x60 \$y13;
node 62 \$x59 \$y4;	node 762 \$x59 \$y8;	node 864 \$x61 \$y13;
node 63 \$x60 \$y4;	node 763 \$x60 \$y8;	node 865 \$x62 \$y13;
node 64 \$x61 \$y4;	node 764 \$x61 \$y8;	node 866 \$x63 \$y13;
node 65 \$x62 \$y4;	node 765 \$x62 \$y8;	node 867 \$x64 \$y13;
node 66 \$x63 \$y4;	node 766 \$x63 \$y8;	
node 67 \$x64 \$y4;	node 767 \$x64 \$y8;	#Quarto piano
#Secondo piano	#Terzo piano	node 91 \$x00 \$y18;
node 71 \$x00 \$y8;	node 81 \$x00 \$y13;	node 92 \$x0 \$y18;
node 72 \$x0 \$y8;	node 82 \$x0 \$y13;	node 93 \$x1 \$y18;
node 73 \$x1 \$y8;	node 83 \$x1 \$y13;	node 94 \$x2 \$y18;
node 74 \$x2 \$y8;	node 84 \$x2 \$y13;	node 95 \$x3 \$y18;
node 75 \$x3 \$y8;	node 85 \$x3 \$y13;	node 96 \$x4 \$y18;
node 76 \$x4 \$y8;	node 86 \$x4 \$y13;	node 97 \$x5 \$y18;
node 77 \$x5 \$y8;	node 87 \$x5 \$y13;	node 98 \$x555 \$y18;
node 78 \$x555 \$y8;	node 88 \$x555 \$y13;	node 99 \$x6 \$y18;
node 79 \$x6 \$y8;	node 89 \$x6 \$y13;	node 100 \$x7 \$y18;
node 100 \$x7 \$y8;	node 100 \$x7 \$y13;	node 101 \$x8 \$y18;
node 101 \$x8 \$y8;	node 101 \$x8 \$y13;	node 102 \$x9 \$y18;
node 102 \$x9 \$y8;	node 102 \$x9 \$y13;	
		node 913 \$x10 \$y18;
node 713 \$x10 \$y8;	node 813 \$x10 \$y13;	node 914 \$x11 \$y18;
node 714 \$x11 \$y8;	node 814 \$x11 \$y13;	node 915 \$x12 \$y18;
node 715 \$x12 \$y8;	node 815 \$x12 \$y13;	node 916 \$x13 \$y18;
node 716 \$x13 \$y8;	node 816 \$x13 \$y13;	node 917 \$x14 \$y18;
node 717 \$x14 \$y8;	node 817 \$x14 \$y13;	node 918 \$x15 \$y18;
node 718 \$x15 \$y8;	node 818 \$x15 \$y13;	node 919 \$x16 \$y18;
node 719 \$x16 \$y8;	node 819 \$x16 \$y13;	node 920 \$x17 \$y18;
node 720 \$x17 \$y8;	node 820 \$x17 \$y13;	node 921 \$x18 \$y18;
node 721 \$x18 \$y8;	node 821 \$x18 \$y13;	node 922 \$x19 \$y18;
node 722 \$x19 \$y8;	node 822 \$x19 \$y13;	node 923 \$x20 \$y18;
node 723 \$x20 \$y8;	node 823 \$x20 \$y13;	
		node 924 \$x21 \$y18;
node 724 12810 \$y8;	node 824 13030 \$y13;	node 925 13240 \$y18;
node 725 \$x22 \$y8;	node 825 \$x22 \$y13;	node 926 \$x23 \$y18;
node 726 \$x23 \$y8;	node 826 \$x23 \$y13;	node 927 \$x24 \$y18;
node 727 \$x24 \$y8;	node 827 \$x24 \$y13;	node 928 \$x25 \$y18;
node 728 \$x25 \$y8;	node 828 \$x25 \$y13;	node 929 \$x26 \$y18;
node 729 \$x26 \$y8;	node 829 \$x26 \$y13;	node 930 17620 \$y18;
node 729 17190 \$y8;	node 830 17410 \$y13;	node 931 \$x28 \$y18;
node 730 \$x27 \$y8;	node 831 \$x28 \$y13;	node 932 \$x29 \$y18;
node 731 \$x28 \$y8;	node 832 \$x29 \$y13;	node 933 \$x30 \$y18;
node 732 \$x29 \$y8;	node 833 \$x30 \$y13;	node 934 \$x31 \$y18;
node 733 \$x30 \$y8;	node 834 \$x31 \$y13;	
node 734 \$x31 \$y8;		node 935 \$x32 \$y18;
		node 936 \$x33 \$y18;
node 735 \$x32 \$y8;	node 835 \$x32 \$y13;	node 937 \$x34 \$y18;
node 736 \$x33 \$y8;	node 836 \$x33 \$y13;	node 938 20180 \$y18;
node 737 \$x34 \$y8;	node 837 \$x34 \$y13;	node 939 \$x36 \$y18;
node 738 \$x35 \$y8;	node 838 20390 \$y13;	node 940 \$x37 \$y18;
node 738 20610 \$y8;	node 839 \$x36 \$y13;	node 941 \$x38 \$y18;
node 739 \$x36 \$y8;	node 840 \$x37 \$y13;	node 942 \$x39 \$y18;
node 740 \$x37 \$y8;	node 841 \$x38 \$y13;	node 943 24560 \$y18;
node 741 \$x38 \$y8;	node 842 \$x39 \$y13;	node 944 \$x41 \$y18;
	node 843 \$x40 \$y13;	node 945 \$x42 \$y18;

```

node 946 $x43 $y18;
node 947 $x44 $y18;
node 948 $x45 $y18;
node 949 $x46 $y18;
node 950 $x47 $y18;
node 951 $x48 $y18;
node 952 $x49 $y18;
node 953 $x50 $y18;
node 954 $x51 $y18;
node 955 $x52 $y18;
node 956 $x53 $y18;

node 957 $x54 $y18;
node 958 $x55 $y18;
node 959 $x56 $y18;
node 960 $x57 $y18;
node 961 $x58 $y18;
node 962 $x59 $y18;
node 963 $x60 $y18;
node 964 $x61 $y18;
node 965 $x62 $y18;
node 966 $x63 $y18;
node 967 $x64 $y18;

#Quinto piano
node 101 $x00 $y23;
node 102 $x0 $y23;
node 103 $x1 $y23;
node 104 $x2 $y23;
node 105 $x3 $y23;
node 106 $x4 $y23;
node 107 $x5 $y23;
node 108 $x555 $y23;
node 109 $x6 $y23;
node 1010 $x7 $y23;
node 1011 $x8 $y23;
node 1012 $x9 $y23;

node 1013 $x10 $y23;
node 1014 $x11 $y23;
node 1015 $x12 $y23;
node 1016 $x13 $y23;
node 1017 $x14 $y23;
node 1018 $x15 $y23;
node 1019 $x16 $y23;
node 1020 $x17 $y23;
node 1021 $x18 $y23;
node 1022 $x19 $y23;
node 1023 $x20 $y23;

node 1024 $x21 $y23;
node 1025 $x22 $y23;
node 1026 13450 $y23;
node 1027 $x24 $y23;
node 1028 $x25 $y23;
node 1029 $x26 $y23;
node 1030 $x27 $y23;
node 1031 17830 $y23;
node 1032 $x29 $y23;
node 1033 $x30 $y23;
node 1034 $x31 $y23;

node 1035 $x32 $y23;
node 1036 $x33 $y23;
node 1037 19970 $y23;
node 1038 $x35 $y23;
node 1039 $x36 $y23;
node 1040 $x37 $y23;
node 1041 $x38 $y23;
node 1042 24350 $y23;
node 1043 $x40 $y23;
node 1044 $x41 $y23;
node 1045 $x42 $y23;

node 1046 $x43 $y23;
node 1047 $x44 $y23;
node 1048 $x45 $y23;
node 1049 $x46 $y23;
node 1050 $x47 $y23;
node 1051 $x48 $y23;
node 1052 $x49 $y23;
node 1053 $x50 $y23;
node 1054 $x51 $y23;
node 1055 $x52 $y23;
node 1056 $x53 $y23;

node 1057 $x54 $y23;
node 1058 $x55 $y23;
node 1059 $x56 $y23;
node 1060 $x57 $y23;
node 1061 $x58 $y23;
node 1062 $x59 $y23;
node 1063 $x60 $y23;
node 1064 $x61 $y23;
node 1065 $x62 $y23;
node 1066 $x63 $y23;
node 1067 $x64 $y23;

#Sesto piano
node 111 $x00 $y28;
node 112 $x0 $y28;
node 113 $x1 $y28;
node 114 $x2 $y28;
node 115 $x3 $y28;
node 116 $x4 $y28;
node 117 $x5 $y28;
node 118 $x555 $y28;
node 119 $x6 $y28;
node 1110 $x7 $y28;
node 1111 $x8 $y28;
node 1112 $x9 $y28;

node 1113 $x10 $y28;
node 1114 $x11 $y28;
node 1115 $x12 $y28;
node 1116 $x13 $y28;
node 1117 $x14 $y28;
node 1118 $x15 $y28;
node 1119 $x16 $y28;
node 1120 $x17 $y28;
node 1121 $x18 $y28;
node 1122 $x19 $y28;
node 1123 $x20 $y28;

node 1124 $x21 $y28;
node 1125 $x22 $y28;
node 1126 13670 $y28;
node 1127 $x24 $y28;
node 1128 $x25 $y28;
node 1129 $x26 $y28;
node 1130 $x27 $y28;
node 1131 18050 $y28;
node 1132 $x29 $y28;
node 1133 $x30 $y28;
node 1134 $x31 $y28;

node 1135 $x32 $y28;
node 1136 $x33 $y28;
node 1137 19750 $y28;
node 1138 $x35 $y28;
node 1139 $x36 $y28;
node 1140 $x37 $y28;
node 1141 $x38 $y28;
node 1142 24130 $y28;
node 1143 $x40 $y28;
node 1144 $x41 $y28;
node 1145 $x42 $y28;

node 1146 $x43 $y28;
node 1147 $x44 $y28;
node 1148 $x45 $y28;
node 1149 $x46 $y28;
node 1150 $x47 $y28;
node 1151 $x48 $y28;
node 1152 $x49 $y28;
node 1153 $x50 $y28;
node 1154 $x51 $y28;
node 1155 $x52 $y28;
node 1156 $x53 $y28;

node 1157 $x54 $y28;
node 1158 $x55 $y28;
node 1159 $x56 $y28;
node 1160 $x57 $y28;
node 1161 $x58 $y28;
node 1162 $x59 $y28;
node 1163 $x60 $y28;
node 1164 $x61 $y28;
node 1165 $x62 $y28;
node 1166 $x63 $y28;
node 1167 $x64 $y28;

#Settimo piano
node 121 $x00 $y33;
node 122 $x0 $y33;
node 123 $x1 $y33;
node 124 $x2 $y33;
node 125 $x3 $y33;
node 126 $x4 $y33;
node 127 $x5 $y33;
node 128 $x555 $y33;
node 129 $x6 $y33;
node 1210 $x7 $y33;
node 1211 $x8 $y33;
node 1212 $x9 $y33;

node 1213 $x10 $y33;
node 1214 $x11 $y33;
node 1215 $x12 $y33;
node 1216 $x13 $y33;
node 1217 $x14 $y33;
node 1218 $x15 $y33;
node 1219 $x16 $y33;
node 1220 $x17 $y33;
node 1221 $x18 $y33;
node 1222 $x19 $y33;
node 1223 $x20 $y33;

node 1224 $x21 $y33;
node 1225 $x22 $y33;
node 1226 $x23 $y33;
node 1227 13880 $y33;
node 1228 $x25 $y33;
node 1229 $x26 $y33;
node 1230 $x27 $y33;
node 1231 $x28 $y33;
node 1232 18260 $y33;
node 1233 $x30 $y33;
node 1234 $x31 $y33;

node 1235 $x32 $y33;
node 1236 19540 $y33;
node 1237 $x34 $y33;
node 1238 $x35 $y33;
node 1239 $x36 $y33;
node 1240 $x37 $y33;
node 1241 23920 $y33;
node 1242 $x39 $y33;
node 1243 $x40 $y33;
node 1244 $x41 $y33;
node 1245 $x42 $y33;

node 1246 $x43 $y33;
node 1247 $x44 $y33;
node 1248 $x45 $y33;
node 1249 $x46 $y33;
node 1250 $x47 $y33;

```

node 1251 \$x48 \$y33;
node 1252 \$x49 \$y33;
node 1253 \$x50 \$y33;
node 1254 \$x51 \$y33;
node 1255 \$x52 \$y33;
node 1256 \$x53 \$y33;

node 1257 \$x54 \$y33;
node 1258 \$x55 \$y33;
node 1259 \$x56 \$y33;
node 1260 \$x57 \$y33;
node 1261 \$x58 \$y33;
node 1262 \$x59 \$y33;
node 1263 \$x60 \$y33;
node 1264 \$x61 \$y33;
node 1265 \$x62 \$y33;
node 1266 \$x63 \$y33;
node 1267 \$x64 \$y33;

#Ottavo piano

node 131 \$x00 \$y38;
node 132 \$x0 \$y38;
node 133 \$x1 \$y38;
node 134 \$x2 \$y38;
node 135 \$x3 \$y38;
node 136 \$x4 \$y38;
node 137 \$x5 \$y38;
node 138 \$x555 \$y38;
node 139 \$x6 \$y38;
node 1310 \$x7 \$y38;
node 1311 \$x8 \$y38;
node 1312 \$x9 \$y38;

node 1313 \$x10 \$y38;
node 1314 \$x11 \$y38;
node 1315 \$x12 \$y38;
node 1316 \$x13 \$y38;
node 1317 \$x14 \$y38;
node 1318 \$x15 \$y38;
node 1319 \$x16 \$y38;
node 1320 \$x17 \$y38;
node 1321 \$x18 \$y38;
node 1322 \$x19 \$y38;
node 1323 \$x20 \$y38;

node 1324 \$x21 \$y38;
node 1325 \$x22 \$y38;
node 1326 \$x23 \$y38;
node 1327 14090 \$y38;
node 1328 \$x25 \$y38;
node 1329 \$x26 \$y38;
node 1330 \$x27 \$y38;
node 1331 \$x28 \$y38;
node 1332 \$x29 \$y38;
node 1333 18470 \$y38;
node 1334 \$x31 \$y38;

node 1335 19330 \$y38;
node 1336 \$x33 \$y38;
node 1337 \$x34 \$y38;
node 1338 \$x35 \$y38;
node 1339 \$x36 \$y38;
node 1340 \$x37 \$y38;
node 1341 23710 \$y38;
node 1342 \$x39 \$y38;
node 1343 \$x40 \$y38;
node 1344 \$x41 \$y38;
node 1345 \$x42 \$y38;

node 1346 \$x43 \$y38;
node 1347 \$x44 \$y38;
node 1348 \$x45 \$y38;
node 1349 \$x46 \$y38;
node 1350 \$x47 \$y38;
node 1351 \$x48 \$y38;
node 1352 \$x49 \$y38;

node 1353 \$x50 \$y38;
node 1354 \$x51 \$y38;
node 1355 \$x52 \$y38;
node 1356 \$x53 \$y38;

node 1357 \$x54 \$y38;
node 1358 \$x55 \$y38;
node 1359 \$x56 \$y38;
node 1360 \$x57 \$y38;
node 1361 \$x58 \$y38;
node 1362 \$x59 \$y38;
node 1363 \$x60 \$y38;
node 1364 \$x61 \$y38;
node 1365 \$x62 \$y38;
node 1366 \$x63 \$y38;
node 1367 \$x64 \$y38;

#Nono piano

node 141 \$x00 \$y43;
node 142 \$x0 \$y43;
node 143 \$x1 \$y43;
node 144 \$x2 \$y43;
node 145 \$x3 \$y43;
node 146 \$x4 \$y43;
node 147 \$x5 \$y43;
node 148 \$x555 \$y43;
node 149 \$x6 \$y43;
node 1410 \$x7 \$y43;
node 1411 \$x8 \$y43;
node 1412 \$x9 \$y43;

node 1413 \$x10 \$y43;
node 1414 \$x11 \$y43;
node 1415 \$x12 \$y43;
node 1416 \$x13 \$y43;
node 1417 \$x14 \$y43;
node 1418 \$x15 \$y43;
node 1419 \$x16 \$y43;
node 1420 \$x17 \$y43;
node 1421 \$x18 \$y43;
node 1422 \$x19 \$y43;
node 1423 \$x20 \$y43;

node 1424 \$x21 \$y43;
node 1425 \$x22 \$y43;
node 1426 \$x23 \$y43;
node 1427 \$x24 \$y43;
node 111427 14310 \$y43;
node 1428 \$x25 \$y43;
node 1429 \$x26 \$y43;
node 1430 \$x27 \$y43;
node 1431 \$x28 \$y43;
node 1432 \$x29 \$y43;
node 1433 18690 \$y43;
node 1434 \$x31 \$y43;

node 1435 19110 \$y43;
node 1436 \$x33 \$y43;
node 1437 \$x34 \$y43;
node 1438 \$x35 \$y43;
node 1439 \$x36 \$y43;
node 1440 \$x37 \$y43;
node 111440 23490 \$y43;
node 1441 \$x38 \$y43;
node 1442 \$x39 \$y43;
node 1443 \$x40 \$y43;
node 1444 \$x41 \$y43;
node 1445 \$x42 \$y43;

node 1446 \$x43 \$y43;
node 1447 \$x44 \$y43;
node 1448 \$x45 \$y43;
node 1449 \$x46 \$y43;
node 1450 \$x47 \$y43;
node 1451 \$x48 \$y43;
node 1452 \$x49 \$y43;

node 1453 \$x50 \$y43;
node 1454 \$x51 \$y43;
node 1455 \$x52 \$y43;
node 1456 \$x53 \$y43;

node 1457 \$x54 \$y43;
node 1458 \$x55 \$y43;
node 1459 \$x56 \$y43;
node 1460 \$x57 \$y43;
node 1461 \$x58 \$y43;
node 1462 \$x59 \$y43;
node 1463 \$x60 \$y43;
node 1464 \$x61 \$y43;
node 1465 \$x62 \$y43;
node 1466 \$x63 \$y43;
node 1467 \$x64 \$y43;

#Decimo piano

node 151 \$x00 \$y48;
node 152 \$x0 \$y48;
node 153 \$x1 \$y48;
node 154 \$x2 \$y48;
node 155 \$x3 \$y48;
node 156 \$x4 \$y48;
node 157 \$x5 \$y48;
node 158 \$x555 \$y48;
node 159 \$x6 \$y48;
node 1510 \$x7 \$y48;
node 1511 \$x8 \$y48;
node 1512 \$x9 \$y48;

node 1513 \$x10 \$y48;
node 1514 \$x11 \$y48;
node 1515 \$x12 \$y48;
node 1516 \$x13 \$y48;
node 1517 \$x14 \$y48;
node 1518 \$x15 \$y48;
node 1519 \$x16 \$y48;
node 1520 \$x17 \$y48;
node 1521 \$x18 \$y48;
node 1522 \$x19 \$y48;
node 1523 \$x20 \$y48;

node 1524 \$x21 \$y48;
node 1525 \$x22 \$y48;
node 1526 \$x23 \$y48;
node 1527 \$x24 \$y48;
node 111527 14520 \$y48;
node 1528 \$x25 \$y48;
node 1529 \$x26 \$y48;
node 1530 \$x27 \$y48;
node 1531 \$x28 \$y48;
node 1532 \$x29 \$y48;
node 1533 \$x30 \$y48;
node 1534 \$x31 \$y48;

node 1535 \$x32 \$y48;
node 1536 \$x33 \$y48;
node 1537 \$x34 \$y48;
node 1538 \$x35 \$y48;
node 1539 \$x36 \$y48;
node 1540 \$x37 \$y48;
node 111540 23280 \$y48;
node 1541 \$x38 \$y48;
node 1542 \$x39 \$y48;
node 1543 \$x40 \$y48;
node 1544 \$x41 \$y48;
node 1545 \$x42 \$y48;

node 1546 \$x43 \$y48;
node 1547 \$x44 \$y48;
node 1548 \$x45 \$y48;
node 1549 \$x46 \$y48;
node 1550 \$x47 \$y48;
node 1551 \$x48 \$y48;
node 1552 \$x49 \$y48;

```

node 1553 $x50 $y48;
node 1554 $x51 $y48;
node 1555 $x52 $y48;
node 1556 $x53 $y48;

node 1557 $x54 $y48;
node 1558 $x55 $y48;
node 1559 $x56 $y48;
node 1560 $x57 $y48;
node 1561 $x58 $y48;
node 1562 $x59 $y48;
node 1563 $x60 $y48;
node 1564 $x61 $y48;
node 1565 $x62 $y48;
node 1566 $x63 $y48;
node 1567 $x64 $y48;

#Colonna 1

node 161 $x00 $y0;
node 162 $x00 $y1;
node 163 $x00 $y2;
node 164 $x00 $y3;
#node 165 $x00 $y4;
#considero asse trave

node 166 $x00 $y5;
node 167 $x00 $y555;
node 168 $x00 $y6;
node 169 $x00 $y7;
#node 1610 $x00 $y8;
#considero asse trave

node 1611 $x00 $y9;
node 1612 $x00 $y10;
node 1613 $x00 $y11;
node 1614 $x00 $y12;
#node 1615 $x00 $y13;
#considero asse trave

node 1616 $x00 $y14;
node 1617 $x00 $y15;
node 1618 $x00 $y16;
node 1619 $x00 $y17;
#node 1620 $x00 $y18;
#considero asse trave

node 1621 $x00 $y19;
node 1622 $x00 $y20;
node 1623 $x00 $y21;
node 1624 $x00 $y22;
#node 1625 $x00 $y23;
#considero asse trave

node 1626 $x00 $y24;
node 1627 $x00 $y25;
node 1628 $x00 $y26;
node 1629 $x00 $y27;
#node 1630 $x00 $y28;
#considero asse trave

node 1631 $x00 $y29;
node 1632 $x00 $y30;
node 1633 $x00 $y31;
node 1634 $x00 $y32;
#node 1635 $x00 $y33;
#considero asse trave

node 1636 $x00 $y34;
node 1637 $x00 $y35;
node 1638 $x00 $y36;
node 1639 $x00 $y37;
#node 1640 $x00 $y38;
#considero asse trave

node 1641 $x00 $y39;
node 1642 $x00 $y40;

node 1643 $x00 $y41;
node 1644 $x00 $y42;
#node 1645 $x00 $y43;
#considero asse trave

node 1646 $x00 $y44;
node 1647 $x00 $y45;
node 1648 $x00 $y46;
node 1649 $x00 $y47;
#node 1650 $x00 $y48;
#considero asse trave

#Colonna 2

node 171 $x9 $y0;
node 172 $x9 $y1;
node 173 $x9 $y2;
node 174 $x9 $y3;
#node 175 $x9 $y4;
#considero asse trave

node 176 $x9 $y5;
node 177 $x9 $y555;
node 178 $x9 $y6;
node 179 $x9 $y7;
#node 1710 $x9 $y8;
#considero asse trave

node 1711 $x9 $y9;
node 1712 $x9 $y10;
node 1713 $x9 $y11;
node 1714 $x9 $y12;
#node 1715 $x9 $y13;
#considero asse trave

node 1716 $x9 $y14;
node 1717 $x9 $y15;
node 1718 $x9 $y16;
node 1719 $x9 $y17;
#node 1720 $x9 $y18;
#considero asse trave

node 1721 $x9 $y19;
node 1722 $x9 $y20;
node 1723 $x9 $y21;
node 1724 $x9 $y22;
#node 1725 $x9 $y23;
#considero asse trave

node 1726 $x9 $y24;
node 1727 $x9 $y25;
node 1728 $x9 $y26;
node 1729 $x9 $y27;
#node 1730 $x9 $y28;
#considero asse trave

node 1731 $x9 $y29;
node 1732 $x9 $y30;
node 1733 $x9 $y31;
node 1734 $x9 $y32;
#node 1735 $x9 $y33;
#considero asse trave

node 1736 $x9 $y34;
node 1737 $x9 $y35;
node 1738 $x9 $y36;
node 1739 $x9 $y37;
#node 1740 $x9 $y38;
#considero asse trave

node 1741 $x9 $y39;
node 1742 $x9 $y40;
node 1743 $x9 $y41;
node 1744 $x9 $y42;
#node 1745 $x9 $y43;
#considero asse trave

node 1746 $x9 $y44;
node 1747 $x9 $y45;
node 1748 $x9 $y46;
node 1749 $x9 $y47;
#node 1750 $x9 $y48;
#considero asse trave

#Colonna 3

node 181 $x20 $y0;
node 182 $x20 $y1;
node 183 $x20 $y2;
node 184 $x20 $y3;
#node 185 $x20 $y4;
#considero asse trave

node 186 $x20 $y5;
node 187 $x20 $y555;
node 188 $x20 $y6;
node 189 $x20 $y7;
#node 1810 $x20 $y8;
#considero asse trave

node 1811 $x20 $y9;
node 1812 $x20 $y10;
node 1813 $x20 $y11;
node 1814 $x20 $y12;
#node 1815 $x20 $y13;
#considero asse trave

node 1816 $x20 $y14;
node 1817 $x20 $y15;
node 1818 $x20 $y16;
node 1819 $x20 $y17;
#node 1820 $x20 $y18;
#considero asse trave

node 1821 $x20 $y19;
node 1822 $x20 $y20;
node 1823 $x20 $y21;
node 1824 $x20 $y22;
#node 1825 $x20 $y23;
#considero asse trave

node 1826 $x20 $y24;
node 1827 $x20 $y25;
node 1828 $x20 $y26;
node 1829 $x20 $y27;
#node 1830 $x20 $y28;
#considero asse trave

node 1831 $x20 $y29;
node 1832 $x20 $y30;
node 1833 $x20 $y31;
node 1834 $x20 $y32;
#node 1835 $x20 $y33;
#considero asse trave

node 1836 $x20 $y34;
node 1837 $x20 $y35;
node 1838 $x20 $y36;
node 1839 $x20 $y37;
#node 1840 $x20 $y38;
#considero asse trave

node 1841 $x20 $y39;
node 1842 $x20 $y40;
node 1843 $x20 $y41;
node 1844 $x20 $y42;
#node 1845 $x20 $y43;
#considero asse trave

node 1846 $x20 $y44;
node 1847 $x20 $y45;
node 1848 $x20 $y46;
node 1849 $x20 $y47;

