

ARREDI SALVA-VITA IN CASO DI SISMA

Intelligenti, interconnessi e interagenti

LIFE-SAVING FURNITURE DURING AN EARTHQUAKE

Intelligent, interconnected and interacting

Lucia Pietroni, Jacopo Mascitti, Daniele Galloppo

ABSTRACT

Nei territori colpiti dal sisma il processo di messa in sicurezza degli edifici storici è complesso, richiede grandi investimenti e tempi lunghi di realizzazione. Un approccio sistemico e interdisciplinare al design di arredi 'antisismici' per contesti pubblici, come scuole ed uffici, in territori ad alta pericolosità, potrebbe essere una soluzione alternativa per la salvaguardia delle persone, sviluppando un sistema di arredi smart e interconnessi in grado di configurarsi come un dispositivo di protezione passiva salva-vita. Gli arredi così concepiti divengono un prodotto-servizio utile per la salvaguardia, la localizzazione e il ritrovamento delle persone sotto le macerie e il monitoraggio dell'edificio. In questo scenario si colloca il progetto di Ricerca Industriale 'S.A.F.E. – Design sostenibile di sistemi di arredo intelligenti con funzione salva-vita durante eventi sismici'.

In earthquake-affected areas, the process of securing historic buildings is complex, requires large investments and long lead times. A systemic and interdisciplinary approach to the design of 'anti-seismic' furniture for public contexts, such as schools and offices, in areas of high risk, could be an alternative solution for the protection of people, developing a system of smart and interconnected furniture capable of acting as a life-saving passive protection device. The furniture thus conceived becomes a product-service useful for safeguarding, locating and finding people under the rubble and monitoring the building. The Industrial Research project 'S.A.F.E. – Sustainable design of anti-seismic furniture as smart life-saving systems during an earthquake' is part of this scenario.

KEYWORDS

design per la sicurezza, internet delle cose, arredi intelligenti, design sostenibile, emergenza sismica

design for security, internet of things, intelligent furniture, sustainable design, earthquake emergency

Lucia Pietroni, Architect and PhD, is a Full Professor in Industrial Design at the School of Architecture and Design of the University of Camerino (Italy). She carries out research activities mainly in the field of Design for environmental sustainability, bio-inspired design and design-led innovation processes. Mob. +39 335/69.32.281 | E-mail: lucia.pietroni@unicam.it

Jacopo Mascitti, Architect and PhD, is a Researcher in Industrial Design at the School of Architecture and Design of the University of Camerino (Italy). He carries out research activities mainly in the field of Design for environmental sustainability, with particular attention to innovative methodologies and processes inspired by nature. Mob. +39 328/48.36.758 | E-mail: jacopo.mascitti@unicam.it

Daniele Galloppo, Designer and PhD Candidate in Industrial Design at the School of Architecture and Design of the University of Camerino (Italy), carries out research mainly in the field of Design for environmental sustainability, with particular attention to the contribution offered by innovative materials and production processes for the evolution of industrial products. Mob. +39 348/25.02.719 | E-mail: daniele.galloppo@unicam.it

La maggior parte degli edifici esistenti in Italia, e in particolare quelli pubblici, sono stati progettati in passato senza tener conto delle azioni di un eventuale terremoto, sia per la mancanza di normative specifiche, sia perché in aree erroneamente mappate come non sismiche. Ogni volta che si verifica un evento tellurico, la vulnerabilità degli edifici esistenti è chiaramente e tragicamente dimostrata, con perdite in vite umane, danni alle opere e gravi impatti economici sui territori. Il processo di riqualificazione del patrimonio edilizio esistente attraverso l'applicazione delle moderne prescrizioni antisismiche è economicamente costoso, tecnicamente complesso e, in ultima analisi, molto lento (Fig. 1). Questa consapevolezza ha fatto crescere in modo esponenziale la domanda sociale di sicurezza nelle comunità e nei territori colpiti, tanto in Italia quanto all'estero, come dimostrato dai recenti avvenimenti della penisola balcanica e dei Caraibi.

Una possibile soluzione, alternativa al tradizionale approccio di adeguamento strutturale degli edifici, può essere rappresentata dall'adozione di nuove tipologie di arredo salva-vita che, lavorando sinergicamente come un sistema interconnesso ad alta resistenza meccanica e con un'apposita sensoristica, possono migliorare la sicurezza sismica all'interno di un edificio in caso di crollo, con costi sensibilmente più bassi e tempi più rapidi. Le diverse tipologie di prodotto che allestiscono un ambiente, riconducibili a elementi verticali e orizzontali, possono offrire infatti, ognuno per propria parte, un contributo alla salvaguardia degli occupanti, evitando interventi di natura edilizia. Gli arredi così concepiti sono paragonabili a un'infrastruttura fortemente inclusiva, intelligente e distribuita all'interno dell'edificio, in grado di prevenire e ridurre le perdite di vite umane, comportandosi da sistema di protezione passiva capace di rilevare e localizzare la presenza di superstiti sotto le macerie e monitorare le condizioni ambientali del sito in tempo di 'guerra'. Le informazioni e i dati ottenuti possono poi essere trasmessi alle squadre di soccorso (U.S.A.R. e Protezione Civile) ed elaborati nelle fasi prodromiche del triage¹; durante i periodi di pace, inoltre, gli arredi potrebbero essere in grado di monitorare lo stato di salute di edifici particolarmente sensibili, come le scuole o altre strutture collettive pubbliche e private, offrendo un servizio di diagnostica indiretto sulle condizioni strutturali. Questo approccio è particolarmente efficace se si prendono in considerazione contesti allestitivi che tipicamente subiscono la sostituzione di tutti gli arredi di un ambiente in un'unica soluzione.

In questo scenario si colloca 'S.A.F.E. – Design sostenibile di sistemi di arredo intelligenti con funzione salva-vita durante eventi sismici', un progetto il cui obiettivo è studiare, progettare e realizzare soluzioni innovative, concrete ed efficaci, di sistemi di arredo anti-sismici, intelligenti e salva-vita in caso di terremoto per i contesti scuola e ufficio² (Pietroni, Mascitti and Galloppo, 2020). L'articolo intende descrivere il contributo del design nel progetto S.A.F.E., quale disciplina determinante per la definizione di un nuovo approccio concettuale e metodologico alla progettazione di questi arredi, che, rispetto allo stato dell'arte dei prodotti per la protezione individuale in caso di sisma ad oggi presenti sul

mercato, ha spostato l'attenzione dalla progettazione del singolo arredo allo sviluppo di un sistema di arredi salva-vita interconnessi e integrati.

Partendo dall'analisi dello stato dell'arte dei prodotti salva-vita ad oggi sviluppati ed evidenziando alcuni caratteri peculiari di questi, il contributo presenta una nuova metodologia progettuale finalizzata al superamento dei modelli proposti sul mercato, caratterizzati fondamentalmente dall'utilizzo di materiali ad alta resistenza meccanica e concepiti per la salvaguardia di un singolo utente. Diversamente, l'approccio interdisciplinare del progetto S.A.F.E. ha individuato, attraverso una serie di ricerche preliminari, nuove strategie e soluzioni per la generazione di un sistema di arredi salva-vita deputato alla sicurezza collettiva e in grado di ottimizzare anche le caratteristiche tecniche-costruttive dei prodotti per la loro collocazione in edifici vulnerabili, come quelli del centro storico. Attraverso l'esplicitazione delle principali fasi della ricerca condotta e della metodologia adottata per l'ideazione e lo sviluppo dei nuovi arredi, il paper presenta in conclusione un inedito modello procedurale che consente la replicabilità dei risultati ottenuti nel progetto S.A.F.E.

Concept, brevetti e prodotti di arredi salva-vita in caso di sisma

La sicurezza in caso di terremoto nelle aree urbane ad alto rischio è, storicamente, una tematica principalmente indagata dall'ingegneria sismica (De Sortis et alii, 2009), che si è focalizzata in via prioritaria sulla risposta strutturale degli edifici e sulla mitigazione dei danni indotti. In questi ultimi anni però, la visione progettuale si è fortemente allargata (Chen et alii, 2015a), riconoscendo anche agli elementi non strutturali, come ad esempio gli arredi, un ruolo strategico in chiave antisismica (D'Angela, Magliulo and Cosenza, 2021), tanto di protezione delle persone quanto di riduzione della generazione di barriere e ostacoli: il neonato prodotto dalla sua culla, durante il terremoto di Ischia del 2017, è forse l'esempio emblematico di come determinate tipologie di arredo possono rappresentare una preziosa opportunità di salvezza.

A partire dal 1995, anno del terremoto di Kobe in Giappone, ai tradizionali dispositivi di messa in sicurezza del mobilio, quali staffe di metallo, cinghie, pad, etc. (Meguro, Ito and Sato, 2008) si sono aggiunti, con un incremento costante nel tempo, numerosi brevetti e prodotti d'arredo specializzati nella salvaguardia della vita in caso di sisma. Spinte dalla crescente domanda sul mercato, alcune aziende del comparto arredo hanno iniziato ad investire privatamente in attività di ricerca e sviluppo per implementare funzioni antisismiche all'interno dei propri prodotti, come ha fatto, tra le prime, l'azienda americana LifeGuard Structures (Fig. 2).

Inizialmente il dibattito scientifico internazionale si è incentrato sulla selezione delle tipologie di arredi più adeguate a proteggere le persone in caso di sisma e sulla definizione dei requisiti tecnico-prestazionali dei prodotti di arredo per ottenere la funzione salva-vita (Chen et alii, 2015b) e sull'identificazione di materiali in grado di favorire lo sviluppo di 'forme resistenti, confortevoli e di facile utilizzo' (Akhand, 2018). Più recentemente i contributi del design alla tematica sono aumen-

tati tanto da incentivare lo sviluppo di strumenti digitali specifici, quali software CAD per l'ottimizzazione funzionale dei prodotti (Wenkuan and Xiping, 2018), o applicativi di realtà aumentata finalizzati all'apprendimento delle prassi di messa in sicurezza per la sopravvivenza in caso di sisma (Li et alii, 2017).

