



**Università Politecnica delle Marche**

**Facoltà di Ingegneria**

**Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria Civile**

Dipartimento di Ingegneria Civile Edile e Architettura - DICEA

**“Protezione sismica di edifici irregolari in cemento armato  
tramite isolamento sismico”**

**“Seismic protection of irregular reinforced concrete buildings  
with seismic isolation”**

Relatrice:

Tesi di Laurea di:

**Chiar.ma**

**Fabio Di Menno Di Bucchianico**

**Prof. Laura Ragni**

**1102836**

ANNO ACCADEMICO 2023/2024



# Indice

<b>1-Introduzione.....</b>	<b>1</b>
<b>2-Progettazione convenzionale vs progettazione con Isolamento sismico.....</b>	<b>3</b>
2.1 Progettazione convenzionale.....	3
2.1.1 Fattore di struttura.....	5
2.1.2 Gerarchia delle resistenze.....	7
2.2 Progettazione con isolamento sismico.....	10
2.2.1 Generalità.....	10
2.2.2 Isolamento sismico.....	10
2.2.3 Dispositivi di isolamento.....	14
<b>3-Caso Studio.....</b>	<b>23</b>
3.1 Inquadramento edificio e caso studio.....	23
3.2 Modellazione.....	27
3.2.1 Elementi della Modellazione.....	27
3.2.2 Modellazione con soli elementi strutturali.....	28
3.2.3 Modello con contributo in rigidità tamponatura esterna.....	32
3.3 Osservazioni.....	35
3.4 Predimensionamento sistema di isolamento.....	35

3.5 Modello isolato.....	38
3.5.1 Inserimento vincoli cedevoli e carrelli.....	39
3.5.2 Analisi Modale con isolamento alla base.....	41
3.5.3 Inserimento Spettro di risposta e analisi senza Eccentricità accidentale.....	43
3.5.4 Eccentricità accidentale el 5%.....	48
3.5.5 Eccentricità accidentale del 10%.....	50
3.5.6 Spostamenti d'interpiano all'SLV della sovrastruttura.....	52
<b>4-Time History</b> .....	55
4.1 Generalità.....	55
4.2 Scelta accelerogrammi.....	55
4.3 Modellazione isolatore.....	63
4.4 Definizione Casi di carico.....	64
4.5 Analisi time history.....	66
4.5.1 Analisi senza eccentricità accidentale.....	66
4.5.2 Analisi con eccentricità accidentale 5 %.....	75
4.5.3 Analisi con eccentricità accidentale 10 %.....	79
<b>5-Conclusioni</b> .....	83
<b>6-Bibliografia e sitografia</b> .....	85



## 1-Introduzione

L'isolamento sismico alla base è una tecnica di protezione e prevenzione sismica efficace e ampiamente diffusa nei territori ad alta pericolosità sismica. In breve, l'isolamento sismico consiste nell' "isolare la struttura ", ovvero disaccoppiare il moto della struttura da quello del terreno per ridurre gli effetti distruttivi del terremoto. Tale disaccoppiamento è ottenuto attraverso dispositivi detti isolatori, che sono caratterizzati da elevata rigidità verticale ma bassa rigidità orizzontale ed una buona capacità dissipativa associata. In tal modo permettono di ridurre drasticamente l'energia in ingresso consentendo così di ridurre le accelerazioni in sovrastruttura che si comporta quasi come un corpo rigido che trasla al di sopra degli isolatori.

Pertanto le caratteristiche di un buon sistema di isolamento sismico sono: bassa rigidità orizzontale che permette di avere un periodo di isolamento elevato, una buona capacità dissipativa al fine di abbattere le azioni trasmesse in sovrastruttura , gli isolatori devono essere inoltre in grado di sopportare i carichi verticali e avere un'adeguata rigidità orizzontale nei confronti di forze di piccola entità (vento, traffico e sismi di piccola entità). È auspicabile (anche se non obbligatorio) che abbiano anche una buona capacità di ricentraggio ovvero di tornare alla posizione iniziale dopo un evento sismico.

Data la semplicità del sistema strutturale (rispetto agli edifici tradizionali), anche la progettazione risulta semplice (rispetto anche alla progettazione antisismica "convenzionale"), ma ovviamente ci sono degli aspetti relativi alla corretta progettazione degli isolatori che richiedono un'attenzione particolare. Ad esempio, in edifici medio-alti possono esserci delle sollecitazioni di trazione in alcuni dispositivi a causa dell'azione "ribaltante" delle forze sismiche orizzontali rispetto la base degli edifici. Poi particolare attenzione va posta anche nella progettazione dell'isolamento di edifici irregolari in pianta; dove è necessario fare coincidere il centro di rigidità (CR) dell'isolamento con il centro di massa (CM) dell'edificio perché un'eventuale eccentricità tra CM e CR comporterebbe spostamenti differenziali degli isolatori. Nel dettaglio, si avrebbe un'amplificazione degli spostamenti degli isolatori più esterni che quindi potrebbero non essere in grado di portare il sisma di progetto se non adeguatamente progettati.

In questo lavoro di tesi è stato analizzato un edificio con irregolarità in pianta. In particolare, l'edificio seppur con pianta rettangolare è considerato irregolare poiché la lunghezza di un lato è maggiore rispetto all'altra ( $L_x \gg L_y$ ). L'obiettivo principale della tesi è stato innanzitutto quello di dimensionare il sistema di isolamento in modo adeguato. In particolare, avendo adottato un sistema ibrido (costituito da isolatori elastomerici e slitte piane a basso attrito) gli isolatori sono stati disposti in pianta cercando di far coincidere CM dell'edificio con CR degli isolatori ed in modo tale da avere un'adeguata rigidità torsionale. Successivamente sono stati valutati gli effetti sulla configurazione progettata dell'eccentricità accidentali (così come previsto dall'attuale norma tecnica) che vengono introdotte per tener conto in maniera semplificata delle incertezze delle distribuzioni delle masse e dell'incertezza sulla sincronia delle massime accelerazioni lungo lo sviluppo dell'edificio.

## 2-Progettazione convenzionale vs progettazione con isolamento sismico

### 2.1 Progettazione convenzionale

La crescita di importanza della dinamica delle strutture risulta evidente a chiunque abbia seguito l'evoluzione delle problematiche connesse alla progettazione antisismica, sia sotto il profilo dell'istruzione universitaria che sotto quello dell'attività professionale. Alcuni concetti di base, come l'equivalenza tra l'effetto del terremoto e quello di azioni statiche proporzionali alla massa, sono

presenti già all'inizio del ventesimo secolo nelle prime norme sismiche e costituiscono un bagaglio culturale insito in chiunque operi in zona sismica. Ma la seconda metà del secolo ha visto un forte sviluppo della dinamica delle strutture, stimolato anche dalla disponibilità di strumenti di calcolo prima inimmaginabili, che ha consentito una conoscenza ben più approfondita del comportamento delle costruzioni durante un terremoto. Ciò ha portato ad un progressivo adattamento della normativa tecnica in tutto il mondo: in questi primi anni del nuovo secolo si è giunti ad una versione finale della norma sismica europea, l'Eurocodice 8, ed anche la normativa italiana è stata aggiornata, con forti discussioni, in maniera tale da recepire sostanzialmente i contenuti di quella europea.

Le nuove prescrizioni fanno riferimento in maniera sempre più esplicita alla dinamica delle strutture.

La filosofia progettuale scelta dalla normativa, coerentemente con molti moderni codici, prevede due distinte verifiche:

- La prima, definita Stato Limite Ultimo, considera un evento sismico che ha periodo di ritorno elevato rispetto alla vita di servizio della struttura, in particolare 475 anni, a cui corrisponde una probabilità di superamento in 50 anni del 10%; per tale evento si ammette che l'edificio possa sostenere danni di grave entità, anche dal punto di vista strutturale, conservando però la capacità di sopportare i carichi verticali e dunque senza collassare.

- la seconda, la struttura si deve anche verificare allo Stato Limite di Danno, relativo ad un periodo di ritorno molto più piccolo e paragonabile con la vita di servizio della struttura: probabilità di superamento del 50% in 50 anni; in tal caso la struttura deve rimanere agibile dopo l'evento e ciò convenzionalmente si controlla limitando gli spostamenti relativi di piano.

In particolare gli studi di classificazione hanno suddiviso l'Italia in quattro zone in cui l'accelerazione orizzontale massima su suolo rigido, con periodo di ritorno 475 anni, è rispettivamente compresa fra 0,25g e 0,35g, 0,15g e 0,25g, 0,05g e 0,15g, ed infine minore di 0,05g, essendo  $g$  l'accelerazione di gravità ( $9,81 \text{ m/sec}^2$ ); a ciascuna di queste zone è stato cautelativamente assegnato il limite superiore dell'intervallo di accelerazione.

Dunque, per lo Stato Limite Ultimo si considerano accelerazioni su suolo rigido a pari a 0,35g, 0,25g, 0,15g e 0,05g, rispettivamente nelle zone sismiche 1, 2, 3 e 4. Le accelerazioni date dalla normativa sono riferite a suolo rigido e dunque vanno riportate alla quota delle fondazioni, utilizzando le varie categorie di profilo stratigrafico del suolo definite dalla norma al punto 3.1, e successivamente alla quota delle masse strutturali, considerando il periodo proprio  $T'$  della struttura e lo smorzamento viscoso equivalente  $\xi$ . In particolare, le categorie di suolo vengono definite mediante la velocità media di propagazione delle onde di taglio del terreno negli ultimi 30m  $V_{s30}$ , oppure in forma semplificata mediante le risultanze di prove penetrometriche o mediante la valutazione della coesione non drenata. I terreni superficiali esercitano evidentemente una funzione di filtro e tendono a variare il contenuto in frequenza degli accelerogrammi generati dai terremoti, modificando pertanto la forma e l'intensità dello spettro di risposta elastico.

Da ciò segue l'intera filosofia della normativa per edifici in zona sismica:

- In primo luogo, per il terremoto dello Stato Limite Ultimo (SLU) non è accettabile che l'edificio possa resistere elasticamente e dunque i materiali e le sezioni vanno verificate in campo anelastico. Questo è il motivo per cui si adotta il calcolo allo Stato Limite Ultimo per flessione, pressoflessione e taglio degli elementi.
- In secondo luogo, si devono utilizzare metodi che consentano di tenere in conto la capacità della struttura di dissipare energia in campo plastico, introducendo il "fattore

di struttura" per ridurre le accelerazioni elastiche e pervenendo allo spettro di progetto per lo SLU.

- In terzo luogo, per ottenere il previsto fattore di struttura e dunque un'adeguata capacità dissipativa; si deve intervenire con un complesso di regole, sui materiali, sulla geometria degli elementi e sui dettagli costruttivi, più o meno restrittive a seconda che si progetti in classe di duttilità A o B, che verranno brevemente descritte nel seguito e che portano alla necessaria duttilità ed al rispetto della gerarchia delle resistenze.
- Infine, per il terremoto ridotto, corrispondente ad una maggiore probabilità che si verifichi durante la vita della struttura e che definisce lo Stato Limite di Danno, cioè facendo riferimento allo spettro di risposta elastico ridotto del fattore 2,5, si deve verificare che gli spostamenti relativi di piano siano inferiori ai limiti che l'esperienza ha dimostrato rendere inagibile la struttura.

In particolare, si riportano i principali concetti di fattore di struttura e gerarchia delle resistenze per quanto riguarda la "progettazione convenzionale" antisismica.

### **2.1.1 Fattore di struttura**

Il fattore di struttura rappresenta uno dei concetti chiave della normativa.

In particolare, facendo propri i risultati di ingegneria sismica consolidati da decenni, la norma rileva che una struttura adeguatamente progettata e che conseguentemente ha capacità di andare in campo non lineare, dissipando plasticamente energia, può resistere ad accelerazioni sismiche ben maggiori di quelle relative alla prima plasticizzazione.

Pertanto, da un punto di vista progettuale, si può ridurre l'accelerazione che la struttura subirebbe in campo indefinitamente elastico definita dallo spettro di risposta elastico, mediante l'introduzione del fattore di struttura e pervenendo così alle accelerazioni di progetto di una struttura, che nella realtà ha comportamento non lineare dissipativo.

Le sollecitazioni sulla struttura si possono calcolare ancora in campo elastico, con gli usuali metodi della dinamica strutturale, ma valutando la resistenza degli elementi in campo non lineare, perché è necessario valutare con precisione la soglia di prima

plasticizzazione. Si deve poi seguire un insieme coordinato di regole sulle proprietà dei materiali e sulla progettazione delle sezioni e degli elementi strutturali (travi, pilastri, nodi, pareti, elementi cosiddetti non strutturali) per garantire che la struttura abbia la capacità di dissipazione in campo non lineare che è implicita nell'adozione del fattore di struttura di progetto.

Entrando nello specifico, per edifici in cemento armato l'espressione del fattore di struttura  $q$  è riportata di seguito con la Formula 2.1:

$$q = q_0 \cdot K_D \cdot K_R$$

Formula 4.2

Dove:

- $q_0$  è il valore di base del fattore di struttura e dipende dalla tipologia strutturale

- $K_D$  è il fattore di duttilità (CDA=1,00; CDB=0,7)

- $K_R$  è il fattore di regolarità (1 per edifici regolari in altezza, 0,8 per edifici irregolari in altezza).

Generalmente  $q_0$  si basa sul fattore di sovraresistenza che può valutarsi numericamente mediante l'analisi statica non lineare non potendo superare comunque il valore di 1,5; per semplicità progettuale la norma suggerisce direttamente delle stime conservative.

L'irregolarità strutturale viene penalizzata perché l'esperienza dei terremoti degli ultimi decenni ha chiaramente mostrato che conduce a eccessiva concentrazione di richiesta di duttilità in alcuni elementi, diminuendo la capacità dissipativa complessiva. Dunque, per fare fronte a tale diminuzione di duttilità globale, è necessario aumentare le forze di progetto. In particolare, la norma prevede una diminuzione del fattore di struttura del 20% e dunque un aumento delle forze di progetto del 25%.

Per quanto concerne il metodo di verifica della regolarità in altezza suggerito dalla norma, è molto semplice verificare la regolarità in altezza delle masse; più complessa è la verifica della regolarità in altezza delle rigidezze che però si può controllare conoscendo le dimensioni geometriche degli elementi, senza ancora aver disposto le armature. Infine la regolarità in altezza delle resistenze, che sicuramente condiziona maggiormente il

comportamento strutturale, può verificarsi solo a posteriori, una volta che è completamente definita l'armatura degli elementi.

Mediante la scelta della classe di duttilità, la norma consente al progettista di puntare più sulla resistenza o più sulla duttilità. Nel primo caso, il progettista sceglie la classe di duttilità "B", utilizzando un fattore di struttura di base ridotto del 30%, e dunque aumentando le forze che conducono alla prima plasticizzazione del 43%. Conseguentemente l'edificio ha necessità di una minore capacità di dissipazione plastica e il progettista può seguire un livello meno coercitivo di regole di progetto che forniscono la duttilità.

Se invece il progettista sceglie la classe di duttilità "A", ottiene una riduzione delle forze di progetto maggiore e deve dunque garantire, con adozione di regole più severe, un'adeguata duttilità strutturale. In particolare sono molto più restrittive le regole sulla gerarchia delle resistenze di cui si dirà nel seguito.

## **2.1.2 Gerarchia delle resistenze**

Il concetto di gerarchia delle resistenze è nuovo per il progettista italiano e va dunque ben espresso. In sintesi, qualora sussista la possibilità di rotture alternative, deve sempre avvenire prima quella con meccanismo duttile; in altri termini il progettista deve innalzare opportunamente la soglia di resistenza delle possibili rotture caratterizzate da meccanismi fragili. In questo modo il comportamento della struttura è governato dal meccanismo duttile, in quanto il meccanismo fragile, ancora lontano dalla soglia di resistenza, non si può attivare. Ciò garantisce complessivamente un comportamento duttile.

Per focalizzare meglio il concetto si consideri una struttura elementare, in particolare una semplice catena costituita da due anelli, il primo duttile (e quindi con notevole capacità di escursione in campo plastico) ed il secondo fragile (e quindi con rottura improvvisa sul ramo elastico). La catena deve sopportare uno sforzo di trazione crescente, evidentemente uguale nei due anelli. Se l'anello duttile è progettato in modo da avere resistenza inferiore di quello fragile, al crescere dello sforzo di trazione l'anello fragile rimane sul ramo elastico e si ha un comportamento complessivamente duttile. Se avviene il contrario e cioè l'anello fragile è meno resistente di quello duttile, il comportamento è condizionato dall'anello fragile e dunque al crescere del carico si verifica una rottura improvvisa della catena.

Questo semplice modello meccanico illustra un principio strutturale di grande importanza concettuale per le costruzioni in zona sismica e che deve diventare un riferimento costante per il progettista di strutture. Infatti, si deduce che, in qualsiasi problema strutturale, va effettuata la disamina di tutti i possibili meccanismi di rottura; questi vanno messi in graduatoria di duttilità e va assegnata gerarchicamente la maggiore resistenza al meccanismo resistente più fragile. Da qui la definizione di "gerarchia delle resistenze" Ciò comporta che, spesso, alcuni elementi vanno progettati non guardando alle sollecitazioni di calcolo, bensì alle resistenze degli stessi; in altri termini si progetta per la "capacità" degli elementi e non per le sollecitazioni derivate dall'analisi: da qui il nome "capacity design".

Nelle strutture la gerarchia delle resistenze deve essere garantita a tutti i livelli strutturali: dei materiali, delle sezioni, degli elementi e dell'intera struttura; ad ogni livello è necessario verificare quale sia il meccanismo duttile e quale quello fragile, e la progettazione deve condurre al sovradimensionamento dei meccanismi fragili.

Naturalmente la severità delle regole di gerarchia delle resistenze deve essere maggiore per la classe di duttilità "A", per la quale è richiesta maggiore capacità dissipativa, e minore per la classe di duttilità "B", per la quale si punta più sulla resistenza.

Il materiale che fornisce duttilità alla struttura è l'acciaio, e dunque in generale si deve garantire che i meccanismi di rottura che coinvolgono tale materiale, previsti nel calcolo, vengano effettivamente sviluppati. Ciò comporta la necessità di utilizzare acciai di resistenza quanto più prossima a quella prevista, essendo l'eccesso di resistenza negativo al pari del deficit di resistenza. Ciò nella norma conduce alle prescrizioni del punto 5.2.2.

In particolare, con riferimento alla Figura 1.1, l'acciaio non deve avere un rapporto di incrudimento troppo elevati:  $f_{y,eff}/f_{y,norm} < 1,35$  (valore medio del rapporto).

Inoltre l'acciaio non deve avere tensione di snervamento effettiva troppo maggiore di quella nominale (valore medio del rapporto):  $f_{y,eff}/f_{y,norm} < 1,25$ .

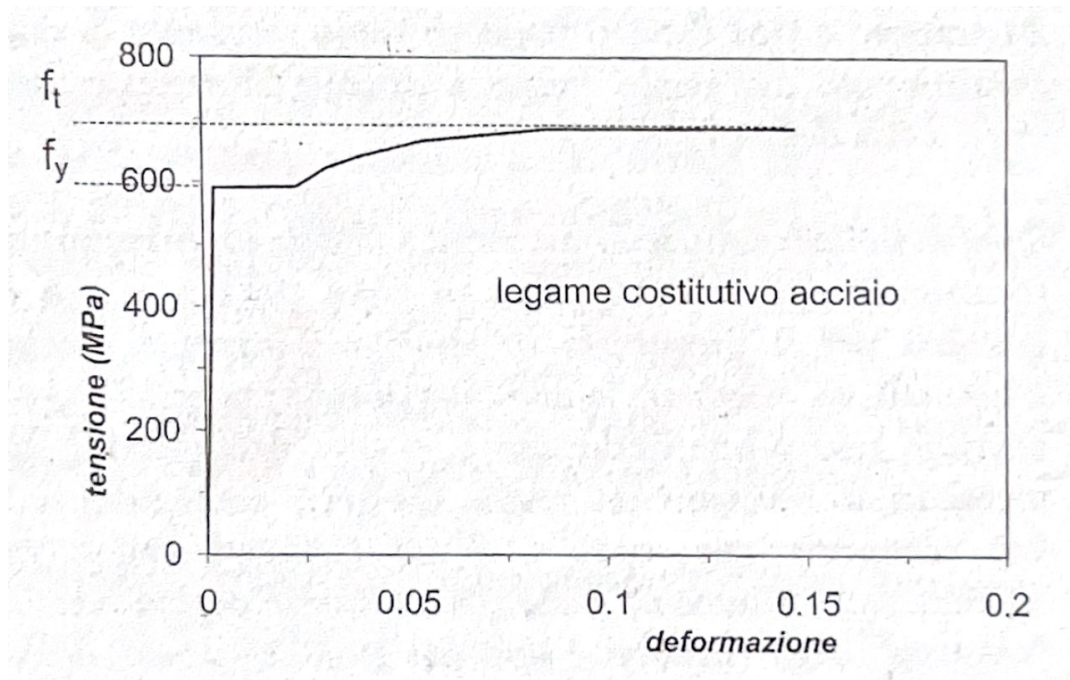


Figura 1.1 legame costitutivo acciaio

Se tali condizioni non sono verificate può perdersi il controllo dei criteri di gerarchia.

Il mancato rispetto dei limiti dei rapporti precedentemente illustrati, può comportare un eccessivo aumento delle sollecitazioni resistenti al crescere delle deformazioni plastiche, mentre una tensione di snervamento dell'acciaio eccessivamente superiore a quella dichiarata (nominale) può determinare una resistenza maggiore di quella posta alla base delle verifiche. Naturalmente tali condizioni vanno associate a quelle che garantiscono la duttilità del materiale.

In sintesi la progettazione “convenzionale” antisismica si basa su tre principali concetti, rigidità, resistenza e duttilità. In base all’entità del sisma la norma prevede che :

- Fase 1(SLO-SLD), l’edificio rimane integro con ripartizione delle azioni tra struttura ed elementi non strutturali (es. tamponature);
- Fase 2(SLD-SLV), è ammesso un danneggiamento progressivo degli elementi non strutturali;
- Fase 3(SLV-SLC), si ha sia il danneggiamento degli elementi strutturali e non strutturali, senza crolli.

## **2.2 Progettazione con isolamento sismico**

### **2.2.1 Generalità**

Le strutture convenzionali progettate secondo le moderne norme sismiche realizzano l'obiettivo di sopravvivenza a terremoti violenti incrementando la capacità di resistenza e di duttilità, per far fronte alle forti accelerazioni determinate dal moto del suolo di fondazione. L'isolamento sismico ribalta completamente l'approccio e, anziché tentare di contrastare le conseguenze del terremoto aumentando le suddette capacità della struttura, riduce l'entità del problema all'origine, limitando drasticamente le accelerazioni, e quindi le forze sismiche, che la struttura è costretta a subire. Tale risultato è ottenuto grazie ad una sostanziale "sconnessione" orizzontale delle principali masse strutturali in elevazione dalla fondazione, in modo da limitare drasticamente la trasmissione dei movimenti orizzontali dal terreno alla struttura. In questo modo si ottengono progetti economicamente accettabili, se non convenienti, anche nell'ipotesi che la struttura isolata non subisca danni per terremoti violenti, quegli stessi terremoti per i quali la normativa accetta, invece, un grave danneggiamento quasi al limite del collasso nelle strutture convenzionali.

### **2.2.2 Isolamento sismico**

L'isolamento sismico consiste essenzialmente nel disaccoppiare il moto del terreno da quello della struttura, introducendo una sconnessione lungo l'altezza della struttura stessa (generalmente alla base, nel caso degli edifici, fra la pila e l'impalcato, nei ponti, come è illustrato in Figura 2.2), che risulta quindi suddivisa in due parti: la sottostruttura, rigidamente connessa al terreno, e la sovrastruttura. La continuità strutturale, e con essa la trasmissione dei carichi verticali al terreno, è garantita attraverso l'introduzione, fra sovrastruttura e sottostruttura, di particolari apparecchi di appoggio, detti isolatori, caratterizzati da un'elevata deformabilità e/o da una bassa resistenza al moto in direzione orizzontale e, normalmente, da una notevole rigidità in direzione verticale.

La sottostruttura, generalmente molto rigida, subisce all'incirca la stessa accelerazione del terreno, mentre la sovrastruttura fruisce dei benefici derivanti dall'aumento di deformabilità conseguente all'introduzione degli isolatori. Gli spettri di risposta in termini di accelerazioni della maggior parte dei terremoti, infatti, presentano una forte amplificazione nell'intervallo  $0.2 \div 0.8$  sec, dove cade il periodo proprio di vibrazione di

molte delle usuali strutture fisse alla base. Assumendo, per semplicità, che i dispositivi d'isolamento abbiano un comportamento di tipo elastico o ad esso assimilabile, l'aumento di deformabilità conseguente all'introduzione degli isolatori porta il periodo proprio del sistema strutturale (sottostruttura-isolamento-sovrastuttura) in una zona dello spettro a più bassa accelerazione.

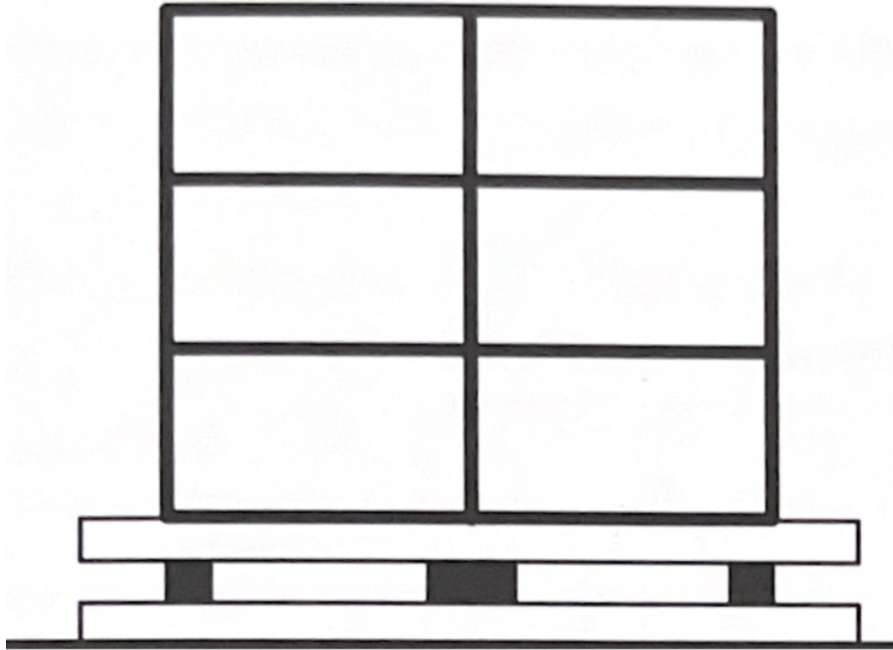


Figura 2.2

Di conseguenza, le accelerazioni prodotte dal sisma sulla struttura isolata risultano drasticamente minori rispetto a quelle prodotte nella configurazione a base fissa (Figura 2.3), a tal punto che la struttura può essere agevolmente progettata per resistere a terremoti violenti senza dover subire danni alle parti strutturali. Naturalmente l'aumento del periodo comporta anche un incremento degli spostamenti, che però si concentrano nel sistema d'isolamento, dove viene assorbita e dissipata gran parte dell'energia immessa dal terremoto.

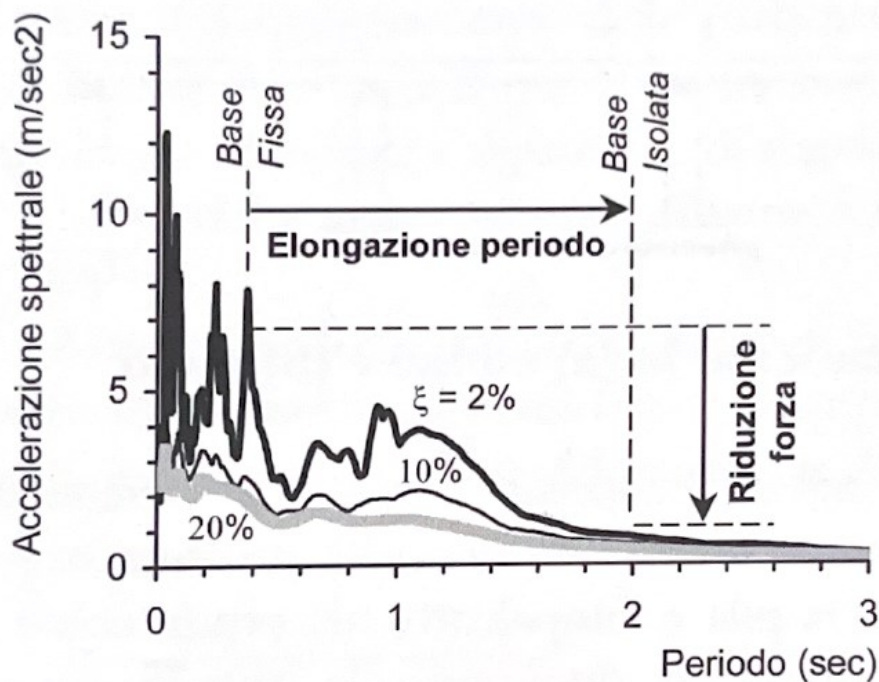


Figura 2.3

La sovrastruttura si comporta quasi come un corpo rigido, subendo spostamenti relativi interpiano molto contenuti. Di conseguenza si riducono drasticamente, o si eliminano totalmente, anche i danni alle parti non strutturali. Per evitare eccessivi spostamenti del sistema d'isolamento, che risulterebbero condizionanti nella progettazione degli impianti a terra o dei giunti di separazione con strutture adiacenti, il sistema d'isolamento nel suo insieme può essere dotato di un'elevata capacità dissipativa, corrispondente a un rapporto di smorzamento del 10-30%.

