



ADEGUAMENTO SISMICO DI UN COMPLESSO OSPEDALIERO CON L'INSERIMENTO DI ISOLATORI ALLA BASE.

Dott. Ing. Loris De Flaviis^a, Dott. Ing. Stefano Cristini^b, Dott. Ing. Giorgio Giacomini^c

^a Direttore tecnico & CEO, CDV engineering s.r.l., Via Trento 114, 65122, Pescara, Italy

^b CEO, CDV engineering s.r.l., Via Trento 114, 65122, Pescara, Italy

^c Direttore tecnico, G&P intech – Div. Hiron Engineering, Altavilla Vicentina (VI), Italy

Keywords: seismic dissipation, seismic assessments, seismic isolators, hospital buildings, strategic works

ABSTRACT

Adeguamento sismico di un complesso ospedaliero (classe d'uso IV, vita nominale $VN > 100$ anni), realizzato negli anni 1960-70, costituito da 4 corpi di fabbrica con struttura portante in cemento armato ordinario gettato in opera, separati da giunti tecnici non antisismici, ciascuno di 3 piani fuori terra, oltre ad un piano sottotetto ed un seminterrato per un'altezza complessiva di circa 16,00 m. L'ingombro totale in pianta è di circa 1.782 mq. L'adeguamento sismico è stato ottenuto modificando lo schema statico originario, inserendo isolatori alla base a doppia superficie curva. Gli isolatori sono stati dimensionati con analisi di tipo non lineare (time history) con sovrapposizione modale, utilizzando accelerogrammi artificiali spettrocompatibili per ogni stato limite di interesse, ottenendo uno spostamento massimo ammissibile di progetto pari a 400mm. Nello stato di progetto l'edificio risulta adeguato con uno spostamento soddisfatto in tutte le analisi SLC (massimo pari a 344.47 mm e medio pari a 295.44 mm). Sintesi degli interventi: Rinforzo impalcato sottotetto con soletta integrativa in cemento armato, placcaggio travi e pilastri con lamiera e cucitura travi di copertura in corrispondenza dei giunti interni; Platea di fondazione e ringrosso pilastri; Grigliato in acciaio HEA intradosso piano terra; Taglio pilastri e setti con inserimento isolatori sismici in acciaio a doppio pendolo e realizzazione capitelli in c.a.; Incamiciatura pilastri – eliminazione giunti; Rinforzo pilastri-travi in elevazione; Taglio dei setti per completa discontinuità della base isolata; Inserimento giunti antisismici nelle intercapedini perimetrali.

1 INTRODUZIONE

1.1 Descrizione dello stato di fatto

Il fabbricato è sito a Jesi (AN) ed appartiene ad un complesso ospedaliero realizzato negli anni 1960-70, costituito da diversi corpi di fabbrica. Oggetto di tale intervento sono i corpi degenze (D1-D2-D3-D4) separati da giunti tecnici non antisismici e le relative scale A-B-C. Ciascun corpo si sviluppa in 3 piani fuori terra, oltre ad un piano sottotetto ed un seminterrato per un'altezza complessiva di circa 16,00 m. La struttura portante è in cemento armato ordinario gettato in opera.

La localizzazione del sito rientra nella zona di categoria 2 (medio-alta sismicità).

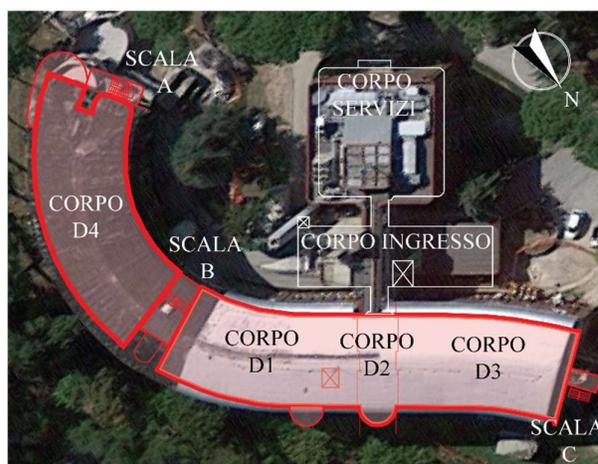


Figure 1 Configurazione corpi di fabbrica del plesso ospedaliero

1.2 Caratteristiche dell'intervento in progetto

Data l'importanza strategica dell'edificio dichiarata dal Committente (classe d'uso IV e vita nominale di 100 anni), si è progettato il completo adeguamento sismico della struttura, in modo che a seguito degli interventi la struttura sia in grado di resistere alle combinazioni delle azioni di progetto contenute nelle vigenti norme con il 100% del grado di sicurezza richiesto dalle stesse. Tutte le verifiche di resistenza e deformabilità dell'edificio, in termini di azioni gravitazionali e sismiche, sia allo stato attuale che allo stato di progetto, hanno mostrato come l'inserimento di isolatori sismici alla base e gli altri interventi previsti in fondazione e in elevazione, si raggiunga l'obiettivo di adeguamento sismico relativo alla classe d'uso richiesta per "costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti".

