

□ **Gerarda De Canio** (decanio@casaccia.enea.it), **Nicola Ranieri, Emanuele Renzi, Paola Giaquinto, Massimo Poggi, Francesca D'Aversa**

RICERCHE IN CORSO SULLE MODERNE TECNOLOGIE ANTISISMICHE PRESSO IL LABORATORIO DI PROVE DINAMICHE E CONTROLLO DELLE VIBRAZIONI DEL CENTRO RICERCHE ENEA CASACCIA

L'attività dell'Unità Tecnico Scientifica Materiali e Nuove Tecnologie dell'ENEA nel campo dell'ingegneria sismica è orientata principalmente alla *caratterizzazione e qualificazione dei materiali e delle tecnologie per il controllo strutturale in generale e l'isolamento sismico in particolare, il rinforzo strutturale e la riabilitazione antisismica.*

Le tavole sismiche a 6 Gradi Di Libertà (6GDL) installate al C.R. Casaccia nel Laboratorio di Prove Dinamiche e Controllo delle Vibrazioni dell'ENEA-MAT costituiscono un complesso di attrezzature tecnologicamente all'avanguardia nel campo della sperimentazione dinamica di grandi strutture. Il laboratorio dispone di due tavole vibranti a 6 Gradi Di Libertà (6GDL) tra le più grandi d'Europa, con cui è possibile effettuare prove sismiche triassiali di manufatti civili, industriali e storico/monumentali:

| | System 1 | System 2 |
|---|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Dimensioni della tavola sismica | 4m x 4m | 2m x 2m |
| Gradi Di Libertà | 6 GDL | 6 GDL |
| Campo di Frequenza | 0-50 Hz | 0-100 Hz |
| Accelerazione | 3g peak | 5g peak |
| Velocità | 0.5 m/s (0-peak) | 1 m/s (0-peak) |
| Spostamento | 0.25 m (0-peak) | 0.30 m (0-peak) |
| massa ed altezza del baricentro dell'oggetto in prova | 10 ton 1m altezza baricentrica | 1 ton 1 m altezza baricentrica |

Le prove su tavola vibrante hanno una fondamentale importanza per la comprensione del comportamento dinamico delle strutture sotto l'azione dei carichi sismici, la verifica dell'efficacia dei dispositivi di protezione sismica, dei materiali e delle tecniche di consolidamento/adequamento sismico, insieme con la validazione dei modelli di simulazione numerica. Le attività sperimentali sono sviluppate nell'ambito dei progetti di ricerca in collaborazione con altre Unità dell'ENEA, in particolare con ENEA-PROT, e con altri centri di ricerca italiani ed internazionali.

Lo stato attuale della ricerca scientifica sui materiali per i dispositivi di protezione antisismica e per il consolidamento strutturale è avanzato sia per quanto riguarda la tecnologia di produzione dei materiali stessi sia per le applicazioni nel campo della protezione antisismica; basti pensare ai materiali per i dispositivi di isolamento/dissipazione quali Gomme vulcanizzate, leghe a memoria di forma, materiali elastoplastici, fluidi a viscosità controllata e magneto-reologici; oppure ai materiali compositi fibrorinforzati a matrice polimerica ed alle malte epossidiche per il consolidamento strutturale. Ciononostante uno degli aspetti che necessitano ulteriori studi è quello della valutazione dell'effetto dell'invecchiamento sui materiali e della dipendenza dalle tecniche di applicazione sulle prestazioni del dispositivo e/o del rinforzo strutturale nell'intera vita operativa del *dispositivo, rinforzo e della struttura.* Da un'analisi critica dello stato dell'arte per l'applicazione dei materiali compositi fibrorinforzati a matrice polimerica nel rinforzo di elementi in c.a. ed in muratura si evidenzia che le conoscenze degli effetti dell'invecchiamento sulle prestazioni strutturali sono molto carenti.

I progetti di ricerca in corso presso ENEA-MAT trattano in maniera complementare i vari aspetti del ciclo di vita di questi materiali in ambito edilizio, unitamente alle tecniche di applicazione e di manutenzione, in termini di affidabilità e durabilità, secondo l'approccio dello *stato limite di*

progetto. In analogia con l'approccio alla sicurezza in campo nucleare, introducendo l'invecchiamento $r=r(s(t))$ come uno stato del sistema che dipende dalle risorse funzionali o strutturali $s(t)$ (p.es. la resistenza residua), il processo di invecchiamento è caratterizzato dal tasso di degradazione delle risorse ds/dt quale parametro del limit-state-design che ci consente di definire i due stati limite più importanti: lo Stato Limite Ultimo e lo Stato Limite di Danno.

In questo ambito i due stati limite SLU ed SLD possono essere definiti come come End-of-Life State (S_{el}) ed End-Point-State (S_{ep}) :

SLU (Ultimate-Limit-State) = perdita di funzionalità del sistema : End-of-life-State

SLD (Damage/Survivability-Limit-State) = normale funzionalità : End-Point-State

Questi stati sono caratterizzati da valori delle risorse ben definiti in fase di progetto: S_{el} e S_{ep} .

Per distinguere l'invecchiamento (aging) dal tempo naturale si introduce il legame funzionale:

$$t_{el} : S(t_{el}) = S_{el} \quad R_{el} = R(S_{el})$$

I carichi esterni (anche l'età è un carico esterno) determinano una degradazione delle risorse con un tasso dS/dt (loss rate), per cui la risorsa al tempo t è definita come:

$$S(t) = S_0 - \sum_1^N \dot{S}_i \Delta t_i$$

dove S_0 è la risorsa iniziale e Δt_i è il tempo di applicazione del carico i^{mo} .

Per sistemi strategici (edifici, apparecchiature), ad ogni applicazione del carico di End-Point (p.es. ad ogni sisma) la perdita di risorse dS_{ep}/dt è una quantità nota e l'End-Point è lo stato limite caratterizzato da una risorsa S_{ep} tale che

$$S_{ep} \geq S_{el} + S_{ep} \dot{\Delta} t$$

Il tempo T_{el} è la vita operativa "qualificata" caratterizzata da una risorsa residua sufficiente per sopportare i carichi verticali senza collasso della struttura.

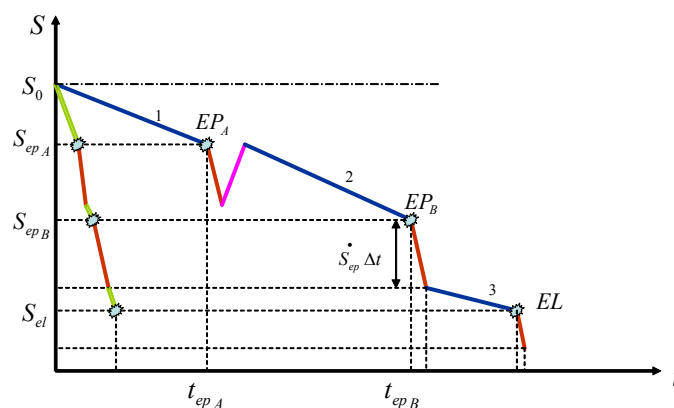


Fig.1 degradazione delle risorse del sistema con i processi naturali ed accelerati.

