

IL TERREMOTO DEL 1980, RISCHIO SISMICO E PREVENZIONE

Ricerca e sperimentazione dell'Università degli Studi della Basilicata

Felice C. Ponzo, Domenico S. Nigro

Scuola di Ingegneria – Università degli Studi della Basilicata

felice.ponzo@unibas.it

Abstract – Il 23 novembre del 1980 un terremoto del decimo grado della scala Mercalli (magnitudo 6,9) devastava una vasta area compresa tra la Basilicata e la Campania, provocando circa 3000 vittime. L'evento sismico, compromettendo buona parte del patrimonio edilizio e delle attività economiche presenti nell'area colpita, mostrava la grande fragilità del nostro territorio e l'enorme difficoltà del Sistema Italia dell'epoca a reagire prontamente a fronte di eventi calamitosi di così grande portata.

Per la prima volta in Italia si avviava un processo di revisione dei meccanismi e delle procedure di approccio alle grandi calamità che portò, da una parte, alla nascita dell'attuale sistema di Protezione Civile Nazionale, dall'altra determinò un impulso significativo verso gli studi per l'approfondimento della conoscenza sulla sismicità del territorio italiano e la messa a punto di tecniche sempre più efficaci di mitigazione del rischio sismico per strutture ed infrastrutture.

Con l'approvazione della legge 219 del 1981, che regolamentò il processo di ricostruzione delle aree colpite dal sisma, si avviò, di fatto, anche il progetto di istituzione dell'Università degli Studi della Basilicata. Tale atto, espressione della volontà di rinascita della Basilicata a fronte di una tremenda catastrofe, rappresentò il punto di partenza di un processo che, alla luce dei risultati raggiunti, può essere definito sicuramente virtuoso, sebbene non del tutto completato. Il territorio ferito dal terremoto si avviava, dunque, a diventare sede di un centro di studi e formazione scientifica specializzata in diverse discipline, tra cui quella dell'ingegneria sismica, contribuendo, così, alla ricerca e allo sviluppo di tecniche per la realizzazione di un patrimonio edilizio più sicuro ed una società più resiliente. Si individuava, contestualmente, un efficace strumento di sviluppo economico e di sbocco lavorativo per tanti giovani lucani.

A distanza di 40 anni dal disastroso terremoto, questo lavoro prova a delineare un quadro aggiornato sullo stato di avanzamento della ricerca nel settore della riduzione del rischio sismico e della prevenzione, facendo particolare riferimento al contributo fornito dall'Ateneo Lucano.

1. Introduzione

Com'è noto, le conseguenze di un terremoto, in termini di danni e vittime, dipendono fortemente dalla sismicità dell'area su cui le strutture insorgono, ossia dalla frequenza e dalla forza con cui si manifestano i terremoti, e dalla predisposizione delle strutture ad essere danneggiate da quei terremoti.

La sismicità è una caratteristica fisica del territorio, legata alla sua conformazione geologica. Conoscendo la frequenza e l'energia associate ai terremoti che caratterizzano una determinata area e attribuendo un certo valore di probabilità al verificarsi di un evento di data intensità (Magnitudo) in un intervallo di tempo

definito, è possibile definire la "pericolosità" sismica di quell'area. Da ciò discende che la pericolosità sismica è tanto più elevata quanto più probabile sarà il verificarsi di un terremoto di elevata magnitudo, a parità di intervallo di tempo considerato.

Le caratteristiche di resistenza delle costruzioni alle azioni sismiche e la loro predisposizione ad essere danneggiate da terremoti di una data intensità definiscono invece la "vulnerabilità" di quella struttura. Quanto più un edificio è vulnerabile, tanto maggiori saranno le conseguenze. La vulnerabilità è legata a fattori quali la tipologia strutturale, la progettazione inadeguata, l'utilizzo di regole costruttive

(normative) obsolete, la scadente qualità dei materiali utilizzati, le modalità di costruzione, la scarsa manutenzione ecc.

La presenza, infine, di beni esposti al rischio, la possibilità cioè di subire perdite umane, economiche, di beni culturali o ancora funzionali, è definita “esposizione”. L’esposizione è tanto più elevata quanto maggiore è il rischio di perdere quei beni per effetto di un terremoto.

Il rischio sismico è definito, in sintesi, dalla combinazione della pericolosità, della vulnerabilità e dell’esposizione, e rappresenta la misura dei danni attesi in un dato intervallo di tempo, in funzione del livello di sismicità, di resistenza delle costruzioni e del livello di antropizzazione (natura, valore e numerosità dei beni esposti). Il rischio sismico di aree poco antropizzate ad elevata pericolosità sismica può essere molto più basso di quello relativo a territori a pericolosità più bassa ma fortemente urbanizzati.

Mediamente, l’Italia è caratterizzata da una pericolosità sismica medio-alta, per frequenza e intensità dei fenomeni, da una vulnerabilità molto elevata, a causa dell’elevata fragilità del patrimonio edilizio, infrastrutturale, industriale, produttivo e dei servizi, e da un’esposizione altissima, per densità abitativa e presenza di un patrimonio storico, artistico e monumentale unico al mondo. Per quanto sopra esposto, la nostra Penisola risulta essere, dunque, uno dei paesi a più elevato rischio sismico al mondo.

Gli approcci utilizzati negli ultimi decenni nel tentativo di ridurre il rischio sismico di strutture, reti infrastrutturali o intere aree urbanizzate sono molteplici e tendono ad operare sui tre parametri sopra esposti.

La pericolosità sismica di una determinata area non può essere modificata artificialmente, tuttavia oggi sono numerosi gli studi che consentono di definire in maniera sempre più affidabile la sismicità attesa in determinate aree, in termini di probabilità di intensità e frequenza di accadimento dei terremoti, nonché l’effetto di eventuali fenomeni di amplificazione locale legati al comportamento dinamico degli strati superficiali del terreno (studi di microzonazione) [Albarellò et al. 2002, Mucciarelli et al. 2008]. Tutto ciò consente agli ingegneri di indirizzare le progettazioni

di nuove costruzioni su tipologie strutturali che ben rispondono a quella determinata categoria di terremoti o predisporre le strategie di interventi più opportune per il recupero delle strutture esistenti.

Il livello elevato di esposizione propria di molte aree antropizzate è legato spesso a dinamiche urbanistiche e decisionali frutto di un’evoluzione secolare, sulle quali diventa oggi particolarmente difficile intervenire. In un’ottica di mitigazione del rischio, però, la migliore conoscenza del territorio deve spingere i decisori ad adottare per tempo opportune politiche di sviluppo territoriale ed infrastrutturale e di prevenzione, puntando sulla riduzione della vulnerabilità sismica strutturale.

L’intervento preventivo sulle strutture esistenti o di progettazione del nuovo con tecniche adeguate rappresenta, probabilmente, la strada più veloce per poter abbattere il rischio a valori socialmente accettabili e in tempi ragionevoli.

Nel corso degli ultimi decenni, proprio su queste tematiche si è sviluppata l’attività dei vari gruppi di ricerca che afferiscono all’area della Tecnica delle Costruzioni della Scuola di ingegneria dell’Università della Basilicata, con l’obiettivo di contribuire, così come auspicato dalla L. 219 del 14 maggio 1981, allo studio ed individuazione delle strategie di prevenzione e di mitigazione del rischio più opportune per un territorio, come quello lucano, estremamente fragile e devastato in passato da eventi sismici che hanno avuto ripercussioni ancora oggi importanti sul tessuto sociale ed economico della regione. È proprio con l’art. 39 della Legge 219, che convertiva in legge il D.L. n. 75 del 19 marzo 1981, relativo agli ulteriori interventi in favore delle popolazioni colpite dagli eventi sismici del novembre 1980 “Provvedimenti organici per la ricostruzione e lo sviluppo dei territori colpiti”, che venne posato virtualmente il primo mattone dell’Università degli Studi della Basilicata. Si concretizzava, così, definitivamente, un progetto avviato nel decennio precedente dalla neonata Regione Basilicata in collaborazione con il Formez (centro di Formazione e Studi per il Mezzogiorno). Al termine di un processo di “costruzione” passato attraverso l’insediamento di un comitato tecnico-amministrativo

(27 aprile 1982) composto dai rappresentanti della Regione, del Ministero della Pubblica Istruzione e del mondo politico lucano, e la formazione del primo Senato Accademico (21 luglio 1982), l’Università degli Studi della Basilicata avviava le proprie attività con l’anno accademico 1982-1983 [Lerra, 2004; De Luca, Gnazzo, 2005].

