

PROGETTO AMBIENTALE ED ESPERIENZE MULTISENSORIALI: spazio integrato per attività di simulazione / ENVIRONMENTAL DESIGN MULTISENSORY EXPERIENCE: Integrated space for

*Original*

PROGETTO AMBIENTALE ED ESPERIENZE MULTISENSORIALI: spazio integrato per attività di simulazione / ENVIRONMENTAL DESIGN MULTISENSORY EXPERIENCE: Integrated space for simulation activities / Palmieri, Stefania; Bisson, Mario; Ianniello, Alessandro. - In: AGATHÓN. - ISSN 2532-683X. - 7:(2020), pp. 202-209. [10.19229/2464-9309/7212020]

*Availability:*

This version is available at: 11583/3010886 since: 2026-05-15T21:38:29Z

*Publisher:*

Agathon

*Published*

DOI:10.19229/2464-9309/7212020

*Terms of use:*

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

*Publisher copyright*

(Article begins on next page)

## PROGETTO AMBIENTALE ED ESPERIENZE MULTISENSORIALI

Spazio integrato per attività di simulazione

## ENVIRONMENTAL DESIGN MULTISENSORY EXPERIENCE

Integrated space for simulation activities

Stefania Palmieri, Mario Bisson, Alessandro Ianniello

### ABSTRACT

Il Laboratorio EDME, istituito all'interno del Politecnico di Milano, è il primo risultato di un percorso di integrazione multidisciplinare, che sintetizza relazioni multiscolari, delineanti l'identità di strumento d'indagine, interpretazione e rappresentazione di scenari esperienziali. Il modello generato integra in uno spazio fisico tecnologia ICT innovativa e materiali di ultima generazione, per svolgere ricerche che coinvolgono simulazioni di attività e interazioni complesse, e previsioni sugli aspetti percettivi e di controllo digitale degli ambienti dove tali attività vengono svolte. Il presente contributo, attraverso due progetti di ricerca, evidenzierà come la ricerca abilitata possa portare all'ideazione di metodologie e alla realizzazione di applicazioni innovative; i risultati raggiungibili rispondono alle esigenze dei sistemi di rilevazione e di simulazione degli aspetti percettivi e dei sistemi di interazione ambientale.

The EDME Laboratory, established within the Polytechnic of Milano, is the first result of a path of multidisciplinary integration, which synthesizes multiscale relationships, outlining the identity of an instrument of investigation, interpretation and representation of experiential scenarios. The generated model integrates with a physical space innovative ICT technology and materials of the latest generation, to carry out research involving simulations of complex activities and interactions, and predictions on the perceptual and digital control aspects of the environments where such activities are carried out. This contribution, through two research projects, will highlight how qualified research can lead to the creation of methodologies and the implementation of innovative applications; the achievable results meet the needs for systems able to detect and simulate perceptual aspects and for systems of environmental interaction.

### KEYWORDS

ambiente, design, multisensorialità, esperienza, multidisciplinarietà

environment, design, multisensory, experience, multidisciplinary

**Stefania Palmieri**, PhD, is a Professor and Researcher in Industrial Design at Polytechnic of Milano. She is in charge of Relations with Companies and Professions for the School of Integrated Product Design. Her activity aims at establishing collaborations with the production world and is aimed at creating synergies between University and Business. Mob. +39 335/67.59.314 | E-mail: stefania.palmieri@polimi.it

**Mario Bisson**, Architect, is an Associate Professor at the Design Department of the Polytechnic of Milano. He is the Scientific Director of the Interdepartmental EDME Laboratory and Colour Laboratory of the Polytechnic, the Scientific Director of MDA and a Member of the Board of Directors of PoliDesign srl. Mob. +39 331/72.65.620 | E-mail: mario.bisson@polimi.it

**Alessandro Ianniello**, Designer of the Product for Innovation, is a Tutor at the Design Department of Polytechnic of Milano, and a Project Researcher at UPO SIMMOVA. Mob. +39 338/53.81.248 | E-mail: alessandro.ianniello@polimi.it

Gli ambienti che abitiamo e nei quali interagiamo sono definiti dall'intreccio di spazi, fisici e immateriali, e tempo storico, sociale e tecnologico, che ne delineano le caratteristiche e le differenti morfologie. Riprendendo studi pregressi (Benford et alii, 1998), è interessante individuare la tassonomia di questi spazi, basandosi sui principi di artificialità, trasporto e spazialità (Figg. 1-3). Gli spazi miscelati possono essere suddivisi in quattro grandi categorie: realtà fisica, realtà aumentata, tele-presenza e realtà virtuale che, in alcuni casi, possono coesistere. Si può affermare quindi che è possibile effettuare una transizione, bidirezionale e costante, dalla scala fisica (che rappresenta il contenitore) a quella digitale (che invece costituisce il contenuto). Le interazioni tra cose e persone, ma ugualmente quelle esistenti con gli ambienti stessi, nascono da azioni che generano esperienze formative; di conseguenza, la somma delle interazioni delinea una dimensione pratica che permette il passaggio a una scala conoscitiva, la quale, a sua volta, è in grado nuovamente di stimolare la pratica.

Il feedback percettivo che ci viene restituito da ciò che compiamo in un ambiente è indissolubilmente legato ai cinque sensi di cui siamo dotati: la multisensibilità diventa qui evidente nella generazione di interpretazioni a partire dalla dimensione sensoriale. Si caratterizza quindi come elemento fondamentale la strutturazione di un modello, pro-attivo e innovativo, fruibile in un contesto di ricerca, sia di base che applicata, e di business, in grado di gestire saperi verticali, immersi e operanti all'interno di una rete di conoscenza interdisciplinare e condivisa.

Il Laboratorio EDME (Environmental Design Multisensory Experience), istituito all'interno dell'Ateneo del Politecnico di Milano, è il primo risultato di un percorso d'integrazione multidisciplinare che sintetizza, in un'ottica sistemica, le relazioni multisensibili che concorrono a delinearne l'identità complessa di strumenti d'indagine, d'interpretazione e di rappresentazione di scenari esperienziali. Il paper metterà in evidenza come la ricerca possa portare all'ideazione di nuove metodologie applicative e alla concettualizzazione e realizzazione di applicazioni oltre lo stato dell'arte; i risultati raggiungibili rispondono alle esigenze, sempre più emergenti, di nuovi sistemi di rilevazione e di simulazione degli aspetti percepibili, di nuovi materiali e di nuovi sistemi di interazione ambientale.

**Dalla scala fisica alla dimensione digitale** | La prima delle relazioni multisensibili su cui è stata fondata la progettazione del Laboratorio EDME, e che ne definisce la dimensione ambientale, è quella che intercorre tra lo spazio fisico e quello digitale. La realtà mista<sup>1</sup> può esistere in diverse forme, come affermano Milgram e Kishino (1994), da spazi fisici aumentati digitalmente a spazi digitali aumentati fisicamente. Benford et alii (1998, 2009) hanno teorizzato gli 'spazi promiscui', come unione della dimensione fisica e digitale. Gli spazi miscelati (Fig. 4) sono ambienti di realtà mista, all'interno dei quali intercorre una relazione attentamente progettata tra il mondo reale e quello digitale, generata da alcuni dei contenuti o dall'accesso ad essi (Benyon, 2012). Lo spazio fisico può es-

sere definito come l'insieme di oggetti che lo abitano, le relazioni topografiche che intercorrono tra essi, le persone che agiscono all'interno dello spazio. Lo spazio digitale può essere descritto per mezzo della sua ontologia e topologia, degli agenti in esso e dell'abilità di mutazione dello stesso (Benyon, Mival and Ayan, 2012).