Pertanto, la prima fase del progetto S.A.F.E. è stata finalizzata allo studio della letteratura tecnico-scientifica e all'analisi dei concept, dei brevetti e dei prodotti d'arredo, già sviluppati per la salvaguardia delle persone durante il terremoto. La ricerca ha individuato e schedato 36 casi studio nazionali e internazionali, esplicitandone il contesto d'utilizzo, la presenza o meno di dispositivi elettronici e le principali strategie salva-vita adottate, articolate in: arredi ad alta resistenza meccanica; arredi trasformabili; cellule e capsule di sopravvivenza e arredi collaboranti con l'involucro edilizio (Galloppo, Mascitti and Pietroni, 2019). Ogni scheda presenta un codice colore che identifica se si tratta di: concept (azzurro), prototipi (rosso), brevetti (verde) o prodotti in commercio (arancione). Inoltre, la scheda si articola in quattro sezioni che identificano la tipologia di arredo analizzata e il nome commerciale, i dati dell'azienda o del designer, il Paese di provenienza e l'anno di realizzazione, le caratteristiche dimensionali e le prestazioni tecniche e salva-vita dichiarate del prodotto, infine le immagini di dettaglio e un video esplicativo del prodotto (Fig. 3).

Questa fase è stata fondamentale per sintetizzare le strategie salva-vita individuate negli esempi ed esplicitare, al contempo, le soluzioni progettuali adottate, quali: sistemi dissipativi; strutture pesanti in acciaio per la costruzione di rifugi temporanei (Ferreira et alii, 2021); materiali leggeri ma con elevate prestazioni meccaniche (Morales et alii, 2019); dispositivi meccatronici per la riconfigurazione spaziale e strutturale degli arredi. La ricerca ha evidenziato inoltre una particolare sensibilità progettuale verso lo sviluppo di prodotti deputati alla sicurezza sismica nei luoghi destinati alla didattica, con esempi emblematici come il brevetto di Arthur Brutter e Ido Bruno del 2014³, esposto poi al Moma di New York; nel 2018, l'artista e designer neozelandese Tonya Sweet, in collaborazione con Ryan Tucker, ha ideato un banco per la protezione dei bambini che frequentano le scuole primarie del suo Paese (Sweet and Tucker, 2018). Nello stesso anno, attraverso l'analisi di una serie di concept che danno priorità alla mitigazione dell'ansia generata dalle caratteristiche estetico-formali dei prodotti antisismici rispetto alle loro prestazioni meccaniche, la Sweet indaga anche i risvolti psicologici nell'utilizzo di questi prodotti (Sweet, 2018).

Tra le tipologie di arredo con funzione salva-vita in caso di sisma più studiate vi è il letto, quale tipologia maggiormente interessata dall'integrazione di dispositivi elettronici e meccatronici, utili al preallertamento dell'utente e alla trasformazione del prodotto in riparo provvisorio. Un esempio è il modello sviluppato dalla Liyangshi Zhengxiang Precision Machinery Co.Ltd (Fig. 4), caratterizzato da sensori per il rilevamento delle onde sismiche, programmati per attivare particolari meccanismi che lasciano scivolare l'utente all'interno dello spazio protettivo celato sotto il letto. Questo modello cinese non è l'unico ad adottare sistemi meccatronici per trasfor-



Fig. 1 | Ceiling collapse at the Liceo Darwin in Rivoli, 2008 (credit: National Fire Brigade).

Fig. 2 | School desk made by the American company LifeGuard Structures (credit: LifeGuard Structures).

CELLULA DI SICUREZZA | Madis Room

MA DIS
azienda:
MADIS COSTRUZIONI SRL
paese/anno di produzione:
Italia / 2013
ambito d'utilizzo del prodotto:
residenziale
riferimenti:
www.stanza-antisismica.it

La Madis Room è un sistema per la protezione passiva delle persone all'interno di un ambiente durante un evento sismico. Si comporta come una stanza di sicurezza antincendio e antisismica ed è stata pensata per il mercato delle ristrutturazioni. La struttura modulare in acciaio è rivestita con un tessuto di fibre sintetiche ad alta tenacità e antiscalfittura per mitigare i danni causati da urti, calcinacci, macerie e smottamenti che possono avvenire durante violenti fenomeni sismici.

avviso sisma
copertura
cambio verticale
emulsione

SCRIVANIA | Shock-resistant desk

inventori:
Yu Qing, Zheng Tong, Shen Wei,
Wang Yi, Jin Peng Zhi,
Jin Weidong
paese/anno:
Cina/2011
ambito d'utilizzo del prodotto:
residenziale
riferimenti:
patents.google.com

Il brevetto presenta una scrivania resistente agli urti che comprende un telaio, un corpo scrivania, un telaio a quattro gambe telescopiche che consentono di regolare l'altezza del piano di lavoro. All'interno dei tubolari che costituiscono le gambe della scrivania è inserita una molla di compressione che fa la funzione di smorzamento ed assorbimento degli urti che possono generarsi durante il sisma.

avviso sisma
copertura
cambio verticale
emulsione

BANCO SCUOLA | Banco scuola antisismico

Prisma srl
azienda:
Prisma srl
paese/anno di produzione:
Italia/2011 (oggi fuori prod.)
ambito d'utilizzo del prodotto:
scuola
riferimenti:
youmadisintylineaevb.dylog.it

Il banco scuola antisismico è progettato per trasformarsi in una cellula salvavita in caso di sisma. Il banco presenta sul piano di lavoro una maniglia che in caso di terremoto lo studente può abbassare il piano così da aumentare la superficie di copertura. In attesa che passi l'emergenza, lo studente avrà a disposizione un porta oggetti, omonimo un kit di sopravvivenza. L'insieme dei banchi presenti in aula comporgono un sistema resistente capace di sostenere l'intero peso di un aula.

700x1200x730
184 Kg
Acciaio
Multistrato
copertura
telaio
1 studente
cambio verticale
0,3 Tron.
emulsione
strutturale

BANCO SCUOLA | Earthquake Proof Table

designer:
Arthur Brutter, Ido Bruno
paese/anno:
Israele/2012 (prototipo)
ambito d'utilizzo del prodotto:
scuola
riferimenti:
www.quakeprooftable.com

Il banco di scuola è progettato in modo da assorbire e deformarsi sotto l'urto delle strutture che cadono. La progettazione della deformazione permette ai denti di scivolare nel foro del piano di lavoro del banco. La resistenza del fondo al carico dinamico è ottenuta mediante un disegno del telaio appiattente e l'uso di emulsioni ottimali realizzate ad almeno due punti di ancoraggio del banco. Si tratta di una soluzione sinergica tra struttura e materiale che assolve il tradizionale fionegia in modo tale che lo spazio importante al di sotto del tavolo rimanga intatto.

720x1200x600
Acciaio
Multistrato
copertura
verticale
2 studenti
cambio verticale
1 Ton.
emulsione
strutturale

Fig. 3 | Case studies of life-saving furniture in case of earthquake developed in the first research phase of the S.A.F.E. project (credit: University of Camerino).

marsi in un riparo in caso di emergenza; la ricerca, infatti, ha individuato altri casi studio simili di arredi per la protezione notturna, fino all'individuazione dell'originale brevetto di una culla per neonati con 'copertura a tagliola' (Fig. 5).

Nonostante l'implementazione di queste tecnologie abbia dato un'importante contributo alla generazione di nuove tipologie di prodotto antisismiche e aperto un nuovo mercato nello specifico settore degli arredi smart e salva-vita, si rilevano ancora ampi margini di innovazione tecnologica e di miglioramento progettuale. Infatti, l'analisi condotta sullo stato dell'arte ha dimostrato come le soluzioni elettroniche ed informatiche implementate si limitino alla mera attuazione dei dispositivi meccatronici, concepiti esclusivamente per cambiare l'assetto strutturale del prodotto e trasformarlo in una sorta di bunker o di capsula di sopravvivenza. Pertanto uno dei caratteri di forte innovazione del progetto S.A.F.E. è quello di aver prefigurato un nuovo scenario di sviluppo e utilizzo di sistemi ICT e IoT, collaboranti tra le diverse tipologie d'arredo diffuse all'interno degli spazi funzionali di un edificio scuola o ufficio, per generare in modo sistemico e innovativo inedite forme di interazioni tra utente-arredo-soccorritori e tra gli arredi stessi.

Un sistema di arredi smart salva-vita in caso di sisma | Attraverso un approccio multidisciplinare, ovvero l'integrazione di differenti competenze tecnico-scientifiche (Pietroni et alii, 2019), quali il disegno industriale, l'ingegneria strutturale, l'informatica e la chimica, e intersectoriale, ovvero il coinvolgimento di aziende di settori tradizionali e tecnologici, quali il legno-arredo, l'ICT e l'IoT (Fig. 6), è stato sviluppato un particolare design degli arredi utilizzati nei contesti scuola e ufficio, in grado di collaborare per generare un sistema di sicurezza passivo diffuso, denominato Life-saving Furniture System, che consente la localizzazione delle persone dopo un crollo (Figg. 7, 8). All'interno del progetto sono state individuate e sviluppate quattro tipologie d'arredo funzionalmente complementari: il banco scuola, la cattedra/scrivania, la parete attrezzata e la parete divisoria. Questo set di prodotti permette di generare un innovativo sistema per la sicurezza delle persone negli spazi funzionali e di relazione di un Istituto scolastico o di un centro direzionale. Ogni arredo assolve a una duplice prestazione in caso di sisma: una strutturale, per la protezione fisica delle persone, e una digitale per il monitoraggio delle condizioni del sito e il miglioramento del coordinamento dei soccorsi nelle fasi principali del 'ciclo di vita dell'emergenza'.⁴

Il banco scuola, per il quale è stato richiesto il primo brevetto di invenzione nell'ambito del progetto S.A.F.E.⁵ è stato progettato per generare, attraverso un sistema strutturale dissipativo, una nicchia di protezione per il singolo studente, in grado di resistere a impatti e carichi statici che si possono verificare durante il terremoto. Il telaio principale è caratterizzato da una configurazione geometrica a tralici multipli, appositamente concepita per un duplice sistema di protezione: un modulo interno, che funge da nicchia protettiva altamente resistente, e uno esterno, in grado di dissipare gli urti dovuti a cedimenti e crolli di porzioni del solaio dell'edificio (Figg. 9-11). Il disegno di questa struttura rispetto ai modelli