```

```

#node 1850 $x20 $y48;
#considero asse trave

#Colonna 4

# node 191 $x31 $y0;
# node 192 $x31 $y1;
# node 193 $x31 $y2;
# node 194 $x31 $y3;
#node 195 $x31 $y4;
#considero asse trave

node 196 $x31 $y5;
node 197 $x31 $y555;
node 198 $x31 $y6;
node 199 $x31 $y7;
#node 1910 $x31 $y8;
#considero asse trave

node 1911 $x31 $y9;
node 1912 $x31 $y10;
node 1913 $x31 $y11;
node 1914 $x31 $y12;
#node 1915 $x31 $y13;
#considero asse trave

node 1916 $x31 $y14;
node 1917 $x31 $y15;
node 1918 $x31 $y16;
node 1919 $x31 $y17;
#node 1920 $x31 $y18;
#considero asse trave

node 1921 $x31 $y19;
node 1922 $x31 $y20;
node 1923 $x31 $y21;
node 1924 $x31 $y22;
#node 1925 $x31 $y23;
#considero asse trave

node 1926 $x31 $y24;
node 1927 $x31 $y25;
node 1928 $x31 $y26;
node 1929 $x31 $y27;
#node 1930 $x31 $y28;
#considero asse trave

node 1931 $x31 $y29;
node 1932 $x31 $y30;
node 1933 $x31 $y31;
node 1934 $x31 $y32;
#node 1935 $x31 $y33;
#considero asse trave

node 1936 $x31 $y34;
node 1937 $x31 $y35;
node 1938 $x31 $y36;
node 1939 $x31 $y37;
#node 1940 $x31 $y38;
#considero asse trave

node 1941 $x31 $y39;
node 1942 $x31 $y40;
node 1943 $x31 $y41;
node 1944 $x31 $y42;
#node 1945 $x31 $y43;
#considero asse trave

node 1946 $x31 $y44;
node 1947 $x31 $y45;
node 1948 $x31 $y46;
node 1949 $x31 $y47;
#node 1950 $x31 $y48;
#considero asse trave

#Colonna 5

node 201 $x42 $y0;
node 202 $x42 $y1;
node 203 $x42 $y2;
node 204 $x42 $y3;
#node 205 $x42 $y4;
#considero asse trave

node 206 $x42 $y5;
node 207 $x42 $y555;
node 208 $x42 $y6;
node 209 $x42 $y7;
#node 2010 $x42 $y8;
#considero asse trave

node 2011 $x42 $y9;
node 2012 $x42 $y10;
node 2013 $x42 $y11;
node 2014 $x42 $y12;
#node 2015 $x42 $y13;
#considero asse trave

node 2016 $x42 $y14;
node 2017 $x42 $y15;
node 2018 $x42 $y16;
node 2019 $x42 $y17;
#node 2020 $x42 $y18;
#considero asse trave

node 2021 $x42 $y19;
node 2022 $x42 $y20;
node 2023 $x42 $y21;
node 2024 $x42 $y22;
#node 2025 $x42 $y23;
#considero asse trave

node 2026 $x42 $y24;
node 2027 $x42 $y25;
node 2028 $x42 $y26;
node 2029 $x42 $y27;
#node 2030 $x42 $y28;
#considero asse trave

node 2031 $x42 $y29;
node 2032 $x42 $y30;
node 2033 $x42 $y31;
node 2034 $x42 $y32;
#node 2035 $x42 $y33;
#considero asse trave

node 2036 $x42 $y34;
node 2037 $x42 $y35;
node 2038 $x42 $y36;
node 2039 $x42 $y37;
#node 2040 $x42 $y38;
#considero asse trave

node 2041 $x42 $y39;
node 2042 $x42 $y40;
node 2043 $x42 $y41;
node 2044 $x42 $y42;
#node 2045 $x42 $y43;
#considero asse trave

node 2046 $x42 $y44;
node 2047 $x42 $y45;
node 2048 $x42 $y46;
node 2049 $x42 $y47;
#node 2050 $x42 $y48;
#considero asse trave

#Colonna 6

node 211 $x53 $y0;
node 212 $x53 $y1;
node 213 $x53 $y2;
node 214 $x53 $y3;

#node 215 $x53 $y4;
#considero asse trave

node 216 $x53 $y5;
node 217 $x53 $y555;
node 218 $x53 $y6;
node 219 $x53 $y7;
#node 2110 $x53 $y8;
#considero asse trave

node 2111 $x53 $y9;
node 2112 $x53 $y10;
node 2113 $x53 $y11;
node 2114 $x53 $y12;
#node 2115 $x53 $y13;
#considero asse trave

node 2116 $x53 $y14;
node 2117 $x53 $y15;
node 2118 $x53 $y16;
node 2119 $x53 $y17;
#node 2120 $x53 $y18;
#considero asse trave

node 2121 $x53 $y19;
node 2122 $x53 $y20;
node 2123 $x53 $y21;
node 2124 $x53 $y22;
#node 2125 $x53 $y23;
#considero asse trave

node 2126 $x53 $y24;
node 2127 $x53 $y25;
node 2128 $x53 $y26;
node 2129 $x53 $y27;
#node 2130 $x53 $y28;
#considero asse trave

node 2131 $x53 $y29;
node 2132 $x53 $y30;
node 2133 $x53 $y31;
node 2134 $x53 $y32;
#node 2135 $x53 $y33;
#considero asse trave

node 2136 $x53 $y34;
node 2137 $x53 $y35;
node 2138 $x53 $y36;
node 2139 $x53 $y37;
#node 2140 $x53 $y38;
#considero asse trave

node 2141 $x53 $y39;
node 2142 $x53 $y40;
node 2143 $x53 $y41;
node 2144 $x53 $y42;
#node 2145 $x53 $y43;
#considero asse trave

node 2146 $x53 $y44;
node 2147 $x53 $y45;
node 2148 $x53 $y46;
node 2149 $x53 $y47;
#node 2150 $x53 $y48;
#considero asse trave

#Colonna 7

node 221 $x64 $y0;
node 222 $x64 $y1;
node 223 $x64 $y2;
node 224 $x64 $y3;
#node 225 $x64 $y4;
#considero asse trave

node 226 $x64 $y5;
node 227 $x64 $y555;

```

```

node 228 $x64 $y6;          node 222 $x64 $y20;          node 2236 $x64 $y34;
node 229 $x64 $y7;          node 2223 $x64 $y21;          node 2237 $x64 $y35;
#node 2210 $x64 $y8;        node 2224 $x64 $y22;          node 2238 $x64 $y36;
#considero asse trave        #node 2225 $x64 $y23;        node 2239 $x64 $y37;
                                #considero asse trave        #node 2240 $x64 $y38;
                                #considero asse trave        #considero asse trave

node 2211 $x64 $y9;          node 2226 $x64 $y24;          node 2241 $x64 $y39;
node 2212 $x64 $y10;        node 2227 $x64 $y25;          node 2242 $x64 $y40;
node 2213 $x64 $y11;        node 2228 $x64 $y26;          node 2243 $x64 $y41;
node 2214 $x64 $y12;        node 2229 $x64 $y27;          node 2244 $x64 $y42;
#node 2215 $x64 $y13;        #node 2230 $x64 $y28;        #node 2245 $x64 $y43;
#considero asse trave        #considero asse trave        #considero asse trave

node 2216 $x64 $y14;        node 2231 $x64 $y29;          node 2246 $x64 $y44;
node 2217 $x64 $y15;        node 2232 $x64 $y30;          node 2247 $x64 $y45;
node 2218 $x64 $y16;        node 2233 $x64 $y31;          node 2248 $x64 $y46;
node 2219 $x64 $y17;        node 2234 $x64 $y32;          node 2249 $x64 $y47;
#node 2220 $x64 $y18;        #node 2235 $x64 $y33;        #node 2250 $x64 $y48;
#considero asse trave        #considero asse trave        #considero asse trave

node 2221 $x64 $y19;

```

#Condizioni di vincolo

```

fix 161 1 1 1;          #vincolo base pilastri
fix 171 1 1 1;
fix 181 1 1 1;
fix 201 1 1 1;
fix 211 1 1 1;
fix 221 1 1 1;

```

Define materials

```

#TRAVE SEZIONE 1 passo 110 mm
#          tag fpc      epsc0   fpcu  epsU   lambda  ft   Ets
uniaxialMaterial Concrete02 1 -45.94 -0.0031 -9.19 -0.017 0.1 2 1500

#TRAVE SEZIONE 2 passo 210 mm
#          tag fpc      epsc0   fpcu  epsU   lambda  ft   Ets
uniaxialMaterial Concrete02 2 -43.97 -0.0027 -8.79 -0.0125 0.1 2 1500

# COLONNA SEZIONE 3 passo 80 mm
#          tag fpc      epsc0   fpcu  epsU   lambda  ft   Ets
uniaxialMaterial Concrete02 3 -50.41 -0.0042 -10.08 -0.014 0.1 2 1500

# COLONNA SEZIONE 4 passo 170 mm
#          tag fpc      epsc0   fpcu  epsU   lambda  ft   Ets
uniaxialMaterial Concrete02 4 -46.13 -0.0032 -9.23 -0.01 0.1 2 1500

# TRAVE E COLONNA SEZIONE NON CONFINATO
#          tag fpc      epsc0   fpcu  epsU   lambda  ft   Ets
uniaxialMaterial Concrete02 5 -41.2 -0.002 -8.24 -0.010 0.1 2 1500

```

```

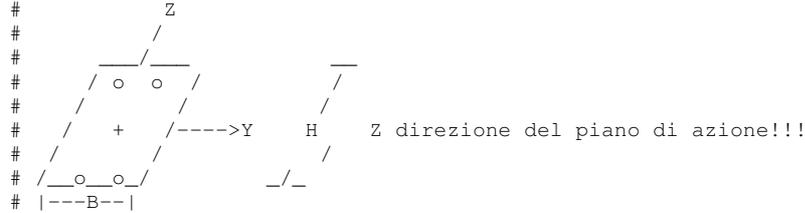
# TRAVE SEZIONE 1 passo 110 mm phi 16
# uniaxialMaterial Hysteretic $matTag $slp $elp    $s2p $e2p  <$s3p $e3p>  $sln $eln  $s2n
$e2n <$s3n $e3n> $pinchX $pinchY $damage1 $damage2 <$beta>
uniaxialMaterial Hysteretic 6 450 0.002 540 0.12 0 0.121 -450 -0.002 -
202.11 -0.04 -90 -0.07 1 1 0 0
# TRAVE SEZIONE 2 passo 220 mm (per Dhakal 150) phi 16
# uniaxialMaterial Hysteretic $matTag $slp $elp    $s2p $e2p  <$s3p $e3p>  $sln $eln  $s2n
$e2n <$s3n $e3n> $pinchX $pinchY $damage1 $damage2 <$beta>
uniaxialMaterial Hysteretic 7 450 0.002 540 0.12 0 0.121 -450 -0.002 -92.33
-0.02 -90 -0.04 1 1 0 0
# COLONNA SEZIONE 3 passo 80 mm phi 16
# uniaxialMaterial Hysteretic $matTag $slp $elp    $s2p $e2p  <$s3p $e3p>  $sln $eln  $s2n
$e2n <$s3n $e3n> $pinchX $pinchY $damage1 $damage2 <$beta>
uniaxialMaterial Hysteretic 8 450 0.002 540 0.12 0 0.121 -450 -0.002 -
284.44 -0.06 -90 -0.09 1 1 0 0
# COLONNA SEZIONE 4 passo 170 mm (per Dhakal 150) phi 16
# uniaxialMaterial Hysteretic $matTag $slp $elp    $s2p $e2p  <$s3p $e3p>  $sln $eln  $s2n
$e2n <$s3n $e3n> $pinchX $pinchY $damage1 $damage2 <$beta>
uniaxialMaterial Hysteretic 9 450 0.002 540 0.12 0 0.121 -450 -0.002 -92.33
-0.02 -90 -0.04 1 1 0 0

```

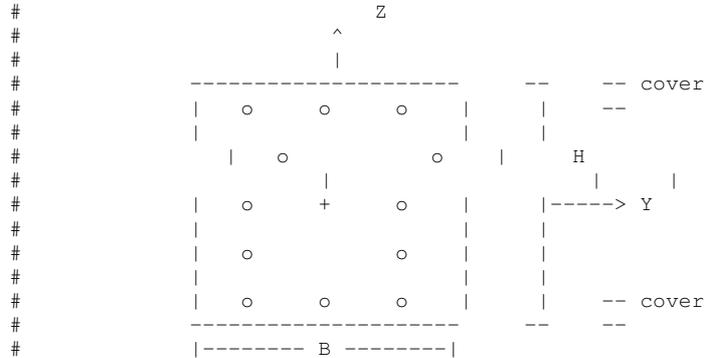
#Materiale Bielle

#tamponamento	lambda	ft	Et	Tag	fc	epsc0	fcu	epscu
uniaxialMaterial	Concrete02	10	-1.8	-0.0013	-0.8	-0.0074	0.10	0
uniaxialMaterial	Concrete02	11	-8.66	-0.0015	-2.5	-0.008	0.10	0
uniaxialMaterial	Concrete02	12	-1.24	-0.0018	-0.25	-0.009	0.10	0

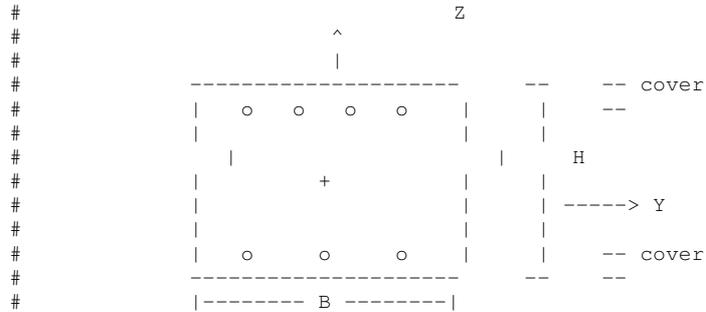
La sezione viene disposta con l'asse Z lungo la direzione 1



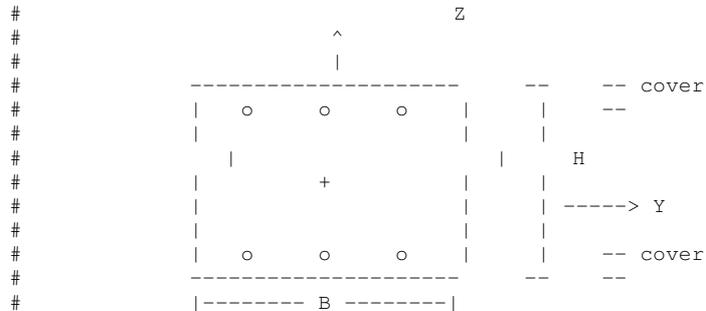
SEZIONE PILASTRO 1 30x72 tutti f16



SEZIONE TRAVE 2 30x50 tutti f16 IMPALCATO 1



SEZIONE TRAVE 3 30x50 tutti f16 IMPALCATO 2



y=B, z=H
set ylpilastro 400;#base=800
set zlpilastro 200;#altezza=400
set zlpilastrocent1 31.8; #fila di armature nel pilastro in basso

```

set zlpilastrocent 53; #fila di armature nei pilastri
set yltrave 150;#base=300
set zltrave 250;#altezza=500
set cover 25.0; # copriferro
set As16 201.06; # area of 1 fil6

# TRAVE IMPALCATO 1 SEZIONE 1 passo 110 mm
section Fiber 1 {
  # Create the concrete core fibers
  # VA DATA PRIMA LA COORDINATA Z !!!!!
  # materiale fibrez fibrey zi yi
  zk yk
  patch rect 1 20 20 [expr -$zltrave+$cover] [expr -$yltrave+$cover]
[expr $zltrave-$cover] [expr $yltrave-$cover]
  # Create the concrete cover fibers
  patch rect 5 10 10 [expr $zltrave-$cover] [expr -$yltrave] $zltrave $yltrave
  patch rect 5 10 10 [expr -$zltrave] [expr -$yltrave] [expr -$zltrave+$cover] $yltrave
  patch rect 5 10 10 [expr -$zltrave+$cover] [expr -$yltrave] [expr $zltrave-$cover] [expr
-$yltrave+$cover]
  patch rect 5 10 10 [expr -$zltrave+$cover] [expr $yltrave-$cover] [expr $zltrave-
$cover] $yltrave
  # Create the reinforcing fibers (top, middle, bottom)
  # VA DATA PRIMA LA COORDINATA Z !!!!!
  # material number.bar Aindividualbar inizio inizio fine fine
  layer straight 6 7 $As16 [expr $zltrave-$cover] [expr -$yltrave+$cover] [expr
$zltrave-$cover] [expr $yltrave-$cover]
  layer straight 6 5 $As16 [expr -$zltrave+$cover] [expr -$yltrave+$cover] [expr -
$zltrave+$cover] [expr $yltrave-$cover]
}

# TRAVE IMPALCATO 1 SEZIONE 13 passo 220 mm
section Fiber 13 {
  # Create the concrete core fibers
  # VA DATA PRIMA LA COORDINATA Z !!!!!
  # materiale fibrez fibrey zi yi zk yk
  patch rect 2 20 20 [expr -$zltrave+$cover] [expr -$yltrave+$cover]
[expr $zltrave-$cover] [expr $yltrave-$cover]
  # Create the concrete cover fibers
  patch rect 5 10 10 [expr $zltrave-$cover] [expr -$yltrave] $zltrave $yltrave
  patch rect 5 10 10 [expr -$zltrave] [expr -$yltrave] [expr -$zltrave+$cover] $yltrave
  patch rect 5 10 10 [expr -$zltrave+$cover] [expr -$yltrave] [expr $zltrave-$cover] [expr
-$yltrave+$cover]
  patch rect 5 10 10 [expr -$zltrave+$cover] [expr $yltrave-$cover] [expr $zltrave-
$cover] $yltrave
  # Create the reinforcing fibers (top, middle, bottom)
  # VA DATA PRIMA LA COORDINATA Z !!!!!
  # material number.bar Aindividualbar inizio inizio fine fine
  layer straight 7 7 $As16 [expr $zltrave-$cover] [expr -$yltrave+$cover] [expr
$zltrave-$cover] [expr $yltrave-$cover]
  layer straight 7 5 $As16 [expr -$zltrave+$cover] [expr -$yltrave+$cover] [expr -
$zltrave+$cover] [expr $yltrave-$cover]
}

# TRAVE IMPALCATO 1-2-3 SEZIONE 2 passo 220 mm
section Fiber 2 {
  # Create the concrete core fibers
  # VA DATA PRIMA LA COORDINATA Z !!!!!
  # materiale fibrez fibrey zi yi zk yk
  patch rect 2 20 20 [expr -$zltrave+$cover] [expr -$yltrave+$cover]
[expr $zltrave-$cover] [expr $yltrave-$cover]
  # Create the concrete cover fibers
  patch rect 5 10 10 [expr $zltrave-$cover] [expr -$yltrave] $zltrave $yltrave
  patch rect 5 10 10 [expr -$zltrave] [expr -$yltrave] [expr -$zltrave+$cover] $yltrave
  patch rect 5 10 10 [expr -$zltrave+$cover] [expr -$yltrave] [expr $zltrave-$cover] [expr
-$yltrave+$cover]
  patch rect 5 10 10 [expr -$zltrave+$cover] [expr $yltrave-$cover] [expr $zltrave-
$cover] $yltrave
  # Create the reinforcing fibers (top, middle, bottom)
  # VA DATA PRIMA LA COORDINATA Z !!!!!
  # material number.bar Aindividualbar inizio inizio fine fine
  layer straight 7 5 $As16 [expr $zltrave-$cover] [expr -$yltrave+$cover] [expr
$zltrave-$cover] [expr $yltrave-$cover]
  layer straight 7 4 $As16 [expr -$zltrave+$cover] [expr -$yltrave+$cover] [expr -
$zltrave+$cover] [expr $yltrave-$cover]
}