Sviluppando concetti precedenti (Lakoff and Johnson, 1999), Fauconnier e Turner (2002) affermano che la cognizione possa essere intesa come spazio mentale e definiscono il proprio concetto di 'spazio miscelato', determinando l'esistenza di quattro domini, le cui interrelazioni generano un nuovo ambiente che riceve parte della struttura dei domini, ma ne sviluppa una peculiare, con logiche emergenti. In relazione a questi ambienti, il ruolo del designer è quello di progettare valide esperienze, sfruttando in maniera intuitiva e naturale le caratteristiche degli spazi, da concepire come luoghi in grado di creare significato (Benyon, Mival and Ayan, 2012). I progettisti devono comprendere le opportunità che essi creano, tradurre in modo proficuo la loro miscela e capirne l'origine e le caratteristiche.

Un rapporto fondamentale, che è stato alla base della progettazione del Laboratorio EDME, nell'interazione tra spazio fisico e digitale, è l'abilità di quest'ultimo di restituire 'fotografie' dello spazio fisico, degli oggetti e delle persone presenti al suo interno, oltre che a rendere fruibili diverse tipologie di contenuti, digitalizzandoli e inserendoli in uno spazio miscelato. In questo senso, diventa vitale il coinvolgimento di figure provenienti dall'area dell'Ingegneria Elettronica e Informatica, al fine di realizzare sistemi integrati di tecnologie e di mettere in comunicazione, tramite la scrittura di software dedicati, i diversi device e strumenti che concorrono a delineare l'ecosistema tecnologico necessario. Nel caso specifico del Laboratorio EDME, la connessione con il settore dell'Ingegneria Elettronica ed Informatica ha consentito la realizzazione di un'interfaccia digitale capace di controllare e gestire le attività svolte all'interno degli spazi, attraverso l'attivazione di specifici device (videoproiettori, sensori ed attuatori).

**Dalla scala pratica alla conoscenza** | Il secondo vettore che si vuole prendere in analisi è quello che congiunge la pratica con la conoscenza. In diversi settori la pratica del 'learning by doing' è una delle metodologie più utilizzate per formare i professionisti, per impartire una certa tipologia didattica e affrontare determinati percorsi di ricerca. In questo caso, il discente vive un'esperienza diretta che può essere definita come contatto sensoriale con i risultati delle azioni (Reese, 2011). Diversi autori hanno evidenziato il maggiore potenziale dell'apprendimento attivo nei confronti di quello passivo; la lettura di settore nota questo fenomeno a partire dalla fine degli anni '60: Edgar Dale (1969), basandosi sugli studi e l'esperienza di John Dewey<sup>2</sup>, elabora la teoria del 'cono dell'apprendimento' (Fig. 5), che mette in luce come il coinvolgimento attivo contribuisca a ricordare con profitto un'elevata percentuale di quanto abbiamo detto o scritto (70%) e di quanto abbiamo deciso e fatto (90%). Alcuni autori

(Baukal, Ausburn and Ausburn, 2013) hanno sviluppato una propria interpretazione del cono dell'apprendimento di Dale, focalizzandosi sui media corrispondenti alle diverse forme di apprendimento (dall'Astrazione, dall'Osservazione, dal Fare), ed evidenziato come la realtà virtuale – e aggiungiamo, aumentata e mista – sia il mezzo migliore per applicare la metodologia presentata (Fig. 6).

Gli spazi di EDME permettono di mettere in pratica con profitto la metodologia del 'learning by doing' e, grazie alle implementazioni tecnologiche al proprio interno, di attivare e abilitare pratiche di allenamento e didattica innovative che consentono l'accesso a percorsi di formazione altrimenti difficilmente riproducibili, se non con l'impiego di importanti mezzi. In questo caso è risultata vitale l'integrazione di saperi provenienti dall'Ingegneria Meccanica, per la definizione dei requisiti che gli ambienti devono presentare e per la progettazione degli strumenti e gli oggetti fisici necessari (sensori e attuatori) a raggiungere tali obiettivi. Un esempio è dato dalla possibilità d'interagire direttamente con le pareti della stanza tramite il tatto, ottenuta integrando sistemi di rilevazione di movimento e sensori a infrarossi. Grazie alle conoscenze provenienti dalla Ingegneria Meccanica è stato possibile attivare processi conoscitivi ed esperienziali a partire dalla dimensione pratica del fare.

**Dalla percezione attraverso i sensi all'interpretazione** | I cinque sensi sono il primo mezzo in nostro possesso, in grado di fornire un'interpretazione della realtà. Dato l'obiettivo del Laboratorio EDME, la multisensibilità è stata presa in considerazione come caratteristica fondamentale per il sistema. Per ambiente multisensoriale s'intende uno spazio o una stanza dove la stimolazione sensoriale può essere controllata, intensificata o ridotta, e concentrata su uno o più sensi. I recenti avanzamenti nel settore di sistemi interattivi e dei device sensoriali aprono a innovative possibilità nell'ambito della user experience<sup>3</sup>. Spazi che consentono una stimolazione multisensoriale risultano essere più efficaci di protocolli mono-sensoriali (Fig. 7), perché in grado di approssimare meglio il setting naturale e, quindi, produrre una metodologia di apprendimento più rapida.

In generale, i meccanismi percettivi e cognitivi si sono evoluti e ottimizzati per processare segnali multi-sensoriali e, conseguentemente, la loro comprensione e memorizzazione sono state inevitabilmente favorite da ambienti in grado di coinvolgere la nostra sensorialità (Shams and Seitz, 2008). Secondo Bagnara (Norman, 2004), il design deve confrontarsi con la soggettività dell'esperienza e con il modo in cui i singoli individui fanno esperienza delle cose. In EDME, oltre alla componente visiva e uditiva, è possibile ricevere stimolazioni sensoriali nel campo del tatto e dell'olfatto. Ancora una volta, sono risultati fondamentali i contributi dalle aree dell'Ingegneria Meccanica per la progettazione e l'integrazione di sistemi aptici, e dell'Ingegneria Chimica e dei Materiali nella realizzazione di superfici e texture esplorabili, e di riproduzione di determinati stimoli chimici legati al senso dell'olfatto.

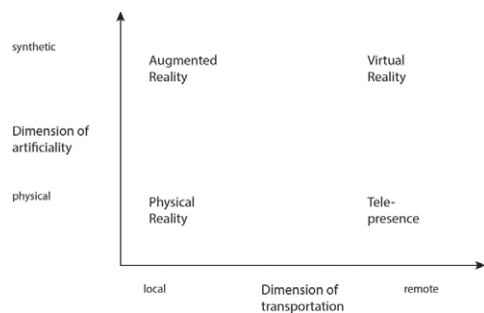


Fig. 1 | Broad classification of shared spaces according to transportation and artificiality (credit: S. Benford, 1998).

