

# TRAIETTORIE INCLUSIVE

COLLANA DIRETTA DA  
**CATIA GIACONI, PIER GIUSEPPE ROSSI,  
SIMONE APARECIDA CAPELLINI**

La collana “Traiettorie Inclusive” vuole dare voce alle diverse proposte di ricerca che si articolano intorno ai paradigmi dell’inclusione e della personalizzazione, per approfondire i temi relativi alle disabilità, ai Bisogni Educativi Speciali, alle forme di disagio e di devianza. Si ritiene, infatti, che inclusione e personalizzazione reifichino una prospettiva efficace per affrontare la complessa situazione socio-culturale attuale, garantendo un dialogo tra le diversità.

I contesti in cui tale tematica è declinata sono quelli della scuola, dell’università e del mondo del lavoro. Contemporaneamente sono esplorati i vari domini della qualità della vita prendendo in esame anche le problematiche connesse con la vita familiare, con le dinamiche affettive e con il tempo libero. Una particolare attenzione inoltre sarà rivolta alle comunità educative e alle esperienze che stanno tracciando nuove piste nell’ottica dell’inclusione sociale e della qualità della vita.

La collana presenta due tipologie di testi. Gli “*Approfondimenti*” permetteranno di mettere a fuoco i nodi concettuali oggi al centro del dibattito della comunità scientifica sia nazionale, sia internazionale.

I “*Quaderni Operativi*”, invece, documenteranno esperienze, progetti e buone prassi e forniranno strumenti di lavoro per professionisti e operatori del settore.

La collana si rivolge a tutti i professionisti che, a diversi livelli, si occupano di processi inclusivi e formativi.

© FrancoAngeli 2023 isbn 9788835148104. Tutti i diritti riservati.



## 9. Il feedback aptico nella pedagogia e didattica speciale: uno studio esplorativo

di *Catia Giaconi, Silvia Ceccacci, Aldo Caldarelli, Noemi Del Bianco, Ilaria D'Angelo e Simone Aparecida Capellini*

### 1. Introduzione

L'esperienza museale sta evolvendo sempre più verso dimensioni e declinazioni immersive che sappiano coinvolgere maggiormente i visitatori, soprattutto attraverso l'uso delle tecnologie di realtà virtuale (Neuerberg, Egger, 2017). La letteratura scientifica di riferimento (Noh, Sunar, Pan, 2009; Carrozzino, Bergamasco, 2010; Rua, Alvito, 2011; McCall, Gray, 2014; Neuerberg, Egger, 2017; He, Wu, Li, 2018; Leopardi *et al.*, 2020; Giaconi *et al.*, 2021a) ha mostrato come l'utilizzo di tali strumenti nel campo del patrimonio culturale abbia un ruolo centrale nell'attrarre un coinvolgimento diretto dei visitatori, nel migliorare la loro esperienza e nell'aumentare il livello di accessibilità degli artefatti culturali e delle opere d'arte. D'altra parte, queste tecnologie potrebbero non rappresentare la soluzione migliore per valorizzare l'esperienza culturale di tutte le persone: potrebbero, infatti, essere una fonte di distrazione, risultare ingombranti o avere scarsa efficacia per visitatori che non sono familiari con la tecnologia (Leopardi, Ceccacci, Mengoni, 2021). In questo senso, tali soluzioni rischiano di divenire ostacoli o barriere per l'accesso di tutti al patrimonio culturale. In questo contesto, l'uso di dispositivi di feedback aptico può aumentare il livello di immersività degli ambienti virtuali e la qualità dell'interazione tra il visitatore e l'oggetto virtuale, introducendo informazioni tattili che arricchiscono l'esplorazione degli oggetti virtuali, nonché il livello di coinvolgimento del visitatore e l'accessibilità del sistema di realtà virtuale (Ceccacci *et al.*, 2021). Di conseguenza, la tecnologia aptica potrebbe anche aumentare il livello di inclusione culturale, poiché il livello di inclusività che le persone con disabilità possono sperimentare è sempre legato al raggiungimento delle occasioni di partecipazione in contesti culturali e sociali (Shogren *et al.*, 2022), migliorando l'esperienza immersiva del visitatore.

