



**INTERNATIONAL  
HIRUN**

ENGINEERING SOLUTION

**Isolatori e giunti sismici,  
dissipatori,  
appoggi per ponti e viadotti**



**G&P**<sup>®</sup>  
**intech**  
Distributore esclusivo

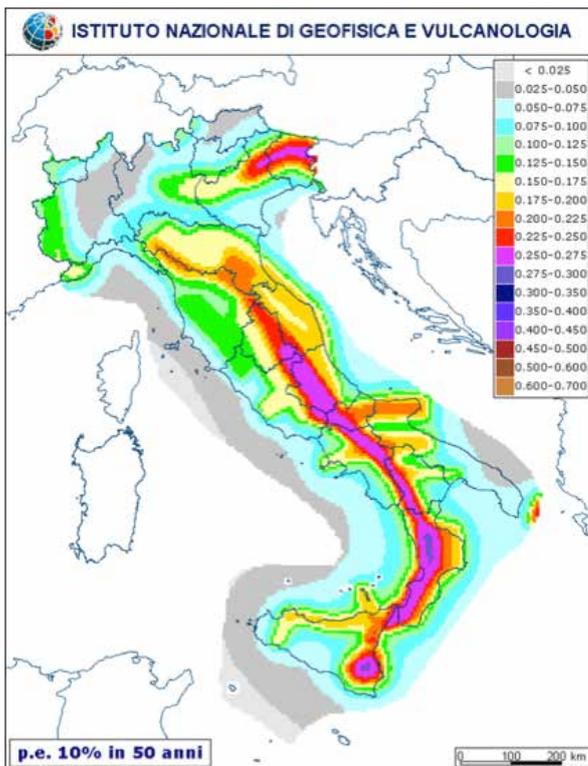
## L'ISOLAMENTO SISMICO DELLE STRUTTURE

La protezione sismica delle strutture civili, industriali e infrastrutturali a mezzo dispositivi meccanici di isolamento e dissipatori, rappresenta un importante obiettivo dell'ingegneria strutturale allo scopo di minimizzare i danni alle costruzioni e di salvare vite in caso di terremoti di elevata intensità. In particolare l'assenza di danni è un requisito essenziale per alcune tipologie di strutture quali:

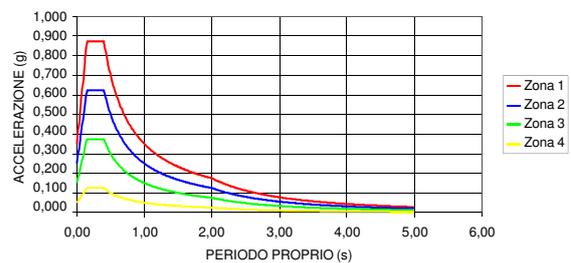
- strutture industriali che contengono componenti e materiali pericolosi (centrali nucleari, impianti chimici, ecc.)
- ponti e viadotti strategici di primaria importanza
- importanti edifici pubblici (prefetture, ospedali, centri di pronto intervento, centrali di comunicazioni ed energetiche)
- edifici strategici per la difesa del territorio nazionale
- patrimonio storico architettonico di grande pregio

La protezione sismica di una struttura ai sensi della normativa tecnica vigente NTC18 e del recente decreto SismaBonus 2017 per le strutture esistenti si può ottenere sia con rinforzi mirati per l'accresciuta domanda di resistenza in presenza di eventi sismici, per esempio a mezzo impiego di materiali compositi FRP-FRCM-CRM ampiamente utilizzati nel mercato nazionale ed internazionale, sia con l'impiego per strutture nuove ed esistenti in retrofit di particolari dispositivi, isolatori e dissipatori, in grado di ridurre la domanda sotto sollecitazione sismica.

Si riporta a seguire una carta dell'Italia dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia in cui sono riportate le zone geografiche di rischio sismica per un periodo di ritorno di 475 anni e un esempio di spettro di risposta elastico della struttura per un certo tipo di suolo e zona sismica.



SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO PER SUOLO A



G&P intech azienda italiana già presente da molti anni nel mercato nazionale ed internazionale e nella ricostruzione post sismica all'Aquila, in Emilia e in Centro Italia con proprie tecnologie di rinforzo strutturale, ha creato al proprio interno la Divisione HIRUN INTERNATIONAL con importanti partners internazionali produttori dei dispositivi di cui è distributrice in esclusiva, studi di ingegneria strutturale e ditte specializzate per il retrofit, per i settori degli isolatori sismici, dissipatori ed appoggi per ponti e viadotti.



Dispositivi HIRUN INTERNATIONAL

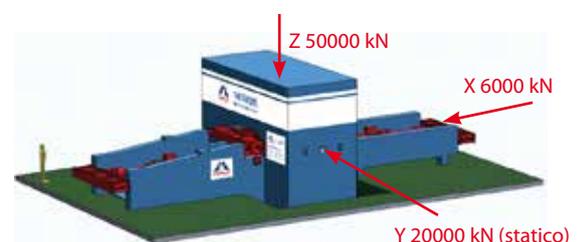


Produzione dispositivi



Macchina di prova dei dispositivi

I tecnici e gli ingegneri di G&P intech assieme ai partners HIRUN INTERNATIONAL sono in grado di fornire un'assistenza e una consulenza completa a progettisti e imprese di costruzione al fine di fornire la miglior soluzione tecnico-economica per la protezione sismica. La consulenza che G&P intech può fornire in funzione delle richieste del mercato va dal progetto della struttura sotto azione sismica, alla ottimizzazione del più idoneo sistema di protezione strutturale fino alla progettazione esecutiva dei dispositivi antisismici più idonei al tipo di struttura e alla loro fornitura ed installazione a mezzo di ditte specializzate.