2 VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA ANTE-OPERAM E INTERVENTI PREVISTI

2.1 Analisi Storico-Critica

La casa di cura privata "VILLA SERENA", costituita da sei corpi di fabbrica separati mediante giunti tecnici sismicamente non efficaci, è stata realizzata in periodi differenti. Negli anni '60 furono realizzati n.3 corpi adibiti ad ambulatori ed alla degenza dei pazienti, n.1 corpo ingresso per il passaggio del personale di soccorso e per l'ingresso dei pazienti e n.1 corpo servizi adibito ad uffici e sale operatorie. Negli '70 fu progettato e realizzato un ampliamento sul lato sud-est adibito ad ambulatorio e alla degenza dei pazienti.

Congiuntamente al nuovo ampliamento, è stato realizzato il corpo scala B adiacente al corpo D1 preesistente, comprensivo di un vano ascensore esterno, di servizio ad entrambi i corpi attigui.

2.2 Rilievo geometrico strutturale

La struttura portante dei diversi corpi di fabbrica costituenti il compendio ospedaliero in oggetto è in conglomerato cementizio armato ordinario; lo stato d'uso risulta essere conseguente ad un normale deterioramento dovuto all'epoca di costruzione. Il sottotetto di ciascun corpo di fabbrica è accessibile per la sola manutenzione degli impianti presenti. In alcuni corpi sono presenti pesanti coperture a tetto con ampi cornicioni a sbalzo in uno stato di elevato degrado,

mentre in altri la copertura è piana con lastre solari.

Dall'esame della documentazione tecnica relativa agli aspetti strutturali emergono delle carenze costruttive rispetto alle norme vigenti, in quanto le norme dell'epoca si riferivano ad un territorio non sismico e non prevedevano particolari accorgimenti relativi alla resistenza delle strutture alle azioni orizzontali.

2.2.1 Corpi D1-D3 (anni '60), D4 (anni '70)

Presentano quattro elevazioni fuori terra a struttura intelaiata ed un seminterrato a struttura intelaiata e pareti controterra. Sono caratterizzati da quattro telai principali a travi fonde e pilastri rettangolari nella direzione longitudinale e dall'assenza di telai della direzione trasversale, ad eccezione delle estremità. I corpi D1-D3 sono caratterizzati dalla dimensione al piano interrato di 40x30 cm nelle file esterne e 40x25 cm in quelle interne per poi ridursi ai piani superiori diventando rispettivamente di 30x30 cm e 30x25 cm alla seconda, alla terza ed alla quarta elevazione e 25x25 cm all'ultima elevazione. Le travi, in corrispondenza del primo solaio, hanno sezione pari a 40x60 cm, mentre la dimensione al secondo, terzo e quarto solaio è di 20x60 cm alle estremità e 20x50 cm nelle file centrali. Le travi in corrispondenza del solaio di copertura risultano essere di 25x50 cm. Il corpo D4 è caratterizzato dalla dimensione dei pilastri al piano interrato di 40x30 cm, 30x30 cm al piano terra, primo e secondo per poi ridursi all'ultimo piano diventando 30x25 cm. Le travi in corrispondenza del primo solaio hanno sezione pari a 30x60 cm, a 20x60 cm al secondo, terzo e quarto solaio, e 25x50 cm in corrispondenza del solaio di copertura. I solai in latero-cemento sono orditi parallelamente alla direzione trasversale dell'edificio, in tutti i corpi di fabbrica di questa sessione.

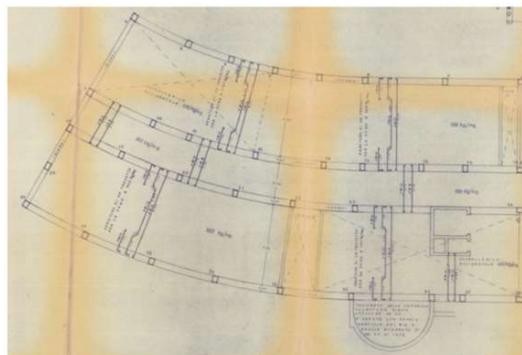


Figure 2 D1 Estratto disegno originale primo solaio

Corpo D2 (anni '60)

Presenta quattro elevazioni fuori terra ed un seminterrato a struttura intelaiata, composta da telai a pilastri rettangolari e travi fonde in direzione y e travi piatte in direzione x. Le sezioni dei pilastri sono costanti per tutte le elevazioni. In pianta ha forma rettangolare di 13x6 m circa, con solai in latero-cemento orditi ortogonalmente alla direzione trasversale dell'edificio.