## 2. La tecnologia aptica: lo stato dell'arte e della ricerca

Scendendo nel merito della tecnologia aptica, questa permette di simulare il senso del tatto in un ambiente virtuale, restituendo all'utente che la utilizza una forza o una vibrazione che simula una sensazione tattile nel momento in cui entra in contatto con un oggetto virtuale (Butler, Neave, 2008). Spesso, l'oggetto virtuale consiste in una *mesh* poligonale con una texture che può essere manipolata ed esplorata attraverso dei movimenti del braccio aptico con diversi gradi di libertà (DoF) (Bergamasco, Frisoli, Barbagli, 2002). Riguardo l'ambito dei beni culturali, le informazioni tattili (come peso, ruvidezza, ecc.) potrebbero integrare la percezione visiva (Brewster, 2005), come discusso in ulteriori studi (Butler, Neave, 2008; Brogni *et al.*, 1999; Dettori *et al.*, 2003; Reuter *et al.*, 2010). Pertanto, i dispositivi aptici potrebbero potenzialmente incrementare il livello di inclusività nella fruizione degli artefatti culturali e delle opere d'arte, consentendo un maggiore livello di accessibilità e usabilità (Butler, Neave, 2008; Comes, 2016). In effetti, se l'integrazione di informazioni sonore e informazioni visive ha aperto la strada per superare le barriere comunicative verbali (Hamza-Lip, Stanescu, 2010), la tecnologia aptica può fornire un mezzo di *learning by doing*, arricchendo l'ambiente che viene presentato attraverso modalità visive e uditive (Hamza-Lip, Stanescu, 2010).

Nonostante i dispositivi aptici possano costituire un *asset* per la fruizione più estesa del patrimonio culturale (Ceccacci *et al.*, 2021), la letteratura scientifica (Okamura, 2004; Bethea *et al.*, 2004; Immonen, 2008; Okamura, 2009; Panait *et al.*, 2009; Aziz, Mousavi, 2009; Bolopion, Régnier, 2013; Overtoom *et al.*, 2019; El Rassi, El Rassi, 2020) si è concentrata principalmente sullo studio della sua implementazione nell'ambito militare, in quello medico e industriale. Sono ancora pochi gli studi che analizzano il potenziale e l'applicazione dei dispositivi aptici in contesti educativi formali e informali, come musei e spazi culturali (Brewster, 2005; Brogni *et al.*, 1999; Comes, 2016; Bergamasco *et al.*, 2002; Petrelli *et al.*, 2013; Vignoni, 2002; Marto *et al.*, 2022).

Analizzando lo stato dell'arte, solo pochi studi nell'ambito del patrimonio culturale (Ceccacci *et al.*, 2021; Krumpfen *et al.*, 2022; Vi *et al.*, 2017) hanno esplorato l'uso della tecnologia aptica per migliorare l'interazione dei visitatori con i ritrovamenti archeologici e le opere d'arte riprodotte digitalmente. Nessuno studio si è concentrato sullo studio dell'accessibilità e dell'usabilità di tali tecnologie sulle persone con disabilità. Tuttavia, vari ricercatori (Sreeni *et al.*, 2012) sostengono convintamente che tali tecnologie possono portare indiscutibili benefici per le persone con disabilità. Tali convinzioni ad oggi non risultano però confermate da evidenze scientifiche.

Per tali ragioni, al fine di garantire un'esperienza autentica ed inclusiva con l'oggetto digitale, appare necessario considerare il feedback aptico come supporto alla percezione e alla concettualizzazione delle forme. In questa direzione, diviene fondamentale approfondire se il senso del tatto, e quindi l'uso di dispositivi aptici, possa effettivamente portare ad un miglioramento della fruizione degli oggetti esposti.

