



Proposte preliminari per sistemi di arredo con funzione salva vita in zona sismica

Fabrizio Scozzese^a, Gabriele Tamagnone^b, Antonio Di Cesare^c, Alessandro Zona^a, Andrea Dall'Asta^a, Massimo Fragiaco^b, Felice Carlo Pozzo^c

^a Scuola di Architettura e Design, Università degli Studi di Camerino, Viale della Rimembranza 9, 63100 Ascoli Piceno, Italy

^b Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile-Architettura e Ambientale, Università degli Studi dell'Aquila, Via Giovanni Gronchi 18, Zona industriale di Pile, 67100 L'Aquila, Italy

^c Scuola di Ingegneria, Università degli Studi della Basilicata, Viale dell'Ateneo Lucano 10, 85100 Potenza, Italy

Keywords: Sicurezza sismica; arredi antisismici; elementi non-strutturali; prove di laboratorio.

ABSTRACT

Gli eventi sismici degli ultimi anni hanno evidenziato come l'Italia posseda un patrimonio costruito molto fragile e inadatto ad affrontare le sollecitazioni indotte dai terremoti. In questo contesto di vera e propria emergenza, luoghi come scuole ed uffici, naturalmente soggetti ad affollamenti non tipici di ambienti domestici, vedono un aggravarsi di condizioni sfavorevoli. Elementi come banchi o scrivanie, librerie, pareti attrezzate o divisorie risultano essere, la maggior parte delle volte, motivo di ostacolo, sia per l'esodo sicuro verso le vie di fuga da parte degli occupanti che di intralcio ai soccorsi post-evento, sia di pericolo, soprattutto per quanto riguarda gli elementi a sviluppo verticale, come librerie o pareti divisorie, che potrebbero ribaltare e conseguentemente travolgere le persone che si trovano nelle immediate vicinanze. Il progetto di ricerca industriale S.A.F.E. si prefigge di utilizzare questi elementi d'arredo come elementi di salvaguardia della vita, in veste di elementi di protezione diretta delle persone od elementi di sussidio alla struttura in cui vengono ad essere inseriti, e guida per i soccorritori con l'ausilio di strumentazioni tecnologicamente avanzate. In questo articolo sono presentate le idee preliminari, in corso di sviluppo all'interno del progetto S.A.F.E, per quanto riguarda l'aspetto strutturale. Sono analizzate le proprietà e le caratteristiche di edifici tipo utilizzati come base progettuale per l'inserimento degli elementi d'arredo; vengono valutate le caratteristiche strutturali da richiedere ai diversi elementi, costituenti il singolo mobile, in termini di capacità portante e dissipazione di energia a seguito di azioni inerziali od impatti; si analizzano sia l'interazione tra le persone e l'oggetto studiato, sia l'interazione tra il mobile e l'edificio, al fine di ottenere oggetti in grado da un lato di fungere da elementi salvavita, dall'altra di aumentare le prestazioni della struttura in cui vengono ad essere collocati, arrivando a concepire l'insieme degli elementi d'arredo come un sistema coordinato di protezione.

1 INTRODUZIONE

Gli ultimi eventi sismici del nostro paese, in particolare quelli del 2016, che hanno colpito di nuovo gravemente il Centro Italia, e quelli del 2017 ad Ischia, hanno riaperto il dibattito sulla sicurezza degli edifici pubblici e ad uso civile, con grande attenzione per quelli dei centri storici, e sulla mancanza di un'adeguata strategia di prevenzione anti-sismica su tutto il territorio italiano. Dopo l'esperienza di ricostruzione post-sisma dell'Aquila e in seguito ai gravi danni e alle tante vittime dei recenti terremoti del Centro Italia, oggi siamo più che mai consapevoli di come nel nostro paese, ad alto rischio sismico e con un patrimonio architettonico ed edilizio

prevalentemente storico, il processo di messa in sicurezza ed adeguamento alle normative anti-sismiche degli edifici, pubblici e privati, sarà lungo, lento e complesso.