La strategia basata sull'incremento del periodo è certamente la più frequentemente adottata nell'isolamento degli edifici, per ragioni diverse, tra cui, non secondarie, quelle legate ad aspetti tecnologici e realizzativi. Quella basata sulla limitazione della forza trova impiego soprattutto nei casi in cui il controllo delle forze indotte dal sisma sulla struttura rappresenta l'aspetto cruciale della progettazione (come può accadere nell'adeguamento sismico delle strutture esistenti), ed in linea di principio anche nei casi in cui la strategia ad incremento del periodo raggiunge i suoi limiti di applicabilità e convenienza (ad esempio in presenza di strutture deformabili o di terremoti attesi con elevato contenuto energetico alle basse frequenze). Un aspetto positivo della strategia della limitazione della forza è la sostanziale indipendenza dell'efficacia dell'isolamento dalle caratteristiche del

sisma (intensità e contenuto in frequenze), a condizione di poter accettare spostamenti anche molto ampi del sistema di isolamento.

I benefici derivanti dall'adozione dell'isolamento sismico sono molteplici. La sensibile riduzione delle accelerazioni sulla struttura, rispetto alla configurazione a base fissa, determina infatti:

- l'abbattimento delle forze di inerzia, e quindi delle sollecitazioni, prodotte dal sisma sulla struttura, tale da evitare il danneggiamento degli elementi strutturali (travi, pilastri, etc.) anche sotto terremoti violenti;
- una drastica riduzione degli spostamenti interpiano, tale da eliminare il danno agli elementi non strutturali (tamponature, tramezzi, etc.) e garantire la piena funzionalità dell'edificio, anche a seguito di un terremoto violento;
- un'elevata protezione del contenuto strutturale;
- una percezione molto minore delle scosse sismiche da parte degli occupanti.

Quanto detto si traduce in una drastica riduzione o nel totale azzeramento dei costi di riparazione dell'edificio a seguito di un evento sismico di elevata intensità. Rispetto ad una normale struttura antisismica, i costi iniziali possono essere leggermente superiori (dell'ordine del 10% del costo strutturale), ma possono anche risultare inferiori, essendo funzione di numerosi parametri, quali:

- le dimensioni e, soprattutto, il numero di piani;
- la configurazione dell'edificio, in relazione alla facilità di sistemare il piano di isolamento;
- la maglia strutturale, in relazione al numero di dispositivi necessari per realizzare il sistema di isolamento;
- il contenuto in frequenze dell'azione di progetto, in relazione all'entità dell'abbattimento delle accelerazioni;
- la presenza di edifici in adiacenza, in relazione alla realizzazione di giunti di separazione e alle relative problematiche architettoniche e impiantistiche;
- il tipo di dispositivi del sistema di isolamento.

In particolare, il numero di piani può risultare sfavorevole se troppo piccolo o troppo grande. Nel primo caso, perché l'incidenza del costo dei dispositivi e delle maggiori lavorazioni sulla struttura nel piano d'isolamento si ripartisce su un numero limitato di piani. Nel secondo caso perché il periodo della struttura, considerata a base fissa, può risultare elevato e tale da limitare i vantaggi dell'isolamento in termini di riduzione delle forze sismiche.

Gli indubbi vantaggi di tipo socio-economico dell'isolamento sismico si apprezzano ancora di più negli edifici che, per la funzione ivi svolta, devono rimanere operativi dopo un terremoto violento, ad esempio gli ospedali o i centri operativi per la gestione dell'emergenza (centri di protezione civile, caserme dell'Esercito e dei Vigili del Fuoco, etc.), oppure nelle strutture il cui contenuto ha un valore di gran lunga superiore a quello della struttura stessa (scuole, musei, banche, centri di calcolo, etc.) o in quelle ad alto rischio (centrali nucleari o chimiche, etc.).

### **2.2.3 Dispositivi di isolamento**

Un sistema d'isolamento deve in generale possedere le seguenti caratteristiche:

- capacità di sostenere i carichi gravitazionali in condizioni di riposo e in condizioni sismiche (funzione di appoggio);
- elevata deformabilità (o bassa resistenza) in direzione orizzontale sotto azioni sismiche;
- buona capacità dissipativa;
- adeguata resistenza ai carichi orizzontali non sismici (vento, traffico, etc.).

Un requisito addizionale è la capacità di ricentraggio, che permette di avere spostamenti residui nulli o trascurabili al termine del sisma. Altre caratteristiche quali: durabilità, facilità di installazione, costi contenuti, ingombro limitato, etc., possono influenzare la scelta del dispositivo o del sistema di isolamento, ma non le sue prestazioni meccaniche in condizioni di installazione e manutenzione corrette.

Un sistema d'isolamento è costituito da un insieme di dispositivi che tra loro combinati permettono di ottenere il comportamento richiesto. I dispositivi possono essere tutti dello stesso tipo o di tipo diverso (generalmente non più di due tipi), e sono opportunamente disposti per collegare la sottostruttura con la sovrastruttura in corrispondenza del piano

d'isolamento. Diversi dispositivi e sistemi di isolamento sono stati proposti e sviluppati negli ultimi 20 anni.

I componenti di un sistema di isolamento si possono distinguere in isolatori e dispositivi ausiliari. Gli isolatori sono dispositivi che svolgono la funzione di sostegno dei carichi gravitazionali, sono dunque dei particolari apparecchi di appoggio generalmente bidirezionali, con elevata rigidezza in direzione verticale ed elevata deformabilità (ovvero bassa resistenza) in direzione orizzontale. A tale funzione possono essere associate o meno quelle di dissipazione di energia, di vincolo laterale sotto carichi orizzontali di servizio non sismici (vento, etc.), di ricentraggio della struttura al termine del sisma. In Fig. 1.8 è mostrato il loro comportamento meccanico ideale attraverso curve caratteristiche schematiche forza-spostamento. Gli isolatori attualmente in uso possono essere distinti in due principali categorie: (a) isolatori in materiale elastomerico ed acciaio, basati sull'elevata deformabilità elastica della gomma, e (b) isolatori a scorrimento, basati sulla bassa resistenza d'attrito che si sviluppa tra superfici di alcuni materiali opportunamente trattati.

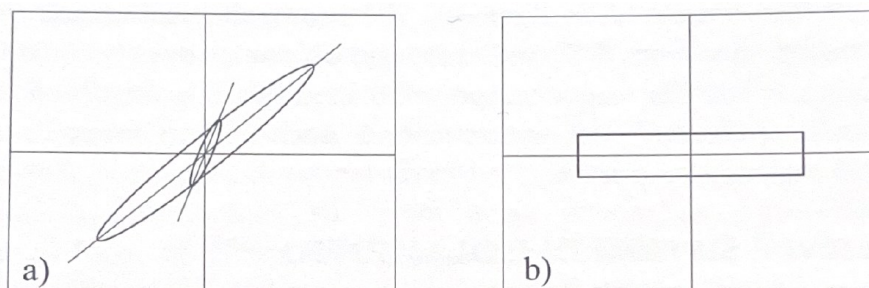


Figura 2.4 -isolatori elastomerici e a scorrimento

Un sistema di isolamento può essere costituito unicamente da isolatori elastomerici, eventualmente realizzati con elastomeri ad alta dissipazione o comprendenti inserti di materiali dissipativi (ad es. piombo, fluidi viscosi), oppure unicamente da isolatori a scorrimento (o rotolamento), che inglobano funzioni dissipative e/o ricentranti, per la presenza di elementi capaci di svolgere tali funzioni, oppure da un'opportuna combinazione di isolatori e dispositivi ausiliari, questi ultimi con funzione dissipativa, ricentrante e/o di vincolo.

Gli isolatori in gomma armata sono i componenti fondamentali di questi sistemi di isolamento. Essi sono realizzati alternando strati di elastomero dello spessore di 5-20 mm

con lamierini in acciaio dello spessore di 2-3 mm . Questi ultimi esplicano un'azione di confinamento sull'elastomero, che ne limita la deformabilità verticale (così da contenere in 1-3 mm l'abbassamento del dispositivo sotto i carichi di esercizio), incrementandone sensibilmente la portanza ai carichi verticali, senza influenzare significativamente la deformabilità a taglio dell'isolatore in direzione orizzontale.

Per le proprietà di resistenza a fatica e di elasticità della gomma, gli isolatori elastomerici sono in grado di soddisfare molti dei requisiti di un sistema di isolamento.

Alcune varianti, ottenute attraverso l'uso di speciali mescole additivate o di inserti atti ad aumentarne le capacità dissipative e a variarne in maniera favorevole la rigidità, permettono di conseguire in pieno tali requisiti e di realizzare sistemi di isolamento costituiti unicamente da isolatori elastomerici, senza altri dispositivi ausiliari.

Alcune problematiche sono comuni a tutti i dispositivi di isolamento in gomma. Fra di esse si ricordano: (i) la stabilità del dispositivo sotto compressione e taglio, (ii) l'aumento di deformazione sotto carico costante (creep) della gomma, (iii) l'efficacia dell'aderenza gomma-acciaio ad elevati spostamenti e (iv) le variazioni di comportamento meccanico dell'elastomero con la temperatura, la frequenza di oscillazione e l'invecchiamento.

Ciascuno di tali aspetti va valutato attentamente in fase sperimentale (v. prove di qualificazione sui dispositivi) e portato debitamente in conto in fase di progettazione e verifica della struttura isolata. Molte normative, così come la stessa normativa italiana, prescrivono l'esecuzione della cosiddetta "Upper and Lower Bound Analysis" per determinare le quantità progettuali della risposta del sistema strutturale, prendendo in considerazione i valori minimi e massimi dei parametri di comportamento del dispositivo nelle diverse condizioni di lavoro, con particolare riferimento agli effetti della temperatura e dell'invecchiamento .

Ciascuno di tali aspetti va valutato attentamente in fase sperimentale (prove di qualificazione sui dispositivi) e portando debitamente in conto in fase di progettazione e verifica della struttura isolata. Molte normative, così come la stessa italiana, prescrivono la cosiddetta "upper and lower bound analysis" per determinare le qualità progettuali della risposta del sistema strutturale , prendendo in considerazione i valori minimi e massimi dei parametri di comportamento del dispositivo nelle diverse condizioni di lavoro , con particolare riferimento agli effetti della temperatura e dell'invecchiamento.

Caratteristica comune a tutti gli isolatori in gomma è la riduzione della loro capacità alcuni isolatori in gomma di diverso diametro, per tre diverse condizioni di carico:

- in presenza di soli carichi gravitazionali;
- in presenza di una deformazione a taglio  $\gamma$  del 150% corrispondente ad un'area di impronta effettiva ( $A_r$ ) pari al 50 % di quella lorda ( $A_g$ );
- in presenza di una deformazione a taglio  $\gamma$  del 250%, corrispondente ad un'area di impronta effettiva ( $A_r$ ) pari al 25% di quella lorda ( $A_g$ ).

Come si può vedere, la capacità portante verticale dei dispositivi elastomerici si riduce rapidamente al crescere dello spostamento orizzontale applicato. Ciò può rendere problematico il dimensionamento di tali dispositivi in zone ad elevata sismicità, ove sono previsti spostamenti considerevoli, soprattutto se la struttura è affetta da significative variazioni del carico assiale negli isolatori.

Esistono sostanzialmente tre tipi di isolatori elastomerici attualmente in commercio, classificabili in relazione alle caratteristiche dissipative dell'elastomero e all'eventuale presenza di inserti (v. Fig. 1.11): (I) in gomma armata a basso smorzamento; (i) in gomma armata ad elevato smorzamento (iii); in gomma armata con nucleo in piombo o altro materiale dissipativo.

Gli isolatori in gomma armata a basso smorzamento [Kelly and Quiroz 1992, Taylor et al. 1992] presentano un comportamento meccanico sostanzialmente elastico (rigidezza quasi costante) al crescere della deformazione ed un rapporto di smorzamento molto basso, dell'ordine del 2-4% (v. Fig. 1.11a). Sono semplici da realizzare, facili da modellare ed il loro comportamento meccanico risulta sostanzialmente indipendente dalla frequenza di oscillazione e poco sensibile alla temperatura. Per contro, un sistema di isolamento realizzato con tali isolatori richiede opportuni dispositivi ausiliari, per incrementarne la capacità dissipativa sotto sisma ed evitare movimenti eccessivi della struttura per effetto delle azioni orizzontali di esercizio (vento, etc.).

Gli isolatori in gomma armata ad elevato smorzamento [Kelly 1991, Derham et al.

1985] sono ottenuti aggiungendo alla mescola della gomma opportuni additivi (resine, oli, etc.) che consentono di raggiungere valori di smorzamento compresi fra il 10% ed il 20%, per deformazioni a taglio dell'ordine del 100%. La natura della dissipazione di

energia è in parte viscosa, ossia quadratica con lo spostamento, ed in parte isteretica, ossia lineare con lo spostamento (v. Fig. 1.11b) [Naeim and Kelly 1999]. Ciò implica una certa dipendenza del comportamento meccanico della frequenza di oscillazione, cui si aggiunge un'influenza non trascurabile della temperatura .

Sia il modulo di taglio che lo smorzamento dipendono in modo significativo dalla deformazione a taglio  $\gamma$  applicata. A bassi livelli di deformazione il modulo di taglio risulta piuttosto elevato, anche 5-10 volte di quello relativo ai livelli di deformazione raggiunti nelle condizioni sismiche di progetto ( $y = 100\div 150\%$ ).

All'aumentare della deformazione oltre tali livelli, il modulo di taglio cresce di nuovo, determinando un significativo incrudimento nel ciclo forza-spostamento dell'isolatore.

Gli isolatori in gomma ad elevato smorzamento possono da soli realizzare un sistema di isolamento completo, che soddisfa i requisiti fondamentali precedentemente espressi.

L'elevata capacità dissipativa assicura un buon controllo degli spostamenti indotti dal sisma. L'elevata rigidità iniziale limita gli spostamenti sotto i carichi orizzontali non sismici. Il comportamento quasi-elastico garantisce ottime capacità di ricentraggio. Inoltre l'incrudimento della gomma, a deformazioni maggiori di quelle associate al terremoto di progetto, può risultare utile nel limitare gli spostamenti nel caso di eventi sismici anomali per intensità o per contenuto in frequenza.

Le proprietà meccaniche degli isolatori ad elevato smorzamento variano in modo significativo durante i primi cicli di deformazione, a causa del fenomeno noto come

"scragging", che corrisponde ad un cambiamento di struttura molecolare della gomma. Dopo i primi 2-3 cicli di carico il comportamento meccanico dei dispositivi risulta stabile e ripetitivo per deformazioni minori o uguali a quelle di "scragging". All'atto dello scarico si ha un parziale recupero delle proprietà iniziali. E' importante osservare, al riguardo, che le specifiche sulle caratteristiche del dispositivo indicate in fase di progetto andrebbero comunque riferite al 2° - 3° ciclo di carico con ampiezza pari allo spostamento di progetto.

Per tutti i dispositivi d'isolamento le norme forniscono le prescrizioni per la loro sperimentazione ai fini della qualificazione dei prototipi e dell'accettazione dei dispositivi

da mettere in opera, così da garantirne la massima affidabilità, in relazione al ruolo critico da essi svolto nella protezione sismica della struttura.

Riguardo alle modalità di calcolo e di progettazione, non v'è dubbio che il mantenimento in campo sostanzialmente elastico della struttura semplifica e rende più affidabile l'intera procedura di progettazione, grazie alla migliore aderenza del modello di calcolo al reale comportamento della struttura sotto terremoti violenti.

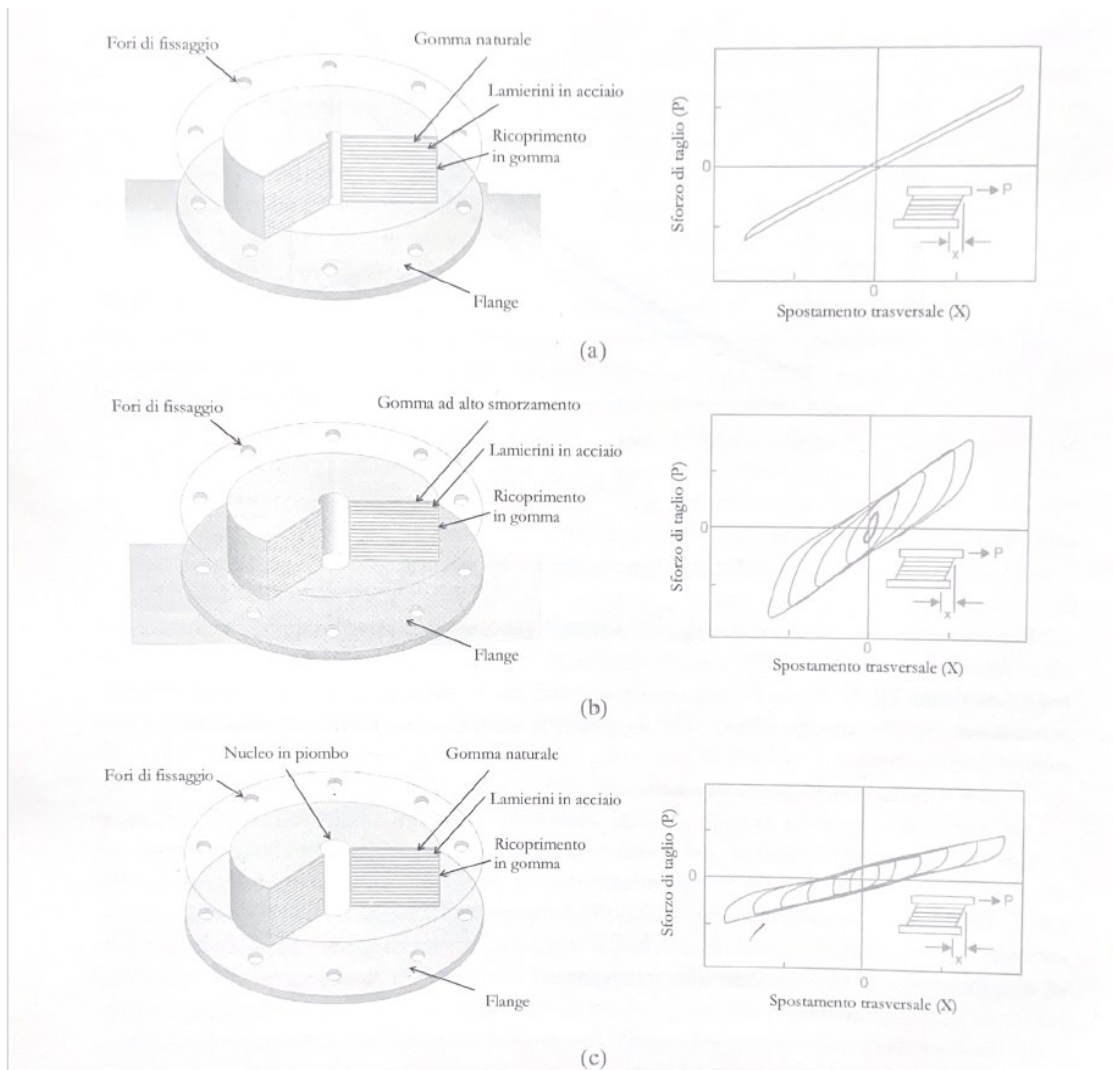


Figura 2.5

Le norme recepiscono tali vantaggi, consentendo l'esecuzione di analisi semplificate, di tipo statico, e permettendo la progettazione senza l'adozione di particolari regole per la determinazione delle sollecitazioni di progetto, contrariamente a quanto avviene nell'applicazione delle regole di gerarchia delle resistenze per le strutture ad "alta duttilità". Non è, inoltre, richiesto né il rispetto di prescrizioni geometriche molto restrittive, sebbene sia sempre consigliabile tenerle in conto nell'impostazione e nel dimensionamento della struttura, né l'esecuzione di dettagli costruttivi, a volte molto complicati e di difficile realizzazione nelle strutture in c.a. Quest'ultimo aspetto ha dei riflessi positivi anche sulla realizzazione della struttura. La semplificazione dei dettagli costruttivi, oltre a ridurre i costi, aumenta l'affidabilità delle fasi costruttive, talvolta cruciali ai fini delle buone prestazioni sismiche di una struttura.

La semplificazione del calcolo è direttamente legata alla semplicità di funzionamento di una struttura isolata. Ciò rende affidabile la valutazione degli effetti mediante analisi semplificate (statiche equivalenti), anche quando il sistema di isolamento ha un comportamento marcatamente non lineare. Per questo la normativa le consente, pur mantenendo un atteggiamento ancora cautelativo nel conservare alcuni dei limiti di applicazione validi per le strutture convenzionali.

La normativa dedica una particolare attenzione alla corretta impostazione del progetto dell'opera, cruciale per il buon funzionamento dell'isolamento sismico, fornendo importanti indicazioni progettuali riguardanti i dispositivi e il sistema strutturale nel suo insieme. Le prime sono volte ad evitare malfunzionamenti dei dispositivi per difetti propri o di montaggio e a rendere possibile in ogni momento la loro ispezione, manutenzione e, eventualmente, sostituzione. Le seconde sono volte ad ottenere un comportamento corretto e ottimale del sistema d'isolamento, assicurando innanzitutto il libero movimento della porzione dell'opera isolata (sovrastuttura) rispetto al resto dell'opera (sottostruttura), a strutture circostanti e al terreno. Particolare attenzione è rivolta alla limitazione degli effetti torsionali e di sollecitazioni anomale su singoli dispositivi e alla limitazione di spostamenti differenziali tra le diverse parti della struttura.

Nelle verifiche di sicurezza, oltre all'usuale controllo delle resistenze degli elementi strutturali e del corretto comportamento dei dispositivi, per spostamenti cautelativamente maggiorati rispetto a quelli di progetto, sono prescritti i controlli di compatibilità dei giunti di separazione e, soprattutto, dei collegamenti impiantistici con gli spostamenti che

essi debbono sostenere sotto sisma, in relazione al funzionamento del sistema di isolamento.

A garanzia dell'affidabilità del sistema d'isolamento, è richiesto sistematicamente il collaudo in corso d'opera, durante il quale particolare attenzione dovrà essere rivolta alla corretta realizzazione dei dispositivi e delle fasi più delicate della loro messa in opera. È prevista inoltre, la possibilità di effettuare prove di collaudo mediante spostamento e rilascio della struttura.

È interessante valutare lo stato delle normative in altri paesi, particolarmente in quelli in cui l'isolamento sismico ha una storia più lunga e/o la cui applicazione negli ultimi tempi è stata numericamente rilevante, quali Giappone, USA, Cina, Nuova Zelanda, Francia, Cile, Russia, Armenia. Per quanto riguarda le tipologie di sistemi e dispositivi d'isolamento, la maggior parte delle norme esaminate trattano sistemi composti da dispositivi diversi, che possono essere distinti in isolatori e dispositivi ausiliari. La norma italiana, come detto, fornisce specifiche indicazioni progettuali per sistemi d'isolamento costituiti da isolatori elastomerici, isolatori a scorrimento, dispositivi ausiliari a comportamento viscoso, quasi lineare o non lineare.

Anche la norma giapponese prevede contributi viscosi, isteretici ed elastici alla forza totale portata dal sistema di isolamento.

Riguardo alle tipologie strutturali, in tutti i paesi in questione le norme trattano edifici, ponti e strutture industriali. In Armenia, le norme (o linee guida) sull'isolamento sismico sono dirette alla progettazione di strutture in genere, ma unicamente dotate di dispositivi in elastomero naturale armato ad alto smorzamento, con l'obiettivo principale di allungare il periodo proprio di vibrazione della struttura. In Russia, e negli altri stati delle ex Unione sovietica, le norme trattano sistemi d'isolamento cosiddetti "adattanti" all'azione sismica, che utilizzano elementi di riserva ovvero fusibili. Tipicamente, tali sistemi d'isolamento sono realizzati al piano terra della struttura, e sono costituiti da elementi in c.a. flessibili (ad es. colonne snelle oppure colonne tozze ad estremità ellittiche) che portano il carico verticale, e da pareti rigide o elementi di controvento collegati alla struttura portante per mezzo di dispositivi sacrificali (elementi di riserva), che cessano di fornire contributi di forza e rigidità in corrispondenza di diversi e predeterminati livelli di spostamento. In tal modo, il sistema d'isolamento varia le proprie caratteristiche in funzione dell'intensità

sismica. Le norme in questione riguardano solo gli edifici, limitatamente a quelli con non più di 12 piani.

Passando ai metodi di analisi per strutture isolate, va detto che la maggior parte delle norme o linee guida mondiali consentono di seguire tre strade diverse:

- analisi statica lineare;
- analisi dinamica non lineare.

differenziandone sensibilmente i limiti di applicabilità.

Tutte le normative più avanzate sono concordi nella possibilità di effettuare analisi semplificate (come l'analisi statica lineare), stante l'affidabilità offerta dai dispositivi di isolamento e la semplicità di comportamento dinamico delle strutture isolate, a patto che siano soddisfatte una serie di condizioni riguardanti: (A) le caratteristiche meccaniche del sistema di isolamento e (B) le caratteristiche meccaniche e geometriche della sovrastruttura, cui si aggiunge una serie di limitazioni sul terreno di fondazione e sulla sismicità del sito.

Quindi i principali vantaggi dell'isolamento sismico sono:

- semplicità di progettazione;
- nessun danneggiamento strutturale e non strutturale in caso di sisma fino all'SLV;
- basse accelerazioni di piano;
- date le basse accelerazioni, nessun danneggiamento agli impianti;
- spostamenti di interpiano limitati.

## 3-Caso studio

### 3.1-Inquadramento edificio e caso studio

L'edificio in oggetto ha, in maggior parte, destinazione d'uso di tipo abitativa e, in piccola parte, anche attività di tipo commerciale/uffici. In particolare, il complesso edilizio ospita un condominio, che per la via in cui è situato, viene denominato "Condominio Varano". Come appena detto, l'edificio è sito in Via Varano nel comune di Camerino in provincia di Macerata (MC).

Il complesso strutturale consta di cinque livelli oltre al piano sottotetto. Tuttavia, a causa della particolare ubicazione, a monte (lato Nord) restano individuati solo quattro livelli fuori terra (Figura 3.1), mentre a valle (lato Sud) restano individuati per intero i cinque livelli (Figura 3.1).

La differenza tra quota di monte e quota di valle è resa possibile da un muro di sostegno in cemento armato atto a contenere un terrapieno con altezza di ritenuta pari a 5,00 m.

Riepilogando, l'edificio in oggetto è costituito da un piano seminterrato, da quattro piani interamente fuori terra (piano terra, p. primo, p. secondo e p. terzo) e da un piano sottotetto, per un totale di sei impalcati.



Figura 3.1-Prospetti Nord e Sud



Figura 3.2- prospetto Ovest e Sud

Per completezza, in seguito, vengono riportare le piante architettoniche dei vari livelli dell'edificio che si trovano al di sopra del piano di isolamento.

In particolare i piani seminterrato e piano terra sono riportati nella Figura 3.3, mentre i piani successivi ovvero primo secondo e terzo hanno la stessa configurazione architettonica quindi si riporta una pianta rappresentativa, in Figura 3.4 ,che vale per i 3 livelli con la medesima configurazione .



Figura 3.3-Piante architettoniche piano seminterrato e piano terra



Figura 3.4- Pianta architettonica piani primo, secondo e terzo

Il caso studio interessa la demolizione e ricostruzione dell'edificio con isolamento sismico alla base, costituito da isolatori elastomerici e slitte che permettono un aumento significativo del periodo.

In seguito viene riportata l'analisi dei carichi dei solai che interessano l'edificio (Tabelle 3.1-3.2), inoltre le tamponature esterne e di separazione interne per gli appartamento sono di tipo Poroton P700 con un G2 5,60 kN/m.