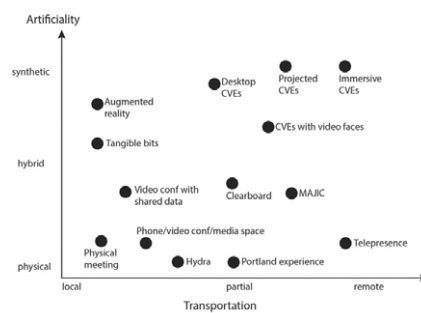


Fig. 2 | Detailed classification of shared spaces according to the dimensions of transportation and artificiality (credit: S. Benford, 1998).

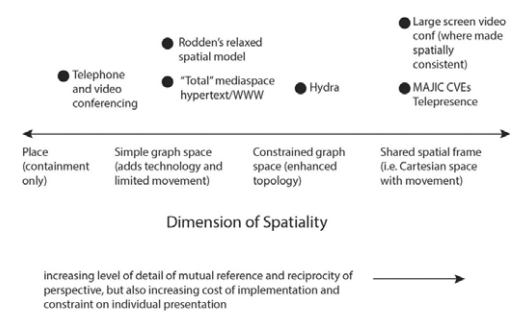


Fig. 3 | Classification of shared spaces according to the dimension of spatiality (credit: S. Benford, 1998).

**Stato dell'arte** | Il concetto di spazio multisensoriale viene teorizzato da diversi decenni, ma è solo dal 1992 che ha visto nascere applicazioni in diversi settori. Cruz-Neira et alii (1992) hanno presentato presso l'Università di Chicago il primo Cave Automatic Virtual Environment (CAVE), un sistema che consente di proiettare immagini su un massimo di sei pareti: con il supporto di un audio surround, il sistema genera uno spazio immersivo, dove gli utenti interagiscono con la realtà virtuale attraverso dei controller e senza ricorrere all'impiego di visori (Fig. 8). Di seguito verranno presentati alcuni Centri altamente innovativi che operano e ricercano nel campo degli ambienti multi-sensoriali.

Il Multisensory Experience Lab dell'Università Aalborg in Danimarca (Fig. 9) si occupa di ricerca nel campo della realtà virtuale, della realtà aumentata e dell'esperienza multisensoriale. La ricerca condotta in questi spazi si focalizza su tre grandi aree tematiche: miglioramento e innovazione delle tecnologie immersive esistenti; applicazione di specifiche tecnologie per permettere il potenziamento sensoriale; esplorazione di nuove forme di espressione artistica e preservazione del patrimonio culturale mediante tecnologie immersive. Altre aree di interesse sono legate al settore dell'educazione e della sanità. Il Laboratorio si dota, tra le diverse tecnologie, di visori per la realtà virtuale e aumentata: ciò rappresenta un elemento di discontinuità rispetto al Laboratorio EDME, dove viene prediletta una forma d'immersione meno invasiva, raggiunta tramite un'alta quantità di stimoli multisensoriali, per la complessità delle azioni effettuate e per il numero elevato di persone che possono interagire all'interno degli spazi.

Un altro esempio di Laboratorio di ricerca multisensoriale è PERCRO (Fig. 10), istituito presso il TeCIP dell'Università Sant'Anna di Pisa, che si occupa di concepire e sviluppare soluzioni per forme d'interazione avanzata, al fine di favorire la comunicazione tra l'essere umano e gli ambienti simulati, focalizzandosi principalmente sulle tecnologie della realtà virtuale e della tele-robotica. La ricerca svolta all'interno del Laboratorio è incentrata sulla realizzazione di sistemi di automazione intelligenti, lo sviluppo d'interfacce uomo-macchina e di sistemi di visualizzazione dei contenuti. Il Laboratorio si sviluppa come un sistema CAVE. I campi di applicazione di maggiore importanza per il Laboratorio sono relativi al mondo industriale, e in

particolare all'erogazione di training e addestramento, all'area della teleconferenza immersiva e allo sviluppo di tecniche interattive e non invasive per acquisire immagini di opere d'arte e per fruire di questo tipo di contenuti.

Rispetto alla ricerca sull'interazione tra uomo e macchina, il Laboratorio sviluppa soluzioni relative all'area della stimolazione aptica, della robotica e degli esoscheletri, dei biosegnali e della disabilità visiva. Infine, le attività svolte in ambito di automazione dei sistemi si appoggiano su tre linee principali: sistemi per il trasferimento e il monitoraggio delle abilità umane, sistemi intelligenti per la navigazione semi-autonoma e sistemi per il controllo degli impianti industriali. Il Laboratorio PERCRO presenta diverse affinità con il Laboratorio EDME, sia per l'architettura del sistema abilitante che per le aree di ricerca investigate. Di seguito verranno presi in considerazione due progetti realizzati in collaborazione tra alcuni componenti del team di ricerca del Laboratorio EDME e altri Enti di ricerca universitaria, che mettono in evidenza l'efficacia di un approccio metodologico progettuale multidisciplinare e le possibilità di progettazione offerte da ambienti multisensoriali, immersivi e miscelati.

**Magika** | Il primo progetto presentato è Magika (Gelsomini et alii, 2019), realizzato all'interno del progetto LuDoMI, che coinvolge quattro Dipartimenti del Politecnico di Milano – Elettronica, Informazione e Bioingegneria; Meccanica; Design; Chimica, Materiali e Ingegneria Chimica – cofinanziato dal Comune di Cornareno e supportato da Poli Social Award 2017 (Fig. 11). Il progetto si basa sui principi d'interpretazione della cognizione dei soggetti che presentano uno spettro di autismo e dei processi d'integrazione sensoriale, necessari a creare stimoli adatti a questi particolari soggetti. La ricerca è stata condotta a partire dalle stanze multisensoriali chiamate 'Snoezelen', già presenti in diversi Istituti scolastici sul territorio italiano, con l'obiettivo di superarne i limiti tra cui la scarsa integrazione tra i diversi device e gli strumenti abilitanti, e l'impossibilità di controllare lo spazio digitalmente e di personalizzare gli stimoli in base alle necessità, fattori che producono esperienze ripetitive e poco adatte a gruppi numerosi di persone. La ricerca condotta dal Dipartimento di Ingegneria Elettronica ed Informatica, si è quindi focalizzata sull'individuazione di tecnologie digitali che potessero

superare queste limitazioni, rendendo l'ambiente responsivo e intelligente. Una volta individuate, si è proceduto con la realizzazione di un software che potesse effettivamente metterle in comunicazione e che offrisse agli insegnanti la possibilità di interazione con la stanza.

La ricerca effettuata dai Dipartimenti di Ingegneria Meccanica e di Ingegneria Chimica e dei Materiali è stata condotta al fine di individuare quelle strumentazioni e device che potessero attivare fisicamente la stimolazione sensoriale: è stato così progettato un sistema integrato di oggetti e attuatori, in grado di coinvolgere i sensi della vista, dell'udito, del tatto e dell'olfatto. Parallelamente a questi studi, il Dipartimento di Design si è occupato della progettazione fisica dell'allestimento spaziale e dell'esperienza dell'utente, realizzando le interfacce front end per il software disegnato. Un altro ruolo fondamentale che il Dipartimento di Design ha avuto è stato quello di condurre delle sedute di co-progettazione, riguardanti gli aspetti focali del progetto, a cui hanno partecipato i vari Dipartimenti e gli utenti finali: le sessioni hanno preso in considerazione le tipologie di stimolazione, i contenuti digitali e le attività praticabili all'interno della stanza. Il risultato della ricerca e delle prime sperimentazioni ha dato vita a Magika, un ambiente multisensoriale interattivo che abilita nuove forme di apprendimento ludico per bambini, e nello specifico quelli con bisogni educativi che presentano uno spettro di autismo.