In fig. 1 si vede come l'invecchiamento accelerato consiste in una serie di sollecitazioni ambientali quali cicli termici, sollecitazioni meccaniche, atmosfera corrosiva, luce UV, radiazioni ecc.. che degradano le risorse del sistema agli stessi valori di End of Life State (Stato limite Ultimo) del processo " naturale". Cioè, la resistenza residua dipende dall'intera vita operativa della struttura e del dispositivo (nel nostro caso dell'intervento con materiale FRP o il dispositivo antisismico) .

In sintesi, nei progetti di ricerca in corso presso i laboratori UTS-MAT, la valutazione dello “ *Stato Limite di Progetto*” (*Limit State Design*) viene effettuata unendo gli aspetti *probabilistici* dell’affidabilità strutturale agli aspetti *deterministici* del progetto strutturale, introducendo l’invecchiamento come uno stato del sistema da cui dipendono le risorse funzionali (nel caso strutturale, dalla *resistenza residua*). *Il processo di caratterizzazione e qualificazione che attraversa i vari progetti viene quindi visto come la verifica del Limit-State-Design.*

Nella tabella che segue si illustrano i principali progetti di ricerca sulla sicurezza e la protezione antisismica in corso presso l’UTS-MAT

| Progetto | Attività |
|---|---|
| TREMA - Tecnologie per la Riduzione degli Effetti sismici sui Manufatti Architettonici in Muratura e Calcestruzzo Armato | <ul style="list-style-type: none"> - Stato dell’arte e della pratica sulle strategie e tecniche d’intervento per la riduzione degli effetti sismici sui manufatti in c.a. e in muratura, - stato dell’arte delle soluzioni tecnologiche attualmente disponibili per la riduzione degli effetti sismici, identificarne pregi e difetti e possibili miglioramenti, - verifica dell’efficacia dell’isolamento alla base per la protezione di edifici esistenti e prove di laboratorio su tre modelli strutturali di edifici progettati per zone non classificate sismicamente, - verifica di applicabilità progettuale e valutazione tecnico-economica degli interventi, e verifica industriale - redazione di linee guida e manuali di applicazione. |
| MITRAS - Materiali, Tecnologie e Metodi di Progettazione Innovativi per il Ripristino ed il Rinforzo di Infrastrutture di TRASporto Stradale | <ul style="list-style-type: none"> - Sviluppo di materiali e tecnologie per il ripristino ed il rinforzo di infrastrutture stradali, - sperimentazione su modelli in piccola e media scala e su prototipi in scala reale, - verifiche a breve termine (controlli non distruttivi), - verifiche a lungo termine (monitoraggio remoto mediante sensori a fibre ottiche). |
| RESIS – Ricerca e sviluppo per la sismologia e l’ingegneria sismica | <ul style="list-style-type: none"> - Sistema per la valutazione della vulnerabilità sismica, - Sistema di diagnostica strumentale ai fini della sicurezza, - Uso di materiali compositi per il rinforzo/adequamento sismico di elementi strutturali, - Intervento su un edificio campione e Prove su tavola vibrante di un elemento strutturale dell’edificio (nodo trave pilastro). |
| CAMPEC –WP2 : Materiali polimerici fibrorinforzati per il rinforzo strutturale. | <ul style="list-style-type: none"> - Uso degli FRP per il rinforzo e l’adequamento di edifici in muratura tradizionale, - realizzazione di modelli scala di sistemi tecnologico-strutturali di riferimento, per l’esecuzione di prove fisico-meccaniche, dinamiche e “combinata in esercizio”, in grado di dimostrare l’efficacia dei dispositivi caratterizzati dalle FRP ed applicati sulle murature tradizionali non omogenee. |

Il progetto TREMA si occupa principalmente della protezione sismica tramite isolamento alla base e, secondariamente, dei sistemi innovativi di rafforzamento strutturale e di adeguamento sismico tramite FRP e sistema CAM. Gli altri progetti riguardano invece in maniera specifica le tecniche di rinforzo/adequamento sismico tramite i materiali polimerici fibrorinforzati, e quindi il ciclo di vita operativa e l’approccio Limit State Design.

Il progetto TREMA

Il Progetto ha una durata complessiva di 36 mesi ed è articolato in tre attività principali.

1- La prima attività ha carattere conoscitivo, ed è finalizzata a raccogliere lo stato dell'arte e della pratica sulle strategie e tecniche d'intervento per la riduzione degli effetti sismici sui manufatti in c.a. e in muratura e a individuare le problematiche da approfondire nel proseguo della ricerca.

2- La seconda attività raccoglie lo stato dell'arte e i risultati sperimentali sulle soluzioni tecnologiche attualmente disponibili per la riduzione degli effetti sismici, identificarne pregi e difetti e possibili miglioramenti, pianificare l'indagine sperimentale, eseguire le prove di laboratorio, elaborare ed interpretare i dati della sperimentazione.

3- La terza attività è finalizzata alla sintesi dei risultati delle attività precedenti, ed in particolare di quelle sperimentali, passando attraverso una verifica di applicabilità progettuale, una valutazione tecnico-economica, una verifica industriale, per giungere, quindi, alla redazione di linee guida e manuali di applicazione.

I partner del progetto TREMA sono:

- l'ufficio del Servizio Sismico Nazionale del Dip.to della protezione Civile,
- l'Unità Materiali e Nuove Tecnologie dell' ENEA (ENEA-MAT),
- il Dip.to Strutture, Geotecnica e Geologia applicata (DiSGG) dell'Università della Basilicata,
- la TIS - Tecniche Idrauliche Stradali di Roma.

Tutte le attività sopra delineate fanno riferimento alle due tipologie strutturali principali : Cemento Armato e muratura.

In particolare, per gli edifici in c.a. (attività in corso) si opera essenzialmente sulle strategie di controllo passivo per isolamento e per dissipazione di energia, mentre per gli edifici in muratura (attività programmata nel periodo Settembre 2004 - Giugno 2005) si opererà sulle soluzioni tecnologiche per il rafforzamento delle pareti e, più in generale, degli organismi strutturali.