La forte connessione tra l’evento sismico del 1980 e l’istituzione dell’Università lucana venne sottolineata dal primo Rettore dell’Università della Basilicata, il prof. Cosimo Damiano Fonseca, in occasione della visita di Papa Giovanni Paolo II del 1991, che, nel suo indirizzo di saluto al Pontefice, ebbe a dire: “Ecco perché noi celebriamo il nostro annuale dies academicus il 23 novembre di ogni anno, perché l’Università sia per le genti lucane segno di rinascita e di risurrezione, di glorioso ritorno alla vita, di consapevole speranza verso un avvenire migliore” [Fonseca 1992, 1994].



Figura 1. Vista del Laboratorio Prove Materiali e Strutture dell’Università della Basilicata

2. Il Laboratorio SISLAB e la ricerca UNIBAS

Nel 1990, presso la sede della facoltà di Ingegneria di Via della Tecnica veniva istituito il Laboratorio Prove Materiali e Strutture (SisLab), poi trasferito, nel 2000, nell’attuale sede di Macchia Romana (Figura 1), con l’idea di contribuire, grazie all’apporto dei vari gruppi di ricerca che operano nel settore della Scienza e della Tecnica delle Costruzioni, alla valutazione del rischio sismico e all’elaborazione di strategie di prevenzione e mitigazione, concretizzando, così, una delle volontà politiche espresse all’atto dell’istituzione dell’Ateneo Lucano.

Dal punto di vista funzionale, il laboratorio è organizzato in quattro distinte sezioni: i) la sezione prove statiche per la certificazione dei materiali, allestita con un’estesa gamma di macchine per soddisfare le esigenze dei settori di prova; ii) la sezione monitoraggio e diagnostica strutturale, per lo svolgimento di indagini sperimentali (distruttive e non) su strutture esistenti in muratura e in cemento armato e per la caratterizzazione meccanica dei materiali strutturali e dinamica delle strutture ed infrastrutture; iii) la sezione di dinamica, ciclica e pseudo-statica per prove su materiali e dispositivi, alimentata da un sistema Schenck-Instron con gruppi di pompaggio olio che assicurano una portata di 160 l/min, che gestisce 4 attuatori da 10, 40, 250 e 640 kN, e una tavola vibrante uni-direzionale da 500 kN, oltre quattro banchi per prove dinamiche cicliche su dispositivi sismici; infine iv) la sezione industriale per le prove dinamiche e pseudo-dinamiche su strutture e dispositivi di grandi dimensioni, costituita da una parete di contrasto alta 6 metri e larga 8 attrezzata con 6 attuatori da 250÷1000 kN alimentati da un sistema idraulico MTS composto da tre unità di pompaggio con una portata complessiva di 1800 l/min alla pressione di 20.3 MPa. Questa sezione è caratterizzata dalla presenza di una macchina per le prove di accettazione e qualifica su dispositivi antisismici e da una tavola vibrante per prove sismiche su modelli di medio-grandi dimensioni.

Il laboratorio svolge anche la funzione di erogatore di pubblico servizio, in qualità di Laboratorio Ufficiale, per quanto attiene le prove sui materiali, ai sensi della legge n. 1086 del 5 novembre 1971 “Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica”, e la caratterizzazione, qualifica e accettazione di dispositivi antisismici ai sensi delle recenti normative sismiche italiane ed europee. A partire dalla sua istituzione, il laboratorio è riuscito a ritagliarsi un ruolo sempre più significativo nel panorama nazionale ed internazionale, al punto da divenire uno dei soci fondatori della Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica (ReLUI). Il consorzio Reluis, Centro di Competenza per il Dipartimento della Protezione Civile

della Presidenza del Consiglio dei Ministri, è stato istituito il 17 aprile 2003 con lo scopo di coordinare l'attività dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica e Strutturale, fornendo supporti scientifici, organizzativi, tecnici e finanziari alle Università consorziate e promuovendo la loro partecipazione alle attività scientifiche e di indirizzo tecnologico nel campo dell'Ingegneria Sismica e Strutturale in accordo con i programmi di ricerca nazionali ed internazionali in questo settore. Il conseguimento di tale risultato è in gran parte frutto della dotazione impiantistica e di apparecchiature che caratterizzano il Laboratorio, buona parte delle quali ideate, progettate e realizzate internamente allo stesso, grazie alle competenze acquisite dai gruppi di ricerca che vi operano e che lo pongono tra i principali laboratori europei nel campo dell'ingegneria sismica.

Sfruttando le potenzialità del Laboratorio Prove Materiali e Strutture e le interazioni con altri enti di ricerca e formazione nazionali ed internazionali, con le categorie professionali e le aziende specializzate, le attività condotte negli ultimi decenni dai vari gruppi di ricerca afferenti alla Scuola di Ingegneria di Unibas hanno riguardato gli aspetti connessi alla valutazione della risposta sismica di varie tipologie di strutture ed infrastrutture, dalla valutazione su larga scala e locale della vulnerabilità e del rischio, allo studio e definizione di tecniche avanzate di protezione sismica, in particolar modo per le strutture esistenti.

2.1. Tecniche di mitigazione

Le strutture esistenti, progettate in assenza di specifiche normative sismiche, sono spesso caratterizzate da carenze strutturali o da dettagli esecutivi insufficienti, tali da determinare danni rilevanti alle parti strutturali e alle finiture o addirittura collassi in occasione di terremoti anche di bassa/media intensità. Anche per le strutture di recente realizzazione, concepite considerando un comportamento strutturale dissipativo, gli obiettivi prestazionali prefissati dalle attuali norme prevedono un danneggiamento controllato, in base al quale è possibile che, durante forti terremoti, gli edifici possano anche subire danni significativi ma senza

raggiungere la condizione di collasso. Tuttavia il sempre crescente valore degli impianti, delle finiture e dei contenuti degli edifici rispetto al valore intrinseco del contenitore strutturale, da alcuni anni sta imponendo la ricerca di soluzioni cosiddette "a basso danneggiamento", in grado di limitare i danni agli elementi strutturali e non strutturali anche a fronte di terremoti di media forte intensità.

L'utilizzo di tali tecniche può risultare ancor più efficace per il recupero delle strutture esistenti, per le quali le tecniche tradizionali di intervento non sempre consentono di individuare soluzioni economicamente e funzionalmente sostenibili.

La necessità di mitigare i danni ha portato, dunque, allo sviluppo di una moderna filosofia di progettazione di strutture a basso grado di danneggiamento che sfrutta tecniche di protezione sismica caratterizzate da prestazioni più elevate rispetto alle tecniche standard.

In particolare, le tecniche di "protezione sismica passiva", facilmente applicabili sia agli edifici nuovi che a quelli esistenti, utilizzano differenti dispositivi antisismici che, introdotti tra il terreno e la struttura (isolamento sismico) o all'interno della maglia strutturale (dissipazione di energia), sono in grado di ridurre drasticamente la domanda sismica o, in alternativa, modificare la risposta dinamica strutturale globale grazie all'incremento di dissipazione di energia [Skinner 1993; Constantinou et al. 2001; Dolce et al., 2010; Ponzo et al., 2010].

Il SISLAB dell'UNIBAS negli ultimi decenni ha condotto diversi studi sperimentali su strutture reali o in scala ridotta, al fine di dimostrare l'efficacia delle tecniche di protezione passiva nel ridurre l'impatto del sisma sulle strutture. Nel corso delle sperimentazioni sono state considerate diverse tipologie strutturali (cemento armato, acciaio, legno o muratura) progettate considerando solo i carichi gravitazionali o un'aliquota ridotta dell'azione sismica [Ponzo et al. 2011]. Nei paragrafi successivi si riporta una sintesi delle principali applicazioni sperimentali condotte dai ricercatori dell'Università degli Studi della Basilicata, suddivise per tipologia di sistema di protezione adottato, e per risultati ottenuti in termini di riduzione del danneggiamento degli elementi strutturali, e non, rispetto alle strutture standard.

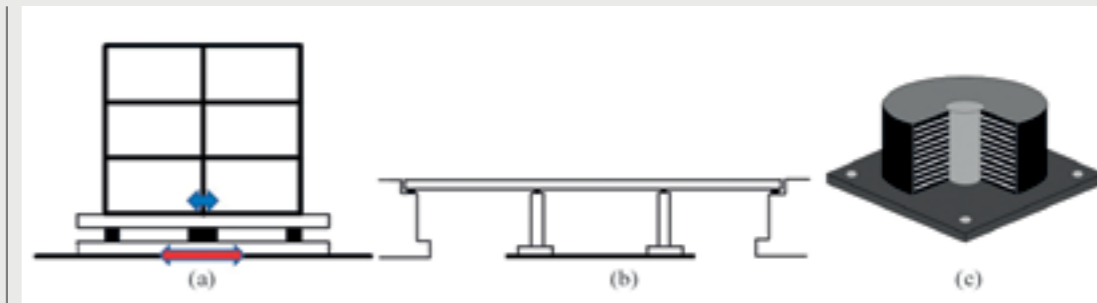


Figura 2. Sistema di isolamento in (a) edifici e (b) ponti. (c) Esempio di Isolatore sismico di tipo elastomerico ad elevato smorzamento (HDRB).