<b>ANALISI DEI CARICHI</b>				
<b>Piano seminterrato</b>				
<b>Carichi permanenti strutturali -G1</b>			7,5	kN/m <sup>2</sup>
Soletta in c.a. (s=30cm)	0,30 m · 25 kN/m <sup>3</sup>			
		<b>G1</b>	7,5	kN/m <sup>2</sup>
<b>Carichi permanenti non strutturali -G2</b>				
Sottofondo alleggerito	0,07 · 7,00 kN/m <sup>3</sup>		0,49	kN/m <sup>2</sup>
Massetto	0,07 · 16 kN/m <sup>3</sup>		0,64	kN/m <sup>2</sup>
Tramezzature	Spessore 20 cm 3 ≤ peso/m ≤ 4 kN/m		1,6	kN/m <sup>2</sup>
Pavimento			0,5	kN/m <sup>2</sup>
		<b>G2</b>	3,25	kN/m <sup>2</sup>
<b>Carichi variabili -Qk</b>				
Carico variabile relativo alle rimesse , Cat. F	fino a 30 kN	<b>Qk</b>	2,5	kN/m <sup>2</sup>

Tabella 3.1-analisi dei carichi solaio seminterrato

<b>ANALISI DEI CARICHI</b>				
Piano terra-primo-secondo-terzo				
<b>Carichi permanenti strutturali -G1</b>			3	kN/m <sup>2</sup>
solaio in latero cemento				
			<b>G1</b>	3,00 kN/m <sup>2</sup>
<b>Carichi permanenti non strutturali -G2</b>				
Sottofondo				
Massetto				
isolamento termico				
Pavimento				
tramezzature(divisori)			<b>G2</b>	3,50 kN/m <sup>2</sup>
<b>Carichi variabili -Qk</b>				
Ambiente uso residenziale Cat.A				
fino a 30 kN			<b>Qk</b>	2,00 kN/m <sup>2</sup>

Tabella 3.2-analisi dei carichi solai piano terra, primo, secondo e terzo

Lo studio si articola in una prima modellazione strutturale, e una valutazione anche del contributo degli elementi non strutturali (tamponature).

Facendo poi un predimensionamento del sistema di isolamento si procede con un'analisi Dinamica lineare con spettro di risposta, per valutare l'efficacia del sistema di isolamento e verificare se il sistema predimensionato soddisfa le verifiche strutturali e dinamiche. Valutando anche lo stesso sistema con un'eccentricità accidentale del 5% e del 10%.

Essendo un edificio con una geometria particolare nel senso che, essendo stretto e lungo in pianta ha dei problemi torsionali che andrebbero valutati con setti, orientamento sezioni pilastri ecc., ma valutando l'isolamento sismico non è necessario cambiare orientamento e inserire setti nella struttura.

## 3.2-Modellazione

### 3.2.1 Elementi della modellazione

Per ciascuna struttura, al fine di descrivere la posizione di punti e la direzione di carichi, spostamenti, sollecitazioni e tensioni è necessario definire e fissare un sistema di riferimento globale. Tutti i sistemi di coordinate all'interno del modello sono definiti facendo capo a un singolo sistema di coordinate globali. Ciascuna parte del modello (nodi, elementi o vincoli)

è dotata di un proprio sistema di coordinate locali. Tutti i sistemi di coordinate sono sistemi tridimensionali, destrorsi, rettangolari (Cartesiani). Per definire i sistemi di riferimento locali e alternativi in relazione al sistema globale è utilizzato il metodo del prodotto vettore. Il solutore assume sempre che l'asse Z sia l'asse verticale, con direzione positiva verso l'alto.

La direzione verticale positiva è utilizzata per la definizione dei sistemi di coordinate locali.

La posizione di punti in un sistema di coordinate può essere specificata utilizzando coordinate rettangolari o cilindriche. Allo stesso modo, in un sistema di coordinate le direzioni possono essere specificate utilizzando direzioni coordinate rettangolari, cilindriche o sferiche passanti per un punto. Il sistema di coordinate globali è un sistema rettangolare, destrorso, tridimensionale. I tre assi, chiamati X, Y e Z sono perpendicolari tra loro e soddisfano alla regola della mano destra. La posizione nel sistema di coordinate globali può essere specificata utilizzando le variabili x, y e z. Un vettore nel sistema di coordinate globali può essere specificato assegnando la posizione di due punti, una coppia di angoli o specificando una direzione coordinata. Le direzioni coordinate sono indicate utilizzando i valori X, Y e Z. Tutti gli altri sistemi di coordinate nel modello sono essenzialmente definiti rispetto al sistema di coordinate globali, sia che lo siano in modo diretto, che indiretto. Allo stesso modo, le coordinate nodali, indipendentemente da come sono state definite, sono alla fine tutte convertite nelle coordinate X, Y e Z. Gli assi sono definiti come vettori utilizzando i concetti dell'algebra vettoriale.

L'elemento Frame può essere associato a carichi di tipo gravitazionale, a uno o più carichi concentrati, a uno o più carichi distribuiti (in qualunque direzione), a carichi di

deformazione o spostamento indotti e da carichi dovuti a variazione di temperatura. Le forze interne dell'elemento sono calcolate alle estremità e presso un numero di stazioni predeterminato dall'utente e distribuite uniformemente lungo la lunghezza. Un elemento Frame è rappresentato da una linea retta che connette due nodi,  $i$  e  $j$ , questo ad eccezione del caso in cui non sia modificato da punti di inserimento come descritto in seguito. I due nodi non devono condividere la stessa posizione nello spazio. Le due estremità dell'elemento sono chiamate Estremità I e Estremità J rispettivamente. L'elemento Frame attiva tutti e sei i gradi di libertà di entrambi i nodi connessi.

Agli elementi Frame possono essere assegnate le proprietà meccaniche desiderate e sono disponibili numerose tipologie di sezioni trasversale per la modellazione di elementi in cemento armato, acciaio, legno e altri materiali.

L'elemento Shell invece è un tipo di oggetto Area utilizzato per modellare comportamento a membrana, a flessione o misto (a Shell) in strutture piane e tridimensionali. L'elemento Shell ha una formulazione a tre o quattro nodi, che combina comportamento a membrana e a flessione. Non è richiesto che l'elemento a quattro nodi sia piano.

Ciascun elemento shell ha il suo proprio sistema di coordinate locali per la definizione delle proprietà di materiale e dei carichi e per l'interpretazione dei risultati. Sono consentite proprietà di materiale dipendenti dalla temperatura e ortotrope. Ciascun elemento può essere sottoposto a carichi di gravità e carichi uniformi in qualunque direzione, a pressione superficiale sulle facce superiore, inferiore e laterali, e infine a carichi di deformazione imposta e variazione di temperatura.

Questo elemento principalmente è stato usato per la modellazione dei solai e delle tamponature.

### **3.2.2 Modello con soli elementi strutturali**

Come primo approccio nell'analisi dell'edificio è stato costituito il modello sul SAP2000 per poter fare una prima analisi della struttura considerandola a base fissa. Si è fatta una prima modellazione costituendo le componenti strutturali dell'edificio (travi e pilastri) strutturali attraverso elementi frame. Una volta inseriti tutti gli elementi strutturali, vanno introdotti dei vincoli alla base che simulano le condizioni di vincolo che in questa prima

parte, per i modelli a base fissa, si inseriscono incastri alla base. mentre gli orizzontamenti sono stati inseriti con elementi shell privi spessore ai quali sono stati assegnati i carichi permanenti, variabili e accidentali che a sua volta scaricano sulle travi principali e secondarie (60%-40%) in base all'orditura dei vari solai. Per simulare i solai infinitamente rigidi nel proprio piano, si inseriscono i constraint di piano per ogni orizzontamento dell'edificio. I Carichi permanenti, variabili e accidentali sono stati presi dalla relazione tecnica e inseriti appunto sulle shell; poi una volta inserita la sorgente di massa sismica si è fatta una prima analisi senza considerare il contributo delle tamponature in termini di rigidità.

In seguito, vengono riportati i risultati dell'analisi del primo modello della struttura (Tabella 3.1):

OutputCase	StepType	pN	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ
Text	Text	title	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	0,534657	0,14843	0,00506	2,611E-06	0,14843	0,00506	0,000002611	0,0012	0,0018	0,58524
MODAL	Mode	2	0,525746	0,00438	0,70901	0,00035	0,15281	0,71407	0,00035	0,1701	0,00012	0,01194
MODAL	Mode	3	0,496057	0,61972	0,01114	9,958E-06	0,77253	0,72522	0,00036	0,0027	0,01371	0,13241
MODAL	Mode	4	0,181983	0,10167	0,00021	3,572E-06	0,8742	0,72542	0,00036	0,0003	0,02351	0,00586
MODAL	Mode	5	0,167202	0,00232	0,01061	0,00023	0,87652	0,73603	0,0006	0,0172	0,00458	0,11829
MODAL	Mode	6	0,165106	0,00071	0,12242	0,00285	0,87723	0,85845	0,00344	0,2029	0,00065	0,00944
MODAL	Mode	7	0,147684	1,29E-06	2,6E-08	2,182E-08	0,87723	0,85845	0,00344	5E-08	2,1E-07	3,6E-07
MODAL	Mode	8	0,146978	0,00013	1,4E-05	4,066E-06	0,87736	0,85847	0,00345	2E-05	4,8E-05	4,5E-05

Tabella 3.3-periodo e massa partecipante

Ci si concentra più sui primi tre modi poiché i più importanti. Nelle seguenti figure si riportano i primi tre modi dove possiamo vedere che già il primo modo è torsionale il secondo è pressoché traslazionale in Y e il terzo torna ad essere in parte rotazionale.

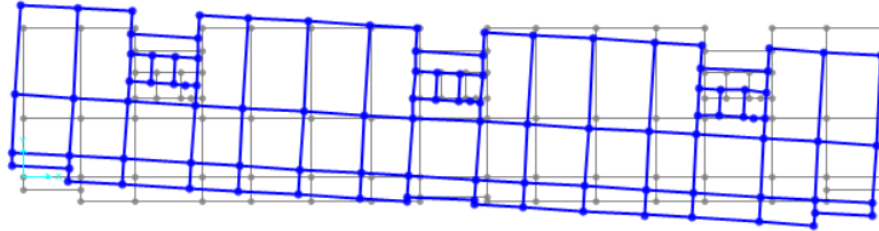


Figura 3.5 Primo Modo

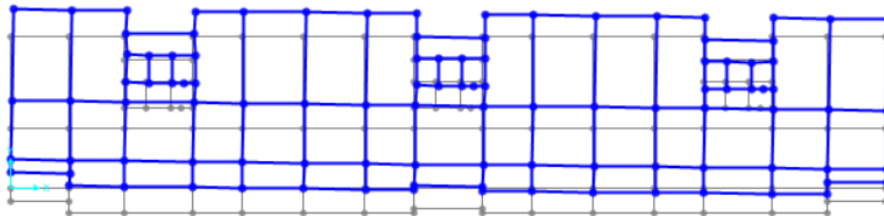


Figura 3.6 Secondo Modo

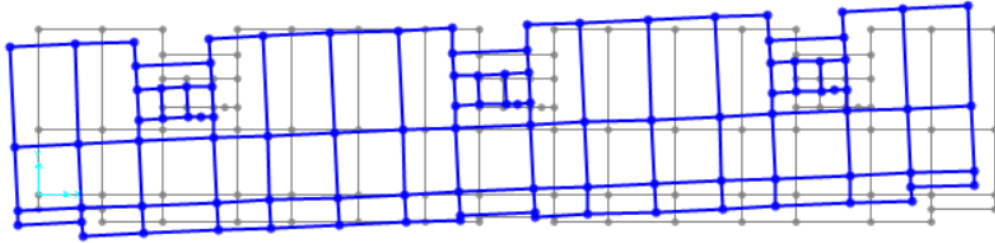


Figura 3.7 terzo modo

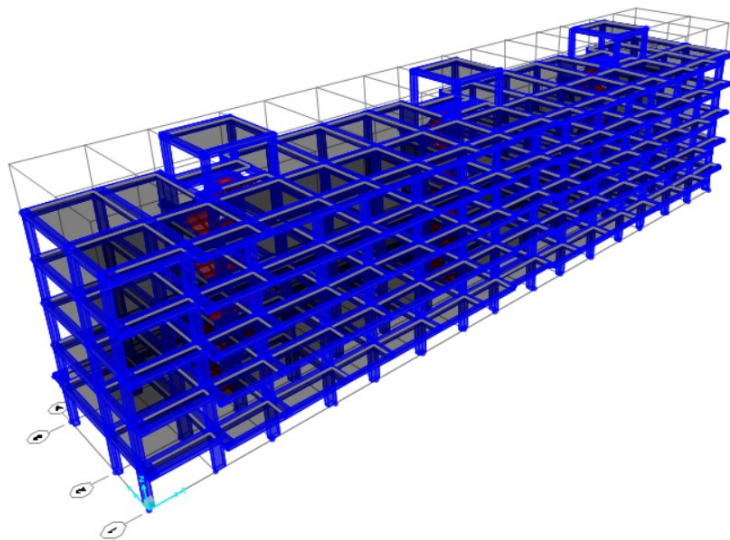


Figura3.8 vista estrusa modello (indeformata)

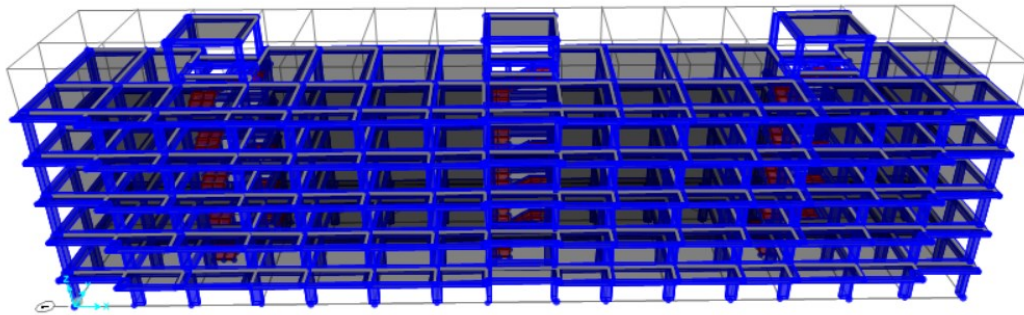


Figura 3.9- vista estrusa

### 3.2.3 Modello con contributo in rigidezza della tamponatura esterna

In seguito, si è andata ad inserire la tamponatura attraverso delle shell per verificare che contributo porta in termini di rigidezza poiché abbiamo le tamponature esterne e quelle di separazione di appartamenti in Poroton P700. in questo caso si sono andati a considerare 3 tipologie di pannelli murari per andare a togliere le aperture sia al peso che al contributo in rigidezza. I Pannelli interni sono stati considerati totalmente pieni mentre quelli dei prospetti Nord e Sud il contributo è stato ridotto del 40% dato la notevole importanza delle aperture e la loro ampiezza. Mentre per quanto riguarda i prospetti est-ovest la riduzione è solo del 5% poiché i vuoti erano esigui.

I pannelli sono stati modellati con le shell con uno spessore di 25 cm e peso 0 con una rigidezza ridotta o meno in base alle aperture; nello stesso modo è stato inserito il carico delle tamponature sulle travi su cui poggiano con un peso distribuito (kN/m) ridotto allo stesso modo della rigidezza.

In seguito, viene riportata la tabella output del programma dove appunto si va sempre a esaminare in particolare i primi 3 modi.

OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	0,229862	0,000002355	0,79552	0,00067	2,36E-06	0,79552	0,00067	0,15476	1,711E-06	0,00455
MODAL	Mode	2	0,211201	0,03007	0,00357	0,000006084	0,03008	0,7991	0,00067	0,00109	1,317E-08	0,76416
MODAL	Mode	3	0,210398	0,81412	0,00011	0,000000507	0,8442	0,79921	0,00067	3,97E-05	0,01401	0,02664
MODAL	Mode	4	0,120066	1,119E-07	0,00244	0,01547	0,8442	0,80164	0,01615	0,02218	4,861E-05	7,45E-06
MODAL	Mode	5	0,119641	1,806E-07	0,00001785	0,00012	0,8442	0,80166	0,01627	0,0002	0,00853	0,00102
MODAL	Mode	6	0,11621	5,784E-08	0,00254	0,01155	0,8442	0,8042	0,02782	0,01863	1,567E-06	6,58E-07
MODAL	Mode	7	0,115352	0,000000109	0,00318	0,02002	0,8442	0,80737	0,04784	0,02564	6,643E-06	1,74E-06
MODAL	Mode	8	0,115191	1,567E-08	0,000026	0,00018	0,8442	0,8074	0,04802	0,00018	0,00266	0,00049

Tabella 3.4

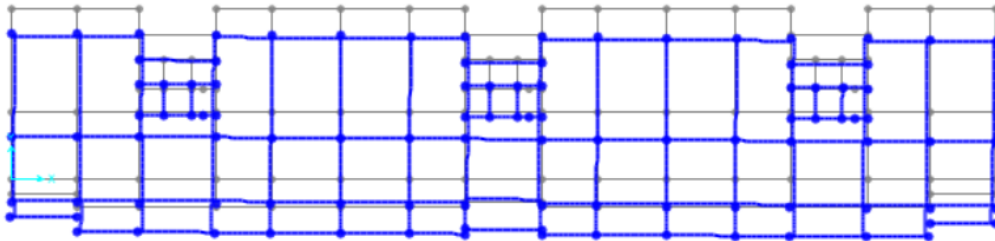


Figura 3.10 Primo modo con tamponature

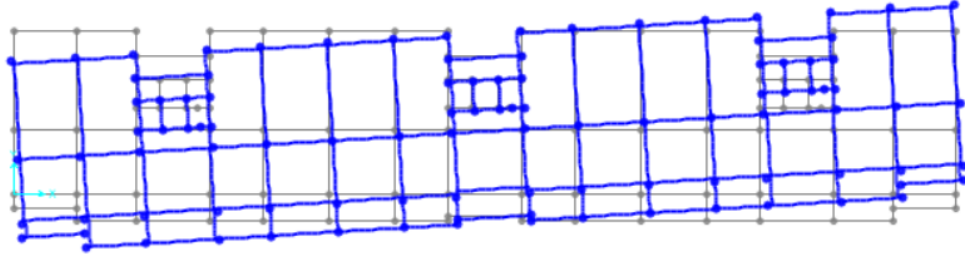


Figura 3.11 Secondo modo con tamponature

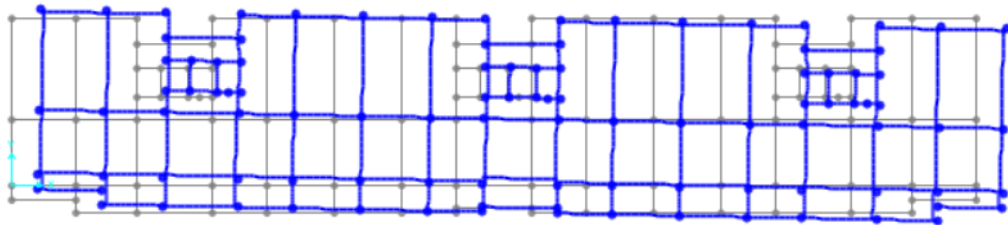


Figura 3.12 terzo modo con tamponatura

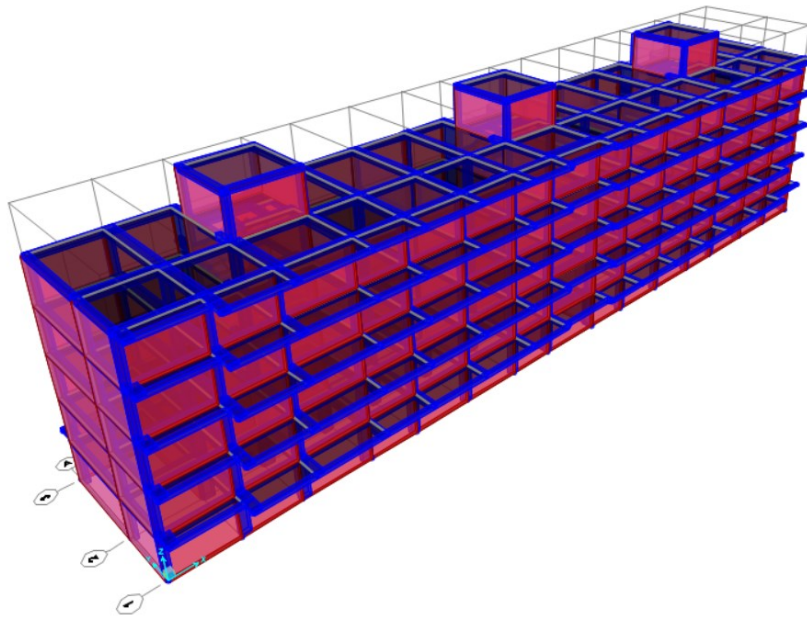


Figura 3.13-vista estrusa modello con tamponature

### 3.3 Osservazioni

Da questi due modelli si può evincere che l'edificio considerando il contributo delle tamponature presenta più rigidità torsionale, con periodi inferiori; quindi, ho una sorta di regolarizzazione dato che modo torsionale non è più il primo ma il secondo. Quindi è chiaro che è importante la modellazione della tamponatura poiché appunto essa conferisce un po' di rigidità torsionale all'edificio.

Quindi si userà questo modello andando ad inserire l'isolamento sismico alla base con gli isolatori elastomerici e le slitte.

### 3.4 Predimensionamento sistema di isolamento

Si va a calcolare il periodo di isolamento considerando la massa totale dell'edificio, trovata sommando le reazioni alla base dell'edificio sul sap nella combinazione CV sisma e si ha un peso totale dell' edificio di 66059,09 kN

PESO TOTALE	66059,098 kN
MASSA TOTALE	6605,90 t

Impostando un periodo di isolamento maggiore di 3 volte il periodo a base fissa, si considera un periodo di isolamento di 2,5 secondi, considerando la massa effettiva dell'edificio si calcola la rigidezza totale degli isolatori necessaria al raggiungimento di quel periodo impostato. Poi essa viene divisa per il numero di isolatori e così si trova la rigidezza del singolo isolatore necessario.

$$K_{istot} = \left(\frac{2\pi}{T_{is}}\right)^2 \cdot M$$

Formula 3.1

$$K_{is} = \frac{K_{istot}}{N_{iso}}$$

Formula 3.2

Considerando un sistema misto di isolatori elastomerici e slitte, in questo caso si ha un totale di 28 isolatori elastomerici.

Attraverso lo spettro di risposta si calcola lo spostamento alla base associato al periodo d'isolamento impostato in partenza con la formula 4.3, che considerando il sito, con categoria terreno C1 e categoria topografica T1 risulta essere 16,4 cm che moltiplicato per il fattore di sicurezza da uno spostamento di circa 20 cm. Per una sicurezza maggiore si va nel catalogo isolatori con spostamento 300 mm.

$$S_{ed}(T) = S_{ea}(T) \cdot \left(\frac{T}{2\pi}\right)^2$$

Formula 3.3

Determinazione tipologia di isolatore e periodo di isolamento		
Tiso>3Tbf	2,5	s
peso totale	66059,09	kN
massa totale	6605,909	t
ktot	41684,24	KN/m
nis	28	
kis	1488,723	KN/m
kis kn/mm	1,488723	kN/mm
d	0,164	m
d(1,2)	0,1968	catalogo 300

Tabella 3.5-predimensionamento

Da predimensionamento la rigidezza necessaria dell'isolatore è di 1,48 kN/mm , quindi considerando una gomma Normal e dato che il carico assiale massimo è di 2042,64 kN si possono inserire degli isolatori di tipologia SI-N 600/152 catalogo spostamento 300 mm.

SI-N	V kN	Fzd kN	Ke kN/mm	Kv kN/mm	Dg mm	te mm	h mm	H mm	Z mm	W kg
SI-N 350/150	40	1400	0.51	398	350	150	248	298	400	148
SI-N 400/150	240	2060	0.67	608	400	150	248	298	450	192
SI-N 450/150	560	3390	0.85	736	450	150	262	312	500	258
SI-N 500/150	1200	5290	1.05	1016	500	150	262	312	550	317
SI-N 550/154	1830	6580	1.23	1148	550	154	257	307	600	368
SI-N 600/152	2710	8380	1.49	1336	600	152	246	296	650	417
SI-N 650/153	3690	10310	1.74	1513	650	153	241	291	700	473
SI-N 700/160	4700	11370	1.92	1636	700	160	255	315	750	615
SI-N 800/160	7920	14940	2.51	2459	800	160	255	315	850	800
SI-N 900/168	10980	21220	3.03	2814	900	168	270	330	950	1049
SI-N 1000/168	13940	22590	3.74	3333	1000	168	272	352	1050	1477
SI-N 1100/168	18020	27460	4.53	4445	1100	168	272	352	1150	1782
SI-N 1200/176	19650	28700	5.14	4856	1200	176	276	356	1250	2093

Tabella 3.6-catalogo isolatori

Scelto l'isolatore si procede al calcolo del periodo effettivo di isolamento con la seguente formula:

$$T_{is} = 2\pi \sqrt{\frac{M}{K_{is}}}$$

Formula 3.4

Utilizzando l'isolatore precedentemente indicato si calcola la rigidezza totale del sistema di isolamento e poi si calcola il periodo effettivo di isolamento che risulta essere 2,50 secondi. in seguito nella tabella 3.7 vengono riportati i dati del procedimento.

SISTEMA DI ISOLAMENTO		
SI-N 600/152		
D	600	mm
te	152	mm
Kis	1490	kN/m
=2)	2710	kN
n°	28	
Ktot	41720	kN/m
T	<b>2,499</b>	s

Tabella 3.7

Quindi l'isolamento predimensionato è costituito da 28 isolatori elastomerici SI-N600-152 e da 23 slitte VM 250/600/600 di cui 3 posizionate al di sotto dei 3 ascensori, quindi i 3 ascensori scaricano il peso sulle 3 slitte, essendo ascensori in acciaio non hanno un peso eccessivo.

### 3.5 Modello isolato

l'isolamento è costituito da 28 isolatori elastomerici di tipologia SI-N600/152 e 23 slitte VM 250/600/600 Figura 3.7. Dove, gli isolatori elastomerici conferiscono una rigidezza orizzontale e quindi possono essere schematizzati attraverso un vincolo cedevole con una molla di rigidezza  $k$ ; mentre le slitte conferiscono un vincolo verticale e permettono il movimento orizzontale, quindi, possono essere schematizzate con un carrello.

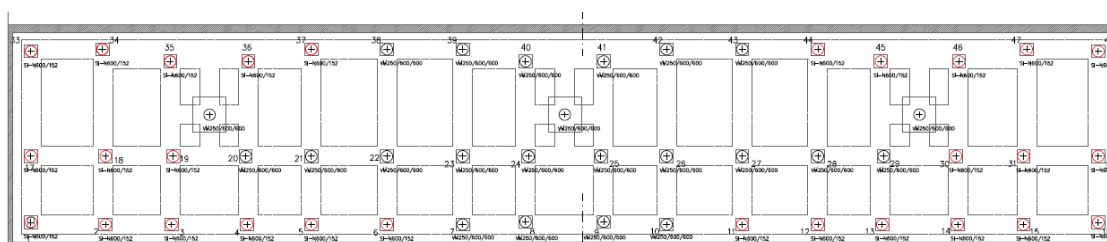


Figura 3.14 Pianta isolatori -configurazione ottimale

La configurazione degli isolatori riportata in Figura 3.14, dove in rosso sono evidenziati gli isolatori elastomerici, è la disposizione ottimale poiché conferisce una maggior rigidezza torsionale rispetto, ad esempio, ad una configurazione dove per assurdo

vengono inserite le slitte all'esterno e gli isolatori all'interno, in pianta. Questo comporterebbe una rigidezza torsionale molto bassa con annessi spostamenti differenziali degli isolatori e potrebbe indurre anche delle trazioni ai dispositivi. In seguito, si riporta con una configurazione errata del sistema di isolamento si ha una rotazione dell'edificio già nel primo modo, con un periodo elevato. (Figura 3.15)

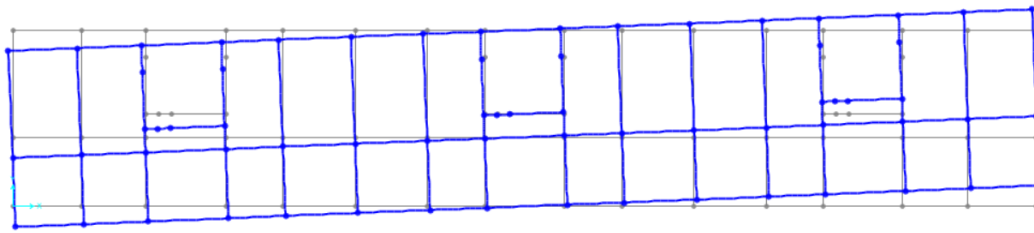


Figura 3.15 -configurazione non ottimale

### 3.5.1 Inserimento dei vincoli cedevoli e carrelli

Prendendo come base il modello con il contributo delle tamponature e presa la configurazione di isolamento ottimale (Figura 3.14) si vanno ad inserire i vincoli alla base che sono, quelli cedevoli con molla di rigidezza  $K$  per gli isolatori e i carrelli per quanto riguarda le slitte.