2.3 Caratterizzazione dei materiali e Livelli di conoscenza

Sono stati caratterizzati i materiali costituenti l'organismo resistente attraverso prove di laboratorio, rilievi, sondaggi e indagini in sito. Sono state condotte le usuali prove di laboratorio sui campioni prelevati eseguendo carotaggi e Sonreb su travi e pilastri e prove di trazione di barre in acciaio. Sulla base delle informazioni acquisite relativamente alla geometria e ai dettagli costruttivi, nonché alle proprietà dei materiali, si può affermare di aver raggiunto il livello di conoscenza LC3 (NTC2008 §C8A.1.B.3 – Circolare 02-02-2009 n. 617), a cui corrisponde il fattore di confidenza $FC = 1.00$ (NTC2008 § C8A.1.B.4 – Circolare 02-02-2009 n. 617).

Le prove meccaniche hanno fornito i seguenti valori medi:

- Corpo D1-D2-D3: per il calcestruzzo $f_m = 14.80$ MPa; per l'acciaio $f_m = 350.00$ MPa.
- Corpo D4: per il calcestruzzo $f_m = 14.80$ MPa; per l'acciaio $f_m = 440.00$ MPa.

2.4 Valutazione della vulnerabilità sismica

Dalla valutazione della vulnerabilità sismica ante-operam si ottiene un indicatore di rischio inferiore al 30%. Tali valori confermano i risultati della precedente verifica di vulnerabilità del 2010.

Gli Indici di Rischio (I_R) in termini di Accelerazione di Picco al Suolo (PGA) o Tempo di Ritorno (TR) hanno restituito i seguenti risultati:

$$I_R(PGA) = 0.229$$

$$I_R(TR) = 0.231$$

Il plesso dimostra, quindi, una elevata sensibilità nei confronti delle azioni orizzontali.

2.5 Interventi previsti

Le analisi effettuate hanno permesso di stabilire quali provvedimenti adottare affinché l'uso della struttura possa essere conforme ai criteri di sicurezza delle NTC2008; si è proceduto con un percorso di consolidamento al fine di eliminare le

carenze e far sviluppare al fabbricato la richiesta resistenza ai carichi orizzontali dovuti al sisma.

Gli interventi progettati sono:

1. Rinforzo impalcato sottotetto;
2. Opere di distacco del corpo di collegamento (tutti i piani tra il "CORPO D2" ed il "CORPO INGRESSO")
3. Opere strutturali "SCALA B" e reparti adiacenti (tutti i piani)
4. Opere preliminari all'inserimento isolatori sismici (demolizioni al piano seminterrato e scavo fino al piano di posa delle fondazioni esistenti)
5. Opere specialistiche per isolamento sismico:
 - Opere speciali per taglio setti scale e nuclei ascensori;
 - Platea di fondazione, ringrosso travi rovesce fondazione esistenti, ricostruzione impalcato piano seminterrato;
 - Ringrosso pilastri prima elevazione;
 - Taglio pilastri prima elevazione in sommità;
 - Fornitura e posa isolatori sismici in acciaio a doppio pendolo, con realizzazione capitelli in c.a.;
 - Grigliato in acciaio di collegamento dei capitelli.
6. Opere strutturali in elevazione (Placcaggi e giunti tecnici)
7. Altri interventi sulle strutture (manutenzione straordinaria elementi in c.a.)

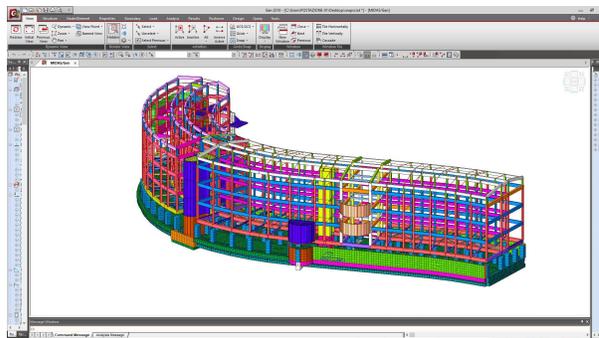


Figure 3 Vista frontale del modello ad elementi finiti

2.6 Modellazione F.E.M.

La modellazione numerica della struttura è stata effettuata il codice di calcolo MIDAS Gen che permette l'analisi anche in campo non lineare integrando le equazioni del moto istante per istante, mentre le verifiche degli elementi strutturali sono state condotte con il software CMP della Namirial.

2.7 Modellazione e analisi sistema di isolamento

Vista la configurazione dei solai si ritiene opportuno considerare gli impalcati in elevazione come piani rigidi, compreso l'impalcato in testa agli isolatori irrigidito da profili in acciaio di collegamento tra i dispositivi. Il piano alla base degli isolatori si è invece considerato non rigido.

