



Isolare conviene: valutazioni su un edificio di nuova costruzione

Il confronto in termini di costi di costruzione tra due soluzioni strutturali, l'una a base fissa e l'altra con isolamento sismico, per la realizzazione di un edificio di uso plurimo in Avezzano, caratterizzato da complessità distributiva in pianta ed in elevazione, ha mostrato un sensibile vantaggio economico nella realizzazione della seconda rispetto alla prima. Ciò va ad aggiungersi al superiore livello di prestazione offerto nei confronti del sisma della struttura con isolamento sismico che, pertanto, può conseguire un superiore valore di mercato

DOI 10.12910/EAI2015-086

■ W. Bellotta, F. Amatilli

Introduzione

Le nuove Norme Tecniche NTC 2008 prevedono che le strutture si possano proteggere dagli effetti distruttivi dei terremoti per mezzo della loro duttilità, ovvero della capacità di subire estese deformazioni plastiche, quindi dissipando energia, senza crollare. Il meccanismo di protezione dal collasso, finalizzato alla salvaguardia delle vite, comporta quindi la possibilità di un rilevante danneggiamento strutturale. Al fine di limitare o addirittura azzerare i danni alle strutture causati dai terremoti si possono introdurre sistemi di dissipazione dell'energia alla struttura, che, limitando l'intervento della struttura stessa nella dissipazione, la preservano dal danneggiamento. Una tecnica alternativa, finalizzata alla riduzione delle azioni sismiche sulla struttura, è l'isolamento sismico alla base; questo viene realizzato interponendo tra suolo e struttura gli isolatori in grado filtrare l'energia sismica, limitando quindi le azioni sulla struttura che, sotto l'azione di terremoti rilevanti, si muoverà sostanzialmente rigidamente. L'impiego dei sistemi di isolamento sismico alla base consente quindi di progettare la struttura per

resistere a modesti terremoti, e questo implica una riduzione dei costi; ma al contempo si ha il costo aggiuntivo del sistema di isolamento e dei sistemi di connessione funzionale della struttura all'esterno (linee idriche, elettriche, gas ecc.). Nella presente memoria si descrive il progetto di un edificio di uso plurimo di 5 piani, con struttura in cemento armato da realizzarsi in Avezzano. La scelta dell'intervento di isolamento alla base è una specifica richiesta della committenza per offrire sul mercato immobiliare un prodotto ad elevatissima sicurezza antisismica; al contempo è stato verificato, come verrà mostrato nel seguito un indubbio vantaggio economico sui costi di realizzazione; infatti una struttura equivalente in c.a. a base fissa avrebbe un costo maggiore a causa delle particolari condizioni plano-volumetriche e urbanistiche da rispettare.

Considerazioni generali

Caratteristiche architettoniche, distributive, strutturali

L'edificio di uso commerciale – residenziale – uffici dovrà sorgere in via Falcone di Avezzano. La particolare conformazione del lotto, unitamente ai vincoli imposti dalla presenza a confine di un edificio, e l'obbligo di realizzare

Contact person: Walter Bellotta
w.bellotta@alice.it



una piastra per parcheggi al piano seminterrato hanno imposto una configurazione planovolumetrica dell'edificio complessa in pianta ed in elevazione che incide sulla risposta sismica dell'edificio. Nella impostazione della progettazione architettonica e strutturale preliminare, si sono previste strutture portanti di elevazione da realizzarsi con telai in cemento armato nelle due direzioni principali per 4 piani fuori terra più un piano interrato; solai di piano in latero-cemento di spessore $H = 20 + 5$ cm; altezza media di interpiano pari a 3,00 m; superficie lorda coperta di mq 440, con pianta approssimativamente rettangolare al piano seminterrato ed al piano primo; al piano secondo ed ai piani terzo e quarto sono presenti significative rastremazioni in pianta ed interruzioni in altezza che comportano una configurazione complessa del fabbricato come si evince dalla Figura 1. Per la realizzazione delle strutture in cemento armato si prevede l'impiego di calcestruzzo classe C1 25/30 ed acciaio B450C. In conseguenza della distribuzione architettonica in pianta e in elevazione, l'edificio presenta spiccate irregolarità che rendono problematica la realizzazione di una struttura a base fissa in grado di soddisfare i requisiti di normativa a costi ordinari di mercato. Si è sviluppata una valutazione comparata di due distinte tipologie strutturali, l'una a base fissa, l'altra con isolamento alla base, per verificare la incidenza e le eventuali economie sui costi di realizzazione di un sistema di isolamento alla base.

Caratteristiche geologiche e geotecniche dell'area di sedime

La località interessata dall'intervento edilizio presenta una stratigrafia geologica impostata sui sedimenti ghiaiosi e limoargillosi tardo-pleistocenici e olocenici di facies fluviale-deltizia, deposti dai corsi d'acqua che dalle zone più elevate scendevano verso l'antico lago del Fucino. La presenza del lago stesso ha comportato l'instaurarsi di vari cicli sedimentari legati all'alternanza delle diverse fasi di stazionamento della superficie lacustre. Le prove sismiche effettuate in sito (MASW) hanno stimato una velocità delle onde S nei primi 30 m di terreno pari a $V_{S30} = 399$ m/s classificando il suolo come categoria "B". Le indagini con misure del microtremore sismico, condotte in prossimità del sito di sedime, evidenziano un significativo picco di amplificazione delle onde sismiche in corrispondenza delle frequenze $f_0 = 0,9$ Hz cau-