Nel programma di calcolo, si selezionano i joint alla base che interessano gli isolatori e attraverso il comando assign-joint-springs si apre la seguente finestra riportata in Figura 3.16:

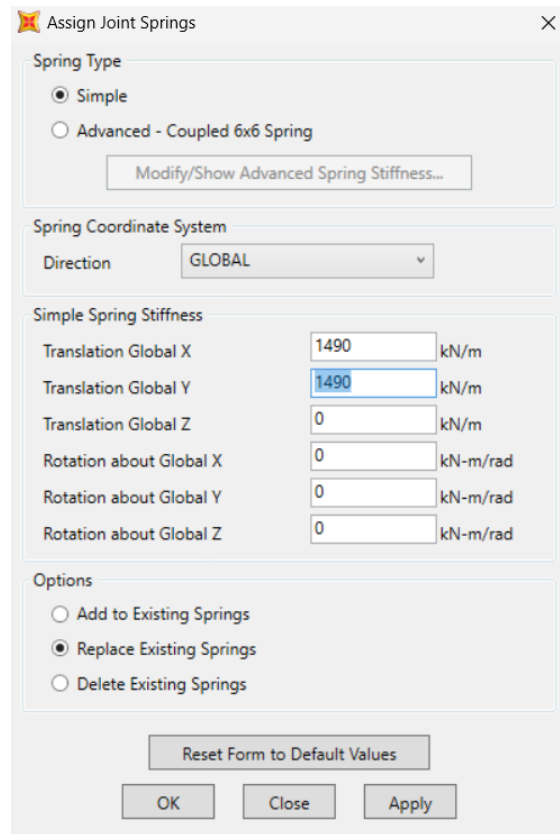


Figura 3.16 Springs

Nella traslazione in x e in y si va ad inserire la rigidezza della molla equivalente che in questo caso in base all'isolatore è di 1490 kN/m poi semplicemente facendo apply il vincolo viene inserito nei joint selezionati.

Mentre per quanto riguarda le slitte attraverso il comando assign-joint-restraints si va ad inserire il carrello (Figura 3.17):

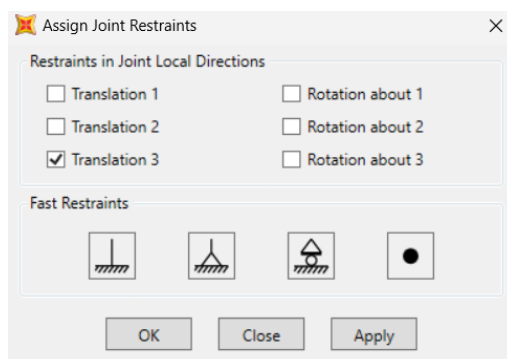


Figura 3.17 Restraints

### 3.5.2 Analisi Modale con isolamento alla base

Isolato l'edificio si è fatta l'analisi modale con l'isolamento e vengono riportati in seguito principalmente i primi 3 modi (deformate) e poi la tabella con i fattori di partecipazione di massa.

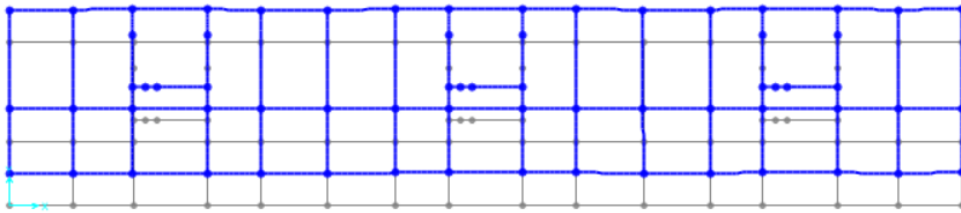


Figura 3.18 primo modo

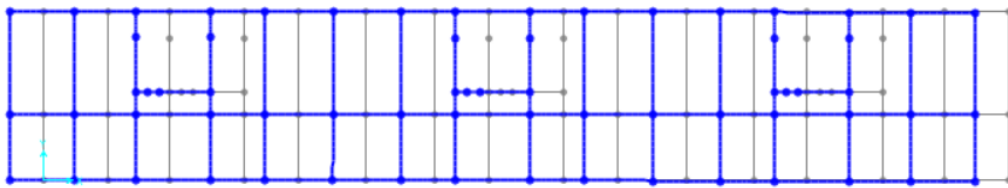


Figura 3.19 Secondo modo

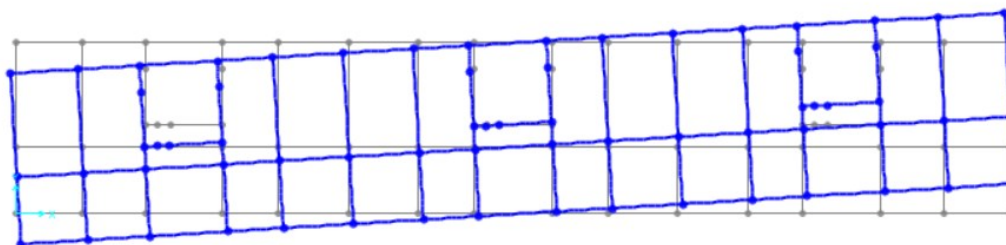


Figura 3.20 Terzo modo

TABLE: Modal Participating Mass Ratios												
OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	2,719356	0,00111	0,99883	3,635E-08	0,00111	0,99883	3,635E-08	0,00001383	1,103E-09	0,0000327
MODAL	Mode	2	2,71314	0,99816	0,00112	1,551E-10	0,99928	0,99995	3,651E-08	8,236E-09	7,281E-07	0,0007
MODAL	Mode	3	2,104487	0,00071	0,00002335	8,044E-11	0,99999	0,99998	3,659E-08	0,00000173	0,000004801	0,99922
MODAL	Mode	4	0,156913	4,056E-10	0,00001644	0,0122	0,99999	0,99999	0,0122	0,77047	0,000001109	2,905E-08
MODAL	Mode	5	0,145287	2,678E-08	2,339E-08	0,000002313	0,99999	0,99999	0,0122	0,000004913	0,02214	0,00002487
MODAL	Mode	6	0,139704	7,089E-11	5,211E-07	0,00412	0,99999	0,99999	0,01632	0,00741	0,000001242	5,678E-09
MODAL	Mode	7	0,138974	1,489E-08	1,053E-08	0,00001474	0,99999	0,99999	0,01634	0,000006635	0,00003068	0,000003866
MODAL	Mode	8	0,135538	1,851E-10	1,093E-07	0,00008713	0,99999	0,99999	0,01643	0,00018	0,000000697	1,171E-10
MODAL	Mode	9	0,134914	5,778E-11	1,174E-09	0,000004225	0,99999	0,99999	0,01643	0,000003192	0,00001226	6,345E-08
MODAL	Mode	10	0,133956	8,531E-10	1,739E-08	0,00379	0,99999	0,99999	0,02022	0,00039	2,965E-09	1,327E-09
MODAL	Mode	11	0,133287	4,07E-08	6,448E-09	0,00005226	0,99999	0,99999	0,02027	0,00001771	0,00047	3,958E-07
MODAL	Mode	12	0,133084	5,496E-10	3,813E-07	0,00166	0,99999	0,99999	0,02193	0,00435	4,262E-07	2,723E-09
MODAL	Mode	13	0,132204	4,55E-08	6,83E-09	0,00001817	0,99999	0,99999	0,02195	0,00001291	0,00001862	9,729E-07

Tabella 3.8

In Questo caso si può vedere che il primo modo (Figura 3.18) è tutto traslazionale in Y, mentre il secondo (Figura 3.19) è traslazionale in x e il terzo modo è totalmente torsionale (Figura 3.20).

Sostanzialmente in questo caso la struttura si muove in modo rigido sull'isolamento e si vede appunto una sorta di regolarizzazione dei modi dato che i primi due sono traslazionali e il terzo è torsionale. Rispetto a quello a base fissa che, come modo torsionale, aveva il secondo mentre in questo caso è il terzo e quindi si ha una regolarizzazione difficile da ottenere se abbiamo un edificio con queste geometrie, ovvero stretto e lungo quindi in questo caso l'isolamento ci permette anche di regolarizzare questa problematica torsionale degli edifici stretti e lunghi.

E si ha un periodo di isolamento di 2,71 s perché ovviamente in questo caso abbiamo anche un minimo di deformabilità della sovrastruttura.

### 3.5.3 Inserimento Spettro di risposta e analisi senza eccentricità accidentale

Con l'applicativo Spettri-NTCver1.0.3 si va a costruire lo spettro di risposta da inserire poi nel modello di calcolo, inserendo i vari parametri del terreno, categoria sottosuolo e categoria topografica, e inserendo la posizione tramite la regione e provincia.

Si imposta prima lo smorzamento del 5% (Figura 3.21) e poi quello del 15% (Figura 3.22) per poi costruire lo spettro effettivo da inserire nel programma.

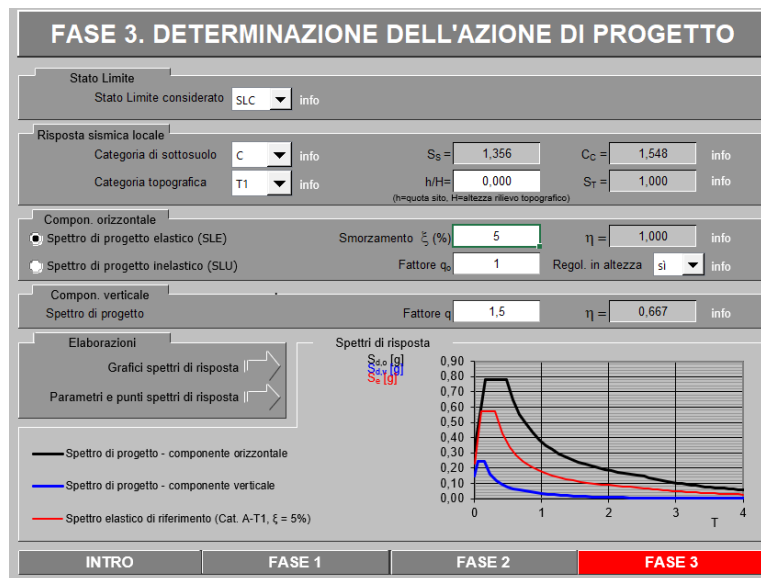


Figura 3.21 smorzamento 5%

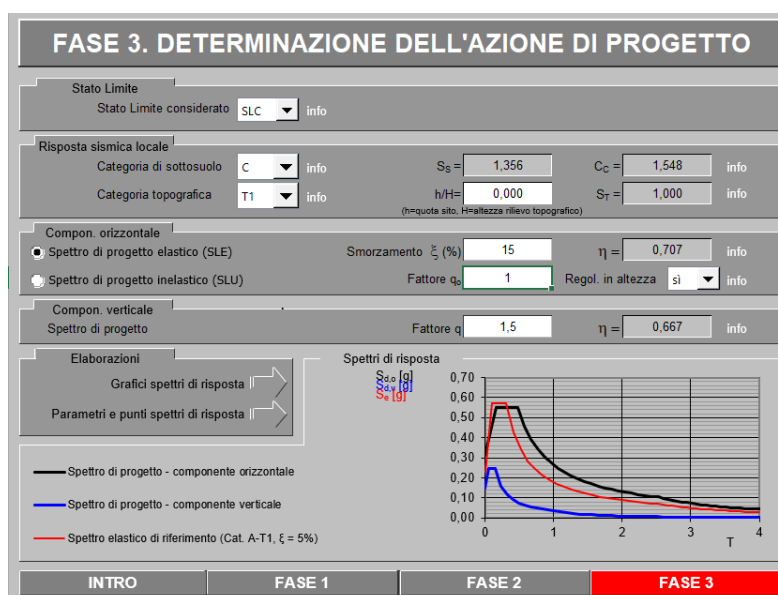


Figura 3.22 smorzamento 15%

Riportando i dati su Excel di entrambi gli spettri poi si costituisce lo spettro che per periodi superiori a  $0,8T_{is}$  è ribassato del 15% mentre per periodi inferiori è ridotto del 5% (Figura 3.23).

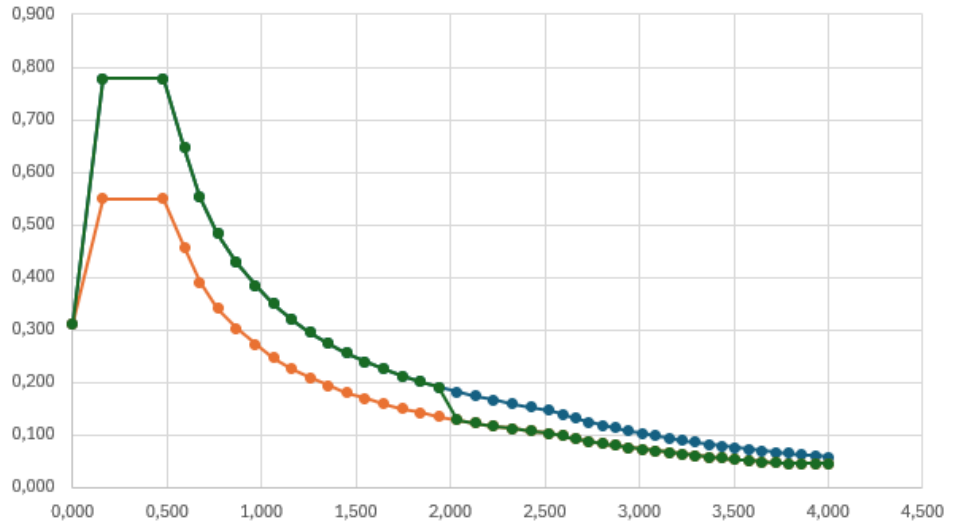


Figura 3.23-costruzione spettro

Essendo  $T_{is}=2,50$  s considerando lo  $0,8T_{is}=2$  s si costruisce appunto lo spettro come in Figura 3.23 dove per periodi inferiori a 2,00 s lo spettro rimane ridotto del 5% mentre per periodi superiori viene ridotto del 15% quindi si ha il passaggio proprio nel  $0,8T_{is}=2$  s. Si riportano i valori dello spettro in un blocco note per poi poterlo inserire direttamente come input nel programma di calcolo.

Period (s)	Spectral Acceleration
0,672	0,552
0,769	0,483
0,867	0,428
0,964	0,385
1,061	0,350
1,159	0,320
1,256	0,296
1,353	0,274
1,451	0,256
1,548	0,170
1,645	0,160
1,743	0,151
1,840	0,143
1,937	0,135
2,035	0,129
2,132	0,123
2,229	0,118
2,327	0,113
2,424	0,108
2,521	0,104
2,592	0,099
2,662	0,093
2,733	0,089
2,803	0,084
2,873	0,080
2,944	0,076

Figura 3.24-dati spettro

Sul Sap2000 attraverso il comando “Define Response Spectrum Functions “si va a definire una nuova funzione d’input data appunto dallo spettro precedentemente illustrato.

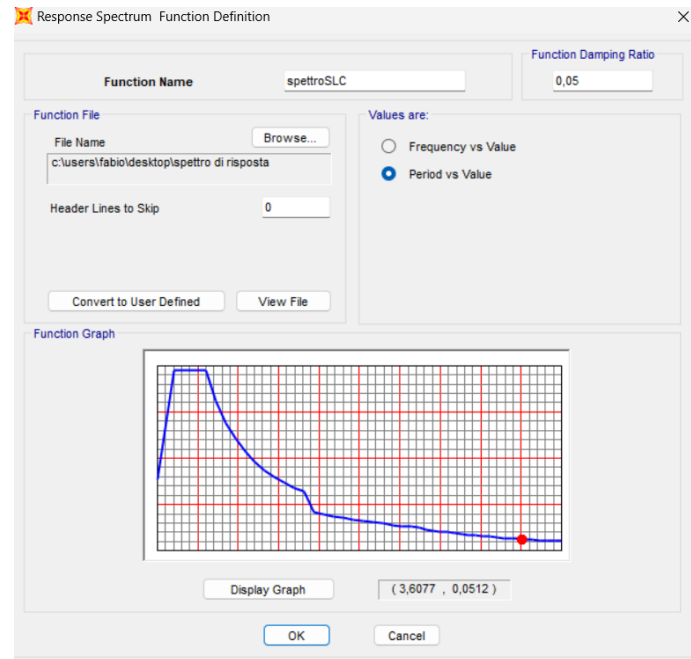


Figura 3.25 Inserimento funzione

Si assegna il titolo alla funzione e poi si seleziona il file blocco note precedentemente illustrato e si va a selezionare Period vs Value che sono i dati su chi si basa lo spettro che si ha così facendo, cliccando sul tasto ok la funzione è definita.

## Definizione load case

Si definiscono i load cases in entrambe le direzioni considerando la combinazione 100%-30% per l'azione sismica, come riportato nella Figura 3.18 in seguito

Load Case Data - Response Spectrum

Load Case Name: SPXC

Notes: Modify/Show...

Load Case Type: Response Spectrum

Modal Combination:

- CQC
- SRSS
- Absolute
- GMC
- NRC 10 Percent
- Double Sum

GMC f1: 1, GMC f2: 0, Periodic + Rigid Type: SRSS

Directional Combination:

- SRSS
- CQC3
- Absolute

Scale Factor: 1,

Mass Source: Previous (mass source)

Diaphragm Eccentricity:

Eccentricity Ratio: 0,05

Override Eccentricities: Override...

Modal Load Case: MODAL

Use Modes from this Modal Load Case: MODAL

Standard - Acceleration Loading

Advanced - Displacement Inertia Loading

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	spetroSLC	9,816
Accel	U1	spetroSLC	9,816
Accel	U2	spetroSLC	2,945

Show Advanced Load Parameters:

Other Parameters:

Modal Damping: Constant at 0,05

Buttons: Add, Modify, Delete, OK, Cancel

Figura 3.26-definizione casi di carico

Lanciando di nuovo l'analisi si va a valutare l'incremento di sforzo assiale dovuto all'azione sismica che è orizzontale e si somma al carico verticale.

In seguito, viene riportata la tabella contenente isolatori e slitte con carichi e spostamento per ogni singolo isolatore e slitta:

Nodo	SLU (NS)	F3 (CV)	F3 (max)	TOT(F3)	d	S (1,2)	ISOLATORE (SI-600/152)				SLITTA (VM 250/600/600)		
	kN	kN	kN	kN	(m)	(m)	V( $\gamma=2$ )	V>F3(tot)	d(m)	$\gamma$ effettivo	corsa slitta (mm)	carico verticale (kN)	Verifica carico verticale
1	990,783	766,897	399,904	1166,801	0,1637	0,1964	2710	ok!	ok!	1,29			
3	1371,985	1062,6	148,334	1210,934	0,1637	0,1965	2710	ok!	ok!	1,29		SLITTE	
5	1719,766	1325,76	202,444	1528,207	0,1638	0,1966	2710	ok!	ok!	1,29		ISOLATORI	
9	1515,021	1168,68	199,243	1367,92	0,1639	0,1967	2710	ok!	ok!	1,29			
11	1797,541	1378,33	341,46	1719,794	0,164	0,1968	2710	ok!	ok!	1,29			
13	1485,831	1144,28	143,263	1287,545	0,1641	0,197					300	2500	ok!
15	1824,176	1401,4	265,953	1667,355	0,1642	0,197					300	2500	ok!
17	1836,922	1412,25	266,472	1678,721	0,1642	0,197					300	2500	ok!
19	1484,147	1143,7	143,916	1287,614	0,1641	0,197					300	2500	ok!
21	1789,268	1372,61	340,709	1713,316	0,164	0,1968	2710	ok!	ok!	1,29			
23	1498,808	1156,3	190,629	1346,924	0,1639	0,1967	2710	ok!	ok!	1,29			
25	1432,383	1112,91	166,633	1279,538	0,1628	0,1953	2710	ok!	ok!	1,29			
29	1670,177	1287,49	200,947	1488,434	0,1639	0,1966	2710	ok!	ok!	1,29			
33	1008,518	780,488	440,725	1221,213	0,1641	0,197	2710	ok!	ok!	1,30			
35	2208,152	1705,18	249,451	1954,626	0,1629	0,1955	2710	ok!	ok!	1,29			
37	2620,969	2041,31	423,274	2464,586	0,163	0,1957	2710	ok!	ok!	1,29			
39	2511,953	1959,51	423,522	2383,033	0,1633	0,1959					300	2500	ok!
41	2012,14	1555,57	48,26	1603,834	0,1634	0,1961					300	2500	ok!
43	2447,019	1873,08	19,296	1892,376	0,1635	0,1962					300	2500	ok!
45	2118,245	1632,81	167,968	1800,782	0,1636	0,1963					300	2500	ok!
47	2558,873	1987,64	125,747	2113,382	0,1636	0,1963					300	2500	ok!
49	2514,798	1954,31	187,128	2141,438	0,1638	0,1965					300	2500	ok!
51	2004,159	1549,33	26,326	1575,659	0,1636	0,1963					300	2500	ok!
53	2445,933	1872,37	18,679	1891,044	0,1635	0,1962					300	2500	ok!
55	2140,304	1650,76	190,295	1841,05	0,1634	0,1961					300	2500	ok!
57	2531,239	1973,15	414,029	2387,178	0,1639	0,1967					300	2500	ok!
59	2620,561	2042,62	488,399	2531,022	0,1637	0,1964	2710	ok!	ok!	1,29			
61	2104,408	1628,68	61,895	1690,579	0,1628	0,1954	2710	ok!	ok!	1,29			
63	1453,459	1129,7	169,42	1299,124	0,1642	0,197	2710	ok!	ok!	1,30			
65	877,258	689,095	452,604	1141,699	0,1628	0,1953	2710	ok!	ok!	1,29			
67	1431,377	1122,06	390,659	1512,718	0,1628	0,1954	2710	ok!	ok!	1,29			
69	1903,574	1533,22	601,631	2134,852	0,1629	0,1954	2710	ok!	ok!	1,29			
71	1892,514	1523,59	630,468	2154,058	0,1629	0,1955	2710	ok!	ok!	1,29			
73	1880,837	1515,09	368,481	1883,572	0,1636	0,1963					300	2500	ok!
75	1887,258	1519,62	361,19	1880,808	0,1638	0,1965					300	2500	ok!
77	1896,44	1527,6	584,638	2112,239	0,1639	0,1967	2710	ok!	ok!	1,29			
79	1956,138	1573,15	722,725	2295,878	0,1639	0,1967	2710	ok!	ok!	1,29			
90	1276,801	1005,75	213,274	1219,026	0,1628	0,1954	2710	ok!	ok!	1,29			
91	1659,076	1278,73	195,888	1474,621	0,1639	0,1966	2710	ok!	ok!	1,29			
93	1320,785	1037,6	181,11	1218,71	0,163	0,1956	2710	ok!	ok!	1,29			
95	1534,127	1190,44	336,579	1527,017	0,1631	0,1957					300	2500	ok!
97	1335,835	1046,15	243,807	1289,954	0,1632	0,1958					300	2500	ok!
99	1676,807	1292,51	214,043	1506,552	0,1638	0,1966	2710	ok!	ok!	1,29			
103	1304,826	1024,97	161,624	1186,591	0,1633	0,196					300	2500	ok!
105	1535,044	1191,25	333,909	1525,156	0,1631	0,1957					300	2500	ok!
107	1348,098	1056,18	274,752	1330,936	0,163	0,1956	2710	ok!	ok!	1,29			
115	946,519	743,437	464,801	1208,238	0,1642	0,197	2710	ok!	ok!	1,30			
402	1446,34	1118,94	228,443	1347,385	0,1637	0,1965	2710	ok!	ok!	1,29			

Tabella 3.9-carichi verticali , spostamenti isolatori e slitte con verifica

L'isolatore con il carico verticale maggiore è il 59 ed il carico è di 2531,02 kN è un isolatore interno vicino al vano scala.

Dall'analisi si valuta anche lo spostamento degli isolatori alla base e prendendo il massimo si ha uno spostamento di 0,1644 m.

L'isolatore da predimensionamento ha una resistenza allo sforzo verticale di 2710 kN quindi sufficiente per il carico che si ha in questo caso e lo spostamento che si è ottenuto rientra nell'isolatore scelto dato che abbiamo un isolatore che da catalogo è di 300 mm di spostamento.

Tutti gli isolatori verificano lo spostamento e il carico massimo, sono riportati tutti nella tabella precedente e inoltre si è calcolato anche il gamma effettivo che è mediamente 1,29 che deve essere minore di 2-2,5.

Per quanto riguarda le slitte abbiamo le VM 250/600/600 quindi abbiamo una corsa della slitta di 300 mm in entrambe le direzioni e un carico verticale max di 2500 kN, le verifiche sono soddisfatte e sono riportate tutte nella Tabella 3.9.

### **3.5.4 Eccentricità accidentale del 5%**

Si va a considerare l'eccentricità accidentale del 5 % e si confronta con i valori ottenuti precedentemente per valutare quanto incide l'eccentricità in un edificio di questa configurazione quindi modificando i load cases si considera l'accidentale del 5% e viene lanciata di nuovo l'analisi.

Dall'analisi evince che il carico massimo verticale è di 2593,45 kN e lo spostamento alla base è di 0,187 m. Quindi considerando l'eccentricità accidentale non abbiamo un grosso incremento in termini di carico assiale ma ci avviciniamo all' approssimazione fatta precedentemente considerando lo spostamento  $d=d*1,2$ .

In seguito, viene riportato tutto nella Tabella 3.10 con i singoli nodi e le varie verifiche degli isolatori e slitte con un'eccentricità accidentale del 5%:

NODO	SLU (NS)	CV	F3 (max)	TOT(F3)	d	ISOLATORE (SI-600/152)				SLITTA (VM 250/600/600)		
	kN	kN	kN	kN	(m)	V( $\gamma=2$ )	V>F3(tot)	D	$\gamma$ effettivo	corsa slitta (mm)	carico verticale (kN)	Verifica carico verticale
1	990,783	766,897	454,643	1221,54	0,1847	2710	ok!	ok!	1,22			SLITTE
3	1371,99	1062,6	172,4	1235	0,1813	2710	ok!	ok!	1,19			ISOLATORI
5	1719,77	1325,76	232,683	1558,446	0,179	2710	ok!	ok!	1,18			
9	1515,02	1168,68	216,913	1385,59	0,1705	2710	ok!	ok!	1,12			
11	1797,54	1378,33	364,36	1742,694	0,1674	2710	ok!	ok!	1,10			
13	1485,83	1144,28	149,337	1293,619	0,1671					300	2500	ok!
15	1824,18	1401,4	270,385	1671,787	0,1654					300	2500	ok!
17	1836,92	1412,25	270,535	1682,784	0,1656					300	2500	ok!
19	1484,15	1143,7	149,908	1293,606	0,1677					300	2500	ok!
21	1789,27	1372,61	363,274	1735,881	0,1684	2710	ok!	ok!	1,11			
23	1498,81	1156,3	207,591	1363,886	0,1721	2710	ok!	ok!	1,13			
25	1432,38	1112,91	167,143	1280,048	0,1847	2710	ok!	ok!	1,22			
29	1670,18	1287,49	224,709	1512,196	0,1755	2710	ok!	ok!	1,15			
33	1008,52	780,488	508,63	1289,118	0,1871	2710	ok!	ok!	1,23			
35	2208,15	1705,18	281,22	1986,395	0,1814	2710	ok!	ok!	1,19			
37	2620,97	2041,31	478,614	2519,926	0,1791	2710	ok!	ok!	1,18			
39	2511,95	1959,51	470,448	2429,959	0,1757					300	2500	ok!
41	2012,14	1555,57	48,914	1604,488	0,1706					300	2500	ok!
43	2447,02	1873,08	20,03	1893,11	0,1675					300	2500	ok!
45	2118,25	1632,81	169,025	1801,839	0,1671					300	2500	ok!
47	2558,87	1987,64	127,526	2115,161	0,1653					300	2500	ok!
49	2514,8	1954,31	187,465	2141,775	0,1656					300	2500	ok!
51	2004,16	1549,33	26,579	1575,912	0,1677					300	2500	ok!
53	2445,93	1872,37	19,387	1891,752	0,1684					300	2500	ok!
55	2140,3	1650,76	194,521	1845,276	0,1721					300	2500	ok!
57	2531,24	1973,15	458,653	2431,802	0,1773					300	2500	ok!
59	2620,56	2042,62	550,828	2593,451	0,1807	2710	ok!	ok!	1,19			
61	2104,41	1628,68	63,771	1692,455	0,1802	2710	ok!	ok!	1,19			
63	1453,46	1129,7	169,875	1299,579	0,1871	2710	ok!	ok!	1,23			
65	877,258	689,095	482,109	1171,204	0,1847	2710	ok!	ok!	1,22			
67	1431,38	1122,06	448,131	1570,19	0,1815	2710	ok!	ok!	1,19			
69	1903,57	1533,22	688,188	2221,409	0,1792	2710	ok!	ok!	1,18			
71	1892,51	1523,59	693,728	2217,318	0,1758	2710	ok!	ok!	1,16			
73	1880,84	1515,09	376,832	1891,923	0,1653					300	2500	ok!
75	1887,26	1519,62	368,858	1888,476	0,1656					300	2500	ok!
77	1896,44	1527,6	643,245	2170,846	0,1773	2710	ok!	ok!	1,17			
79	1956,14	1573,15	822,153	2395,306	0,1809	2710	ok!	ok!	1,19			
90	1276,8	1005,75	246,771	1252,523	0,1802	2710	ok!	ok!	1,19			
91	1659,08	1278,73	218,744	1497,477	0,1771	2710	ok!	ok!	1,17			
93	1320,79	1037,6	198,562	1236,162	0,1705	2710	ok!	ok!	1,12			
95	1534,13	1190,44	359,193	1549,631	0,1674					300	2500	ok!
97	1335,84	1046,15	253,564	1299,711	0,1671					300	2500	ok!
99	1676,81	1292,51	245,114	1537,623	0,1805	2710	ok!	ok!	1,19			
103	1304,83	1024,97	167,76	1192,727	0,1677					300	2500	ok!
105	1535,04	1191,25	356,719	1547,966	0,1683					300	2500	ok!
107	1348,1	1056,18	300,882	1357,066	0,172	2710	ok!	ok!	1,13			
115	946,519	743,437	506,161	1249,598	0,1871	2710	ok!	ok!	1,23			
402	1446,34	1118,94	262,404	1381,346	0,1802	2710	ok!	ok!	1,19			

Tabella 3.10- carichi verticali , spostamenti isolatori e slitte con verifica ecc 5%

Anche considerando un'eccentricità del 5% le verifiche precedentemente fatte su isolatori e slitte risultano comunque soddisfatte e il gamma effettivo medio si abbassa a 1,18 circa, comunque minore di 2-2,5.