S.A.F.E. LIFE-SAVING

Project leader

UNICAM
Scuola di Architettura e Design
scientific research field: industrial design
Scuola di Scienze e Tecnologie
scientific research field: informatics
Scuola di Scienze del Farmaco e dei Prodotti della salute
scientific research field: chemistry

Universities

UNIVAQ
Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile-Architettura, Ambientale
scientific research field: structural engineering
Dipartimento di Ingegneria e Scienze dell'Informazione e Matematica
scientific research field: informatics

UNIBAS
Laboratorio SISELab - Materials and Structures Test Laboratory
scientific research field: structural engineering

Furniture Companies **ICT and IoT Companies** **Distribution Company** **Technology Center**

camillo siriani **ICAM** **Styloffice** **vastarredo** **FILIPPETTI** **REPLY** **AZ** **COSMOB**

Advisory Board

FLA **ENEA** **ADI ASSOCIAZIONE PER IL DISEGNO INDUSTRIALE**

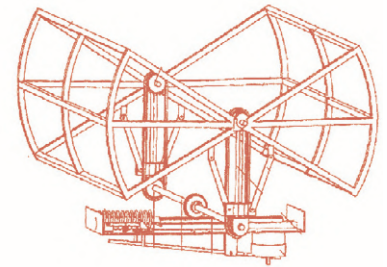
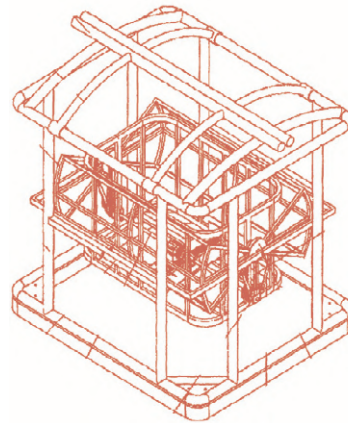


Fig. 4 | Intelligence Anti-earthquake Bed (credit: Liyangshi Zhengxiang Precision Machinery Co.Ltd).

Fig. 5 | The patent CN101966045A 'quake-proof cradle for infants' (credit: Beijing Institute of Technology).

Fig. 6 | The partnership of the industrial research project S.A.F.E. (credit: University of Camerino).

proposti sul mercato, eccessivamente pesanti per essere impiegati nei contesti edilizi storici, offre notevoli vantaggi in termini di prestazioni meccaniche raggiunte (resistenza e resilienza) e di peso del prodotto, pari a circa 15 kg, valore coerente con quello dei banchi tradizionali e con le normative di riferimento.

Inoltre, l'interconnessione fisica dei banchi con specifici sistemi di giunzione consente la creazione di una macro struttura a traliccio in grado di incrementare la prestazione di resistenza meccanica del singolo arredo. Il dispositivo di connessione permette un incastro bilaterale (destra-sinistra) e bifacciale (avanti-dietro) per facilitare l'attacco tra i banchi su tutti i lati del piano di scrittura, così da generare i layout tradizionali 'in linea' e 'ad anfiteatro' o quelli per l'attività laboratoriale a 'isola' (Figg. 12, 13). Questo dispositivo oltre ad essere facilmente industrializzato con la tecnologia dell'estrusione dell'alluminio rappresenta una soluzione altamente innovativa, permettendo di far evolvere il tradizionale concetto di singola unità protettiva a favore di un sistema di arredi connesso e a prova di sisma.

Sotto il piano di lavoro, in un punto strategico del telaio, è alloggiato un 'case' antiurto che ospita una coppia di sensori alimentati a batterie, utili per individuare la presenza di vita sotto le maccerie. Il banco è dotato, infatti, di un sensore a infrarossi passivo (PIR) in grado di rilevare la presenza di una persona attraverso la radiazione infrarossa prodotta (Fig. 14). La prestazione di base del PIR può essere supportata con l'inserimento di un secondo sensore per il monitoraggio della CO₂, che fornisce ulteriori indicazioni sulla vitalità del soggetto all'interno del microambiente confinato. L'installazione di un tiltometro, per rilevare l'eventuale ribaltamento del banco, completa il quadro dei dati che l'apparato smart mette a disposizione dei soccorritori. Per estensione tipologica, analoghe configurazioni strutturali e logiche di funzionamento dei dispositivi ICT sono previste per la cattedra/scrivania, seppur con le necessarie modifiche dovute al diverso target di utenza e alla diversa funzionalità del prodotto.

Tra le tipologie d'arredo individuate, certa-

mente il banco e la cattedra/scrivania sono quelle più diffuse all'interno di un edificio scolastico, stratificate per piani sovrapposti; prendendo in considerazione il loro insieme sarebbe possibile descrivere i cambiamenti spaziali che uno stabile può assumere a seguito di cedimenti dopo un terremoto e le informazioni rilevate dal comportamento dinamico di questi arredi possono essere trasmesse ai soccorritori per ottenere una fotografia dello stato di emergenza.

Concepita modularmente e largamente customizzabile, sia in termini strutturali che funzionali, la parete attrezzata (in corso di brevettazione) ha invece il compito di contrastare il ribaltamento dei setti divisorii deboli di un edificio durante un terremoto, e allo stesso tempo, creare un inedito spazio di protezione da parziali cedimenti del soffitto per disabili in carrozzina o per persone normodotate che fossero fuori dalla propria postazione di studio o lavoro. Il sistema strutturale di questa tipologia trae ispirazione dalle librerie e pareti attrezzate caratterizzate dalla messa in opera di una serie di montanti telescopici in grado di adattarsi alle diverse altezze degli ambienti interni. Il montante cielo-terra, sviluppato dal gruppo di ingegneria della Università di Camerino, è costituito da due squadrette di rinforzo concepite per collegare la parete attrezzata al soffitto e al pavimento; uno scatolare di acciaio che presenta una serie di asole per la regolazione delle squadrette, il cui comportamento a flessione permette di contrastare il ribaltamento del divisorio; il montante è replicabile in maniera lineare lungo la parete da mettere in sicurezza.

La parete attrezzata è pertanto configurabile in base alle esigenze funzionali e il livello di pericolosità dell'edificio; inoltre il sistema offre la possibilità di inserire un modulo largo a sufficienza per ospitare una carrozzina per disabili, caratterizzato da una pensilina costituita da una rete metallica e deputata alla protezione dai possibili sfondamenti del solaio. La pensilina integra anche il proiettore della lavagna interattiva (lim) e i dispositivi illuminotecnici per incrementare, in 'tempo di pace', il comfort visivo e la qualità dei laboratori didattici. Lo stesso modulo ospita nel-

la parte alta un sensore PIR, con analogia finalità rispetto alle tipologie precedenti, mentre il tiltometro permette, in questo caso, di sapere se il setto presidiato è ancora nella posizione iniziale o se, nel peggiore degli scenari, si è ribaltato.

Un accelerometro, ospitato in un punto protetto del prodotto, ha il fondamentale compito di procedere al 'wake up' dei sensori di tutti gli arredi del sistema S.A.F.E. e di predisporli in uno stato di guerra, in cui sono incrementate le attività di analisi e comunicazione. In grado di rilevare le repentine accelerazioni trasferite dallo scuotimento dell'edificio all'arredo e di discriminare tra un evento sismico e le normali vibrazioni dovute all'uso (persone che camminano, porte che sbattono, etc.), la presenza dell'accelerometro sulla parete divisoria permette un monitoraggio vibrazionale indiretto dell'edificio, per capire se la struttura possa aver subito deterioramenti conseguenti a eventi sismici minori e verificarne in tempo reale lo stato di agibilità. Completano l'allestimento informatico della parete attrezzata un dispositivo di rete (gateway), deputato a raccogliere i dati da tutti gli arredi e a trasmetterli ai device dei soccorritori, e un gruppo di continuità, per ovviare a possibili interruzioni elettriche (Fig. 15), entrambi ubicati in un box antiurto liberamente collocabile in uno degli elementi contenitivi del prodotto.

La parete divisoria, il secondo brevetto per invenzione di cui è stata fatta domanda, con struttura in profilati di alluminio e lastre in vetro stratificato, presenta un innovativo sistema di dissipazione dell'energia sismica che consente di ridurre lo stato di rischio dovuto alla rottura dei vetri e al suo ribaltamento. L'effetto dissipativo generato fornisce anche un contributo alla statica complessiva dell'edificio, trasformando di fatto la parete in un micro-dissipatore. In questo innovativo sistema di arredi la parete divisoria ha il compito di monitorare la presenza di persone all'interno degli spazi funzionali dell'edificio, grazie all'inserimento di un sensore contapersone nei montanti porta che permette, in caso di sisma, di conoscere il numero degli occupanti di un determinato ambiente.

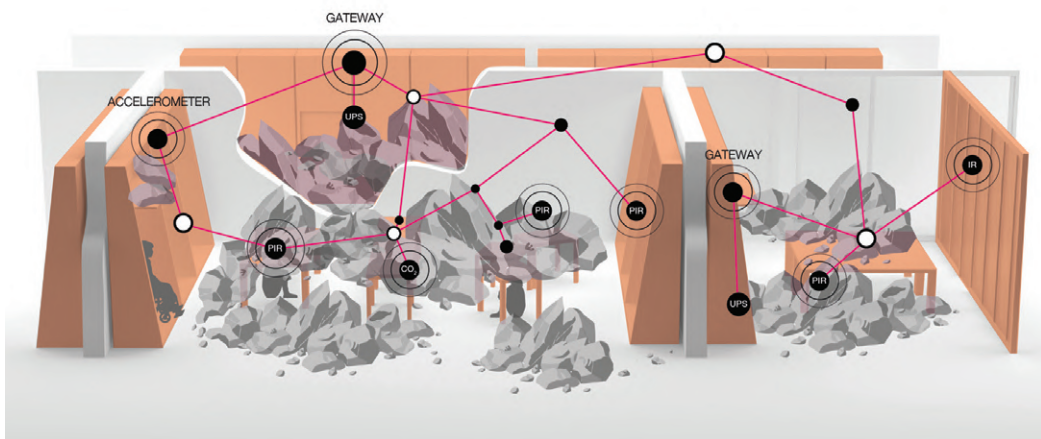
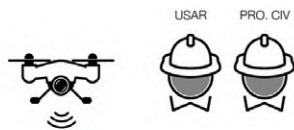
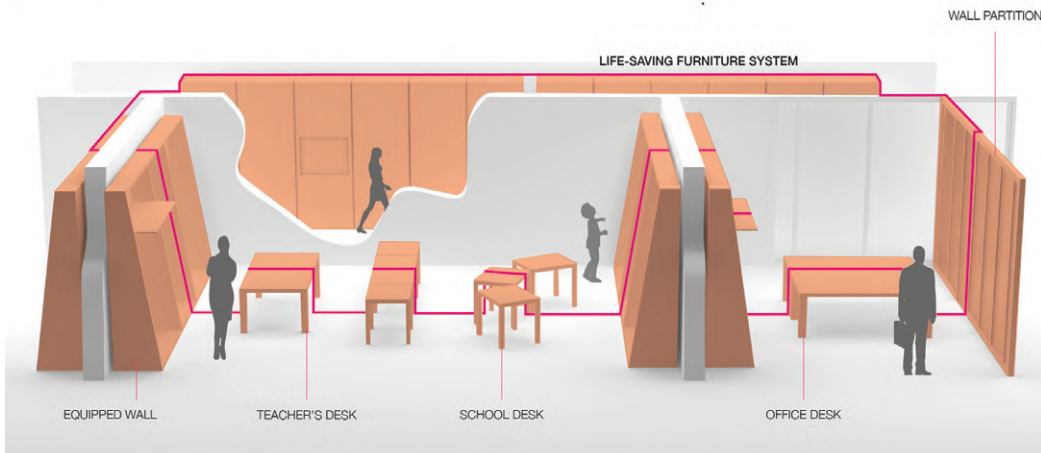