Come affermato da Asano *et al.* (2005), non è ancora stato realizzato uno studio che analizzi le applicazioni già sviluppate nei musei tattili, dove reale e virtuale coesistono, coinvolgendo i visitatori per testare la loro percezione. Questa mancanza è dovuta anche alla scarsità di applicazioni su larga scala, che di solito non vengono realizzate, in favore, invece, di situazioni più specifiche (Brewster, 2005). A questo proposito, esistono studi e applicazioni che hanno implementato tecnologie di visualizzazione e tecnologie tattili, come il Museo della Forma Pura (Grow *et al.*, 2007; Tecchia *et al.*, 2007) o l'applicazione nel Museo dell'Oro di Bogotà (Figueroa, Pablo *et al.*, 2009). Altri che mirano principalmente ad abbattere la barriera tra il visitatore e l'opera d'arte, come l'applicazione chiamata "The interactive Art Museum" della University of Southern California (Brewster, 2001), o il mouse 2D implementato dall'Università di Glasgow (Brewster, 2005), e infine "the Probos™ Console Touch & Discover Systems" sviluppato dal Manchester Museum (Reichinger, Andreas *et al.*, 2016).

Gli attuali limiti della tecnologia aptica nell'esplorazione delle forme per la fruizione del patrimonio culturale possono riguardare il rischio di perdere il contatto virtuale con l'oggetto nelle aree in cui la sua forma presenta discontinuità nella curvatura della superficie (ad esempio, bordi acuti o piccoli raggi di curvatura). Sembrerebbe ragionevole, dunque, domandarsi in che misura questi limiti influiscono sul livello di accessibilità dell'esperienza nel caso dei visitatori con disabilità, nonché sulla loro indipendenza e autonomia nell'uso dei dispositivi aptici per esplorare gli artefatti.

In questa direzione, il presente studio mira a verificare la facilità di apprendimento, ovvero l'usabilità della tecnologia aptica da parte delle persone con disabilità. A tal fine abbiamo condotto uno studio esplorativo presso il Centro di Ricerca per l'Insegnamento e l'Apprendimento, l'Inclusione, la Disabilità e la Tecnologia Educativa (TIncTec) dell'Università di Macerata, al fine di verificare se l'utilizzo di un dispositivo di feedback tattile possa essere utile nell'interazione con gli oggetti virtuali da parte di persone con disabilità.

### 3. Il protocollo di ricerca esplorativa

Nella ricerca esplorativa condotta sono stati coinvolte in totale 32 persone, tra cui 9 adulti (di cui uno con disabilità fisica), 12 ragazzi (di cui 2 con disabilità intellettiva di grado lieve e 2 con Disturbi Specifici dell'Apprendimento - DSA) e 11 bambini (di cui 1 con disabilità intellettiva di grado lieve e 2 con DSA), a cui è stato chiesto di interagire con il dispositivo aptico per navigare/manipolare gli oggetti virtuali visualizzati su un monitor PC Philips Led 24 "full HD mentre erano seduti ad una scrivania regolabile in altezza per garantire il massimo comfort durante l'interazione. A questo scopo, è stato utilizzato il *Geomagic Touch X* a 6 gradi di libertà con alto feedback di forza di 3D System<sup>1</sup>.

Le applicazioni VR considerate sono state sviluppate in Unity 3D<sup>2</sup>, utilizzando il plugin *Unity Openhaptics* di 3D Systems<sup>3</sup>. Essi consentono agli utenti di interagire con gli oggetti virtuali tramite una sonda virtuale. Una volta che il punto dello stilo entra in contatto con l'oggetto virtuale, il Touch X restituisce la *feedback* di forza all'utente che tiene la "penna" attraverso gli attuatori meccanici del dispositivo, simulando così la "collisione" dello stilo con la superficie dell'oggetto virtuale e la resistenza che il materiale virtuale stesso oppone, basato sul principio azione-reazione. Inoltre, premendo il pulsante situato sul manopolo del dispositivo, è possibile "attaccare" la sonda virtuale all'oggetto virtuale al punto di contatto. In questo modo, è possibile spostare l'oggetto virtuale all'interno della scena virtuale, semplicemente spostando il manopolo lungo i tre assi (x, y, z) o attraverso gli angoli di rollio, beccheggio e imbardata.