Questa consapevolezza sta facendo crescere in modo esponenziale la domanda sociale di sicurezza nelle comunità e nei territori colpiti, ma anche nel resto dell'Italia. In riferimento a questo scenario, il progetto S.A.F.E. (Design Sostenibile di Sistemi di Arredo con Funzione Salvavita durante Eventi Sismici, www.safeproject.it/) ha la finalità di trovare soluzioni progettuali e tecnologiche innovative, ma al contempo concrete e fattibili, per rispondere al problema della sicurezza personale e collettiva nelle attività della vita quotidiana delle popolazioni che vivono

in zone sismiche. Il progetto nasce dall'osservazione di ciò che accade frequentemente all'interno degli edifici pubblici e privati durante un terremoto e un conseguente crollo, ovvero il comportamento degli arredi, delle attrezzature mobili e degli elementi non strutturali. Questi, in molti casi, diventano un ulteriore elemento di pericolo e causa di mortalità; in altri, si trasformano, spesso casualmente, in sistemi di protezione della vita umana. Il differente modo di comportarsi dei sistemi mobili e degli arredi, in caso di terremoto e di crollo, dipende da come sono stati concepiti, progettati e realizzati. Pertanto, il progetto S.A.F.E. intende focalizzarsi, in primo luogo, sulla ricerca e la definizione di nuovi requisiti tecnico-prestazionali dei sistemi di arredo utilizzati in contesti pubblici, quali scuole e uffici, che consentano, attraverso un approccio al design da una prospettiva strutturale, di trasformarli in veri e propri sistemi di protezione passiva "salva-vita" in caso di sisma, generando in questo modo un significativo valore aggiunto in un sistema di prodotti, destinati per lo più alle Pubbliche Amministrazioni, che ha attualmente scarsi margini di innovazione. L'implementazione di un approccio strutturale al design degli arredi, che necessita di verifiche, test e prove in laboratori attrezzati con strumentazioni specifiche e innovative (come, ad esempio, la piattaforma vibrante), disponibili nelle sedi di alcuni dei partner, è solo una delle finalità del progetto. Infatti, gli arredi e le attrezzature mobili di scuole e uffici sono solitamente dei "sistemi di prodotti", coordinati e diffusi all'interno dell'edificio e tale caratteristica può tradursi in un fattore fondamentale nello sviluppo di azioni efficaci e innovative di prevenzione e riduzione di danni e vittime in caso di crolli della costruzione e altre conseguenti minacce, come fughe di gas, incendi, rilascio di sostanze tossiche.

Questo approccio sistemico alla progettazione degli arredi consente la scalabilità delle soluzioni a diversi livelli: a partire dallo sviluppo di singole unità d'arredo con funzione "salva-vita", che quindi forniscono protezione locale ed immediata, per arrivare ad un sistema integrato di soluzioni più complesse ed interconnesse capaci di interagire sinergicamente e di fornire una riduzione del rischio molto più efficace, diventando quasi un sistema di riqualificazione in termini di sicurezza dell'edificio. A tal fine, il progetto di ricerca industriale S.A.F.E. intende sviluppare e integrare, nel design dei nuovi sistemi di arredo "salva-vita", una sensoristica appositamente realizzata e una piattaforma informatica di gestione dei dati, che consenta di

renderli sistemi intelligenti, capaci di pre-allertare in caso di terremoto, di rilevare e localizzare la presenza di vita dopo un crollo, di monitorare le condizioni ambientali sotto le macerie e di elaborare e trasmettere informazioni utili a chi deve portare soccorso (ad esempio, la Protezione Civile). Concepiti in questo modo, i nuovi sistemi di arredo per le scuole e per gli uffici innovano le loro tradizionali funzioni, trasformandosi in dispositivi di sicurezza utili prima (funzione di alert), durante (funzione di protection) e dopo l'evento sismico (funzione di support). Considerando, infine, il mercato di riferimento (prevalentemente forniture pubbliche) e gli specifici contesti d'uso (scuola e ufficio) di questi nuovi sistemi di prodotti, il progetto intende rispondere anche alla crescente domanda di sostenibilità ambientale e salubrità, sviluppando materiali e finiture innovativi che migliorino le loro caratteristiche tecnico-funzionali, attraverso l'implementazione di nuove prestazioni ambientali e anti-batteriche.