Fig. 7, 8 | The types of furniture in the intelligent, life-saving system and their functionality 'in times of war' as a sensor network for locating people under rubble (credits: University of Camerino).

In caso di emergenza la piattaforma di sensori è quindi attivata dagli accelerometri, installabili su tutte le tipologie di arredo, in grado di riconoscere un evento sismico. Questi inducono i singoli sensori a predisporre nello stato di guerra, che prevede un sensibile incremento della frequenza delle comunicazioni attraverso uno specifico protocollo denominato LORA. I dati possono essere raccolti dai gateway alimentati dai gruppi di continuità alloggiati dentro le pareti attrezzate oppure dai dispositivi mobili dei soccorritori montati su droni. Per evitare sovraccarichi del flusso di informazioni, che rallenterebbero l'accesso ai dati degli operatori, i sensori sono programmati per dare priorità a quelli i cui parametri inducono a pensare che ci sia una persona nel campo di monitoraggio, focalizzando le operazioni di ricerca in specifici punti prioritari del sito del crollo e permettendo un sensibile efficientamento delle attività d'impostazione della ricerca nelle primissime fasi dell'emergenza. Infine, sulla base di tutti i dati ricevuti dai sensori, una specifica applicazione sviluppata nell'ambito del progetto S.A.F.E dal gruppo di ricerca dell'in-

formatica e dalle aziende dei settori ICT e IoT e sottoposta a brevetto, è in grado di restituire ai soccorritori una 'heatmap' che identifica le aree a maggior probabilità di trovare persone vive sotto le macerie e di circoscrivere possibili criticità per gli operatori, come ad esempio eventuali fughe di gas.

Il design a guida del processo di innovazione progettuale: metodologia e fasi | Il processo di sviluppo progettuale per la realizzazione di sistemi di arredi anti-sismici, intelligenti e salva-vita in caso di terremoto, avviato nel progetto di ricerca industriale S.A.F.E., ha rappresentato un nuovo traguardo industriale e tecnologico per il settore dei prodotti d'arredo e per la messa in sicurezza antisismica, in particolare per gli spazi destinati alla didattica e al lavoro. Sebbene alcune soluzioni di mobili antisismici siano state proposte nel recente passato, la loro effettiva implementazione è stata estremamente limitata, poiché mancanti di un approccio progettuale sistemico e di una profonda valutazione dei requisiti strutturali e funzionali, legati alle loro prestazioni in tempo di

pace e di guerra. La principale sfida progettuale è stata innovare, da una prospettiva strutturale e informatica, il design degli arredi e delle attrezzature mobili, utilizzati nelle scuole e negli uffici, trasformandoli in sistemi intelligenti di sicurezza passiva, che possano contribuire alla protezione della vita durante il sisma e fornire, attraverso lo sviluppo e l'integrazione di sensori, un servizio innovativo per la localizzazione e il ritrovamento delle persone sotto le macerie e il monitoraggio dello stato di salute dell'edificio.

Nella prima fase, di analisi, sono state individuate le strategie per la realizzazione dei telai strutturali deputati alla protezione individuale in caso di crolli, selezionate le tecnologie e i dispositivi idonei a generare 'intelligenza' all'intero del sistema di arredi e definiti i criteri di sviluppo di nuovi composti antibatterici per il trattamento delle superfici dei prodotti. Nella seconda fase, progettuale, per filiere di competenza scientifica (design, ingegneria strutturale, informatica, chimica), ogni gruppo di lavoro ha portato a sviluppo le specifiche parti e componenti dei prodotti (configurazione formale e funzionale, strutture, dispositivi ICT e IoT e trattamenti superficiali in coerenza con le realtà tecnico-produttive del partenariato) coordinati dal design per assicurare la corrispondenza tra gli obiettivi, le attività progettuali e i risultati ottenuti dai singoli gruppi e procedere alla sintesi formale e funzionale delle diverse tipologie di arredo.

Nella terza e ultima fase, di validazione delle prestazioni attese, l'intero partenariato è stato impegnato nella realizzazione dei prototipi finali e nella loro verifica presso i laboratori di test delle Università e delle aziende coinvolte. I test sperimentali hanno riguardato specifici comportamenti strutturali in chiave antisismica e salvavita del banco (test statici e d'impatto), della parete attrezzata (test statici e di antiribaltamento) e della parete divisoria (test dinamici su piattaforma vibrante), così come delle capacità di comunicazione della sensoristica sotto le macerie.

In questo progetto il ruolo e il contributo del design industriale sono stati determinanti per il raggiungimento dei risultati finali, in particolare per l'approccio concettuale e metodologico alla progettazione, che, rispetto allo stato dell'arte dei prodotti per la protezione individuale in caso di sisma ad oggi sviluppati, ha spostato l'attenzione dalla progettazione del singolo arredo protettivo e resistente allo sviluppo di un sistema di arredi salva-vita interconnessi e interagenti. Attraverso un approccio tecnico-scientifico multidisciplinare e intersettoriale all'innovazione e la condivisione di differenti know-how presenti all'interno del partenariato pubblico-privato, il design ha guidato ogni singolo processo e attività secondo un modello circolare e iterativo di sviluppo, verifica, riprogettazione del sistema di arredi e realizzazione dei relativi set di prototipi.

Certamente tra le tipologie d'arredo sviluppate, il banco scuola è da considerarsi il prodotto più rappresentativo di questo processo di progettazione ad alto contenuto interdisciplinare (Fig. 16) che pone anche una profonda riflessione sulla necessità di definire un quadro normativo per la progettazione e la realizzazione di arredi salva-vita in caso di sisma. I risultati ottenuti nel progetto, costituiti principalmente da un set di prodotti per gli spazi funzionali di scuole e uffici e

di un processo metodologico guidato dal design articolato in filiere di competenza, rappresentano un notevole avanzamento rispetto allo stato dell'arte dei prodotti e arredi salva-vita ad oggi sviluppati per questi specifici contesti.

Conclusioni e sviluppi futuri: un modello procedurale per la generazione di nuovi concept di arredo salvavita | La metodologia adottata e l'approccio multi-stakeholder maturato nel progetto S.A.F.E. hanno permesso di sviluppare un modello metodologico-procedurale finalizzato a replicare i risultati in altri contesti per i quali progettare nuovi sistemi di arredi in grado di mettere in sicurezza gli spazi interni a uso collettivo. Le attività principali del progetto sono state inquadrare all'interno di tre importanti macro-fasi (Fig. 17): organizzazione e analisi dei dati raccolti; progettazione sistema salva-vita di arredi; test di verifica e ottimizzazione dei modelli sviluppati. Ogni macro-fase si articola, a sua volta, in diverse attività di approfondimento. In sintesi: la prima macro-fase prevede una serie di attività di ricerche preliminari volte ad inquadrare il contesto di riferimento, con particolare attenzione verso lo scenario edilizio e i suoi fruitori, le tipologie di arredo che caratterizzano lo scenario individuato, gli aspetti normativi e le tecnologie produttive relative agli arredi ritenuti maggiormente promettenti per la fase di sviluppo; la seconda macro-fase rappresenta il cuore del modello e prevede una serie di attività mirate allo sviluppo e alla progettazione dei layout strutturali di tutte le componenti degli arredi. Le attività progettuali saranno condotte in maniera parallela e in continuità con i processi di verifica e ottimizzazione previsti nella terza macro-fase.

L'obiettivo principale di questo modello è fornire ad aziende, progettisti e designer uno strumento che, attraverso un processo step-by-step e una serie di linee guida, governi la gestione di tutte le attività e le competenze necessarie alla progettazione di nuovi arredi resistenti e interconnessi, per la generazione di sistemi salva-vita in caso di sisma, capaci di fornire protezione e riparo anche in altri ambiti d'utilizzo. Dunque, sulla base dell'esperienza condotta nell'ambito del progetto, si prevede di continuare il processo sperimentale attraverso la verifica e validazione del modello iterativo elaborato, applicandolo a nuovi contesti potenzialmente critici quali strutture ricettive, ospedali e luoghi di culto.

The majority of existing buildings in Italy, and in particular public buildings, were designed in the past without taking into account the actions of a possible earthquake, either due to the lack of specific regulations or because they are in areas wrongly mapped as non-seismic. Every time an earthquake occurs, the vulnerability of existing buildings is clearly and tragically demonstrated, with loss of life, damage to works and serious economic impacts on the territories. The process of upgrading the existing building stock through the application of modern anti-seismic requirements is expensive, technically complex and ultimately very slow (Fig. 1). This awareness has led to an exponential increase in the social demand for safety in affected communities and

territories, both in Italy and abroad, as demonstrated by recent events in the Balkan Peninsula and the Caribbean.