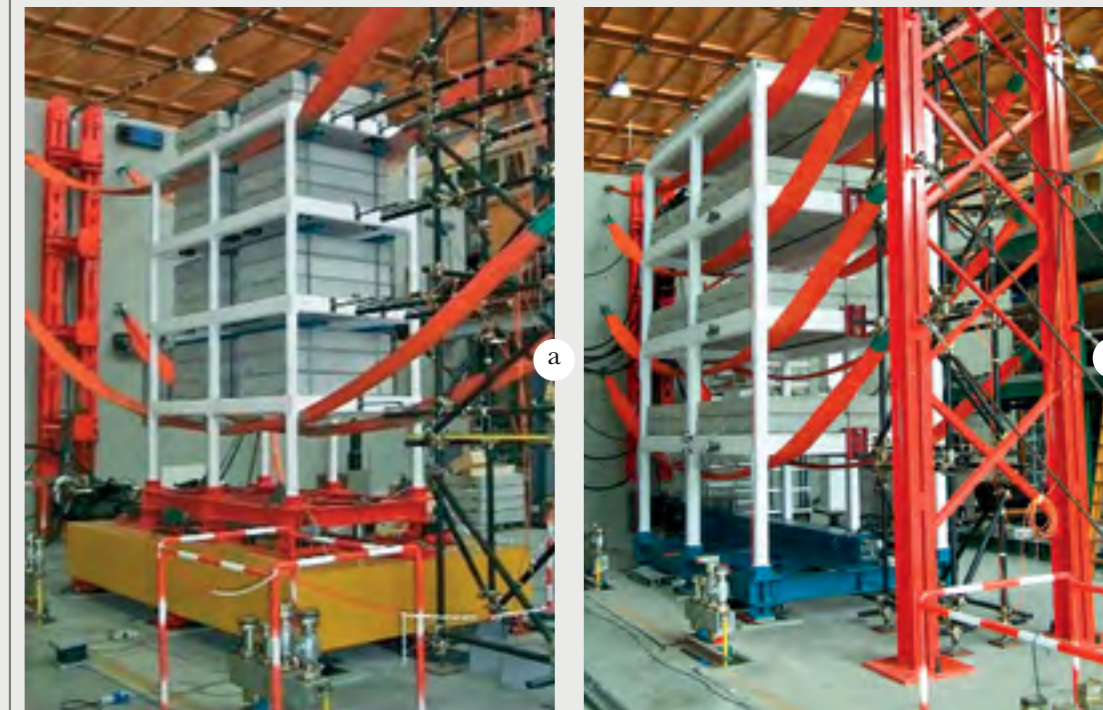


Figura 3. Progetto POP-FESR 1) modelli sperimentali considerati per le prove a) su tavola vibrante (mod. scala 1:4) e b) in pseudo-dinamica (mod. scala 1:2.5).

2.2.1. Isolamento sismico

Le strutture convenzionali progettate secondo le moderne norme sismiche realizzano l'obiettivo di sopravvivenza a terremoti violenti incrementando la capacità di resistenza e di duttilità, per far fronte alle forti accelerazioni determinate dal movimento del suolo di fondazione. L'isolamento sismico cambia in direzione diametralmente opposta l'approccio e, anziché tentare di contrastare gli effetti del terremoto aumentando le suddette capacità della struttura, riduce l'entità del problema all'origine, limitando drasticamente le accelerazioni, e quindi le forze sismiche, che la struttura è costretta a subire. Tale risultato è ottenuto grazie ad una sostanziale "sconnessione" orizzontale (Figura 2) delle principali masse strutturali in elevazione dalla

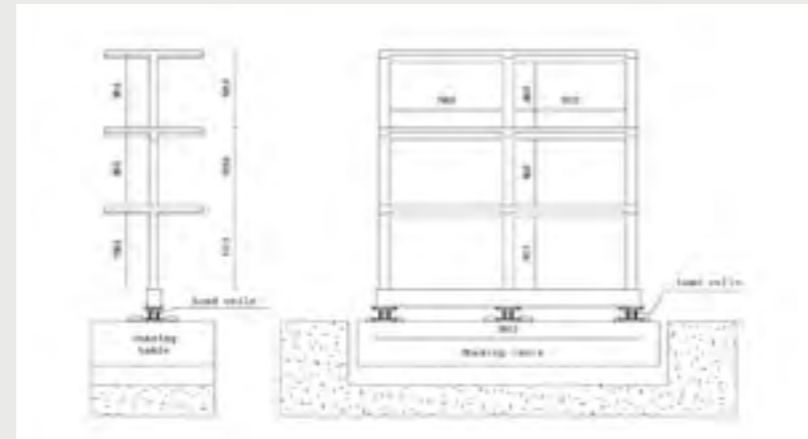
fondazione, in modo da limitare drasticamente la trasmissione degli spostamenti orizzontali dal terreno alla struttura. In questo modo si ottengono progetti economicamente accettabili, se non convenienti, anche nell'ipotesi che la struttura isolata non debba subire danni per terremoti violenti, quegli stessi terremoti per i quali la normativa accetta, invece, un grave danneggiamento quasi al limite del collasso nelle strutture convenzionali [Dolce et al. 2010]. Al fine di verificare l'applicabilità e l'efficacia della tecnica dell'isolamento sismico alla base per strutture a telaio in cemento armato sia nuove che esistenti, sono state condotte diverse campagne di prove sperimentali su modelli prototipo testati in laboratorio e su edifici reali testati in situ.

Nell'ambito del progetto POP-FESR sono stati eseguiti test sperimentali su due modelli in scala 1:4 (Figura 3a) e in scala 1:2.5 (Figura 3b), rappresentativi di una struttura di quattro piani realizzata con telai in cemento armato e progettata per soli carichi gravitazionali secondo le norme sismiche italiane del 1971. I modelli sono stati testati rispettivamente su tavola vibrante [Cardone et al., 2005] e con la tecnica della pseudo-dinamica [Dolce et al. 2004]. Entrambi i modelli sono stati testati in diverse configurazioni considerando la presenza o meno del sistema di isolamento sismico alla base. Nella configurazione isolata sono stati esaminati tre diversi sistemi di isolamento sismico, ottenuti accoppiando isolatori a scorrimento con superficie piana (slitte Acciaio-PTFE) con dispositivi ausiliari dissipativi di tipo elastomerico, isteretico o ricentranti basati su leghe a memoria di forma (LMF). L'analisi dei risultati ha mostrato la grande efficacia del sistema di isolamento, che mediamente ha prodotto una riduzione di circa 3 volte dello spostamento interpiano rispetto a quello mostrato dal modello a base fissa, senza danni significativi alle parti strutturali [Ponzo et al., 2005]. In una struttura reale una riduzione dello spostamento interpiano si traduce in una significativa riduzione anche dei danni alle tamponature, tramezzature e impianti.

Nell'ambito del progetto MANSIDE (Memory Alloys for New Seismic Isolation DEvices) sono stati testati sette modelli sperimentali identici presso l'Università Tecnica di Atene, costituiti da un telaio piano in cemento armato in scala 1:3.3, progettato secondo l'Eurocodice 8 [EC8-1 2004] per una zona a bassa sismicità e per un suolo di caratteristiche medie, tre dei quali con pannelli di tamponamento [Dolce et al., 2006a]. I modelli sperimentali sono stati testati in tre configurazioni: (i) telaio nudo, (ii) con isolamento sismico mediante isolatori elastomerici (Figura 4) e (iii) con controventi dissipativi. Le prove hanno dimostrato la notevole efficacia del sistema di isolamento nel migliorare la risposta sismica del sistema strutturale rispetto alla configurazione a base fissa, con una significativa riduzione dello spostamento interpiano e, soprattutto con una drastica riduzione del danneggiamento

degli elementi strutturali e le parti non strutturali [Dolce et al., 2007].