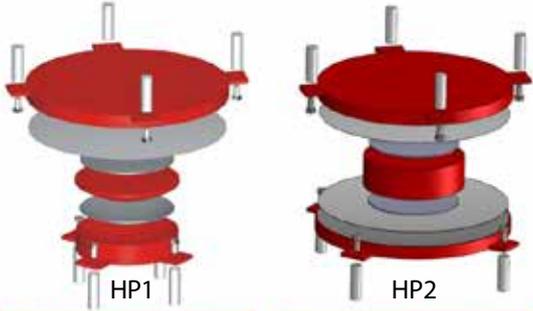


## PRINCIPALI DISPOSITIVI IN LINEA DI PRODUZIONE

La gamma dei dispositivi principali HIRUN prodotti marcati CE consiste delle seguenti tipologie:

**ISOLATORI SISMICI:** hanno la funzione di sopportare il peso della struttura, abbattere il periodo proprio delle strutture e quindi ridurre l'azione sismica, dissipare energia. Principali impieghi: edifici e strutture civili ed industriali in aree sismiche, ponti stradali.

• HISLIDE HP1 e HP2 isolatori a pendolo scorrevole (friction pendulum) a semplice HP1 e doppia HP2 superficie di scorrimento. Conformi alla EN 15129 Cap. 8.3, Annex ZA. Hanno un'elevata durabilità con manutenzioni minime.

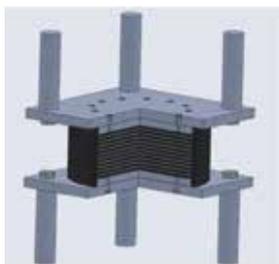


• HIDAMP – HILEAD : Isolatori elastomerici

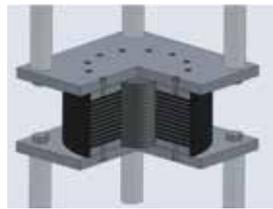
HDRB : Isolatori in gomma ed acciaio ad alta dissipazione di energia.

LRB: Isolatori in gomma ed acciaio con nucleo di piombo ad elevata capacità dissipativa.

Conformi alla EN 15129 Cap. 8.2.



HDRB



LRB

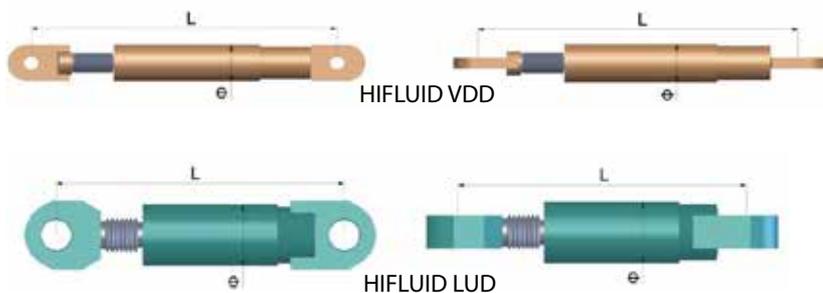


**DISSIPATORI FLUODINAMICI** HIFLUID VDD-VSD: hanno la funzione principale di dissipare energia indotta dal sisma, ridurre le vibrazioni e gli effetti del vento o di altre azioni dinamiche. Sono disponibili i dissipatori viscosi con capacità di ricentraggio. Principali impieghi: edifici e strutture civili ed industriali in aree sismiche, ponti stradali e ferroviari. Conformi alla EN 15129 Cap. 7. I materiali sono conformi alla EN 10025 e EN 10088.

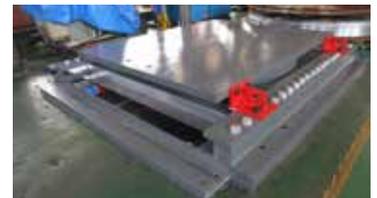
**DISSIPATORI SHOCK TRASMITTER** HIFLUID LUD: hanno la funzione principale di sviluppare la massima forza di progetto con limitati spostamenti. Reagiscono limitatamente a escursione termiche e movimenti lenti. Non dissipano quantità importanti di energia. Principali impieghi: edifici e strutture civili ed industriali in aree sismiche, ponti stradali e ferroviari.

Conformi alla EN 15129 Cap. 5. I materiali sono conformi alla EN 10025 e EN 10088.

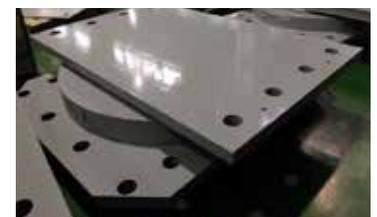
HIFLUID: Dissipatori viscosi fluidodinamici VDD-VSD e shock trasmitter LUD



**APPOGGI SFERICI** HIFLOW: consentono la rotazione attorno ai tre assi e possono trasmettere il carico in ogni direzione senza spostamenti (tipo FS), oppure permettere lo spostamento in una direzione (tipo GS), oppure permettere lo spostamento nelle direzioni del piano (tipo SS). Conformi alla norma EN 1337.7. Principali impieghi: edifici e strutture civili ed industriali in aree sismiche, ponti stradali e ferroviari. Hanno una durabilità superiore ai 100 anni con manutenzioni minime.



**APPOGGI** HIPOT: consentono la rotazione attorno ai tre assi e possono trasmettere il carico nelle tre direzioni senza spostamenti (tipo FP), oppure trasferire il carico in una direzione e consentire spostamenti nelle altre direzioni (tipo SP), oppure trasferire il carico in due direzioni e permettere lo spostamento in una direzione (tipo GP). Conformi alla norma EN 1337.2 e 1337.5 Principali impieghi: edifici e strutture civili ed industriali in aree sismiche, ponti stradali e ferroviari. Hanno una durabilità superiore ai 100 anni con manutenzioni minime.