Il progetto ha, inoltre, la finalità di creare valore aggiunto, innovazione tecnologica e progettuale in uno dei settori più tradizionali e distintivi del Made in Italy, quello del comparto manifatturiero Legno-Arredo-Mobile, attraverso un processo di cross-fertilization di differenti competenze scientifiche e tecnologiche, come quelle di Design Industriale, di Ingegneria Strutturale, di Informatica e di Chimica dei materiali, e del know-how tecnico e di ricerca industriale delle differenti imprese coinvolte (aziende del settore manifatturiero tradizionale e imprese tecnologiche). Infatti, il progetto prevede azioni interdisciplinari ed intersettoriali mirate a valorizzare i risultati di ricerca scientifica e tecnologica attraverso la loro applicazione industriale.

S.A.F.E. è un progetto di ricerca industriale e sviluppo sperimentale, che, in linea con le priorità fissate dai documenti programmatici europei, quali Horizon 2020 - Programma Quadro Europeo per la Ricerca e l'Innovazione 2014-2020, intende contribuire allo sviluppo economico delle PMI del sistema manifatturiero italiano, trasferendo i risultati innovativi della ricerca scientifica e tecnologica in applicazioni industriali utilizzabili.

L'obiettivo finale del progetto di ricerca industriale S.A.F.E. è realizzare sistemi di arredo innovativi per scuole e uffici, capaci di trasformarsi in sistemi intelligenti di protezione passiva e "salva-vita" delle persone durante un terremoto e in caso di conseguente crollo dell'edificio.

2 SCENARIO SISMICO DI RIFERIMENTO

Il progetto S.A.F.E. è orientato, come già detto, al concepimento di arredi che, in caso di sisma, fungano da salva-vita (protezione diretta delle persone), aiutino in parte la struttura a contenere i danni ed il pericolo da essi derivato (crolli, ribaltamenti) e che non costituiscano essi stessi pericolo per gli occupanti sia in termini di danno diretto che di ostacolo per l'esodo o le attività di soccorso.

Posti questi come obiettivi, è chiaro come lo scenario di riferimento non possa ricercarsi in edifici che subiscano grossi danni in caso di terremoto: l'aiuto dato alla struttura ed alle persone, in questo caso, sarebbe inutile se la struttura dovesse crollare o subire seri danneggiamenti in alcune delle sue parti.

Più ragionevole è pensare ad edifici che subiscano lievi alterazioni, nelle proprie parti strutturali, e nei quali si possano generare al massimo crolli di parti non strutturali.

A questo proposito, è stato ritenuto opportuno prendere a modello degli edifici che rientrassero nelle categorie summenzionate e che potessero al contempo avere caratteristiche condivise da centinaia, se non migliaia, di edifici ad uso scolastico ed amministrativo. Le tipologie considerate sono state quindi un edificio storico in muratura ed un edificio in calcestruzzo armato costruito intorno agli anni 60-70 del secolo scorso rappresentativo del costruito non soggetto a vincoli conservativi.

2.1 *Palazzo Margherita (L'Aquila)*

Come edificio a struttura portante in muratura si è scelto di considerare il Palazzo Margherita (Figura 1), situato nel centro storico dell'Aquila.

La struttura è a setti di muratura portante, realizzata con pietrame disordinato e inserti di laterizio, mentre le colonne del porticato sono in blocchi di pietra con nucleo centrale a sacco.

L'edificio è stato modellato (Figura 2) attraverso il software commerciale MIDAS FEA (CSPFEA, 2019). La scelta è ricaduta su tale software in quanto esso consente di descrivere gli elementi strutturali attraverso solidi tridimensionali. Infatti, per via della forte variazione delle sezioni geometriche delle murature (tipica degli edifici storici in muratura con pietrame disordinato), una modellazione tridimensionale dell'edificio consente di evitare le semplificazioni che generalmente si assumono in una modellazione bidimensionale, dovendo in

essa specificare uno spessore equivalente per ciascun elemento murario.

Lo studio è partito, come di consueto, dallo studio delle forme modali e dalla raffinazione del modello stesso, per poi passare alla definizione di accelerogrammi spettro-compatibili usati per lo studio della risposta della struttura e quindi della definizione degli spettri di piano, utili per il computo delle azioni da prendere in conto durante la progettazione degli arredi.



Figura 1. Sede comunale "Palazzo Margherita", edificio fortemente danneggiato dal sisma de L'Aquila 2009.