Al fine di osservare il reale comportamento dinamico di una costruzione isolata alla base in caso di terremoto e verificare la coerenza delle evidenze sperimentali con quanto previsto in fase di progettazione, oltre ai test dinamici su tavola vibrante possono risultare molto efficaci i test di rilascio eseguiti su edifici reali, applicando uno spostamento iniziale alla struttura dotata di isolamento sismico. A tale scopo sono stati svolti una serie di test sperimentali, con prove di rilascio, su un edificio ad uso residenziale situato nel comune di Rapolla, in provincia di Potenza (Figura 5), commissionato dall'Azienda Territoriale per l'Edilizia Residenziale (ATER) di Potenza, dotato di due differenti sistemi di isolamento tra loro intercambiabili (con isolatori elastomerici HDRB e ibrida con HDRB accoppiati con appoggi scorrevoli acciaio/teflon) [Braga et al. 2001, 2004].



Le prove sono consistite nel traslare la struttura orizzontalmente, allontanandola fino ad un massimo di 17 cm (di poco inferiore allo spostamento di progetto) dalla posizione di equilibrio e nel rilasciarla improvvisamente al fine di rilevarne le caratteristiche dinamiche durante le conseguenti oscillazioni libere. L'analisi dei dati sperimentali ha confermato un buon comportamento sperimentale delle due strutture isolate, in particolare con la soluzione ibrida. Questa soluzione può essere molto efficace per superare tipici problemi di progettazione connessi all'utilizzo del solo sistema HDRB. La sperimentazione ha evidenziato le differenze comportamentali dei due sistemi e ha permesso di verificare la

Figura 4. Modello sperimentale considerato nel Progetto MANSIDE nella configurazione con isolatori alla base.



Figura 5. Edificio testato nel comune di Rapolla e particolare del sistema di isolamento alla base con HDRB.

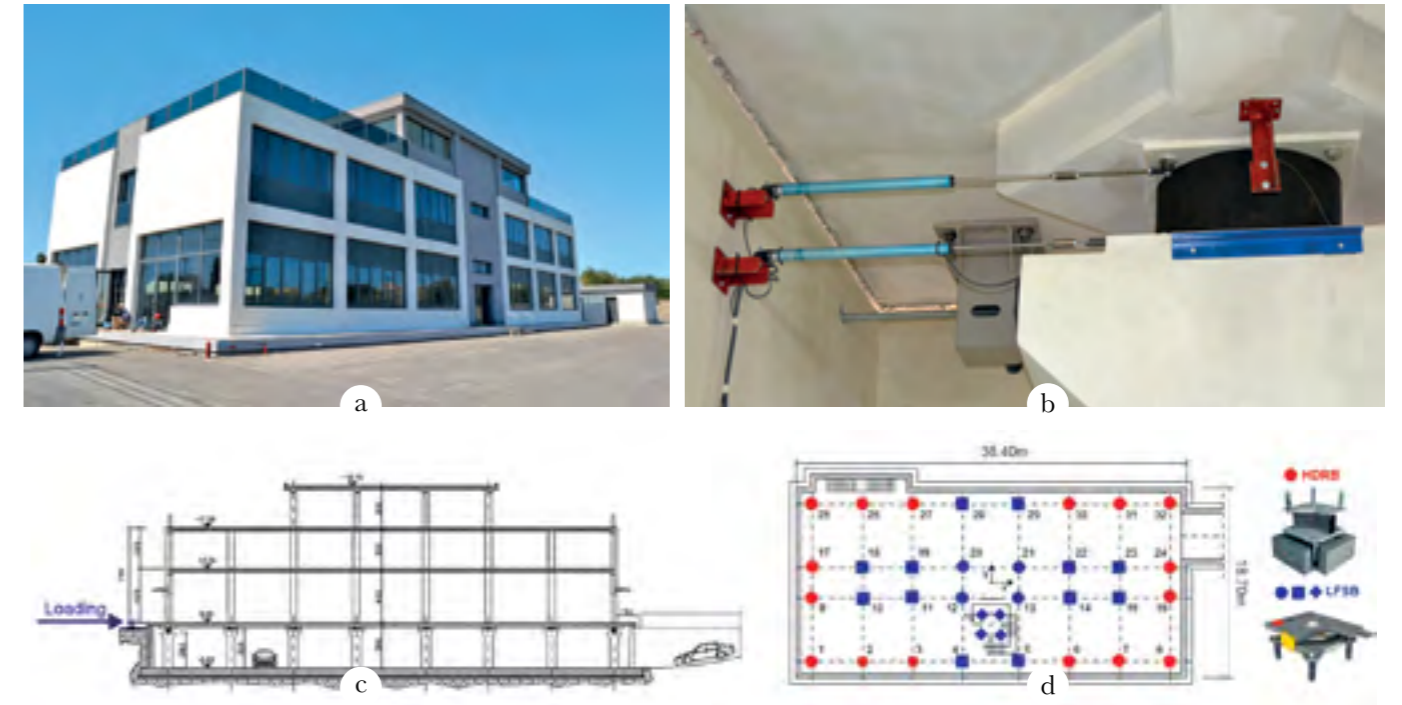


Figura 6. a) edificio testato ad Augusta; b) sistema di monitoraggio degli spostamenti; c) prospetto e d) pianta edificio isolato alla base.

fattibilità e la convenienza del metodo sperimentale per la verifica delle reali caratteristiche del sistema di isolamento.

Un ulteriore interessante caso studio, sviluppato in collaborazione tra Unibas e Università di Catania, riguarda una prova di rilascio di un edificio industriale completamente finito (Figura 6), con destinazione d'uso commerciale, sito nella città di Augusta (Italia). L'edificio è costituito da una struttura in c.a. a tre piani, isolato alla base con un sistema di isolamento ibrido composto da 16 isolatori in gomma ad alto smorzamento e 20 isolatori a scorrimento a basso attrito, progettato e realizzato secondo le norme tecniche italiane, D.M.

14/01/2008 (NTC08) [Oliveto et al., 2013; Ponzo et al. 2014b]. Durante la campagna sperimentale condotta sulla struttura isolata alla base, è stato utilizzato un martinetto in grado di applicare una forza di spinta massima di circa 200 tonnellate, impartendo uno spostamento iniziale prefissato (target di progetto) e successivamente rilasciando istantaneamente l'edificio in una condizione di oscillazione libera. La struttura si è spostata rispetto alla posizione fissa di circa 10 cm senza evidenziare alcun danno, a dimostrazione dell'efficacia del sistema di isolamento. Tale tipologia di prova è stata adottata anche per il collaudo finale di un edificio in cemento armato di grandi

dimensioni, isolato alla base, sede del Dipartimento di Matematica dell'Università degli Studi della Basilicata. In tal caso le numerose prove di rilascio sono state condotte utilizzando un dispositivo meccanico appositamente progettato per imporre lo spostamento iniziale all'edificio e quindi produrre oscillazioni libere smorzate [Bixio et al., 2001].

L'applicabilità e l'efficacia delle tecniche di protezione passiva che utilizzano l'isolamento sismico alla base sono state verificate anche attraverso test sperimentali effettuati con modelli prototipi di edifici in acciaio, considerando tipologie differenti di dispositivi di isolamento.

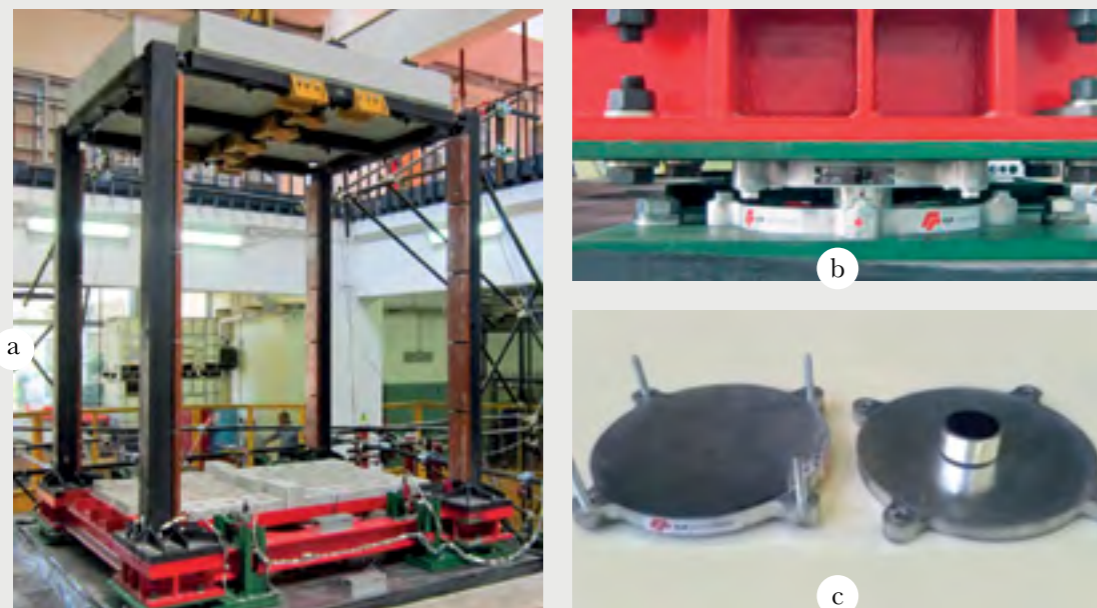


Figura 7. Progetto JETBIS: a) modello sperimentale, b) particolari degli isolatori DCFP, c) Confronto in termini di massimo drift interpiano tra condizione lubrificata e non a vari livelli di PGA.