A possible solution, an alternative to the traditional approach of structural adjustment of buildings, may be the adoption of new types of life-saving furnishings which, working synergistically as an interconnected system with high mechanical resistance and a special sensor system, can improve seismic safety inside a building in the event of a collapse, with significantly lower costs and faster turnaround. The different types of products that make up a room, both vertical and horizontal elements, can each make their own contribution to the protection of the occupants, avoiding construction work. The furnishings thus conceived are comparable to a highly inclusive, intelligent and distributed infrastructure within the building, able to prevent and reduce the loss of human life, acting as a passive protection system capable of detecting and locating the presence of survivors under the rubble and monitoring the environmental conditions of the site 'in time of war'. The information and data obtained can then be transmitted to the rescue teams (U.S.A.R. and Civil Protection) and processed in the prodromal phases of triage¹. During peacetime, furthermore, furniture may be able to monitor the health of particularly sensitive buildings, such as schools or other public

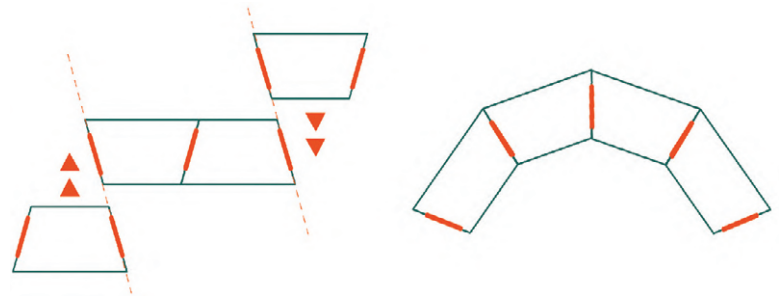
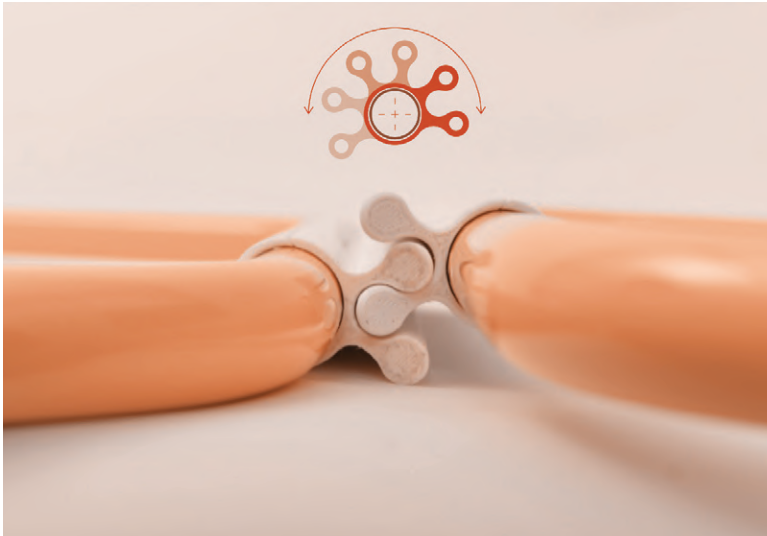
and private collective facilities, offering an indirect diagnostic service on structural conditions. This approach is particularly effective when considering construction contexts that typically undergo the replacement of all the furniture in an environment in one go.

The project 'S.A.F.E. – Sustainable design of anti-seismic furniture as smart life-saving systems during an earthquake' is set in this scenario. Its aim is to study, design and implement innovative, concrete and effective solutions of anti-seismic, intelligent and life-saving furniture systems in case of earthquake for school and office contexts² (Pietroni, Mascitti and Galloppo, 2020). The article intends to describe the contribution of design in the S.A.F.E. project, as a key discipline for the definition of a new conceptual and methodological approach to the design of this furniture, which, compared to the state of the art products for individual protection in case of earthquake on the market today, has shifted the focus from the design of individual furniture to the development of a system of interconnected and interacting life-saving furniture.

Starting from the analysis of the state of the art of the life-saving products developed to date and highlighting some of their peculiar characteristics, the contribution presents a new design methodology aimed at overcoming the models proposed on the market, basically characterised



Fig. 9-11 | First prototype of the desk and its unique lattice structure (credits: University of Camerino).



Figg. 12, 13 | Desk-to-desk connection device developed to increase the structural strength of products and generate different layouts (credits: University of Camerino).

by the use of materials with high mechanical resistance and conceived for the protection of a single user. On the other hand, the interdisciplinary approach of the S.A.F.E. project has identified, through a series of preliminary researches, new strategies and solutions for the generation of a life-saving furnishing system dedicated to collective safety and able to optimise also the technical-constructive characteristics of the products for their placement in vulnerable buildings, such as those in the historic centre. By explaining the main phases of the research conducted and the methodology adopted for the design and development of the new furniture, the paper concludes by presenting a new procedural model that allows the replicability of the results obtained in the S.A.F.E. project.

Concepts, patents and products of life-saving furniture in case of earthquakes | Earthquake safety in high-risk urban areas is, historically, a theme mainly investigated by earthquake engineering (De Sortis et alii, 2009), which has focused primarily on the structural response of buildings and mitigation of induced damage. In recent years, however, the design vision has greatly expanded (Chen et alii, 2015a), recognising also non-structural elements, such as furniture, a strategic role in earthquake-proofing (D'Angela, Magliulo and Cosenza, 2021), both to protect people and to reduce the generation of barriers and obstacles. The newborn baby protected from its cradle during the 2017 Ischia earthquake is perhaps the emblematic example of how certain types of furniture can represent a precious opportunity for salvation.

Since 1995, the year of the Kobe earthquake in Japan, traditional furniture securing devices, such as metal brackets, straps, pads, etc., have been supplemented by a number of other devices (Meguro, Ito and Sato, 2008), numerous patents and specialised furniture products have been added to safeguard life in the event of an earthquake. Driven by the growing demand on the market, some furniture companies have started to invest privately in research and development activities to implement earthquake-resistant functions in their products, as one of the first companies to do so was the American company Life-Guard Structures (Fig. 2).

Initially, the international scientific debate focused on the selection of the most appropriate types of furniture to protect people in the event of an earthquake and the definition of the technical-performance requirements of furniture products to achieve the life-saving function (Chen et alii, 2015b) and the identification of materials able to foster the development of 'durable, comfortable and user-friendly forms' (Akhand, 2018). More recently, the contributions of design to the topic have increased so much as to stimulate the development of specific digital tools, such as CAD software for functional product optimisation (Wenkuan and Xiping, 2018) or augmented reality applications aimed at learning safety practices for earthquake survival (Li et alii, 2017).

Therefore, the first phase of the S.A.F.E. project was aimed at studying the technical-scientific literature and the analysis of concepts, patents and furniture products, already developed for safeguarding people during earthquakes. The research identified and listed 36 national and international case studies, explaining the context of use, the presence or absence of electronic devices and the main life-saving strategies adopted, divided into: furniture with high mechanical resistance; transformable furniture; survival cells and capsules and furniture working together with the building envelope (Galloppo, Mascitti and Pietroni, 2019). Each sheet has a colour code that identifies whether it is: concept (light blue), prototype (red), patent (green) or commercial product (orange). In addition, the sheet is divided into four sections that identify: the type of furniture analysed and the trade name; the data of the company or designer, the country of origin and the year of production; the dimensional characteristics and the declared technical and life-saving performance of the product; detailed images and an explanatory video of the product (Fig. 3).

This phase was fundamental to synthesise the life-saving strategies identified in the examples and at the same time explicate the design solutions adopted, such as: dissipative systems; heavy steel structures for the construction of temporary shelters (Ferreira et alii, 2021); light materials with high mechanical performance (Morales et alii, 2019); mechatronic devices for the spatial and structural reconfiguration of furniture. The research has also highlighted a particular design

sensitivity towards the development of products for seismic safety in educational spaces, with emblematic examples such as Arthur Brutter and Ido Bruno's patent of 2014³, later exhibited at the Moma in New York. In 2018, New Zealand artist and designer Tonya Sweet, in collaboration with Ryan Tucker, designed a desk to protect children attending primary schools in her country (Sweet and Tucker, 2018). In the same year, through the analysis of a series of concepts that prioritise the mitigation of anxiety generated by the aesthetic-formal characteristics of earthquake-resistant products over their mechanical performance, Sweet also investigates the psychological implications of using these products (Sweet, 2018).

Among the most studied types of furniture with a life-saving function in the event of an earthquake is the bed, as the type most affected by the integration of electronic and mechatronic devices, useful for pre-alerting the user and transforming the product into a temporary shelter. An example is the model developed by Liyangshi Zhengxiang Precision Machinery Co.Ltd (Fig. 4), characterised by sensors for detecting seismic waves, programmed to activate special mechanisms that allow the user to slide into the protective space concealed under the bed. This Chinese model is not the only one to adopt mechatronic systems to transform itself into a shelter in case of emergency; the research has identified other similar case studies of night-time protection furniture, including the original patent for a baby cot with a 'cutter cover' (Fig. 5).

Although the implementation of these technologies has made an important contribution to the generation of new types of anti-seismic products and opened up a new market in the specific sector of smart and life-saving furniture, there is still considerable room for technological innovation and design improvement. In fact, the analysis carried out on the state of the art has shown how the electronic and IT solutions implemented are limited to the mere implementation of mechatronic devices, designed exclusively to change the structural structure of the product and transform it into a sort of bunker or survival capsule. Therefore, one of the highly innovative features of the S.A.F.E. project is that of having prefigured a new scenario of development and

use of ICT and IoT systems, collaborating between the different types of furniture diffused within the functional spaces of a school or office building, to generate in a systemic and innovative way unprecedented forms of interaction between the user-furniture-rescuer and between the furniture itself.