**TUTTI I DISPOSITIVI SONO FORNITI DI MARCATURA CE AI SENSI DELLE NORME NAZIONALI ED EUROPEE EN 15129, EN 1337, NTC18**

## IL FRICTION PENDULUM HISLIDE HP1-HP2 NELL'ISOLAMENTO SISMICO DEGLI EDIFICI

L'isolamento alla base mediante "friction pendulum" a semplice o doppia superficie di scorrimento è una tecnologia relativamente recente, molto interessante da un punto di vista tecnico in quanto permette alla struttura esistente di avere una capacità resistente ad un evento sismico di gran lunga superiore rispetto a quella presente nella configurazione iniziale. Pertanto, quanto viene richiesto dalla recente normativa - ovvero che il miglioramento non sia inferiore all'80% della domanda sismica - è ampiamente superato. Il sistema di isolamento alla base offre i seguenti vantaggi:

**BASSA INVASIVITA':** tale applicazione è limitata ad un solo piano di tutta l'intera struttura e quindi tutti gli interventi di adeguamento, rinforzo locale dei pilastri e inserimento dell'isolatore, riguardano solo quel livello specifico. Tutti i livelli superiori a quello di isolamento non richiedono nessun intervento, o in alcuni casi modesti interventi di rinforzo nodali, in quanto le sollecitazioni agenti sono notevolmente ridotte e quindi possono mantenere le caratteristiche architettoniche originarie. Il lavoro di taglio dei pilastri ed inserimento degli isolatori, tecnica di retrofit, può essere effettuato senza interferire con le attività svolte ai piani superiori;

**PROTEZIONE PARTI NON STRUTTURALI:** l'impiego di un sistema di isolamento sismico consente che la struttura lavori sempre in campo lineare e quindi non induce nessuna deformazione sostanziale negli elementi principali. Questa caratteristica preserva l'integrità ed annulla i danneggiamenti di tutti gli elementi non strutturali come i tamponamenti; inoltre garantisce un'assoluta protezione di quanto contenuto nella struttura. Gli oneri di manutenzione della struttura dopo un sisma sono praticamente azzerati;

**FACILITA' DI INSTALLAZIONE:** le modalità di intervento sono ben definite e l'esperienza sviluppata da G&P intech e dalle ditte esecutrici fiduciarie in questo settore consente una buona velocità di intervento; il tutto garantendo un assoluto livello di sicurezza;

**BASSI ONERI DI MANUTENZIONE:** gli isolatori a pendolo scorrevole sono completamente realizzati in carpenteria metallica e materiali sintetici di elevata qualità e resistenza alla corrosione e quindi non sono soggetti a nessun fenomeno di deterioramento. Tutti i dispositivi meccanici sono inoltre protetti, come già riportato, con un ciclo di rivestimento anticorrosione secondo la EN 12944 e la manutenzione può considerarsi marginale con controlli ai sensi di norma a partire da 15 anni dalla installazione. Inoltre a seguito di un evento sismico, nessuno degli elementi costituenti il dispositivo necessita la sostituzione: si richiede solo una supervisione straordinaria;

**SEMPLICITA' NELLA PROGETTAZIONE:** con l'utilizzo di questa tecnologia è sempre possibile effettuare un'analisi lineare semplificata, mantenendo lo smorzamento al di sotto del 30%. Questa è una notevole semplificazione per l'analisi dinamica ed anche per le verifiche di tutti gli elementi strutturali in quanto essi restano in campo lineare e non richiedono quindi sofisticate tecniche di calcolo;

**CONVENIENZA ECONOMICA:** il fatto di dover intervenire ad un solo livello dell'edificio fa in modo di abbattere anche i costi dell'applicazione di un sistema di adeguamento come quello dell'isolamento sismico.

### PRINCIPIO DELL'ISOLAMENTO SISMICO

L'isolamento sismico si basa sul principio di disaccoppiare il comportamento dinamico della struttura rispetto al terreno. In fig. 1 è possibile vedere lo schema classico di posizionamento degli isolatori. È importante notare che per il perfetto utilizzo della tecnologia è necessario inserire gli isolatori tra due piani rigidi il primo al contatto col terreno mentre il secondo sulla struttura (fig. 2). Nel caso di mancanza di tali piani, è indispensabile che vengano creati mediante getti in calcestruzzo o travi in acciaio. Discorso a parte meritano le strutture in murature per le quali l'isolamento deve essere studiato diversamente.

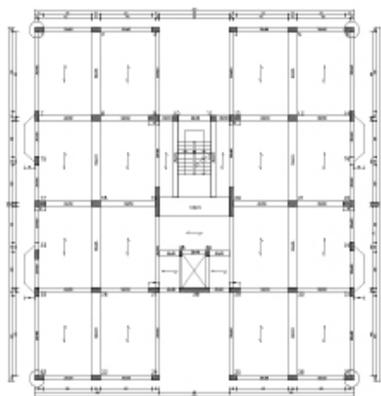


fig. 1



Prove FPCT HISLIDE

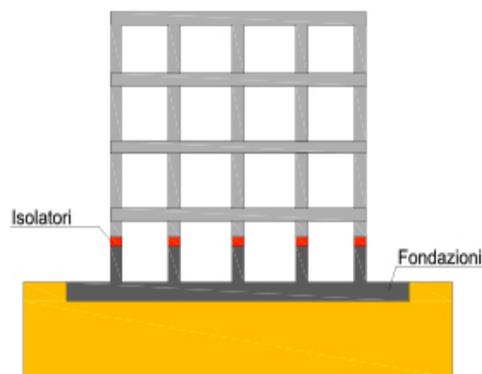


fig. 2

Con riferimento allo spettro di risposta del terreno della zona oggetto di lavoro, si può notare che per strutture tradizionali, cioè rigide, il periodo proprio di vibrazione sia inferiore ad un secondo. Ne consegue che le accelerazioni, derivanti da un tale sisma sono elevate. Grazie all'uso degli isolatori siamo in grado di inserire nell'edificio un elemento smorzante, ovvero avente la capacità di dissipare energia, (in alcuni casi può essere assunto ad un valore non superiore al 5%). Mentre la superficie di scorrimento dell'isolatore, che ha un ben definito raggio di curvatura, permette all'edificio di incrementare il periodo proprio di vibrazione, l'insieme di questi due vantaggi riduce drasticamente le accelerazioni di natura sismica.