Nell'ambito del progetto JETBIS (Joint Experimental Testing of Base Isolation System), in collaborazione con l'Università Federico II di Napoli, è stata condotta un'ampia campagna sperimentale per valutare l'efficacia del sistema di isolamento sismico basato su isolatori a scorrimento a doppia superficie curva (Double Concave Friction Pendulum – DCFP) in differenti condizioni di lubrificazione delle superfici di scorrimento [Ponzo et al., 2014a]. In una prima fase sono state effettuate prove preliminari di caratterizzazione dei dispositivi DCFP (Figura 7b) presso il Laboratorio Prove Materiali e Strutture dell'Università degli Studi della Basilicata, secondo le prescrizioni UNI EN 15129, al fine di validare e calibrare i modelli teorici e numerici. Successivamente, presso il laboratorio di Strutture dell'Università "Federico II" di Napoli, sono state eseguite prove dinamiche su tavola vibrante su un telaio monopiano in acciaio in scala 1:3 (Figura 7a), considerando differenti condizioni di lubrificazione dei dispositivi e differenti disposizioni delle masse del modello. Il modello sperimentale è stato sottoposto a simulazioni di terremoti di intensità crescente fino al raggiungimento dello spostamento limite imposto alla base del modello. Il principale effetto ottenuto grazie all'introduzione del sistema di isolamento mediante DCFP è l'effettiva riduzione degli

spostamenti di interpiano e delle accelerazioni della sovrastruttura, indicativi dell'efficacia del sistema. La sperimentazione ha confermato, inoltre, una notevole proprietà di ricentraggio del sistema e la capacità di rimanere sempre operativo anche a fronte di significative scosse successive rispetto al terremoto principale. Il confronto dei dati sperimentali con i risultati di analisi dinamiche non-lineari ha dimostrato, infine, la validità e l'affidabilità dei modelli teorici adottati dalle norme [Di Cesare et al., 2014].

2.2.2. Dissipazione di energia

Un approccio alternativo all'isolamento alla base consiste nell'inserimento, all'interno della maglia strutturale esistente, di sistemi di controventi equipaggiati con speciali dispositivi dissipativi in grado di assorbire e dissipare l'energia trasmessa dal terremoto nella struttura, riducendo sensibilmente gli spostamenti della struttura in campo plastico, e, dunque, le associate richieste di duttilità (danno). Tale tecnica rappresenta una delle soluzioni ottimali per l'adeguamento di strutture intelaiate, soprattutto nel caso in cui non ricorrano le condizioni per l'applicazione dell'isolamento: es. corpi strutturali separati da giunti sismici inadeguati, riserva di resistenza orizzontale della struttura insufficiente. Nell'ambito del progetto ILVA-IDEM, svolto in collaborazione con la Federico II di Napoli, sono state effettuate una serie di prove

di rilascio su una struttura esistente ricavata da un modulo di un vecchio edificio in cemento armato costruito negli anni '70 nella zona industriale ormai dismessa di Bagnoli, Napoli [Dolce et al., 2006]. La struttura di prova (Figura 8) era composta da due telai principali in direzione longitudinale con sezione dei pilastri relativamente piccola e poco armata. In direzione trasversale, non essendo presente nessun telaio, la struttura è stata rinforzata con controventi dissipativi basati sulle Leghe a Memoria di Forma (LMF). Tutte le tamponature e le tramezzature sono state rimosse per evitare l'interazione con gli elementi strutturali durante le prove (Figura 8). L'introduzione dei controventi LMF ha determinato un'evidente riduzione delle oscillazioni, insieme ad incremento significativo di rigidezza. L'effetto ricentrante dei dispositivi basati sulle LMF ha evidenziato, inoltre, una significativa riduzione del livello di danneggiamento e degli spostamenti residui alla fine dell'applicazione di terremoti di forte intensità.

Un esteso progetto di ricerca denominato JETPACS (Joint Experimental Testing on Passive and semi Active Control Systems) è stato sviluppato presso l'Università della Basilicata nell'ambito dell'accordo tra Dipartimento della Protezione Civile nazionale e RELUIS 2005-08, per indagare sull'applicabilità ed efficacia di differenti dispositivi di dissipazione di energia di tipo passivo o semi-attivo basati su materiali e/o tecnologie attualmente disponibili (smorzatori viscosi, dispositivi isteretici) o innovativi (LMF, fluidi magneto-reologici) [Ponzo et al. 2009b]. Il progetto ha previsto prove su tavola vibrante effettuate considerando un modello sperimentale base, rappresentativo di un edificio 3D a due piani in scala 1:1.5 con struttura intelaiata in acciaio dotato di controventi dissipativi (Figura 9) [Ponzo et al. 2012; Di Cesare et al. 2012].

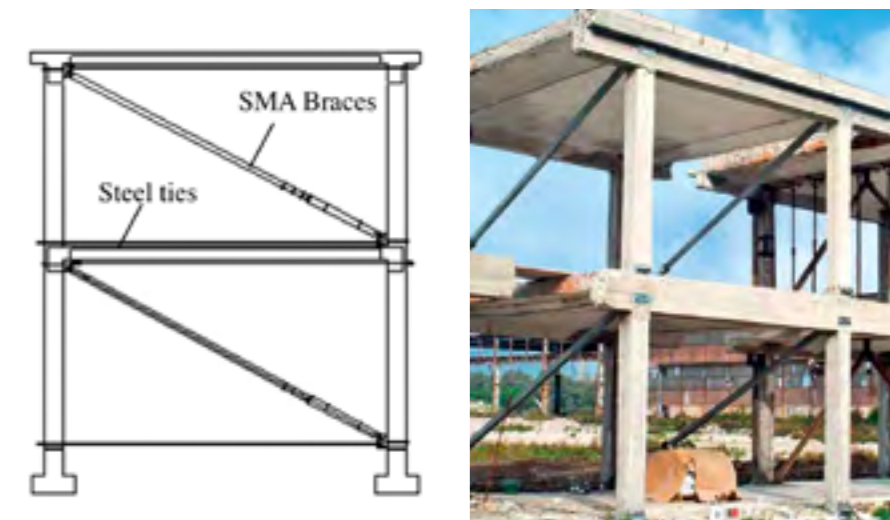


Figura 8. Struttura dell'edificio di prova e vista del telaio trasversale rinforzato con i controventi dissipativi basati sulle LMF (Progetto ILVA-IDEM).



Figura 9. Modello sperimentale in acciaio con controventi dissipativi e particolare dei dispositivi di dissipazione di tipo isteretico e visco-ricentranti (Progetto JETPACS).

I risultati sperimentali hanno dimostrato l'efficacia dei dispositivi dissipativi investigati, sia in termini di capacità di controllo delle vibrazioni sismiche della struttura sia di contenimento degli spostamenti interpiano al di sotto del limite imposto, anche in caso di terremoti ad elevata intensità, sia, ancora, in termini di robustezza e di capacità di sostenere un elevato numero di cicli in campo non-lineare senza danneggiamenti.