A life-saving smart furniture system in case of an earthquake | Through a multidisciplinary approach, i.e. the integration of different technical-scientific skills (Pietroni et alii, 2019), such as industrial design, structural engineering, computer science and chemistry, and intersectoral, meaning the involvement of companies from traditional and technological sectors, such as wood-furniture, ICT and IoT (Fig. 6), a particular design of furniture used in school and office contexts has been developed, capable of collaborating to generate a widespread passive safety system, called Life-saving Furniture System, which allows the location of people after a collapse (Fig. 7, 8). Within the project, four functionally complementary types of furniture were identified and developed: the school desk, the teacher's desk, the equipped wall and the partition wall. This set of products makes it possible to generate an innovative system for the safety of people in the functional and relational spaces of a school or an executive centre. Each piece of furniture performs a dual function in the event of an earthquake: a structural one, for the physical protection of people, and a digital one for monitoring the conditions of the site and improving the coordination of rescue operations in the main phases of the 'emergency life cycle'.⁴

The school desk, for which the first invention patent was applied for in the framework of the S.A.F.E.⁵ project, was designed to generate, through a dissipative structural system, a protection niche for the individual student, able to resist impacts and static loads that may occur during an earthquake. The main frame is characterised by a geometric configuration of multiple lattice girders, specifically conceived for a dual protection system: an internal module, which acts as a highly resistant protective niche, and an ex-

ternal one, capable of dissipating the shocks due to subsidence and collapse of parts of the building ceiling (Figg. 9-11). The design of this structure, compared to the models offered on the market, which are too heavy to be used in historical building contexts, offers considerable advantages in terms of the mechanical performance achieved (resistance and resilience) and the weight of the product, which is about 15 kg, a value consistent with that of traditional benches and with the reference standards.

In addition, the physical interconnection of the desks with specific jointing systems allows the creation of a macro lattice structure capable of increasing the mechanical resistance performance of the individual furniture. The connection device allows bilateral (right-left) and bifacial (front-back) interlocking to facilitate the connection between desks on all sides of the writing surface, thus generating traditional 'in-line' and 'amphitheatre' layouts or those for 'island' workshop activities (Figg. 12, 13). This device, besides being easily industrialised with aluminium extrusion technology, represents a highly innovative solution, allowing the traditional concept of a single protective unit to evolve in favour of a connected and earthquake-proof furniture system.

Under the worktop, in a strategic point of the frame, is a shockproof 'case' housing a pair of battery-powered sensors, useful for detecting the presence of life under the rubble. The desk is in fact equipped with a passive infrared sensor (PIR) capable of detecting the presence of a person through the infrared radiation produced (Fig. 14). The basic performance of the PIR can be supported with the insertion of a second sensor for CO₂ monitoring, which provides further indications on the vitality of the subject within the confined microenvironment. The installation of a tilt-meter, to detect the possible overturning of the bench, completes the picture of data that the smart apparatus makes available to rescuers. By typological extension, similar structural configurations and operating logics of the ICT devices are envisaged for the desk, albeit with the necessary modifications due to the different target users and the different functionality of the product.

Among the identified furniture typologies, certainly the student desk and the teacher desk are the most common ones inside a school building, stratified by overlapping floors. Considering them as a whole, it would be possible to describe the spatial changes that a building can take on as a result of subsidence after an earthquake. The information gathered from the dynamic behaviour of these furnishings can be transmitted to emergency responders to obtain a snapshot of the state of the emergency.

Conceived on a modular basis and widely customisable, both in structural and functional terms, the equipped wall (patent pending) has the task of counteracting the overturning of the weak partitions of a building during an earthquake, and at the same time, creating an unprecedented space of protection from partial collapse of the ceiling for disabled people in wheelchairs or for able-bodied people who are outside their study or workstation. The structural system of this typology is inspired by bookcases and equipped walls characterised by the installation of a series of telescopic uprights capable of adapting to the different heights of the interior spaces. The ceiling-to-ground upright, developed by the engineering group of the University of Camerino, consists of two reinforcing brackets designed to connect the equipped wall to the ceiling and floor; a steel box with a series of slots for adjusting the brackets, whose bending behaviour makes it possible to counteract the tilting of the partition. The upright can be repeated in a linear manner along the wall to be secured.

The equipped wall can therefore be configured according to the functional requirements and the level of danger of the building. In addition, the system offers the possibility of inserting a module large enough to accommodate a wheelchair for the disabled, characterised by a metal mesh canopy to protect against possible floor collapses. The canopy also incorporates the interactive whiteboard projector (IWB) and lighting devices to increase visual comfort and the quality of the teaching workshops in 'peacetime'. The same module houses a PIR sensor at the top, with a similar purpose to the previous types. In this case,

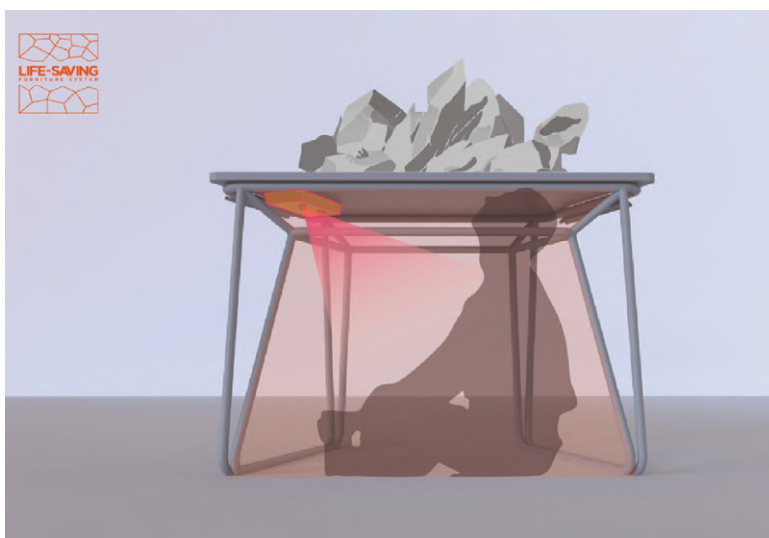


Fig. 14 | ICT and IoT devices for student monitoring and localisation in case of collapse (credit: University of Camerino).

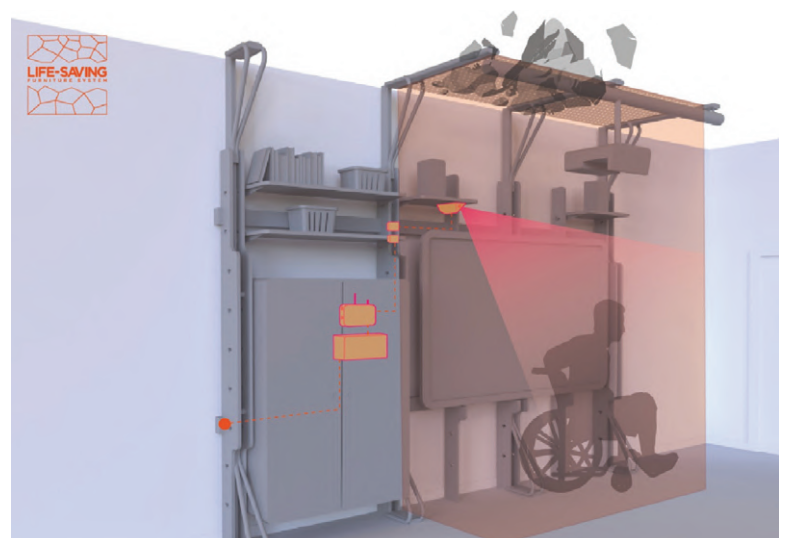


Fig. 15 | The equipped wall designed to protect the partitions and the ceiling with a protective space for people in wheelchairs (credit: University of Camerino).

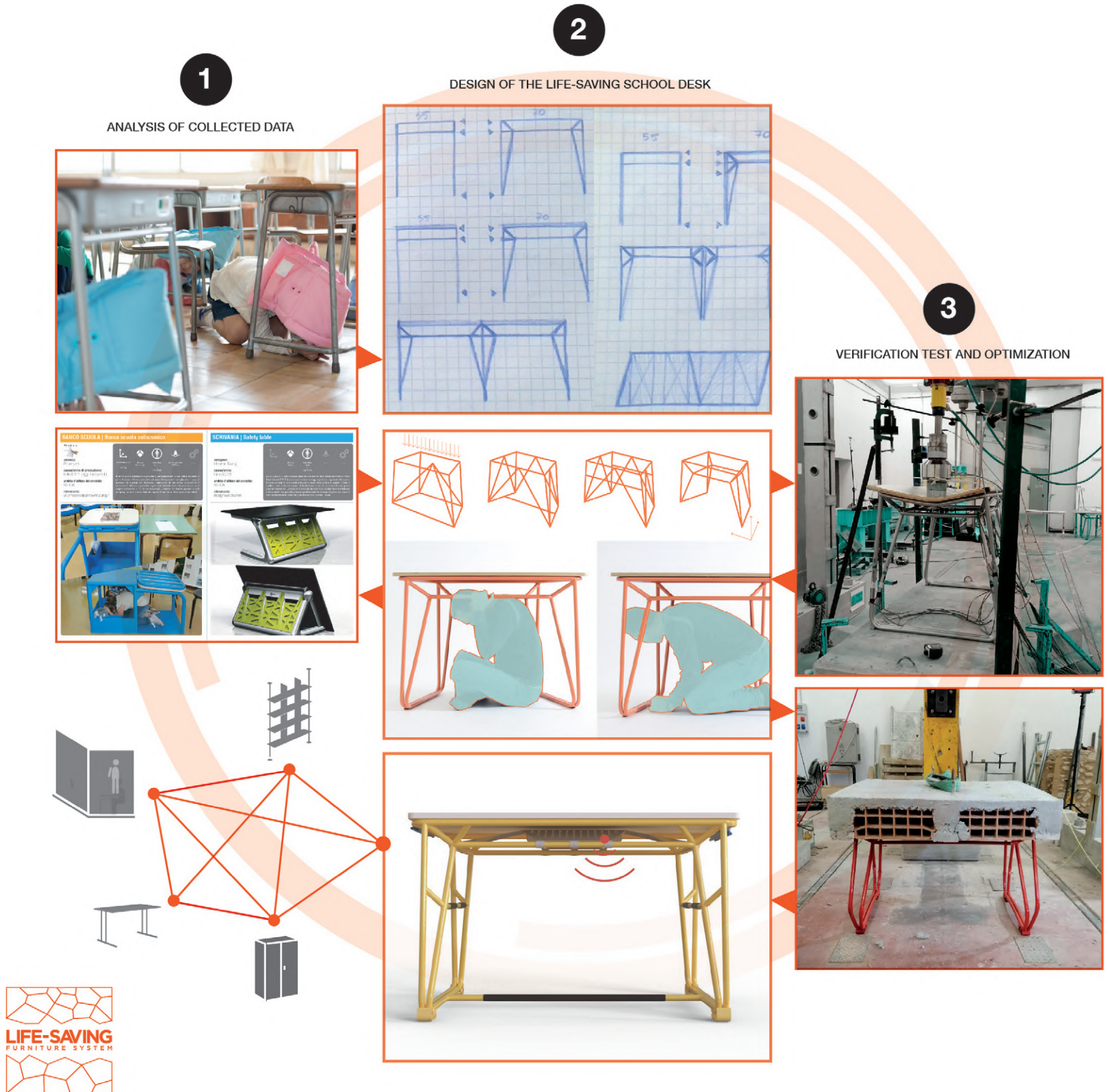


Fig. 16 | The main phases of the S.A.F.E. school desk testing and design development process (credit: University of Camerino).

the tiltmeter makes it possible to know whether the manned septum is still in its initial position or whether, in the worst case scenario, it has tipped over.