La tecnologia che consente di ottimizzare entrambi i contributi è appunto l'isolamento alla base; i valori raggiungibili di smorzamento sono compresi tra il 10% ed il 30% mentre il periodo proprio di vibrazione può raggiungere valori anche superiori ai 3 secondi (Fig. 3).

L'unione dei contributi anzidetti abbate l'accelerazione sismica di progetto almeno dell'80%.

Nel caso riportato l'edificio è stato calcolato secondo la vecchia normativa ovvero con sollecitazioni orizzontali pari a circa il 7% del peso proprio. Con il nuovo regolamento sismico l'accelerazione, quindi la sollecitazione orizzontale, da esaminare per la zona in esame e considerando la struttura rigida sarà superiore al 50% del peso proprio. Con l'isolamento sismico alla base, come in seguito specificato, le sollecitazioni sismiche attese sono dell'ordine del 7%, non rendendo necessari interventi ai piani superiori.

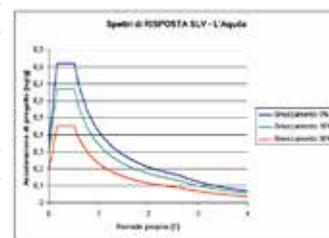


fig. 3

## SCelta DELL'ISOLATORE

L'isolatore a pendolo offre un elevato vantaggio in fase di progettazione in quanto il centro delle masse coincide sempre con il baricentro delle strutture, pertanto si progetta una sola tipologia di isolatore, sempre uguale per tutti i pilastri, mentre nel caso di isolatori in gomma-acciaio HDRB, a parità di progetto, a volte si devono usare diverse tipologie di prodotti, oltre agli appoggi multidirezionali.

Nel nostro caso, inoltre, la possibilità di utilizzare un pendolo a doppia superficie di scorrimento permette di dimezzare lo spostamento con enormi vantaggi strutturali.

Durabilità e costi sono gli altri due vantaggi del pendolo rispetto al HDRB. Per quanto riguarda la posa, sempre a parità di carichi e di spostamenti, l'isolatore in gomma armata risulta sempre più ingombrante e pesante, pertanto nel caso di strutture esistenti appare chiaro che si predilige sempre quello ad attrito.

## MODALITA' DI INTERVENTO IN RETROFIT

L'inserimento degli isolatori a pendolo in una struttura esistente avviene secondo una tecnologia che prevede il taglio dei pilastri con il temporaneo sostegno del carico verticale mediante apposite carpenterie metalliche e martinetti. Questa tecnologia consiste nell'applicazione su ciascun pilastro di due speciali morse in acciaio poste ad una opportuna distanza tra di loro (circa 70÷80 cm). Dopo aver accuratamente controllato il corretto posizionamento delle morse, si procede al loro serraggio al pilastro, mediante apposite barre in acciaio ad elevata resistenza. Mediante appositi martinetti idraulici si provvede in fase successiva a scaricare la parte di pilastro compresa tra le due morse. Successivamente è possibile, per mezzo di una sega a filo diamantato, tagliare e, quindi, rimuovere un concio di calcestruzzo, ovviamente appartenente al tratto di pilastro scaricato, ed inserire al suo posto il dispositivo di isolamento, previa la posa in opera delle relative carpenterie di ancoraggio al pilastro. A tale intervento, se necessario, si può accoppiare anche quello di rinforzo strutturale del pilastro stesso mediante strati di tessuti in fibra di carbonio - CFRP, che dovrà, in tal caso, essere eseguito prima del taglio. Ulteriori vantaggi da tenere in considerazione per un intervento di questo tipo sono la semplicità e la rapidità delle operazioni sopra descritte comunque sempre realizzate da personale altamente qualificato. Si tratta, infatti, di operazioni che richiedono una modalità di applicazione molto precisa e delicata (anche se molto semplice dal punto di vista teorico) per poter assicurare la perfetta funzionalità di tutto il sistema. Anche dal punto di vista della sicurezza, questo tipo di intervento non presenta alcuna criticità: infatti, il fatto di operare contemporaneamente su solo un paio di pilastri ed avendo la possibilità di minimizzare le deformazioni indotte nella struttura (il detensionamento dei pilastri richiede uno spostamento relativo dell'ordine dei 2mm), ne garantiscono la stabilità strutturale per tutta la durata dell'intervento.

Ciascuna morsa è costituita essenzialmente da due traversi principali, disposti parallelamente al lato maggiore del pilastro, e da due traversi secondari, paralleli al lato minore; i traversi principali, tramite i quali si esercita l'80% circa della forza di serraggio, hanno anche la funzione di trasmettere, mediante 4 martinetti idraulici posti alle due estremità, lo sforzo verticale presente nel pilastro, mentre quelli secondari, tramite i quali si esercita il restante 20% della forza di serraggio, essendo più leggeri e maneggevoli, vengono posizionati per primi, consentendo un più agevole posizionamento dei traversi principali.

Mediante prove di laboratorio, che riproducevano, quanto più accuratamente possibile, la situazione reale, si è determinato il coefficiente d'attrito sul quale è possibile fare affidamento in condizioni medie di temperatura ed umidità: variando la pressione esercitata sul calcestruzzo, il coefficiente d'attrito è risultato variare tra un minimo del 45% ed un massimo del 60%, per cui, nel dimensionamento delle morse, si tiene, cautelativamente, conto dei seguenti parametri:

coefficiente d'attrito acciaio-cl.  $\mu = 0.40$   
 coefficiente di sicurezza nei riguardi del carico verticale 1.30  
 coefficiente di sicurezza nei riguardi dell'attrito 1.50  
 coefficiente di sicurezza complessivo  $1.30 \times 1.50 = 1.95 \approx 2.00$

Indicato, pertanto, con V0 il carico permanente agente sul pilastro, la forza di serraggio da esercitare con le morse dovrà, complessivamente, essere pari a:  $F_s = 2.0 \times V_0 / \mu = 5 \cdot V_0$ .