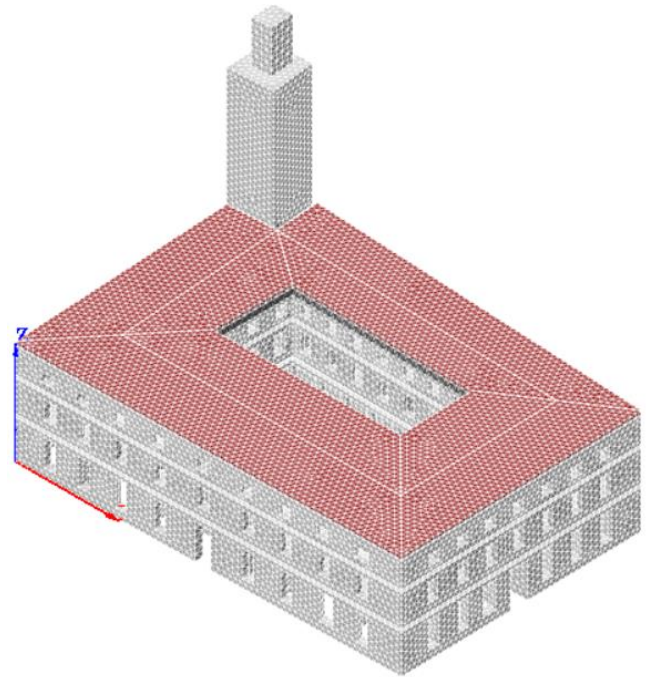


Figura 2. Modello FEM dell'edificio "Palazzo Margherita".

2.2 *Ospedale Minervini (Cosenza)*

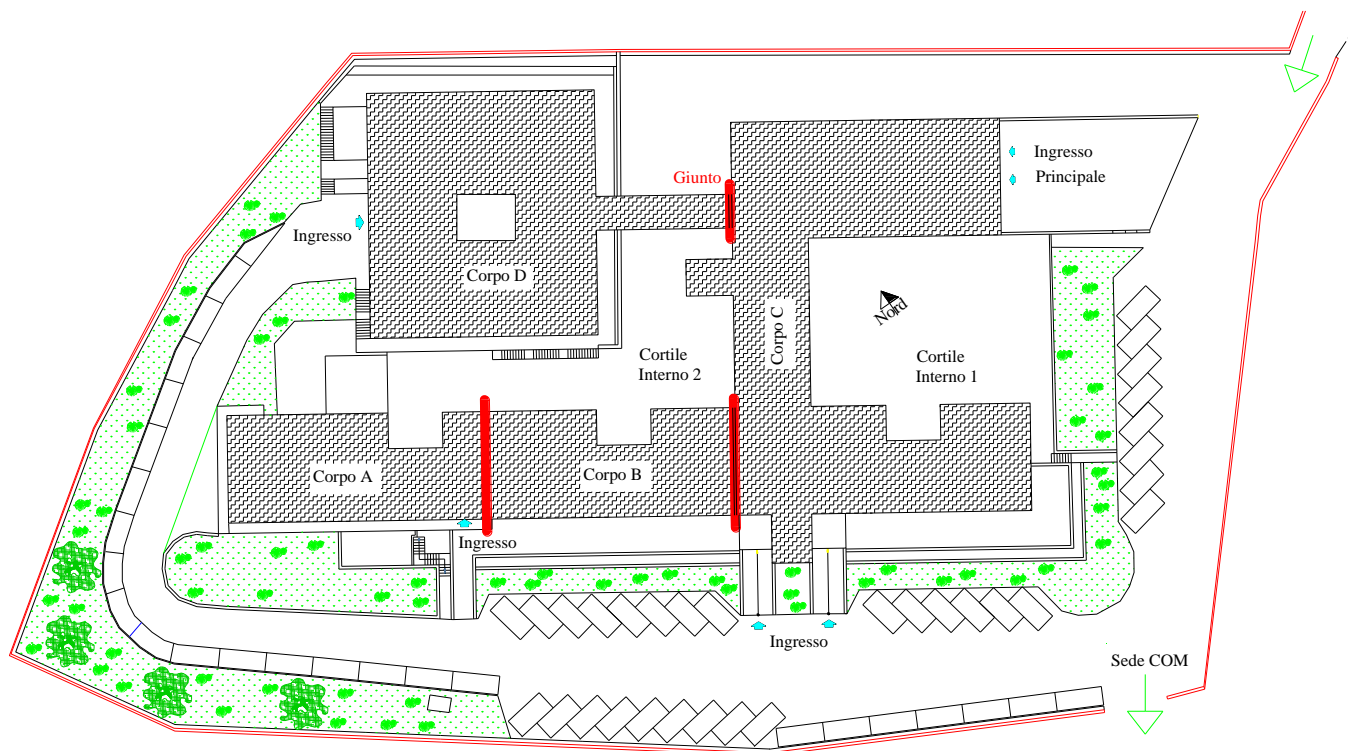
L'edificio assunto come caso studio in c.a. è uno dei corpi adibiti ad uffici (Corpo B) del complesso ospedaliero "Minervini" di Mormanno (CS). Il Complesso ospedaliero è costituito da quattro corpi strutturali in calcestruzzo armato, realizzati in adiacenza, delimitati da giunto tecnico e comunicanti tra di loro, come mostrato