Magika si configura come un CAVE e presenta al suo interno un sistema di tecnologie complesso che prevede: proiettori a parete; un sistema audio Dolby 5.1; una pavimentazione con texture particolari per stimolare il senso del tatto; una macchina per le bolle e una per la generazione di odori; un sistema di illuminazione portatile; un sensore Kinect per il movimento. Le attività praticabili al suo interno sono sette: giochi di associazione, per la memoria e la classificazione, una riproduzione del gioco battaglia navale, un guardarooba virtuale, un'attività di spesa alimentare e giochi immersivi. Gli obiettivi che il progetto vuole raggiungere sono: l'ottenimento di una sensazione di rilassamento e confidenza nei bambini; il miglioramento dell'abilità di ogni utente nel percepire e processare correttamente gli stimoli sensoriali percepiti; l'applicazione della metodologia del 'learning by doing', integrando scenari di apprendimento multimodali e stimoli soggettivi, provenienti

da diverse fonti; la stimolazione di un processo di inclusione contraria, nel quale siano i bambini con bisogni educativi particolari a includere gli alunni normodotati all'interno del processo di apprendimento e didattica.

Diverse sono le innovazioni apportate dal progetto allo stato dell'arte del settore di riferimento; tra le più importanti sono da segnalare la commistione tra multisensorialità e multimodalità, la possibilità di personalizzazione della configurazione spaziale, un approccio human centred e inclusivo, la capacità di ricreare scenari altamente immersivi, l'automazione e l'adattività. Il punto di forza del progetto è la smartificazione dell'ambiente che consente di progettare ed effettuare attività ad hoc per ogni utente e per suoi bisogni particolari. Ad oggi, Magika è stata installata all'interno di due Scuole elementari, presso il Comune di Cornaredo in provincia di Milano, coinvolgendo nelle sue attività circa 800 bambini e 60 insegnanti: i risultati ottenuti confermano una maggiore propensione all'apprendimento e al mantenimento delle nozioni sia nei bambini normodotati, che in quelli affetti da autismo. Ulteriori test e sperimentazione sono attualmente in atto.

**SIMLAB** | Frutto della collaborazione tra il Laboratorio EDME e il Centro Interdipartimentale UPO SIMNOVA (Fig. 12), SIMLAB (del quale si è conclusa una prima fase di analisi ricerca e concettualizzazione) prevede la realizzazione di uno spazio multisensoriale e immersivo per il training simulato di team di medici e professionisti del settore sanitario (Bisson, Ianniello and Palmieri, 2019). Al momento in cui è stata avviata la ricerca, il Centro SIMNOVA era già dotato di spazi – con finalità di training – che riproducevano gli ambienti delle sale operatorie o contesti di maxi-emergenza da svolgersi in spazi esterni. L'obiettivo della ricerca è la generazione di un sistema di linee guida per un modello di addestramento simulato che si basi sui principi dell'ergonomia, sull'utilizzo di tecnologia e strumentazioni innovative, sullo studio dei flussi, della prossemica e della comunicazione sensoriale.

La prima fase di ricerca, durata all'incirca due mesi, ha previsto la visita del team di designer presso gli spazi operativi del Centro SIMNOVA, in occasione di sessioni di training curriculari e dell'evento SIMCUP, una competizione annuale che riunisce diversi team di discenti e li vede occupati in attività di simulazione. Durante le visite è stato quindi possibile assistere e comprendere come il Centro gestisca le suddette, quali siano gli obiettivi previsti, quale debba essere l'esperienza dell'utente e quali le strumentazioni necessarie per permettere una pratica efficace. Oltre a operazioni di shadowing, durante questa fase sono state effettuate diverse interviste ai responsabili del Centro e agli studenti, al fine di capire quali fossero i punti di forza e di debolezza del sistema impiegato, dalle quali si è evinto che le principali necessità risiedessero nell'implementazione del grado di realismo della simulazione, nella richiesta di un sistema che potesse simulare contesti di intervento extra-clinici anche in spazi ridotti, e, infine, nella possibilità di ottenere una quantità importante di dati sensibili, in grado di ge-

nerare una normativa di azione e intervento univoca, dato il contesto specifico dei soccorsi.

In seguito è stata condotta una ricerca 'desk' focalizzata principalmente sull'individuazione delle tecnologie e delle strumentazioni più performanti, per soddisfare le necessità evidenziate: grazie alla collaborazione con alcuni componenti del team di ricerca di Magika – in particolar modo ingegneri elettronici e informatici - sono stati selezionati gli hardware più indicati ed efficienti. La ricerca si è quindi poi focalizzata sulla realizzazione di diversi pacchetti capaci di integrare le strumentazioni tecniche e tecnologiche precedentemente descritte, e, gradualmente, di soddisfare tutti i requisiti richiesti per permettere un training efficace e realistico. Per procedere in questa fase si è utilizzato un sistema che mettesse in relazione necessità, requisiti e complessità del sistema. È fondamentale che il modello di allestimento sia replicabile ed esportabile, in modo da poter attivare altri Centri sul territorio: per questo sono state predilette tecnologie e strumentazioni in commercio e, dove possibile, l'impiego di software open source (Bisson, Ianniello and Palmieri, 2019).

Dopo i primi step di ricerca, SIMNOVA ha convertito una delle proprie stanze in un ambiente CAVE, risultato il più efficace, al fine di poter effettuare al suo interno attività di addestramento che normalmente prevedono l'impiego di numerose persone e mezzi, e la pratica in esterno. Il prossimo obiettivo sarà l'attivazione, presso la sede di Vercelli, di un altro ambiente da mettere in connessione con lo spazio di Novara, al fine di condividere i momenti di training in tempo reale. La ricerca si è conclusa con la teorizzazione di un modello di network – SIMNET – di cui faranno parte i diversi Centri realizzati, basato su una carta di valori e di requisiti tecnici e tecnologici che ognuno di essi dovrà rispettare, per farne parte. Con la realizzazione del suddetto network, sarà possibile mettere in comunicazione i diversi spazi e condividere i dati ottenuti dalle sessioni di training, oltre che le applicazioni digitali, sviluppate ad hoc per la pratica.

**Conclusioni** | Il paper evidenzia le enormi possibilità applicative di ambienti e spazi multisensoriali, immersivi e miscelati, impiegabili in diversi settori, da quelli dell'educazione e dell'erogazione della didattica, a quelli dell'addestramento pratico di skills e professioni, fino ad arrivare alla pratica cognitiva terapeutica e al trasferimento innovativo di eredità culturali. Risulta fondamentale la figura di un progettista orizzontale, multidisciplinare e strategico, che sia in grado d'integrare i differenti saperi e le diverse tecnologie necessarie alla realizzazione di un sistema di simulazione complesso, efficiente, ergonomico e in grado di generare una user experience valida, a partire da stimolazioni sensoriali attentamente progettate. Come affermano Dorst e Cross (2001) i designer devono essere in grado di integrare e tradurre i bisogni generati dalle diverse discipline coinvolte.