### **3.5.5 Eccentricità accidentale del 10%**

Essendo un edificio con una geometria in pianta con una dimensione molto più grande di un'altra è il caso di fare un piccolo approfondimento valutando anche un eventuale eccentricità del 10%.

In questo caso si evince che l'incremento di carico max è maggiore ed è 2655,87 kN mentre lo spostamento massimo risulta maggiore dell'approssimazione fatta inizialmente, in questo caso lo spostamento è di 0,21 m.

Inoltre, si ha uno spostamento differenziale tra isolatori d'angolo e centrali che è dell'ordine di 4-6 cm

In ogni caso gli isolatori e le slitte risultano comunque verificati, sia in termini di spostamento che di carico massimo verticale.

Come nei casi precedenti, nella pagina successiva viene riportata la tabella 3.11 riepilogativa con tutti i nodi interessati con carichi spostamenti e verifiche fatte:

NODO	SLU (NS)	F3 (CV)	F3 (max)	TOT(F3)	d	ISOLATORE (SI-600/152)				SLITTA (VM 250/600/600)		
		kN	kN	kN	(m)	V(y=2)	V>F3(tot)	d	y effettivo	corsa slitta (mm)	carico verticale (kN)	Verifica carico verticale
1	990,783	766,897	517,244	1284,141	0,21	2710	ok!	ok!	1,37			SLITTE
3	1371,99	1062,6	196,465	1259,065	0,20	2710	ok!	ok!	1,32			ISOLATORI
5	1719,77	1325,76	262,922	1588,685	0,20	2710	ok!	ok!	1,29			
9	1515,02	1168,68	234,582	1403,259	0,18	2710	ok!	ok!	1,19			
11	1797,54	1378,33	387,261	1765,595	0,17	2710	ok!	ok!	1,15			
13	1485,83	1144,28	155,41	1299,692	0,17					300	2500	ok!
15	1824,18	1401,4	274,817	1676,219	0,17					300	2500	ok!
17	1836,92	1412,25	274,597	1686,846	0,17					300	2500	ok!
19	1484,15	1143,7	155,9	1299,598	0,17					300	2500	ok!
21	1789,27	1372,61	385,839	1758,446	0,18	2710	ok!	ok!	1,16			
23	1498,81	1156,3	224,553	1380,848	0,18	2710	ok!	ok!	1,20			
25	1432,38	1112,91	167,653	1280,558	0,21	2710	ok!	ok!	1,37			
29	1670,18	1287,49	248,471	1535,958	0,19	2710	ok!	ok!	1,24			
33	1008,52	780,488	576,535	1357,023	0,21	2710	ok!	ok!	1,38			
35	2208,15	1705,18	312,988	2018,163	0,20	2710	ok!	ok!	1,32			
37	2620,97	2041,31	533,954	2575,266	0,20	2710	ok!	ok!	1,29			
39	2511,95	1959,51	517,373	2476,884	0,19					300	2500	ok!
41	2012,14	1555,57	49,568	1605,142	0,18					300	2500	ok!
43	2447,02	1873,08	20,764	1893,844	0,17					300	2500	ok!
45	2118,25	1632,81	170,083	1802,897	0,17					300	2500	ok!
47	2558,87	1987,64	129,305	2116,94	0,17					300	2500	ok!
49	2514,8	1954,31	187,803	2142,113	0,17					300	2500	ok!
51	2004,16	1549,33	26,831	1576,164	0,17					300	2500	ok!
53	2445,93	1872,37	20,094	1892,459	0,18					300	2500	ok!
55	2140,3	1650,76	198,747	1849,502	0,18					300	2500	ok!
57	2531,24	1973,15	503,278	2476,427	0,19					300	2500	ok!
59	2620,56	2042,62	613,256	2655,879	0,20	2710	ok!	ok!	1,30			
61	2104,41	1628,68	65,647	1694,331	0,20	2710	ok!	ok!	1,31			
63	1453,46	1129,7	170,329	1300,033	0,21	2710	ok!	ok!	1,38			
65	877,258	689,095	546,853	1235,948	0,21	2710	ok!	ok!	1,37			
67	1431,38	1122,06	505,602	1627,661	0,20	2710	ok!	ok!	1,32			
69	1903,57	1533,22	774,745	2307,966	0,20	2710	ok!	ok!	1,29			
71	1892,51	1523,59	756,989	2280,579	0,19	2710	ok!	ok!	1,24			
73	1880,84	1515,09	385,183	1900,274	0,17					300	2500	ok!
75	1887,26	1519,62	376,527	1896,145	0,17					300	2500	ok!
77	1896,44	1527,6	701,852	2229,453	0,19	2710	ok!	ok!	1,25			
79	1956,14	1573,15	921,582	2494,735	0,20	2710	ok!	ok!	1,30			
90	1276,8	1005,75	280,268	1286,02	0,20	2710	ok!	ok!	1,31			
91	1659,08	1278,73	241,6	1520,333	0,19	2710	ok!	ok!	1,25			
93	1320,79	1037,6	216,014	1253,614	0,18	2710	ok!	ok!	1,19			
95	1534,13	1190,44	381,807	1572,245	0,17					300	2500	ok!
97	1335,84	1046,15	263,321	1309,468	0,17					300	2500	ok!
99	1676,81	1292,51	276,184	1568,693	0,20	2710	ok!	ok!	1,30			
103	1304,83	1024,97	173,896	1198,863	0,17					300	2500	ok!
105	1535,04	1191,25	379,528	1570,775	0,18					300	2500	ok!
107	1348,1	1056,18	327,013	1383,197	0,18	2710	ok!	ok!	1,20			
115	946,519	743,437	573,27	1316,707	0,21	2710	ok!	ok!	1,38			
402	1446,34	1118,94	296,365	1415,307	0,20	2710	ok!	ok!	1,31			

Tabella 3.11 carichi verticali , spostamenti isolatori e slitte con verifica ecc 10%

### 3.5.6 Spostamenti di interpiano all'SLV per la sovrastruttura

Allo stesso modo inserendo lo spettro di risposta all'SLV si vanno a verificare gli spostamenti di interpiano, si verifica che siano minori dello  $0,005h_i$  e in particolare si considera come riferimento le pilastrate che subisco uno spostamento maggiore che in questo caso principalmente sono quelle di spigolo e quelle che interessano i vani scala.

Di seguito viene riportata una pianta con indicate le pilastrate considerate per la verifica di spostamento di interpiano che sono in particolare 2 pilastrate di spigolo e una pilastrata vicino al vano scala che è quella dove si ha avuto un maggior spostamento dell'isolatore alla base.

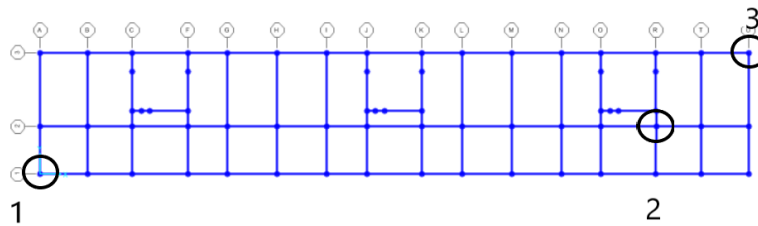


Figura 3.27

Nella Tabella 3.12 vengono riportati gli spostamenti di piano in direzione X e Y in metri, gli spostamenti di interpiano in cm e la tolleranza da rispettare sempre in cm che riguardano la pilastrata 1 .

<b>Pila.1</b>					<b>toll.</b>
	<b>spost. X</b>	<b>spost. Y</b>	<b>interpiano</b>	<b>interpiano</b>	<b>0,005hi</b>
<b>piano</b>	<b>di piano</b>	<b>di piano</b>	<b>X(cm)</b>	<b>Y(cm)</b>	<b>(cm)</b>
0	0,115947	0,11487	0,055	0,0469	1,5
1	0,116497	0,115339	0,0319	0,0364	1,57
2	0,116816	0,115703	0,0258	0,0318	1,57
3	0,117074	0,116021	0,0181	0,0251	1,57
4	0,117255	0,116272	0,01	0,0179	1,57
5	0,117355	0,116451			

Tabella 3.12

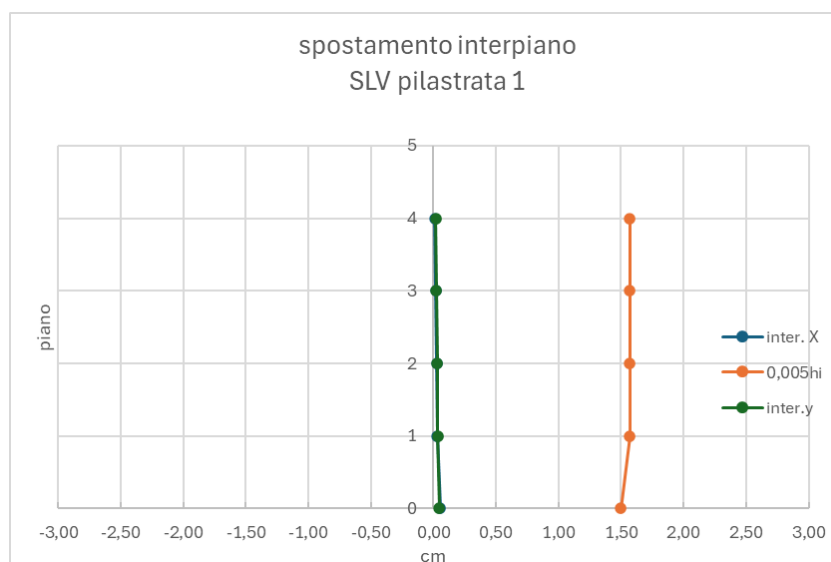


Figura 3.28

In forma grafica nella Figura 3.28 sono riportati gli spostamenti di interpiano in verde e in arancione il limite massimo ammissibile di spostamento, quindi da questo si può notare che gli spostamenti della sovrastruttura sono ampiamente soddisfatti.

In seguito allo stesso modo si riportano anche gli spostamenti delle pilastrate 1 e 2 che anche loro risultano abbondantemente verificate per gli spostamenti di interpiano all'SLV.

<b>Pila. 2</b>	<b>spost. X</b>	<b>spost. Y</b>	<b>interpiano</b>	<b>interpiano</b>	<b>toll. 0,005hi</b>
<b>piano</b>	<b>di piano</b>	<b>di piano</b>	<b>X(cm)</b>	<b>Y(cm)</b>	<b>(cm)</b>
0	0,115587	0,116216	0,0731	0,0634	1,5
1	0,116318	0,11685	0,0318	0,037	1,57
2	0,116636	0,11722	0,0257	0,0319	1,57
3	0,116893	0,117539	0,0182	0,0251	1,57
4	0,117075	0,11779	0,01	0,0179	1,57
5	0,117175	0,117969	0,0082	0,0121	1,57
6	0,117257	0,11809			

Tabella 3.13

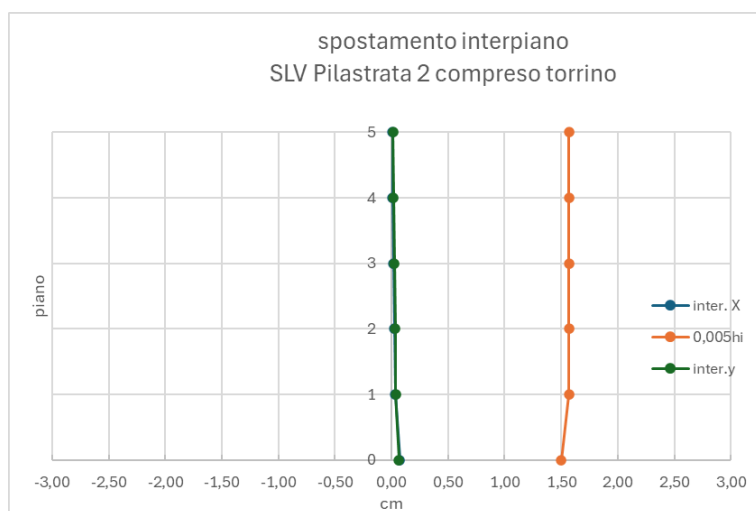


Figura 3.29

<b>Pila.3</b>	<b>spost. X</b>	<b>spost. Y</b>	<b>interpiano</b>	<b>interpiano</b>	<b>toll.</b>
<b>piano</b>	<b>di piano</b>	<b>di piano</b>	<b>X(cm)</b>	<b>Y(cm)</b>	<b>0,005hi</b>
					<b>(cm)</b>
0	0,115578	0,116543	0,059	0,0535	1,5
1	0,116168	0,117078	0,0318	0,0371	1,57
2	0,116486	0,117449	0,0257	0,0319	1,57
3	0,116743	0,117768	0,0182	0,0252	1,57
4	0,116925	0,11802	0,0102	0,0179	1,57
5	0,117027	0,118199			

Tabella 3.30

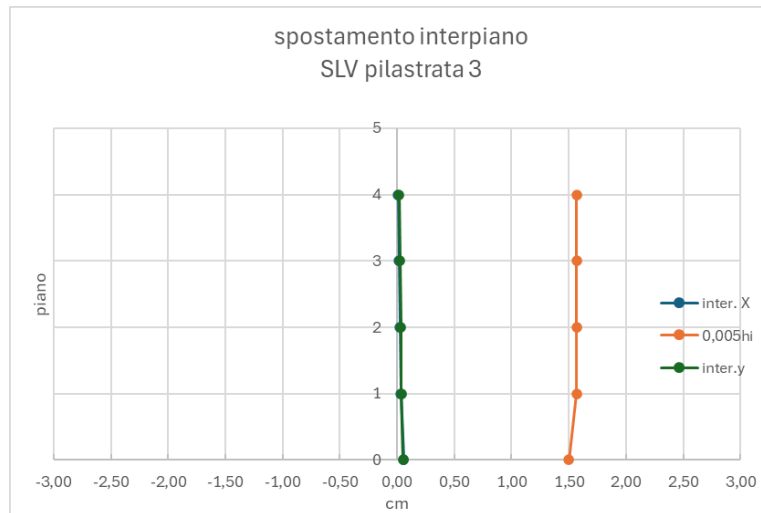


Figura 3.30

## 4. Time History

### 4.1 Generalità

Al fine di garantire maggior affidabilità nelle verifiche e per avere delle condizioni di comportamento più vicine alla realtà del sistema di isolamento, si è fatta un'analisi dinamica lineare utilizzando 7 accelerogrammi. Essi sono stati ricavati attraverso il portale ESM REXEL WEB, inserendo le coordinate del sito, categoria sottosuolo e stato limite considerato, in questo caso per quanto riguarda la verifica di spostamento degli isolatori SLC e verifica di spostamento d'interpiano.

### 4.2 scelta accelerogrammi

In seguito, sono riportati i vari steps sul portale ESM per ricavare i 14 accelerogrammi da inserire poi nella time history.

**Target**  
 NTC18 - Italian Building code (D.M. 2018) ▾

**Spectrum type**  
 Type 1 - Higher level of seismicity ▾

**Latitude [°]**  
 43.13266

**Longitude [°]**  
 13.069611

**ag [g]**  
 0.16

**Soil Type**  
 C ▾

**Topography**  
 T1 - flat surfaces, isolated ▾

**Nominal life**  
 50 years - ordinary structures ▾

**Functional type**  
 II ▾

**Limit state**  
 SLC (E) ▾

**Probability of exceedance**  
 50% in 50 years (73 years) ▾

**Aggregation level**  
 mean ▾

Figura 4.1 step 1

**Component**  
 two (coupled) horizontal component: ▾

**Limit**  
 500 ▾

**Inferred soil class**

**Late trigger events**

**Soil Type**  
 Site class ▾

**Soil Type**  
 A  B  C  D  E

**T1 [s]**  
 1.000000 ▾

**T2 [s]**  
 3.000000 ▾

**Instrument type**  
 Any ▾

**Style of faulting**  
 Any ▾

**CRITERION**  
 Magnitude-distance ▾ **i**

**Type of magnitude**  
 Moment or local magnitude ▾

**Mode**  
 Mode ▾

**Parameter**  
 PGA ▾ **Set defaults**

**M min**  
 4,4 ▾

**M max**  
 6,5 ▾

**Epsilon**  
 1 ▾

**R minimum [km]**  
 0 ▾

**R maximum [km]**  
 37 ▾

Figura 4.2- step 2

Nella figura 4.2 vengono riportati i vari parametri inseriti per lo spettro, in modo particolare di considerare 2 componenti orizzontali di accelerogrammi , il range del periodo e la tipologia di terreno considerata.

Lower tolerance [%]: 10

Upper tolerance [%]: 30

T1 [s]: 1.000000

T2 [s]: 3.000000

Additional tolerance [%]: 0

Set size: 7

Number of combinations: 1

Adimensional flag:

Check on PGA:

Maximum average scale-factor: 5

Figura 4.3- step 3

Nella Figura 4.3 viene definita la tolleranza superiore del 30 % e quella inferiore del 10 % così com'è previsto dalla norma.

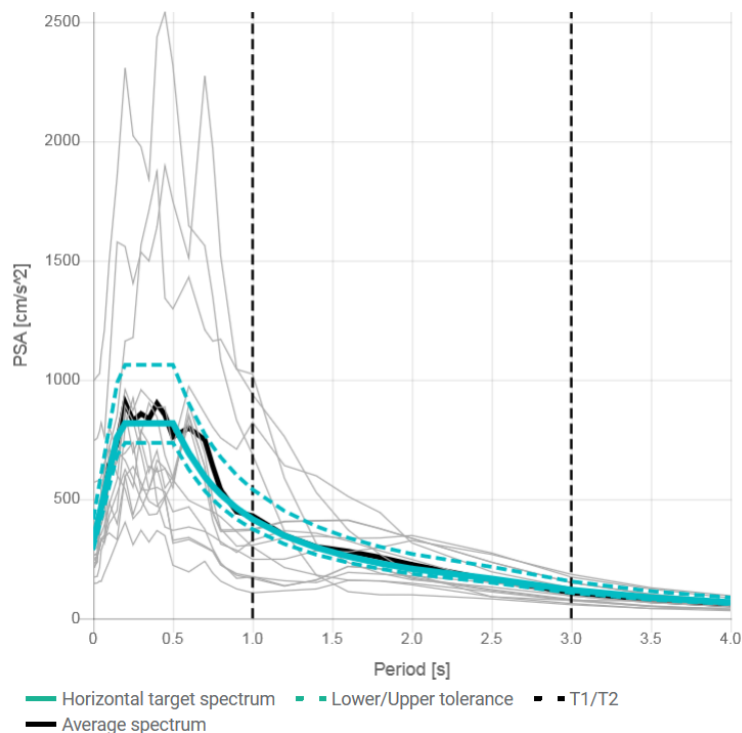


Figura 4.4 – spettri accelerazioni

Per verificare la spettro compatibilità ESM fa la media tra i 14 accelerogrammi e verifica che si trovi all'interno della tolleranza ; come riportato nella figura 4.4 le linee tratteggiate di colore celeste sono le tolleranze maggiori e superiori mentre la linea continua è il target a cui si deve arrivare. Nel grafico sono riportati i 14 spettri di colore grigio chiaro, mentre la linea nera continua indica la media degli spettri che appunto ricade all'interno delle tolleranze.

Ma la media totale dei 14 casi non è propriamente corretta quindi si procede alla verifica dello spettro compatibilità nelle due direzioni così da valutare la direzione delle accelerazioni da assegnare all'interno del programma per la time history.

La spettro-compatibilità può essere raggiunta confrontando la media degli spettri ottenuta da entrambe le componenti delle registrazioni, infatti la NTC2018 indica che la compatibilità con lo spettro di risposta elastico dev'essere verificata in base alla media delle ordinate spettrali ottenute con i diversi accelerogrammi associati alle storie .

Di seguito vengono riportati gli spettri registrati in direzione X e in direzione Y e le loro rispettive medie , che poi vengono confrontate con lo spettro target .

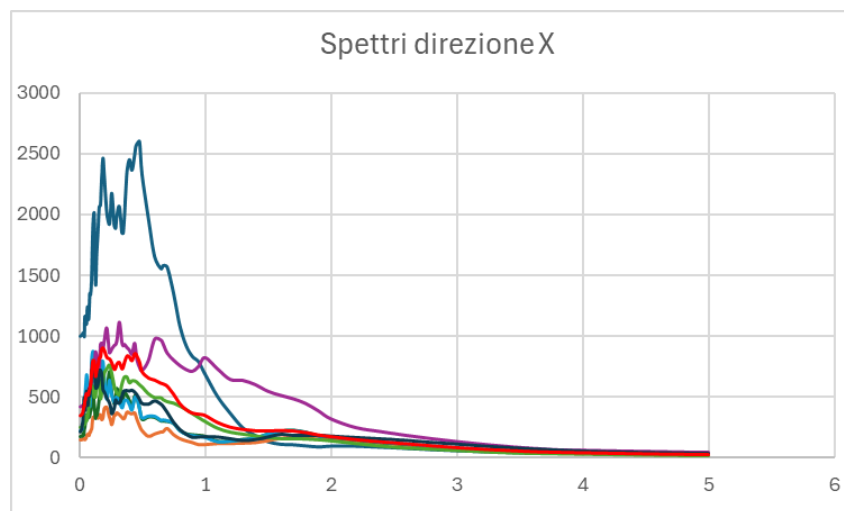


Figura 4.5

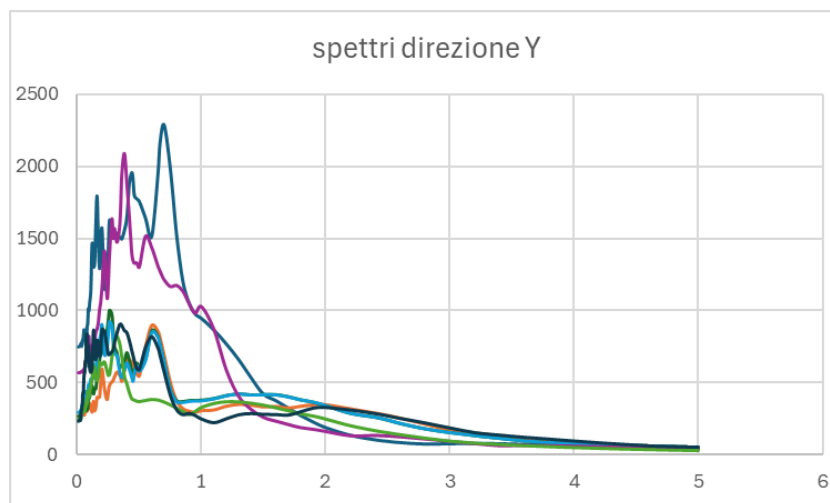


Figura 4.6

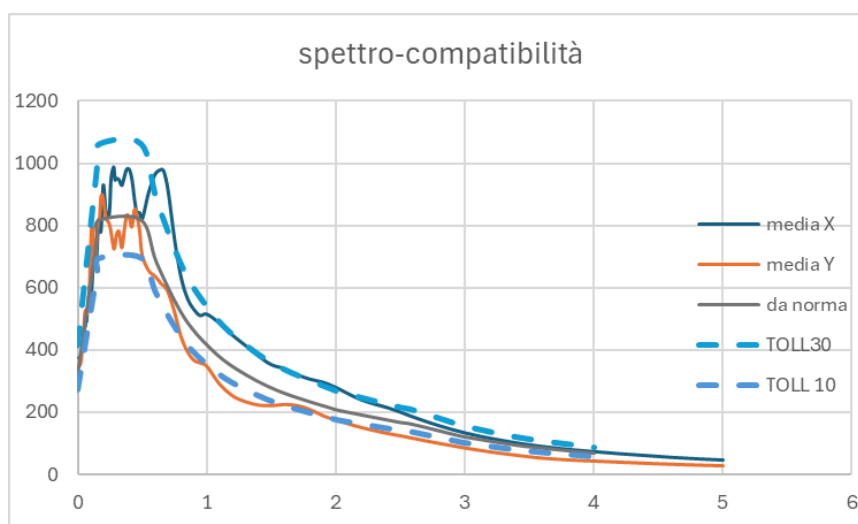


Figura 4.7

Nella Figura 4.7 viene riportato lo spettro obiettivo e le due tolleranze (linee tratteggiate) e appunto le due medie degli spettri. Si nota che la media della Y nella fascia considerata tra 1s e 3 s risulta leggermente al di sotto della tolleranza , mentre la media X risulta al limite della tolleranza del 30 % , quindi provando a modificare la direzione di 3 componenti si ha la spettro-compatibilità.

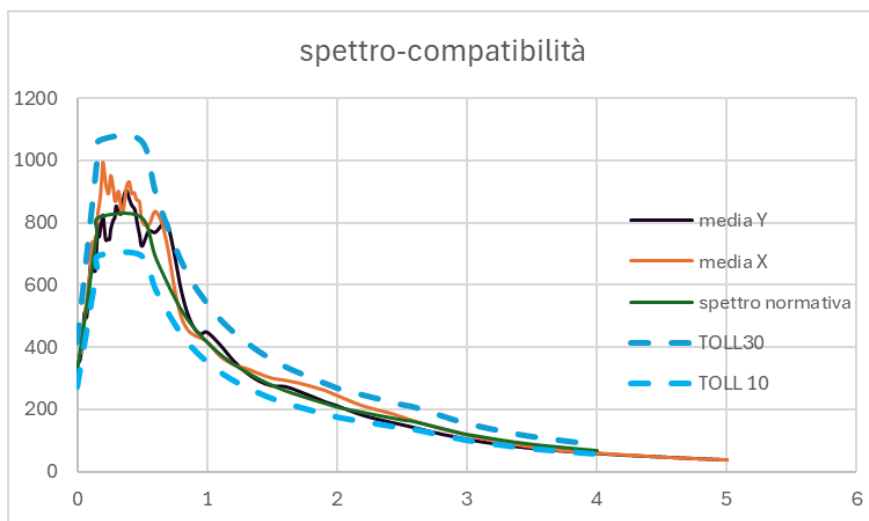


Figura 4.8

Come riportato precedentemente invertendo la direzione di 3 accelerogrammi si ha la spettro-compatibilità ed è evidenziata nella Figura 4.8 dove si evince che sia la media in X che quella in Y rientrano all'interno delle tolleranze da normativa soprattutto nella fascia target del periodo che va da 1 secondo a 3 secondi .

In questo modo vengono definite le direzioni degli accelerogrammi da inserire nel programma di calcolo per la time history.

Nelle Figure successive vengono riportate le 7 coppie di accelerogrammi utilizzati per l'analisi che riportano accelerazioni di eventi realmente accaduti .

Le componenti sono due una per la direzione X e una per la direzione Y.