Negli ultimi anni, la ricerca di soluzioni strutturali a basso danneggiamento e improntate anche al rispetto dell'ambiente (low carbon strategies), ha portato ingegneri e ricercatori a riconsiderare il legno

come materiale da costruzione anche per gli edifici in zona sismica. Tale materiale, caratterizzato da rapporti tra la resistenza e il peso simili a quelli dell'acciaio, se opportunamente accoppiato a sistemi di dissipazione supplementare di energia e a meccanismi ricentranti, consente di ottenere strutture di estremo interesse dal punto di vista della resilienza al sisma e dell'ecosostenibilità. A tale scopo, in collaborazione con l'Università di Canterbury (Christchurch - Nuova Zelanda) è stata effettuata una campagna di prove sperimentali sulla tavola vibrante dell'Università della Basilicata, considerando un modello sperimentale in scala 1:1.5 ricavato da un prototipo di edificio tridimensionale



Figura 10. a) Modello sperimentale a telaio in legno lamellare con post-tensione e con controventi dissipativi testato presso il Laboratorio prove materiali e strutture UNIBAS; b) dettagli costruttivi del nodo trave colonna e dei controventi dissipativi.

in legno lamellare di 3 piani, con struttura a telaio in entrambe le direzioni, i cui collegamenti trave-colonna sono stati realizzati mediante barre in acciaio post-tese (tecnologia PRES-LAM, [Palermo et al. 2005]). Al fine di testare l'efficacia dell'intero sistema nel contrastare le forze sismiche, sono state testate tre differenti configurazioni del modello [Di Cesare et al. 2017, 2019, 2020a]: i) con sola post-tensione, ii) con sistema di dissipazione concentrato nei nodi trave colonna (rocking dissipativo) e iii) con controventi dissipativi (Figura 10) [Di Cesare et al. 2020b]. Il sistema dissipativo è stato pensato per trasformare l'energia in input dovuta al terremoto in energia di plasticizzazione di speciali elementi in acciaio posizionati nei nodi trave colonna o, in alternativa, sulla parte superiore dei controventi a V rovescia, che durante il terremoto si deformano sfruttando i movimenti relativi tra elementi strutturali (rocking) o tra i vari piani dell'edificio. In essi si concentra l'eventuale danneggiamento, garantendo, così, l'integrità della struttura. In entrambi i casi i dispositivi dissipativi in acciaio sono di facile ed economica realizzazione, installazione e sostituzione. Dopo oltre 100 test sismici, anche violenti,

realizzati sul modello protetto considerando entrambe le configurazioni dissipative progettate con una procedura appositamente predisposta [Ponzo et al. 2019] non è stato riscontrato alcun danno agli elementi strutturali. Solo pochi elementi dissipativi sono stati sostituiti, dopo diverse decine di test, perché danneggiati. I risultati mostrano, inoltre, come l'inserimento dei controventi dissipativi comporti un'ulteriore significativa riduzione degli spostamenti interpiano massimi a tutte le intensità sismiche rispetto alla soluzione con elementi dissipativi nodali, il che si traduce in un danno minore agli elementi non strutturali.

Tra le tipologie di interventi su strutture esistenti che utilizzano l'approccio passivo per la protezione dalle vibrazioni sismiche, può essere annoverata anche la tecnica di rinforzo basata sul confinamento passivo o attivo degli elementi strutturali, con o senza l'aggiunta di elementi dissipativi. Tali tecniche consentono di ottenere significativi incrementi della resistenza e in particolar modo della duttilità degli elementi e quindi, complessivamente, della struttura.

Una vasta campagna sperimentale, suddivisa in due fasi, è stata effettuata da UNIBAS

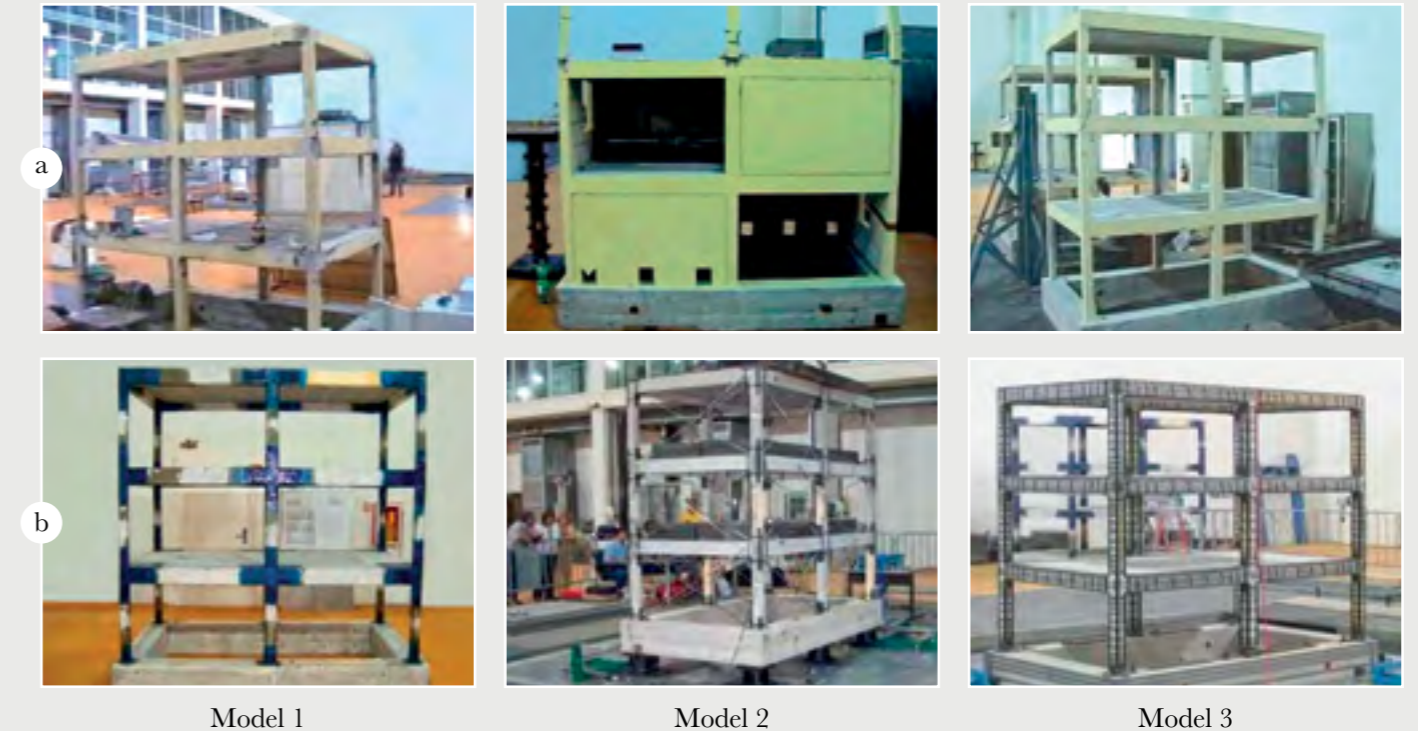


Figura 11. Progetto SICURO: a) modelli sperimentali della fase 1; b) modelli riparati/rinforzati nella fase 2 con confinamento FRP, con isolatori ADRI e con confinamento attivo e aggiunta di dissipazione.

in collaborazione con l'ENEA nell'ambito del Progetto SICURO, su tre modelli identici di edifici con struttura tridimensionale a telai in cemento armato a 3 piani, scala 1:4, progettati per soli carichi verticali e caratterizzati da dettagli costruttivi tipici degli edifici anni '70. Allo scopo è stata utilizzata la tavola vibrante attiva presso i laboratori dell'ENEA Casaccia [Dolce et al 2006b]. Nella prima fase le prove sono state effettuate sui modelli a base fissa e senza alcun rinforzo, i quali si sono gravemente danneggiati o sono parzialmente collassati per terremoti di media intensità (Figura 11a). Nella seconda fase i tre modelli sperimentali danneggiati sono stati riparati e rinforzati (Figura 11b) considerando tre diversi sistemi: (i) cerchiatura con fibre di carbonio (FRP) in corrispondenza dei nodi trave-colonna [Dolce et al 2006e], (ii) isolamento sismico con dispositivi elastomerici ADRI (Added Damping Rubber Isolator) ad alta dissipazione [Dolce et al 2006d] e (iii) confinamento

attivo degli elementi strutturali con aggiunta di elementi dissipativi angolari in acciaio opportunamente rastremati o forati [Dolce et al 2006c, g]. Il sistema di isolamento con i dispositivi ADRI, grazie all'elevato smorzamento, si è rivelato particolarmente efficace nel ridurre gli spostamenti orizzontali e verticali massimi. Il confinamento con FRP ha determinato un notevole incremento della capacità di duttilità della struttura in grado di fare fronte a grandi accumuli di spostamento di interpiano. Il confinamento attivo con l'aggiunta di elementi dissipativi ha permesso invece di incrementare sia la resistenza che la capacità dissipativa della struttura. Tale tecnica consente, infatti, la possibilità di alterare nei nodi i rapporti di resistenza tra travi e colonne, rendendo, quindi, perseguibile anche una progettazione antisismica efficace.