Non solo quindi in ambito di ricerca, ma anche nel settore strategico e gestionale, viene riconosciuto un ruolo centrale al design: Manzini (2015) afferma che il design può agire se-

condo due modalità, come attivatore del processo d'innovazione e come facilitatore delle attività necessarie alla progettazione. I due progetti illustrati, che hanno in comune l'impianto tecnologico, sottolineano la versatilità dello strumento della simulazione e degli ambienti immersivi, evidenziando come un rapporto proficuo tra saperi multidisciplinari possa condurre alla realizzazione di output progettuali che soddisfino richieste molto variegata e diversificate.

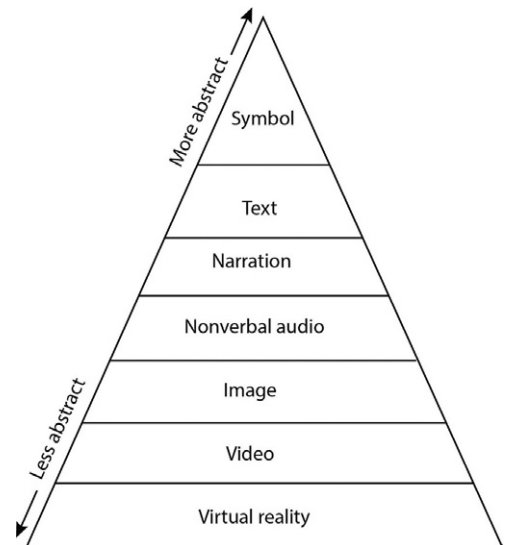
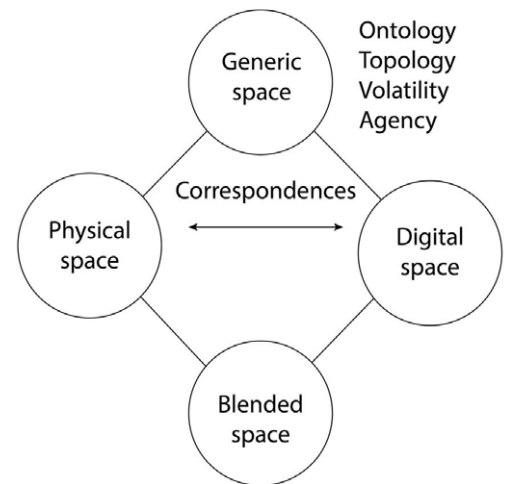


Fig. 4 | Fauconnier and Tuner's blended spaces, 2002 (credit: A. Resmini, 2017).

Fig. 5 | Dale's Cone of Learning, 1969 (credit: M. Harzog, 2017).

Fig. 6 | Baukal and Ausburn's Multimedia Cone off abstraction (credit: C. H. Baukal).



Fig. 7 | Multisensory Environment (credit: Clearbox Strategy, 2018).

Il designer deve essere in grado di considerare e gestire anche gli aspetti invisibili del progetto, che hanno un ruolo fondamentale nella definizione dell'esperienza dell'utente e delle interazioni che esso va a compiere (Dal Palù et alii, 2018). Inoltre, il ruolo del design è quello di generare nuovi contenuti in grado di stimolare lo sviluppo tecnologico e di ampliare le applicazioni nel campo d'interesse. Data l'estrema versatilità del mezzo a disposizione, è possibile progettare esperienze che vadano al di là di pratiche di addestramento, di didattica o di riabilitazione, che coinvolgano, in remoto, più utenti: l'ambito culturale e il settore dell'home entertainment saranno certamente i più favoriti da questa rivoluzione digitale, che permetterà una diversa e innovativa fruizione dei contenuti.

Il modello d'integrazione concettualizzato all'interno degli spazi del Laboratorio EDME è stato organizzato e gestito all'interno dell'area dell'esperienza virtuale interattiva multisensoriale, e coniuga, in uno spazio fisico, tecnologia ICT innovativa, sensoristica e materiali di ultima generazione, per svolgere attività di ricerca e sperimentazione basate su un sistema di simulazione di azioni e interazioni complesse, in grado di generare dati utili a stimolare le previsioni sugli aspetti percettivi e di controllo digitale degli ambienti dove tali attività vengono svolte. Ulteriori azioni di ricerca del Laboratorio riguarderanno, grazie all'integrazione di nuove tecnologie (più accessibili e performanti), l'implementazione del modello teorizzato e applicativo, con l'obiettivo di creare uno spazio di sperimentazione e di ricerca unico nel suo genere, a livello nazionale e internazionale, basato su un sistema integrato di risorse e competenze, in grado d'indagare il rapporto tra dimensione fisica e dimensione digitale.

are defined by the interweaving of spaces, physical and immaterial, and historical, social and technological time, which outline their characteristics and their different morphologies. Taking up previous studies (Benford et alii, 1998), it is interesting to identify the taxonomy of these spaces, based on the principles of artificiality, transport and spatiality (Fig. 1-3); mixed spaces can be divided into four broad categories: physical reality, augmented reality, telepresence and virtual reality that, in some cases, can coexist. It can, therefore, be said that it is possible to make a transition, bidirectional and constant, from the physical scale (which represents the container) to the digital scale (which instead constitutes the content). The interactions between things and people, but also those existing with the environments themselves, arise from actions that generate formative experiences; consequently, the sum of the interactions outlines a practical dimension that allows the transition to a cognitive scale, which, in turn, is able again to stimulate the practice.

The perceptual feedback that is returned to us by what we do in an environment is inextricably linked to the five senses of which we are endowed: the multiscale becomes evident here in the generation of interpretations starting from the sensory dimension. It is therefore characterized, as a fundamental element, the structuring of a model, pro-active and innovative, usable in a context of research, both basic and applied, and business, able to manage vertical knowledge, immersed and operating within an interdisciplinary and shared knowledge network.

The EDME Laboratory (Environmental Design Multisensory Experience), established within the Polytechnic of Milano, is the first result of a multidisciplinary integration path that synthesizes, in a systemic optics, the multiscale relationships that contribute to delineate the complex identity of instruments of investigation, in-

terpretation and representation of experiential scenarios. The paper will highlight how research can lead to the creation of new application methodologies and conceptualization and implementation of applications beyond the state of the art; the achievable results meet the increasingly emerging needs for new systems able to detect and simulate perceptible aspects, new materials and new environmental interaction systems.

#### From the physical scale to the digital dimension

The first of the multi-scale relationships on which the design of the EDME Laboratory was founded, and which defines its environmental dimension, is the one that exists between physical and digital space. Mixed reality<sup>1</sup> can exist in different forms, as Milgram and Kishino (1994) state, from digitally augmented physical spaces to physically augmented digital spaces. Benford et alii (1998, 2009) theorized promiscuous spaces, as a union of physical and digital dimensions. Mixed spaces (Fig. 4) are mixed reality environments, within which there is a carefully designed relationship between the real world and the digital world, generated by some of the contents or access to them (Benyon, 2012). The physical space can be defined as the set of objects that inhabit it, the topographical relations that exist between them, the persons that act within space. The digital space can be described by its ontology and topology, its agents and its mutation ability (Benyon, Mival and Ayan, 2012).

Developing earlier concepts (Lakoff and Johnson, 1999), Fauconnier and Turner (2002) state that cognition can be understood as mental space and define their own concept of mixed space, determining the existence of four domains, whose interrelations generate a new environment that receives part of the structure of the domains, but develops a special one, with emerging logics. In relation to these environments, the role of the designer is to design valid experiences, using in an intuitive and natural way the characteristics of the spaces, to be conceived as places able to create meaning (Benyon, Mival and Ayan, 2012). Designers need to understand the opportunities they create, translate their mixture profitably and understand their origin and characteristics.