## SCHEDA PROGETTO DEL DISPOSITIVO

A titolo di esempio si descrivono i dettagli del dispositivo riferito ad un pilastro di bordo tipo. Le caratteristiche principali da definire sono quelle che determinano il comportamento dinamico della struttura (periodo proprio di oscillazione): in un sistema come quello ipotizzato dipende esclusivamente dalle caratteristiche geometriche del dispositivo, ovvero il raggio di curvatura ed il coefficiente di attrito di progetto.

E' inoltre importante dire che il periodo di oscillazione non dipende dalla massa della struttura e quindi sono annullati tutti i contributi di eccentricità; questo fatto consente di disaccoppiare perfettamente il comportamento secondo gli assi principali e rende molto precisa l'approssimazione di calcolo conferita da un'analisi lineare.

Infatti, in questa fase di pre-dimensionamento si farà riferimento ad un'analisi lineare semplificata: ovvero si effettua un calcolo lineare iterativo che ovviamente tenga conto dello spettro di risposta della condizione di progetto (SLV) e delle caratteristiche di progetto geometriche stabilite; questo tipo di calcolo è reso necessario dal fatto che il comportamento della struttura dipende anche dallo spostamento.

Di seguito si riportano i risultati ottenuti alla condizione SLV per il pilastro in esame:

W= massa sismica relativa al singolo dispositivo pari a 931 kN

R= raggio di curvatura della superficie sferica principali pari a 2050 mm

$\mu$ = attrito dinamico della superficie di scorrimento (determina lo smorzamento viscoso equivalente) pari al 3%

D= spostamento relativo della struttura secondo due superfici sferiche pari a 155 mm

Keff = rigidità orizzontale efficace pari a:  $K_{eff} = W \cdot \left( \frac{1}{2 \cdot (R - A)} \cdot \frac{\mu}{D} \right) = 0.4122 N/mm$

Teff= periodo proprio indipendente dalla massa della struttura pari a:  $T_{eff} = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{W}{K_{eff}}} = \sqrt{\frac{1}{0.4122 \cdot (1 - \mu^2)}} = 3.06 sec$

$\xi_{eff}$ = smorzamento efficace del sistema pari a:  $\xi_{eff} = 2 \cdot \pi \cdot \left[ \frac{\mu}{\mu + \mu} \right] = 28\%$

F= sollecitazione orizzontale massima di progetto pari a 64 kN

Tale valore di sollecitazione orizzontale è pari a circa il 6,8% della massa sismica; come stimato in precedenza tale valore è inferiore a quello utilizzato per il calcolo della sovrastruttura in accordo alla precedente normativa.

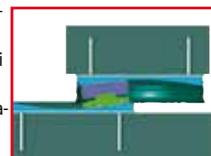
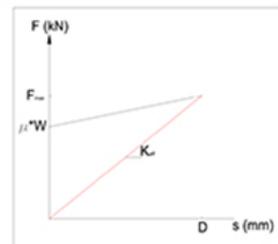
Inoltre, come ulteriore contributo di sicurezza, si considera che la progettazione del dispositivo a friction pendulum tenga conto di uno spostamento superiore: deve essere concordato ad uno spettro di risposta calcolato alla condizione di collasso (SLC):

D= spostamento relativo della struttura secondo due superfici sferiche pari a 260 mm

Si riporta a lato uno schema del dispositivo in condizioni di massimo spostamento alla condizione SLV:

Si consideri che per i dispositivi centrali e per quelli relativi ai vani scale ed ascensore i carichi di progetto saranno differenti: saranno di conseguenza modificate le dimensioni in pianta del dispositivo specifico:

- APPOGGIO INTERNO: dimensioni di ingombro 480x480 mm
- APPOGGIO DI VANO SCALA E ASCENSORE: dimensioni di ingombro 400x400 mm



## ADEGUAMENTO SISMICO IN RETROFIT DI UN COMPLESSO OSPEDALIERO CON L'INSERIMENTO DI ISOLATORI ALLA BASE DEL TIPO HIRUN HP2 A DOPPIA SUPERFICIE DI SCORRIMENTO DELLA HIRUN INTERNATIONAL – GRUPPO G&P INTECH.

La clinica ospedaliera "Villa Serena" di Jesi (AN) è stata adeguata con un intervento di isolamento sismico in retrofit. L'edificio 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 (Figura 1). 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).

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 con 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".



Figura 1: Configurazione corpi di fabbrica del plesso ospedaliero

### VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA ANTE-OPERAM

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.

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.

I corpi D1, D3 e D4 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.

Il corpo D2 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.

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 (*JR*) in termini di Accelerazione di Picco al Suolo (*PGA*) o Tempo di Ritorno (*TR*) hanno restituito i seguenti risultati:

$$JR(PGA) = 0.229$$

$$JR(TR) = 0.231$$

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

### 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 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 in retrofit:
  - Opere speciali per taglio setti scale e nuclei ascensori;
  - Platea di fondazione, ringrosso travi rovesce fondazione esistenti, ricostruzione impalcato piano seminterrato (Figura 2.a);
  - Ringrosso pilastri prima elevazione (Figura 2.c);
  - Taglio pilastri prima elevazione in sommità;
  - Fornitura e posa isolatori sismici in acciaio a doppio pendolo, con realizzazione capitelli in c.a.(Figura 2.c);
  - 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.)



Figura 2: a. Realizzazione platea di fondazione e ringrosso pilastri e travi rovesce; b. isolatore in sommità al vano scale; c. isolatore in sommità al pilastro ringrossato

#### MODELLAZIONE E ANALISI DEL SISTEMA DI ISOLAMENTO

La modellazione numerica della struttura (Figura 2) è stata effettuata con il codice di calcolo MIDAS Gen che permette l'analisi anche in campo non lineare integrando le equazioni del moto istante per istante. 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 fondazione, mentre in direzione verticale si è assunto un coefficiente di Winkler pari a 15 kg/cm<sup>2</sup> per le fondazioni esistenti e pari a 7 kg/cm<sup>2</sup> 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.