Con l'obiettivo di osservare le prestazioni di usabilità nel caso di persone con e senza disabilità, i partecipanti sono stati avvicinati inizialmente ad un breve training per l'interazione con l'oggetto virtuale attraverso il dispositivo aptico. Successivamente è stato loro chiesto di interagire liberamente con vari oggetti virtuali, per prendere dimestichezza nell'utilizzo del dispositivo, quindi, navigare e manipolare l'oggetto.

Al fine di favorire una maggior motivazione all'utilizzo, gli oggetti virtuali che sono stati considerati rappresentano le copie digitali di reperti archeologici ad alta fedeltà di realtà (Fig. 1).

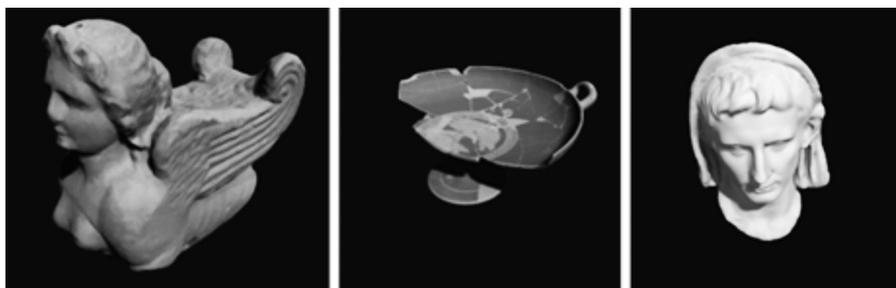
La facilità di apprendimento dello strumento è stata analizzata attraverso una video analisi delle interazioni (VIA) (Jordan, Henderson, 1995) condotta in modo indipendente da tre esperti in interazione uomo-computer, considerando gli elementi quantitativi riportati nella Tab. 1.

1. [www.3dsystems.com](http://www.3dsystems.com).

2. [www.unity.com](http://www.unity.com).

3. [www.assetstore.unity.com](http://www.assetstore.unity.com).

Fig. 1 - Esempi di copie digitali di reperti archeologici



Al fine di determinare l'efficacia e l'efficienza dell'apprendimento, per ciascun partecipante, il valore di ogni metrica è stata determinata considerando la mediana dei valori determinati dai tre esperti che hanno condotto la video-analisi.

Tab. 1 - Criteri quantitativi considerati per la valutazione della facilità di apprendimento

<i>Criteri di valutazione</i>	<i>Metriche</i>
Efficacia apprendimento	Numero di adattamenti della spiegazione % tempo speso nella navigazione in autonomia/ senza supporto Numero di interventi di supporto
Efficienza apprendimento	Tempo complessivo della spiegazione Tempo impiegato per apprendere modalità di navigazione Tempo impiegato per apprendere modalità di manipolazione

Oltre ai dati quantitativi, sono stati valutati aspetti qualitativi dell'interazione tra i ricercatori che hanno condotto l'esperimento e i partecipanti coinvolti, tra cui:

- la comunicazione (il lessico, il tono e il ritmo della voce) e la gestualità durante la spiegazione;
- postura e correttezza della prensione del manipolo di dispositivo touch.

## 4. Dati e discussione dei risultati

L'analisi dei dati quantitativi è stata condotta attraverso il test ANOVA, considerando rispettivamente l'età e la presenza di disabilità quali fattori tra soggetti. In particolare, sono stati considerati tre range di età: bambini dai 10 ai 14 anni, ragazzi dai 14 ai 17 anni, e adulti dai 18 ai 46 anni.

In generale, non sono emerse differenze statisticamente significative tra i tre gruppi per quanto riguarda l'efficienza dell'apprendimento (durata della spiegazione, tempo necessario per prendere dimestichezza con i comandi di navigazione e manipolazione). Invece, per quanto riguarda l'efficacia dell'apprendimento, è emersa una differenza statisticamente significativa per quanto riguarda il numero degli adattamenti della spiegazione,  $F(2, 21) = 3.790$ ,  $p = .039$ .