A fundamental relationship, which was at the basis of the design of the EDME Laboratory, in the interaction between physical and digital space, is the latter's ability to return 'photographs' of the physical space, objects and people present in it, as well as making different types of content usable, digitizing and inserting them in a mixed space. In this sense, it becomes vital the involvement of figures from the area of Electronic Engineering and Computer Science, in order to create integrated systems of technologies and to put in communication, through the writing of dedicated software, the different devices and tools that contribute to outline the technological ecosystem needed. In the specific case of the EDME Laboratory, the connection with the field of Electronic Engineering and Computer Science has allowed the realization of a digital interface able to control and manage the activities carried out within

the spaces, through the activation of specific devices (projectors, sensors and actuators).

**From a practical scale to knowledge** | The second vector analysed is the one that connects practice with knowledge. In different fields the practice of 'learning by doing' is one of the most used methodologies to train professionals, to impart a certain type of teaching and to face certain research paths. In this case, the learner experiences a direct experience that can be defined as sensory contact with the results of the actions (Reese, 2011). Several authors have highlighted the greater potential of active learning vis-à-vis passive learning; the reading of field notes this phenomenon beginning from the end of the 1960s: Edgar Dale (1969), based on the studies and the experience of John Dewey<sup>2</sup>, elaborates the theory of the cone of the learning (Fig. 5), which highlights how active involvement helps to remember profitably a high percentage of what we said or wrote (70%) and what we decided and did (90%). Some authors (Baukal, Ausburn and Ausburn, 2013) have developed their own interpretation of Dale's learning cone, focusing on the media corresponding to the different forms of learning (from Abstraction, from Observation, from Doing) and highlighted how virtual reality – and we add, augmented and mixed – is the best means to apply the methodology presented (Fig. 6).

The spaces of EDME allow the user to put into practice with profit the methodology of 'learning by doing' and, thanks to the technological implementations within it, to activate and enable innovative training and teaching practices that allow access to training courses otherwise difficult to reproduce, if not with the use of important means. In this case, the integration of knowledge coming from Mechanical Engineering was vital, for the definition of the requirements that the environments must present and for the design of the instruments and the physical objects needed (sensors and actuators) to achieve these objectives. An example is the possibility of interacting directly with the walls of the room through touch, obtained by integrating motion detection systems and infrared sensors. Thanks to the knowledge coming from Mechanical Engineering it was possible to activate cognitive and experiential processes starting from the practical dimension of doing.

**From the perception through the interpretation** | The five senses are the first means in our possession, able to provide an interpretation of reality. Given the objective of the EDME Laboratory, multisensory has been taken into account as a fundamental characteristic for the system. Multisensory environment means a space or room where sensory stimulation can be controlled, intensified or reduced, and concentrated on one or more senses. Recent advances in the field of interactive systems and sensory devices open up innovative possibilities in the field of user experience<sup>3</sup>. Spaces that allow multisensory stimulation are more effective than monosensory protocols (Fig. 7), because they can better approximate the natural setting and, therefore, produce a faster learning methodology.

In general, perceptual and cognitive mechanisms have evolved and optimized to process multisensory signals and, consequently, their understanding and memorization have been inevitably favoured by environments able to involve our senses (Shams and Seitz, 2008). According to Bagnara (Norman, 2004), the design has to deal with the subjectivity of experience and the way individuals experience things. In EDME, in addition to the visual and auditory component, it is possible to receive sensory stimulations in the field of touch and smell. Once again, contributions from the Mechanical Engineering area to the design and integration of haptic systems, and Chemical and Material Engineering to the realization of explorable surfaces and textures, and reproduction of certain chemical stimuli related to the sense of smell, have been fundamental.

**State of the art** | The concept of multisensory space has been theorized for several decades, but it is only since 1992 that applications have been born in different sectors. Cruz-Neira et alii (1992) presented at the University of Chicago the first Cave Automatic Virtual Environment (CAVE), a system that allows the projection of images on up to six walls: with the support of surround sound, the system generates an immersive space, where users interact with virtual reality through controllers and without the use of HMDI (Fig. 8). Following will be presented some highly innovative centres that operate and research in the field of multi-sensory environments.

The Multisensory Experience Lab of the Aalborg University in Denmark (Fig. 9) deals with research in the field of virtual reality, augmented reality and multisensory experience. The research carried out in these spaces focuses on three main thematic areas: improvement and innovation of existing immersive technologies; application of specific technologies to allow sensory enhancement; exploration of new forms of artistic expression and preservation of cultural heritage through immersive technologies. Other areas of interest are related to education and health. Among the different technologies, the Laboratory is equipped with headsets for virtual and augmented reality: this represents an element of discontinuity compared to the EDME Laboratory, where a less invasive form of immersion is preferred, for the complexity of the actions carried out and for the high number of people who can interact within the spaces, reached through a high amount of multisensory stimuli.

Another example of the multisensory research laboratory is PERCRO (Fig. 10), instituted in the TeCIP of the University Sant'Anna of Pisa, that deals with the conceiving and to developing of solutions for forms of advanced interaction, in order to facilitate communication between the human being and simulated environments, focusing mainly on virtual reality technologies and telerobotics. The research carried out within the Laboratory is focused on the creation of intelligent automation systems, the development of human-machine interfaces and systems for displaying content. The Laboratory is developed as a CAVE system. The most im-

portant fields of application for the Laboratory are related to the industrial world, and in particular to the provision of training, of the immersive teleconference and the development of interactive and non-invasive techniques to acquire and enjoy images of works of art.

With respect to the research on the interaction between man and machine, the Laboratory develops solutions related to the area of haptic stimulation, robotics and exoskeletons, bio-signals and visual disability. Finally, the activities carried out in the field of system automation are based on three main lines: systems for the transfer and monitoring of human abilities, intelligent systems for semi-autonomous navigation and systems for the control of industrial plants. The PERCRO Laboratory has different affinities with the EDME Laboratory, both for the enabling system architecture and for the research areas investigated. Two projects carried out in collaboration between some members of the research team of the EDME Laboratory and other university research institutions will be considered below, that highlight

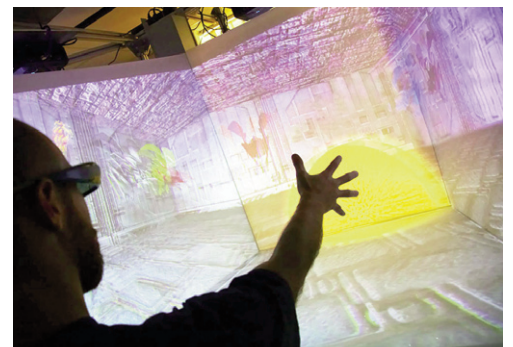
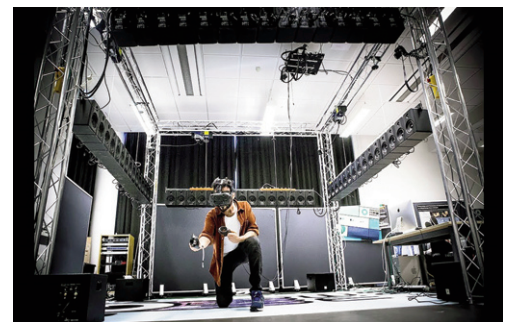


Fig. 8 | CAVE (credit: CC, 2001).