#### PROGETTO DEL SISTEMA DI ISOLAMENTO

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 la 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 conseguenti allo spostamento

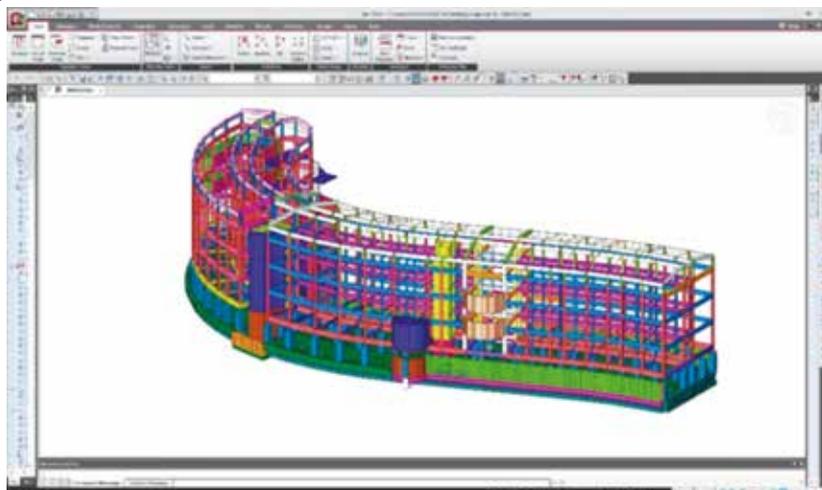


Figura 3: Vista frontale del modello ad elementi finiti

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  $FO = \mu \cdot NSd$
- Forza orizzontale massima  $FNas = FO + Kr \cdot d = \mu \cdot NSd + (NCd \cdot d)/R$

dove  $Kr$  è la rigidezza di richiamo,  $\mu$  è il coefficiente di attrito,  $NSd$  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 al fine 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.

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

1. Valutazione dello scarico  $NSd_i$  su ogni pilastrata  $i$ -esima risultante da un'analisi statica lineare considerando la combinazione di carico quasi permanente;
2. Stima della rigidezza verticale  $NEd \gg NSd$ ;
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.

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, 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 rigidzze elastiche equivalenti a partire dal carico statico in combinazione quasi permanente utilizzando le formulazioni che governano il legame lineare dell'isolatore. Le rigidzze 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 rigidzze 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. La correttezza della taratura del sistema di isolamento è confermata, facendo riferimento all'analisi modale, dal fatto che per i primi tre modi di vibrare il periodo è circa lo stesso.

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

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

#### 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 (Figura 4), 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 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.

#### SCELTA DEGLI ISOLATORI DA CATALOGO

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

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

Gli isolatori sono del tipo HIRUN HP2, a pendolo scorrevole con doppia superficie di scorrimento, della HIRUN international - gruppo G&P intech. La scelta di queste tipologie di dispositivi è stata fatta a seguito di un continuo confronto e scambio di informazioni tra l'azienda e i progettisti al fine di ottimizzare tutti i parametri tecnico - economici del sistema d'isolamento.

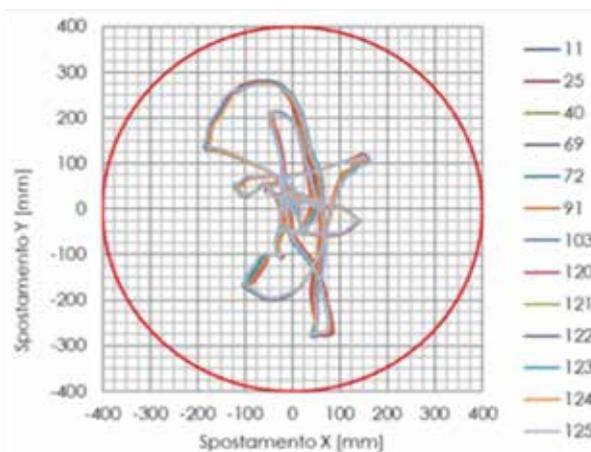


Figure 4: Spostamenti nel piano agli SLC

## 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.

### 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). 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.

### VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI.

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.

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.

La struttura così come modificata può essere considerata "adeguata simicamente".



Figure 5/6: Open day in cantiere durante la fase di realizzazione dell'intervento di retrofit il 9 Settembre 2020

# INTERVENTO DI ADEGUAMENTO SISMICO DI UN COMPLESSO INDUSTRIALE CON L'UTILIZZO DI CONTROVENTI DISSIPATIVI MUNITI DI DISPOSITIVI VISCOELASTICI HIFLUID VSD

Il fabbricato industriale, oggetto dell'adeguamento sismico, era costituito da due corpi adiacenti tra loro indipendenti: un primo in elevazione su tre orizzontamenti ed un secondo ampliamento laterale monopiano realizzato in un periodo successivo (Figura 1). La struttura nel suo complesso aveva il grosso problema di presentare deformate sotto azioni sismiche incompatibili con i pochi centimetri di giunti tecnici che erano stati previsti al tempo fra i due corpi di fabbrica causando il rischio di importanti fenomeni di "martellamento".

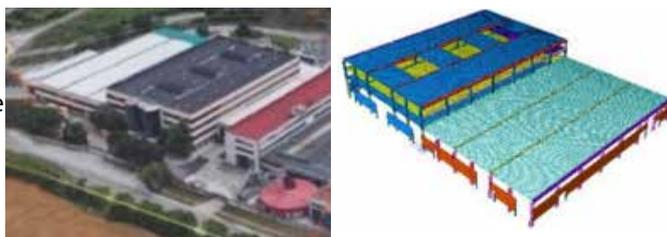


Figura 1. Complesso industriale in oggetto

## RILIEVO STRUTTURALE

Il corpo industriale in esame, ricadente in zona sismica 3, riprende la tecnica costruttiva tipica dei capannoni industriale degli anni 80'-90' (Figura 2): pilastri prefabbricati, travi in c.a.p e solai costituiti da tegoli in TT con soletta integrata in calcestruzzo. Le dimensioni in pianta di entrambi i corpi risultano di circa 70x40 metri. Proprio questo schema statico a mensola, con piedritti verticali alti e flessibili, comportava sotto carico sismico deformate molto elevate le quali, a causa dei differenti modi di vibrare delle due strutture adiacenti, potevano causare fenomeni di "martellamento". Il collegamento tra i due edifici infatti presentava un appoggio semplice di tipo "a sella" ed i giunti tecnici erano stati progettati secondo la normativa del tempo, ante OPCM 3274, la quale non prevedeva ancora la classificazione sismica del territorio nazionale.