La struttura si è vincolata a terra bloccando le traslazioni nel piano orizzontale della platea e delle travi di fondazioni, mentre in direzione verticale si è assunto un coefficiente di Winkler pari a 15 kg/cmc per le fondazioni esistenti e pari a 7 kg/cmc per quelle nuove; le rotazioni non sono state vincolate a terra al fine di poter valutare, oltre i cedimenti verticali, anche eventuali rotazioni delle sottostrutture che potrebbero compromettere il corretto funzionamento degli isolatori.

La nuova platea in c.a. è stata collegata alle travi di fondazioni esistenti mediante elementi "elastic link" al fine di simulare al meglio il reale collegamento realizzato mediante barre spinottate alle travi ad un passo opportuno e riprodotto nel modello di calcolo.

I dispositivi di isolamento sono stati modellati con elementi "general link" di tipo "friction pendulum isolator", previsti da Midas al fine di riprodurre fedelmente il reale comportamento degli isolatori curvi a doppia superficie, mediante l'inserimento dei parametri caratteristici.

3 PARAMETRI SISMICI DI PROGETTO

I parametri necessari alla definizione dello spettro di progetto e dipendenti dal sito geografico, sono stati così definiti:

- Longitudine 13.2 e latitudine 43.5
- Vita nominale $V_N = 100$ anni
- Classe d'uso 4 \rightarrow Coeff. d'uso $c_U = 2.0$
- Categoria di sottosuolo C
- Categoria topografica T2

Tabella 1 Parametri stati limite

STATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C^* [s]
SLO	120	0.100	2.444	0.308
SLD	201	0.126	2.436	0.315
SLV	1898	0.303	2.452	0.340
SLC	2475	0.334	2.452	0.344

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale, legato ai dati geologici di categoria sottosuolo e topografica

come precedentemente definiti. Dalla loro relazione, si ottiene coefficiente:

$$S = S_S * S_T = 1.504 \quad (1)$$

dove S_S è il coefficiente di amplificazione stratigrafica e S_T è il coefficiente di amplificazione topografica.

3.1 Spettri di risposta

In accordo a quanto riportato nelle NTC2008 §7.10.6 si considerano per le verifiche SLU e SLE gli stati limite di salvaguardia della vita e di collasso.

Dagli stati limite considerati:

- SLV con $q=1.5$ per le verifiche SLU delle strutture esistenti della sovrastruttura;
- SLV con $q=1$ per le verifiche SLU della sottostruttura e delle fondazioni e per le verifiche SLE;
- SLC con $q=1$ per le verifiche SLU dei dispositivi di isolamento.

A questi stati limite vengono associati gli spettri elastici corrispondenti dai quali saranno generati accelerogrammi spettrocompatibili.

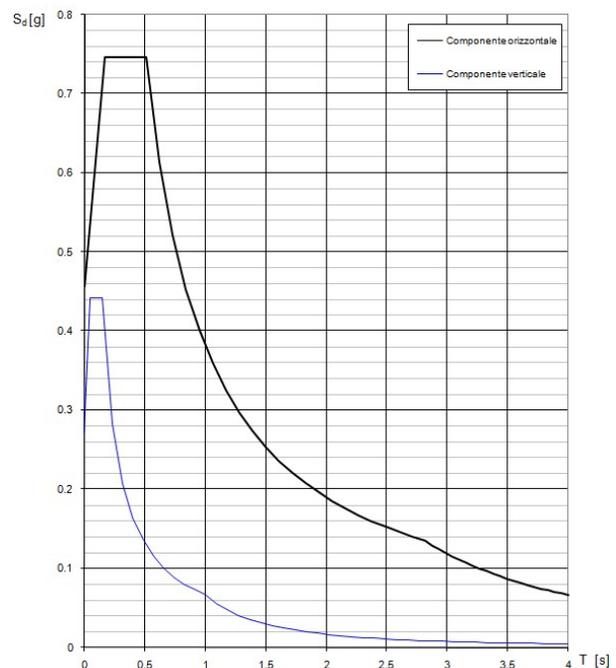


Figure 4 Spettro elastico corrispondente allo stato limite SLV $q=1.5$

3.2 Accelerogrammi per analisi dinamiche non lineari

L'analisi dinamica non lineare è obbligatoria in quanto il sistema di isolamento, costituito da dispositivi a pendolo scorrevole, non può essere rappresentato da un modello lineare equivalente