```

```

# TRAVE IMPALCATO 4-5-6-7 SEZIONE 17 passo 220 mm
section Fiber 17 {
  # Create the concrete core fibers
  # VA DATA PRIMA LA COORDINATA Z !!!!!
  #      materiale fibrez fibrey zi yi zk yk
  patch rect 2 20 20 [expr -$zltrave+$cover] [expr -$yltrave+$cover]
[expr $zltrave-$cover] [expr $yltrave-$cover]
  # Create the concrete cover fibers
  patch rect 5 10 10 [expr $zltrave-$cover] [expr -$yltrave] $zltrave $yltrave
  patch rect 5 10 10 [expr -$zltrave] [expr -$yltrave] [expr -$zltrave+$cover] $yltrave
  patch rect 5 10 10 [expr -$zltrave+$cover] [expr -$yltrave] [expr $zltrave-$cover] [expr
-$yltrave+$cover]
  patch rect 5 10 10 [expr -$zltrave+$cover] [expr $yltrave-$cover] [expr $zltrave-
$cover] $yltrave
  # Create the reinforcing fibers (top, middle, bottom)
  # VA DATA PRIMA LA COORDINATA Z !!!!!
  #      material number.bar Aindividualbar inizio inizio fine fine
  layer straight 7 4 $As16 [expr $zltrave-$cover] [expr -$yltrave+$cover] [expr
$zltrave-$cover] [expr $yltrave-$cover]
  layer straight 7 3 $As16 [expr -$zltrave+$cover] [expr -$yltrave+$cover] [expr -
$zltrave+$cover] [expr $yltrave-$cover]
}
# TRAVE IMPALCATO 1-2 SEZIONE 3 passo 110 mm
section Fiber 3 {
  # Create the concrete core fibers
  # VA DATA PRIMA LA COORDINATA Z !!!!!
  #      materiale fibrez fibrey zi yi zk yk
  patch rect 1 20 20 [expr -$zltrave+$cover] [expr -$yltrave+$cover]
[expr $zltrave-$cover] [expr $yltrave-$cover]
  # Create the concrete cover fibers
  patch rect 5 10 10 [expr $zltrave-$cover] [expr -$yltrave] $zltrave $yltrave
  patch rect 5 10 10 [expr -$zltrave] [expr -$yltrave] [expr -$zltrave+$cover] $yltrave
  patch rect 5 10 10 [expr -$zltrave+$cover] [expr -$yltrave] [expr $zltrave-$cover] [expr
-$yltrave+$cover]
  patch rect 5 10 10 [expr -$zltrave+$cover] [expr $yltrave-$cover] [expr $zltrave-
$cover] $yltrave
  # Create the reinforcing fibers (top, middle, bottom)
  # VA DATA PRIMA LA COORDINATA Z !!!!!
  #      material number.bar Aindividualbar inizio inizio fine fine
  layer straight 6 8 $As16 [expr $zltrave-$cover] [expr -$yltrave+$cover] [expr
$zltrave-$cover] [expr $yltrave-$cover]
  layer straight 6 4 $As16 [expr -$zltrave+$cover] [expr -$yltrave+$cover] [expr -
$zltrave+$cover] [expr $yltrave-$cover]
}
# TRAVE IMPALCATO 1-2 SEZIONE 3 passo 220 mm
section Fiber 14 {
  # Create the concrete core fibers
  # VA DATA PRIMA LA COORDINATA Z !!!!!
  #      materiale fibrez fibrey zi yi zk yk
  patch rect 2 20 20 [expr -$zltrave+$cover] [expr -$yltrave+$cover]
[expr $zltrave-$cover] [expr $yltrave-$cover]
  # Create the concrete cover fibers
  patch rect 5 10 10 [expr $zltrave-$cover] [expr -$yltrave] $zltrave $yltrave
  patch rect 5 10 10 [expr -$zltrave] [expr -$yltrave] [expr -$zltrave+$cover] $yltrave
  patch rect 5 10 10 [expr -$zltrave+$cover] [expr -$yltrave] [expr $zltrave-$cover] [expr
-$yltrave+$cover]
  patch rect 5 10 10 [expr -$zltrave+$cover] [expr $yltrave-$cover] [expr $zltrave-
$cover] $yltrave
  # Create the reinforcing fibers (top, middle, bottom)
  # VA DATA PRIMA LA COORDINATA Z !!!!!
  #      material number.bar Aindividualbar inizio inizio fine fine
  layer straight 7 8 $As16 [expr $zltrave-$cover] [expr -$yltrave+$cover] [expr
$zltrave-$cover] [expr $yltrave-$cover]
  # layer straight 6 3 $As16 0.0 [expr -$yltrave+$cover] 0.0 [expr $yltrave-$cover]
  layer straight 7 4 $As16 [expr -$zltrave+$cover] [expr -$yltrave+$cover] [expr -
$zltrave+$cover] [expr $yltrave-$cover]
}
# TRAVE IMPALCATO 2-3-4 SEZIONE 4 passo 110 mm
section Fiber 4 {
  # Create the concrete core fibers
  # VA DATA PRIMA LA COORDINATA Z !!!!!
  #      materiale fibrez fibrey zi yi zk yk
  patch rect 1 20 20 [expr -$zltrave+$cover] [expr -$yltrave+$cover]
[expr $zltrave-$cover] [expr $yltrave-$cover]
  # Create the concrete cover fibers
  patch rect 5 10 10 [expr $zltrave-$cover] [expr -$yltrave] $zltrave $yltrave
  patch rect 5 10 10 [expr -$zltrave] [expr -$yltrave] [expr -$zltrave+$cover] $yltrave

```

```

    patch rect 5 10 10 [expr -$zltrave+$cover] [expr -$yltrave] [expr $zltrave-$cover] [expr
-$yltrave+$cover]
    patch rect 5 10 10 [expr -$zltrave+$cover] [expr $yltrave-$cover] [expr $zltrave-
$cover] $yltrave
    # Create the reinforcing fibers (top, middle, bottom)
    # VA DATA PRIMA LA COORDINATA Z !!!!!
    # material number.bar Aindividualbar inizio inizio fine fine
    layer straight 6 7 $As16 [expr $zltrave-$cover] [expr -$yltrave+$cover] [expr
$zltrave-$cover] [expr $yltrave-$cover]
    layer straight 6 4 $As16 [expr -$zltrave+$cover] [expr -$yltrave+$cover] [expr -
$zltrave+$cover] [expr $yltrave-$cover]
}
# TRAVE IMPALCATO 2-3-4 SEZIONE 15 passo 220 mm
section Fiber 15 {
    # Create the concrete core fibers
    # VA DATA PRIMA LA COORDINATA Z !!!!!
    # materiale fibrez fibrey zi yi zk yk
    patch rect 2 20 20 [expr -$zltrave+$cover] [expr -$yltrave+$cover]
[expr $zltrave-$cover] [expr $yltrave-$cover]
    # Create the concrete cover fibers
    patch rect 5 10 10 [expr $zltrave-$cover] [expr -$yltrave] $zltrave $yltrave
    patch rect 5 10 10 [expr -$zltrave] [expr -$yltrave] [expr -$zltrave+$cover] $yltrave
    patch rect 5 10 10 [expr -$zltrave+$cover] [expr -$yltrave] [expr $zltrave-$cover] [expr
-$yltrave+$cover]
    patch rect 5 10 10 [expr -$zltrave+$cover] [expr $yltrave-$cover] [expr $zltrave-
$cover] $yltrave
    # Create the reinforcing fibers (top, middle, bottom)
    # VA DATA PRIMA LA COORDINATA Z !!!!!
    # material number.bar Aindividualbar inizio inizio fine fine
    layer straight 7 7 $As16 [expr $zltrave-$cover] [expr -$yltrave+$cover] [expr
$zltrave-$cover] [expr $yltrave-$cover]
    layer straight 7 4 $As16 [expr -$zltrave+$cover] [expr -$yltrave+$cover] [expr -
$zltrave+$cover] [expr $yltrave-$cover]
}
# TRAVE IMPALCATO 4-5 SEZIONE 5 passo 110 mm
section Fiber 5 {
    # Create the concrete core fibers
    # VA DATA PRIMA LA COORDINATA Z !!!!!
    # materiale fibrez fibrey zi yi zk yk
    patch rect 1 20 20 [expr -$zltrave+$cover] [expr -$yltrave+$cover]
[expr $zltrave-$cover] [expr $yltrave-$cover]
    # Create the concrete cover fibers
    patch rect 5 10 10 [expr $zltrave-$cover] [expr -$yltrave] $zltrave $yltrave
    patch rect 5 10 10 [expr -$zltrave] [expr -$yltrave] [expr -$zltrave+$cover] $yltrave
    patch rect 5 10 10 [expr -$zltrave+$cover] [expr -$yltrave] [expr $zltrave-$cover] [expr
-$yltrave+$cover]
    patch rect 5 10 10 [expr -$zltrave+$cover] [expr $yltrave-$cover] [expr $zltrave-
$cover] $yltrave
    # Create the reinforcing fibers (top, middle, bottom)
    # VA DATA PRIMA LA COORDINATA Z !!!!!
    # material number.bar Aindividualbar inizio inizio fine fine
    layer straight 6 6 $As16 [expr $zltrave-$cover] [expr -$yltrave+$cover] [expr
$zltrave-$cover] [expr $yltrave-$cover]
    layer straight 6 3 $As16 [expr -$zltrave+$cover] [expr -$yltrave+$cover] [expr -
$zltrave+$cover] [expr $yltrave-$cover]
}
# TRAVE IMPALCATO 4-5 SEZIONE 16 passo 220 mm
section Fiber 16 {
    # Create the concrete core fibers
    # VA DATA PRIMA LA COORDINATA Z !!!!!
    # materiale fibrez fibrey zi yi zk yk
    patch rect 2 20 20 [expr -$zltrave+$cover] [expr -$yltrave+$cover]
[expr $zltrave-$cover] [expr $yltrave-$cover]
    # Create the concrete cover fibers
    patch rect 5 10 10 [expr $zltrave-$cover] [expr -$yltrave] $zltrave $yltrave
    patch rect 5 10 10 [expr -$zltrave] [expr -$yltrave] [expr -$zltrave+$cover] $yltrave
    patch rect 5 10 10 [expr -$zltrave+$cover] [expr -$yltrave] [expr $zltrave-$cover] [expr
-$yltrave+$cover]
    patch rect 5 10 10 [expr -$zltrave+$cover] [expr $yltrave-$cover] [expr $zltrave-
$cover] $yltrave
    # Create the reinforcing fibers (top, middle, bottom)
    # VA DATA PRIMA LA COORDINATA Z !!!!!
    # material number.bar Aindividualbar inizio inizio fine fine
    layer straight 7 6 $As16 [expr $zltrave-$cover] [expr -$yltrave+$cover] [expr
$zltrave-$cover] [expr $yltrave-$cover]
    layer straight 7 3 $As16 [expr -$zltrave+$cover] [expr -$yltrave+$cover] [expr -
$zltrave+$cover] [expr $yltrave-$cover]
}

```

```

}
# TRAVE IMPALCATO 6-7 SEZIONE 6 passo 110 mm
section Fiber 6 {
  # Create the concrete core fibers
  # VA DATA PRIMA LA COORDINATA Z !!!!!
  #      materiale fibrez fibrey      zi      yi      zk      yk
  patch rect 1 20 20 [expr -$zltrave+$cover] [expr -$yltrave+$cover]
[expr $zltrave-$cover] [expr $yltrave-$cover]
  # Create the concrete cover fibers
  patch rect 5 10 10 [expr $zltrave-$cover] [expr -$yltrave] $zltrave $yltrave
  patch rect 5 10 10 [expr -$zltrave] [expr -$yltrave] [expr -$zltrave+$cover] $yltrave
  patch rect 5 10 10 [expr -$zltrave+$cover] [expr -$yltrave] [expr $zltrave-$cover] [expr
-$yltrave+$cover]
  patch rect 5 10 10 [expr -$zltrave+$cover] [expr $yltrave-$cover] [expr $zltrave-
$cover] $yltrave
  # Create the reinforcing fibers (top, middle, bottom)
  # VA DATA PRIMA LA COORDINATA Z !!!!!
  #      material number.bar Aindividualbar      inizio      inizio fine      fine
  layer straight 6 5 $As16 [expr $zltrave-$cover] [expr -$yltrave+$cover] [expr
$zltrave-$cover] [expr $yltrave-$cover]
  layer straight 6 3 $As16 [expr -$zltrave+$cover] [expr -$yltrave+$cover] [expr -
$zltrave+$cover] [expr $yltrave-$cover]
}
# TRAVE IMPALCATO 6-7 SEZIONE 18 passo 220 mm
section Fiber 18 {
  # Create the concrete core fibers
  # VA DATA PRIMA LA COORDINATA Z !!!!!
  #      materiale fibrez fibrey      zi      yi      zk      yk
  patch rect 2 20 20 [expr -$zltrave+$cover] [expr -$yltrave+$cover]
[expr $zltrave-$cover] [expr $yltrave-$cover]
  # Create the concrete cover fibers
  patch rect 5 10 10 [expr $zltrave-$cover] [expr -$yltrave] $zltrave $yltrave
  patch rect 5 10 10 [expr -$zltrave] [expr -$yltrave] [expr -$zltrave+$cover] $yltrave
  patch rect 5 10 10 [expr -$zltrave+$cover] [expr -$yltrave] [expr $zltrave-$cover] [expr
-$yltrave+$cover]
  patch rect 5 10 10 [expr -$zltrave+$cover] [expr $yltrave-$cover] [expr $zltrave-
$cover] $yltrave
  # Create the reinforcing fibers (top, middle, bottom)
  # VA DATA PRIMA LA COORDINATA Z !!!!!
  #      material number.bar Aindividualbar      inizio      inizio fine      fine
  layer straight 7 5 $As16 [expr $zltrave-$cover] [expr -$yltrave+$cover] [expr
$zltrave-$cover] [expr $yltrave-$cover]
  layer straight 7 3 $As16 [expr -$zltrave+$cover] [expr -$yltrave+$cover] [expr -
$zltrave+$cover] [expr $yltrave-$cover]
}
# TRAVE IMPALCATO 8 SEZIONE 7 passo 110 mm
section Fiber 7 {
  # Create the concrete core fibers
  # VA DATA PRIMA LA COORDINATA Z !!!!!
  #      materiale fibrez fibrey      zi      yi      zk      yk
  patch rect 1 20 20 [expr -$zltrave+$cover] [expr -$yltrave+$cover]
[expr $zltrave-$cover] [expr $yltrave-$cover]
  # Create the concrete cover fibers
  patch rect 5 10 10 [expr $zltrave-$cover] [expr -$yltrave] $zltrave $yltrave
  patch rect 5 10 10 [expr -$zltrave] [expr -$yltrave] [expr -$zltrave+$cover] $yltrave
  patch rect 5 10 10 [expr -$zltrave+$cover] [expr -$yltrave] [expr $zltrave-$cover] [expr
-$yltrave+$cover]
  patch rect 5 10 10 [expr -$zltrave+$cover] [expr $yltrave-$cover] [expr $zltrave-
$cover] $yltrave
  # Create the reinforcing fibers (top, middle, bottom)
  # VA DATA PRIMA LA COORDINATA Z !!!!!
  #      material number.bar Aindividualbar      inizio      inizio fine      fine
  layer straight 6 4 $As16 [expr $zltrave-$cover] [expr -$yltrave+$cover] [expr
$zltrave-$cover] [expr $yltrave-$cover]
  layer straight 6 3 $As16 [expr -$zltrave+$cover] [expr -$yltrave+$cover] [expr -
$zltrave+$cover] [expr $yltrave-$cover]
}
# TRAVE IMPALCATO 9-10 SEZIONE 8 passo 110 mm
section Fiber 8 {
  # Create the concrete core fibers
  # VA DATA PRIMA LA COORDINATA Z !!!!!
  #      materiale fibrez fibrey      zi      yi      zk      yk
  patch rect 1 20 20 [expr -$zltrave+$cover] [expr -$yltrave+$cover]
[expr $zltrave-$cover] [expr $yltrave-$cover]
  # Create the concrete cover fibers
  patch rect 5 10 10 [expr $zltrave-$cover] [expr -$yltrave] $zltrave $yltrave
  patch rect 5 10 10 [expr -$zltrave] [expr -$yltrave] [expr -$zltrave+$cover] $yltrave

```

```

    patch rect 5 10 10 [expr -$zltrave+$cover] [expr -$yltrave] [expr $zltrave-$cover] [expr
-$yltrave+$cover]
    patch rect 5 10 10 [expr -$zltrave+$cover] [expr $yltrave-$cover] [expr $zltrave-
$cover] $yltrave
    # Create the reinforcing fibers (top, middle, bottom)
    # VA DATA PRIMA LA COORDINATA Z !!!!!
    # material number.bar Aindividualbar inizio inizio fine fine
    layer straight 6 3 $As16 [expr $zltrave-$cover] [expr -$yltrave+$cover] [expr
$zltrave-$cover] [expr $yltrave-$cover]
    # layer straight 6 3 $As16 0.0 [expr -$yltrave+$cover] 0.0 [expr $yltrave-$cover]
    layer straight 6 3 $As16 [expr -$zltrave+$cover] [expr -$yltrave+$cover] [expr -
$zltrave+$cover] [expr $yltrave-$cover]
}
# TRAVE IMPALCATO 9-10 SEZIONE 19 passo 220 mm
section Fiber 19 {
    # Create the concrete core fibers
    # VA DATA PRIMA LA COORDINATA Z !!!!!
    # materiale fibrez fibrey zi yi zk yk
    patch rect 2 20 20 [expr -$zltrave+$cover] [expr -$yltrave+$cover]
[expr $zltrave-$cover] [expr $yltrave-$cover]
    # Create the concrete cover fibers
    patch rect 5 10 10 [expr $zltrave-$cover] [expr -$yltrave] $zltrave $yltrave
    patch rect 5 10 10 [expr -$zltrave] [expr -$yltrave] [expr -$zltrave+$cover] $yltrave
    patch rect 5 10 10 [expr -$zltrave+$cover] [expr -$yltrave] [expr $zltrave-$cover] [expr
-$yltrave+$cover]
    patch rect 5 10 10 [expr -$zltrave+$cover] [expr $yltrave-$cover] [expr $zltrave-
$cover] $yltrave
    # Create the reinforcing fibers (top, middle, bottom)
    # VA DATA PRIMA LA COORDINATA Z !!!!!
    # material number.bar Aindividualbar inizio inizio fine fine
    layer straight 7 3 $As16 [expr $zltrave-$cover] [expr -$yltrave+$cover] [expr
$zltrave-$cover] [expr $yltrave-$cover]
    # layer straight 6 3 $As16 0.0 [expr -$yltrave+$cover] 0.0 [expr $yltrave-$cover]
    layer straight 7 3 $As16 [expr -$zltrave+$cover] [expr -$yltrave+$cover] [expr -
$zltrave+$cover] [expr $yltrave-$cover]
}

# PILASTRO SEZIONE 9 passo 80 mm piano terra
section Fiber 9 {
    # Create the concrete core fibers
    # VA DATA PRIMA LA COORDINATA Z !!!!!
    # materiale fibrez fibrey zi yi zk yk
    patch rect 3 20 20 [expr -$zlpilastro+$cover] [expr -
$zlpilastro+$cover] [expr $zlpilastro-$cover] [expr $zlpilastro-$cover]
    # Create the concrete cover fibers
    patch rect 5 10 10 [expr $zlpilastro-$cover] [expr -$zlpilastro] $zlpilastro
$zlpilastro
    patch rect 5 10 10 [expr -$zlpilastro] [expr -$zlpilastro] [expr -$zlpilastro+$cover]
$zlpilastro
    patch rect 5 10 10 [expr -$zlpilastro+$cover] [expr -$zlpilastro] [expr $zlpilastro-
$cover] [expr -$zlpilastro+$cover]
    patch rect 5 10 10 [expr -$zlpilastro+$cover] [expr $zlpilastro-$cover] [expr
$zlpilastro-$cover] $zlpilastro
    # Create the reinforcing fibers (top, middle, bottom)
    # VA DATA PRIMA LA COORDINATA Z !!!!!
    # material number.bar Aindividualbar inizio inizio fine fine
    layer straight 8 8 $As16 [expr $zlpilastro-$cover] [expr -$zlpilastro+$cover] [expr
$zlpilastro-$cover] [expr $zlpilastro-$cover]
    layer straight 8 2 $As16 [expr 3*$zlpilastrocent1] [expr -$zlpilastro+$cover] [expr
3*$zlpilastrocent1] [expr $zlpilastro-$cover]
    layer straight 8 2 $As16 $zlpilastrocent1 [expr -$zlpilastro+$cover] $zlpilastrocent1
[expr $zlpilastro-$cover]
    layer straight 8 2 $As16 -$zlpilastrocent1 [expr -$zlpilastro+$cover] -$zlpilastrocent1
[expr $zlpilastro-$cover]
    layer straight 8 2 $As16 [expr -3*$zlpilastrocent1] [expr -$zlpilastro+$cover] [expr -
3*$zlpilastrocent1] [expr $zlpilastro-$cover]
    layer straight 8 8 $As16 [expr -$zlpilastro+$cover] [expr -$zlpilastro+$cover] [expr -
$zlpilastro+$cover] [expr $zlpilastro-$cover]
}
# PILASTRO SEZIONE 10 passo 170 mm piano terra
section Fiber 10 {
    # Create the concrete core fibers
    # VA DATA PRIMA LA COORDINATA Z !!!!!
    # materiale fibrez fibrey zi yi zk yk
    patch rect 4 20 20 [expr -$zlpilastro+$cover] [expr -
$zlpilastro+$cover] [expr $zlpilastro-$cover] [expr $zlpilastro-$cover]
    # Create the concrete cover fibers