Per quanto riguarda queste tecniche, sono state esaminate le seguenti tipologie di intervento per gli edifici in C.A ed in Muratura:

| Edifici in C.A. | |
|--|--|
| Tecniche tradizionali | Tecniche innovative |
| <ul style="list-style-type: none">- Tecniche di riparazione e rafforzamento con resine e malte epossidiche fibrorinforzate- Incamiciatura in c.a.- Placcatura- Inserimento di tamponature robuste e/o di pareti in c.a. | <ul style="list-style-type: none">- Isolamento- Controventi tradizionali- Controventi dissipativi (basati sull'isteresi dell'acciaio, sulla viscosità e sulle LMF)- Rafforzamento con sistema CAM |

| Edifici in Muratura | |
|---|---|
| Tecniche tradizionali | Tecniche innovative |
| <ul style="list-style-type: none">- Cuci-scuci- Catene- Rigenerazione malte (iniezioni)- Intonaco cementizio- Iniezioni armate- Inserimento barre nei giunti | <ul style="list-style-type: none">- Isolamento alla base- isolamento delle coperture- Dissipazione di energia- Rafforzamento con sistema CAM |

Nell'anno 2003 è iniziata la valutazione sperimentale su organismi strutturali in c.a dell'efficacia delle diverse tecniche/tecnologie con le seguenti attività:

1. Prove con tavola vibrante su edifici in scala 1:4 per la verifica dell'efficacia dell'isolamento sismico come tecnica di adeguamento per edifici esistenti progettati per soli carichi verticali. Effettuate presso i laboratori di Dinamica Strutturale e Controllo delle Vibrazioni dell'ENEA Casaccia con il contributo di tutti i partner.
2. Prove di caratterizzazione di un telaio c.a. presso l'ex Italsider di Bagnoli e verifica dell'efficacia della protezione sismica tramite controventi innovativi. Effettuate in sito a Bagnoli dal DiSGG con il contributo di TIS e del DPC-SSN

Prove su tavola Vibrante.

L'edificio sottoposto a prove su tavola vibrante è costituito da un telaio tridimensionale in cemento armato, in scala 1:4, tamponato e progettato per zone non classificate sismicamente, quindi non in grado di resistere alle azioni sismiche. Il telaio è stato sottoposto alle azioni sismiche con e senza i sistemi di protezione, sollecitandolo fino a rottura incipiente. Il modello in scala sottoposto a sperimentazione, progettato dal DiSGG, deriva da un edificio prototipo in c.a. di riferimento progettato per resistere al solo peso proprio e ai carichi verticali accidentali coerenti con la sua destinazione d'uso a civile abitazione (2.0 kN/m²). Sul solaio di copertura è previsto un carico accidentale dovuto alla neve di 0.80 kN/mq. Nelle prove sperimentali solo una quota pari a 1/3 del carico accidentale graverà effettivamente sul telaio.

Non essendo dimensionato per resistere ad alcun tipo di azione orizzontale (vento o sisma), il telaio è privo di quei requisiti (colonne "forti" e travi "deboli", nodi staffati, staffatura dei pilastri più fitta, etc.) che caratterizzano le strutture in zona sismica.

Nello schema seguente sono riportate le principali caratteristiche del modello in scala e del prototipo di riferimento.

| | Prototipo | Modello 1:4 |
|---|---------------------------|----------------------------|
| No. di livelli | 3 | 3 |
| No. di campate direz. Y | 2 | 2 |
| No. di campate direz. X | 1 | 1 |
| Luce campate direz. Y | 4.5 m | 1.125 m |
| Luce campate direz. X | 5.0 m | 1.25 m |
| Altezza colonne | 3.0 m | 0.75 m |
| Ingombro in pianta | 9.25 x 5.3 m ² | 2.31 x 1.32 m ² |
| I, II e III livello - peso proprio solai (finiture e partiz.) | 3.22 kN/m ² | |
| IV livello - peso proprio solaio | 3.02 kN/m ² | |
| I, II e III livello - sovraccarichi accidentali | 2.0 kN/m ² | |
| Sovraccarichi copertura | 0.80 kN/m ² | |

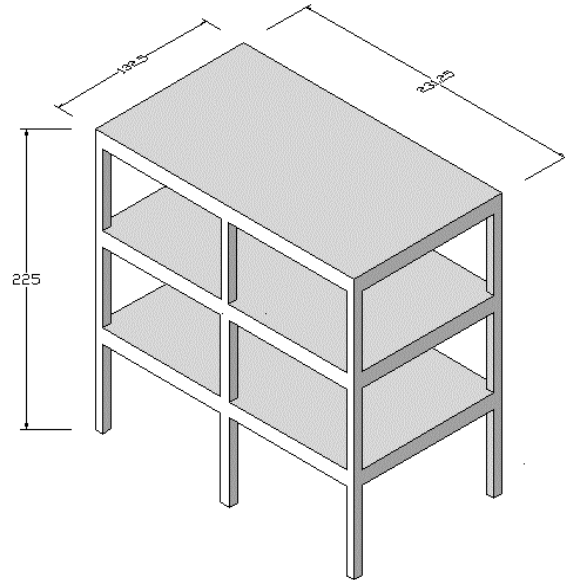


Fig. 2 Modello in scala $\frac{1}{4}$ di un edificio convenzionale dotato di dispositivi di protezione sismica

Sintesi dei risultati sperimentali

Le prove sono state eseguite partendo dalla configurazione a base fissa per bassi valori di intensità, al fine di caratterizzare il comportamento elastico iniziale. Successivamente si è passati alle configurazioni con i due sistemi di isolamento sismico, l'uno basato su isolatori in gomma (Rubber Devices RB) e l'altro su leghe a memoria di forma (Shape Memory Alloys SMA) raggiungendo accelerazioni di picco della tavola fino a 1.7 g per azioni uni- e bi-direzionali, senza che la struttura subisse danni e con lievi danni alle tamponature. Al termine del ciclo di prove sul modello con isolamento si è proceduto alle prove sulla struttura a base fissa, che ha raggiunto le condizioni di collasso per accelerazione di picco di poco superiore a 0.5g. L'elevato valore delle accelerazioni di picco raggiunte nelle prove con isolamento sismico, senza sostanziali danni, hanno dimostrato l'elevata efficienza della strategia dell'isolamento e degli specifici sistemi utilizzati. Nelle Fig. 3,4 sono riportate le storie temporali delle accelerazioni alla base ed al terzo piano nelle prove con dispositivi in gomma (RB) e con i dispositivi rientranti basati su Leghe a Memoria di Forma (SMA). L'input sismico è la riproduzione del sisma di Colfiorito nelle direzioni simultanee X e Y concatenato 3 volte per una migliore visualizzazione del fenomeno. In Fig. 5 sono riportate le accelerazioni negli stessi punti durante la prova sull'edificio non protetto (a base fissa) con 0.5g di picco alla base. In questa prova si è ottenuta la rottura del modello, evidenziata (in Fig.5) dalla forte discontinuità del segnale acquisito dall'accelerometro posto in sommità della struttura (A3_1y), dopo circa 12 secondi dall'inizio del test. Si osservi, altresì che quando il sensore recupera la sua funzionalità il periodo del moto strutturale risulta evidentemente aumentato rispetto alla situazione antecedente alla discontinuità, ciò costituisce un chiaro indice di danneggiamento strutturale.