An accelerometer, housed in a protected point of the product, has the fundamental task of 'wake up' the sensors of all the furniture in the S.A.F.E. system and putting them in a state of war, in which analysis and communication activities are increased. Able to detect the sudden accelerations transferred by the shaking of the building to the furniture and to discriminate between a seis-

mic event and normal vibrations due to use (people walking, doors slamming, etc.), the presence of the accelerometer on the equipped wall allows indirect vibrational monitoring of the building, to understand whether the structure may have suffered deterioration as a result of minor seismic events and to check its state of fitness in real time. The computer set-up of the equipped wall is completed by a network device (gateway), which collects data from all the furnishings and transmits it to the rescuers' devices, and an uninterrupted power supply, to prevent possible power cuts

(Fig. 15), both located in a shockproof box that can be freely placed in one of the product's containing elements.

The partition wall, the second invention patent applied for, with a structure made of aluminium profiles and laminated glass panes, features an innovative system for dissipating seismic energy that makes it possible to reduce the state of risk due to glass breakage and overturning. The dissipative effect generated also contributes to the building's overall statics, effectively transforming the wall into a micro-dissipator. In this inno-

vative furnishing system, the partition wall has the task of monitoring the presence of people inside functional spaces of the building, thanks to the insertion of a people counting sensor in the door uprights which, in the event of an earthquake, makes it possible to know the number of occupants in a given room.

In case of an emergency, the sensor platform is then activated by accelerometers, which can be installed on all types of furniture and are able to recognise a seismic event. These induce the individual sensors to go into a state of war, which involves a significant increase in the frequency of communication through a specific protocol called LORA. The data can be collected by gateways powered by uninterruptible power supplies housed inside equipped walls or by mobile devices mounted on drones. In order to avoid overloading the flow of information, which would slow down the operators' access to the data, the sensors are programmed to give priority to those whose parameters lead one to believe that there

is a person in the monitoring area, focusing the search operations on specific priority points of the collapse site and allowing a considerable efficiency in setting up the search in the very early stages of the emergency. Finally, on the basis of all the data received from the sensors, a specific application developed as part of the S.A.F.E project by the IT research group and companies in the ICT and IoT sectors, and subject to patenting, is able to provide rescuers with a 'heatmap' that identifies the area most likely to find people alive under the rubble, as well as to circumscribe possible criticalities for operators, such as possible gas leaks.

Design guiding the project innovation process: methodology and phases | The design development process for the creation of anti-seismic, intelligent and life-saving furniture systems in case of earthquake, initiated in the S.A.F.E. industrial research project, has represented a new industrial and technological milestone for the sec-

tor of anti-seismic furniture and safety, in particular for teaching and working spaces. Although some anti-seismic furniture solutions have been proposed in the recent past, their actual implementation has been extremely limited, as they lacked a systemic design approach and an in-depth assessment of the structural and functional requirements related to their performance in peacetime and war. The main design challenge was to innovate, from a structural and IT perspective, the design of furniture and mobile equipment used in schools and offices, transforming them into intelligent passive safety systems that can contribute to the protection of life during an earthquake and provide, through the development and integration of sensors, an innovative service for locating and finding people under the rubble and monitoring the health of the building.

In the first analysis phase, strategies were identified for the creation of structural frames to protect individuals in the event of collapse, technologies and devices were selected to generate

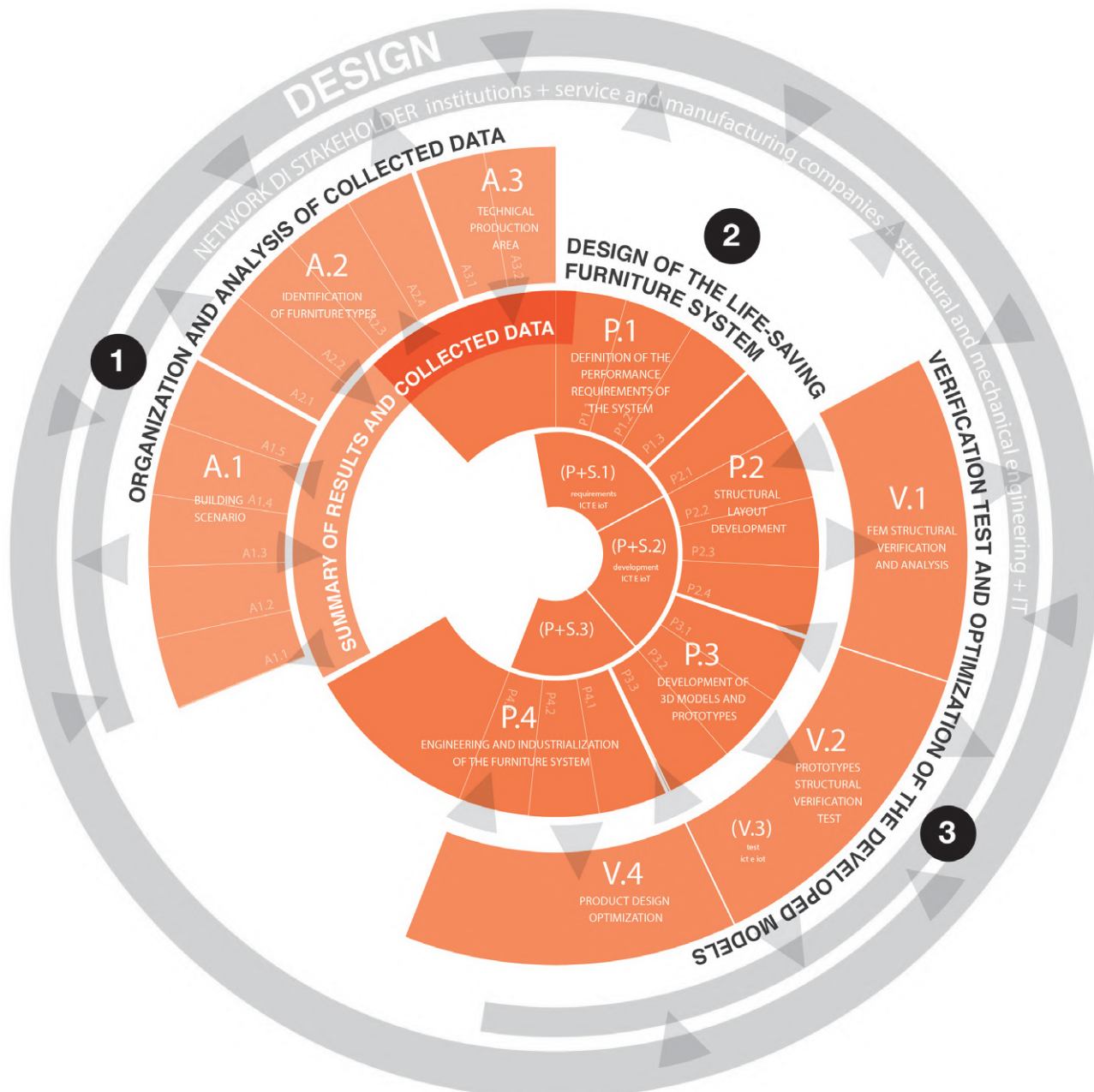


Fig. 17 | Procedural methodological model developed for the replicability of the S.A.F.E. project results in other contexts of use (credit: D. Galloppo).



Fig. 18 | Rescuers from the National Fire Corps and USAR teams on the rubble from the 2017 Amatrice earthquake (source: Ansa).

'intelligence' within the furniture system, and criteria were defined for the development of new antibacterial compounds for the treatment of product surfaces. In the second phase, design, for scientifically competent sectors (design, structural engineering, computer science, chemistry), each working group developed the specific parts and components of the products (formal and functional configuration, structures, ICT and IoT devices and surface treatments in line with the technical-productive realities of the partnership) coordinated by the design to ensure the correspondence between the objectives, the design activities and the results obtained by the individual groups and to proceed to the formal and functional synthesis of the different types of furniture.

In the third and final phase, of validation of the expected performances, the entire partnership was engaged in the realisation of the final prototypes and their verification at the test laboratories of the Universities and companies involved. The experimental tests concerned specific structural behaviour in terms of anti-shock and life-saving of the bench (static and impact tests), of the equipped wall (static and anti-tip tests) and of the partition wall (dynamic tests on a vibrating platform), as well as the communication capabilities of the sensors under the rubble.

In this project, the role and contribution of in-

dustrial design have been decisive in achieving the final results, in particular for the conceptual and methodological approach to design, which, compared to the state of the art products for individual protection in the event of an earthquake developed to date, has shifted the focus from the design of a single protective and resistant piece of furniture to the development of a system of interconnected and interacting life-saving furniture. Through a multidisciplinary and cross-sectoral technical-scientific approach to innovation and the sharing of different know-how within the public-private partnership, the design has guided each individual process and activity according to a circular and iterative model of development, verification, redesign of the furniture system and realisation of the relevant sets of prototypes.

Certainly, among the types of furniture developed, the school desk is to be considered the most representative product of this highly interdisciplinary design process (Fig. 16), which also raises a profound reflection on the need to define a regulatory framework for the design and construction of life-saving furniture in the event of an earthquake. The results obtained in the project, mainly consisting of a set of products for the functional spaces of schools and offices and of a methodological process guided by the design articulated in competence chains, represent

a considerable advancement with respect to the state of the art of life-saving products and furniture developed to date for these specific contexts.