FIGURA 1 Rendering progetto architettonico

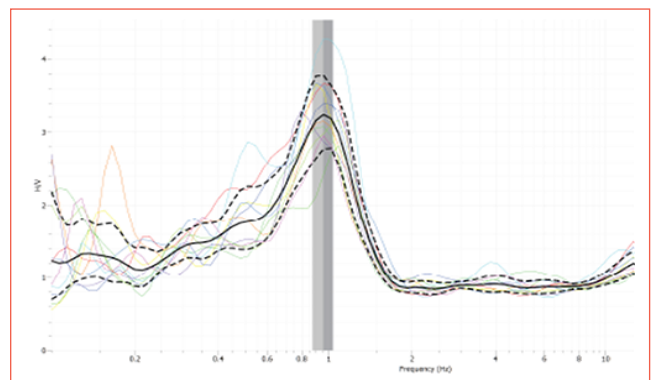


FIGURA 2 Rapporto spettrale H/V e frequenza risonanza

sato da una probabile inversione delle velocità delle onde di taglio. Tale circostanza ha costituito un elemento primario di riferimento nella scelta del periodo T del sistema si isolamento.

Pericolosità sismica del sito

La pericolosità sismica del sito è stata definita attraverso gli spettri elastici di risposta in accelerazione e spostamento e di accelerogrammi spettro-compatibili, sulla base delle coordinate geografiche e della identificazione dei parametri di sito (Sottosuolo tipo B, Categoria topografica T1). Si è assunta una destinazione d'uso del fabbricato di Classe II e una vita nominale $V_N = 50$ anni.

Criterio di valutazione e confronto dell'intervento

Nell'intento di porre a confronto i vantaggi e gli svantaggi connessi all'impiego dell'isolamento sismico quale strategia di difesa contro gli eventi di sismici è stata effettuata una progettazione in parallelo di due strutture portanti, avendo come dato di partenza comune il progetto architettonico. Istituire un confronto fra due strutture sostanzialmente diverse non è cosa facile perché il confronto stesso rischia di perdere efficacia qualora non sia garantito un sufficiente grado di oggettività. Per tale motivo si è individuata una tipologia strutturale omogenea tra le due soluzioni individuate. La prima progettazione prevede la realizzazione di struttura a telaio in c.a. e pareti del vano ascensore di tipo tradizionale; la seconda prevede la medesima struttura a telaio con l'inserimento, sulla testa dei pilastri al piano seminterrato, di isolatori.

Progettazione struttura a base fissa

La struttura a base fissa è stata impostata prevedendo telai in c.a. nelle due direzioni principali e considerando la presenza delle pareti in c.a. che costituiscono il vano ascensore. I pilastri sono disposti secondo la maglia strutturale prevista nel progetto preliminare per necessità architettoniche e distributive interne. Al primo livello essi sono incastrati a una maglia di travi rovesce a T ortogonali, che costituisce il sistema di fondazione, di sezione 50x110 cm. Le travi di elevazione sono di sezione 40x60 cm e 40x40 cm a tutti i livelli. I pilastri presentano sezioni variabili da 40x70 cm al primo livello fino a 30x60 cm all'ultimo ordine. Si è condotta una preliminare procedura di tipo iterativo per il corretto predimensionamento ed orientamento degli elementi resistenti prin-

BARICENTRI MASSE E RIGIDENZE														
IDENTIFICATORE		BARICENTRI MASSE E RIGIDENZE							RIGIDENZE FLESSIONALI E TORSIONALI					
PIANO N,ro	QUOTA (m)	PESO (kN)	XG (m)	YG (m)	XR (m)	YR (m)	DX (m)	DY (m)	Lpianta	B pianta	Rig, FleX	Rig, FleY	Rig. Tors.	r / Is
									(m)	(m)	(kN*m)	(kN*m)	(kN*m)	/RigFle
1	3	5138,73	9,2	11,64	8,32	10,2	-0,88	-1,44	23,85	18,5	324415	362659	29101330	1,03
2	6,5	5123,71	10,07	11,45	8,18	10,09	-1,89	-1,36	23,85	19,5	121889	130138	9797846	0,98
3	9,56	2842,5	10,02	6,92	8,36	9,25	-1,65	2,33	23	19,5	94234	97173	6788152	0,96
4	12,5	3482,7	9,55	5,75	8,19	8,1	-1,35	2,35	11,4	19,5	61194	64310	3608655	1,15
5	16,74	929,85	9,1	5,92	8,37	7,71	-0,74	1,79	3,3	19,5	20119	34408	1463328	1,14