```

```

        patch rect 5 10 10 [expr $zlpilastro-$cover] [expr -$ylpilastro] $zlpilastro
$ylpilastro
        patch rect 5 10 10 [expr -$zlpilastro] [expr -$ylpilastro] [expr -$zlpilastro+$cover]
$ylpilastro
        patch rect 5 10 10 [expr -$zlpilastro+$cover] [expr -$ylpilastro] [expr $zlpilastro-
$cover] [expr -$ylpilastro+$cover]
        patch rect 5 10 10 [expr -$zlpilastro+$cover] [expr $ylpilastro-$cover] [expr
$zlpilastro-$cover] $ylpilastro
        # Create the reinforcing fibers (top, middle, bottom)
        # VA DATA PRIMA LA COORDINATA Z !!!!!
        # material number.bar Aindividualbar inizio inizio fine fine
        layer straight 9 6 $As16 [expr $zlpilastro-$cover] [expr -$ylpilastro+$cover] [expr
$zlpilastro-$cover] [expr $ylpilastro-$cover]
        layer straight 9 2 $As16 [expr 3*$zlpilastrocent1] [expr -$ylpilastro+$cover] [expr
3*$zlpilastrocent1] [expr $ylpilastro-$cover]
        layer straight 9 2 $As16 $zlpilastrocent1 [expr -$ylpilastro+$cover] $zlpilastrocent1
[expr $ylpilastro-$cover]
        layer straight 9 2 $As16 -$zlpilastrocent1 [expr -$ylpilastro+$cover] -$zlpilastrocent1
[expr $ylpilastro-$cover]
        layer straight 9 2 $As16 [expr -3*$zlpilastrocent1] [expr -$ylpilastro+$cover] [expr -
3*$zlpilastrocent1] [expr $ylpilastro-$cover]
        layer straight 9 6 $As16 [expr -$zlpilastro+$cover] [expr -$ylpilastro+$cover] [expr -
$zlpilastro+$cover] [expr $ylpilastro-$cover]
    }
# PILASTRO SEZIONE 11 passo 80 mm piano terra
section Fiber 11 {
    # Create the concrete core fibers
    # VA DATA PRIMA LA COORDINATA Z !!!!!
    # materiale fibrez fibrey zi yi zk yk
    patch rect 3 20 20 [expr -$zlpilastro+$cover] [expr -
$ylpilastro+$cover] [expr $zlpilastro-$cover] [expr $ylpilastro-$cover]
    # Create the concrete cover fibers
    patch rect 5 10 10 [expr $zlpilastro-$cover] [expr -$ylpilastro] $zlpilastro
$ylpilastro
    patch rect 5 10 10 [expr -$zlpilastro] [expr -$ylpilastro] [expr -$zlpilastro+$cover]
$ylpilastro
    patch rect 5 10 10 [expr -$zlpilastro+$cover] [expr -$ylpilastro] [expr $zlpilastro-
$cover] [expr -$ylpilastro+$cover]
    patch rect 5 10 10 [expr -$zlpilastro+$cover] [expr $ylpilastro-$cover] [expr
$zlpilastro-$cover] $ylpilastro
    # Create the reinforcing fibers (top, middle, bottom)
    # VA DATA PRIMA LA COORDINATA Z !!!!!
    # material number.bar Aindividualbar inizio inizio fine fine
    layer straight 8 8 $As16 [expr $zlpilastro-$cover] [expr -$ylpilastro+$cover] [expr
$zlpilastro-$cover] [expr $ylpilastro-$cover]
    layer straight 8 2 $As16 [expr 3*$zlpilastrocent] [expr -$ylpilastro+$cover] [expr
3*$zlpilastrocent] [expr $ylpilastro-$cover]
    layer straight 8 2 $As16 $zlpilastrocent [expr -$ylpilastro+$cover] $zlpilastrocent
[expr $ylpilastro-$cover]
    layer straight 8 2 $As16 -$zlpilastrocent [expr -$ylpilastro+$cover] -$zlpilastrocent
[expr $ylpilastro-$cover]
    layer straight 8 2 $As16 [expr -3*$zlpilastrocent] [expr -$ylpilastro+$cover] [expr -
3*$zlpilastrocent] [expr $ylpilastro-$cover]
    layer straight 8 8 $As16 [expr -$zlpilastro+$cover] [expr -$ylpilastro+$cover] [expr -
$zlpilastro+$cover] [expr $ylpilastro-$cover]
    }
# PILASTRO SEZIONE 12 passo 170 mm piani superiori
section Fiber 12 {
    # Create the concrete core fibers
    # VA DATA PRIMA LA COORDINATA Z !!!!!
    # materiale fibrez fibrey zi yi zk yk
    patch rect 4 20 20 [expr -$zlpilastro+$cover] [expr -
$ylpilastro+$cover] [expr $zlpilastro-$cover] [expr $ylpilastro-$cover]
    # Create the concrete cover fibers
    patch rect 5 10 10 [expr $zlpilastro-$cover] [expr -$ylpilastro] $zlpilastro
$ylpilastro
    patch rect 5 10 10 [expr -$zlpilastro] [expr -$ylpilastro] [expr -$zlpilastro+$cover]
$ylpilastro
    patch rect 5 10 10 [expr -$zlpilastro+$cover] [expr -$ylpilastro] [expr $zlpilastro-
$cover] [expr -$ylpilastro+$cover]
    patch rect 5 10 10 [expr -$zlpilastro+$cover] [expr $ylpilastro-$cover] [expr
$zlpilastro-$cover] $ylpilastro
    # Create the reinforcing fibers (top, middle, bottom)
    # VA DATA PRIMA LA COORDINATA Z !!!!!
    # material number.bar Aindividualbar inizio inizio fine fine
    layer straight 9 6 $As16 [expr $zlpilastro-$cover] [expr -$ylpilastro+$cover] [expr
$zlpilastro-$cover] [expr $ylpilastro-$cover]

```

```

layer straight 9 2 $As16 [expr 3*$zlpilastrocent] [expr -$ylpilastro+$cover] [expr
3*$zlpilastrocent] [expr $ylpilastro-$cover]
layer straight 9 2 $As16 $zlpilastrocent [expr -$ylpilastro+$cover] $zlpilastrocent
[expr $ylpilastro-$cover]
layer straight 9 2 $As16 -$zlpilastrocent [expr -$ylpilastro+$cover] -$zlpilastrocent
[expr $ylpilastro-$cover]
layer straight 9 2 $As16 [expr -3*$zlpilastrocent] [expr -$ylpilastro+$cover] [expr -
3*$zlpilastrocent] [expr $ylpilastro-$cover]
layer straight 9 6 $As16 [expr -$zlpilastro+$cover] [expr -$ylpilastro+$cover] [expr -
$zlpilastro+$cover] [expr $ylpilastro-$cover]
}

```

```

geomTransf Corotational 1; # beams and columns
# geomTransf PDelta 2; #columns

```

```
# ELEMENTS -----
```

```
set numIntgrPts 5; # number of integration points for force-based element
```

```
#IMPALCATO 1
```

element dispBeamColumn 1	1	2	\$numIntgrPts	1	1
element dispBeamColumn 2	2	3	\$numIntgrPts	1	1
element dispBeamColumn 3	3	4	\$numIntgrPts	1	1
element dispBeamColumn 4	4	5	\$numIntgrPts	13	1
element dispBeamColumn 5	5	6	\$numIntgrPts	13	1
element dispBeamColumn 6	6	7	\$numIntgrPts	2	1
element dispBeamColumn 7	7	8	\$numIntgrPts	14	1
element dispBeamColumn 8	8	9	\$numIntgrPts	14	1
element dispBeamColumn 9	9	10	\$numIntgrPts	3	1
element dispBeamColumn 10	10	11	\$numIntgrPts	3	1
element dispBeamColumn 11	11	12	\$numIntgrPts	3	1
element dispBeamColumn 21	12	13	\$numIntgrPts	3	1
element dispBeamColumn 22	13	14	\$numIntgrPts	3	1
element dispBeamColumn 23	14	15	\$numIntgrPts	3	1
element dispBeamColumn 24	15	16	\$numIntgrPts	14	1
element dispBeamColumn 25	16	17	\$numIntgrPts	14	1
element dispBeamColumn 26	17	18	\$numIntgrPts	2	1
element dispBeamColumn 27	18	19	\$numIntgrPts	14	1
element dispBeamColumn 28	19	20	\$numIntgrPts	14	1
element dispBeamColumn 29	20	21	\$numIntgrPts	3	1
element dispBeamColumn 210	21	22	\$numIntgrPts	3	1
element dispBeamColumn 211	22	23	\$numIntgrPts	3	1
element dispBeamColumn 31	23	24	\$numIntgrPts	3	1
element dispBeamColumn 32	24	25	\$numIntgrPts	3	1
element dispBeamColumn 33	25	26	\$numIntgrPts	3	1
element dispBeamColumn 34	26	27	\$numIntgrPts	14	1
element dispBeamColumn 35	27	28	\$numIntgrPts	14	1
element dispBeamColumn 36	28	29	\$numIntgrPts	2	1
element dispBeamColumn 37	29	11129	\$numIntgrPts	14	1
element dispBeamColumn 111137	11129	30	\$numIntgrPts	14	1
element dispBeamColumn 38	30	31	\$numIntgrPts	14	1
element dispBeamColumn 39	31	32	\$numIntgrPts	3	1
element dispBeamColumn 310	32	33	\$numIntgrPts	3	1
element dispBeamColumn 311	33	34	\$numIntgrPts	3	1
element dispBeamColumn 41	34	35	\$numIntgrPts	3	1
element dispBeamColumn 42	35	36	\$numIntgrPts	3	1
element dispBeamColumn 43	36	37	\$numIntgrPts	3	1
element dispBeamColumn 44	37	38	\$numIntgrPts	14	1
element dispBeamColumn 45	38	11138	\$numIntgrPts	14	1
element dispBeamColumn 11145	11138	39	\$numIntgrPts	14	1
element dispBeamColumn 46	39	40	\$numIntgrPts	2	1
element dispBeamColumn 47	40	41	\$numIntgrPts	14	1
element dispBeamColumn 48	41	42	\$numIntgrPts	14	1
element dispBeamColumn 49	42	43	\$numIntgrPts	3	1
element dispBeamColumn 410	43	44	\$numIntgrPts	3	1
element dispBeamColumn 411	44	45	\$numIntgrPts	3	1
element dispBeamColumn 51	45	46	\$numIntgrPts	3	1
element dispBeamColumn 52	46	47	\$numIntgrPts	3	1
element dispBeamColumn 53	47	48	\$numIntgrPts	3	1
element dispBeamColumn 54	48	49	\$numIntgrPts	14	1
element dispBeamColumn 55	49	50	\$numIntgrPts	14	1
element dispBeamColumn 56	50	51	\$numIntgrPts	2	1

element dispBeamColumn	57	51	52	\$numIntgrPts	14	1
element dispBeamColumn	58	52	53	\$numIntgrPts	14	1
element dispBeamColumn	59	53	54	\$numIntgrPts	3	1
element dispBeamColumn	510	54	55	\$numIntgrPts	3	1
element dispBeamColumn	511	55	56	\$numIntgrPts	3	1

element dispBeamColumn	61	56	57	\$numIntgrPts	3	1
element dispBeamColumn	62	57	58	\$numIntgrPts	3	1
element dispBeamColumn	63	58	59	\$numIntgrPts	3	1
element dispBeamColumn	64	59	60	\$numIntgrPts	14	1
element dispBeamColumn	65	60	61	\$numIntgrPts	14	1
element dispBeamColumn	66	61	62	\$numIntgrPts	2	1
element dispBeamColumn	67	62	63	\$numIntgrPts	13	1
element dispBeamColumn	68	63	64	\$numIntgrPts	13	1
element dispBeamColumn	69	64	65	\$numIntgrPts	1	1
element dispBeamColumn	610	65	66	\$numIntgrPts	1	1
element dispBeamColumn	611	66	67	\$numIntgrPts	1	1

#IMPALCATO 2

element dispBeamColumn	71	71	72	\$numIntgrPts	4	1
element dispBeamColumn	72	72	73	\$numIntgrPts	4	1
element dispBeamColumn	73	73	74	\$numIntgrPts	4	1
element dispBeamColumn	74	74	75	\$numIntgrPts	15	1
element dispBeamColumn	75	75	76	\$numIntgrPts	15	1
element dispBeamColumn	76	76	77	\$numIntgrPts	2	1
element dispBeamColumn	77	77	78	\$numIntgrPts	14	1
element dispBeamColumn	78	78	79	\$numIntgrPts	14	1
element dispBeamColumn	79	79	710	\$numIntgrPts	3	1
element dispBeamColumn	710	710	711	\$numIntgrPts	3	1
element dispBeamColumn	711	711	712	\$numIntgrPts	3	1

element dispBeamColumn	81	712	713	\$numIntgrPts	3	1
element dispBeamColumn	82	713	714	\$numIntgrPts	3	1
element dispBeamColumn	83	714	715	\$numIntgrPts	3	1
element dispBeamColumn	84	715	716	\$numIntgrPts	14	1
element dispBeamColumn	85	716	717	\$numIntgrPts	14	1
element dispBeamColumn	86	717	718	\$numIntgrPts	2	1
element dispBeamColumn	87	718	719	\$numIntgrPts	14	1
element dispBeamColumn	88	719	720	\$numIntgrPts	14	1
element dispBeamColumn	89	720	721	\$numIntgrPts	3	1
element dispBeamColumn	810	721	722	\$numIntgrPts	3	1
element dispBeamColumn	811	722	723	\$numIntgrPts	3	1

element dispBeamColumn	91	723	724	\$numIntgrPts	3	1
element dispBeamColumn	92	724	725	\$numIntgrPts	3	1
element dispBeamColumn	93	725	726	\$numIntgrPts	3	1
element dispBeamColumn	94	726	727	\$numIntgrPts	14	1
element dispBeamColumn	95	727	728	\$numIntgrPts	14	1
element dispBeamColumn	96	728	729	\$numIntgrPts	2	1
element dispBeamColumn	97	729	7729	\$numIntgrPts	14	1
element dispBeamColumn	11197	7729	730	\$numIntgrPts	14	1
element dispBeamColumn	98	730	731	\$numIntgrPts	14	1
element dispBeamColumn	99	731	732	\$numIntgrPts	3	1
element dispBeamColumn	910	732	733	\$numIntgrPts	3	1
element dispBeamColumn	911	733	734	\$numIntgrPts	3	1

element dispBeamColumn	101	734	735	\$numIntgrPts	3	1
element dispBeamColumn	102	735	736	\$numIntgrPts	3	1
element dispBeamColumn	103	736	737	\$numIntgrPts	3	1
element dispBeamColumn	104	737	738	\$numIntgrPts	14	1
element dispBeamColumn	105	738	7738	\$numIntgrPts	14	1
element dispBeamColumn	111105	7738	739	\$numIntgrPts	14	1
element dispBeamColumn	106	739	740	\$numIntgrPts	2	1
element dispBeamColumn	107	740	741	\$numIntgrPts	14	1
element dispBeamColumn	108	741	742	\$numIntgrPts	14	1
element dispBeamColumn	109	742	743	\$numIntgrPts	3	1
element dispBeamColumn	1010	743	744	\$numIntgrPts	3	1
element dispBeamColumn	1011	744	745	\$numIntgrPts	3	1

element dispBeamColumn	111	745	746	\$numIntgrPts	3	1
element dispBeamColumn	112	746	747	\$numIntgrPts	3	1
element dispBeamColumn	113	747	748	\$numIntgrPts	3	1
element dispBeamColumn	114	748	749	\$numIntgrPts	14	1
element dispBeamColumn	115	749	750	\$numIntgrPts	14	1
element dispBeamColumn	116	750	751	\$numIntgrPts	2	1

element dispBeamColumn	117	751	752	\$numIntgrPts	14	1
element dispBeamColumn	118	752	753	\$numIntgrPts	14	1
element dispBeamColumn	119	753	754	\$numIntgrPts	3	1
element dispBeamColumn	1110	754	755	\$numIntgrPts	3	1
element dispBeamColumn	1111	755	756	\$numIntgrPts	3	1

element dispBeamColumn	121	756	757	\$numIntgrPts	3	1
element dispBeamColumn	122	757	758	\$numIntgrPts	3	1
element dispBeamColumn	123	758	759	\$numIntgrPts	3	1
element dispBeamColumn	124	759	760	\$numIntgrPts	14	1
element dispBeamColumn	125	760	761	\$numIntgrPts	14	1
element dispBeamColumn	126	761	762	\$numIntgrPts	2	1
element dispBeamColumn	127	762	763	\$numIntgrPts	15	1
element dispBeamColumn	128	763	764	\$numIntgrPts	15	1
element dispBeamColumn	129	764	765	\$numIntgrPts	4	1
element dispBeamColumn	1210	765	766	\$numIntgrPts	4	1
element dispBeamColumn	1211	766	767	\$numIntgrPts	4	1

#IMPALCATO 3

element dispBeamColumn	131	81	82	\$numIntgrPts	4	1
element dispBeamColumn	132	82	83	\$numIntgrPts	4	1
element dispBeamColumn	133	83	84	\$numIntgrPts	4	1
element dispBeamColumn	134	84	85	\$numIntgrPts	15	1
element dispBeamColumn	135	85	86	\$numIntgrPts	15	1
element dispBeamColumn	136	86	87	\$numIntgrPts	2	1
element dispBeamColumn	137	87	88	\$numIntgrPts	15	1
element dispBeamColumn	138	88	89	\$numIntgrPts	15	1
element dispBeamColumn	139	89	810	\$numIntgrPts	4	1
element dispBeamColumn	1310	810	811	\$numIntgrPts	4	1
element dispBeamColumn	1311	811	812	\$numIntgrPts	4	1

element dispBeamColumn	141	812	813	\$numIntgrPts	4	1
element dispBeamColumn	142	813	814	\$numIntgrPts	4	1
element dispBeamColumn	143	814	815	\$numIntgrPts	4	1
element dispBeamColumn	144	815	816	\$numIntgrPts	15	1
element dispBeamColumn	145	816	817	\$numIntgrPts	15	1
element dispBeamColumn	146	817	818	\$numIntgrPts	2	1
element dispBeamColumn	147	818	819	\$numIntgrPts	15	1
element dispBeamColumn	148	819	820	\$numIntgrPts	15	1
element dispBeamColumn	149	820	821	\$numIntgrPts	4	1
element dispBeamColumn	1410	821	822	\$numIntgrPts	4	1
element dispBeamColumn	1411	822	823	\$numIntgrPts	4	1

element dispBeamColumn	151	823	824	\$numIntgrPts	4	1
element dispBeamColumn	152	824	825	\$numIntgrPts	4	1
element dispBeamColumn	153	825	826	\$numIntgrPts	4	1
element dispBeamColumn	154	826	827	\$numIntgrPts	15	1
element dispBeamColumn	155	827	828	\$numIntgrPts	15	1
element dispBeamColumn	156	828	829	\$numIntgrPts	2	1
element dispBeamColumn	157	829	830	\$numIntgrPts	15	1
element dispBeamColumn	158	830	831	\$numIntgrPts	15	1
element dispBeamColumn	159	831	832	\$numIntgrPts	4	1
element dispBeamColumn	1510	832	833	\$numIntgrPts	4	1
element dispBeamColumn	1511	833	834	\$numIntgrPts	4	1

element dispBeamColumn	161	834	835	\$numIntgrPts	4	1
element dispBeamColumn	162	835	836	\$numIntgrPts	4	1
element dispBeamColumn	163	836	837	\$numIntgrPts	4	1
element dispBeamColumn	164	837	838	\$numIntgrPts	15	1
element dispBeamColumn	165	838	839	\$numIntgrPts	15	1
element dispBeamColumn	166	839	840	\$numIntgrPts	2	1
element dispBeamColumn	167	840	841	\$numIntgrPts	15	1
element dispBeamColumn	168	841	842	\$numIntgrPts	15	1
element dispBeamColumn	169	842	843	\$numIntgrPts	4	1
element dispBeamColumn	1610	843	844	\$numIntgrPts	4	1
element dispBeamColumn	1611	844	845	\$numIntgrPts	4	1

element dispBeamColumn	171	845	846	\$numIntgrPts	4	1
element dispBeamColumn	172	846	847	\$numIntgrPts	4	1
element dispBeamColumn	173	847	848	\$numIntgrPts	4	1
element dispBeamColumn	174	848	849	\$numIntgrPts	15	1
element dispBeamColumn	175	849	850	\$numIntgrPts	15	1
element dispBeamColumn	176	850	851	\$numIntgrPts	2	1
element dispBeamColumn	177	851	852	\$numIntgrPts	15	1
element dispBeamColumn	178	852	853	\$numIntgrPts	15	1

element dispBeamColumn	179	853	854	\$numIntgrPts	4	1
element dispBeamColumn	1710	854	855	\$numIntgrPts	4	1
element dispBeamColumn	1711	855	856	\$numIntgrPts	4	1
element dispBeamColumn	181	856	857	\$numIntgrPts	4	1
element dispBeamColumn	182	857	858	\$numIntgrPts	4	1
element dispBeamColumn	183	858	859	\$numIntgrPts	4	1
element dispBeamColumn	184	859	860	\$numIntgrPts	15	1
element dispBeamColumn	185	860	861	\$numIntgrPts	15	1
element dispBeamColumn	186	861	862	\$numIntgrPts	2	1
element dispBeamColumn	187	862	863	\$numIntgrPts	15	1
element dispBeamColumn	188	863	864	\$numIntgrPts	15	1
element dispBeamColumn	189	864	865	\$numIntgrPts	4	1
element dispBeamColumn	1810	865	866	\$numIntgrPts	4	1
element dispBeamColumn	1811	866	867	\$numIntgrPts	4	1

#IMPALCATO 4

element dispBeamColumn	191	91	92	\$numIntgrPts	5	1
element dispBeamColumn	192	92	93	\$numIntgrPts	5	1
element dispBeamColumn	193	93	94	\$numIntgrPts	5	1
element dispBeamColumn	194	94	95	\$numIntgrPts	16	1
element dispBeamColumn	195	95	96	\$numIntgrPts	16	1
element dispBeamColumn	196	96	97	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	197	97	98	\$numIntgrPts	16	1
element dispBeamColumn	198	98	99	\$numIntgrPts	16	1
element dispBeamColumn	199	99	910	\$numIntgrPts	5	1
element dispBeamColumn	1910	910	911	\$numIntgrPts	5	1
element dispBeamColumn	1911	911	912	\$numIntgrPts	5	1

element dispBeamColumn	201	912	913	\$numIntgrPts	5	1
element dispBeamColumn	202	913	914	\$numIntgrPts	5	1
element dispBeamColumn	203	914	915	\$numIntgrPts	5	1
element dispBeamColumn	204	915	916	\$numIntgrPts	16	1
element dispBeamColumn	205	916	917	\$numIntgrPts	16	1
element dispBeamColumn	206	917	918	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	207	918	919	\$numIntgrPts	16	1
element dispBeamColumn	208	919	920	\$numIntgrPts	16	1
element dispBeamColumn	209	920	921	\$numIntgrPts	5	1
element dispBeamColumn	2010	921	922	\$numIntgrPts	5	1
element dispBeamColumn	2011	922	923	\$numIntgrPts	5	1

element dispBeamColumn	8211	923	924	\$numIntgrPts	5	1
element dispBeamColumn	212	924	925	\$numIntgrPts	5	1
element dispBeamColumn	213	925	926	\$numIntgrPts	5	1
element dispBeamColumn	214	926	927	\$numIntgrPts	16	1
element dispBeamColumn	215	927	928	\$numIntgrPts	16	1
element dispBeamColumn	216	928	929	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	217	929	930	\$numIntgrPts	15	1
element dispBeamColumn	218	930	931	\$numIntgrPts	15	1
element dispBeamColumn	219	931	932	\$numIntgrPts	4	1
element dispBeamColumn	2110	932	933	\$numIntgrPts	4	1
element dispBeamColumn	2111	933	934	\$numIntgrPts	4	1

element dispBeamColumn	221	934	935	\$numIntgrPts	4	1
element dispBeamColumn	222	935	936	\$numIntgrPts	4	1
element dispBeamColumn	223	936	937	\$numIntgrPts	4	1
element dispBeamColumn	224	937	938	\$numIntgrPts	15	1
element dispBeamColumn	225	938	939	\$numIntgrPts	15	1
element dispBeamColumn	226	939	940	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	227	940	941	\$numIntgrPts	16	1
element dispBeamColumn	228	941	942	\$numIntgrPts	16	1
element dispBeamColumn	229	942	943	\$numIntgrPts	5	1
element dispBeamColumn	2210	943	944	\$numIntgrPts	5	1
element dispBeamColumn	2211	944	945	\$numIntgrPts	5	1

element dispBeamColumn	231	945	946	\$numIntgrPts	5	1
element dispBeamColumn	232	946	947	\$numIntgrPts	5	1
element dispBeamColumn	233	947	948	\$numIntgrPts	5	1
element dispBeamColumn	234	948	949	\$numIntgrPts	16	1
element dispBeamColumn	235	949	950	\$numIntgrPts	16	1
element dispBeamColumn	236	950	951	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	237	951	952	\$numIntgrPts	16	1
element dispBeamColumn	238	952	953	\$numIntgrPts	16	1
element dispBeamColumn	239	953	954	\$numIntgrPts	5	1
element dispBeamColumn	2310	954	955	\$numIntgrPts	5	1

element dispBeamColumn	2311	955	956	\$numIntgrPts	5	1
element dispBeamColumn	241	956	957	\$numIntgrPts	5	1
element dispBeamColumn	242	957	958	\$numIntgrPts	5	1
element dispBeamColumn	243	958	959	\$numIntgrPts	5	1
element dispBeamColumn	244	959	960	\$numIntgrPts	16	1
element dispBeamColumn	245	960	961	\$numIntgrPts	16	1
element dispBeamColumn	246	961	962	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	247	962	963	\$numIntgrPts	16	1
element dispBeamColumn	248	963	964	\$numIntgrPts	16	1
element dispBeamColumn	249	964	965	\$numIntgrPts	5	1
element dispBeamColumn	2410	965	966	\$numIntgrPts	5	1
element dispBeamColumn	2411	966	967	\$numIntgrPts	5	1