Project TREMA
Test configuration: Fixed Base(No devices) Earthquake: Modified Colfiorito_XY
Test id.: IG_colfXY_16
AT= Table acceleration A3=3rd Floor Acceleration

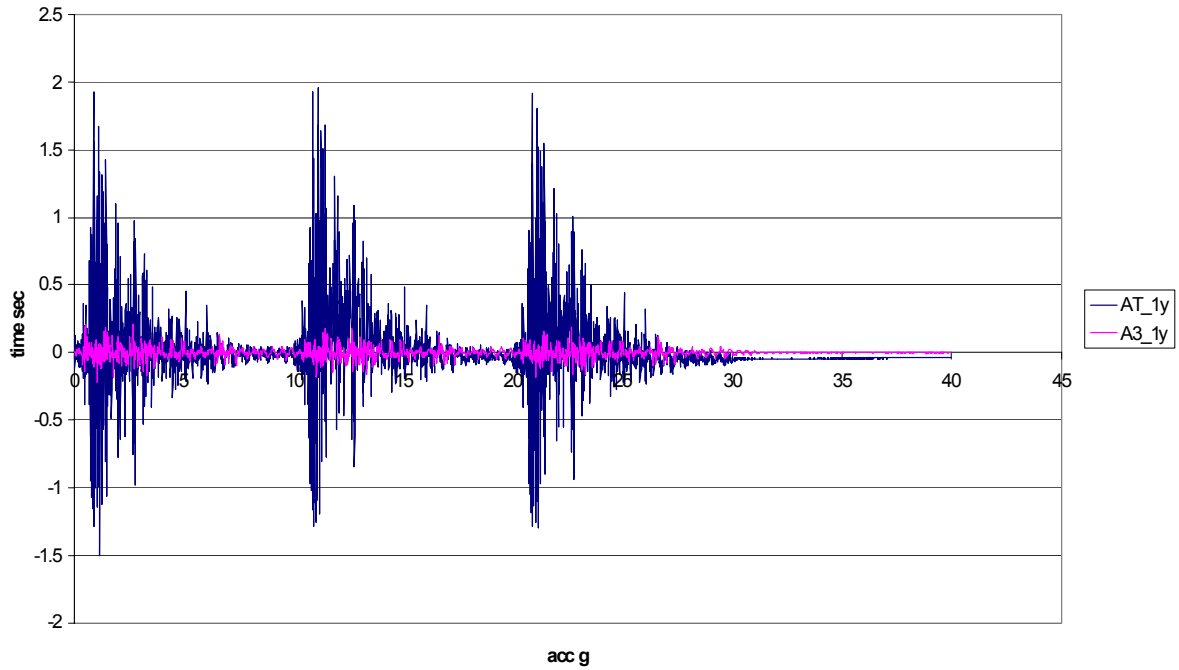


Fig. 3 Accelerazioni [m/s² /g] alla base ed al terzo piano durante la prova con isolatori in Gomma

Project TREMA
Test configuration: Base Isolation (SMA devices) Earthquake: Modified Colfiorito_XY
Test id.: IG_colfXY_16
AT= Table acceleration A3=3rd Floor Acceleration

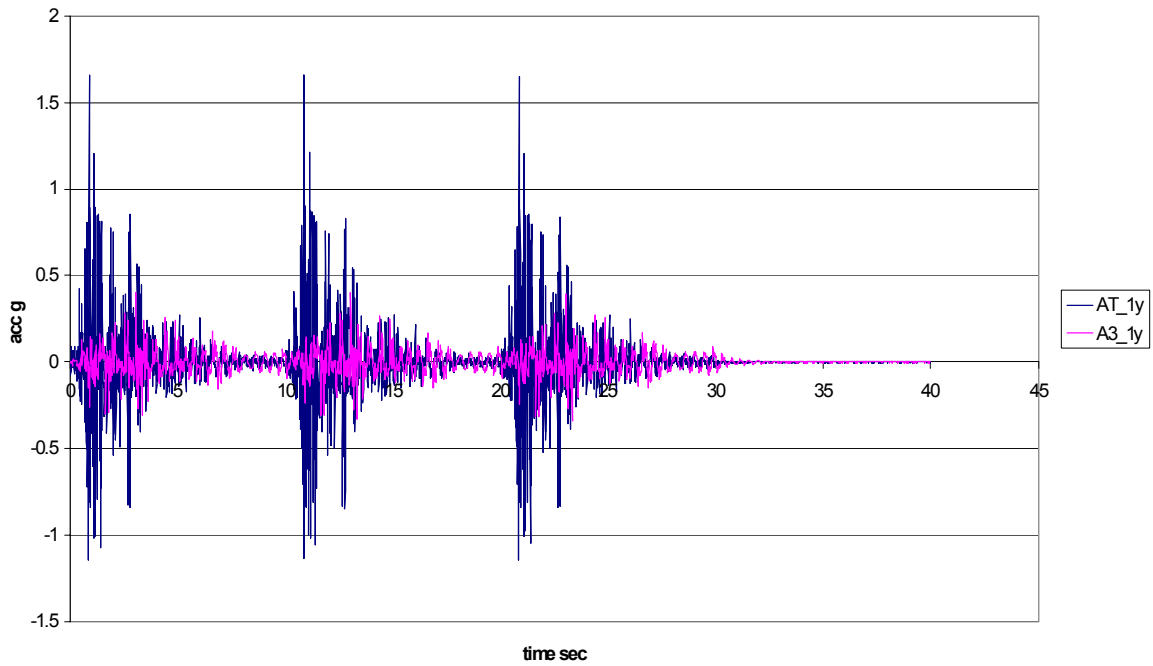


Fig. 4. Accelerazioni [m/s² /g] alla base ed al terzo piano durante la prova con isolatori ricentranti in leghe a memoria di forma (SMA)