TABELLA 1 Baricentri delle masse e rigidezze della struttura a base fissa

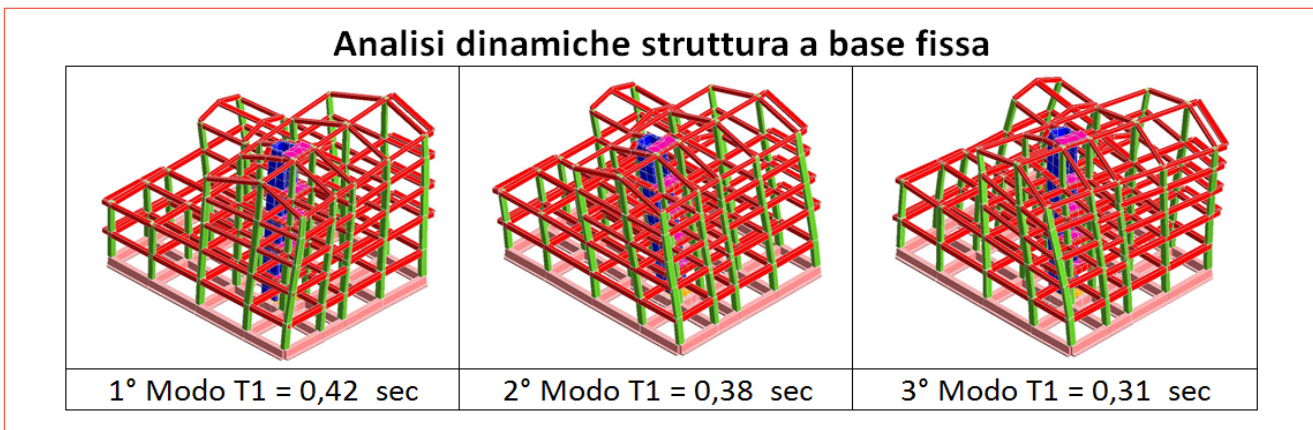


FIGURA 3 Modi di vibrazione

cipali (pilastri) tali da consentire un minimizzazione dei valori di eccentricità di piano tra baricentri masse e rigidzze e con l'intento di conseguire un adeguato valore del rapporto di rigidzza torsionale $r/l_s > 0,8$.

Le analisi dinamiche lineari con spettro di progetto, condotte sul modello 3D a base fissa, hanno messo in evidenza una risposta complessa della struttura, con spiccati accoppiamenti dei modi superiori e forme modali prevalentemente di tipo rotazionale e roto-traslazionale, con percentuali di partecipazione delle masse nelle due direzioni come riportato in Tabella 1. La struttura progettata a base fissa presenta travi e pilastri di sezioni notevoli con elevate percentuali di armatura.

Progettazione struttura a base isolata

Impostazione strutturale

L'intervento di progetto, prevede la utilizzazione di un sistema di protezione passiva mediante l'inserimento di isolamento alla base. L'isolamento sismico consente di disaccoppiare il moto della struttura da quello del terreno e conseguentemente di ridurre le forze sismiche trasmesse alla parte in elevazione (sovrastuttura) mediante incremento del periodo fondamentale.

Il sistema di isolamento è realizzato disponendo in testa ai pilastri del piano interrato isolatori Friction Pendulum della FIP, Mod. FIP-D L 310/600(3700) e FIP-D L 510/600(3700). Gli isolatori sono a doppia curvatura, con raggio di 3700 mm e carico assiale di progetto rispettivamente di $V1 = 1000$ kN e $V2 = 2000$ kN. La scelta di utilizzare due modelli di isolatori con diverso valore del Carico Assiale di Targa

è dettata dalla necessità di tener in conto dei diversi carichi verticali trasmessi in fondazione dalla sovrastruttura che presenta una porzione di 5 piani ed un'altra parte due soli piani di elevazione. La sovrastruttura dell'edificio resta sostanzialmente simile nella tipologia, localizzazione ed orientamento degli elementi strutturali principali (pilastri). Le travi a tutti i livelli e nelle due direzioni principali sono predimensionate con sez. 30x50 cm; i pilastri a tutti i livelli della sovrastruttura sono predimensionati con sezione 30x50 cm. I pilastri del piano cantinato che sostengono gli isolatori presentano una sezione 70x70 cm (capitello 80x80 cm) tale da garantire con ampio margine una rigidezza orizzontale superiore a 20 volte la rigidezza orizzontale degli isolatori, in conformità del punto 7.10.4.3 NTC 2008.