#IMPALCATO 5

element dispBeamColumn	251	101	102	\$numIntgrPts	5	1
element dispBeamColumn	252	102	103	\$numIntgrPts	5	1
element dispBeamColumn	253	103	104	\$numIntgrPts	5	1
element dispBeamColumn	254	104	105	\$numIntgrPts	16	1
element dispBeamColumn	255	105	106	\$numIntgrPts	16	1
element dispBeamColumn	256	106	107	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	257	107	108	\$numIntgrPts	16	1
element dispBeamColumn	258	108	109	\$numIntgrPts	16	1
element dispBeamColumn	259	109	1010	\$numIntgrPts	5	1
element dispBeamColumn	2510	1010	1011	\$numIntgrPts	5	1
element dispBeamColumn	2511	1011	1012	\$numIntgrPts	5	1

element dispBeamColumn	261	1012	1013	\$numIntgrPts	5	1
element dispBeamColumn	262	1013	1014	\$numIntgrPts	5	1
element dispBeamColumn	263	1014	1015	\$numIntgrPts	5	1
element dispBeamColumn	264	1015	1016	\$numIntgrPts	16	1
element dispBeamColumn	265	1016	1017	\$numIntgrPts	16	1
element dispBeamColumn	266	1017	1018	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	267	1018	1019	\$numIntgrPts	16	1
element dispBeamColumn	268	1019	1020	\$numIntgrPts	16	1
element dispBeamColumn	269	1020	1021	\$numIntgrPts	5	1
element dispBeamColumn	2610	1021	1022	\$numIntgrPts	5	1
element dispBeamColumn	2611	1022	1023	\$numIntgrPts	5	1

element dispBeamColumn	271	1023	1024	\$numIntgrPts	5	1
element dispBeamColumn	272	1024	1025	\$numIntgrPts	5	1
element dispBeamColumn	273	1025	1026	\$numIntgrPts	5	1
element dispBeamColumn	274	1026	1027	\$numIntgrPts	16	1
element dispBeamColumn	275	1027	1028	\$numIntgrPts	16	1
element dispBeamColumn	276	1028	1029	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	277	1029	1030	\$numIntgrPts	16	1
element dispBeamColumn	278	1030	1031	\$numIntgrPts	16	1
element dispBeamColumn	279	1031	1032	\$numIntgrPts	5	1
element dispBeamColumn	2710	1032	1033	\$numIntgrPts	5	1
element dispBeamColumn	2711	1033	1034	\$numIntgrPts	5	1

element dispBeamColumn	281	1034	1035	\$numIntgrPts	5	1
element dispBeamColumn	282	1035	1036	\$numIntgrPts	5	1
element dispBeamColumn	283	1036	1037	\$numIntgrPts	5	1
element dispBeamColumn	284	1037	1038	\$numIntgrPts	16	1
element dispBeamColumn	285	1038	1039	\$numIntgrPts	16	1
element dispBeamColumn	286	1039	1040	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	287	1040	1041	\$numIntgrPts	16	1
element dispBeamColumn	288	1041	1042	\$numIntgrPts	16	1
element dispBeamColumn	289	1042	1043	\$numIntgrPts	5	1
element dispBeamColumn	2810	1043	1044	\$numIntgrPts	5	1
element dispBeamColumn	2811	1044	1045	\$numIntgrPts	5	1

element dispBeamColumn	291	1045	1046	\$numIntgrPts	5	1
element dispBeamColumn	292	1046	1047	\$numIntgrPts	5	1
element dispBeamColumn	293	1047	1048	\$numIntgrPts	5	1
element dispBeamColumn	294	1048	1049	\$numIntgrPts	16	1
element dispBeamColumn	295	1049	1050	\$numIntgrPts	16	1
element dispBeamColumn	296	1050	1051	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	297	1051	1052	\$numIntgrPts	16	1
element dispBeamColumn	298	1052	1053	\$numIntgrPts	16	1
element dispBeamColumn	299	1053	1054	\$numIntgrPts	5	1
element dispBeamColumn	2910	1054	1055	\$numIntgrPts	5	1
element dispBeamColumn	2911	1055	1056	\$numIntgrPts	5	1

element dispBeamColumn	301	1056	1057	\$numIntgrPts	5	1
element dispBeamColumn	302	1057	1058	\$numIntgrPts	5	1
element dispBeamColumn	303	1058	1059	\$numIntgrPts	5	1
element dispBeamColumn	304	1059	1060	\$numIntgrPts	16	1
element dispBeamColumn	305	1060	1061	\$numIntgrPts	16	1
element dispBeamColumn	306	1061	1062	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	307	1062	1063	\$numIntgrPts	16	1
element dispBeamColumn	308	1063	1064	\$numIntgrPts	16	1
element dispBeamColumn	309	1064	1065	\$numIntgrPts	5	1
element dispBeamColumn	3010	1065	1066	\$numIntgrPts	5	1
element dispBeamColumn	3011	1066	1067	\$numIntgrPts	5	1

#IMPALCATO 6

element dispBeamColumn	8311	111	112	\$numIntgrPts	6	1
element dispBeamColumn	312	112	113	\$numIntgrPts	6	1
element dispBeamColumn	313	113	114	\$numIntgrPts	6	1
element dispBeamColumn	314	114	115	\$numIntgrPts	18	1
element dispBeamColumn	315	115	116	\$numIntgrPts	18	1
element dispBeamColumn	316	116	117	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	317	117	118	\$numIntgrPts	18	1
element dispBeamColumn	318	118	119	\$numIntgrPts	18	1
element dispBeamColumn	319	119	1110	\$numIntgrPts	6	1
element dispBeamColumn	3110	1110	1111	\$numIntgrPts	6	1
element dispBeamColumn	3111	1111	1112	\$numIntgrPts	6	1

element dispBeamColumn	321	1112	1113	\$numIntgrPts	6	1
element dispBeamColumn	322	1113	1114	\$numIntgrPts	6	1
element dispBeamColumn	323	1114	1115	\$numIntgrPts	6	1
element dispBeamColumn	324	1115	1116	\$numIntgrPts	18	1
element dispBeamColumn	325	1116	1117	\$numIntgrPts	18	1
element dispBeamColumn	326	1117	1118	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	327	1118	1119	\$numIntgrPts	18	1
element dispBeamColumn	328	1119	1120	\$numIntgrPts	18	1
element dispBeamColumn	329	1120	1121	\$numIntgrPts	6	1
element dispBeamColumn	3210	1121	1122	\$numIntgrPts	6	1
element dispBeamColumn	3211	1122	1123	\$numIntgrPts	6	1

element dispBeamColumn	331	1123	1124	\$numIntgrPts	6	1
element dispBeamColumn	332	1124	1125	\$numIntgrPts	6	1
element dispBeamColumn	333	1125	1126	\$numIntgrPts	6	1
element dispBeamColumn	334	1126	1127	\$numIntgrPts	18	1
element dispBeamColumn	335	1127	1128	\$numIntgrPts	18	1
element dispBeamColumn	336	1128	1129	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	337	1129	1130	\$numIntgrPts	18	1
element dispBeamColumn	338	1130	1131	\$numIntgrPts	18	1
element dispBeamColumn	339	1131	1132	\$numIntgrPts	6	1
element dispBeamColumn	3310	1132	1133	\$numIntgrPts	6	1
element dispBeamColumn	3311	1133	1134	\$numIntgrPts	6	1

element dispBeamColumn	341	1134	1135	\$numIntgrPts	6	1
element dispBeamColumn	342	1135	1136	\$numIntgrPts	6	1
element dispBeamColumn	343	1136	1137	\$numIntgrPts	6	1
element dispBeamColumn	344	1137	1138	\$numIntgrPts	18	1
element dispBeamColumn	345	1138	1139	\$numIntgrPts	18	1
element dispBeamColumn	346	1139	1140	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	347	1140	1141	\$numIntgrPts	18	1
element dispBeamColumn	348	1141	1142	\$numIntgrPts	18	1
element dispBeamColumn	349	1142	1143	\$numIntgrPts	6	1
element dispBeamColumn	3410	1143	1144	\$numIntgrPts	6	1
element dispBeamColumn	3411	1144	1145	\$numIntgrPts	6	1

element dispBeamColumn	351	1145	1146	\$numIntgrPts	6	1
element dispBeamColumn	352	1146	1147	\$numIntgrPts	6	1
element dispBeamColumn	353	1147	1148	\$numIntgrPts	6	1
element dispBeamColumn	354	1148	1149	\$numIntgrPts	18	1
element dispBeamColumn	355	1149	1150	\$numIntgrPts	18	1
element dispBeamColumn	356	1150	1151	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	357	1151	1152	\$numIntgrPts	18	1
element dispBeamColumn	358	1152	1153	\$numIntgrPts	18	1
element dispBeamColumn	359	1153	1154	\$numIntgrPts	6	1
element dispBeamColumn	3510	1154	1155	\$numIntgrPts	6	1
element dispBeamColumn	3511	1155	1156	\$numIntgrPts	6	1

element dispBeamColumn	361	1156	1157	\$numIntgrPts	6	1
element dispBeamColumn	362	1157	1158	\$numIntgrPts	6	1

element dispBeamColumn	363	1158	1159	\$numIntgrPts	6	1
element dispBeamColumn	364	1159	1160	\$numIntgrPts	18	1
element dispBeamColumn	365	1160	1161	\$numIntgrPts	18	1
element dispBeamColumn	366	1161	1162	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	367	1162	1163	\$numIntgrPts	18	1
element dispBeamColumn	368	1163	1164	\$numIntgrPts	18	1
element dispBeamColumn	369	1164	1165	\$numIntgrPts	6	1
element dispBeamColumn	3610	1165	1166	\$numIntgrPts	6	1
element dispBeamColumn	3611	1166	1167	\$numIntgrPts	6	1

#IMPALCATO 7

element dispBeamColumn	371	121	122	\$numIntgrPts	7	1
element dispBeamColumn	372	122	123	\$numIntgrPts	7	1
element dispBeamColumn	373	123	124	\$numIntgrPts	7	1
element dispBeamColumn	374	124	125	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	375	125	126	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	376	126	127	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	377	127	128	\$numIntgrPts	18	1
element dispBeamColumn	378	128	129	\$numIntgrPts	18	1
element dispBeamColumn	379	129	1210	\$numIntgrPts	6	1
element dispBeamColumn	3710	1210	1211	\$numIntgrPts	6	1
element dispBeamColumn	3711	1211	1212	\$numIntgrPts	6	1

element dispBeamColumn	381	1212	1213	\$numIntgrPts	6	1
element dispBeamColumn	382	1213	1214	\$numIntgrPts	6	1
element dispBeamColumn	383	1214	1215	\$numIntgrPts	6	1
element dispBeamColumn	384	1215	1216	\$numIntgrPts	18	1
element dispBeamColumn	385	1216	1217	\$numIntgrPts	18	1
element dispBeamColumn	386	1217	1218	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	387	1218	1219	\$numIntgrPts	18	1
element dispBeamColumn	388	1219	1220	\$numIntgrPts	18	1
element dispBeamColumn	389	1220	1221	\$numIntgrPts	6	1
element dispBeamColumn	3810	1221	1222	\$numIntgrPts	6	1
element dispBeamColumn	3811	1222	1223	\$numIntgrPts	6	1

element dispBeamColumn	391	1223	1224	\$numIntgrPts	6	1
element dispBeamColumn	392	1224	1225	\$numIntgrPts	6	1
element dispBeamColumn	393	1225	1226	\$numIntgrPts	6	1
element dispBeamColumn	394	1226	1227	\$numIntgrPts	18	1
element dispBeamColumn	395	1227	1228	\$numIntgrPts	18	1
element dispBeamColumn	396	1228	1229	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	397	1229	1230	\$numIntgrPts	18	1
element dispBeamColumn	398	1230	1231	\$numIntgrPts	18	1
element dispBeamColumn	399	1231	1232	\$numIntgrPts	6	1
element dispBeamColumn	3910	1232	1233	\$numIntgrPts	6	1
element dispBeamColumn	3911	1233	1234	\$numIntgrPts	6	1

element dispBeamColumn	401	1234	1235	\$numIntgrPts	6	1
element dispBeamColumn	402	1235	1236	\$numIntgrPts	6	1
element dispBeamColumn	403	1236	1237	\$numIntgrPts	6	1
element dispBeamColumn	404	1237	1238	\$numIntgrPts	18	1
element dispBeamColumn	405	1238	1239	\$numIntgrPts	18	1
element dispBeamColumn	406	1239	1240	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	407	1240	1241	\$numIntgrPts	18	1
element dispBeamColumn	408	1241	1242	\$numIntgrPts	18	1
element dispBeamColumn	409	1242	1243	\$numIntgrPts	6	1
element dispBeamColumn	4010	1243	1244	\$numIntgrPts	6	1
element dispBeamColumn	4011	1244	1245	\$numIntgrPts	6	1

element dispBeamColumn	8411	1245	1246	\$numIntgrPts	6	1
element dispBeamColumn	412	1246	1247	\$numIntgrPts	6	1
element dispBeamColumn	413	1247	1248	\$numIntgrPts	6	1
element dispBeamColumn	414	1248	1249	\$numIntgrPts	18	1
element dispBeamColumn	415	1249	1250	\$numIntgrPts	18	1
element dispBeamColumn	416	1250	1251	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	417	1251	1252	\$numIntgrPts	18	1
element dispBeamColumn	418	1252	1253	\$numIntgrPts	18	1
element dispBeamColumn	419	1253	1254	\$numIntgrPts	6	1
element dispBeamColumn	4110	1254	1255	\$numIntgrPts	6	1
element dispBeamColumn	4111	1255	1256	\$numIntgrPts	6	1

element dispBeamColumn	421	1256	1257	\$numIntgrPts	6	1
element dispBeamColumn	422	1257	1258	\$numIntgrPts	6	1
element dispBeamColumn	423	1258	1259	\$numIntgrPts	6	1
element dispBeamColumn	424	1259	1260	\$numIntgrPts	18	1

element dispBeamColumn	425	1260	1261	\$numIntgrPts	18	1
element dispBeamColumn	426	1261	1262	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	427	1262	1263	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	428	1263	1264	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	429	1264	1265	\$numIntgrPts	7	1
element dispBeamColumn	4210	1265	1266	\$numIntgrPts	7	1
element dispBeamColumn	4211	1266	1267	\$numIntgrPts	7	1

#IMPALCATO 8

element dispBeamColumn	431	131	132	\$numIntgrPts	7	1
element dispBeamColumn	432	132	133	\$numIntgrPts	7	1
element dispBeamColumn	433	133	134	\$numIntgrPts	7	1
element dispBeamColumn	434	134	135	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	435	135	136	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	436	136	137	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	437	137	138	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	438	138	139	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	439	139	1310	\$numIntgrPts	7	1
element dispBeamColumn	4310	1310	1311	\$numIntgrPts	7	1
element dispBeamColumn	4311	1311	1312	\$numIntgrPts	7	1

element dispBeamColumn	441	1312	1313	\$numIntgrPts	7	1
element dispBeamColumn	442	1313	1314	\$numIntgrPts	7	1
element dispBeamColumn	443	1314	1315	\$numIntgrPts	7	1
element dispBeamColumn	444	1315	1316	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	445	1316	1317	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	446	1317	1318	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	447	1318	1319	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	448	1319	1320	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	449	1320	1321	\$numIntgrPts	7	1
element dispBeamColumn	4410	1321	1322	\$numIntgrPts	7	1
element dispBeamColumn	4411	1322	1323	\$numIntgrPts	7	1

element dispBeamColumn	451	1323	1324	\$numIntgrPts	7	1
element dispBeamColumn	452	1324	1325	\$numIntgrPts	7	1
element dispBeamColumn	453	1325	1326	\$numIntgrPts	7	1
element dispBeamColumn	454	1326	1327	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	455	1327	1328	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	456	1328	1329	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	457	1329	1330	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	458	1330	1331	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	459	1331	1332	\$numIntgrPts	7	1
element dispBeamColumn	4510	1332	1333	\$numIntgrPts	7	1
element dispBeamColumn	4511	1333	1334	\$numIntgrPts	7	1

element dispBeamColumn	461	1334	1335	\$numIntgrPts	7	1
element dispBeamColumn	462	1335	1336	\$numIntgrPts	7	1
element dispBeamColumn	463	1336	1337	\$numIntgrPts	7	1
element dispBeamColumn	464	1337	1338	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	465	1338	1339	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	466	1339	1340	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	467	1340	1341	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	468	1341	1342	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	469	1342	1343	\$numIntgrPts	7	1
element dispBeamColumn	4610	1343	1344	\$numIntgrPts	7	1
element dispBeamColumn	4611	1344	1345	\$numIntgrPts	7	1

element dispBeamColumn	471	1345	1346	\$numIntgrPts	7	1
element dispBeamColumn	472	1346	1347	\$numIntgrPts	7	1
element dispBeamColumn	473	1347	1348	\$numIntgrPts	7	1
element dispBeamColumn	474	1348	1349	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	475	1349	1350	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	476	1350	1351	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	477	1351	1352	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	478	1352	1353	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	479	1353	1354	\$numIntgrPts	7	1
element dispBeamColumn	4710	1354	1355	\$numIntgrPts	7	1
element dispBeamColumn	4711	1355	1356	\$numIntgrPts	7	1

element dispBeamColumn	481	1356	1357	\$numIntgrPts	7	1
element dispBeamColumn	482	1357	1358	\$numIntgrPts	7	1
element dispBeamColumn	483	1358	1359	\$numIntgrPts	7	1
element dispBeamColumn	484	1359	1360	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	485	1360	1361	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	486	1361	1362	\$numIntgrPts	17	1

element dispBeamColumn	487	1362	1363	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	488	1363	1364	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	489	1364	1365	\$numIntgrPts	7	1
element dispBeamColumn	4810	1365	1366	\$numIntgrPts	7	1
element dispBeamColumn	4811	1366	1367	\$numIntgrPts	7	1

#IMPALCATO 9

element dispBeamColumn	491	141	142	\$numIntgrPts	7	1
element dispBeamColumn	492	142	143	\$numIntgrPts	7	1
element dispBeamColumn	493	143	144	\$numIntgrPts	7	1
element dispBeamColumn	494	144	145	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	495	145	146	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	496	146	147	\$numIntgrPts	19	1
element dispBeamColumn	497	147	148	\$numIntgrPts	19	1
element dispBeamColumn	498	148	149	\$numIntgrPts	19	1
element dispBeamColumn	499	149	1410	\$numIntgrPts	8	1
element dispBeamColumn	4910	1410	1411	\$numIntgrPts	8	1
element dispBeamColumn	4911	1411	1412	\$numIntgrPts	8	1

element dispBeamColumn	501	1412	1413	\$numIntgrPts	8	1
element dispBeamColumn	502	1413	1414	\$numIntgrPts	8	1
element dispBeamColumn	503	1414	1415	\$numIntgrPts	8	1
element dispBeamColumn	504	1415	1416	\$numIntgrPts	19	1
element dispBeamColumn	505	1416	1417	\$numIntgrPts	19	1
element dispBeamColumn	506	1417	1418	\$numIntgrPts	19	1
element dispBeamColumn	507	1418	1419	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	508	1419	1420	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	509	1420	1421	\$numIntgrPts	7	1
element dispBeamColumn	5010	1421	1422	\$numIntgrPts	7	1
element dispBeamColumn	5011	1422	1423	\$numIntgrPts	7	1

element dispBeamColumn	8511	1423	1424	\$numIntgrPts	7	1
element dispBeamColumn	512	1424	1425	\$numIntgrPts	7	1
element dispBeamColumn	513	1425	1426	\$numIntgrPts	7	1
element dispBeamColumn	514	1426	1427	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	515	1427	111427	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	55515	111427	1428	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	516	1428	1429	\$numIntgrPts	19	1
element dispBeamColumn	517	1429	1430	\$numIntgrPts	19	1
element dispBeamColumn	518	1430	1431	\$numIntgrPts	19	1
element dispBeamColumn	519	1431	1432	\$numIntgrPts	8	1
element dispBeamColumn	5110	1432	1433	\$numIntgrPts	8	1
element dispBeamColumn	5111	1433	1434	\$numIntgrPts	8	1

element dispBeamColumn	521	1434	1435	\$numIntgrPts	8	1
element dispBeamColumn	522	1435	1436	\$numIntgrPts	8	1
element dispBeamColumn	523	1436	1437	\$numIntgrPts	8	1
element dispBeamColumn	524	1437	1438	\$numIntgrPts	19	1
element dispBeamColumn	525	1438	1439	\$numIntgrPts	19	1
element dispBeamColumn	526	1439	1440	\$numIntgrPts	19	1
element dispBeamColumn	527	1440	111440	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	55527	111440	1441	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	528	1441	1442	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	529	1442	1443	\$numIntgrPts	7	1
element dispBeamColumn	5210	1443	1444	\$numIntgrPts	7	1
element dispBeamColumn	5211	1444	1445	\$numIntgrPts	7	1

element dispBeamColumn	531	1445	1446	\$numIntgrPts	7	1
element dispBeamColumn	532	1446	1447	\$numIntgrPts	7	1
element dispBeamColumn	533	1447	1448	\$numIntgrPts	7	1
element dispBeamColumn	534	1448	1449	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	535	1449	1450	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	536	1450	1451	\$numIntgrPts	19	1
element dispBeamColumn	537	1451	1452	\$numIntgrPts	19	1
element dispBeamColumn	538	1452	1453	\$numIntgrPts	19	1
element dispBeamColumn	539	1453	1454	\$numIntgrPts	8	1
element dispBeamColumn	5310	1454	1455	\$numIntgrPts	8	1
element dispBeamColumn	5311	1455	1456	\$numIntgrPts	8	1

element dispBeamColumn	541	1456	1457	\$numIntgrPts	8	1
element dispBeamColumn	542	1457	1458	\$numIntgrPts	8	1
element dispBeamColumn	543	1458	1459	\$numIntgrPts	8	1
element dispBeamColumn	544	1459	1460	\$numIntgrPts	19	1
element dispBeamColumn	545	1460	1461	\$numIntgrPts	19	1
element dispBeamColumn	546	1461	1462	\$numIntgrPts	19	1

element dispBeamColumn	547	1462	1463	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	548	1463	1464	\$numIntgrPts	17	1
element dispBeamColumn	549	1464	1465	\$numIntgrPts	7	1
element dispBeamColumn	5410	1465	1466	\$numIntgrPts	7	1
element dispBeamColumn	5411	1466	1467	\$numIntgrPts	7	1