2.2.3. Protezione sismica di strutture in muratura

Gli edifici in muratura rappresentano una percentuale significativa del patrimonio edilizio italiano e spesso

tali strutture, per la loro particolare conformazione, per le caratteristiche costruttive e dei materiali costituenti, sono caratterizzate da valori di vulnerabilità molto elevata. Nell'ambito del progetto TREMA (Tecnologie per la Riduzione degli Effetti sismici sui Manufatti Architettonici in muratura e c.a.) sono stati effettuati numerosi test su tavola vibrante per studiare la risposta sismica di due modelli sperimentali in muratura identici in scala 1:1.5, nelle configurazioni: (i) senza nessun intervento di protezione sismica e (ii) con il sistema di confinamento attivo della muratura [Dolce et al., 2007a]. I modelli sperimentali erano costituiti da paramenti in muratura di pietra irregolare e malta di scarsa qualità di spessore pari a 25cm, scarsamente ammortati con i paramenti ortogonali, a formare una cella strutturale di due piani, con dimensioni in pianta 3.5m x 3.0m e altezza interpiano di 2.1m, con orizzontamenti costituiti da travi e tavolato in legno, rappresentativa di una tipica costruzione in muratura

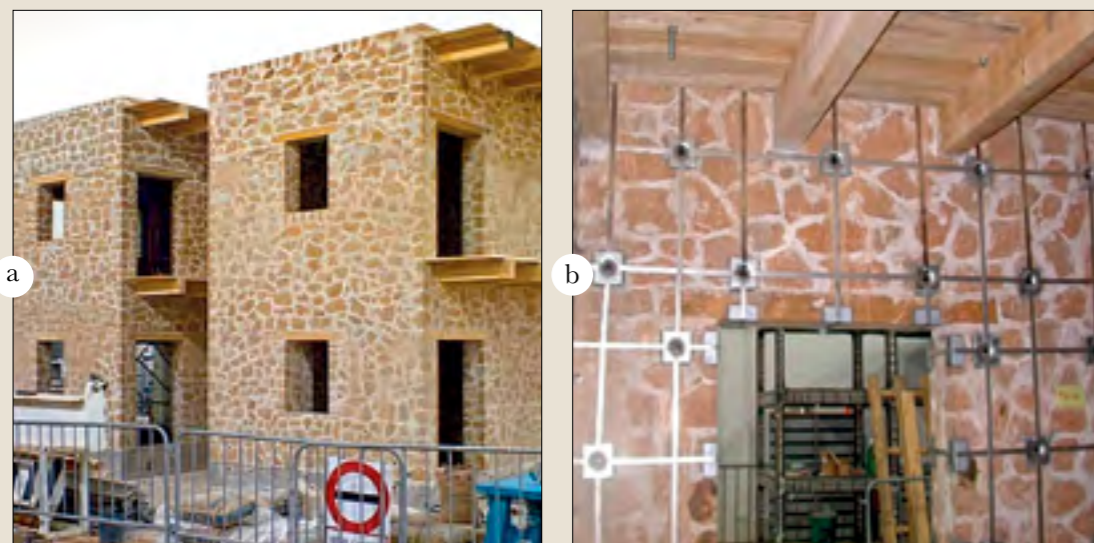


Figura 12. Progetto TREMA: a) Struttura dell'edificio di prova; b) Struttura rinforzata con il sistema di confinamento attivo della Muratura.

esistente nella zona dell'Appennino centro-meridionale (Figura 12.a). Il sistema di confinamento attivo della muratura portante è stato realizzato mediante nastri di acciaio inossidabile pretesi che realizzano una rete tridimensionale di anelli concatenati (Sistema CAM), tali da opporsi al danneggiamento strutturale e produrre un significativo aumento sia della resistenza sia della capacità in duttilità della struttura (Figura 12.b). L'efficacia del sistema di confinamento attivo era stata già testata presso l'Università della Basilicata mediante un ampio programma sperimentale effettuato in precedenza su pannelli in muratura [Ponzo et al. 2009a]. Il confronto dei risultati sperimentali ha evidenziato l'efficacia del sistema di confinamento attivo. Quest'ultimo ha consentito il raggiungimento di un'intensità sismica circa 4 volte più alta rispetto al caso di modello non rinforzato, senza peraltro raggiungere le condizioni di collasso.

3. Conclusioni

Grazie alle risorse della politica di coesione e del Recovery Fund, l'Italia si trova oggi di fronte all'occasione irripetibile di avviare la sua ricostruzione al termine dell'emergenza sanitaria da Covid-19, orientando i processi economici verso una maggiore sostenibilità ambientale, sociale e intergenerazionale. In tale ottica la prevenzione, anche nei confronti dei danni prodotti dai terremoti, rappresenta uno dei principali obiettivi da perseguire grazie a queste risorse.

La sfida, secondo il recente rapporto Svimez 2020, è quella di portare a sistema il rilancio degli investimenti pubblici e privati che si prevede di sostenere con l'iniziativa europea Next Generation Ue, con una politica ordinaria e una politica di coesione europea e nazionale. Una policy condivisa deve essere centrata, secondo il sopracitato Rapporto Svimez, sulle due questioni dell'interdipendenza tra territori e della connotazione nazionale che ormai ha assunto la coesione territoriale nel nostro Paese.

È riducendo le disuguaglianze che si potrà procedere con un'effettiva valorizzazione del contributo alla ripartenza del potenziale presente nelle regioni del Sud e negli altri territori in ritardo di sviluppo dove più forti sono i ritardi nella dotazione di infrastrutture e nell'offerta di servizi da colmare. Gli investimenti in alta formazione e ricerca delle Università, in particolare del Sud, rappresentano le fondamenta per poter costruire uno sviluppo sostenibile del nostro Paese, evitando le fughe di cervelli e valorizzando i giovani talenti del territorio.

Sfruttando le grandi potenzialità dell'Ateneo lucano e degli altri Atenei del Sud e la loro stretta interazione con i principali centri di ricerca a livello mondiale, è possibile valorizzare le esperienze scientifiche, professionali e di ricerca, creando una più stretta sinergia tra il mondo della ricerca, quello delle industrie, delle professioni e della protezione civile al fine di puntare ad una società complessivamente più resiliente.

• Riferimenti bibliografici

Albarello D., Mucciarelli M., Seismic Hazard Estimates Using Ill-defined Macroseismic Data at Site. *Pure appl. geophys.* 159, 1289–1304 (2002). <https://doi.org/10.1007/s00024-002-8682-2>.

Bixio, A. R., Braga, F., Dolce, M., Nigro, D., Ponzo, F. C., & Nicoletti, M. (2001). Prove dinamiche di rilascio di un edificio isolato alla base dell'Università di Potenza. ANIDIS.

Braga F., Laterza M., Gigliotti R., 2001. Comportamento Sperimentale del Sistema di Isolamento Scivo-latori - Richiamatori Elastomerici applicato all'Edificio per Civile Abitazione Costruito nel Comune di Rapolla, 10° Convegno Nazionale "L'Ingegneria Sismica in Italia" (Potenza-Matera, 9-12 Settembre 2001).

Braga F., Laterza M. (2004). Field testing of low-rise base isolated building. *Engineering Structures*, Elsevier doi:10.1016/j.engstruct.2004.06.002.

Constantinou, M. C., Soong T. T., Dargush, G.F. (2001). *Passive energy dissipation systems for structural design and retrofit*. Monograph series no.1, MCEER, State University of New York at Buffalo, NY.

Cardone D., Di Cesare A., Dolce M., Moroni C., Nigro D., Ponzo F.C., Nicoletti M. (2005). Dynamic Tests on a 1:4 scaled r/c existing building: Comparison of Several Isolation Systems. *Proc. 9th World Seminar on Seismic Isolation, Energy Dissipation and Active Vibration Control of Structures*, Kobe, Japan.

De Luca G., Gnazzo D. (2015). L'Università degli studi della Basilicata: un caso di sviluppo locale, in N. MARTINELLI, P. RO-VIGATTI, Università, città e territorio nel Mezzogiorno, pp. 147-183, Milano.

Di Cesare A., Ponzo F. C., Nigro D., Dolce M., Moroni C. (2012). Experimental and numerical behavior of hysteretic and visco-re-centring energy dissipating bracing systems. *Bull Earthquake Eng*, DOI 10.1007/s10518-012-9363-x.

Di Cesare A., Ponzo F. C., Nigro D., Simionetti M., Leccese G. (2014). Seismic performance of a structure with double concave friction pendulum isolation system. *NZSEE2014 Conference*, Istanbul, Turkey.

Di Cesare A., Ponzo F. C., Nigro D., Pampanin S., Smith T. (2017) Shaking table testing of post-tensioned timber frame building with

passive energy dissipation systems. *Bull Earthquake Eng* 15(10):4475–4498.

Di Cesare A., Ponzo F. C., Pampanin S., Smith T., Nigro D., Lamarucciola N. (2019) Displacement based design of post-tensioned timber framed buildings with dissipative rocking mechanism. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 116: 317-330.