nello schema di Figura 3. La superficie complessiva in pianta dell'intero complesso è pari a circa 2100 m². Il corpo B (evidenziato da un rettangolo rosso in Figura 3), con forma in pianta rettangolare e regolare e in altezza, si sviluppa invece su 6 piani.

La correttezza dei dati progettuali e la rispondenza dei progetti con il costruito, è stata verificata, nell'ambito di precedenti lavori, mediante effettuazione misure pacometriche e di saggi diretti e rilievi a campione. Al fine di

acquisire informazioni di dettaglio sui materiali e sulle strutture si è proceduto con la realizzazione di indagini sperimentali in situ, di tipo non distruttivo e poco distruttivo, quali:

- Prove ultrasoniche e sclerometriche;
- Prelievi di campioni di calcestruzzo mediante la tecnica del carotaggio;
- Misurazioni delle vibrazioni ambientali ai fini dell'identificazione dinamica Corpo B.



(a)



(b)



(c)

Figura 3. Pianta dell'ospedale Minervini di Cosenza (a), vista aerea (b) e particolare dell'edificio B (c).

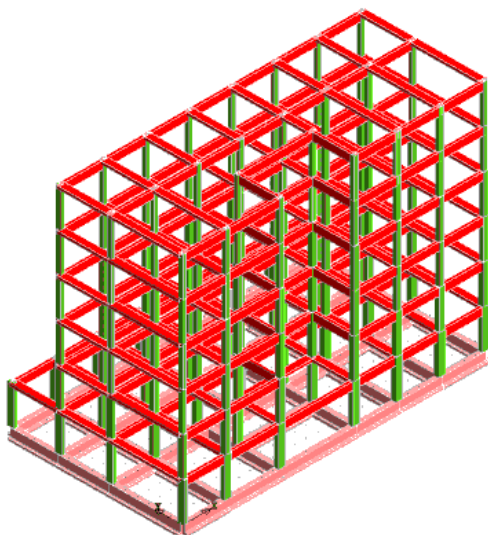


Figura 4. Modello FEM 3D del Corpo B.

È stato utilizzato un software commerciale agli elementi finiti di tipo generale, in grado di modellare strutture in c.a. in campo elastico e/o in campo non lineare per l'esecuzione di analisi non lineare (CDS vers, 2018 – STS s.r.l.). Per le analisi è stato adottato un modello tridimensionale (Figura 4) a plasticità concentrata alle estremità degli elementi trave e pilastri, modellati utilizzando l'elemento finito monodimensionale rettilineo, con comportamento a trave di Timoshenko a comportamento elastico. Ai suddetti elementi sono assegnate le caratteristiche meccaniche coerenti con le dimensioni ricavate dai sopralluoghi e dai rilievi visivi a campione e dalle indagini eseguite sui materiali e sul terreno.

Il modello strutturale è stato utilizzato per svolgere le analisi della struttura in esame e valutare le accelerazioni ai piani e i relativi spettri, utili per il computo delle azioni da prendere in conto durante la progettazione degli arredi.