#PIANO 10

element dispBeamColumn	551	151	152	\$numIntgrPts	8	1
element dispBeamColumn	552	152	153	\$numIntgrPts	8	1
element dispBeamColumn	553	153	154	\$numIntgrPts	8	1
element dispBeamColumn	554	154	155	\$numIntgrPts	19	1
element dispBeamColumn	555	155	156	\$numIntgrPts	19	1
element dispBeamColumn	556	156	157	\$numIntgrPts	19	1
element dispBeamColumn	557	157	158	\$numIntgrPts	19	1
element dispBeamColumn	558	158	159	\$numIntgrPts	19	1
element dispBeamColumn	559	159	1510	\$numIntgrPts	8	1
element dispBeamColumn	5510	1510	1511	\$numIntgrPts	8	1
element dispBeamColumn	5511	1511	1512	\$numIntgrPts	8	1

element dispBeamColumn	561	1512	1513	\$numIntgrPts	8	1
element dispBeamColumn	562	1513	1514	\$numIntgrPts	8	1
element dispBeamColumn	563	1514	1515	\$numIntgrPts	8	1
element dispBeamColumn	564	1515	1516	\$numIntgrPts	19	1
element dispBeamColumn	565	1516	1517	\$numIntgrPts	19	1
element dispBeamColumn	566	1517	1518	\$numIntgrPts	19	1
element dispBeamColumn	567	1518	1519	\$numIntgrPts	19	1
element dispBeamColumn	568	1519	1520	\$numIntgrPts	19	1
element dispBeamColumn	569	1520	1521	\$numIntgrPts	8	1
element dispBeamColumn	5610	1521	1522	\$numIntgrPts	8	1
element dispBeamColumn	5611	1522	1523	\$numIntgrPts	8	1

element dispBeamColumn	571	1523	1524	\$numIntgrPts	8	1
element dispBeamColumn	572	1524	1525	\$numIntgrPts	8	1
element dispBeamColumn	573	1525	1526	\$numIntgrPts	8	1
element dispBeamColumn	574	1526	1527	\$numIntgrPts	19	1
element dispBeamColumn	575	1527	111527	\$numIntgrPts	19	1
element dispBeamColumn	55575	111527	1528	\$numIntgrPts	19	1
element dispBeamColumn	576	1528	1529	\$numIntgrPts	19	1
element dispBeamColumn	577	1529	1530	\$numIntgrPts	19	1
element dispBeamColumn	578	1530	1531	\$numIntgrPts	19	1
element dispBeamColumn	579	1531	1532	\$numIntgrPts	8	1
element dispBeamColumn	5710	1532	1533	\$numIntgrPts	8	1
element dispBeamColumn	5711	1533	1534	\$numIntgrPts	8	1

element dispBeamColumn	581	1534	1535	\$numIntgrPts	8	1
element dispBeamColumn	582	1535	1536	\$numIntgrPts	8	1
element dispBeamColumn	583	1536	1537	\$numIntgrPts	8	1
element dispBeamColumn	584	1537	1538	\$numIntgrPts	19	1
element dispBeamColumn	585	1538	1539	\$numIntgrPts	19	1
element dispBeamColumn	586	1539	1540	\$numIntgrPts	19	1
element dispBeamColumn	587	1540	111540	\$numIntgrPts	19	1
element dispBeamColumn	55587	111540	1541	\$numIntgrPts	19	1
element dispBeamColumn	588	1541	1542	\$numIntgrPts	19	1
element dispBeamColumn	589	1542	1543	\$numIntgrPts	8	1
element dispBeamColumn	5810	1543	1544	\$numIntgrPts	8	1
element dispBeamColumn	5811	1544	1545	\$numIntgrPts	8	1

element dispBeamColumn	591	1545	1546	\$numIntgrPts	8	1
element dispBeamColumn	592	1546	1547	\$numIntgrPts	8	1
element dispBeamColumn	593	1547	1548	\$numIntgrPts	8	1
element dispBeamColumn	594	1548	1549	\$numIntgrPts	19	1
element dispBeamColumn	595	1549	1550	\$numIntgrPts	19	1
element dispBeamColumn	596	1550	1551	\$numIntgrPts	19	1
element dispBeamColumn	597	1551	1552	\$numIntgrPts	19	1
element dispBeamColumn	598	1552	1553	\$numIntgrPts	19	1
element dispBeamColumn	599	1553	1554	\$numIntgrPts	8	1
element dispBeamColumn	5910	1554	1555	\$numIntgrPts	8	1
element dispBeamColumn	5911	1555	1556	\$numIntgrPts	8	1

element dispBeamColumn	601	1556	1557	\$numIntgrPts	8	1
element dispBeamColumn	602	1557	1558	\$numIntgrPts	8	1
element dispBeamColumn	603	1558	1559	\$numIntgrPts	8	1
element dispBeamColumn	604	1559	1560	\$numIntgrPts	19	1
element dispBeamColumn	605	1560	1561	\$numIntgrPts	19	1
element dispBeamColumn	606	1561	1562	\$numIntgrPts	19	1

element dispBeamColumn	607	1562	1563	\$numIntgrPts	19	1
element dispBeamColumn	608	1563	1564	\$numIntgrPts	19	1
element dispBeamColumn	609	1564	1565	\$numIntgrPts	8	1
element dispBeamColumn	6010	1565	1566	\$numIntgrPts	8	1
element dispBeamColumn	6011	1566	1567	\$numIntgrPts	8	1

COLONNA 1

element dispBeamColumn	8611	161	162	\$numIntgrPts	9	1
element dispBeamColumn	612	162	163	\$numIntgrPts	10	1
element dispBeamColumn	613	163	164	\$numIntgrPts	9	1
element dispBeamColumn	614	164	1	\$numIntgrPts	9	1
element dispBeamColumn	615	1	166	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	616	166	167	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	617	167	168	\$numIntgrPts	12	1
element dispBeamColumn	618	168	169	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	619	169	71	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6110	71	1611	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6111	1611	1612	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6121	1612	1613	\$numIntgrPts	12	1
element dispBeamColumn	6122	1613	1614	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6123	1614	81	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6124	81	1616	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6125	1616	1617	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6126	1617	1618	\$numIntgrPts	12	1
element dispBeamColumn	6127	1618	1619	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6128	1619	91	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6129	91	1621	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	61210	1621	1622	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	61211	1622	1623	\$numIntgrPts	12	1
element dispBeamColumn	6131	1623	1624	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6132	1624	101	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6133	101	1626	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6134	1626	1627	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6135	1627	1628	\$numIntgrPts	12	1
element dispBeamColumn	6136	1628	1629	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6137	1629	111	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6138	111	1631	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6139	1631	1632	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	61310	1632	1633	\$numIntgrPts	12	1
element dispBeamColumn	61311	1633	1634	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6141	1634	121	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6142	121	1636	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6143	1636	1637	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6144	1637	1638	\$numIntgrPts	12	1
element dispBeamColumn	6145	1638	1639	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6146	1639	131	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6147	131	1641	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6148	1641	1642	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6149	1642	1643	\$numIntgrPts	12	1
element dispBeamColumn	61410	1643	1644	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	61411	1644	141	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6151	141	1646	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6152	1646	1647	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6153	1647	1648	\$numIntgrPts	12	1
element dispBeamColumn	6154	1648	1649	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6155	1649	151	\$numIntgrPts	11	1

COLONNA 2

element dispBeamColumn	621	171	172	\$numIntgrPts	9	1
element dispBeamColumn	622	172	173	\$numIntgrPts	10	1
element dispBeamColumn	623	173	174	\$numIntgrPts	9	1
element dispBeamColumn	624	174	12	\$numIntgrPts	9	1

element dispBeamColumn	625	12	176	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	626	176	177	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	627	177	178	\$numIntgrPts	12	1
element dispBeamColumn	628	178	179	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	629	179	712	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6210	712	1711	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6211	1711	1712	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6221	1712	1713	\$numIntgrPts	12	1
element dispBeamColumn	6222	1713	1714	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6223	1714	812	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6224	812	1716	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6225	1716	1717	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6226	1717	1718	\$numIntgrPts	12	1
element dispBeamColumn	6227	1718	1719	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6228	1719	912	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6229	912	1721	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	62210	1721	1722	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	62211	1722	1723	\$numIntgrPts	12	1
element dispBeamColumn	6231	1723	1724	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6232	1724	1012	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6233	1012	1726	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6234	1726	1727	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6235	1727	1728	\$numIntgrPts	12	1
element dispBeamColumn	6236	1728	1729	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6237	1729	1112	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6238	1112	1731	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6239	1731	1732	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	62310	1732	1733	\$numIntgrPts	12	1
element dispBeamColumn	62311	1733	1734	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6241	1734	1212	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6242	1212	1736	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6243	1736	1737	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6244	1737	1738	\$numIntgrPts	12	1
element dispBeamColumn	6245	1738	1739	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6246	1739	1312	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6247	1312	1741	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6248	1741	1742	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6249	1742	1743	\$numIntgrPts	12	1
element dispBeamColumn	62410	1743	1744	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	62411	1744	1412	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6251	1412	1746	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6252	1746	1747	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6253	1747	1748	\$numIntgrPts	12	1
element dispBeamColumn	6254	1748	1749	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6255	1749	1512	\$numIntgrPts	11	1
# COLONNA 3						
element dispBeamColumn	631	181	182	\$numIntgrPts	9	1
element dispBeamColumn	632	182	183	\$numIntgrPts	10	1
element dispBeamColumn	633	183	184	\$numIntgrPts	9	1
element dispBeamColumn	634	184	23	\$numIntgrPts	9	1
element dispBeamColumn	635	23	186	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	636	186	187	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	637	187	188	\$numIntgrPts	12	1
element dispBeamColumn	638	188	189	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	639	189	723	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6310	723	1811	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6311	1811	1812	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6321	1812	1813	\$numIntgrPts	12	1
element dispBeamColumn	6322	1813	1814	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6323	1814	823	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6324	823	1816	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6325	1816	1817	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6326	1817	1818	\$numIntgrPts	12	1
element dispBeamColumn	6327	1818	1819	\$numIntgrPts	11	1

element dispBeamColumn	6328	1819	923	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6329	923	1821	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	63210	1821	1822	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	63211	1822	1823	\$numIntgrPts	12	1
element dispBeamColumn	6331	1823	1824	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6332	1824	1023	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6333	1023	1826	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6334	1826	1827	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6335	1827	1828	\$numIntgrPts	12	1
element dispBeamColumn	6336	1828	1829	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6337	1829	1123	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6338	1123	1831	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6339	1831	1832	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	63310	1832	1833	\$numIntgrPts	12	1
element dispBeamColumn	63311	1833	1834	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6341	1834	1223	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6342	1223	1836	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6343	1836	1837	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6344	1837	1838	\$numIntgrPts	12	1
element dispBeamColumn	6345	1838	1839	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6346	1839	1323	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6347	1323	1841	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6348	1841	1842	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6349	1842	1843	\$numIntgrPts	12	1
element dispBeamColumn	63410	1843	1844	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	63411	1844	1423	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6351	1423	1846	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6352	1846	1847	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6353	1847	1848	\$numIntgrPts	12	1
element dispBeamColumn	6354	1848	1849	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6355	1849	1523	\$numIntgrPts	11	1

COLONNA 4

# element	dispBeamColumn	641	191	192	\$numIntgrPts	9	1
# element	dispBeamColumn	642	192	193	\$numIntgrPts	10	1
# element	dispBeamColumn	643	193	194	\$numIntgrPts	9	1
# element	dispBeamColumn	644	194	34	\$numIntgrPts	9	1
element dispBeamColumn	645	34	196	\$numIntgrPts	11	1	
element dispBeamColumn	646	196	197	\$numIntgrPts	11	1	
element dispBeamColumn	647	197	198	\$numIntgrPts	12	1	
element dispBeamColumn	648	198	199	\$numIntgrPts	11	1	
element dispBeamColumn	649	199	734	\$numIntgrPts	11	1	
element dispBeamColumn	6410	734	1911	\$numIntgrPts	11	1	
element dispBeamColumn	6411	1911	1912	\$numIntgrPts	11	1	
element dispBeamColumn	6421	1912	1913	\$numIntgrPts	12	1	
element dispBeamColumn	6422	1913	1914	\$numIntgrPts	11	1	
element dispBeamColumn	6423	1914	834	\$numIntgrPts	11	1	
element dispBeamColumn	6424	834	1916	\$numIntgrPts	11	1	
element dispBeamColumn	6425	1916	1917	\$numIntgrPts	11	1	
element dispBeamColumn	6426	1917	1918	\$numIntgrPts	12	1	
element dispBeamColumn	6427	1918	1919	\$numIntgrPts	11	1	
element dispBeamColumn	6428	1919	934	\$numIntgrPts	11	1	
element dispBeamColumn	6429	934	1921	\$numIntgrPts	11	1	
element dispBeamColumn	64210	1921	1922	\$numIntgrPts	11	1	
element dispBeamColumn	64211	1922	1923	\$numIntgrPts	12	1	
element dispBeamColumn	6431	1923	1924	\$numIntgrPts	11	1	
element dispBeamColumn	6432	1924	1034	\$numIntgrPts	11	1	
element dispBeamColumn	6433	1034	1926	\$numIntgrPts	11	1	
element dispBeamColumn	6434	1926	1927	\$numIntgrPts	11	1	
element dispBeamColumn	6435	1927	1928	\$numIntgrPts	12	1	
element dispBeamColumn	6436	1928	1929	\$numIntgrPts	11	1	
element dispBeamColumn	6437	1929	1134	\$numIntgrPts	11	1	
element dispBeamColumn	6438	1134	1931	\$numIntgrPts	11	1	
element dispBeamColumn	6439	1931	1932	\$numIntgrPts	11	1	

element dispBeamColumn	64310	1932	1933	\$numIntgrPts	12	1
element dispBeamColumn	64311	1933	1934	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6441	1934	1234	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6442	1234	1936	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6443	1936	1937	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6444	1937	1938	\$numIntgrPts	12	1
element dispBeamColumn	6445	1938	1939	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6446	1939	1334	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6447	1334	1941	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6448	1941	1942	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6449	1942	1943	\$numIntgrPts	12	1
element dispBeamColumn	64410	1943	1944	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	64411	1944	1434	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6451	1434	1946	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6452	1946	1947	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6453	1947	1948	\$numIntgrPts	12	1
element dispBeamColumn	6454	1948	1949	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6455	1949	1534	\$numIntgrPts	11	1
# COLONNA 5						
element dispBeamColumn	651	201	202	\$numIntgrPts	9	1
element dispBeamColumn	652	202	203	\$numIntgrPts	10	1
element dispBeamColumn	653	203	204	\$numIntgrPts	9	1
element dispBeamColumn	654	204	45	\$numIntgrPts	9	1
element dispBeamColumn	655	45	206	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	656	206	207	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	657	207	208	\$numIntgrPts	12	1
element dispBeamColumn	658	208	209	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	659	209	745	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6510	745	2011	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6511	2011	2012	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6521	2012	2013	\$numIntgrPts	12	1
element dispBeamColumn	6522	2013	2014	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6523	2014	845	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6524	845	2016	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6525	2016	2017	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6526	2017	2018	\$numIntgrPts	12	1
element dispBeamColumn	6527	2018	2019	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6528	2019	945	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6529	945	2021	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	65210	2021	2022	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	65211	2022	2023	\$numIntgrPts	12	1
element dispBeamColumn	6531	2023	2024	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6532	2024	1045	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6533	1045	2026	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6534	2026	2027	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6535	2027	2028	\$numIntgrPts	12	1
element dispBeamColumn	6536	2028	2029	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6537	2029	1145	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6538	1145	2031	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6539	2031	2032	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	65310	2032	2033	\$numIntgrPts	12	1
element dispBeamColumn	65311	2033	2034	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6541	2034	1245	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6542	1245	2036	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6543	2036	2037	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6544	2037	2038	\$numIntgrPts	12	1
element dispBeamColumn	6545	2038	2039	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6546	2039	1345	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6547	1345	2041	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6548	2041	2042	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6549	2042	2043	\$numIntgrPts	12	1
element dispBeamColumn	65410	2043	2044	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	65411	2044	1445	\$numIntgrPts	11	1

element dispBeamColumn	6551	1445	2046	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6552	2046	2047	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6553	2047	2048	\$numIntgrPts	12	1
element dispBeamColumn	6554	2048	2049	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6555	2049	1545	\$numIntgrPts	11	1

COLONNA 6

element dispBeamColumn	661	211	212	\$numIntgrPts	9	1
element dispBeamColumn	662	212	213	\$numIntgrPts	10	1
element dispBeamColumn	663	213	214	\$numIntgrPts	9	1
element dispBeamColumn	664	214	56	\$numIntgrPts	9	1

element dispBeamColumn	665	56	216	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	666	216	217	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	667	217	218	\$numIntgrPts	12	1
element dispBeamColumn	668	218	219	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	669	219	756	\$numIntgrPts	11	1

element dispBeamColumn	6610	756	2111	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6611	2111	2112	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6621	2112	2113	\$numIntgrPts	12	1
element dispBeamColumn	6622	2113	2114	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6623	2114	856	\$numIntgrPts	11	1

element dispBeamColumn	6624	856	2116	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6625	2116	2117	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6626	2117	2118	\$numIntgrPts	12	1
element dispBeamColumn	6627	2118	2119	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6628	2119	956	\$numIntgrPts	11	1

element dispBeamColumn	6629	956	2121	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	66210	2121	2122	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	66211	2122	2123	\$numIntgrPts	12	1
element dispBeamColumn	6631	2123	2124	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6632	2124	1056	\$numIntgrPts	11	1

element dispBeamColumn	6633	1056	2126	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6634	2126	2127	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6635	2127	2128	\$numIntgrPts	12	1
element dispBeamColumn	6636	2128	2129	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6637	2129	1156	\$numIntgrPts	11	1

element dispBeamColumn	6638	1156	2131	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6639	2131	2132	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	66310	2132	2133	\$numIntgrPts	12	1
element dispBeamColumn	66311	2133	2134	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6641	2134	1256	\$numIntgrPts	11	1

element dispBeamColumn	6642	1256	2136	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6643	2136	2137	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6644	2137	2138	\$numIntgrPts	12	1
element dispBeamColumn	6645	2138	2139	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6646	2139	1356	\$numIntgrPts	11	1

element dispBeamColumn	6647	1356	2141	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6648	2141	2142	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6649	2142	2143	\$numIntgrPts	12	1
element dispBeamColumn	66410	2143	2144	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	66411	2144	1456	\$numIntgrPts	11	1

element dispBeamColumn	6651	1456	2146	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6652	2146	2147	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6653	2147	2148	\$numIntgrPts	12	1
element dispBeamColumn	6654	2148	2149	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6655	2149	1556	\$numIntgrPts	11	1

COLONNA 7

element dispBeamColumn	671	221	222	\$numIntgrPts	9	1
element dispBeamColumn	672	222	223	\$numIntgrPts	10	1
element dispBeamColumn	673	223	224	\$numIntgrPts	9	1
element dispBeamColumn	674	224	67	\$numIntgrPts	9	1

element dispBeamColumn	675	67	226	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	676	226	227	\$numIntgrPts	11	1

element dispBeamColumn	677	227	228	\$numIntgrPts	12	1
element dispBeamColumn	678	228	229	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	679	229	767	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6710	767	2211	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6711	2211	2212	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6721	2212	2213	\$numIntgrPts	12	1
element dispBeamColumn	6722	2213	2214	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6723	2214	867	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6724	867	2216	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6725	2216	2217	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6726	2217	2218	\$numIntgrPts	12	1
element dispBeamColumn	6727	2218	2219	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6728	2219	967	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6729	967	2221	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	67210	2221	2222	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	67211	2222	2223	\$numIntgrPts	12	1
element dispBeamColumn	6731	2223	2224	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6732	2224	1067	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6733	1067	2226	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6734	2226	2227	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6735	2227	2228	\$numIntgrPts	12	1
element dispBeamColumn	6736	2228	2229	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6737	2229	1167	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6738	1167	2231	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6739	2231	2232	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	67310	2232	2233	\$numIntgrPts	12	1
element dispBeamColumn	67311	2233	2234	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6741	2234	1267	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6742	1267	2236	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6743	2236	2237	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6744	2237	2238	\$numIntgrPts	12	1
element dispBeamColumn	6745	2238	2239	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6746	2239	1367	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6747	1367	2241	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6748	2241	2242	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6749	2242	2243	\$numIntgrPts	12	1
element dispBeamColumn	67410	2243	2244	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	67411	2244	1467	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6751	1467	2246	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6752	2246	2247	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6753	2247	2248	\$numIntgrPts	12	1
element dispBeamColumn	6754	2248	2249	\$numIntgrPts	11	1
element dispBeamColumn	6755	2249	1567	\$numIntgrPts	11	1

```

#
Bielle
#ELEMENT TRUSS
#          tag      nodoiniz      nodofin
area (w*t)  mat
element truss 6681      1          712
303219      10
element truss 6682      71         812
303219      10
element truss 6683      81         912
303219      10
element truss 6684      91        1012
303219      10
element truss 6685     101        1112
303219      10
element truss 6686     111        1212
303219      10
element truss 6687     121        1312
303219      10
element truss 6688     131        1412
303219      10
element truss 6689     141        1512
303219      10
element truss 6690      12         723
303219      10
element truss 6691      712        823
303219      10
element truss 6692      812        923
303219      10
element truss 66693     912       1023
303219      10
element truss 66694    1012       1123
303219      10
element truss 6695     1112       1223
303219      10
element truss 6696     1212       1323
303219      10
element truss 6697     1312       1423
303219      10
element truss 6698     1412       1523
303219      10
element truss 6699      67         756
303219      10
element truss 7700     767        856
303219      10
element truss 7701     867        956
303219      10