Conclusions and future developments: a procedural model for generating new life-saving furniture concepts

The methodology adopted and the multi-stakeholder approach developed in the S.A.F.E. project allowed the development of a methodological-procedural model aimed at replicating the results in other contexts for which new furniture systems capable of securing indoor spaces for collective use should be designed. The main activities of the project were framed within three important macro-phases (Fig. 17): organisation and analysis of the data collected; design of the life-saving furniture system; verification tests and optimisation of the models developed. Each macro-phase is in turn divided into several in-depth activities. In brief: the first macro-phase envisages a series of preliminary research activities aimed at framing the reference context, with particular attention to the building scenario and its users, the types of furniture characterising the scenario identified, the regulatory aspects and the production technologies relating to the furniture considered most promising for the development phase; the sec-

ond macro-phase represents the heart of the model and envisages a series of activities aimed at developing and designing the structural layouts of all the furniture components. The design activities will be carried out in parallel and in continuity with the verification and optimisation processes foreseen in the third macro-phase.

The main objective of this model is to provide companies, planners and designers with a tool

that, through a step-by-step process and a series of guidelines, governs the management of all the activities and skills necessary for the design of new resistant and interconnected furniture, for the generation of life-saving systems in the event of an earthquake, capable of providing protection and shelter in other areas of use as well. Therefore, on the basis of the experience gained within the project, it is planned to continue the

experimental process through the verification and validation of the iterative model developed, applying it to new potentially critical contexts such as accommodation facilities, hospitals and places of worship.

Notes

1) Triage is instrumental in streamlining rescue activities to save the greatest number of people by directing the rescuers' efforts towards those most likely to survive. According to the standardised INSARAG method, the process involves: assessing the available information on the victims, evaluating the survival space and assessing what resources and time are required for rescue.

2) 'S.A.F.E. – Sustainable design of anti-seismic furniture as smart life-saving systems during an earthquake' is an Industrial Research project started in 2018, co-financed by MIUR within the National Operational Programme – Research and Innovation 2014/2020, coordinated by the University of Camerino that involves 11 partners including Universities (University of Camerino, University of L'Aquila and University of Basilicata), companies from the wood-furnishing sector (AZ Ufficio, Camillo Sirianni, Cosmob, Icam, Styloffice and Vastarredo Industrie) and from the ICT and IoT sector (Filippetti and Santer Reply). The project has an Advisory Board made up of the Civil Protection, the National Fire Brigade, FederlegnoArredo, ENEA and ADI (Association for Industrial Design). Scientific coordinator: L. Pietroni, Full Professor in Industrial Design at the School of Architecture and Design of Unicam. More information at: safeproject.it [Accessed 12 October 2021].

3) United States Patent, Brutter et alii, Patent N.: US 8,887,648 B2 – Date of Patent: 18 November 2014.

4) The emergency lifecycle illustrates the process by which all organisations should plan activities to reduce the impacts of disasters and how to react immediately to their occurrence, taking steps to recover essential goods and services in a short timeframe

5) European Patent Application for Invention n. 21425010.2-Aref:SAFE12021 dated 8 February 2021 from 'Combined Dual Frame System for Life-saving Desks Against Seismic-induced Collapses'.

References

Akhand, M. (2018), "Innovative Design's Resilient Furniture for Self-rescue from Natural Disaster – A Case Study for Mental Stability", in *Banglavisian*, vol. 18, n. 1, pp. 109-120. [Online] Available at: [bv-f.org/VOL-18/08.%20BV%20Final.pdf](https://doi.org/10.18848/2325-1379/CGP/v12i02/1-14) [Accessed 02 November 2021].

Chen, M., Jiang, L., Liu, D.-Z. and Lyu, J.-h. (2015a), "Furniture Innovative Design with Earthquake Self-rescue Function – From Furniture Form and Structure Perspective", in Tan, D. (ed.), *Proceedings of the 2015 Conference on Informatization in Education, Management and Business*, Assehur series, vol. 20, Atlantis Press, pp. 35-40. [Online] Available at: doi.org/10.2991/iemb-15.2015.7 [Accessed 08 October 2021].

Chen, M., Liu, D., Jiang, L. and Lyu, J. (2015b), "Primary Research on Emergency Self-Rescue Furniture Design for Natural Disasters", in Tan, D. (ed.), *Proceedings of the 2015 Conference on Informatization in Education, Management and Business*, Assehur series, vol. 20, Atlantis Press, pp. 943-949. [Online] Available at:

doi.org/10.2991/iemb-15.2015.195 [Accessed 02 November 2021].

D'Angela, D., Magliulo, G. and Cosenza, E. (2021), "Seismic damage assessment of unanchored nonstructural components taking into account the building response", in *Structural Safety*, vol. 93, 102126, pp. 1-18. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.strusafe.2021.102126 [Accessed 13 October 2021].

De Sortis, A., Di Pasquale, G., Dolce, M., Gregolo, S., Papa, S. and Rettore, G. F. (2009), *Linee guida per la riduzione della vulnerabilità di elementi non strutturali arredi e impianti*, Presidenza del Consiglio dei Ministri Dipartimento della Protezione Civile, Roma. [Online] Available at: certifico.com/component/attachments/download/12141 [Accessed 21 October 2021].

Ferreira, J. G., Moura, R., Guerreiro, L. and Guerreiro, J. (2021), "SHELTER – Structural Hyper-resisting Element for Life Threatening Earthquake Risk – An innovative approach for seismic protection", in *Engineering Structures*, vol. 235, 112012, pp. 1-16. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112012 [Accessed 02 November 2021].

Galloppo, D., Mascitti, J. and Pietroni, L. (2019), "Design strategies for the development of life-saving furniture systems in the event of an earthquake", in Guarascio, M., Passerini, G., Garzia, F. and Lombardi, M. (eds), *WIT Transactions on The Built Environment*, vol. 189, WIT Press, Southampton (UK), pp. 67-77. [Online] Available at: [witpress.com/eliibrary/wit-transactions-on-the-built-environment/189/37350](https://www.witpress.com/eliibrary/wit-transactions-on-the-built-environment/189/37350) [Accessed 11 September 2021].

Li, C., Liang, W., Quigley, C. and Zhao, Y. (2017), "Earthquake Safety Training through Virtual Drills", in *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 23, issue 4, pp. 1275-1284. [Online] Available at: doi.org/10.1109/TVCG.2017.2656958 [Accessed 04 November 2021].

Meguro, K., Ito, D. and Sato, Y. (2008), "Efficiency of furniture overturning protection devices during earthquakes – A experimental and numerical study", in *Proceedings of the 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China, October 12-17, 2008*, pp. 1-8. [Online] Available at: [researchgate.net/publication/228411805_EFFICIENCY_OF_FURNITURE_OVERTURNING_PROTECTION_DEVICES_DURING_EARTHQUAKES_-_A_EXPERIMENTAL_AND_NUMERICAL_STUDY](https://www.researchgate.net/publication/228411805_EFFICIENCY_OF_FURNITURE_OVERTURNING_PROTECTION_DEVICES_DURING_EARTHQUAKES_-_A_EXPERIMENTAL_AND_NUMERICAL_STUDY) [Accessed 21 October 2021].

Morales, M. P. E., Valenzuela, I. C., Abulon, E. L. R., Arago, N. M. and Mancao, M. C. T. (2019), "Coupling School Risk Reduction Strategies with LAMESA (Life-Saving Automated 'Mesa' to Endure Seismic Activity) for Kindergarten", in *Philippine Journal of Science*, vol. 148, n. 1, pp. 137-149. [Online] Available at: philjournalsci.dost.gov.ph/images/pdf/pjs_pdf/vol148no1/coupling_school_risk_reduction_strategies_with_LAMESA_with_APPENDIX.pdf [Accessed 04 November 2021].

Pietroni, L., Mascitti, J. and Galloppo, D. (2020), "S.A.F.E. Design sostenibile di sistemi di arredo intelligenti con funzione salva-vita durante eventi sismici", in Di Bucchianico, G., Fagnoni, R., Pietroni, L., Piscitelli, D. and Riccini, R. (eds), *Atti dell'Assemblea Annuale*

della Società Italiana di Design – 100 anni dal Bauhaus – Le prospettive della ricerca di design, Ascoli Piceno, Italy, 13-14 Giugno, 2019, pp. 145-154. [Online] Available at: societaitalianadesign.it/wp-content/uploads/2014/06/100AnniDalBauhaus_LeProspettiveDellaRicercaInDesign.pdf [Accessed 22 October 2021].

Pietroni, L., Mascitti, J., Galloppo, D., Dall'Asta, A., Zona, A., Scozzese, F., Re, B., De Angelis, F., Di Nicola, C. and Scuri, S. (2019), "Design industriale, ingegneria strutturale, informatica e chimica per lo sviluppo di sistemi di arredo con funzione salva-vita in zona sismica | Industrial Design, Structural Engineering, Computer Science and Chemistry for the development of life-saving furniture systems in seismic areas", in Braga, F., Dall'Asta, A. and Gara, F. (eds), *Atti del XVIII Convegno ANI-DIS – L'Ingegneria Sismica in Italia – Ascoli Piceno, 15-19 Settembre 2019*, Pisa University Press, Pisa, pp. 43-50.

Sweet, T. (2018), "Furniture Design for Disaster – A Case Study for Psychologically Resilient Objects", in *Journal of Interior Design*, vol. 43, issue 1, pp. 19-27. [Online] Available at: doi.org/10.1111/joid.12110 [Accessed 04 November 2021].

Sweet, T. and Tucker, R. (2018), "Resilient Furniture Design – A Reconcived School Table for Earthquake Safety", in *The International Journal of Designed Objects*, vol. 12, issue 2, pp. 1-14. [Online] Available at: doi.org/10.18848/2325-1379/CGP/v12i02/1-14 [Accessed 04 November 2021].

Wenkuan, W. and Xiping, X. (2018), "Application of the Indoor Safety Location Design", in *International Journal of Science*, vol. 5, issue 5, pp. 205-209. [Online] Available at: [ijscience.org/download/IJS-5-5-205-209.pdf](https://www.ijscience.org/download/IJS-5-5-205-209.pdf) [Accessed 04 November 2021].