Fig. 9 | Multisensory Experience Lab (source: danish-sound.org, 2019).

Fig. 10 | PERCRO's space (source: www.santannapi-sa.it, 2018).



**Fig. 11** | Magika (credit: M. Gelsomini, 2019).

**Fig. 12** | SIMNOVA's space (source: simnova.uniupo.it/, 2017).

the effectiveness of a multidisciplinary design methodological approach and the design possibilities offered by multisensory, immersive and mixed environments.

**Magika** | The first project presented is Magika (Gelsomini et alii, 2019), realized within the project LuDoMI, which involves four Departments of the Polytechnic of Milan – Electronics, Information and Bioengineering; Mechanics; Design; Chemistry, Materials and Chemical Engineering – co-financed by the Municipality of Cornaredo and supported by Poli Social Award 2017 (Fig. 11). The project is based on the principles of interpretation of the cognition of subjects with a spectrum of autism and sensory integration processes, necessary to create stimuli suitable for these particular subjects. The research has been carried out starting from the multisensory rooms called 'Snoezelen', already present in several schools on the Italian territory, with the aim of exceeding the limits including the poor integration between the different devices and enabling instruments. It is impossible to control the space digitally and to customize the stimuli according to the needs and the factors that produce repetitive experiences which are not suitable for large groups of people. The research conducted by the Department of Electronics and Computer Engineering, therefore, focused on the identification of digital technologies that could overcome these limitations, making the environment responsive and intelligent. Once they were identified, a software was developed that could actually put them in communication and that would offer teachers the possibility of interaction with the room.

The research carried out by the Departments of Mechanical Engineering and Chemical and Material Engineering was conducted in

order to identify those instruments and devices that could physically activate sensory stimulation: an integrated system of objects and actuators has been designed to involve the senses of sight, hearing, touch and smell. Parallel to these studies, the Department of Design has dealt with the physical design of the spatial layout and with the user experience, creating front-end interfaces for the software designed. Another fundamental role that the Design Department had was to conduct co-design sessions, concerning the focal aspects of the project, in which the various Departments and end-users participated: the sessions took into account the types of stimulation, digital content and practicable activities within the room. The result of research and early experimentation gave birth to Magika, an interactive multisensory environment that enables new forms of playful learning for children, and specifically those with educational needs that present a spectrum of autism.

Magika is configured as a CAVE and presents a complex technology system that includes: wall projectors; a Dolby audio system 5.1; a flooring with special textures to stimulate the sense of touch; a bubble machine and one for odour generation; a portable lighting system; a Kinect sensor for motion. The activities that can be practised are seven: association games, memory and classification games, a reproduction of the naval battle game, a virtual wardrobe, a food shopping, and immersive games. The goals that the project wants to obtain are the achievement of a feeling of relaxation and confidence in children; the improvement of the ability of each user to perceive and process correctly perceived sensory stimuli; the application of the methodology of 'learning by doing', integrating multimodal learning scenarios and subjective stimuli, coming from different sources; the stimulation of a process of inclusion, in which children with special educational needs are included in the learning and teaching process.

There are several innovations made by the project to the state of the art of the sector of reference; among the most important are the mixture between multisensory and multimodality, the possibility of customization of the spatial configuration, a human-centred and inclusive approach, the ability to recreate highly immersive scenarios, automation and adaptivity. The point of strength of the project is the smartification of the environment that allows the educators to design and carry out ad hoc activities for each user and for his/her particular needs. To date, Magika has been installed in two elementary schools, at the City of Cornaredo in the province of Milano, involving in its activities about 800 children and 60 teachers: the results obtained confirm a greater propensity to learn and to maintain the notions both in normal children and in those with autism. Further experimentation and testing are currently in place.

**SIMLAB** | SIMLAB (of which the first phase of research and conceptualization analysis has been concluded) is the result of the collaboration between the EDME Laboratory and the Interdepartmental Centre UPO SIMNOVA (Fig.

12), which provides the creation of a multisensory and immersive space for the simulated training of teams of doctors and healthcare professionals (Bisson, Ianniello and Palmieri, 2019). At the time the research was started, the SIMNOVA Centre was already equipped with spaces – with the purpose of training – that reproduced the environments of the operating rooms or for maxi-emergency contexts to be carried out in outdoor spaces. The objective of the research has been the generation of a system of guidelines for a simulated training model based on the principles of ergonomics, the use of innovative technology and instrumentation, the study of flows, proxemics and sensory communication.

The first phase of the research, which lasted approximately two months, included the visit of the team of designers to the operating spaces of the SIMNOVA Centre, on the occasion of curricular training sessions and the SIMCUP event, an annual competition that brings together several teams of learners and sees them engaged in simulation activities. During the visits it was, therefore, possible to assist and understand how the Centre manages the above, what are the objectives envisaged, what must be the user's experience and what instruments are necessary to allow the effective practice. In addition to shadowing operations, during this phase, several interviews were carried out with the Centre's managers and students, in order to understand the strengths and weaknesses of the system used, from which it has been deduced that the main necessities were the implementation of the degree of realism of the simulation, the request for a system that could simulate extra-clinical contexts of intervention even in small spaces, and, finally, the possibility of obtaining an important amount of sensitive data, able to generate a regulation of action and intervention unambiguous, given the specific context of relief.

Subsequently, desk research was carried out, focused mainly on the identification of the most performing technologies and instruments, to meet the needs highlighted: thanks to the collaboration with some members of the research team of Magika – in particular electronic and computer engineers – the most suitable and efficient hardware have been selected. The research then focused on the realization of several packages able to integrate the technical and technological instrumentation described above, and, gradually, to meet all the requirements necessary to allow effective and realistic training. In order to proceed at this stage, a system was used which linked the needs, requirements and complexity of the system. It is essential that the set-up model is replicable and exportable, in order to be able to activate other Centres in the territory: for this reason, technologies and instruments in commerce have been preferred and, where possible, the use of open-source software (Bisson, Ianniello and Palmieri, 2019).

After the first steps of research, SIMNOVA has converted one of its rooms into a CAVE environment, the most effective result, in order to be able to carry out in-house training activities that normally involve the use of numerous

people and means and the practice outside. The next goal will be the activation, at the headquarters in Vercelli, of another environment in connection with the space of Novara, in order to share the training moments in real-time. The research ended with the theorization of a network model – SIMNET – of which the different Centres will be part, based on a map of values and technical and technological requirements that each of them will have to respect, in order to be part of it. With the creation of this network, it will be possible to communicate through the different spaces and share the data obtained from training sessions, as well as digital applications, developed ad hoc for practice.

**Conclusion** | The paper highlights the enormous application possibilities of multisensory immersive and mixed environments and spaces, that can be used in different sectors, from those of education and teaching delivery to those of practical training of skills and professions, up to cognitive therapeutic practice and innovative transfer of cultural heritage. It is fundamental the figure of a horizontal, multidisciplinary and strategic designer, who is able to integrate the different knowledge and technologies necessary for the realization of a complex, efficient, ergonomic and able to gen-

erate a valid user experience, starting from carefully designed sensory stimulations. As Dorst and Cross (2001) state, designers must be able to integrate and translate the needs generated by the different disciplines involved.