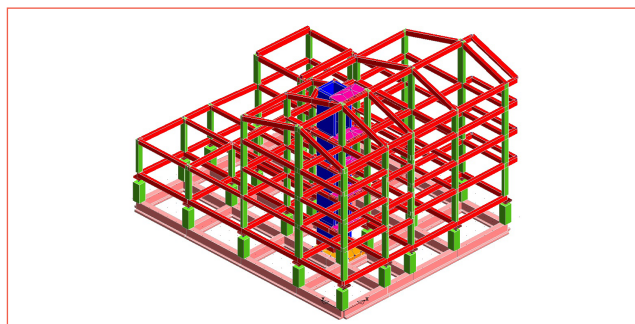


FIGURA 5 Modello 3D della struttura isolata

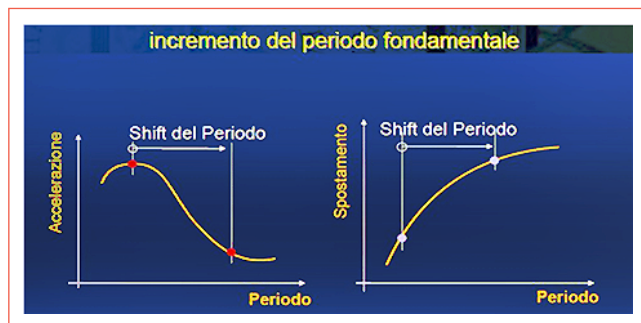


FIGURA 4 Riduzione accelerazione spettrale con aumento periodo struttura

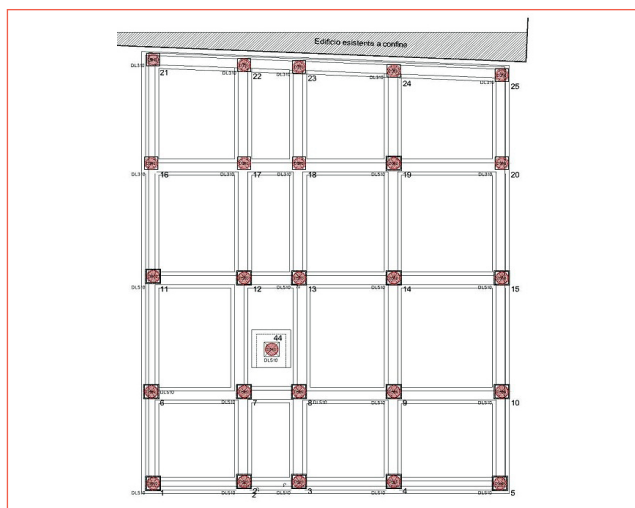


FIGURA 6 Pianta del sistema di isolamento

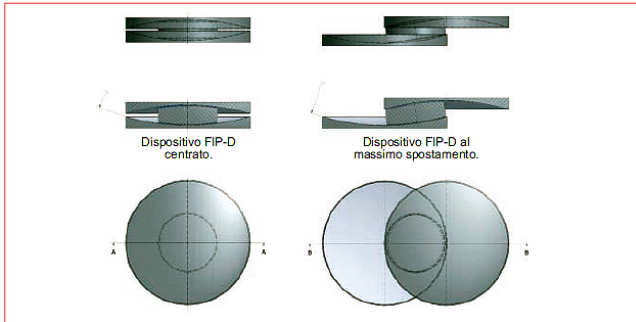


FIGURA 7 Isolatori a doppia curvatura

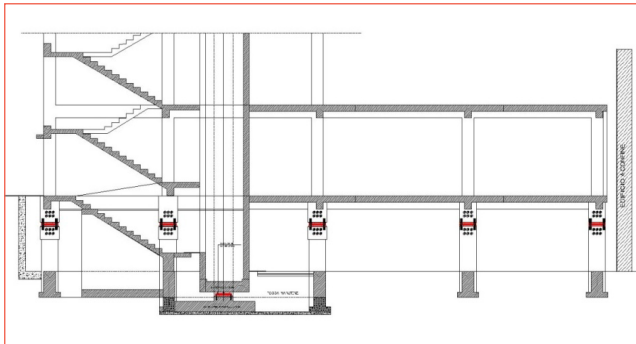


FIGURA 8 Disposizione del sistema di isolamento

Motivi della scelta del sistema FPS e predimensionamento degli isolatori

La estrema irregolarità della struttura sia in elevazione che in pianta comporta eccentricità sensibili ai vari piani tra i baricentri delle masse e delle rigidezze. La presenza di porzioni di edificio con diversi piani di elevazione determina inoltre carichi sugli isolatori differenziati per localizzazione in pianta. Tali condizioni potrebbero risultare di complessa gestione con l'impiego di isolatori in gomma. Per superare tali problematiche si è operata la scelta del sistema di isolamento sismico con isolatori a scorrimento a superficie curva che garantisce la corrispondenza tra baricentro masse e baricentro delle rigidezze del sistema al piano di isolamento, in conseguenza del fatto che la rigidezza orizzontale degli isolatori a pendolo è legata al carico assiale agente al livello dei dispositivi. Una ulteriore considerazione riguarda il fatto che il periodo di isolamento conseguibile con il sistema FPS risulta indipendente dalla massa della sovra-

struttura e legato al raggio di curvatura ed al coefficiente di attrito dinamico della superficie di scorrimento dell'isolatore. Tale condizione consente maggiore libertà di scelta del periodo di isolamento target, anche in considerazione delle problematiche emerse sulle frequenze di risonanza del sito che presenta un periodo di risonanza pari a $T_0 = 1,1$ sec ($f_0 = 0,9$ Hz). Questa condizione induce a ricercare un sistema di isolamento che consenta un significativo gap tra il periodo naturale della struttura isolata e il 1° periodo di risonanza del terreno. La ricerca di periodi $T > 2,5$ sec consente di scongiurare ogni possibile effetto di amplificazione locale legato a fenomeni di risonanza. Il valore del Periodo del 1° Modo di vibrare della struttura a base fissa è pari a $T_f = 0,42$ sec. La scelta di un periodo $T_{is} > 2,5$ sec. del sistema di isolamento consente inoltre di ottenere un elevato valore dell'Indice di isolamento pari a: $I_s = 2,5 / 0,42 = 5,9 \gg 3$ che garantisce da ogni possibile accoppiamento dei modi superiori. Assunto un modello bilineare rigido-plastico incrudente del legame costitutivo degli isolatori con azione assiale costante per carichi semipermanenti, si definiscono le grandezze del sistema di isolamento coefficiente di attrito statico, coefficiente attrito dinamico, raggio della superficie di scorrimento, sulla base dei prodotti in commercio e si svolge un predimensionamento degli isolatori.

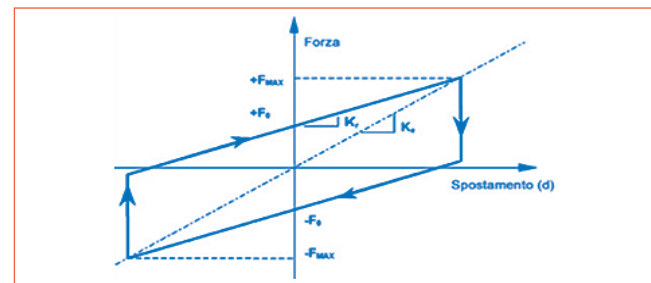


FIGURA 9 Modello bilineare Forza-Spostamento con azione assiale costante

Periodo isolatore	$T = 2 * \pi * \text{SQR}(R/g) =$	T	3,86	sec
Rigidezza secante	$K_{eff} = N * (1/R + \mu / dc)$	Keff	0,49	kN/mm
Smorzamento viscoso equivalente	$\xi = 2 * \mu / \pi * (\mu + d/R)$	ξ_{eq}	28,7%	%
Periodo secante allo spost.progetto	$T_{eff} = 2 * \pi * \text{SQR}(V/K_{eff} * g)$	Teff	2,86	sec
Spostamento di progetto		$d_{dc} =$	158	mm