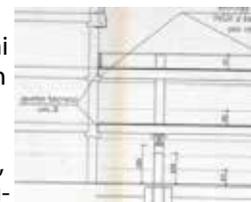


Figura 2. Giunti tecnici allo stato di fatto

## OBIETTIVI E SCOPI DEL PROGETTO

Il problema principale è stato quello di trovare una soluzione che sapesse conciliare nello stesso tempo sia una riduzione delle accelerazioni e degli spostamenti interpiano sia una riduzione dell'invasività dell'intervento in modo tale da non alterare la funzionalità dei corpi di fabbrica e di non andare ad interferire con la produzione industriale ai piani inferiori come espressamente richiesto dalla committenza.



Modello F.E.M. del fabbricato

## TIPOLOGIA DI INTERVENTO

Dopo una profonda campagna di prove di caratterizzazione dei materiali che hanno permesso di ottenere un livello di conoscenza LC2, dalle analisi lineari del modello F.E.M. si è potuto constatare come la condizione più gravosa del fabbricato fosse in termini di spostamento (dell'ordine dei 40 cm) piuttosto che in termini di sollecitazioni: i pilastri in condizione sismica non presentavano infatti una eccessiva carenza di resistenza a riguardo delle sollecitazioni flessionali e taglianti. L'analisi del complesso ha portato quindi ad optare per un intervento di dissipazione sismica. Tale intervento ha previsto l'utilizzo di controventi dissipativi in acciaio muniti di dissipatori viscoelastici, (Figura 3). Questa tecnica ha consentito di adeguare sismicamente la struttura permettendo di raggiungere gli obiettivi prefissati, ovvero:

- Riduzione dei drifts interpiano evitando i fenomeni di martellamento eccessivi fra i due corpi di fabbrica;
- Aumento delle accelerazioni al suolo incassabili dall'edificio senza comportare crisi in termini di sollecitazioni sugli elementi strutturali portanti;
- Riduzione dell'invasività dell'intervento, in quanto operando esternamente sul perimetro degli edifici si è riusciti a non interferire con la produzione dello stabilimento.

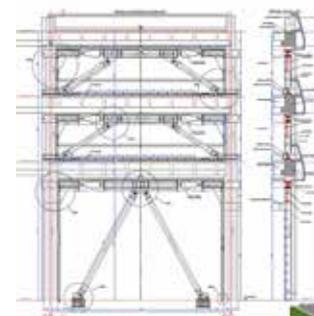


Figura 3. Prospetto degli elaborati progettuali del fabbricato a tre orizzontamenti con l'introduzione dei dissipatori viscoelastici



Particolare dell'applicazione dei controventi dissipativi e posizionamento dei dissipatori

## DISSIPATORI VISCOELASTICI

I dissipatori fluidodinamici HIFLUID VSD della HIRUN Engineering (Figura 4), distribuiti dalla G&P Intech, rientrano nella categoria di dissipatori "dipendenti dalla velocità" e hanno la principale funzione di dissipare l'energia indotta dal sisma mediante la non linearità del proprio ciclo isteretico, (Figura 5), riducendo le vibrazioni e gli effetti delle azioni dinamiche. Tali dispositivi trovano applicazione all'interno della maglia controventata e sono costituiti da un pistone che si muove all'interno di un cilindro riempito di un composto altamente viscoso e dotato di valvole per il controllo del passaggio del fluido. Con questa configurazione la dissipazione d'energia avviene per mezzo del movimento del pistone immerso nel fluido sfruttando il passaggio dello stesso attraverso le valvole: alla primaria azione viscosa si accompagna un ritorno elastico. In ottica della ormai nota gerarchia delle resistenze, l'adozione di tali controventi, se da un lato comporterebbe l'irrigidimento della struttura causando un forte richiamo della forza sismica, dall'altro consente di concentrare gran parte della dissipazione in questi speciali dissipatori. I dissipatori viscoelastici seguono la formula  $F = Cv^{\alpha}$  ed i parametri che caratterizzano questi dispositivi viscoelastici sono:

- velocità relativa del pistone  $v$ ;
- fattore esponenziale  $\alpha$  dipendente dal tipo di circuito idraulico  $0 \leq \alpha \leq 2$
- Costante dissipativa o coefficiente di smorzamento  $C$



Figura 4. Dissipatore HIFLUID VSD

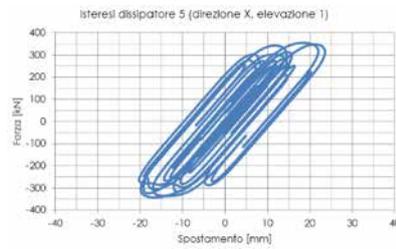
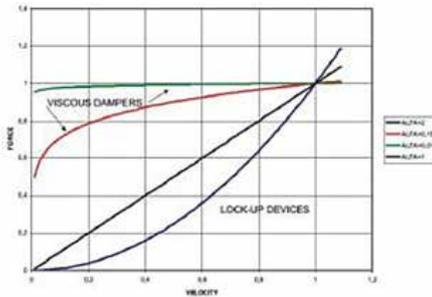


Figura 5. Esempio di un ciclo isteretico di un dissipatore VSD derivante dalle analisi non lineari