Il test HSD di Tukey per confronti multipli ha rilevato che il valore medio di adattamenti della spiegazione richiesti dai bambini è diverso da quello richiesto dai ragazzi ( $p = .21$ , 95% C.I. = [0.39, 4.22]) e da quello richiesto dagli adulti ( $p = .30$ , 95% C.I. = [0.23, 3.96]). Infatti, come si può osservare dai dati riportati nella Tab. 2, i bambini e i ragazzi hanno avuto necessità di un maggior numero di adattamenti della spiegazione rispetto agli adulti.

Per quanto riguarda invece il livello di autonomia e la necessità di supporto, non sono emerse differenze significative tra i gruppi.

Dal confronto tra i dati di performance delle partecipanti con e senza disabilità sono emerse differenze statisticamente significative sia in termini di efficacia che di efficienza dell'apprendimento.

Tab. 2 - Confronto tra le performance di bambini, ragazzi e adulti

	<i>Bambini</i>		<i>Ragazzi</i>		<i>Adulti</i>	
	<i>M</i>	<i>DS</i>	<i>M</i>	<i>DS</i>	<i>M</i>	<i>DV</i>
<i>Efficacia di apprendimento</i>						
N. adattamenti	4	1,55	4	2,29	2	1,13
% tempo autonomia	0,51	0,29	0,63	0,21	0,57	0,3
N. richieste supporto	4	1,31	3	1,74	2	1,41
<i>Efficienza di apprendimento</i>						
Tot. tempo spiegazione	226	89,56	164	89,59	186	91,82
Tot. tempo app. navigazione	164	75,59	162	82,77	129	60,99
Tot. tempo app. manipolazione	150	73,07	124	57,53	127	36,36

In particolare, è emersa sono emerse differenze statisticamente significativa per quanto riguarda:

- il numero di adattamenti della spiegazione,  $F(1, 31) = 3.583, p = .038$ ;
- il numero di richieste di supporto,  $F(1, 31) = 8.040, p = .008$ ;
- il tempo impiegato per apprendere la modalità di navigazione,  $F(1, 31) = 4.721, p < 0.038$ ;
- il tempo impiegato per apprendere modalità di manipolazione,  $F(1, 31) = 3.583, p = .033$ .

Infatti, come si può osservare dai dati riportati nella Tab. 3, le persone con disabilità mediamente hanno necessitato di un maggiore adattamento della spiegazione, più interventi di supporto durante la navigazione, ed impiegano mediamente più tempo per apprendere come navigare e manipolare gli oggetti utilizzando il dispositivo aptico.

Invece, non sono emerse differenze statisticamente significative per quanto riguarda la durata complessiva della spiegazione e la percentuale di tempo in cui lo strumento è stato utilizzato in autonomia.

Tab. 3 - Confronto tra le performance dei partecipanti con e senza disabilità

	Persone senza disabilità		Persone con disabilità	
	M	DS	M	DS
<i>Efficacia di apprendimento</i>				
N. adattamenti	3	1,98	5	3,5
% tempo autonomia	0,57	0	0,53	0,17
N. richieste supporto	3	1,6	6	4,95
<i>Efficienza di apprendimento</i>				
Tot. tempo spiegazione	191	90,27	277	235,79
Tot. tempo app. navigazione	153	73,13	243	162,16
Tot. tempo app. manipolazione	127	58,94	192	124,38

Analizzando i dati qualitativi emerge che l'interazione e la comunicazione sono state ben attenzionate dal gruppo di esperti, riscontrando, pertanto, il parere positivo da parte dei partecipanti, che in generale hanno mostrato un forte interesse, ed un coinvolgimento attento e partecipato.