(NTC2008 §7.3.4.2). In accordo a quanto riportato nelle NTC2008 §3.2.3.6, sono stati generati n.7 accelerogrammi per ogni stato limite di interesse, al fine di poter considerare i valori medi degli effetti più sfavorevoli ottenuti dalle analisi (NTC2008 §7.3.5). Gli accelerogrammi considerati sono artificiali e sono stati generati mediante il software SIMQKE_GR 2.7 del prof. Gelfi, interfacciato con il codice di calcolo SIMQKE-1 (SIMulation of earthQuaKE ground motions), in modo che risultino spettrocompatibili. La durata degli accelerogrammi si è assunta pari a 20 sec e con una durata della parte stazionaria comunque maggiore di 10 sec (valutata come intervallo tra il 5% e il 95% dell'intensità di Arias, come indicato in letteratura). Le analisi hanno durata pari a 25 sec, dei quali 20 sec con gli accelerogrammi applicati e con 5 sec finali senza azione sismica, al fine di poter valutare il ricentraggio degli isolatori. Le analisi si sono svolte applicando prima il carico verticale quasi permanente mediante una funzione convenzionale "rampa", e poi applicando l'azione sismica orizzontale mediante un'analisi non lineare dinamica ad integrazione diretta. Lo step di integrazione si è assunto pari a 1/10 del passo di discretizzazione degli accelerogrammi per ottenere maggiore precisione nei risultati.

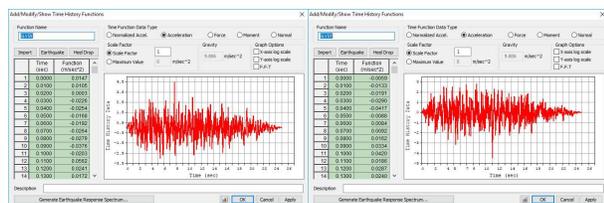


Figure 5 Accelerogrammi SLV_5 dir. X e Y q=1.5

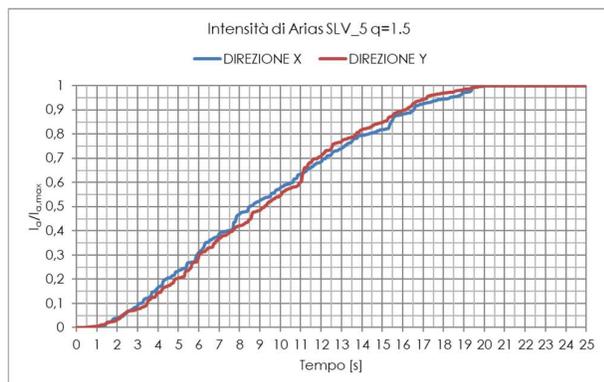


Figure 6 Intensità di Arias SLV_5 q=1.5

4 PROGETTO DEL SISTEMA DI ISOLAMENTO

4.1 Disposizione e proprietà degli isolatori

La tipologia di dispositivi scelta per l'intervento di adeguamento in esame sono gli isolatori a scorrimento a doppia superficie curva o isolatori a pendolo scorrevole. Un isolatore di questo tipo è definito dal raggio di curvatura del pendolo, dal quale dipende il periodo proprio della struttura isolata, e dall'attrito che si sviluppa durante lo scorrimento, che fornisce dissipazione di energia. Gli isolatori a doppio pendolo presentano due superfici di scorrimento con lo stesso raggio di curvatura, le quali permettono uno spostamento massimo pari al doppio dello spostamento di progetto di ognuna delle due superfici, al fine di ridurre l'ingombro del dispositivo in pianta. La superficie concava permette inoltre il ricentraggio del dispositivo al termine dell'azione sismica. Per tutti gli isolatori si è assunto lo stesso raggio di curvatura, al fine di evitare spostamenti verticali differenziali associati allo spostamento orizzontale. La rotazione massima concomitante con lo spostamento orizzontale massimo si assume pari a 0.01 rad.

Le equazioni governanti il comportamento del dispositivo sono le seguenti:

- Forza di attrito sviluppata dall'isolatore

$$F_0 = \mu \cdot N_{Sd} \quad (2)$$

- Forza orizzontale massima

$$F_{max} = F_0 + K_r \cdot d = \mu \cdot N_{Sd} + \frac{N_{Sd}}{R} \cdot d \quad (3)$$

dove K_r è la rigidezza di richiamo, μ è il coefficiente di attrito, N_{Sd} è il carico agente sull'isolatore, R è il raggio di curvatura equivalente e d è lo spostamento di progetto.

L'intervento di adeguamento sismico prevede l'inserimento di un sistema di isolamento alla base con funzione di ridurre le sollecitazioni sismiche nella sovrastruttura. Gli isolatori sono stati posizionati tenendo conto del sistema strutturale ed effettuando opportuni "tagli" sulle strutture esistenti al fine di non ostacolare lo scorrimento della sovrastruttura.