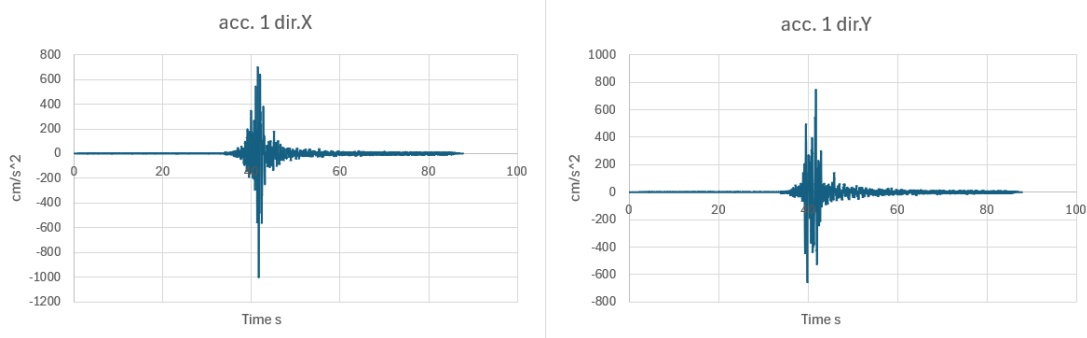


Figura 4.9

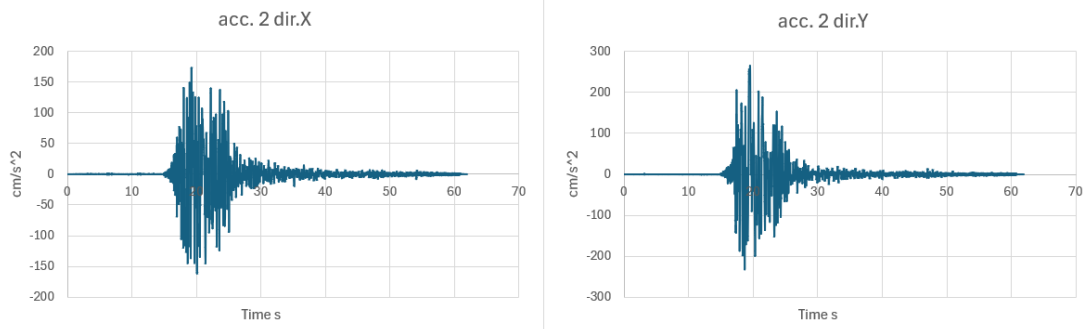


Figura 4.10

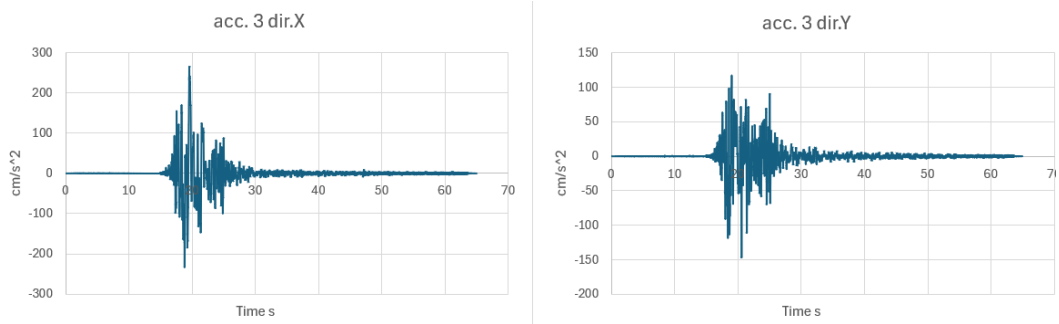


Figura 4.11

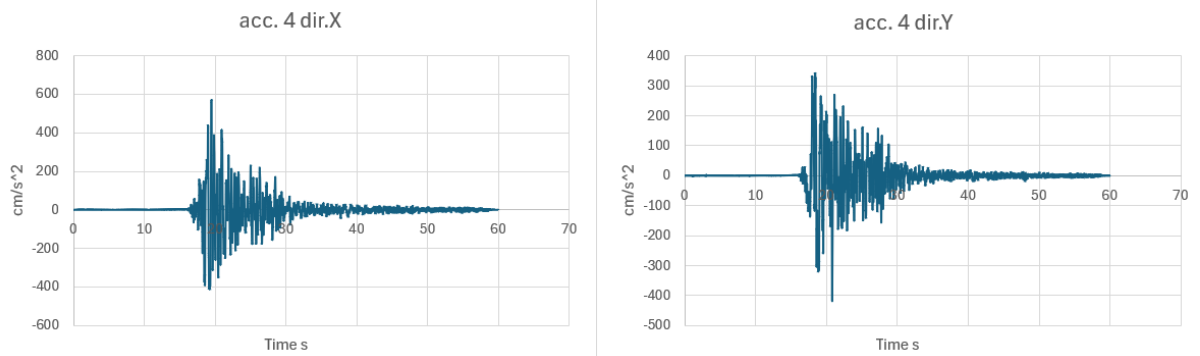


Figura 4.12

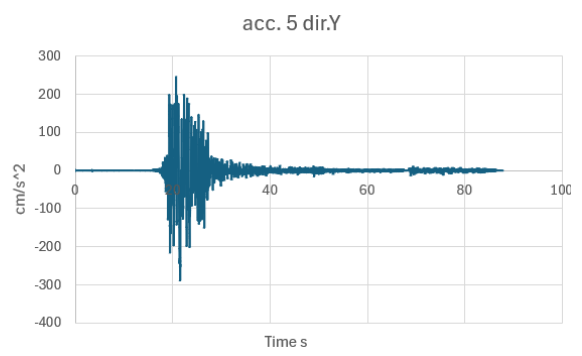
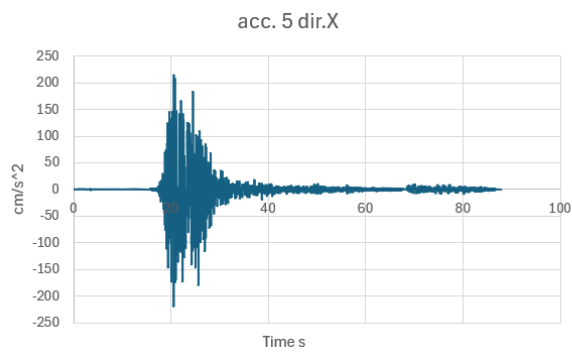


Figura 4.13

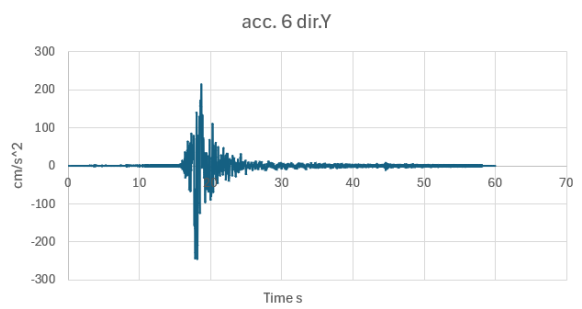
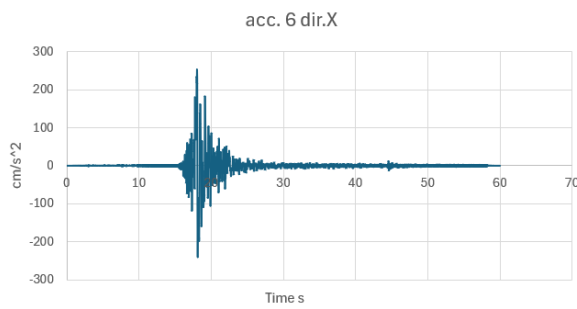


Figura 4.14

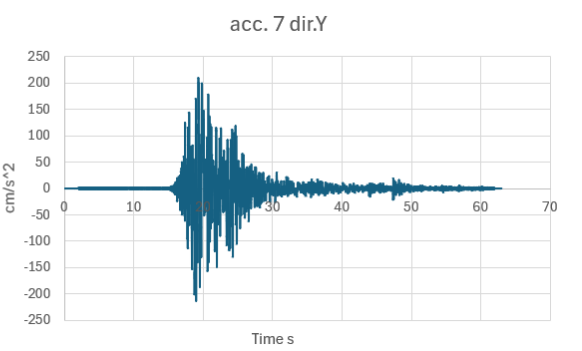
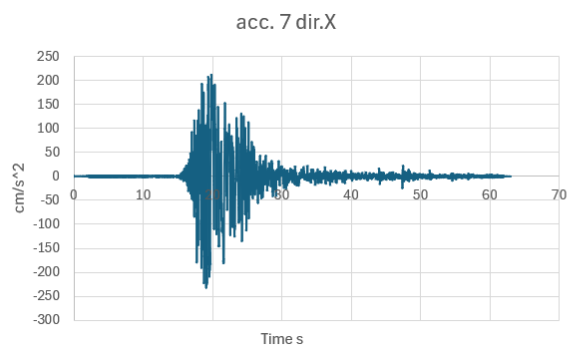


Figura 4.15

### 4.3 modellazione isolatore

Si va a definire inizialmente in link dell'isolatore, impostando rigidezza e dumping con il comando del sap2000 che permette di definire la sezione dell'elemento, fatto questo poi si modella l'isolatore proprio come un freme , allo stesso modo con la slitte .

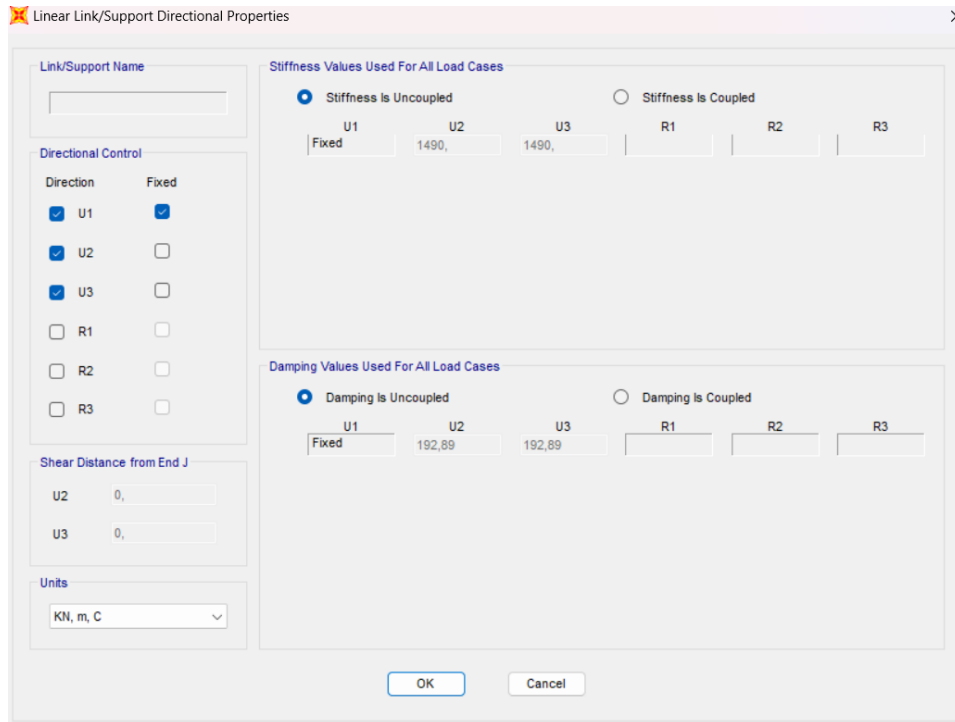


Figura 4.16

In questo caso la direzione U1 è quella verticale quindi si impone il vincolo verticale e poi nelle direzioni xy rispettivamente U2 e U3 si inserisce la rigidezza dell'isolatore e il dumping calcolato con la formula seguente (formula 4.1) :

$$c = \frac{\xi \cdot 2 \cdot k_{is}}{\omega}$$

Formula 4.1

Dove:

$$\omega = \frac{2\pi}{T_{is}}$$

Formula 4.2

Di seguito vengono riportate le masse partecipanti e i modi di vibrazione dopo aver inserito i link che simulano il comportamento dell'isolatore scelto.

	OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX
		Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
▶	MODAL	Mode	1	2,449646	2,31E-05	0,99996	5,314E-08	2,31E-05	0,99996	5,314E-08	1,13E-05
	MODAL	Mode	2	2,448607	0,99974	2,318E-05	1,673E-10	0,99977	0,99998	5,331E-08	2,848E-13
	MODAL	Mode	3	1,896898	0,00022	2,473E-07	1,174E-10	0,99999	0,99998	5,343E-08	1,364E-06
	MODAL	Mode	4	0,138348	4,082E-10	1,308E-05	0,01097	0,99999	1	0,01097	0,78522
	MODAL	Mode	5	0,127734	2,159E-08	1,427E-09	3,042E-06	0,99999	1	0,01097	8,721E-05
	MODAL	Mode	6	0,119483	2,795E-10	2,146E-07	0,00474	0,99999	1	0,01571	0,00336
	MODAL	Mode	7	0,119078	2,429E-08	2,779E-09	4,853E-05	0,99999	1	0,01576	4,291E-05
	MODAL	Mode	8	0,115957	6,17E-08	2,984E-08	8,357E-05	0,99999	1	0,01584	0,00067
	MODAL	Mode	9	0,115901	8,413E-06	4,126E-10	1,883E-05	1	1	0,01586	7,958E-05
	MODAL	Mode	10	0,115125	3,544E-08	3,224E-10	8,788E-06	1	1	0,01587	3,497E-06
	MODAL	Mode	11	0,114839	8,529E-10	7,447E-08	0,00832	1	1	0,02419	9,833E-05
	MODAL	Mode	12	0,113978	5,149E-09	1,052E-07	0,00011	1	1	0,0243	0,0037
	MODAL	Mode	13	0,113965	1,423E-08	4,093E-08	1,19E-05	1	1	0,02431	0,00149
	MODAL	Mode	14	0,112964	7,011E-09	7,602E-12	2,53E-05	1	1	0,02434	1,922E-06
	MODAL	Mode	15	0,112768	1,064E-10	5,858E-07	0,03384	1	1	0,05818	0,00613

Figura 4.17

#### 4.4 Definizione casi di carico

Nell'analisi dinamica lineare time history, si definisce il caso di carico CV sisma con la funzione rampa , da cui ripartire con i casi di carico a cui s assegnato i 7 gruppi di accelerogrammi che partono proprio da caso di carico CVSISMA .

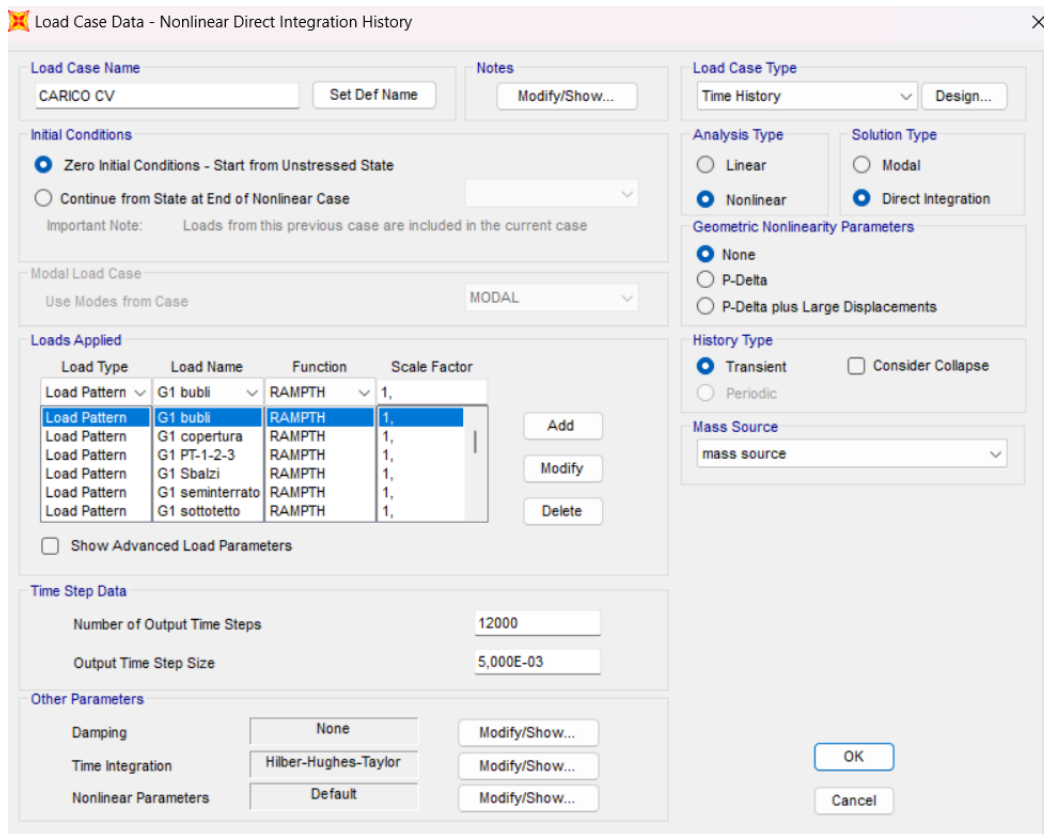


Figura 4.18

Definita la funzione rampa e il caso di carico CVSISMA da questa funzione poi partono i casi di carico a cui sono legate le coppie di accelerogrammi, la coppia ha una componente X e una Y e ad ogni caso di carico è stato assegnato il numero di steps uguale al numero di ogni accelerogramma inserito.

Ad esempio nel primo caso di carico l'accelerazione registrata ha un tempo di 87,8440 secondi, considerando una sensibilità di 0.005 si ha un totale di steps di 17568 .

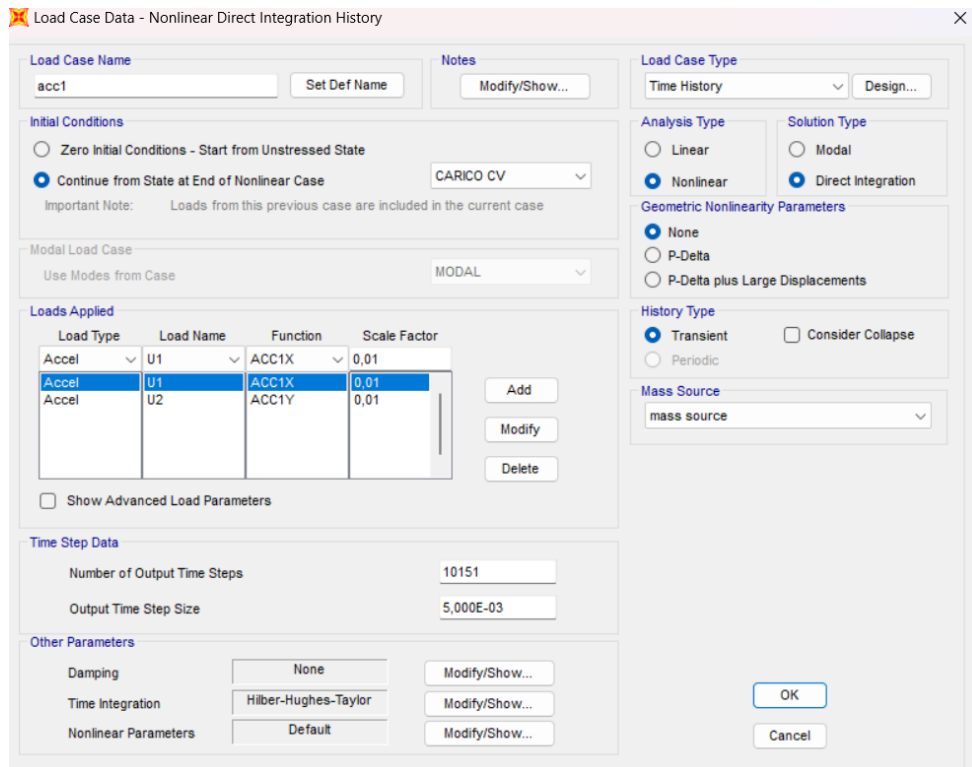


Figura 4.19

Come riportato nella Figura 4.19 si definiscono i 7 casi di carico associati agli accelerogrammi precedentemente illustrati, dove il caso di carico parte dal termine del caso di carico CVSISMA e viene associato l'accelerogramma sia in direzione X che in direzione Y con un fattore di scala 0,01 dato che le accelerazioni registrate sono in  $\text{cm/s}^2$  ed il numero di steps dipende dalla durata dell'evento registrato .

## 4.5 Analisi time history

### 4.5.1 analisi senza eccentricità accidentale

Una volta inseriti gli input viene lanciata l'analisi time history e in seguito vengono riportati i risultati dell'analisi, nel primo caso senza considerare l'eccentricità accidentale del centro di massa e del centro di rigidezza , poi seguono due analisi che considerano l'eccentricità accidentale sia al 5% che al 10 % e si valutano in ogni caso gli spostamenti degli isolatori.

## Spostamento isolatori

Nella Tabella 4.1 vengono riportati gli spostamenti degli isolatori che appunto in totale sono 28, gli spostamenti sono valutati in entrambe le direzioni e infine si ha una media tra le 7 coppie di accelerogrammi e si può notare che gli isolatori per lo stesso input hanno lo stesso valore di spostamento, questo appunto proprio perché la sovrastruttura si muove in modo pressoché rigido e quindi gli spostamenti non sono differenziali tra gli isolatori.

accelerazioni		acc. 1		acc.2		acc.3		acc.4		acc.5		acc.6		acc7		MEDIA	
direzione		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
isolatore	joint																
1	1	0,101	0,114	0,154	0,267	0,298	0,151	0,212	0,235	0,155	0,259	0,105	0,181	0,295	0,217	0,189	0,204
2	3	0,101	0,114	0,154	0,267	0,298	0,151	0,212	0,235	0,155	0,259	0,105	0,181	0,295	0,217	0,189	0,204
3	5	0,101	0,114	0,154	0,267	0,298	0,151	0,212	0,235	0,155	0,259	0,105	0,181	0,295	0,217	0,189	0,204
4	9	0,101	0,115	0,154	0,266	0,298	0,151	0,212	0,235	0,155	0,258	0,105	0,182	0,295	0,217	0,189	0,203
5	11	0,101	0,115	0,154	0,266	0,298	0,151	0,212	0,235	0,155	0,258	0,105	0,182	0,295	0,217	0,189	0,203
6	21	0,101	0,115	0,154	0,264	0,298	0,152	0,212	0,235	0,155	0,256	0,105	0,183	0,295	0,217	0,189	0,203
7	23	0,101	0,115	0,154	0,264	0,298	0,152	0,212	0,235	0,155	0,256	0,105	0,183	0,295	0,217	0,189	0,203
8	25	0,101	0,114	0,154	0,267	0,298	0,151	0,212	0,235	0,155	0,259	0,105	0,181	0,295	0,217	0,189	0,204
9	29	0,101	0,114	0,154	0,266	0,298	0,151	0,212	0,235	0,155	0,258	0,105	0,182	0,295	0,217	0,189	0,204
10	33	0,101	0,115	0,154	0,263	0,298	0,152	0,212	0,235	0,155	0,255	0,105	0,184	0,295	0,217	0,189	0,203
11	35	0,101	0,114	0,154	0,267	0,298	0,151	0,212	0,235	0,155	0,259	0,105	0,181	0,295	0,217	0,189	0,204
12	37	0,101	0,114	0,154	0,267	0,298	0,151	0,212	0,235	0,155	0,259	0,105	0,181	0,295	0,217	0,189	0,204
13	59	0,101	0,115	0,154	0,263	0,298	0,152	0,212	0,235	0,155	0,256	0,105	0,184	0,295	0,217	0,189	0,203
14	61	0,101	0,115	0,154	0,263	0,298	0,152	0,212	0,235	0,155	0,255	0,105	0,184	0,295	0,217	0,189	0,203
15	63	0,101	0,115	0,154	0,263	0,298	0,152	0,212	0,235	0,155	0,255	0,105	0,184	0,295	0,217	0,189	0,203
16	65	0,101	0,114	0,155	0,267	0,299	0,151	0,212	0,235	0,156	0,259	0,105	0,181	0,296	0,217	0,189	0,204
17	67	0,101	0,114	0,155	0,267	0,299	0,151	0,212	0,235	0,156	0,259	0,105	0,181	0,296	0,217	0,189	0,204
18	69	0,101	0,114	0,155	0,267	0,299	0,151	0,212	0,235	0,156	0,259	0,105	0,181	0,296	0,217	0,189	0,204
19	71	0,101	0,114	0,155	0,266	0,299	0,151	0,212	0,235	0,156	0,258	0,105	0,182	0,296	0,217	0,189	0,204
20	77	0,101	0,115	0,155	0,264	0,299	0,152	0,212	0,235	0,156	0,256	0,105	0,183	0,296	0,217	0,189	0,203
21	79	0,101	0,115	0,155	0,263	0,299	0,152	0,212	0,235	0,156	0,256	0,105	0,184	0,296	0,217	0,189	0,203
22	90	0,101	0,115	0,155	0,263	0,299	0,152	0,212	0,235	0,156	0,255	0,105	0,184	0,296	0,217	0,189	0,203
23	91	0,101	0,115	0,154	0,264	0,298	0,152	0,212	0,235	0,155	0,256	0,105	0,183	0,296	0,217	0,189	0,203
24	93	0,101	0,115	0,155	0,266	0,299	0,151	0,212	0,235	0,156	0,258	0,105	0,182	0,296	0,217	0,189	0,203
25	99	0,101	0,115	0,154	0,263	0,298	0,152	0,212	0,235	0,155	0,256	0,105	0,184	0,295	0,217	0,189	0,203
26	107	0,101	0,115	0,155	0,264	0,299	0,152	0,212	0,235	0,156	0,256	0,105	0,183	0,296	0,217	0,189	0,203
27	115	0,101	0,115	0,155	0,263	0,299	0,152	0,212	0,235	0,156	0,255	0,105	0,184	0,296	0,217	0,189	0,203
28	402	0,101	0,115	0,154	0,263	0,298	0,152	0,212	0,235	0,155	0,255	0,105	0,184	0,295	0,217	0,189	0,203

Tabella 4.1

In seguito, viene riportato graficamente le sette coppie dello spostamento degli isolatori per ogni step di carico.