Nel caso dei bambini e delle bambine senza disabilità, il linguaggio utilizzato è risultato semplice e chiaro (Giacconi, Del Bianco, 2019; Shogren *et al.*, 2022), quindi la comunicazione verbale è stata omogenea per tutti gli utenti. La comunicazione paraverbale è stata contraddistinta perlopiù da

un tono colloquiale/amichevole, un ritmo lento e un volume alto per supportare l'attenzione degli utenti più piccoli. Inoltre, nel caso dei bambini la spiegazione è stata adattata in modo da favorire un'interazione ludica con il dispositivo. L'approccio ludico al dispositivo è stato determinante al fine di predisporre un ambiente positivo, che ha permesso di supportare i processi attentivi dei bambini, favorendo il loro coinvolgimento. In questo modo, i bambini hanno imparato senza fare fatica e sono stati attenti a ciò che stavano facendo. Tuttavia hanno necessitato di un supporto maggiore da parte del ricercatore/conducente dell'esperimento, rispetto ai ragazzi e agli adulti.

Nel caso dei ragazzi e delle ragazze e degli adulti il linguaggio utilizzato è risultato più specifico. Inoltre, nel caso dei ragazzi e delle ragazze, per stimolare la motivazione e l'interesse, la spiegazione è stata arricchita mediante una narrazione storica, e riferimenti puntuali alle peculiarità degli oggetti, percepibili attraverso la navigazione con lo strumento aptico (ad esempio i solchi sulle ali della sfinge, i segni lasciati sulla superficie del kylix dalle dita dall'artigiano che lo ha realizzato). Al contrario nel caso degli adulti non è stato necessario tale tipo di supporto poiché gli utenti, dopo un breve approccio con lo strumento, sono stati in grado di interfacciarsi in maniera autonoma con il dispositivo. Perciò la durata della spiegazione è risultata inferiore, così come i tempi di apprendimento delle modalità di interazione e manipolazione sono risultati inferiori rispetto a quelli degli altri gruppi, e la capacità attentiva e il coinvolgimento sono risultati più omogenei.

Nel caso delle persone con disabilità lo scambio verbale e paraverbale è stato caratterizzato da toni colloquiali e da un linguaggio più semplice o più specifico, in base al bisogno della persona. Il gruppo ha mostrato un coinvolgimento attento e partecipativo con commenti appropriati, ad eccezione di due casi in cui il coinvolgimento è stato limitato, i commenti e le risposte incerte: una ragazza e una bambina con disabilità intellettiva lieve.

In riferimento al gruppo di persone con disabilità, i dati mostrano che i tempi di acquisizione delle azioni da compiere, così come la necessità di supporto durante l'interazione, sono stati notevolmente superiori rispetto al gruppo senza disabilità

Ulteriore elemento di analisi è stata la postura e la correttezza della prensione del manipolo del dispositivo touch in riferimento ai tre gruppi di partecipanti: a differenza delle persone senza disabilità che non hanno evidenziato particolari difficoltà di prensione, il gruppo dei bambini e delle bambine con disabilità ha mostrato in tutti i casi una scorretta prensione del manipolo, pur con suggerimenti di posizionamento specifici delle dita e della mano. Il gruppo dei ragazzi e delle ragazze con DSA ha invece mostrato una correttezza di esecuzione della prensione in tutti i casi, mentre

i ragazzi e l'adulto con disabilità non in tutti i casi ha mostrato una corretta posizione delle dita sul manipolo (nello specifico i ragazzi hanno manifestato una difficoltà di prensione e una instabilità della posizione della mano, mentre l'adulto ha manifestato una eccessiva rigidità nella prensione con conseguente affaticamento).

## 5. Conclusioni

La ricerca esplorativa presentata vuole mettere in luce come gli ambienti digitali possano dar vita a forme inedite di interazione, favorendo la partecipazione attiva e una più ampia e diffusa fruizione culturale. L'esperienza museale può, pertanto, aprirsi ad un pubblico sempre più eterogeneo, se è volta a favorire una maggiore accessibilità, grazie all'utilizzo di nuovi linguaggi, inedite modalità interattive, innovative soluzioni personalizzabili (Sandell, 2003; Vi *et al.*, 2017; Vi *et al.*, 2017; Giaconi *et al.*, 2021a; Giaconi *et al.*, 2021b; Bortolotti, Paoletti, 2021; Shogren *et al.*, 2022; Capomagi *et al.*, 2021; Shogren *et al.*, 2022; Ciccolungo *et al.*, 2023).