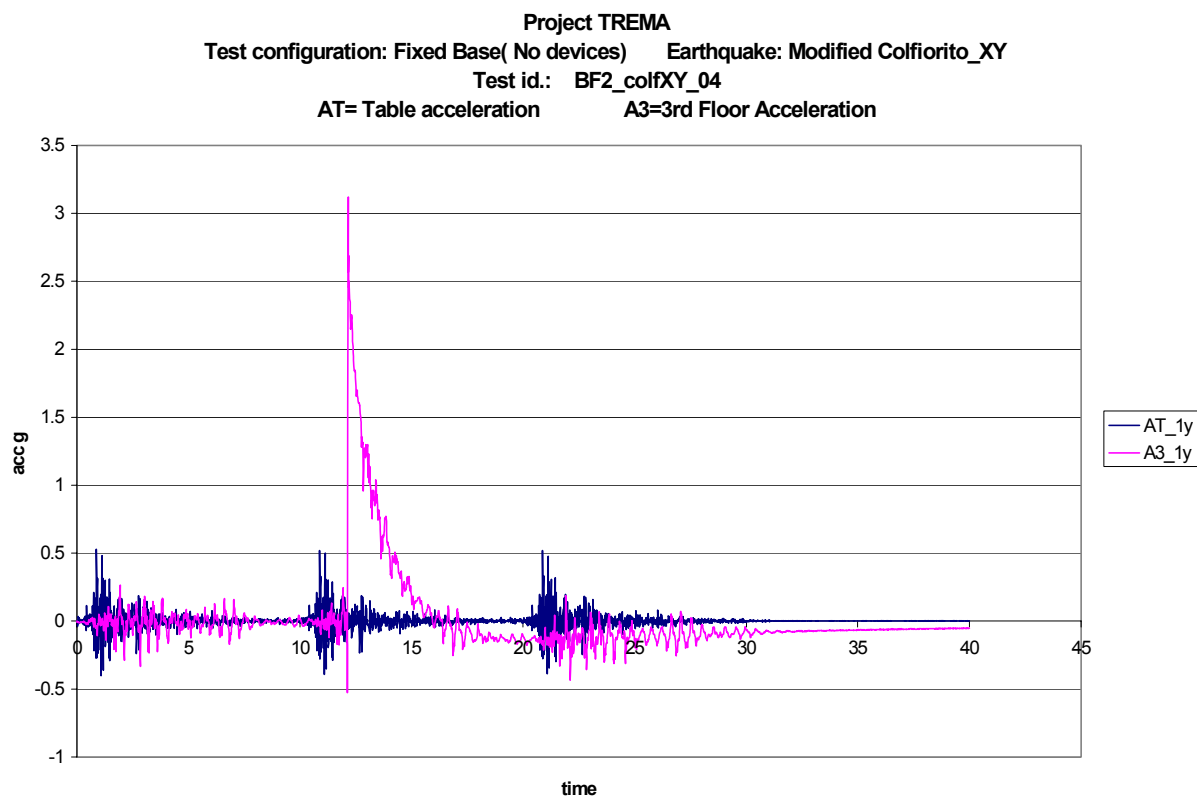


Fig. 5. Accelerazioni [m/s² /g] alla base ed al terzo piano durante la prova della struttura a base fissa. In questa prova si è verificata la rottura del modello

Altri due telai aggiuntivi, del tutto simili a quello in oggetto, sono stati sottoposti allo stesso ciclo di prove nell'ambito di un altro progetto¹, configurando così un insieme omogeneo di 3 modelli sottoposti a sperimentazione controllata e ripetibile. l'insieme è costituito da:

Telaio A , portato a rottura nell'ambito del Prog. SICURO nel periodo Giugno-Settembre 2002,

Telaio B , oggetto del presente rapporto, portato a rottura nell'ambito del Prog. TREMA nel periodo Gennaio-Febbraio 2003,

Telaio C , portato a rottura nell'ambito del Prog. SICURO il 21-Marzo-2003 nel corso di una giornata di sensibilizzazione pubblica alla protezione sismica.

In sintesi, l'attività del progetto TREMA per le strutture in C.A. si pone in continuità con il prog. SICURO e consiste, oltre alla campagna sperimentale sul telaio B, nella successiva sperimentazione sui tre telai riparati e rinforzati mediante FRP (modelli A e C) e sistema CAM (modello B).

Integrated exponential acceleration level

Lo scopo del progetto TREMA è anche di verificare quanto la protezione sismica tramite isolamento alla base sia una soluzione efficace per limitare gli effetti dei terremoti sugli edifici di interesse strategico quali ospedali, centrali operative ecc.... che devono essere efficienti anche, e soprattutto, durante e dopo il sisma per la gestione delle emergenze. Tali edifici devono preservare, oltre all'integrità strutturale propria, anche quella delle attrezzature contenute al loro interno, le quali devono continuare ad erogare i servizi senza interruzione durante il sisma. Ciò si ottiene limitando le sollecitazioni trasmesse ai piani dove le attrezzature sono posizionate. Per tale

¹ Progetto SICURO, Convenzione ENEA Dipartimento della Protezione Civile, Sezione del Servizio Sismico Nazionale, in collaborazione con il DiSGG dell'Università di Basilicata e la TIS S.P.A.

motivo, oltre alla limitazione del danno strutturale, per gli edifici strategici è di primaria importanza anche la limitazione delle accelerazioni ai piani indotte dalla dinamica della struttura soggetta al terremoto alla base. Il danno indotto alle apparecchiature collocate ai vari piani dipende dalla vulnerabilità delle stesse alle vibrazioni, cioè dal contenuto in frequenza delle accelerazioni di piano e dal loro livello di intensità.

Nel seguito si definisce un indice denominato Integrated Exponential Acceleration Level (IEAL) che rappresenta il valore efficace delle accelerazioni di piano pesate in un dato intervallo temporale caratteristico dell'apparecchiatura di cui si vuole preservare l'efficienza. In questo modo è possibile definire un indice che rappresenta livello di "disturbo" che il terremoto, filtrato dalla dinamica dell'edificio, trasmette all'apparecchiatura nell'intervallo di tempo caratteristico di riferimento.

L'indice è definito come il valore efficace dell'accelerazione di piano pesato in un intervallo di tempo T_c caratteristico dell'apparecchiatura da preservare, p.es. dal suo periodo proprio, oppure dall'intervallo di effettivo funzionamento se ha un funzionamento a tratti.

$$IEAL(a,t,T_c) = \left(\frac{1}{T_c} \cdot \int_{-\infty}^t a^2(\tau) \cdot e^{-(t-\tau)/T_c} d\tau \right)^{1/2}$$