Per evitare disuniformità e conseguenti effetti indesiderati quali momenti torsionali, si sono inseriti tutti gli isolatori alla stessa quota di elevazione eccetto due isolatori sotto i nuclei in c.a. a quota più bassa. Il numero totale degli isolatori risulta pari a 125, dei quali 119 sono

posizionati al di sotto dei pilastri, 4 posizionati al di sotto dei setti in c.a. e 2 al di sotto dei nuclei in c.a.

4.2 Progetto delle caratteristiche dei dispositivi

L'iter di progettazione delle caratteristiche del sistema di isolamento si articola secondo quanto segue:

1. Valutazione dello scarico $N_{Sd,i}$ su ogni pilastrata i -esima risultante da un'analisi statica lineare considerando la combinazione di carico quasi permanente;
2. Stima della rigidezza verticale $N_{Ed} \gg N_{Sd}$;
3. Calcolo dei coefficienti di attrito "fast" e "slow";
4. Calcolo della rigidezza non lineare nel piano di scorrimento k ;
5. Ipotesi di spostamento di progetto e taratura della rigidezza elastica equivalente nel piano di scorrimento in funzione dei valori ottenuti;
6. Analisi modale e controllo dei modi di vibrare della struttura;
7. Controllo dello scarico su ogni isolatore in ogni istante dell'analisi time history;
8. Analisi time history e valutazione dell'efficacia degli isolatori in termini di spostamenti e ricentraggio;
9. Scelta degli isolatori da catalogo.

4.3 Taratura delle rigidezze lineari e non lineari

Si valuta quindi in prima fase lo scarico sugli isolatori risultante dalla combinazione di carico quasi permanente, mediante un'analisi statica lineare. Si assegna in via preliminare una rigidezza verticale all'isolatore molto elevata, al fine di definirla a seguito delle analisi time history. Si estraggono quindi gli scarichi in combinazione quasi permanente per un totale di 65'666,15 kN, ed i rispettivi coefficienti di attrito "fast" e "slow" e rigidezza in campo non lineare.

Definite in questo modo le proprietà non lineari del sistema di isolamento, è possibile tarare in maniera iterativa le rigidezze elastiche equivalenti a partire dal carico statico in combinazione quasi permanente utilizzando le formulazioni che governano il legame lineare dell'isolatore. Le rigidezze elastiche sono tenute in conto nelle analisi lineari, ed in particolare nell'analisi statica e nell'analisi dei modi di vibrare della struttura isolata. Nella valutazione delle rigidezze elastiche del sistema globale, il carico orizzontale risulta

pari a 7500 kN, mentre per quelle assunte per ogni isolatore, viene ipotizzato uno spostamento di progetto pari a 40 cm.

4.4 Analisi dei modi di vibrare

Dai dati precedentemente ottenuti, nell'analisi dei modi di vibrare, la massa movimentata orizzontalmente risulta pari a circa 7438 kN in entrambe le direzioni, e coincide dunque con il carico orizzontale per il sistema globale nella fase di taratura delle rigidezze lineari. La correttezza della taratura del sistema di isolamento è confermata dal fatto che per i primi tre modi il periodo è circa lo stesso.

Si fa presente che la forzante è stata applicata lungo gli assi principali della struttura, inclinati di 58° rispetto al sistema di riferimento globale XY; per questo motivo, nonostante la massa partecipante totale si può ritenere pari al 100%, dal modello numerico ne risulta comunque un leggero disaccoppiamento nei primi modi.

4.5 Definizione del carico verticale

Al fine di valutare la reale rigidezza verticale dei dispositivi in conformità ai valori da catalogo dei produttori, si analizza lo scarico sui singoli dispositivi nel corso delle time history, eseguendo le 7 analisi SLC con $q=1$ (in accordo alla normativa NTC2008 §7.10.6.2.2), si osservano gli scarichi sugli isolatori, considerando il valore medio tra i picchi di scarico nelle singole analisi.

Si sono quindi stabilite quattro classi di isolatori a resistenza verticale limite crescente (da 500 kN a 2300 kN). In particolare:

- TIPO 1 / $N_{Ed} = 500 \text{ kN} / \mu_{rif} = 2.5 \%$
- TIPO 2 / $N_{Ed} = 1000 \text{ kN} / \mu_{rif} = 2.5 \%$
- TIPO 3 / $N_{Ed} = 1600 \text{ kN} / \mu_{rif} = 1.0 \%$
- TIPO 4 / $N_{Ed} = 2300 \text{ kN} / \mu_{rif} = 1.0 \%$

applicando ciascuna classe di isolatore agli scarichi sugli isolatori precedentemente ottenuti.

4.6 Spostamenti allo SLC

Visto l'elevato numero di isolatori, sono stati individuati gli isolatori più critici in termini di spostamento, al fine di analizzare e verificare un'uniformità nel comportamento tra i vari dispositivi.