Particolare attacco telaio-controvento di un HIFLUID VSD

Nel progetto in esame, tarando opportunamente tali parametri attraverso un processo iterativo utilizzando analisi dinamiche non lineari è stato possibile ottenere un accettabile livello di smorzamento e una riduzione significativa degli spostamenti interpiano. In totale si sono posizionati 44 dispositivi, 28 in direzione X e 16 in direzione Y, (Figura 6), utilizzando due tipologie di dissipatori con caratteristiche meccaniche differenti una per ogni direzione. In tabella [1] vengono riportate le caratteristiche meccaniche delle due tipologie di dissipatori utilizzate. I profili di supporto in acciaio costituenti i controventi sono stati opportunamente sovradimensionati per resistere alle condizioni più sfavorevoli in termini di sollecitazione e d'instabilità. I dissipatori VSD della HIRUN Engineering sono omologati CE e conformi alle norme EN 15129. Come previsto dal Capitolo 11. delle Norme Tecniche le prove di qualifica ed accettazione sono state eseguite su almeno il 20% dei dispositivi, effettuate presso una delle più importanti macchine di prova al mondo per dispositivi antisismici di proprietà HIRUN, (Figura 7).



Tipico digramma Forza-velocità di un VSD

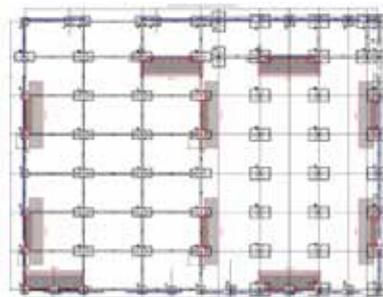


Figura 6. Disposizione in pianta dei dissipatori



Figura 7 Macchina di test dei dispositivi sismici di proprietà HIRUN, Wuhan (Cina).

DIREZIONE X			DIREZIONE Y		
F	421.14	kN	F	1824.92	kN
V	250	mm/s	V	250	mm/s
LINEARE			LINEARE		
Kel	11	kN/mm	Kel	47	kN/mm
NON LINEARE			NON LINEARE		
C	139.58	kN	C	604.86	kN
V <sub>rif</sub>	1	mm/s	V <sub>rif</sub>	1	mm/s
α	0.2		α	0.2	
Knl	22	kN/mm	Knl	94	kN/mm

Tabella 1. Caratteristiche meccaniche dei dissipatori utilizzati nel progetto di adeguamento sismico



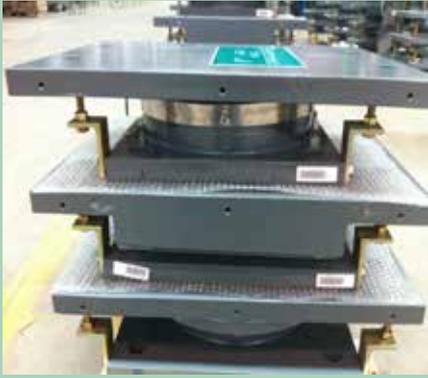
Analisi time-history, andamento degli spostamenti del piano copertura pre e post intervento

### INDICE DI SICUREZZA PRE E POST INTERVENTO

Uno dei parametri principali per stimare la vulnerabilità sismica di un edificio è l'indice di rischio (IS-V), definito nell'allegato A delle "Linee guida per la classificazione del rischio sismico delle costruzioni" come il rapporto tra l'effettiva capacità del sistema strutturale di resistere senza danni ad una azione sismica e la reale domanda in termini di accelerazione di picco al suolo (PGA) nel sito dove giace la costruzione. La vulnerabilità sismica quindi è tanto più alta quanto minore risulta essere l'indice di rischio. Per valutare il caso in esame è stata eseguita un'analisi time history sia allo SLC che allo SLV inserendo le distribuzioni d'armatura come rilevata dalle indagini effettuate in sito e desunte dal progetto originario. In termini di sollecitazioni il complesso strutturale pre-intervento presentava un IS-V pari a 0.831. Ragionando invece in termini di spostamento, indagando quindi il problema del "martellamento", l'edificio comportava in termini di indicatori di rischio un IS-V pari a 0.131, estremamente al di sotto della soglia di sicurezza prevista dalla Norma. Le analisi dinamiche del modello, una volta avvenuto l'inserimento dei controventi dissipativi viscoelastici, hanno potuto mostrare un incremento sostanziale dell'indice di sicurezza riuscendo ad ottenere un valore unitario, (Figura 8): il complesso industriale quindi è stato adeguato sismicamente ed è ora in grado di soddisfare i requisiti normativi in termini di accelerazione al suolo attesi per i nuovi fabbricati ubicati nella zona in esame.

$IS - V = \frac{PGA_{capacità}}{PGA_{richiesta}}$	IS-V Pre-intervento	IS-V Post-intervento
In termini di Sollecitazioni	0.831	1.00
In termini di Spostamenti	0.131	1.00

Figura 8. Indice di Rischio pre e post intervento



Appoggi sferici HIFLOW



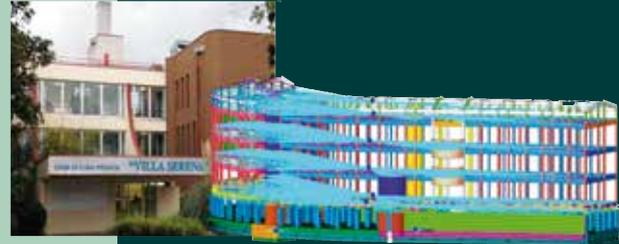
Ponte stradale e ferroviario Wuhu Yangtze River Bridge (Cina)



Posizionamento isolatori



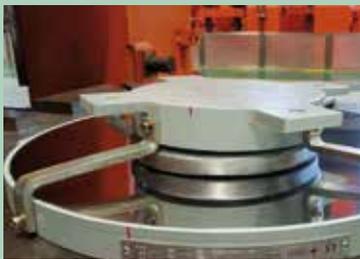
Intervento in retrofit con isolamento alla base



Casa di cura Villa Serena di Jesi (AN)



Ospedale Regionale a Bursa (Turchia)



Isolamento viadotto SAN MARINO - superstrada Ascoli Mare



Edificio residenziale 15 piani