Di Cesare A., Ponzo F. C., Lamarucciola, N., & Nigro D., (2020a). Experimental seismic response of a resilient 3-storey post-tensioned timber framed building with dissipative braces. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 18, 6825–6848. <https://doi.org/10.1007/s10518-020-00969-y>

Di Cesare A., Ponzo F. C., Lamarucciola, N., Nigro D., (2020b) Dynamic Seismic Response of Nonlinear Displacement Dependent Devices Versus Testing Required by Codes: Experimental Case Studies. *Appl. Sci.*, 10, 8857.

Dolce M., Cardone D., Di Cesare A., Moroni C., Nicoletti M., Ponzo F. C. (2004). Prove pseudodinamiche su un telaio tridimensionale in scala 1:2.5 in c.a. isolato alla base. XI Congresso Nazionale L'ingegneria sismica in Italia, Genova, 25-29 gennaio. Servizi Grafici Editoriali, Padova. ISBN 88-86281-89-7.

Dolce M., Cardone D., Ponzo F. C. (2006a). Shaking-table tests on reinforced concrete frames with different isolation systems. *Earthquake Engng Struct. Dyn.* 2006; 36:000–000, Published online in Wiley InterScience (www.interscience.wiley.com). DOI: 10.1002/eqe.642

Dolce M., Cardone D., Moroni C., Nigro D., Ponzo F. C., Santarsiero G., De Canio G., Ranieri N., Renzi E., Goretti A., Nicoletti M., Spina D., Lamonaca B., Marnetto R. (2006b). SICURO and TREMA Projects: the Seismic Performance of R/C Frames Seismically Upgraded with Different Systems. 2nd FIB, Naples, Italy.

Dolce M., Moroni C., Nigro G., Ponzo F. C., Santarsiero G., Di Croce M., De Canio G., Ranieri N., Caponero M., Berardis S., Goretti A., Spina D., Lamonaca B., Marnetto R. (2006c). TREMA Project: Experimental Evaluation of the Seismic Performance of a R/C ¼ Scaled Model Upgraded with the DIS-CAM System. 2nd FIB, Naples, Italy.

Dolce M., Cardone D., Moroni C., Nigro D., Palermo G., Ponzo F. C., Di Cesare A., Ventura G., De Canio G., Ranieri N., Goretti A., Marnetto R. (2006d). TREMA Project: Experimental Evaluation of the Seismic Performance of a R/C ¼ Scaled

Model Upgraded with Seismic Isolation. 2nd FIB, Naples, Italy.

Dolce M., Moroni C., Nigro D., Ponzo F. C., Goretti A., Spina D., Lamonaca B., Giordano F., De Canio G., Ranieri N., Marnetto R. (2006e). TREMA Project: Experimental Evaluation of the Seismic Performance of a R/C ¼ Scaled Model Upgraded with FRP. 2nd FIB, Naples, Italy.

Dolce M., Cardone D., Gallipoli M.R., Mucciarelli M., Nigro D., Ponzo F. C., Santarsiero G. (2006f). Shape Memory Alloys Braces, in "Seismic upgrading of r.c. buildings by advanced techniques-the ILVA-IDEM research project" (pp. 325-359). ISBN: 88-7699-038-0. MONZA: Polimetria International Scientific Publisher (ITALY). Federico Mazzolani Coordinator & ed.

Dolce M., Moroni C., Nigro D., Ponzo F. C., Santarsiero G., Di Croce M., De Canio G., Ranieri N., Caponero M., Berardis S., Goretti A., Spina D., Lamonaca B., Marnetto R. (2006g) TREMA project experimental evaluation of the seismic performance of a R/C 1/4 scaled model upgraded with the DIS-CAM system. 2nd FIB Congress, Naples, Italy.

Dolce M., Cardone D., Ponzo F. C. (2007). Shaking-table tests on reinforced concrete frames with different isolation systems. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, vol. 36, p. 573-596, ISSN: 0098-8847, doi: 10.1002/eqe.642.

Dolce M., Ponzo F.C., Moroni C., Nigro D., Goretti A., Giordano F., De Canio G., Marnetto R. (2007a). 3D dynamic tests on 2/3 scale masonry buildings retrofitted with different system. *Proceeding of 1st European Conference on Earthquake Engineering and Seismology*, Genève, Suisse, September.

Dolce M., Ponzo F. C., Di Cesare A., Arleo G. (2010). Progetto di Edifici con Isolamento Sismico (Seconda Edizione) – Volume 3, Collana di Manuali di Progettazione antisismica, IUSS Press, Pavia, Italy.

EC8-1 (2004) Design of structures for earthquake resistance, part 1: general rules, seismic actions and rules for buildings, European Standard EN 1998-1, European Committee for Standardization (CEN), Brussel.

Fonseca C.D. (1992). Decennale dell'Università degli Studi della Basilicata, 1981-1991, Potenza, (Zafarone e Di Bello).

Fonseca C.D. (1994). L'Università degli Studi della Basilicata. Utopia e progetto, Galatina, Congedo, 1994.

Lerra A. (2004). Per una storia dell'Università degli Studi della Basilicata, in *Bollettino storico della Basilicata*, n. 20, pp. 267-277, a cura della Deputazione di Storia patria per la Lucania, Osanna edizioni.

Mucciarelli M., Albarello D., D'Amico V. (2008). Comparison of Probabilistic Seismic Hazard Estimates in Italy. *Bulletin of the Seismological Society of America* (2008) 98 (6): 2652–2664. <https://doi.org/10.1785/0120080077>

Oliveto G., Athanasiou A., and Granata M., (2013) Blind simulation of full scale free vibration tests on a three story base isolated building, 10th International Conference on Urban Earthquake Engineering March 1-2, 2013, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan.

Palermo A., Pampanin S., Buchanan A. and Newcombe M.P., (2005) Seismic Design of Multi-Storey Buildings using Laminated Veneer Lumber (LVL), NZSEE Conference, Taupo, New Zealand.

Ponzo F. C., Di Cesare A., Dolce M., Moroni C., Nigro D., Cardone D., Nicoletti M. (2005). Comparison of Shaking Table and Pseudodynamic Test on a Base Isolated R/C Structure. *Proc. 9th World Seminar on Seismic Isolation, Energy Dissipation and Active Vibration Control of Structures*, Kobe, Japan.

Ponzo F. C., Giordano F., Di Croce M., Moroni C., Nigro D., Dolce M., Goretti A., De Canio G., Marnetto R. (2009a) Prove su tavola vibrante di un edificio in muratura in scala 2/3 rinforzato con sistemi innovativi di protezione sismica. *Proc. XIII ANIDIS*, Bologna, Italy.

Ponzo F.C., Di Cesare A., Moroni C., Nigro D., Ditommaso R., Auletta G., Dolce M. (2009b). Progetto JET-PACS: Joint Experimental Testing on Passive and semiActive Control Systems, *Proc. XIII ANIDIS*, Bologna, Italy

Ponzo F.C., Di Cesare A., Arleo G., Totaro P. (2010). Protezione sismica di edifici esistenti con controventi dissipativi di tipo isteretico: aspetti progettuali ed esecutivi, *Progettazione Sismica*, Anno II, n. 1, p. 19-42

Ponzo F.C., Di Cesare A., Nigro D., Dolce M. (2011). An update of innovative retrofitting techniques for R/C and masonry building: from experimental investigations to practical applications. *Proceedings of the 9th Pacific Conference on Earthquake Engineering* 14-16 April, 2011, Auckland, New Zealand.

Ponzo F. C., Di Cesare A., Nigro D., Vulcano A., Mazza F., Dolce M., Moroni C. (2012). Jet-pacs Project: dynamic experimental tests and numerical results obtained for a steel frame equipped with hysteretic damped braces. *Journal of Earthquake Engineering*, 16:662–685, ISSN: 1363-2469 print / 1559-808X online, DOI: 10.1080/13632469.2012.657335.

Ponzo F. C., Di Cesare A., Nigro D., Simionetti M., Leccese G. (2014a). “Shaking table tests of a base isolated structure with double concave friction pendulums”. NZSEE2014 Conference, Auckland, New Zealand.

Ponzo F. C., Ditommaso R., Nigro, D. Romaniello R., & Cardone D. (2014b) Analysis of dynamic behaviour of a base isolated building: a release test in Augusta (SI), Italy. *Second European Conference on Earthquake Engineering and Seismology*, Instabul, (25-29 Aug. 2014).

Ponzo F. C., Di Cesare A., Lamarucciola N., Nigro D. (2019). Seismic design and testing of post-tensioned timber buildings with dissipative bracing systems. *Front. Built Environ.*, 5, 104, doi:10.3389/fbuil.2019.00104.

Skinner R. I., Robinson H., McVerry G. H. (1993). *An Introduction to Seismic Isolation*, John Wiley & Sons Ltd.