Si è assunto uno spostamento di progetto pari a 400 mm. Graficando gli spostamenti degli isolatori selezionati per ogni time history SLC, si osserva in tutte le analisi un buon comportamento degli isolatori: in particolare tutti i dispositivi tendono a

rispondere allo stesso modo e a spostarsi delle stesse quantità nel corso del tempo, a conferma della bontà della taratura del sistema di isolamento. Inoltre lo spostamento di progetto assunto pari a 400 mm risulta soddisfatto in tutte le analisi SLC (spostamento massimo pari a 344.47 mm per l'SLC_2 e spostamento medio pari a 295.44 mm).

Lo spostamento residuo massimo al termine dell'analisi risulta inferiore a 1 cm (8.7 mm) e quindi non porta né a malfunzionamenti del sistema di isolamento né a compromissione delle normali condizioni di esercizio dell'edificio. Al termine di ogni sisma è comunque previsto nel piano di manutenzione un ricentraggio degli isolatori al fine di recuperare tale scarto residuo e quindi la perfetta verticalità degli elementi strutturali verticali.

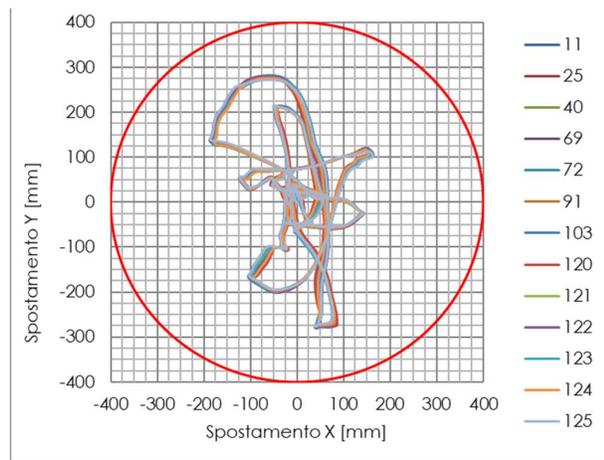


Figure 7 Spostamenti nel piano SLC_1

4.7 Scelta isolatori da catalogo

Il sistema di isolamento risulta quindi compiutamente definito, con i dati di progetto per gli isolatori seguenti:

- Resistenza verticale N_{Ed} : Tipo 1 (500 kN), Tipo 2 (1000 kN), Tipo 3 (1600 kN), Tipo 4 (2300 kN)
- Attrito di riferimento μ_{rif} : 2.5% (Tipo 1 e 2), 1% (Tipo 3 e 4)
- Spostamento di progetto $d = 400$ mm
- Raggio di curvatura $R \geq 3700$ mm.

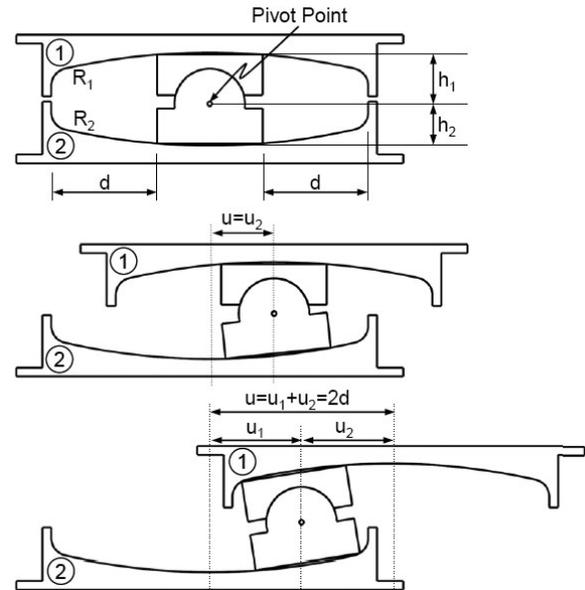


Figure 8 Schema tipologico isolatori a scorrimento a doppia superficie curva

5 RISULTATI E VERIFICHE

Per tutte le verifiche previste dalla normativa per quanto riguarda le strutture con isolamento sismico a pendolo scorrevole si fa riferimento ai seguenti punti normativi:

- Verifiche agli stati limite di esercizio NTC2008 §7.10.6.1
- Verifiche agli stati limite ultimi NTC2008 §7.10.6.2

Sono inoltre rispettate le indicazioni su aspetti costruttivi, manutenzione, sostituibilità riportate nelle NTC2008 §7.10.7.

5.1 Verifiche agli stati limite di esercizio

Tenendo presente che nel caso in esame l'edificio ricade nella classe d'uso IV, e vista la presenza di impianti con contenuto pericoloso e/o il cui danneggiamento potrebbe produrre interruzioni d'uso con gravi conseguenze, si ritiene opportuno elevare la protezione dell'edificio nei confronti degli stati limite di esercizio riferendola ad un terremoto di progetto allo SLV.