TABELLA 2 Parametri di predimensionamento dell'oscillatore secante

Assunto un modello lineare equivalente del sistema bilineare di isolamento, il predimensionamento dei dispositivi di isolamento avviene con procedura iterativa per la ricerca della domanda di spostamento sul sistema di isolamento d_{dc} , e conseguentemente del periodo T_{eff} e dello smorzamento viscoso equivalente ξ_{eq} allo stato limite considerato. I valori ottenuti in tale procedura sono riportati nella Tabella 2.

Definizione del sistema di isolamento nel modello 3D

Si procede alla modellazione della struttura isolata adottando i parametri di catalogo FIP degli isolatori FP utilizzati per il predimensionamento. Il parametro fondamentale del sistema di isolamento con isolatori a scorrimento con superficie curva è rappresentato dal coefficiente di attrito dinamico μ_{din} . Esso è dipendente dalla velocità di scorrimento e dalla pressione tra le superfici di contatto. Per velocità di scorrimento $\dot{u} = 0,2 - 0,4$ m/sec si considera modesta la dipendenza di μ_{din} dalla velocità e, in prima approssimazione, trascurabile (Costantinou 1987, Filiatrault 1997). Il valore del coefficiente di attrito dinamico nel modello 3D di calcolo (SW CDSWIN) è assunto pari a: $\mu_{din} = 2,5 * (N_{Sd}/V)^{-0,8337}$.

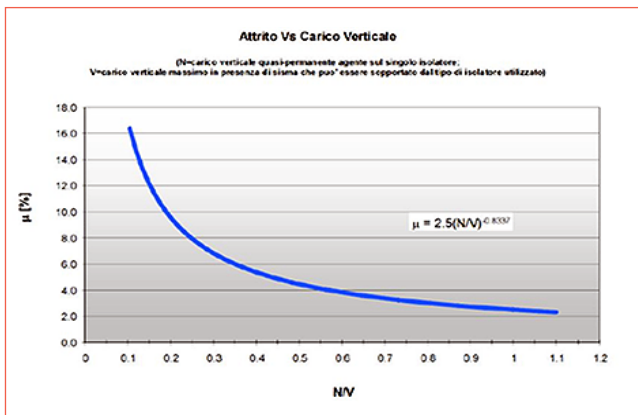


FIGURA 10 Legame coefficiente attrito dinamico vs carico verticale

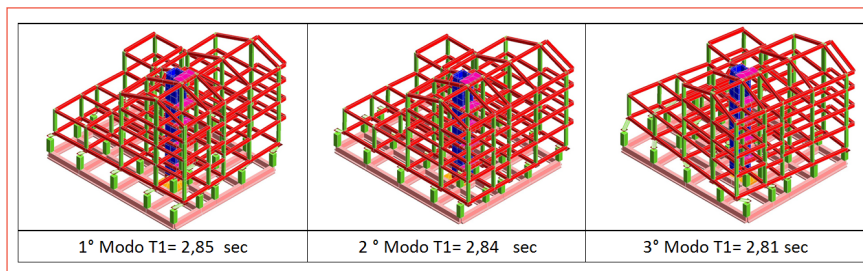


FIGURA 11 Prime 3 forme modali

Periodi e masse partecipanti dell'edificio isolato				
Modo	Periodo T [sec]	Smorz. Mod. [%]	Pecent. Massa Ecc. X-X [%]	Pecent. Massa Ecc. Y-Y [%]
1	2,85	28,6	91,40	0,48
2	2,84	28,9	0,59	99,36
3	2,81	30,8	7,99	0,14

TABELLA 3 Risposta dinamica della struttura isolata

Analisi Dinamica Lineare struttura isolata

Si conducono analisi dinamiche modali con spettri elastici ai diversi Stato Limite. Le prime due forme modali, di tipo puramente traslazionale, presentano una percentuale di massa eccitata superiore al 91% con totale disaccoppiamento dei modi superiori ed una conferma delle ipotesi base del sistema SDOF di isolamento. Le procedure di calcolo della struttura e del sistema di isolamento vengono condotte in riferimento all'art. 7.10 delle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) 2008. Si esegue poi la verifica di ammissibilità della analisi dinamica lineare secondo l'art. 7.10.5.2 e si procede nelle verifiche allo stato limite di collasso del sistema di isolamento controllando che la domanda di spostamento risulti inferiore ai valori di targa degli apparecchi utilizzati.

Condizione primo distacco

Nell'istante che precede l'inizio della fase dinamica di moto per effetto dei sisma, si sviluppa un attrito di 1° distacco μ_{dist} , che può valere $2 * \mu_{din}$ (Bondonet e Filiatrault, 1997). In tale condizione il comportamento della struttura è ancora quello a base fissa con applicata una accelerazione alla base che raggiunge la soglia necessaria a superare il 1° distacco.