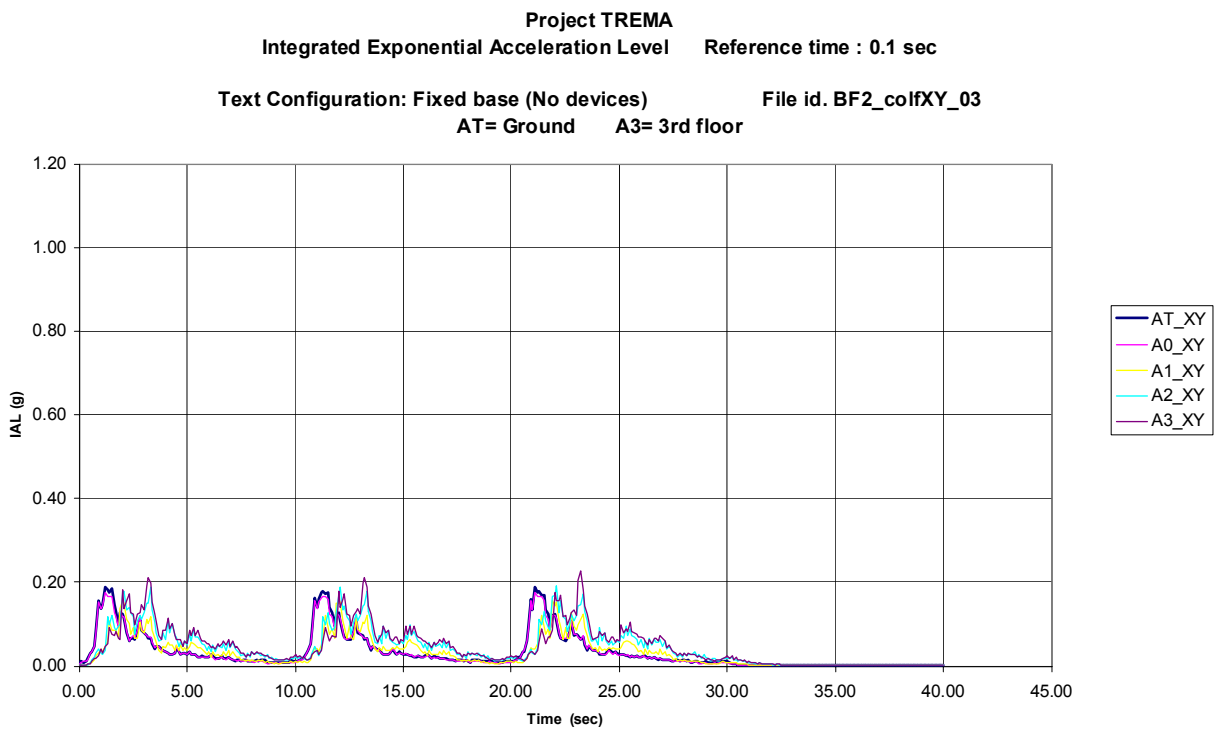


Fig. 6 Test a Base Fissa: IEAL alla base ed al 3 piano. Tempo caratteristico $T_c=0.1$ sec

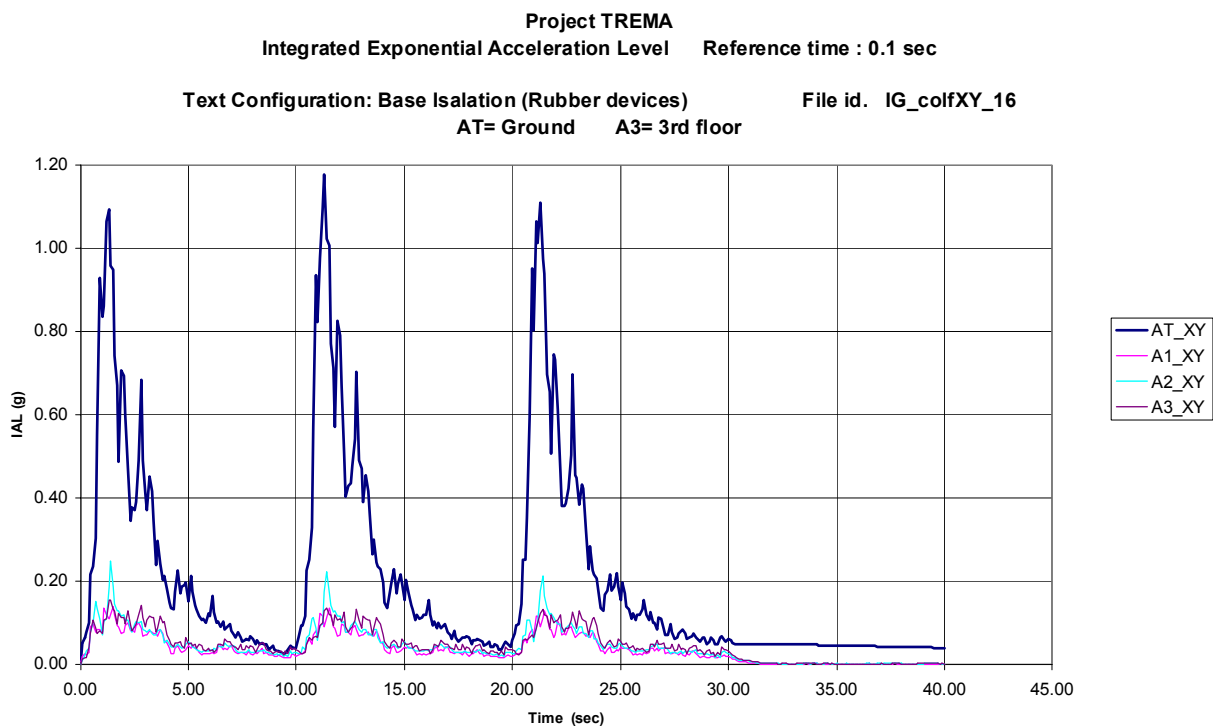


Fig. 7 test IG: IEAL alla base ad al 3 piano nel test con isolamento alla base nel test IG_colfxy_16. Nonostante l'incremento alla base, l'indice ai piani è inferiore ai valori a base fissa

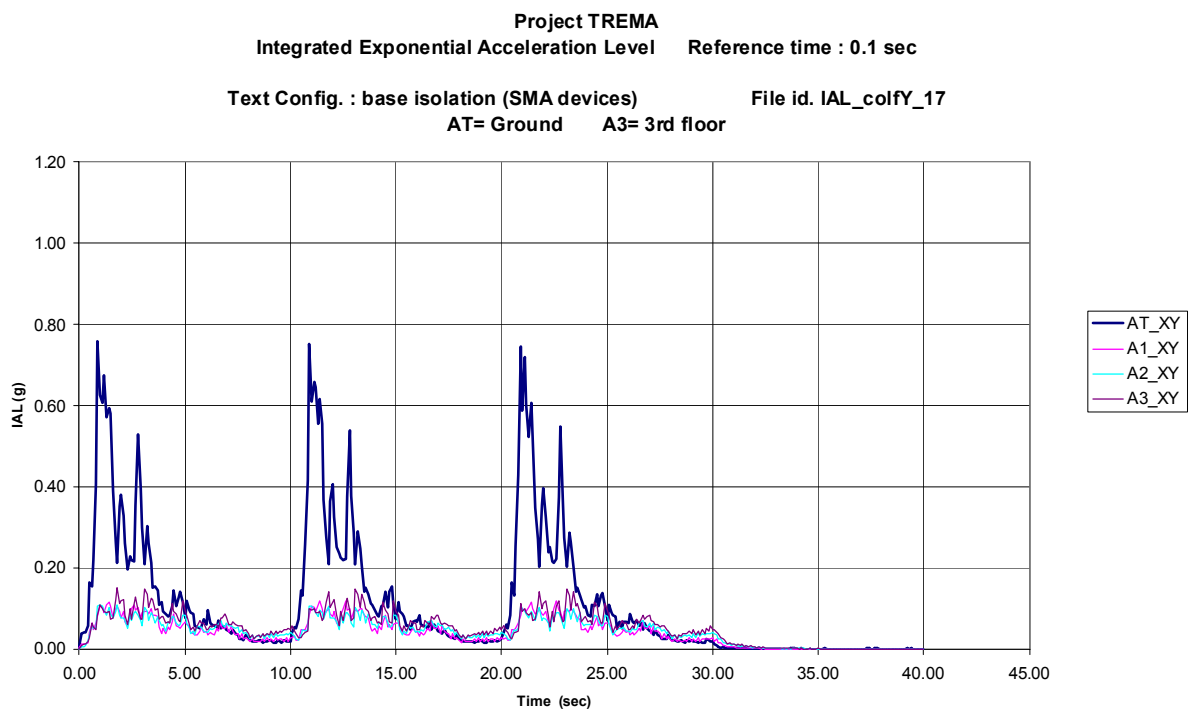


Fig. 8 test ISMA: IEAL alla base ad al 3 piano nel test con isolamento alla base nel test ISMA_colfy_17. Analogamente ai dispositivi in gomma, anche per i dispositivi SMA, l'indice ai piani è pressoché indipendente dal livello di accelerazione sulla tavola vibrante.