Si valuta quindi il limite più restrittivo indicato nel punto a) delle NTC2008 §7.3.7.2 (ridotti di 2/3 come specificato per edifici civili e industriali).

$$d_r = \frac{2}{3} \cdot 0.005 \cdot h = 0.33\% \quad (4)$$

La verifica agli spostamenti interpiano risulta verificata per la sovrastruttura sottoposta a un'azione sismica di progetto allo SLV con fattore

di struttura unitario, in accordo alla normativa per edifici in classe d'uso IV.

Per impianti pericolosi che attraversano i giunti di separazione, la normativa indica che essi debbono essere progettati per consentire gli spostamenti relativi della sovrastruttura isolata, con lo stesso livello di sicurezza adottato per il progetto del sistema di isolamento, quindi lo SLC (NTC2008 §7.10.6.2.2). Le analisi SLC degli spostamenti interpiano sono condotte con $q=1$.

Gli spostamenti di progetto di impianti e finiture edili, sono pienamente compatibili con gli spostamenti interpiano risultanti dalle analisi SLV e SLC. Inoltre si osserva l'efficacia del sistema di isolamento in quanto il limite imposto dalla normativa per gli spostamenti interpiano (ridotto di 2/3) viene rispettato anche nello stato limite di collasso.

5.2 Verifiche agli stati limite ultimi

5.2.1 Verifica della sovrastruttura

La sovrastruttura è stata verificata considerando il valore medio degli effetti più sfavorevoli ottenuti dalle sette analisi dinamiche non lineari considerando lo SLV con fattore di struttura $q=1.5$. Per un numero limitato di elementi, non soddisfacenti le verifiche duttili e/o fragili, si prevede un intervento di placcaggio con l'applicazione di una lamiera di spessore variabile (tra 4 e 8 mm per le travi e 4-5 mm per i pilastri) realizzata in acciaio S355 e solidarizzata agli elementi esistenti mediante una serie di tasselli M12 sfalsati a passo 20 cm.

5.2.2 Verifica della sottostruttura

Gli interventi alla sottostruttura consistono in ringrosso dei pilastri prima elevazione e di supporto agli isolatori e delle travi rovesce esistenti con la realizzazione di una nuova platea di fondazione. Per quanto riguarda le verifiche strutturali degli elementi costituenti la sottostruttura, si fa riferimento principalmente alle NTC2008 §C7.6.2.1: per un corretto funzionamento del sistema di isolamento, occorre che la sottostruttura e le parti dei dispositivi non impegnate nella funzione dissipativa rimangano in campo sostanzialmente elastico, sotto l'effetto delle azioni sismiche di progetto.

6 INTERVENTI STRUTTURALI ESTERNI AI CORPI DEGENZE

Al fine di raggiungere il livello di adeguamento previsto, sono previsti un'ulteriore serie di interventi su opere esterne e non interessate dal sistema di isolamento, che quindi necessitano opportune verifiche.

7 CONCLUSIONI

Per ottenere l'adeguamento sismico dell'intera struttura portante è stato incrementato il periodo proprio della struttura e ridotto quindi l'azione sismica incassata dalla sovrastruttura, inserendo un sistema di isolamento alla base, mediante dispositivi a doppia superficie curva, integrando l'intervento con alcuni interventi sulla struttura esistente.

Si può concludere che le sollecitazioni negli elementi resistenti, calcolate nella condizione post-operam secondo i metodi della scienza delle costruzioni, in base alle combinazioni di carico più sfavorevoli, sono risultate ovunque inferiori a quelle consentite dalla normativa vigente per strutture "adeguate"; le fondazioni risultano idonee a svolgere la loro precipua funzione portante anche nella configurazione post-operam.

La struttura così come modificata deve quindi essere considerata "adeguata simicamente".

8 RINGRAZIAMENTI

Il lavoro svolto è stato possibile grazie al contributo prezioso dello staff della CDV engineering s.r.l. e alla collaborazione della G&P intech Div. Hiron Eng. indispensabile per lo sviluppo dei dispositivi antisismici Hslide HP2 della Wuhan Hiron Engineering Equipment Co.,Ltd.

REFERENCES

- Kelly, J. M., 1999. The role of damping in seismic isolation, Earthquake Eng. Struct. Dyn
- Cosenza, E., Maddaloni, G., Magliulo, G., Pecce, M., Ramasco, R. 2004. Progetto Antisismico di Edifici in Cemento Armato, *Collana di manuali di progettazione antisismica*, 2, IUSS Press, Pavia.
- Testo Unico sulle costruzioni (D.M. 14/01/2008)
- Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche (Legge 2/02/74 n. 64 e D.P.R. 380/01 e s.m.i.)