Il valore di a_g in tale condizione si ottiene dall'equilibrio delle forze di inerzia mobilitate dalla azione sismica e la forza di attrito di 1° distacco, secondo le espressioni che seguono:

- Forze di inerzia sismiche : $F_h = M_p \cdot a_g + M_e \cdot (a_g \cdot F_o)$
- Forza di attrito 1° distacco : $F_r = F_\mu = \mu_{dist} \cdot W_p$

In condizione di incipiente distacco si determina: $F_\mu = F_h$
 • da cui si ottiene $a_g = W_s \cdot \mu_{dist} / (M_p + M_e \cdot F_o) = 0.051 g$
 Determinata la a_g di attivazione di 1° distacco si è condotta la ulteriore verifica della sovrastruttura con modello equivalente a base fissa, sotto la azione sismica della accelerazione di 1° distacco al piede.

Analisi Dinamica Non Lineare struttura isolata

Il controllo di ammissibilità dell'analisi dinamica lineare non risulta totalmente soddisfatto e si deve procedere con Analisi Dinamica Non Lineare (ADNL). Viene condotta su modello 3D di struttura, con solutore OpenSees. Per le verifiche allo Stato Limite di Collasso (SLC) del sistema di isolamento si procede assumendo come azioni di progetto n° 7 terne di accelerogrammi artificiali spettrocompatibili prodotti dal SW CDSWIN. Nella procedura di ADNL il valore di μ_{din} per ciascun isolatore viene aggiornato ad ogni passo di analisi sulla base delle variazioni istantanee del carico verticale N ottenute dalla procedura di integrazione al passo delle equazioni del moto. Il valore medio del tagliante alla base ottenuto con analisi dinamica non lineare risulta coerente con il valore di taglio alla base ottenuto con analisi dinamica modale. Il controllo di accettazione si considera soddisfatto.

- Tagliante alla base con ADNL > $V_{ADNL} = 135,1 t$
- Tagliante alla base ottenuto con Analisi Dinamica Lineare > $V_{ADL} = 141,1 t$

La domanda di spostamento allo SLC, ottenuta come media dei valori massimi delle 7 Time History di spostamento per ciascun isolatore, risulta sempre uguale o inferiore a: $-dd-max = 102,2 mm$.

Le domande di spostamento massimo allo Stato Limite di Collasso per tutti gli isolatori sono ampiamente entro i valori di targa degli apparecchi di isolamento utilizzati (capacità di spostamento allo SLC: $dc-max = 300 mm$), con elevato margine anche nei confronti delle verifiche di cui all'art. 7.10.6.2.2.

Controlli risultati Analisi Dinamica Non Lineare SLC

(Cicli di isteresi - Traiettorie spost. isolatori)

- Isolatori centrali (isolatore n. 84):
il carico verticale poco variabile determina un percorso di incremento forza-spostamento approssimativamente lineare. Il coefficiente di attrito dinamico $\mu_{din} \approx$ costante nei cicli;
- Isolatori di bordo (isolatore n. 80):
significative variazioni istantanee del carico verticale determinano un percorso di incremento forza-spostamento variabile con più marcato comportamento non-lineare. Il coefficiente di attrito dinamico è variabile a ogni step d'integrazione: $\mu_{din} =$ variabile con N .

Controllo Velocità di Scorrimento Isolatori SLC

La velocità di scorrimento media del sistema di isolamento allo SLC risulta pari a $V_m = 380 mm/sec$, inferiore a valori ritenuti sensibili per surriscaldamento degli apparecchi di isolamento ($V_{max} > 500 mm/sec$) con adeguato margine. La verifica si ritiene soddisfatta.