### Caso di carico 1

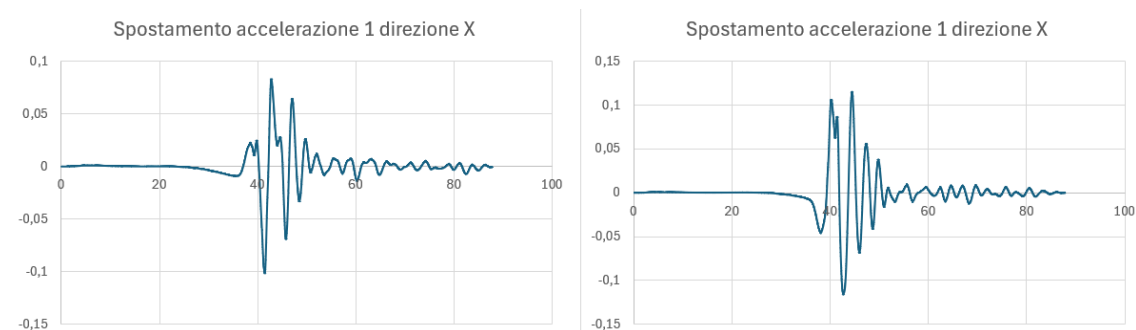


Figura 4.20

### Caso carico 2

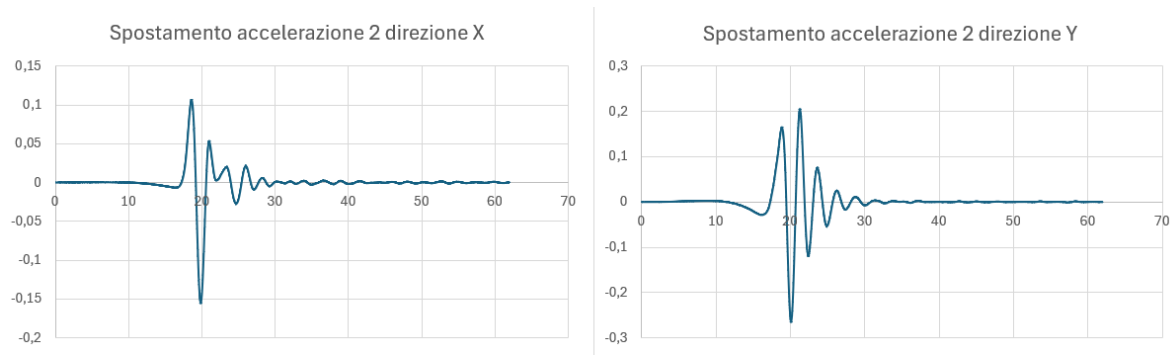


Figura 4.21

### Caso carico 3

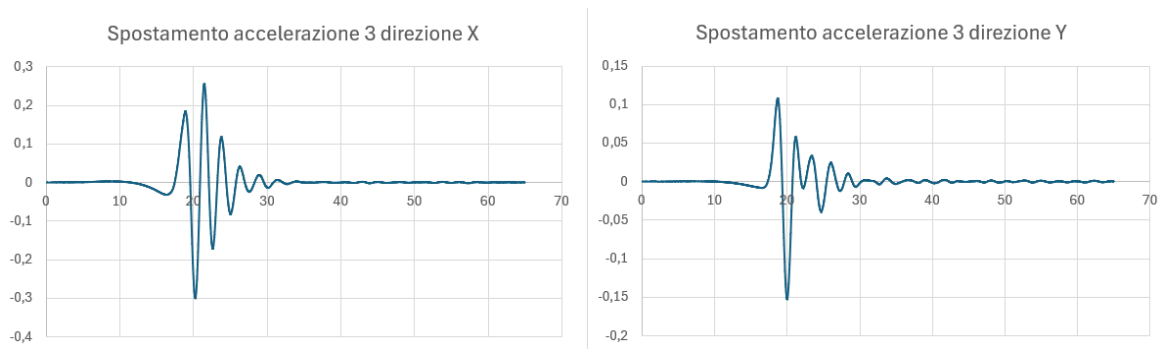


Figura 4.22

### Caso carico 4

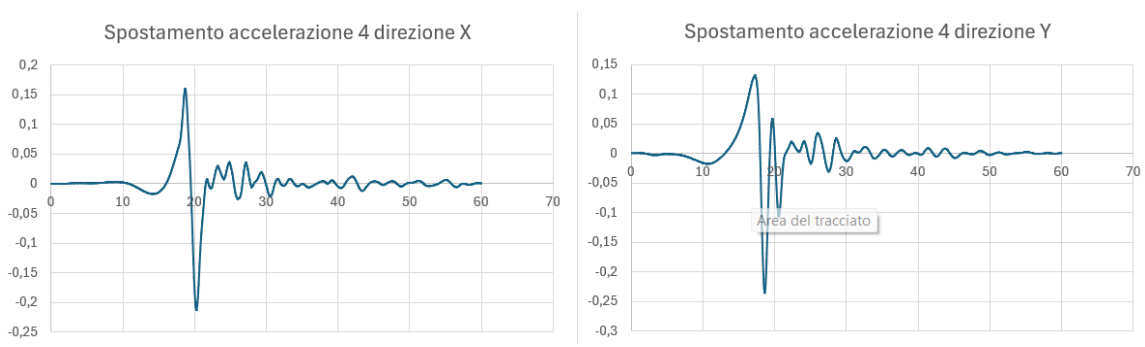


Figura 4.23

### Caso carico 5

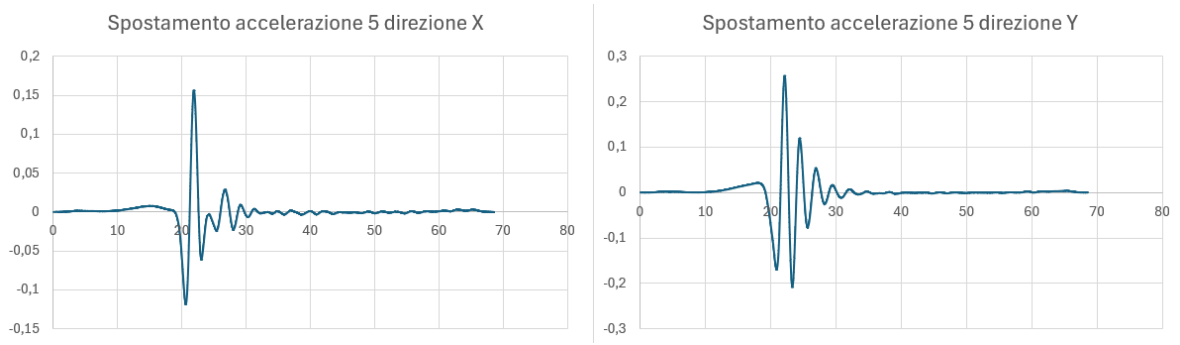


Figura 4.24

Caso carico 6

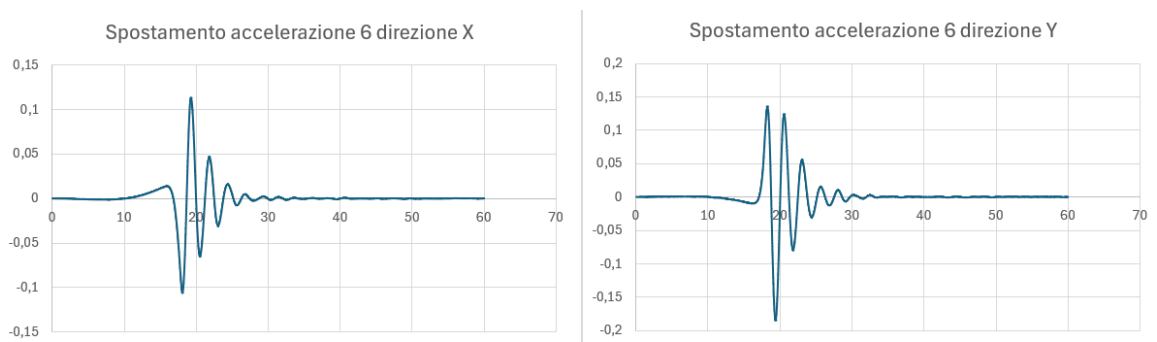


Figura 4.25

Caso carico 7

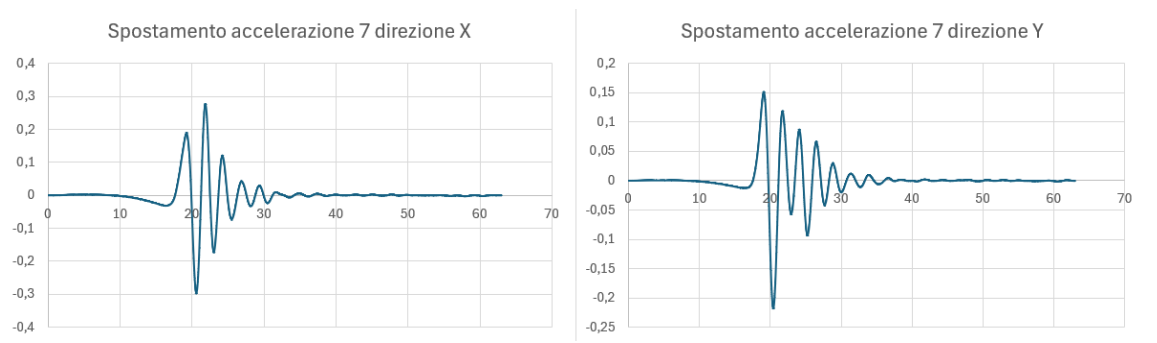


Figura 4.28

Si riporta graficamente la media degli spostamenti in X e in Y degli isolatori , si nota che lo spostamento tra gli isolatori non è differente ma è omogeneo , poiché in questa fase non viene considerata un'eccentricità accidentale .

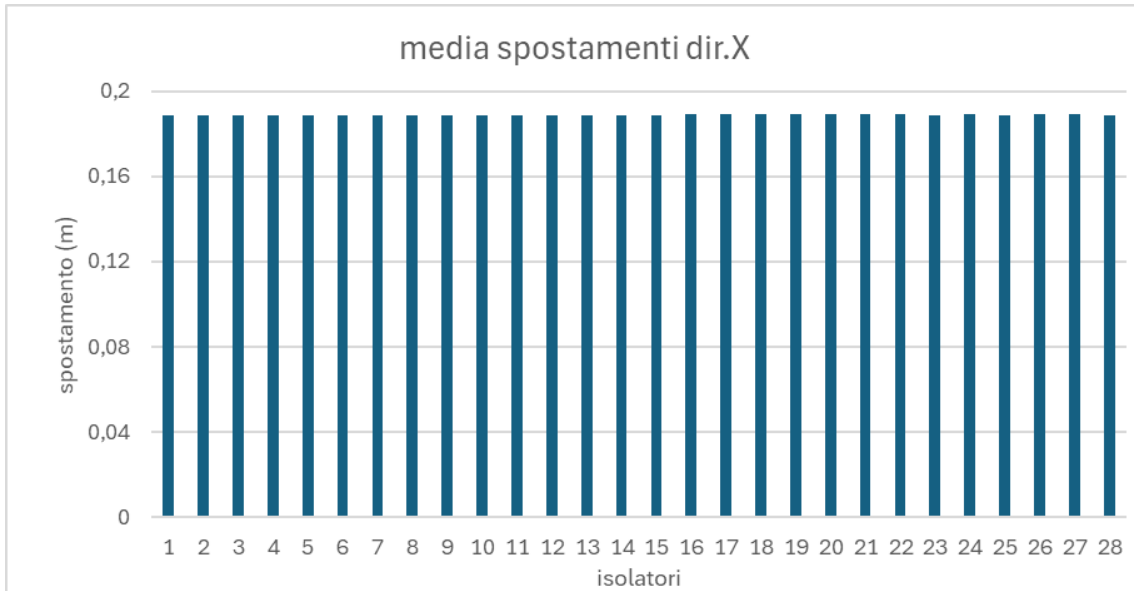


Figura 4.29

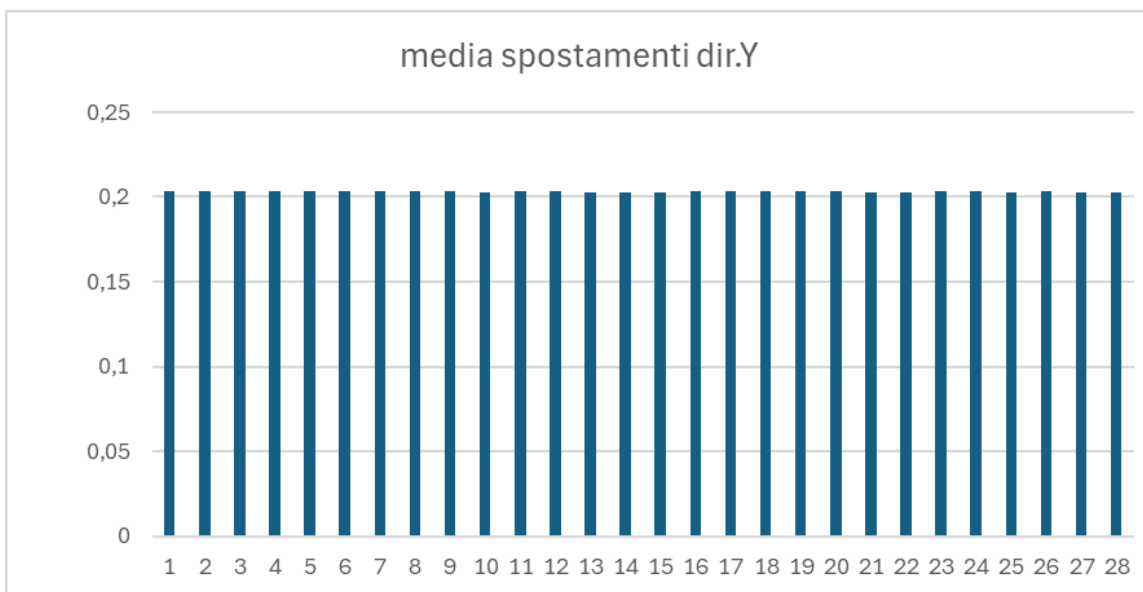


Figura 4.30

Dalla tabella 4.1 e dai grafici riportati in Figura 4.29 e Figura 4.30 si ha uno spostamento massimo di 20 cm in direzione Y e di circa 19 cm in direzione X quindi diciamo che in questa fase risulta ancora soddisfatto lo spostamento con gli isolatori che si sono

precedentemente pre-dimensionati ovvero gli SI-N600/152. Inoltre si evince che gli isolatori si spostano uniformemente senza spostamenti differenziali tra di loro.

### Spostamento d'interpiano

In seguito, si riporta in modo grafico gli spostamenti di interpiano, ottenuti facendo la differenza delle storie temporali delle sette coppie di accelerogrammi.

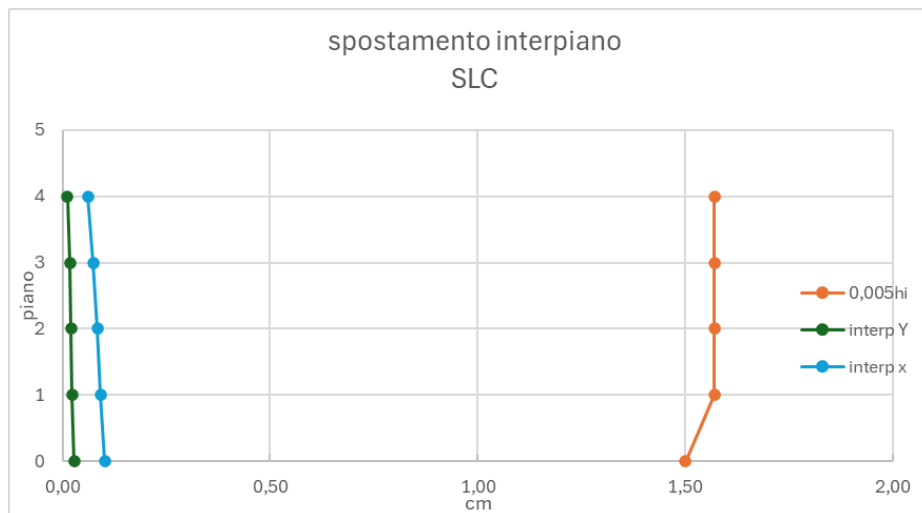


Figura 4.29

Gli spostamenti d'interpiano sono dell'ordine di grandezza del millimetro, quindi risultano inferiori al limite di  $0,005h_i$ , risultano inferiori anche al 0,1 %. Questo perché la sovrastruttura si comporta in modo rigido quando ha un input dinamico. Energia viene assorbita dagli isolatori e così permette alla struttura di non avere grandi spostamenti differenziali e quindi anche accelerazioni di piano eccessive, che portano ovviamente a problematiche in primis per gli elementi non strutturali e per eventi più importanti anche per quelli non strutturali. Perciò in seguito si riportano le accelerazioni di piano per evidenziare l'importanza del sistema d'isolamento.

## Accelerazioni di piano

Vengono riportate le accelerazioni che vengono indotte alla sovrastruttura a livello di ogni piano, fondamentali per evidenziare anche l'importanza del sistema di isolamento alla base per una struttura in zona sismica.

Inizialmente vengono riportate le storie temporali delle accelerazioni dei vari livelli, in modo rappresentativo solo della coppia di accelerogrammi 1poi successivamente si riportano i valori massimi di tutte le coppie di carico (tabella 4.2-4.3)

### Piano Zero

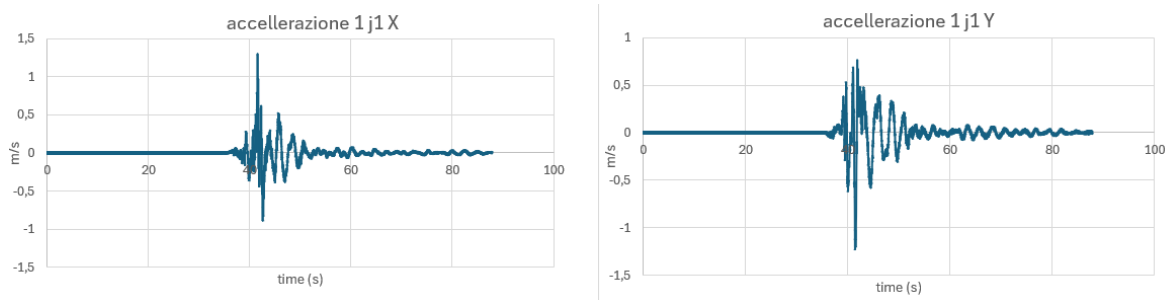


Figura 4.30

### Piano primo

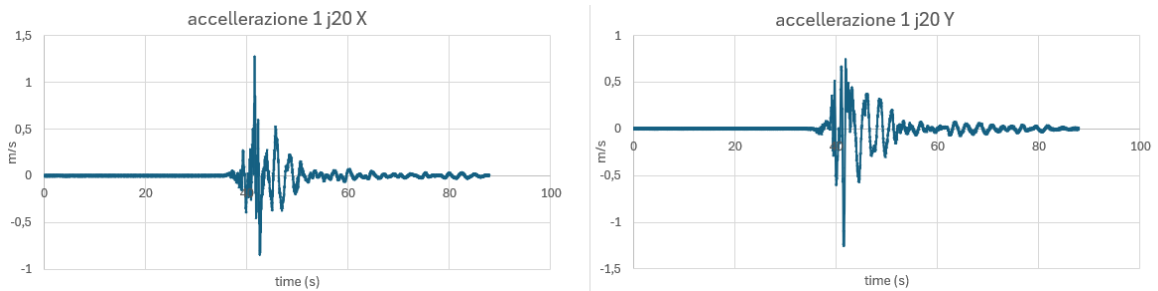


Figura 4.31

## Piano secondo

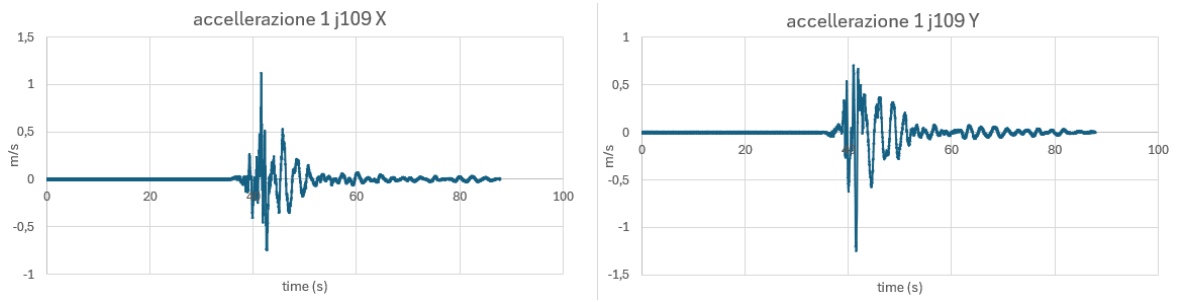


Figura 4.32

## Piano Terzo

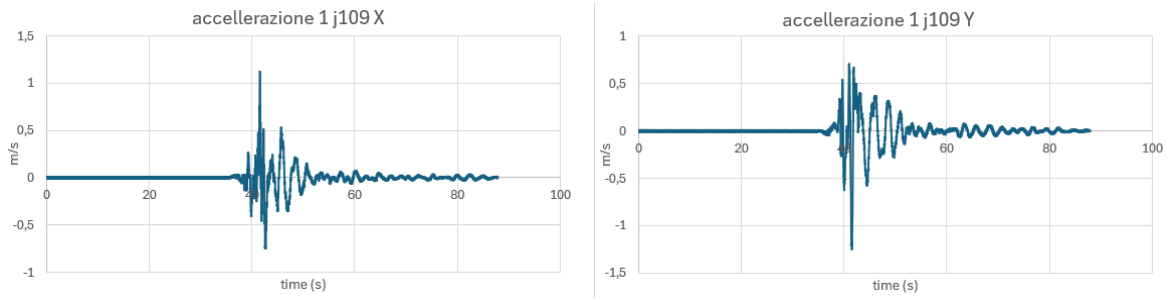


Figura 4.33

## Piano quarto

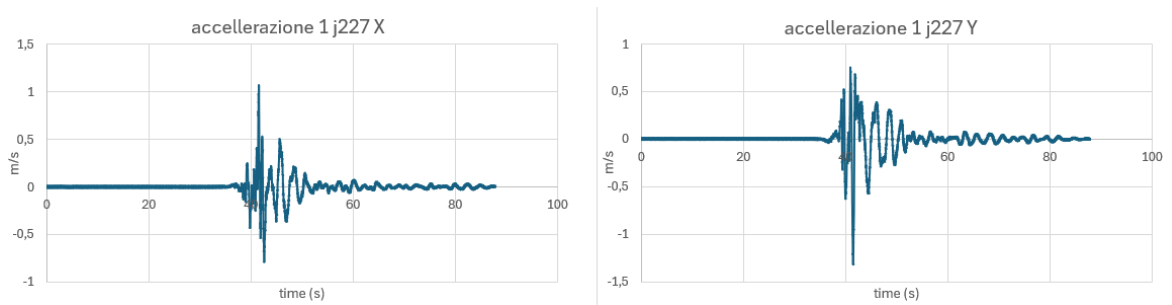


Figura 4.34

### Piano quinto

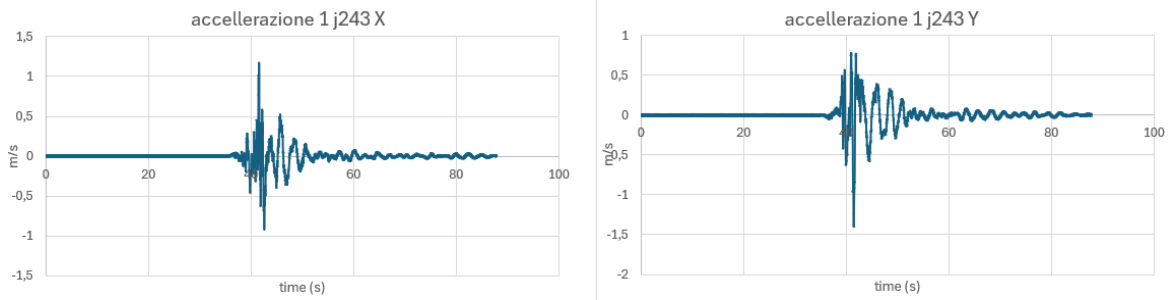


Figura 4.35

### Piano sesto

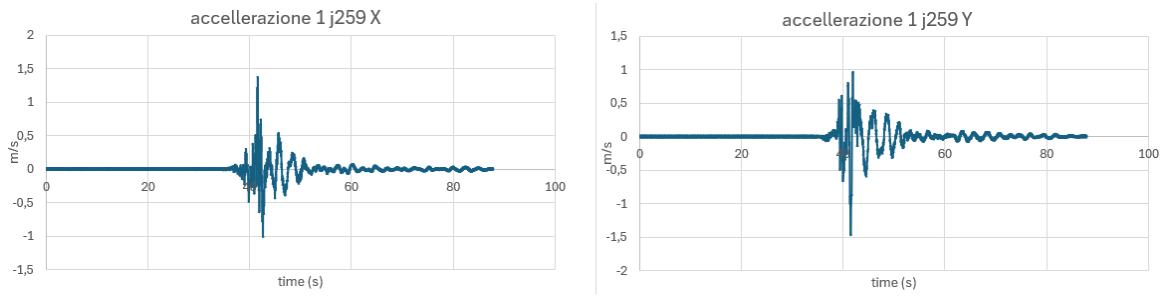


Figura 4.36

	acc 1		acc 2		acc 3		acc 4	
piano	X(m/s <sup>2</sup> )	Y(m/s <sup>2</sup> )	X(m/s <sup>2</sup> )	Y(m/s <sup>2</sup> )	X(m/s <sup>2</sup> )	Y(m/s <sup>2</sup> )	X(m/s <sup>2</sup> )	Y(m/s <sup>2</sup> )
0	1,30	1,23	1,02	1,86	1,90	0,90	1,12	2,01
1	1,28	1,26	0,96	1,84	1,91	0,90	1,10	1,98
2	1,12	1,25	0,91	1,83	1,93	0,89	1,09	1,90
3	1,07	1,32	0,90	1,89	1,94	0,88	1,11	1,91
4	1,17	1,40	0,96	1,90	1,95	0,89	1,18	2,00
5	1,38	1,48	1,02	1,94	1,96	0,91	1,21	2,12

Tabella 4.2

piano	acc 5		acc 6		acc 7	
	X (m/s <sup>2</sup> )	Y (m/s <sup>2</sup> )	X (m/s <sup>2</sup> )	Y (m/s <sup>2</sup> )	X (m/s <sup>2</sup> )	Y (m/s <sup>2</sup> )
0	1,21	1,70	0,89	1,35	1,82	1,25
1	1,13	1,68	0,87	1,33	1,78	1,24
2	1,04	1,69	0,88	1,28	1,73	1,22
3	0,84	1,73	0,87	1,22	1,77	1,17
4	1,04	1,76	0,90	1,31	1,78	1,23
5	1,27	1,77	0,91	1,39	1,82	1,29

Tabella 4.3

Nelle tabelle 4.2 e 4.3 sono riportate le accelerazioni massimo indotte sulla sovrastruttura e si evince appunto che i vari livelli subiscono un'accelerazione minore rispetto al piano di isolamento che va dai 2 ai 10 m/s<sup>2</sup>. per ogni livello si ha mediamente un'accelerazione di 0,10g-0,20g. Questo è importante anche per il danneggiamento degli impianti che nonostante sia uno stato limite di collasso si hanno delle accelerazioni molto basse rispetto ad un edificio a base fissa.

#### 4.5.2 analisi con eccentricità accidentale 5%

Considerando il 3 modo di vibrare dell'edificio a base fissa, si ha una rotazione traslata come riportato nella figura successiva la linea nera è la struttura indeformata mentre la linea rossa indica rotazione e traslazione dell'edificio.

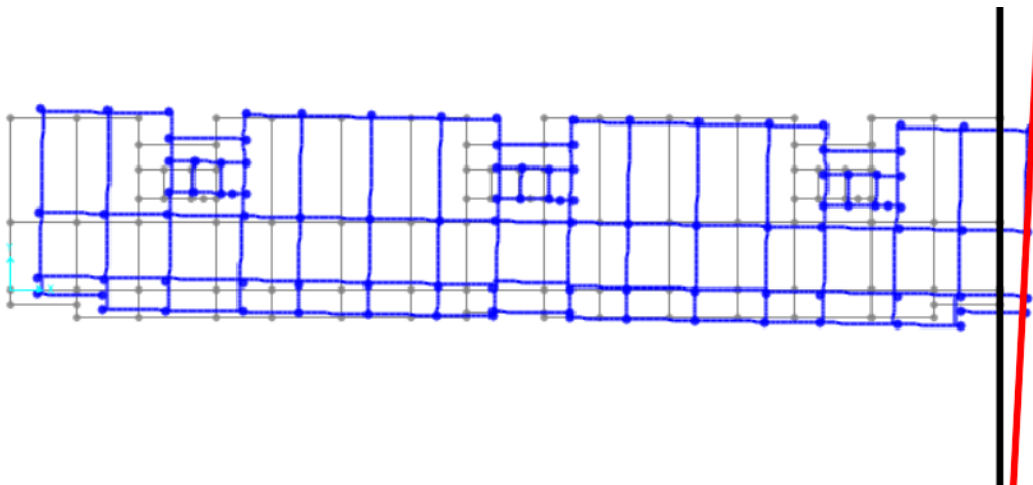


Figura 4.37

Per valutare dove spostare l'eccentricità si valuta lo spostamento dei punti di estremità e facendo la media si trova l'intersezione che si trova a una quota di 5,392 m dall'origine del sistema di riferimento.

Essendo un edificio simmetrico in direzione X si è fatta tale procedura solo in direzione Y, il punto d'incontro essendo maggiore della quota del CM, si è spostato il punto verso l'alto; quindi, per valutare l'eccentricità accidentale del 5% si sposta il CM in modo positivo sia in direzione X che in direzione Y.

nodo	U(m)	U(m)norm	Um(m)
1	0,019982	1,13547	0,018807
2	0,018651	1,059836	0,018807
3	0,017789	1,010854	0,018807
4	0,017598	1	

Tabella 4.2

Nella tabella 4.2 sono riportati gli spostamenti dei nodi di estremità del terzo modo dell'analisi modale dell'edificio a base fissa, lo spostamento normalizzato all'ultimo joint e lo spostamento medio, trovando il punto di intersezione appunto si è valutato di spostare l'eccentricità in modo positivo sia in direzione X che in direzione Y.

Spostando i punti del CM di ogni piano che sono legati al vincolo di diaframma al piano stesso, fatto questo si lancia l'analisi dinamica e si valutano nuovamente gli spostamenti degli isolatori.

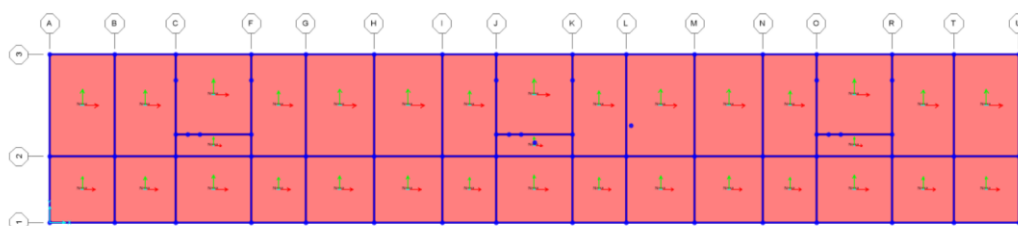


Figura 4.38-posizione CM

Nella Figura 4.38 si riporta il CM della struttura senza eccentricità accidentale e quello con eccentricità del 10 %, in dettaglio nella Figura 4.39 si riporta lo spostamento del 10% che risulta essere 6,5 m in direzione X e 1,12 m in direzione Y.