Project TREMA
Integrated Exponential Acceleration Level Reference time : 0.1 sec
Text Configuration: Fixed base (No devices) File id. BF2_colfXY_04
AT= Ground A3= 3rd floor

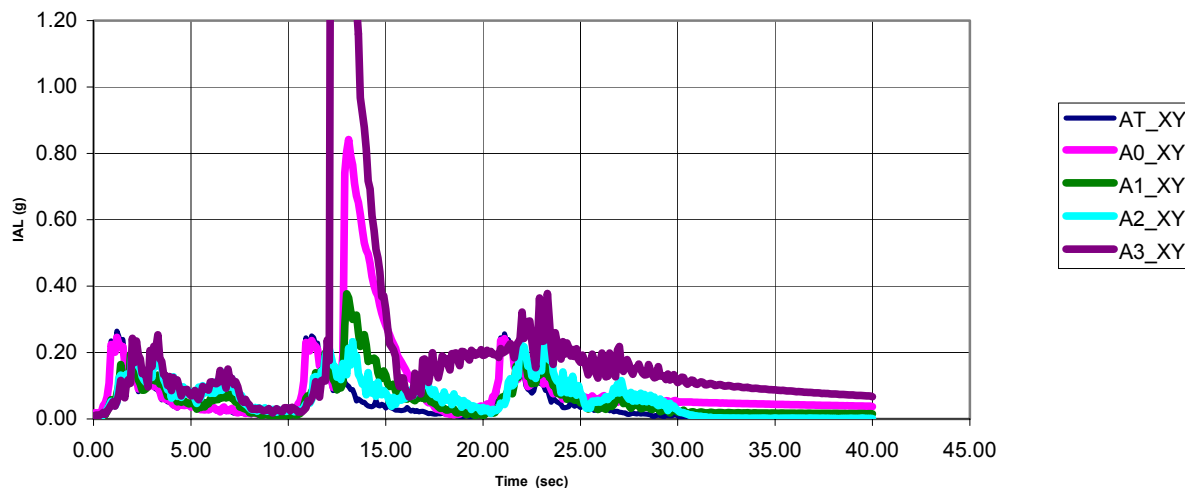


Fig. 9 test a base fissa: IEAL alla base ad al 3 piano nel test nel test BF2_colfXY_04. L'indice relativo all'accelerazione al terzo piano A3_XY diverge in corrispondenza della formazione della cerniera plastica.

Dai grafici si vede l'efficacia dell'isolamento alla base per ridurre il livello di energia trasmesso alle apparecchiature al terzo piano. L'IEAL al 3 piano nei test IG ed ISMA (con picchi di accelerazione alla base superiori ad 1.8 g) è inferiore a quello misurato nel test a base fissa test BF_colfxy_03 immediatamente prima della rottura incipiente della struttura (avvenuta nel test BF_colfxy_04).

Considerazioni sui risultati della Fase I del progetto TREMA

Le prove su tavola vibrante hanno evidenziato l'efficacia dell'isolamento alla base per edifici esistenti progettati con criteri non antisismici. Sono stati utilizzati due tipi di dispositivi di protezione passiva: isolatori in gomma armata ed isolatori ad alta capacità rientrante in lega a memoria di forma, accoppiati con slitte in acciaio inox e PTFE. Le prove sismiche con i dispositivi di protezione sono state effettuate a livelli di accelerazione crescente fino ad un valore max di picco misurato sulla tavola vibrante pari ad 1.8g senza riscontrare danni sulla struttura. Nei successivi test a base fissa si sono avuti i primi crolli a 0.4g di picco di accelerazione alla base, con collasso strutturale a circa 1.2 g. In fase di elaborazione dei dati è stato introdotto un indice denominato "Integrated Exponential Acceleration Level", IEAL, per definire il livello di energia trasmessa ad una apparecchiatura posta ad un dato piano dell'edificio. Esso dipende dalle caratteristiche dinamiche dell'edificio, dalle caratteristiche dinamiche dell'apparecchiatura, dal livello a cui è posizionata all'interno dell'edificio e delle caratteristiche del terremoto.

La seconda fase della sperimentazione, appena avviata, è finalizzata alla verifica dell'efficacia di diverse tecniche di riparazione e rafforzamento, per il ripristino della resistenza originaria ed il suo eventuale miglioramento, nonché dell'isolamento sismico come tecnica di adeguamento per edifici riparati. Le relative attività sperimentali verranno svolte su tre modelli uguali e con simili livelli di danneggiamento, rispettivamente derivanti dai test effettuati uno nell'ambito del progetto TREMA, gli altri due nell'ambito del progetto SICURO.

Progetti MITRAS, RESIS e CAMPEC

A differenza del progetto TREMA che si occupa principalmente della protezione sismica tramite isolamento alla base e, secondariamente, dei sistemi innovativi di rafforzamento strutturale e di adeguamento sismico tramite FRP e sistema CAM, i progetti MITRAS, RESIS e CAMPEC riguardano *principalmente* i materiali polimerici fibrorinforzati in ambito strutturale.

In particolare, mentre nei progetti MITRAS e RESIS le strutture rinforzate con FRP vengono sottoposte a prove meccaniche, statiche e dinamiche, dopo aver subito i processi di invecchiamento termico accelerato, nel progetto CAMPEC è in fase di realizzazione una camera climatica per prove combinate di cicli termici e sollecitazioni meccaniche.

Anche per questi progetti sono previste prove su tavola vibrante di elementi strutturali con e senza sistemi di rafforzamento e/o di protezione sismica. Non vengono studiati i sistemi di isolamento.