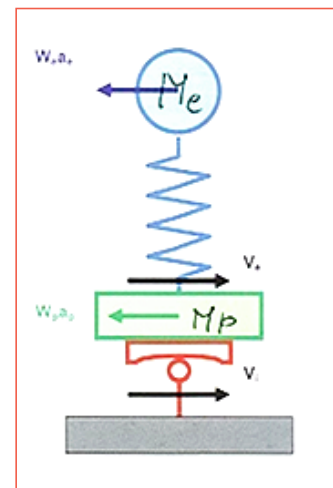


FIGURA 12 Modello oscillatore eq. sistema terreno-isolamento-edificio

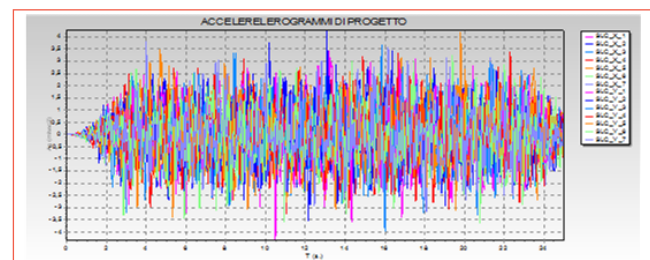


FIGURA 13 Accelerogrammi di progetto spettrocompatibili

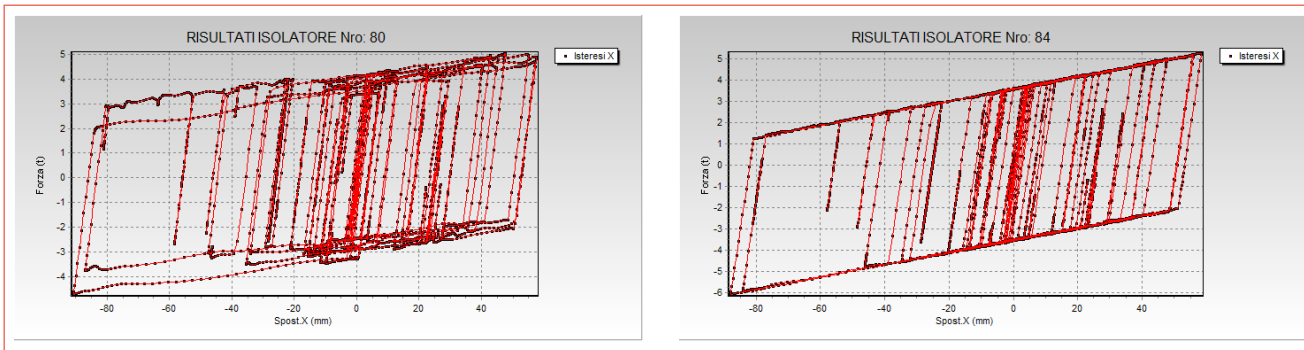


FIGURA 14 Figura 14 Cicli di isteresi X-X degli isolatori n. 80 e n. 84

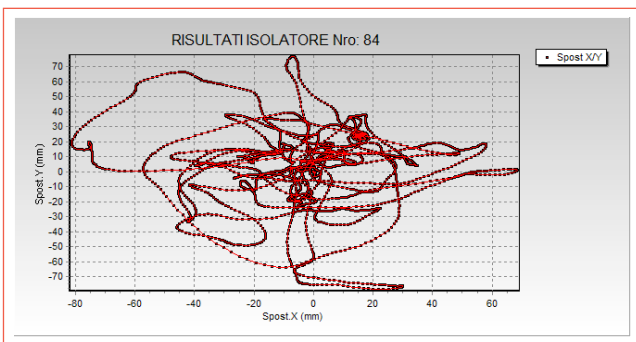


FIGURA 15 Traiettorie di spostamento dell'isolatore n. 84

Struttura a base fissa vs struttura isolata

Confronto geometria delle due strutture esaminate (sezioni ed armature pilastri)

Un primo confronto tra le due strutture esaminate (a base fissa e isolata) può essere condotto esaminando gli esecutivi delle carpenterie realizzati per le due diverse tipologie strutturali. Si ricorda che le strutture di elevazione sono confrontabili come tipologia strutturale (telai in c.a. nelle due direzioni principali e solai in latero-cemento) e come materiali impiegati.

Sono evidenti le differenze tra le due strutture esaminate, sia per quanto riguarda le sezioni (40x70 cm struttura a base fissa, 30x50 cm con struttura isolata) che per le armature.

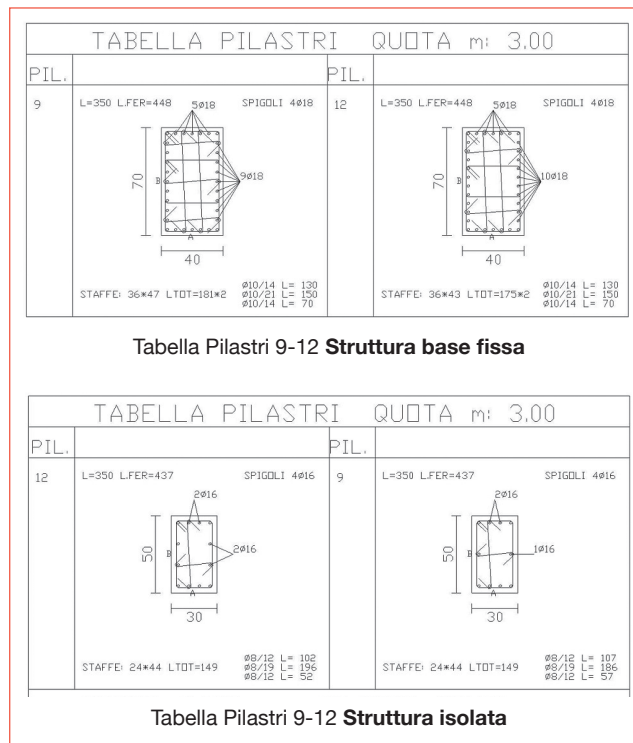


FIGURA 16 Confronto fra carpenterie delle strutture in c.a. a base fissa vs a base isolata

Confronto dei costi di realizzazione

Si sono determinati i costi di realizzazione delle due distinte strutture esaminate (struttura a base fissa e struttura isolata) sviluppando due Computi Metrici estimativi con applicazione dei prezzi unitari ricavati dal Prezziario Ufficiale della Regione Abruzzo.

Computo metrico struttura base fissa - vs struttura isolata						
Materiale	Unità misura	Fissa	Isolata	Differenze quantità	Costi unitari prezziario Regione Abruzzo 2014	Differenza costi realizzazione [euro]
Calcestruzzo	mc	390	329	61	133,53	8,145,33
Armature metalliche	kg	82,367	42,067	40,300	1,54	62,062,00
Casseforme	mq	1,943	1,717	226	27,14	6,133,64
Totale differenza costi struttura [euro]						-76,340,97

TABELLA 4 Differenze dei costi di realizzazione delle due strutture esaminate (struttura a base fissa e struttura isolata) in c.a.

COSTO SISTEMA ISOLAMENTO FPS			
TIPOLOGIE	Costo Unit.	n.	Tot.
ISOLATORI FIP-D L310/600 (3700)	2000,00	9	18.000,00
ISOLATORI FIP-D L510/600 (3700)	2.300,00	17	39.100,00
PROVE ACCETT. ISOLATORI	1.400,00	2	2.800,00
COSTO SISTEMA ISOLAMENTO FPS [Euro]			+ 59.900,00

TABELLA 5 Costi del sistema di isolamento alla base

Nella Tabella 4 si riportano le differenze di quantità e di costi di realizzazione delle due strutture. La struttura a base fissa presenta un costo di realizzazione delle opere in cemento armato superiore di circa 76.300 euro rispetto alle analoghe opere della struttura isolata.