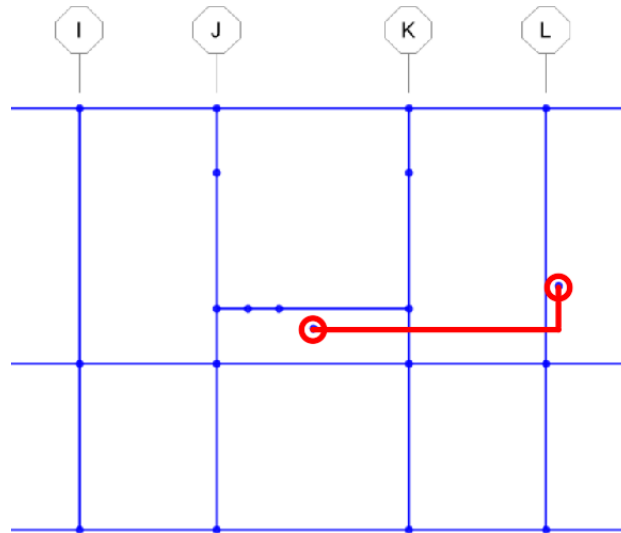


Figura 4.39

Il CM quindi è stato spostato prima del 5% e poi del 10 % in entrambe le direzioni di un valore positivo dato che, dalle valutazioni precedentemente fatte così si allontana il CM dal CR e si possono valutare i risultati dovuti all'eccentricità accidentale .

iso	joint	acc. 1		acc. 2		acc. 3		acc. 4		acc. 5		acc. 6		acc. 7		MEDIA	
direzione		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
1	1	0,1040	0,1228	0,1498	0,2444	0,3036	0,1342	0,2203	0,2170	0,2203	0,2170	0,1046	0,1491	0,1046	0,1491	0,1725	0,1762
2	3	0,1040	0,1245	0,1498	0,2445	0,3036	0,1360	0,2203	0,2168	0,2203	0,2168	0,1046	0,1491	0,1046	0,1491	0,1725	0,1767
3	5	0,1040	0,1261	0,1498	0,2448	0,3036	0,1377	0,2203	0,2169	0,2203	0,2169	0,1046	0,1495	0,1046	0,1495	0,1725	0,1773
4	9	0,1040	0,1299	0,1498	0,2459	0,3036	0,1416	0,2203	0,2175	0,2203	0,2175	0,1046	0,1512	0,1046	0,1512	0,1725	0,1792
5	11	0,1040	0,1320	0,1498	0,2469	0,3036	0,1437	0,2203	0,2181	0,2203	0,2181	0,1046	0,1527	0,1046	0,1527	0,1725	0,1806
6	21	0,1040	0,1419	0,1498	0,2546	0,3036	0,1548	0,2203	0,2246	0,2203	0,2246	0,1046	0,1648	0,1046	0,1648	0,1725	0,1900
7	23	0,1040	0,1441	0,1498	0,2570	0,3036	0,1573	0,2203	0,2268	0,2203	0,2268	0,1046	0,1685	0,1046	0,1685	0,1725	0,1927
8	25	0,1037	0,1228	0,1513	0,2444	0,3007	0,1342	0,2267	0,2170	0,2267	0,2170	0,1038	0,1491	0,1038	0,1491	0,1738	0,1762
9	29	0,1040	0,1283	0,1498	0,2453	0,3036	0,1399	0,2203	0,2171	0,2203	0,2171	0,1046	0,1503	0,1046	0,1503	0,1725	0,1783
10	33	0,1040	0,1526	0,1498	0,2686	0,3036	0,1671	0,2203	0,2380	0,2203	0,2380	0,1046	0,1847	0,1046	0,1847	0,1725	0,2048
11	35	0,1037	0,1245	0,1513	0,2445	0,3007	0,1360	0,2267	0,2168	0,2267	0,2168	0,1038	0,1491	0,1038	0,1491	0,1738	0,1767
12	37	0,1037	0,1261	0,1513	0,2448	0,3007	0,1377	0,2267	0,2169	0,2267	0,2169	0,1038	0,1495	0,1038	0,1495	0,1738	0,1773
13	59	0,1037	0,1482	0,1513	0,2624	0,3007	0,1622	0,2267	0,2318	0,2267	0,2318	0,1038	0,1763	0,1038	0,1763	0,1738	0,1984
14	61	0,1037	0,1503	0,1513	0,2653	0,3007	0,1646	0,2267	0,2347	0,2267	0,2347	0,1038	0,1803	0,1038	0,1803	0,1738	0,2015
15	63	0,1037	0,1526	0,1513	0,2686	0,3007	0,1671	0,2267	0,2380	0,2267	0,2380	0,1038	0,1847	0,1038	0,1847	0,1738	0,2048
16	65	0,1032	0,1228	0,1540	0,2444	0,2961	0,1342	0,2365	0,2170	0,2365	0,2170	0,1027	0,1491	0,1027	0,1491	0,1760	0,1762
17	67	0,1032	0,1245	0,1540	0,2445	0,2961	0,1360	0,2365	0,2168	0,2365	0,2168	0,1027	0,1491	0,1027	0,1491	0,1760	0,1767
18	69	0,1032	0,1261	0,1540	0,2448	0,2961	0,1377	0,2365	0,2169	0,2365	0,2169	0,1027	0,1495	0,1027	0,1495	0,1760	0,1773
19	71	0,1032	0,1283	0,1540	0,2453	0,2961	0,1399	0,2365	0,2171	0,2365	0,2171	0,1027	0,1503	0,1027	0,1503	0,1760	0,1783
20	77	0,1032	0,1458	0,1540	0,2591	0,2961	0,1593	0,2365	0,2287	0,2365	0,2287	0,1027	0,1716	0,1027	0,1716	0,1760	0,1950
21	79	0,1032	0,1482	0,1540	0,2624	0,2961	0,1622	0,2365	0,2318	0,2365	0,2318	0,1027	0,1763	0,1027	0,1763	0,1760	0,1984
22	90	0,1032	0,1503	0,1540	0,2653	0,2961	0,1646	0,2365	0,2347	0,2365	0,2347	0,1027	0,1803	0,1027	0,1803	0,1760	0,2015
23	91	0,1040	0,1458	0,1498	0,2591	0,3036	0,1593	0,2203	0,2287	0,2203	0,2287	0,1046	0,1716	0,1046	0,1716	0,1725	0,1950
24	93	0,1032	0,1299	0,1540	0,2459	0,2961	0,1416	0,2365	0,2175	0,2365	0,2175	0,1027	0,1512	0,1027	0,1512	0,1760	0,1792
25	99	0,1040	0,1482	0,1498	0,2624	0,3036	0,1622	0,2203	0,2318	0,2203	0,2318	0,1046	0,1763	0,1046	0,1763	0,1725	0,1984
26	107	0,1032	0,1441	0,1540	0,2570	0,2961	0,1573	0,2365	0,2268	0,2365	0,2268	0,1027	0,1685	0,1027	0,1685	0,1760	0,1927
27	115	0,1032	0,1526	0,1540	0,2686	0,2961	0,1671	0,2365	0,2380	0,2365	0,2380	0,1027	0,1847	0,1027	0,1847	0,1760	0,2048
28	402	0,1040	0,1503	0,1498	0,2653	0,3036	0,1646	0,2203	0,2347	0,2203	0,2347	0,1046	0,1803	0,1046	0,1803	0,1725	0,2015

Tabella 4.3- spostamenti isolatori eccentricità 5%

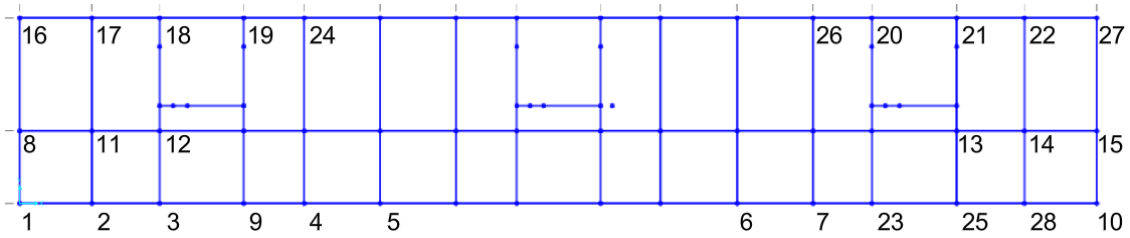


Figura 4.40- numerazione isolatori per spostamenti differenziali

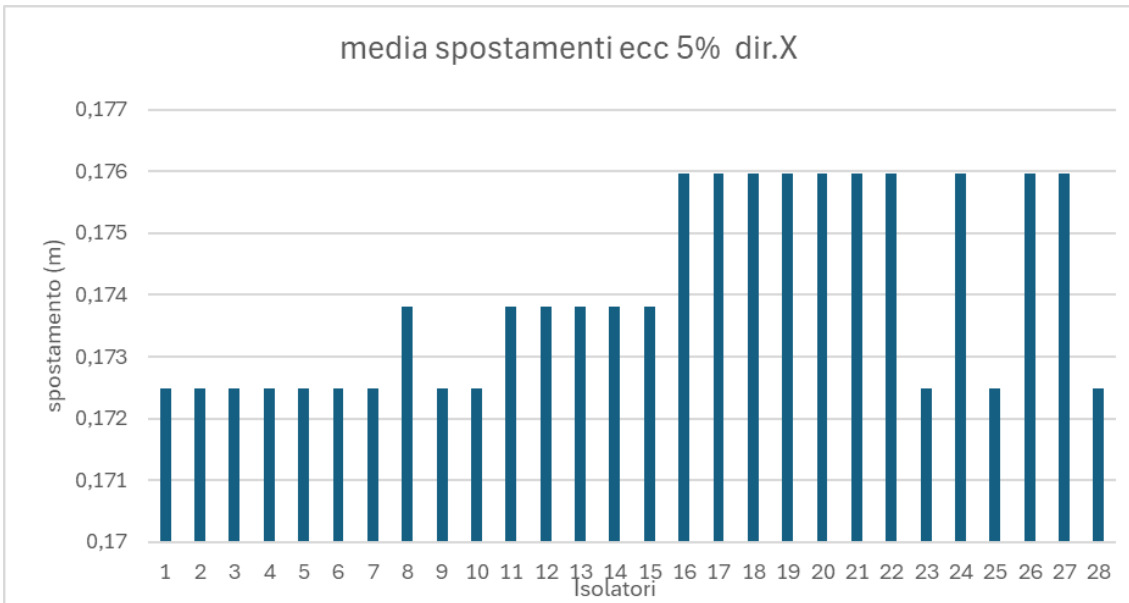


Figura 4.41-spostamento eccentricità 5% direzione X

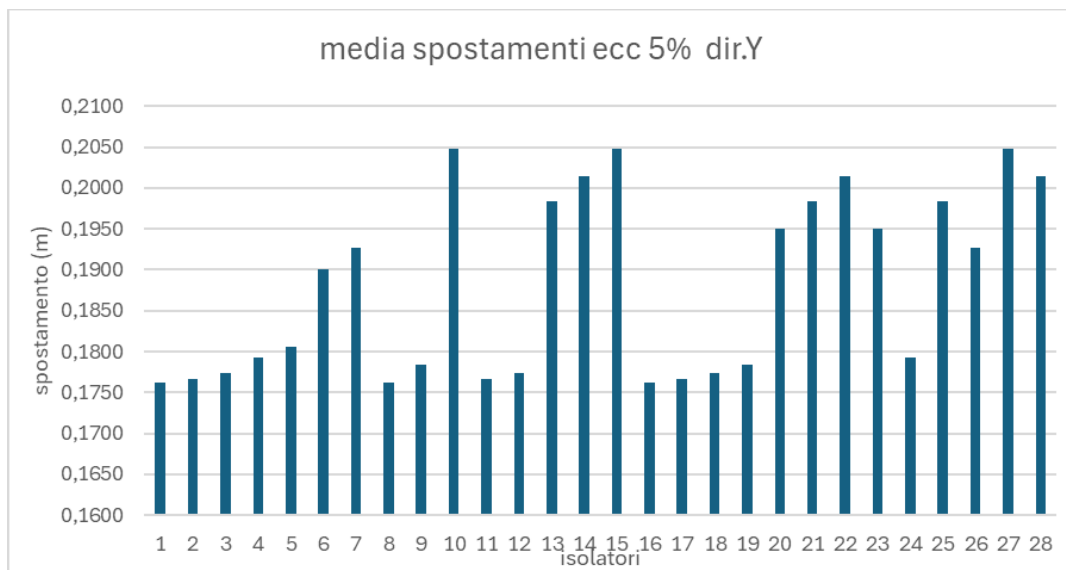


Figura 4.42-spostamento eccentricità 5 %

Mediamente in direzione X l'eccentricità accidentale non induce a degli spostamenti differenziali tra i diversi isolatori dato che si passa da una media di circa 0,17 m a un massimo di media di 0,18 m come si evince dalla Figura 4.38; Dalla tabella 4.3 si nota che nei vari casi di carico ci sono degli spostamenti differenziali anche in direzione X ad esempio nella coppia di accelerogrammi 3 si ha uno spostamento differenziale di circa 2-3 cm .

In ogni caso mediamente in direzione X si ha un differenziale basso dell'ordine di 1 cm, dato che l'effetto della rotazione del lato corto Y risulta essere trascurabile sulla parte lunga.

In Direzione Y invece, dalla Figura 4.42 si nota mediamente un differenziale di spostamenti che va da un minimo di 0,17 m a un massimo di circa 0,21 m quindi un differenziale di circa 3-4 cm dovuto all'effetto della rotazione del lato lungo , infatti hanno uno spostamento maggiore gli isolatori d'angolo ovvero i 28,10,27,10 in riferimento alla Figura 4.40.

In conclusione, con l'eccentricità accidentale del 5% il sistema d'isolamento dimensionato risulta verificato per quanto riguarda lo spostamento e rientra nell'amplificazione in spostamento di 1,20 da norma.

#### **4.5.3- Eccentricità accidentale 10 %**

Allo stesso modo viene valutata l'eccentricità accidentale del 10% per valutare gli spostamenti degli isolatori se incrementano in modo significativo e se l'isolatore precedentemente utilizzato rimanga comunque nel suo range di spostamento.

iso	joint	acc. 1		acc.2		acc.3		acc.4		acc.5		acc.6		acc7		MEDIA	
direzione		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
1	1	0,0920	0,1153	0,1500	0,2426	0,3079	0,1202	0,2128	0,2178	0,1164	0,1718	0,1054	0,1524	0,3133	0,1831	0,1854	0,1719
2	3	0,0920	0,1159	0,1500	0,2402	0,3079	0,1219	0,2128	0,2156	0,1164	0,1719	0,1054	0,1483	0,3133	0,1855	0,1854	0,1713
3	5	0,0920	0,1170	0,1500	0,2384	0,3079	0,1239	0,2128	0,2139	0,1164	0,1721	0,1054	0,1451	0,3133	0,1881	0,1854	0,1712
4	9	0,0920	0,1214	0,1500	0,2362	0,3079	0,1293	0,2128	0,2116	0,1164	0,1727	0,1054	0,1410	0,3133	0,1950	0,1854	0,1724
5	11	0,0920	0,1249	0,1500	0,2362	0,3079	0,1327	0,2128	0,2111	0,1164	0,1730	0,1054	0,1405	0,3133	0,1993	0,1854	0,1739
6	21	0,0920	0,1450	0,1500	0,2483	0,3079	0,1530	0,2128	0,2201	0,1164	0,1750	0,1054	0,1580	0,3133	0,2262	0,1854	0,1894
7	23	0,0920	0,1495	0,1500	0,2540	0,3079	0,1581	0,2128	0,2252	0,1164	0,1872	0,1054	0,1657	0,3133	0,2330	0,1854	0,1961
8	25	0,0970	0,1153	0,1521	0,2426	0,3022	0,1202	0,2240	0,2178	0,1167	0,1718	0,1062	0,1524	0,3057	0,1831	0,1863	0,1719
9	29	0,0920	0,1192	0,1500	0,2368	0,3079	0,1268	0,2128	0,2123	0,1164	0,1724	0,1054	0,1422	0,3133	0,1919	0,1854	0,1717
10	33	0,0920	0,1668	0,1500	0,2837	0,3079	0,1781	0,2128	0,2550	0,1164	0,2421	0,1054	0,2023	0,3133	0,2604	0,1854	0,2269
11	35	0,0970	0,1159	0,1521	0,2402	0,3022	0,1219	0,2240	0,2156	0,1167	0,1719	0,1062	0,1483	0,3057	0,1855	0,1863	0,1713
12	37	0,0970	0,1170	0,1521	0,2384	0,3022	0,1239	0,2240	0,2139	0,1167	0,1721	0,1062	0,1451	0,3057	0,1881	0,1863	0,1712
13	59	0,0970	0,1581	0,1521	0,2675	0,3022	0,1680	0,2240	0,2382	0,1167	0,2144	0,1062	0,1830	0,3057	0,2465	0,1863	0,2108
14	61	0,0970	0,1624	0,1521	0,2751	0,3022	0,1729	0,2240	0,2458	0,1167	0,2278	0,1062	0,1922	0,3057	0,2532	0,1863	0,2185
15	63	0,0970	0,1668	0,1521	0,2837	0,3022	0,1781	0,2240	0,2550	0,1167	0,2421	0,1062	0,2023	0,3057	0,2604	0,1863	0,2269
16	65	0,1048	0,1153	0,1577	0,2426	0,2934	0,1202	0,2415	0,2178	0,1172	0,1718	0,1113	0,1524	0,2941	0,1831	0,1886	0,1719
17	67	0,1048	0,1159	0,1577	0,2402	0,2934	0,1219	0,2415	0,2156	0,1172	0,1719	0,1113	0,1483	0,2941	0,1855	0,1886	0,1713
18	69	0,1048	0,1170	0,1577	0,2384	0,2934	0,1239	0,2415	0,2139	0,1172	0,1721	0,1113	0,1451	0,2941	0,1881	0,1886	0,1712
19	71	0,1048	0,1192	0,1577	0,2368	0,2934	0,1268	0,2415	0,2123	0,1172	0,1724	0,1113	0,1422	0,2941	0,1919	0,1886	0,1717
20	77	0,1048	0,1530	0,1577	0,2591	0,2934	0,1621	0,2415	0,2301	0,1172	0,1983	0,1113	0,1725	0,2941	0,2385	0,1886	0,2019
21	79	0,1048	0,1581	0,1577	0,2675	0,2934	0,1680	0,2415	0,2382	0,1172	0,2144	0,1113	0,1830	0,2941	0,2465	0,1886	0,2108
22	90	0,1048	0,1624	0,1577	0,2751	0,2934	0,1729	0,2415	0,2458	0,1172	0,2278	0,1113	0,1922	0,2941	0,2532	0,1886	0,2185
23	91	0,0920	0,1530	0,1500	0,2591	0,3079	0,1621	0,2128	0,2301	0,1164	0,1983	0,1054	0,1725	0,3133	0,2385	0,1854	0,2019
24	93	0,1048	0,1214	0,1577	0,2362	0,2934	0,1293	0,2415	0,2116	0,1172	0,1727	0,1113	0,1410	0,2941	0,1950	0,1886	0,1724
25	99	0,0920	0,1581	0,1500	0,2675	0,3079	0,1680	0,2128	0,2382	0,1164	0,2144	0,1054	0,1830	0,3133	0,2465	0,1854	0,2108
26	107	0,1048	0,1495	0,1577	0,2540	0,2934	0,1581	0,2415	0,2252	0,1172	0,1872	0,1113	0,1657	0,2941	0,2330	0,1886	0,1961
27	115	0,1048	0,1668	0,1577	0,2837	0,2934	0,1781	0,2415	0,2550	0,1172	0,2421	0,1113	0,2023	0,2941	0,2604	0,1886	0,2269
28	402	0,0920	0,1624	0,1500	0,2751	0,3079	0,1729	0,2128	0,2458	0,1164	0,2278	0,1054	0,1922	0,3133	0,2532	0,1854	0,2185

Tabella 4.4-spostamenti isolatori eccentricità 10%

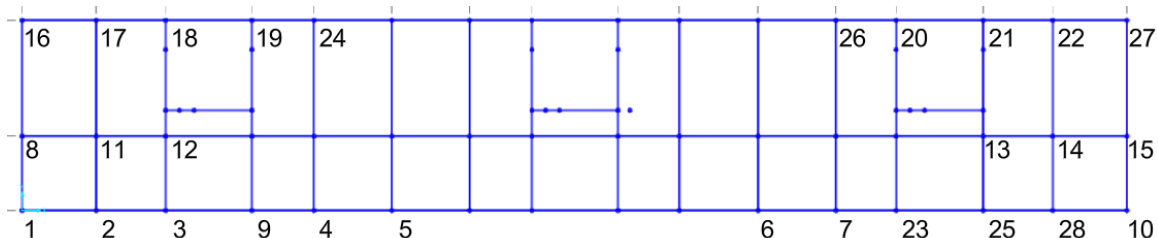


Figura 4.43- numerazione isolatori per spostamenti differenziali

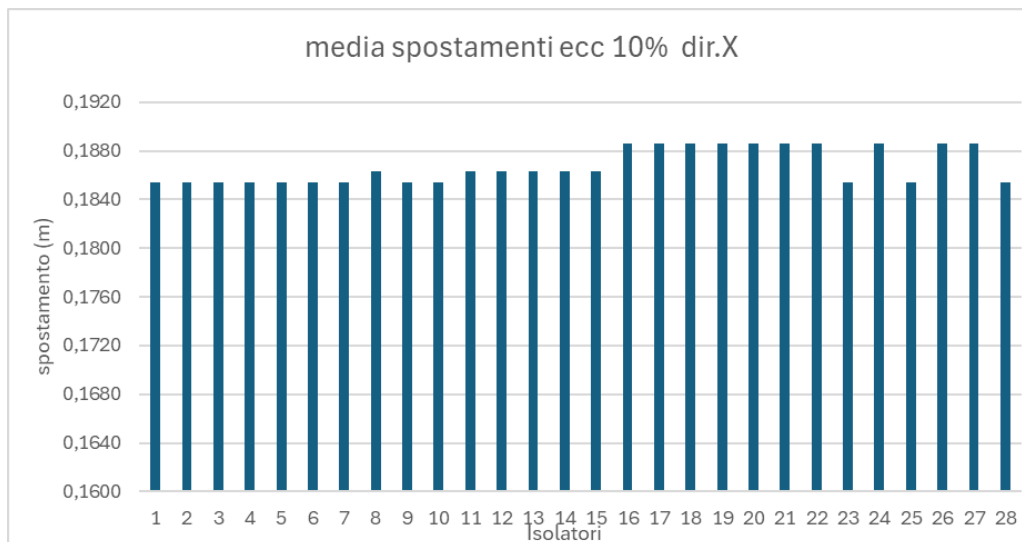


Figura 4.44-spostamento X 10% eccentricità

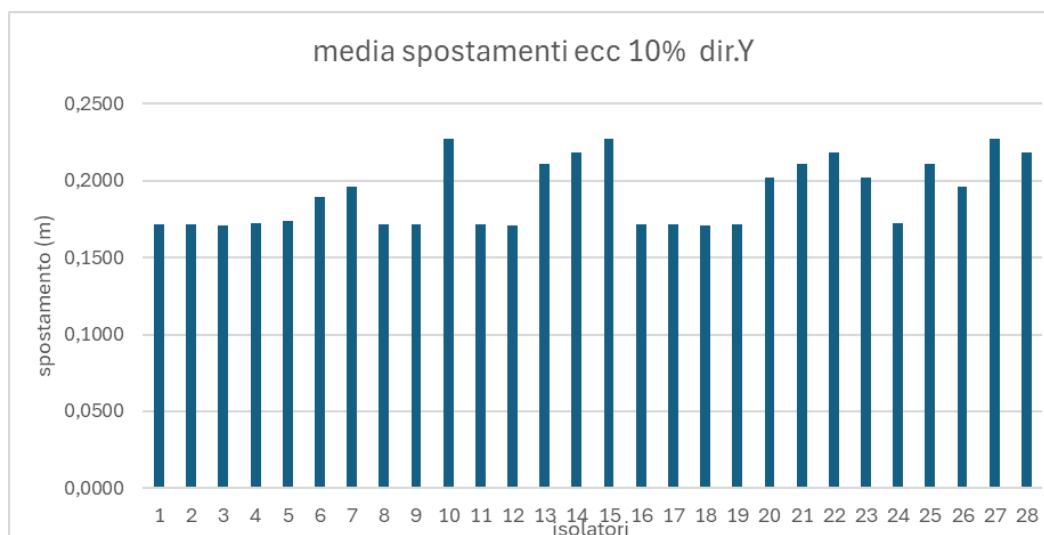


Figura 4.45-spostamento Y eccentricità 10 %

Come nel caso di eccentricità del 5% anche in questo caso si evince che in direzione X si ha un differenziale basso dell'ordine del cm, dato che l'effetto della rotazione del lato corto Y risulta essere trascurabile sulla parte lunga.

In Direzione Y invece, dalla Figura 4.45 si nota mediamente un differenziale di spostamenti che va da un minimo di 0,17 m a un massimo di circa 0,23 m quindi un differenziale di circa 5-6 cm dovuto all'effetto della rotazione del lato lungo, infatti hanno uno spostamento maggiore gli isolatori d'angolo ovvero i 28,10,27,10 in riferimento alla Figura 4.43.

Si ha quindi, che il sistema di isolamento ibrido precedentemente dimensionato , con isolatori SI-N600/152 con uno spostamento di 300 mm e le slitte VM250/600/600 con spostamento multidirezionale di 300mm risultano adatti all'edificio in esame.

## 5. Conclusioni

L'isolamento sismico risulta essere una tecnica funzionale per la protezione e prevenzione sismica. La progettazione risulta semplice e intuitiva ma richiede particolari accorgimenti per edifici con geometrie particolari, come ad esempio edifici particolarmente snelli o irregolari in pianta. In relazione a quest'ultima tipologia una buona progettazione dell'isolamento si ha quando il CM dell'edificio è prossimo al CR del sistema di isolamento e quando quest'ultimo ha anche una buona rigidità torsionale per evitare spostamenti differenziali tra gli isolatori. La configurazione più adeguata è quella che prevede la disposizione degli isolatori perimetralmente in pianta e le slitte all'interno, così da conferire una buona rigidità torsionale ed avere allo stesso tempo un periodo di isolamento abbastanza elevato.

In questo lavoro di tesi inizialmente è stata modellata la struttura a base fissa valutando anche il l'importante contributo in rigidità delle tamponature. Poi è stato dimensionato il sistema di isolamento in funzione della massa totale dell'edificio e del periodo dell'edificio a base fissa. Si sono disposti quindi, gli isolatori nella struttura come sopra descritto e in modo da ottenere un periodo di isolamento di almeno 2,5s.

Si è proceduto quindi alla modellazione del sistema di isolamento e all'analisi dinamica lineare con spettro risposta da norma. In particolar modo sono stati analizzati 3 casi: uno con eccentricità accidentale nulla, uno con il 5% e infine uno con il 10 %. In questo tipo di analisi l'eccentricità accidentale viene impostata direttamente dal programma di calcolo.

Successivamente, al fine di verificare i risultati delle analisi lineari, è stata fatta l'analisi dinamica non lineare con accelerogrammi. In questo caso le eccentricità accidentali sono inserite manualmente spostando il CM per ogni piano.

In sintesi, i risultati fanno capire che, considerando un sistema di isolamento torsionalmente rigido, anche con grandi eccentricità accidentali l'amplificazione degli spostamenti rientrano nel coefficiente 1,2 come da letteratura. Ovviamente se si progettasse un sistema di isolamento non sufficientemente rigido torsionalmente il coefficiente da letteratura non sarebbe adeguato e andrebbe stimato imponendo le eccentricità ai specifici modelli.

Inoltre, i risultati hanno messo in evidenza che la maggiore amplificazione degli spostamenti degli isolatori si ha in direzione Y (parallela al lato corto dell'edificio) a causa della rotazione del lato lungo dell'edificio. Mentre le amplificazioni degli spostamenti nella direzione X (parallela al lato lungo) sono trascurabili in quanto dovute alla rotazione del lato corto. Il coefficiente 1.2 copre quindi anche la situazione di edifici allungati e risulta a favore di sicurezza nel caso l'edificio non rientri in tale tipologia.

I risultati hanno inoltre evidenziato che i risultati dell'analisi dinamica lineare e quelli medi dell'analisi dinamica non lineare (time history) sono molto simili (per la tipologia di isolamento alla base considerata), anche in presenza di eccentricità accidentali (nonostante la diversa modalità di inserimento). Con le analisi non lineari, tuttavia, è possibile avere una stima sia degli spostamenti che delle accelerazioni della sovrastruttura, che, come prevedibile, sono risultati molto bassi.

Quindi in conclusione le due tipologie di analisi sono egualmente soddisfacenti per verificare e progettare un sistema di isolamento alla base, anche di edifici con irregolarità in pianta dovute a piccole eccentricità accidentali e il coefficiente amplificativo di 1.2 sembra adeguato anche a coprire gli effetti di tale eccentricità anche nel caso di edifici particolarmente allungati.

## 6. Bibliografia e sitografia

- **Progetto antisismico di edifici in Cemento Armato-** E. Cosenza, G. Maddaloni, G. Magliulo, M. Pecce, R. Ramasco.
- **Edifici antisismici in Cemento armato-** progettare secondo le indicazioni delle nuove normative- Aurelio Ghersi, Pietro Lenza.
- **Progetto di Edifici con Isolamento Sismico-** M. Dolce, D.Cardone, F.C. Ponzo, A. Di Cesare
- **ESM Rexel Web** <https://esm-db.eu/#/rexel>