```

element truss	7702	967	1056	element truss	7743	1056	1167
303219	10			303219	10		
element truss	7703	1067	1156	element truss	7744	1156	1267
303219	10			303219	10		
element truss	7704	1167	1256	element truss	7745	1256	1367
303219	10			303219	10		
element truss	7705	1267	1356	element truss	7756	1356	1467
303219	10			303219	10		
element truss	7706	1367	1456	element truss	7757	1456	1567
303219	10			303219	10		
element truss	7707	1467	1556	element truss	7758	45	756
303219	10			303219	10		
element truss	7708	56	745	element truss	7759	745	856
303219	10			303219	10		
element truss	7709	756	845	element truss	7760	845	956
303219	10			303219	10		
element truss	7710	856	945	element truss	7761	945	1056
303219	10			303219	10		
element truss	7711	956	1045	element truss	7762	1045	1156
303219	10			303219	10		
element truss	7712	1056	1145	element truss	7763	1145	1256
303219	10			303219	10		
element truss	7713	1156	1245	element truss	7764	1245	1356
303219	10			303219	10		
element truss	7714	1256	1345	element truss	7765	1345	1456
303219	10			303219	10		
element truss	7715	1356	1445	element truss	7766	1445	1556
303219	10			303219	10		
element truss	7716	1456	1545	element truss	77759	161	12
303219	10			303219	10		
				element truss	77760	171	1
#ELEMENT TRUSS				303219	10		
element truss	7721	12	71	element truss	77761	171	23
303219	10			303219	10		
element truss	7722	712	81	element truss	77762	181	12
303219	10			303219	10		
element truss	7723	812	91	element truss	77763	201	56
303219	10			303219	10		
element truss	7724	912	101	element truss	77764	211	45
303219	10			303219	10		
element truss	7725	1012	111	element truss	77765	211	67
303219	10			303219	10		
element truss	7726	1112	121	element truss	77766	221	56
303219	10			303219	10		
element truss	7727	1212	131				
303219	10						
element truss	7728	1312	141	#ELEMENT TRUSS (metodo nuovo)			
303219	10			#BIELLE B			
element truss	7729	1412	151	#	tag	nodoiniz	nodofin
303219	10			area(w*t)	mat		
element truss	7730	23	712	element truss	7771	23	724
303219	10			310886	11		
element truss	7731	723	812	element truss	7772	724	824
303219	10			310886	11		
element truss	7732	823	912	element truss	7773	824	925
303219	10			310886	11		
element truss	7733	923	1012	element truss	7774	925	1026
303219	10			310886	11		
element truss	7734	1023	1112	element truss	7775	1026	1126
303219	10			310886	11		
element truss	7735	1123	1212	element truss	7776	1126	1227
303219	10			310886	11		
element truss	7736	1223	1312	element truss	7777	1227	1327
303219	10			310886	11		
element truss	7737	1323	1412	element truss	7778	1327	111427
303219	10			310886	11		
element truss	7738	1423	1512	element truss	7779	111427	111527
303219	10			310886	11		
element truss	7739	56	767	element truss	7780	11129	7729
303219	10			310886	11		
element truss	7740	756	867	element truss	7781	7729	830
303219	10			310886	11		
element truss	7741	856	967	element truss	7782	830	930
303219	10			310886	11		
element truss	7742	956	1067				
303219	10						

element truss	7783	930	1031	element truss	8805	1341	111440
310886	11			310886	11		
element truss	7784	1031	1131	element truss	8806	111440	111540
310886	11			310886	11		
element truss	7785	1131	1232				
310886	11						
element truss	7786	1232	1333	# #ELEMENT TRUSS			
310886	11			#	tag	nodoiniz	nodofin
element truss	7787	1333	1433	area(w*t)	mat		
310886	11			element truss	8811	23	7729
element truss	7788	1433	1534	769559	12		
310886	11			element truss	8812	724	830
				769559	12		
element truss	7789	11138	7738	element truss	8813	824	930
310886	11			769559	12		
element truss	7790	7738	838	element truss	8814	925	1031
310886	11			769559	12		
element truss	7791	838	938	element truss	8815	1026	1131
310886	11			769559	12		
element truss	7792	938	1037	element truss	8816	1126	1232
310886	11			769559	12		
element truss	7793	1037	1137	element truss	8817	1227	1333
310886	11			769559	12		
element truss	7794	1137	1236	element truss	8818	1327	1433
310886	11			769559	12		
element truss	7795	1236	1335	element truss	8819	111427	1534
310886	11			769559	12		
element truss	7796	1335	1435				
310886	11			element truss	8810	45	7738
element truss	7797	1435	1534	769559	12		
310886	11			element truss	8821	744	838
				769559	12		
element truss	7798	45	744	element truss	8822	844	938
310886	11			769559	12		
element truss	7799	744	844	element truss	8823	943	1037
310886	11			769559	12		
element truss	8800	844	943	element truss	8824	1042	1137
310886	11			769559	12		
element truss	8801	943	1042	element truss	8825	1142	1236
310886	11			769559	12		
element truss	8802	1042	1142	element truss	8826	1241	1335
310886	11			769559	12		
element truss	8803	1142	1241	element truss	8827	1341	1435
310886	11			769559	12		
element truss	8804	1241	1341	element truss	8828	111440	1534
310886	11			769559	12		

```
# -----
# Start of analysis generation
# -----
```

```
# Create the system of equation, a sparse solver with partial pivoting
system BandGeneral
```

```
# Create the constraint handler, the transformation method
constraints Transformation
```

```
# Create the DOF numberer, the reverse Cuthill-McKee algorithm
numberer RCM
```

```
# Create the convergence test
test NormDispIncr 1.0e0 3000 3
```

```
# Create the solution algorithm, a Newton-Raphson algorithm
algorithm Newton
```

```
# Create the integration scheme, the LoadControl scheme using steps of 0.05
integrator LoadControl 0.1
```

```
# Create the analysis object
analysis Static
```

```
# -----
# End of analysis generation
# -----
# -----
```

```

# Finally perform the analysis
# -----

# perform the gravity load analysis, requires 20 steps to reach the load level
analyze 10

# ----- maintain constant gravity loads and reset
time to zero
loadConst -time 0.0

puts "Model Built"

```

Script dell'analisi pushover

```

source et10.tcl

loadConst -time 0.0
puts "Gravity Analysis Completed"
puts "Cyclic Analysis Completed"
#display displacement shape of the column
recorder display "Displaced shape2" 450 100 500 500 -wipe

prp 300. 200. 1;
vup 0 1 0;
vpn 0 0 1;
display 1 5 40

# vup 0 0 1
# vpn 1 0 0 ----> vista Y-Z

# vup 0 1 0
# vpn 0 0 1 ----> vista X-Y

# vup 0 0 1
# vpn 0 1 0 ----> vista X-Z
# Set the gravity loads to be constant & reset the time in the domain
loadConst -time 0.0

# -----
# End of Model Generation & Initial Gravity Analysis
# -----

# -----
# Start of additional modelling for lateral loads
# -----

# Define lateral loads
# -----

# Set some parameters
set P1 1000.0;          # Vertical load 1kN

set dof 2
set nodo 1534

#Set vertical load pattern with a Linear TimeSeries
pattern Plain 2 "Linear" {

    #Create nodal loads at nodes 3 & 4
    #nd    FX  FY  MZ

    load 1534    0.0 -$P1  0.0

}

# -----
# Start of modifications to analysis for push over
# -----

```

```

# Set some parameters
set dU -0.1;          # Displacement increment
                    # Displacement increment
# Change the integration scheme to be displacement control
#                      node dof init Jd min max
integrator DisplacementControl $nodo $dof $dU 1 $dU $dU

# -----
# End of modifications to analysis for push over
# -----

# -----
# Start of recorder generation
# -----

# Stop the old recorders by destroying them
# remove recorders
nodeDisp 34 2

# Create a recorder to monitor nodal displacements

file mkdir Grafici
recorder Node -file Grafici/DISPvet10.out -node 34 -dof 2 disp
file mkdir Grafici
recorder Node -file Grafici/Vreacet10.out -node 161 171 181 201 211 221 -dof 2 reaction

# recorder Element -file Biella.out -ele 137 section 3 fiber 0 0 11 stressStrain

# End of recorder generation
# -----
# -----
# Finally perform the analysis
# -----

# Set some parameters
set maxU 1000;      # Max displacement
set currentDisp 0.0;
set ok 0

while {$ok == 0 && $currentDisp < $maxU} {

    set ok [analyze 1]

    # if the analysis fails try initial tangent iteration
    if {$ok != 0} {
        puts "regular newton failed .. lets try an initial stiffness for this step"
        test NormDispIncr 1.0e1 3000
        algorithm ModifiedNewton
        #-initial
        set ok [analyze 1]
        if {$ok == 0} {puts "that worked .. back to regular newton"}
        test NormDispIncr 1.0e1 3000
        algorithm Newton
    }
    set currentDisp [nodeDisp $nodo $dof]
}

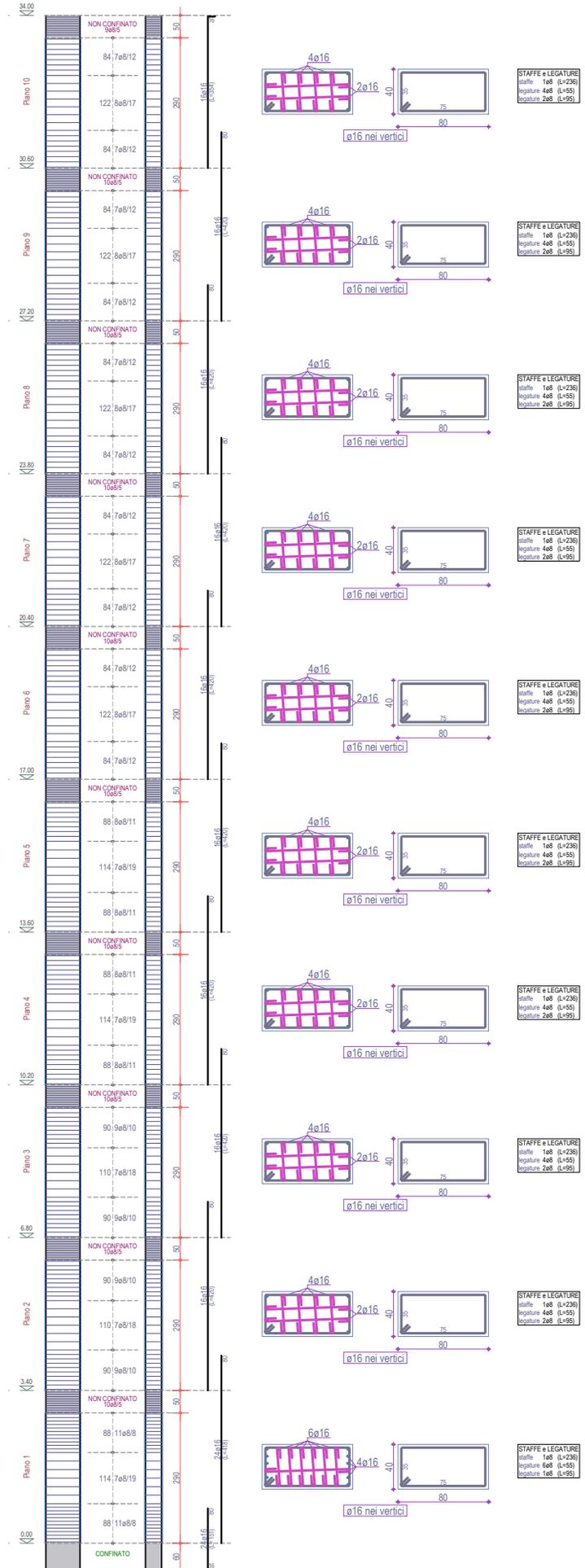
if {$ok == 0} {
    puts "Pushover analysis completed SUCCESSFULLY";
} else {
    puts "Pushover analysis FAILED";
}