Costo del sistema di isolamento

Si riporta ora il quadro di computo delle strutture di isolamento alla base, sempre sviluppato in applicazione del prezziario della Regione Abruzzo (Tabella 5).

Sottraendo il costo aggiuntivo del sistema di isolamento al risparmio conseguito nella realizzazione delle strutture in c.a. della soluzione con isolamento alla base si ottiene ancora un vantaggio nei costi di realizzazione pari a: Economie complessive str. B. isolata Vs str. B. fissa: $(76.300 - 59.900) = \text{euro } 16.400$.

Conclusioni

Si è operato un confronto in termini di costi di costruzione delle due tipologie strutturali prese in considerazione, l'una a base fissa e l'altra con isolamento alla base, per la realizzazione di un edificio di uso plurimo in Avezzano avente particolari complessità distributiva in pianta ed in elevazione. Si è accertato che si consegue un indubbio vantaggio economico della struttura isolata rispetto alla struttura a base fissa. Si sottolinea il diverso livello di prestazione offerta dalle due strutture nei confronti del sisma ed il superiore valore di mercato conseguibile con una struttura che offre livelli di resistenza improponibili con strutture a base fissa. Inoltre, la sensibile riduzione dei problemi di distribuzione ed architettonici nell'inserimento della struttura a base isolata rispetto a quella a base fissa (maggiori ingombri delle strutture) consente un migliore sfruttamento degli spazi interni. Un'analisi completa dovrebbe tener conto infine anche dei costi di intervento per riparazione ed adeguamento in caso di evento sismico che danneggerebbe sicuramente la struttura a base fissa, secondo le prestazioni richieste per il *performance based design*. ●

Walter Bellotta
Ingegnere in Avezzano

Fabrizio Amatilli
Architetto in Avezzano

abstract

Isolation system is convenient: estimates of a new building

The paper presents the technical and economic comparison between two possible solutions, one with base isolation and the other with a fixed base, for a reinforced concrete building, for civil and commercial use in Avezzano, Italy, characterized by high seismic hazard. The requests of the customer and urban constraints, the presence of an adjacent building, make that the structure has an irregular plan-volumetric layout; then the design of the fixed base structure requires foundations of large size as well as of pillars and beams. By using the design spectrum requested by the Italian Technical Code (NTC 2008), with the following data: $V_{S30}=399$ m/sec, class of use II (ordinary building), life of the structure 50 years (corresponding to a return period equal to 475 years), linear dynamic analysis of 3D model of the structure showed that the natural periods range from 0.42 sec to 0.13 sec, 88% of participating mass, with torsional and torsional-translational modal shapes and strong coupling of the higher modes.

Trying to get a better dynamic behavior of the structure, preserving the geometry, it has been designed by inserting base isolation pendulum devices between foundation and the superstructure. The choice of the pendulum seismic isolation ensures correspondence between the projection of the mass gravity-center and stiffness-center in any operating condition, since the horizontal stiffness is linked to the axial load at the level of the devices. According to Italian Technical Code the structure has been designed as it was located in seismic zone 4 of the previous Code, very low level of seismic hazard, obtaining relevant reduction of the dimension of pillars and beams, with FIP isolators FIP-D L 310/600-3700 and FIP-D L 510/600-3700. Dynamic Linear analysis carried out on base-isolated framed building showed two first translational modal shapes, with periods $T_{is} = 2.85$ sec and mass participation > 91% with total decoupling of the higher modes. The achievement of periods $T > 2.8$ sec allows to avoid any possible effect of local amplification due to soil resonance phenomena.

The costs of building the two structures have been estimated. The fixed base one has a cost higher than the similar base isolated one even considering the additional cost of the isolation system. In addition a higher market value can be achieved with a structure that offers resistance levels unfeasible with the fixed base one. Finally, it is worth to mention that the fixed base structure is exposed to damages in case of earthquake with consequent repair costs and loose of functionality while this is not expected for the base isolated one.

bibliografia

- G. Bondonet, A. Filiatrault, (1997), "Frictional Response of PTFE Sliding Bearings at high frequencies", *Journal of Bridge Engineering*, ASCE, 2(4), 139-148
- Buffarini G., Clemente P., Satta A. (2007), "Isolamento sismico: valutazioni economiche" *Proc. of the XII Convegno Nazionale L'Ingegneria sismica in Italia*, ANIDIS, Rome (in Italian)
- Clemente P. and Buffarini G. (2010), "Base isolation: design and optimization criteria". *SIAPS 1-1(2010)* 17--40. DOI 10.2140/siaps.2010.1.17, Mathematical Science Publisher
- Calvi G.M., Pietra D., Moratti M. (2010). "Criteri per la progettazione di dispositivi di isolamento a pendolo scorrevole". *IUSS Press Progettazione Sismica* n. 3 2010
- Quaglini V., Poggi C. (2009). "Sperimentazione su isolatori a pendolo scorrevole e materiali componenti". *Proc. of the XIII Convegno Nazionale L'Ingegneria sismica in Italia*, ANIDIS, Bologna
- M.C. Constantinou, P. Tsopelas, A. Kasalanati, E. Wolff (1999), "Property Modification Factors for Seismic Isolation Bearings", Technical Rep. No. MCEER-99-0012, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, State Univ. of New York at Buffalo, Buffalo, NY
- Constantinou M.C., Caccese J., Harris H.G., 1987, Frictional characteristic of Teflon-steel interfaces under dynamic conditions. *Earthquake Engineering & Structural Dynamic* 15(6), 751-79