Therefore, not only in the research field but also in the strategic and management sector, a central role is recognized to design: Manzini (2015) states that design can act in two ways, as an activator of the innovation process and as a facilitator of the activities necessary to design. The two projects illustrated, which have the technological system in common, underline the versatility of the simulation tool and immersive environments, highlighting how a fruitful relationship between multidisciplinary knowledge can lead to the creation of design outputs that meet very varied and diversified demands.

The designer must also be able to consider and manage the invisible aspects of the project, which play a fundamental role in the definition of the user experience and the interactions that the user performs (Dal Palù et alii, 2018). Moreover, the role of design is to generate new content, capable of stimulating technological development and expanding applications in the field of interest. Given the extreme versatility of the available medium, it is possible to design experiences that go beyond training, teaching or rehabilitation practices, involving,

remotely, more users: the cultural and home entertainment sector will certainly be the most favoured by this digital revolution, which will allow a different and innovative use of content.

The conceptualized integration model within the spaces of the EDME Laboratory has been organized and managed within the area of multisensory interactive virtual experience, and combines, in a physical space, innovative ICT technology, sensors and latest generation materials, to carry out research and experimentation activities based on a system of simulation of complex actions and interactions, able to generate data useful to stimulate predictions on perceptual and digital control aspects of the environments where these activities are carried out. Further research activities of the Laboratory will concern, thanks to the integration of new technologies (more accessible and performing), the implementation of the theoretical and applicative model, with the aim of creating unique experimentation and research space, at a national and international level, based on an integrated system of resources and competences, able to investigate the relationship between physical and digital dimension.

## Acknowledgements

The contribution, resulting from a common reflection, is to be attributed in equal parts to Authors.

## Notes

1) Mixed Reality means the technology that allows digital elements to be superimposed on physical ones, and to relate them to each other so that they can influence each other in real-time.

2) John Dewey was a US philosopher and educationist. One of the founders of the school of pedagogical activism, which placed the concept of 'learning by doing' and direct experience at the heart of its methodology.

3) The term User Experience refers to all aspects of interactions between user and company, service, physical or digital product.

## References

- Baukal, C. E., Ausburn, F. B. and Ausburn, L. J. (2013), "A proposed multimedia cone of abstraction: updating a classic instructional design theory", in *I-manager's Journal of Educational Technology*, vol. 9, n. 4, pp. 15-24. [Online] Available at: [files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1101723.pdf](https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1101723.pdf) [Accessed 23 March 2020].
- Benford, S., Giannachi, G., Koleva, B. and Rodden, T. (2009), "From interaction to trajectories: designing coherent journeys through user experiences", in *CHI '09 – Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 4-9 April 2009, Boston*, Association for Computing Machinery, New York, pp. 709-718. [Online] Available at: [doi.org/10.1145/1518701.1518812](https://doi.org/10.1145/1518701.1518812) [Accessed 26 March 2020].
- Benford, S. Greenhalgh, G. Reynard, G., Brown, C. and Koleva, B. (1998), "Understanding and Constructing Shared Spaces with Mixed-Reality Boundaries", in *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*,

vol. 5, issue 3, pp. 185-223. [Online] Available at: [doi.org/10.1145/292834.292836](https://doi.org/10.1145/292834.292836) [Accessed 25 March 2020].

Bisson, M., Ianniello, A. and Palmieri, S. (2019), "SimCenter: guidelines to develop a medical simulation center", in De Giovanni, G. and Scalisi, F. (eds), *Pro-Innovation – Process, Production, Product*, pp. 239-252. [Online] Available at: [www.unipapress.it/it/book/pro-innovation\\_198/article/24](http://www.unipapress.it/it/book/pro-innovation_198/article/24) [Accessed 20 March 2020].

Benyon, D. R. (2012), "Presence in Blended Spaces", in *Interacting with Computers*, vol. 24, issue 4, pp. 219-226.

Benyon, D., Mival, O. and Ayan, S. (2012), "Designing blended spaces", in *Proceedings of the 26th BCS Conference on Human Computer Interaction – People & Computers, 12-14 September 2012, Birmingham (UK)*, pp. 398-403. [Online] Available at: [www.scienceopen.com/hosted-document?doi=10.14236/ewic/HCI2012.1](http://www.scienceopen.com/hosted-document?doi=10.14236/ewic/HCI2012.1) [Accessed 20 March 2020].

Cruz-Neira, C., Santin, D. J., DeFanti, T. A., Kenyon, R. V. and Hart, J. C. (1992), "The CAVE: audio visual experience automatic virtual environment", in *Communications of the ACM*, vol. 35, n. 6, pp. 64-72. [Online] Available at: [doi.org/10.1145/129888.129892](https://doi.org/10.1145/129888.129892) [Accessed 24 April 2020].

Dal Palù, D., De Giorgi, C., Lerma, B. and Buiatti, E. (2018), *Frontiers of Sound in Design: A guide for the Development of Product Identity Through Sounds*, Springer.

Dale, E. (1969), *Audiovisual methods in teaching*, Dryden Press, New York.

Dorst, K. and Cross, N. (2001), "Creativity in the design process: co-evolution of problem-solution", in *Design Studies*, vol. 22, issue 5, pp. 425-437. [Online] Available at: [doi.org/10.1016/S0142-694X\(01\)00009-6](https://doi.org/10.1016/S0142-694X(01)00009-6) [Accessed 20 March 2020].

Fauconnier, G. and Turner, M. (2002), *The Way We Think – Conceptual blending and the mind's hidden complexity*, Basic Books, New York.

Gelsomini, M. et alii (2019), "Magika, a Multisenso-

ry Environment for Play, Education and Inclusion", in *CHI EA '19 – Extended Abstracts of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 4-9 Maggio 2019, Glasgow (UK)*, Association for Computing Machinery, New York, pp. 1-6. [Online] Available at: [doi.org/10.1145/3290607.3312753](https://doi.org/10.1145/3290607.3312753) [Accessed 15 March 2020]

Lakoff, G. and Johnson, M. (1999), *Philosophy of the Flesh – The Embodied Mind and its Challenge to Western Thought*, Basic Books, New York.

Manzini, E. (2015), *Design, When Everybody Designs – An Introduction to Design for Social Innovation*, MIT Press, Cambridge.

Martin, R. (2009), *The Design of Business – Why Design Thinking Is the Next Competitive Advantage*, Harvard Business Press, Boston.

Milgram, P. and Kishino, F. (1994), "A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays", in *IEICE Transactions on Information and Systems*, vol. E77-D, n. 12, pp. 1321-1329.

Norman, D. A. (2004), *Emotional Design – Why We Love (or Hate) Everyday Things*, Basic Books, New York.

Reese, H. W. (2011), "The Learning-by-Doing Principles", in *Behavioral Development Bulletin*, vol. 17, issue 1, pp. 1-19. [Online] Available at: [dx.doi.org/10.1037/h0100597](https://dx.doi.org/10.1037/h0100597) [Accessed 25 March 2020].

Shams, L. and Seitz, A. R. (2008), "Benefits of Multisensory Learning", in *Trends Cognitive Science*, vol. 12, issue 11, pp. 411-417. [Online] Available at: [faculty.ucr.edu/~aseitz/pubs/Shams\\_Seitz08.pdf](https://faculty.ucr.edu/~aseitz/pubs/Shams_Seitz08.pdf) [Accessed 1st February 2020].