```

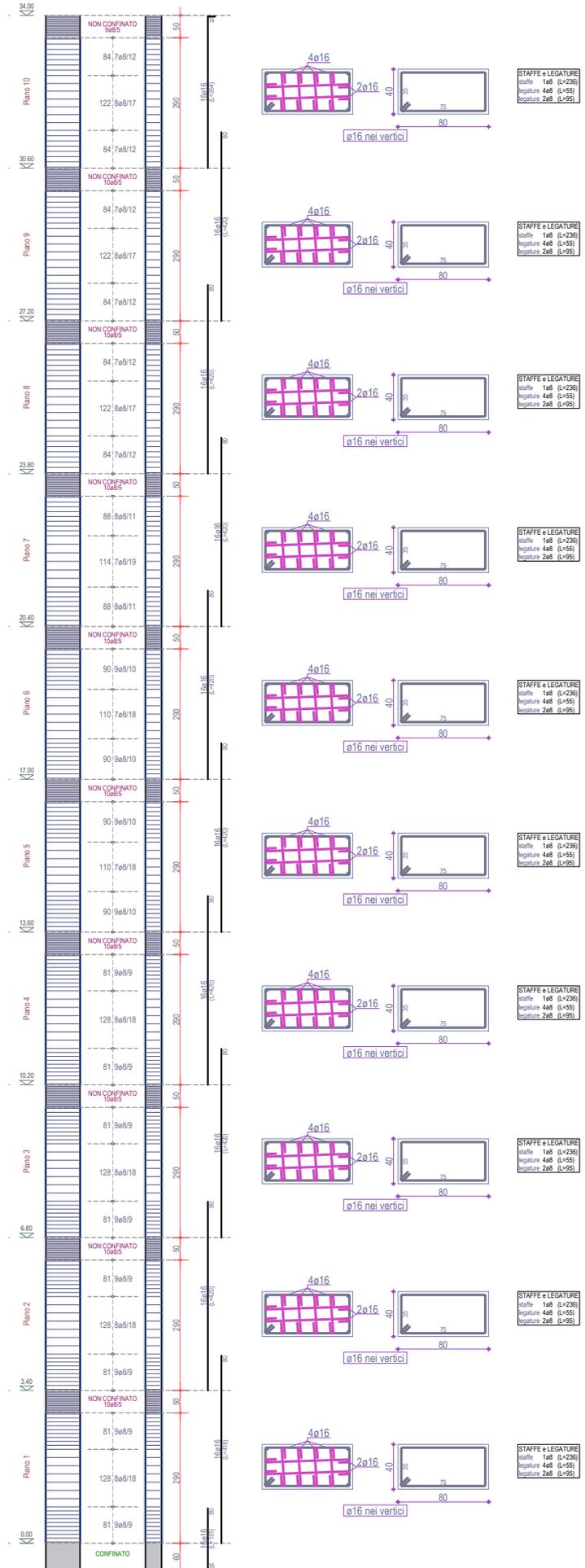
PIANO 1



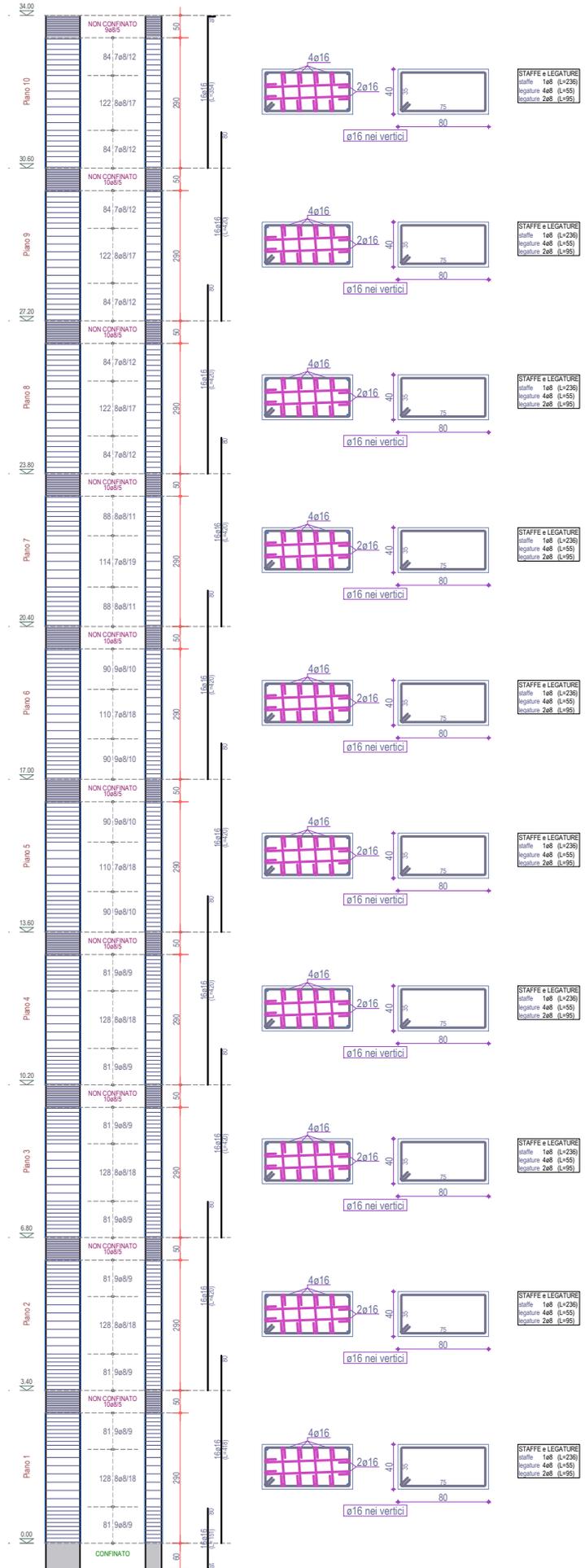
PILASTRATA 1



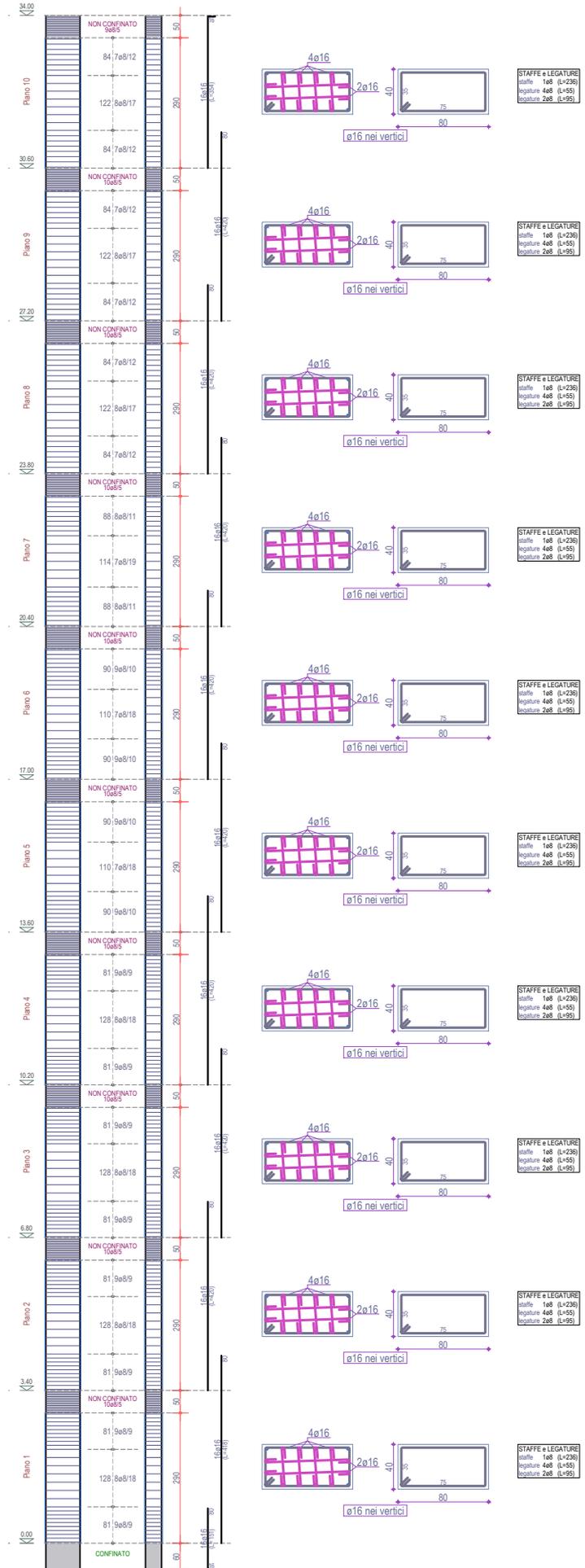
PILASTRATA 2



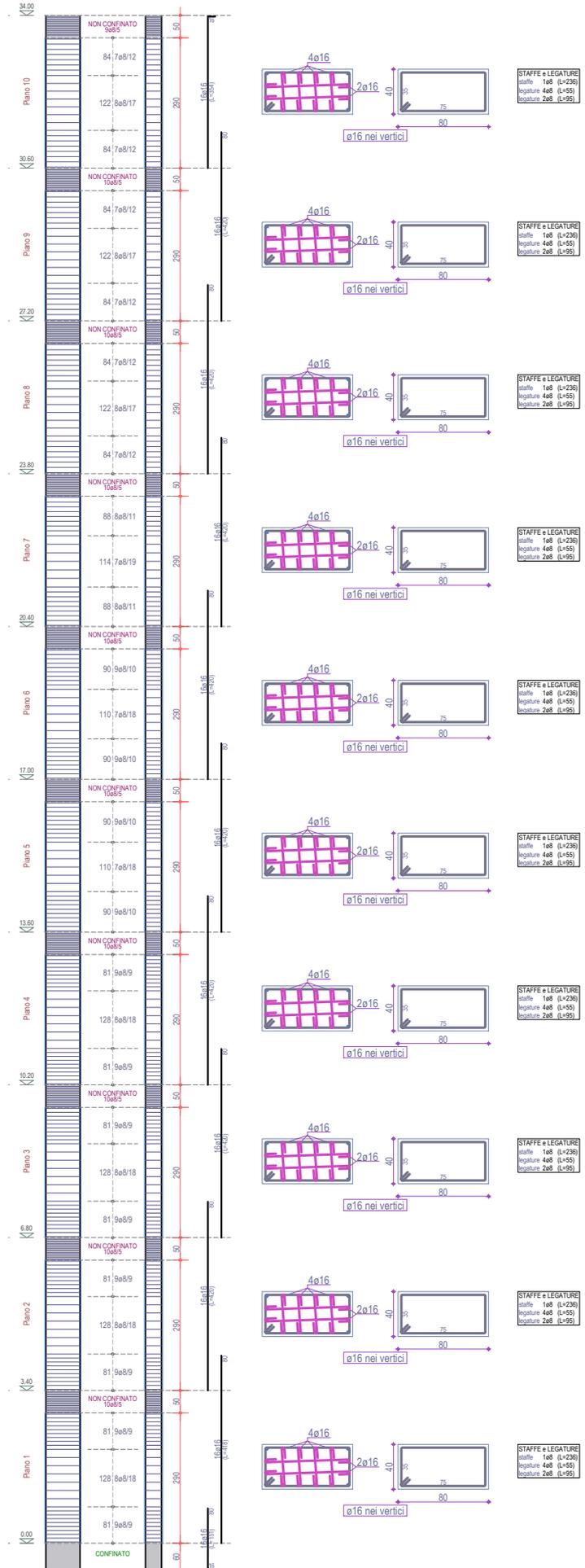
PILASTRATA 3



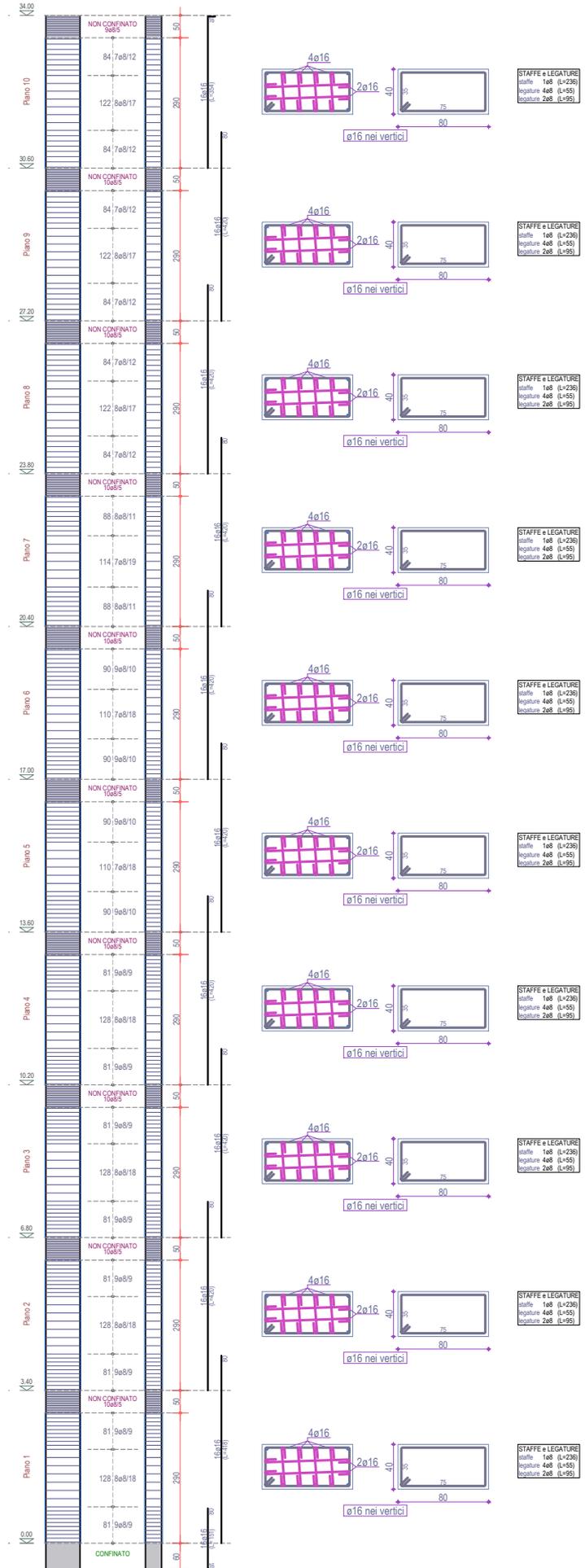
PILASTRATA 4



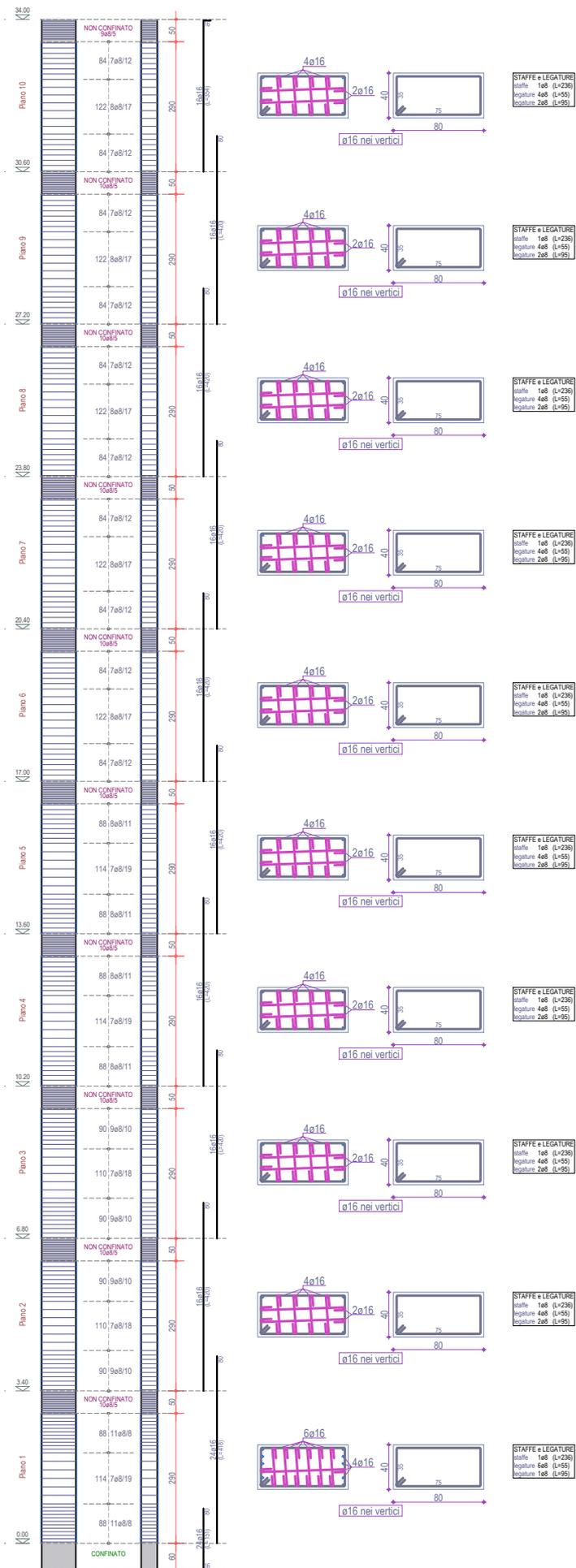
PILASTRATA 5



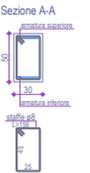
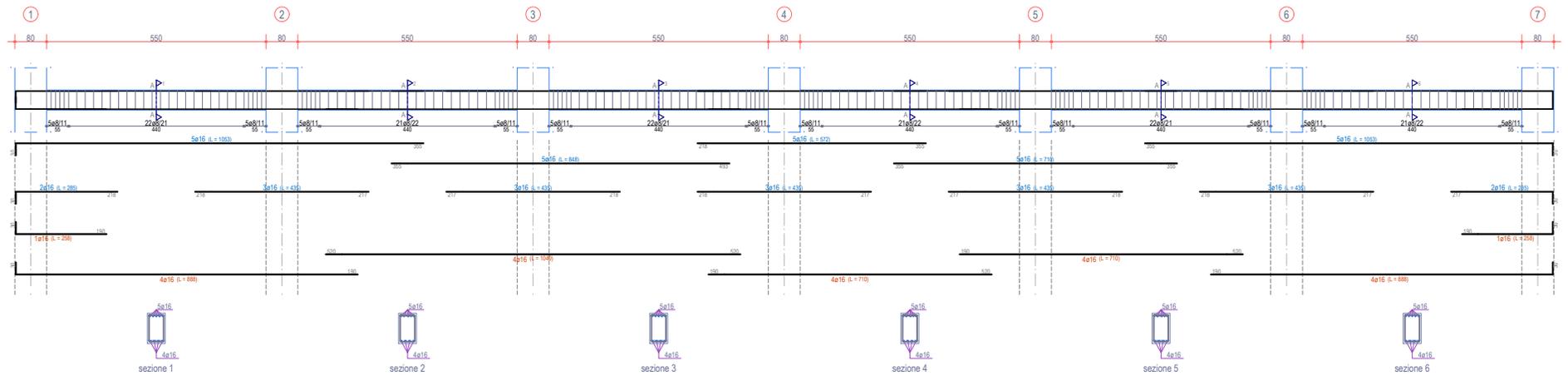
PILASTRATA 6



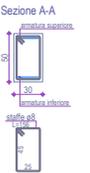
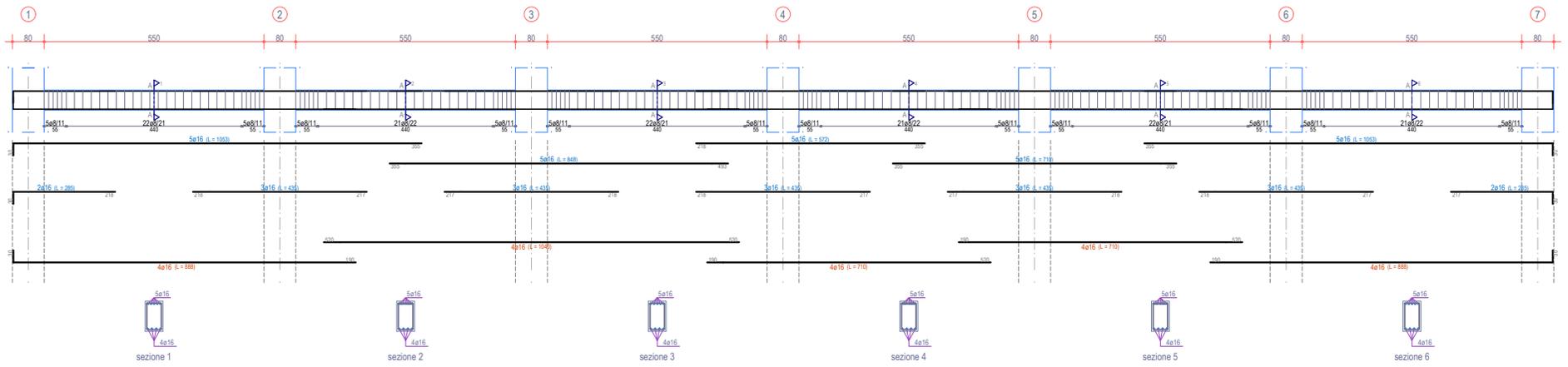
PILASTRATA 7



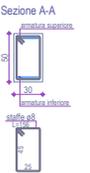
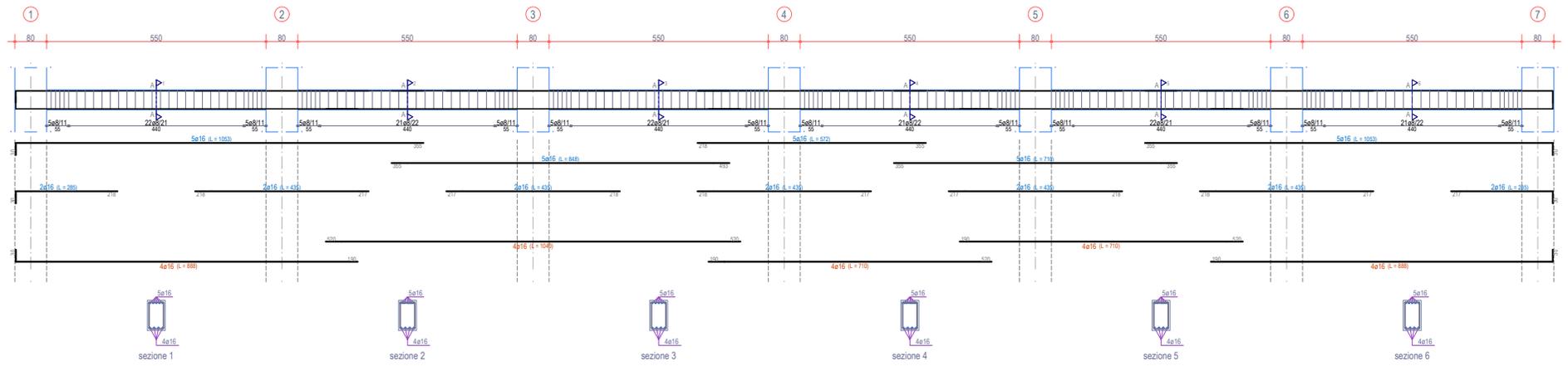
TRAVE 1-2-3-4-5-6-7
Piano 1



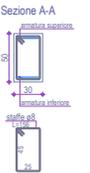
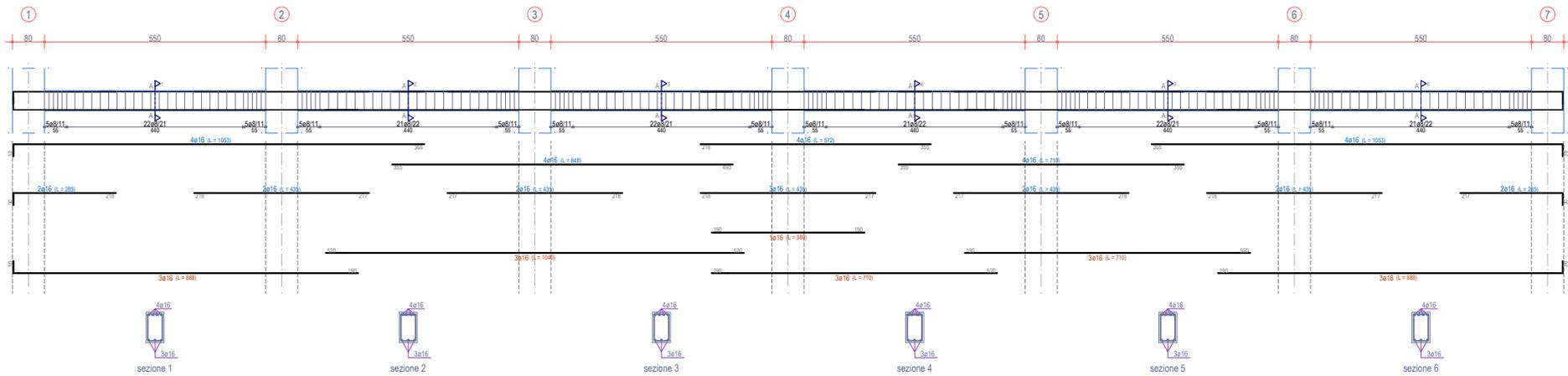
TRAVE 1-2-3-4-5-6-7
Piano 2



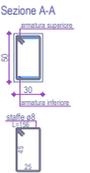
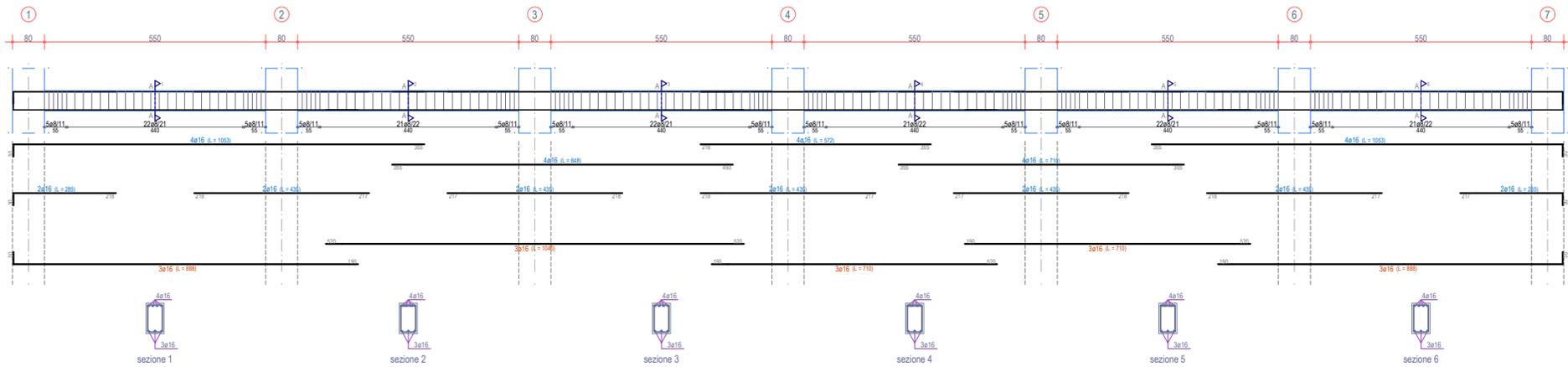
TRAVE 1-2-3-4-5-6-7
Piano 3



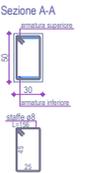
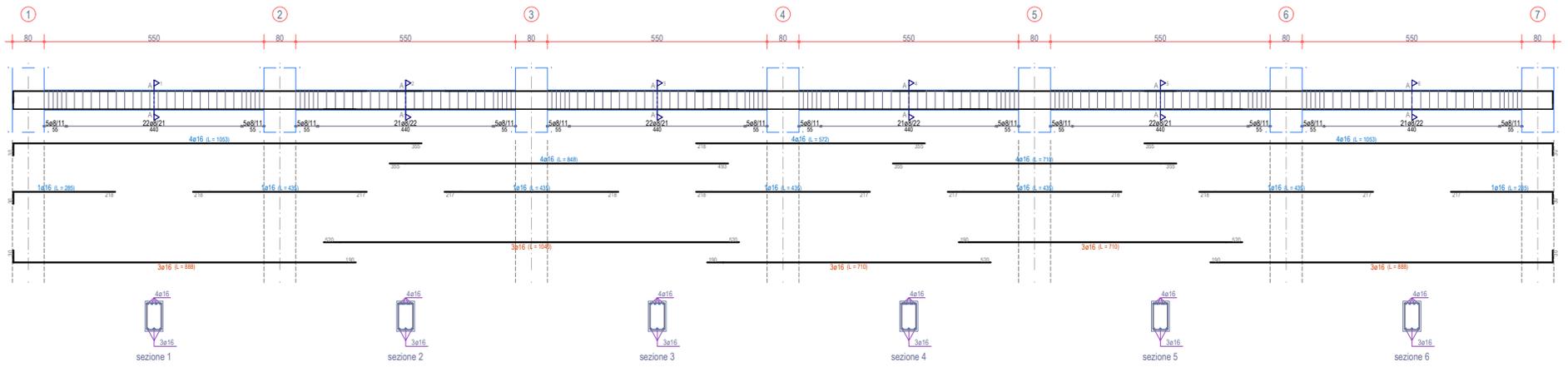
TRAVE 1-2-3-4-5-6-7
Piano 4



TRAVE 1-2-3-4-5-6-7
Piano 5

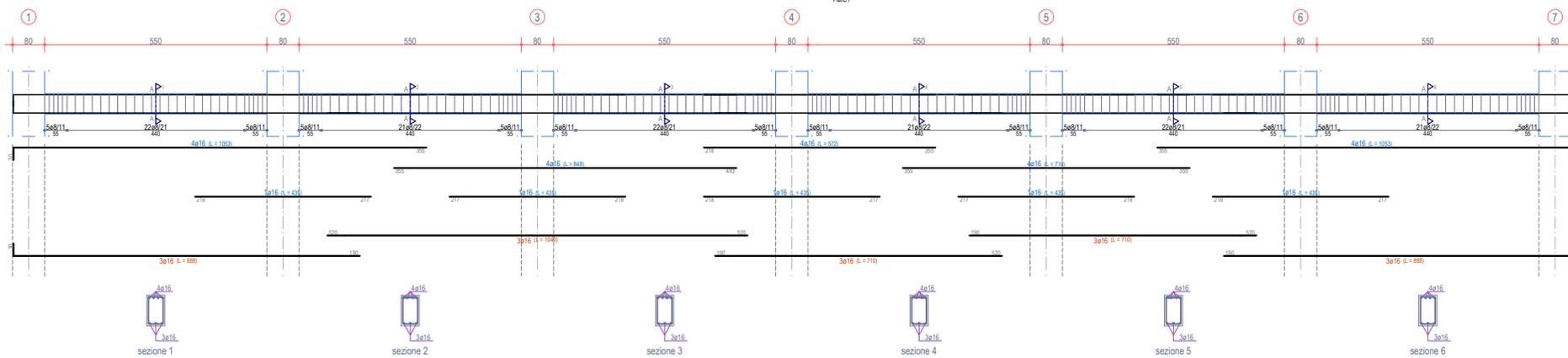


TRAVE 1-2-3-4-5-6-7
Piano 6



TRAVE 1-2-3-4-5-6-7

Piano 7



Sezione A-A

posizione sezione

GR

33

posizione inferiore

staffe a 8

11/13

22

22

22

22

22

22

22

22

22

22

22

22

22

22

22

22

22

22

22

22

22

22

22

22

22

22

22

22

22

22

22

22

22

22

22

22

22

22

22

22

22

22

22

22

22

22

22

22

22

22

22

22

22

22

22

22

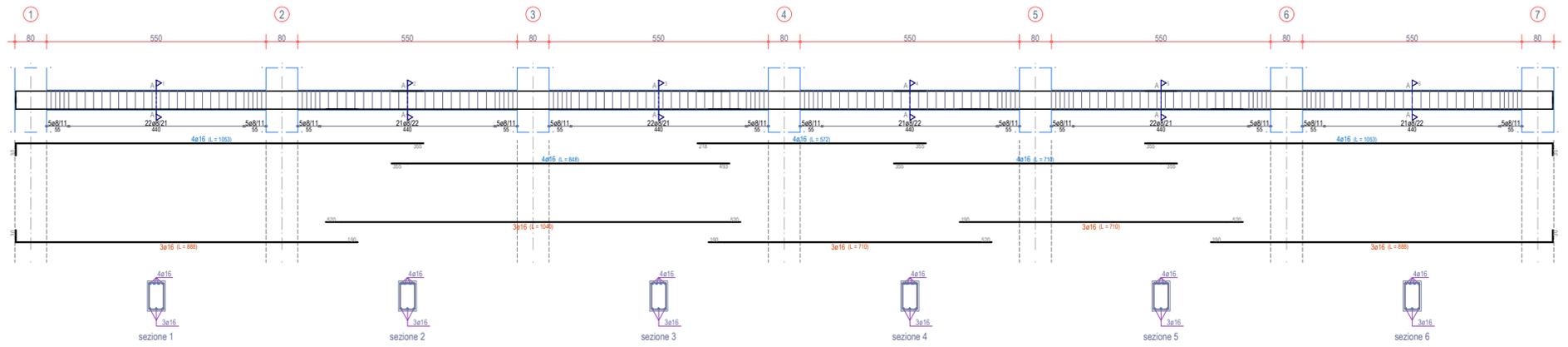
22

22

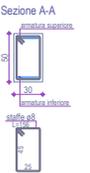
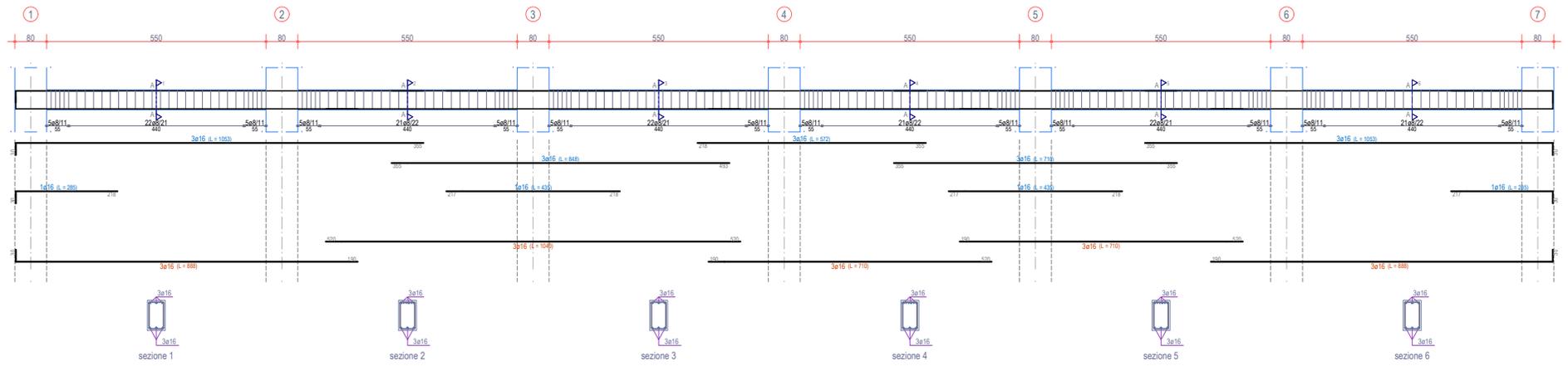
22

22

TRAVE 1-2-3-4-5-6-7
Piano 8

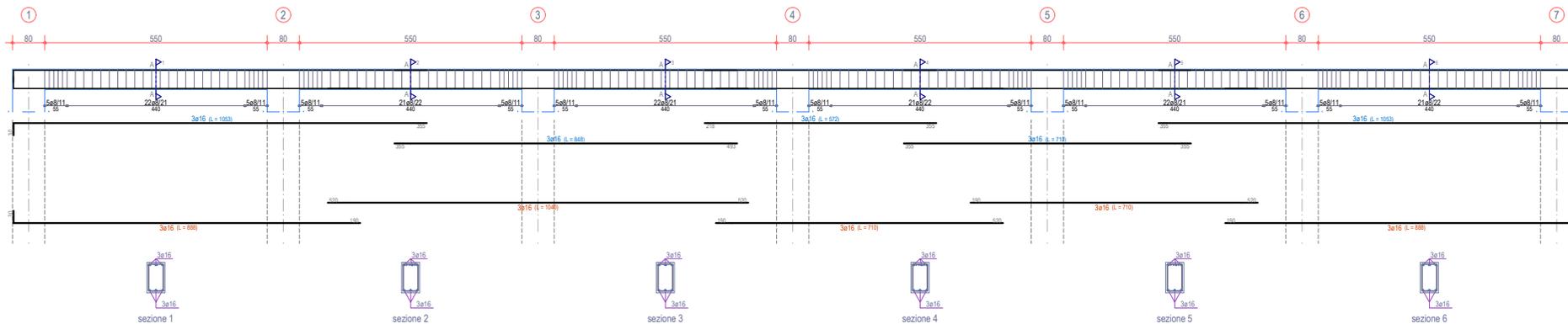


TRAVE 1-2-3-4-5-6-7
Piano 9



TRAVE 1-2-3-4-5-6-7

Plano 10



Sezione A-A