3 REQUISITI PRESTAZIONALI ATTESI

Gli arredi sviluppati nel presente progetto devono essere concepiti per offrire prestazioni in condizioni sismiche tali da incrementare il livello di sicurezza nei confronti dello stato limite di salvaguardia della vita negli edifici in cui essi sono collocati.

A seguito dell'analisi dello stato dell'arte, dell'esame delle criticità rilevate nei contesti scuola e ufficio, sentite le conoscenze ed esperienze dei partner industriali del progetto così come le aspettative da questi recepite nel mercato attuale e in quello futuribile, sono state individuate le tipologie di arredo riportate nella Tabella 2.

La Tabella 2 riporta, per ciascuna tipologia, una sintetica individuazione dei requisiti prestazionali in termini strutturali immaginabili per gli arredi salvavita che saranno oggetto di approfondimento. Sono inoltre indicate la strategia che si prevede di utilizzare per il raggiungimento degli obiettivi e la possibilità che ciascun gruppo di arredi possa essere messo in condizioni di lavorare a sistema oppure come elemento isolato.

Tabella 2. Quadro di sintesi degli obiettivi prestazionali, strategie e messa a sistema degli arredi.

Elemento arredo	Requisiti prestazionali	Strategia	Sistema
Banco	Protezione da crolli (impatti e carico accumulato)	Resistenza e robustezza Dissipazione impatti	Banchi interconnessi (lineare, ottagonale)
Cattedra Scrivania ufficio	Protezione da crolli (impatti e carico accumulato)	Resistenza e robustezza Dissipazione impatti	Elemento isolato
Armadio	Impedire ribaltamento Ausilio tamponature e divisori	Conformazione geometrica Resistenza	Armadi interconnessi e connessione parete attrezzata
Parete attrezzata	Impedire ribaltamento Ausilio tamponature e divisori	Conformazione geometrica Resistenza	Parteti attrezzate interconnesse e connessione armadi
Parete divisoria	Impedire ribaltamento Impedire danneggiamento	Resistenza ribaltamento Dissipazione moto sismico	Connessione con struttura
Controsoffitto	Protezione da crolli	Resistenza Dissipazione impatti	Connessione con struttura e armadi
Elemento arredo	Requisiti prestazionali	Strategia	Sistema
Banco	Protezione da crolli (impatti e carico accumulato)	Resistenza e robustezza Dissipazione impatti	Banchi interconnessi (lineare, ottagonale)

La definizione qualitativa dei requisiti prestazionali attesi dagli arredi in condizioni sismiche è così risolta in un'ottica facilmente comprensibile e condivisibile in termini generali. Tuttavia la definizione quantitativa dei requisiti prestazionali attesi dagli arredi durante un evento sismico appare alquanto complessa. In effetti, è inevitabile doversi interrogare sulle prestazioni della costruzione che ospita gli arredi, immaginando diversi possibili scenari.

Due edifici situati in uno stesso sito geografico, e soggetti quindi alla medesima pericolosità, potrebbero manifestare livelli di rischio sismico anche molto diversi tra loro, a causa della diversa vulnerabilità.

Il problema diventa ancora più articolato quando si esamina la risposta sismica di elementi di arredo (pareti, tavoli, banchi, armadi, librerie, etc.), per via dei complessi fenomeni di interazione dinamica tra l'arredo stesso e l'edificio in cui è collocato.

Per riassumere, lo scenario in cui ci si trova ad operare è il seguente:

- Ogni edificio ha una diversa risposta al sisma;
- A parità di edificio e di evento sismico, gli effetti (le accelerazioni e gli spostamenti) sperimentati ai diversi piani dell'edificio sono diversi;
- A parità di piano e di edificio, i diversi arredi subiscono amplificazioni della risposta sismica di piano differenti in base alle proprie caratteristiche dinamiche (dipendenti dalla loro massa e dalla loro deformabilità).

Poste come basi quanto detto fino ad ora, si prevede di sviluppare, per ciascuna tipologia di prodotto, soluzioni differenziate declinate su due classi di prestazione strutturale (in condizioni sismiche).