Il progetto RESIS prevede le prove sismiche su tavola vibrante, da effettuarsi nel 2005, di un modello di nodo trave-pilastro rinforzato con FRP della struttura campione individuata per l'intervento dimostratore. Le dimensioni del modello, che rappresentano gli elementi strutturali selezionati praticamente in vera grandezza, permetteranno la verifica, mediante prove dinamiche su tavola vibrante, dell'intervento di ripristino basato su materiali polimerici, prescindendo dalle problematiche legate alla riduzione in scala dell'intervento

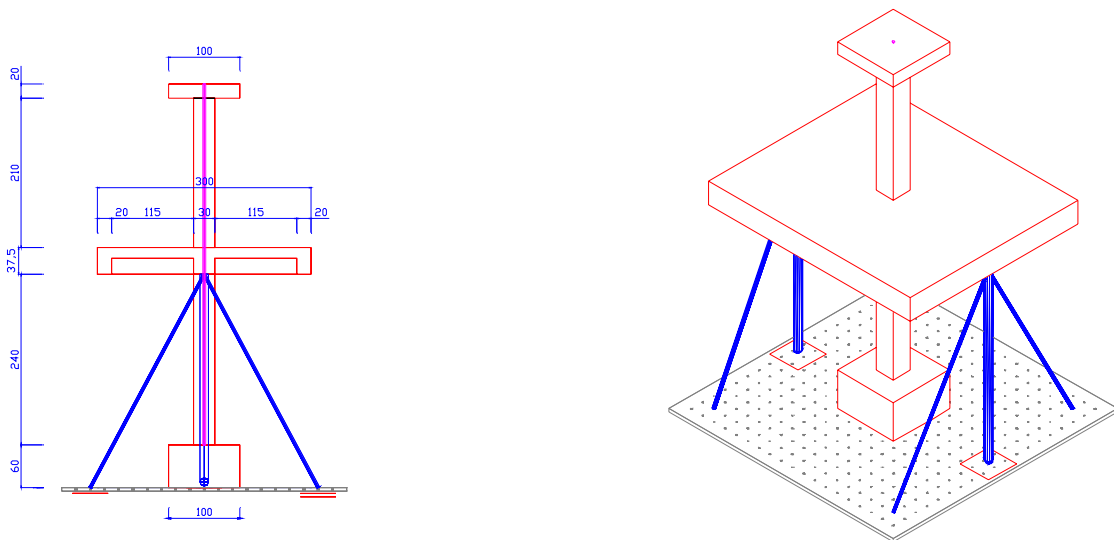


Fig. 10 Progetto RESIS: Modello di nodo trave-pilastro da sottoporre a sperimentazione su tavola vibrante.

Per quanto riguarda il progetto CAMPEC-WP2, oltre alla ricerca sulle metodologie per la qualifica della vita operativa dei materiali polimerici fibrorinforzati per le applicazioni alle murature in laterizio ed in pietra, saranno effettuate due campagne sperimentali su tavola vibrante:

1. prove sismiche di modelli di strutture esistenti in muratura convenzionale, con e senza rinforzo con FRP,
2. prove su un modello di volta a crociera rinforzata con FRP quale elemento strutturale caratteristico di edifici in muratura di larga diffusione sul territorio nazionale.

Il sistema voltato individuato per la sperimentazione è la crociera in muratura tradizionale della chiesa di San Giacomo presso il comune di Tarquinia, selezionata secondo le seguenti caratteristiche:

- recente riclassificazione in zona sismica 2 del sito dove sorge il manufatto architettonico;

- pregio storico-artistico dell'impianto: a navata unica e tipico delle zone del centro Italia, con volte a crociera nervate e con aspetti costruttivi relativi alle caratteristiche architettoniche principali dell'Italia medioevale.
- ridotte dimensioni che consentono la realizzazione di un modello in scala (1:2) con una maggiore attendibilità dei risultati;
- assenza diintonacature interne ed esterne con facile lettura del sistema di assemblaggio dei elementi voltati in conci in pietra squadriati.

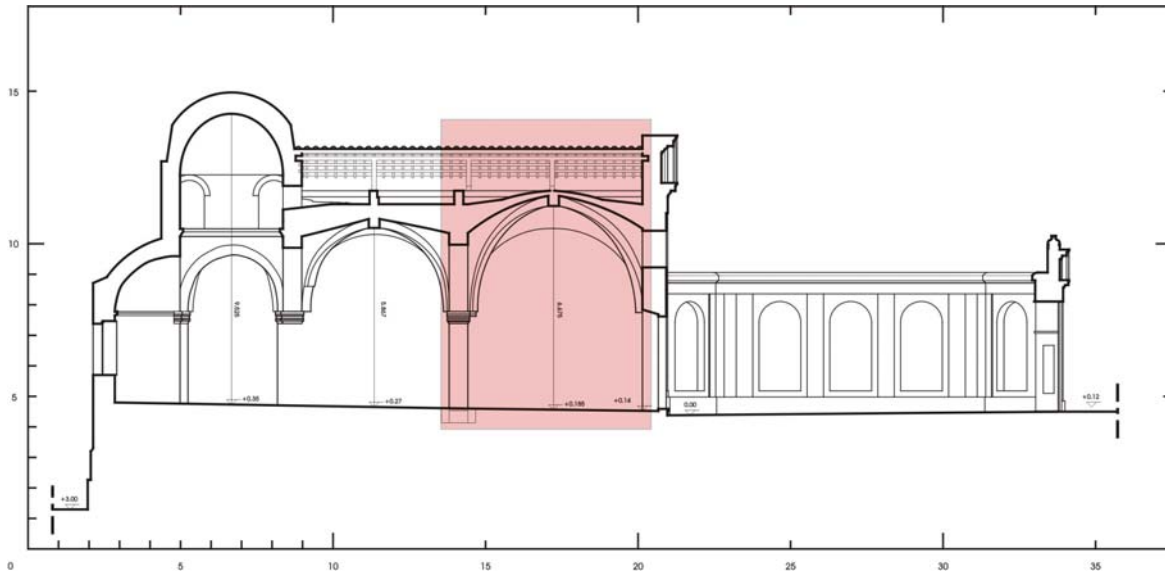


Fig. 11: La volta a crociera della chiesa di S. Giacomo a Tarquinia, il cui modello strutturale sarà sottoposto a prova su tavola vibrante.

Ringraziamenti:

Un sentito ringraziamento al personale della sezione MAT-QUAL dell'ENEA per l'impegno e la professionalità dimostrati per la messa a punto e la conduzione delle campagne sperimentali: S. Spadoni, M. Baldini, A. Cenciarelli, A. Colucci, F. Di Biagio, G. Fabrizi ed A. Picca. Un ringraziamento particolare al personale del DiSGG dell'Università della Basilicata, del Dipartimento della Protezione Civile - Servizio Sismico Nazionale e della TIS S.p.A. D. Cardone, C. Moroni, D. Nigro, F.C. Ponso e prof. M. Dolce (Università della Basilicata), R. Marnetto (TIS), M. Nicoletti, A. Moretti, A. Pizzari e D. Spina (DPC-SSN) per la partecipazione a tutte le fasi della sperimentazione di TREMA, dal progetto dell'organismo strutturale e supporto alle prove su tavola vibrante (DiSGG), alla costruzione dei dispositivi e dei modelli in scala (TIS S.p.A.) alla definizione dei profili di prova (DPC-SSN).