La prima classe prestazionale (classe A) deve garantire un livello di performance più elevato e si applica ai prodotti destinati ad arredare edifici con maggiore vulnerabilità sismica, suscettibili quindi di danneggiamenti severi che possono interessare sia elementi strutturali (solai) che elementi non strutturali (tramezzi, intonaci, controsoffitti, etc.).

La seconda classe (B) garantisce prestazioni meno elevate e si applica ai prodotti destinati ad arredare edifici con minore vulnerabilità sismica, nei quali non sono attesi danni importanti agli elementi strutturali, ma solo danneggiamenti locali di elementi non portanti (controsoffitti,

lampadari, sfondellamento solai, ribaltamento divisorii, ribaltamento armadi).

È importante notare come il livello di sicurezza garantito dalla classe B sarà, complessivamente, confrontabile con quello garantito dalla classe A, in quanto la minor prestazione della classe B è compensata dalla minor vulnerabilità della struttura, per cui, in termini probabilistici, l'entità delle conseguenze attese in caso di sisma è simile nei due casi.

Il vantaggio della declinazione dei prodotti su due livelli prestazionali differenti sarà quello di consentire un risparmio di materiale, e quindi economico, laddove le strutture edilizie (scuole o uffici) abbiano un comportamento sismico discreto o discreto-buono.

4 VERIFICA DELLE PRESTAZIONI

Il processo che porta all'identificazione delle migliori soluzioni per la creazione di arredi in grado di dar vita a prestazioni soddisfacenti nel contesto sopra descritto passa per la caratterizzazione meccanica dei materiali già in uso nella filiera e di nuovi materiali da porre in opera per il raggiungimento dei nuovi standard posti come limite inferiore di prestazione da questo progetto.

Le campagne di prova atte ad investigare le proprietà dei singoli elementi costituenti sono finalizzate non solo a valutare le caratteristiche meccaniche delle componenti, ma anche, e soprattutto, ad indirizzare lo studio verso soluzioni progettuali che risultino le più affidabili possibili una volta che gli arredi verranno testati nella loro interezza per valutarne le prestazioni. Questo verrà fatto anche con l'ausilio di simulazioni numeriche, le quali necessitano, per poter prevedere correttamente il comportamento dei vari comportamenti, di tutti i parametri meccanici governanti i processi resistenti e deformativi nell'ambito delle sollecitazioni imposte.

Le prove statiche, cicliche e di impatto su componenti e prototipi verranno svolte all'interno dei laboratori in dotazione all'Università degli Studi dell'Aquila (Figura 5), dove verranno studiati i singoli elementi e ricercate le soluzioni più opportune per le singole casistiche analizzate. Una volta sviluppati i prototipi "finali" dei singoli arredi, questi verranno testati, singolarmente ed a sistema, in condizioni dinamiche tramite simulazioni effettive di terremoti. Questo sarà

possibile grazie a prove sulla tavola vibrante sita presso l'Università degli Studi della Basilicata (Figura 6).

È importante notare come il carattere innovativo del progetto S.A.F.E. porti anche alla definizione di protocolli di prova che al momento non esistono: le verifiche sugli arredi sono, al momento, prettamente indirizzate alla valutazione delle prestazioni in condizioni statiche e, in alcuni casi, di modeste sollecitazioni dinamiche. Tali carichi sono, in casi come banchi e scrivanie, di modesta entità, riconducibili ad un uso "normale" del prodotto, e non come oggetto salva-vita. Sarà quindi necessario ideare un esaustivo iter di prove che certifichi le prestazioni attese e che altresì permetta di valutare le stesse in ogni possibile condizione, per far sì che l'arredo si trovi ad espletare la sua nuova funzione nel maggior numero di casistiche possibili e/o ipotizzabili, fermo restando la grande aleatorietà che accompagna sempre un evento come il sisma.



Figura 5. Laboratorio dell'Università dell'Aquila.



Figura 6. Laboratorio dell'Università della Basilicata, Potenza.

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia il MIUR-Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca per il finanziamento concesso.

BIBLIOGRAFIA

- Midas, F. E. A. Nonlinear and detail FE analysis system for civil structures, 2013.
- Pietroni, L., et al. Design Industriale, Ingegneria Strutturale, Informatica e Chimica per lo sviluppo di sistemi di arredo con funzione salva vita in zona sismica. ANIDIS 2019.