Sul piano tecnologico, l'inserimento di dispositivi all'interno dei percorsi museali in modo armonico e non invasivo, al fine di evitare la creazione di luoghi di pura spettacolarizzazione o di pura tecnica, pone la necessità di sfruttare le loro potenzialità e creare contenuti di qualità per formulare strategie focalizzate sulle esigenze del pubblico e sulla valorizzazione del patrimonio (Ibem *et al.*, 2017; Giaconi *et al.*, 2021a; Giaconi *et al.*, 2021b). Un museo che decide di utilizzare gli strumenti digitali, per essere credibile, deve comunque essere coerente al presupposto che la tecnologia non può mai rappresentare un fine, ma semplicemente un mezzo per veicolare contenuti e per diffondere cultura con modalità innovative. Pur nella consapevolezza che gli ambienti digitali non potranno mai sostituire la visita reale ad un museo, questi possono contribuire a rendere la fruizione più accessibile, a comunicare ad un più ampio bacino di utenti, contrastando una comunicazione culturale che rimane, in ambito italiano, troppo spesso elitaria. La fruizione fisica del patrimonio, privilegiando approcci mediati dalla tecnologia, non viene perciò sostituita ma veicolata in un modo differente per cogliere le diverse opportunità comunicative di questi nuovi strumenti e per stimolare l'interesse e la curiosità culturale del pubblico (Lisney *et al.*, 2013; Leopardi *et al.*, 2020; Ceccacci *et al.*, 2021). In conclusione, i musei virtuali possono avere un reale impatto in termini di promozione dell'inclusione sociale qualora i presupposti dell'accessibilità, vengano a coniugarsi con le possibili forme di personalizzazione.

## Bibliografia

- Alexiou A., Schippers M.C. (2018), "Digital game elements, user experience and learning: A conceptual framework", *Education and Information Technologies*, 23(6): 2545-2567.
- Alexiou A., Schippers M.C., Oshri I., Angelopoulos S. (2020), "Narrative and aesthetics as antecedents of perceived learning in serious games", *Information Technology & People*, 35(8): 142-161.
- Asano T., Ishibashi Y., Minezawa S., Fujimoto M. (2005), "Surveys of exhibition planners and visitors about a distributed haptic museum", *Proceedings of the 2005 ACM SIGCHI International Conference on Advances in computer entertainment technology*, pp. 246-249.
- Aziz F.A., Mousavi M. (2009), "A Review of Haptic Feedback in Virtual Reality for Manufacturing Industry", *Journal of Mechanical Engineering*, 40(1): 68-71.
- Bergamasco M., Brogni A., Frisoli A., Salvini F., Vignoni M., Anna S.S.S. (2002), "Tactual exploration in cultural heritage", *XIV Round Table Computer-Aided Egyptology, Pisa (IE2002)*.
- Bergamasco M., Frisoli A., Barbagli F. (2002), "Haptics technologies and cultural heritage applications", *Proceedings of Computer Animation 2002 (CA 2002)*, pp. 25-32.
- Bethea B.T., Okamura A.M., Kitagawa M., Fitton T.P., Cattaneo S.M., Gott V.L., Baumgartner W.A., Yuh D.D. (2004), "Application of Haptic Feedback to Robotic Surgery", *Journal of Laparoendoscopic & Advanced Surgical Techniques*, 14(3): 191-195.
- Bolopion A., Régnier S. (2013), "A Review of Haptic Feedback Teleoperation Systems for Micromanipulation and Microassembly", *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 10(3): 496-502.
- Bortolotti E., Paoletti G. (2021), "Disabilità intellettiva e accessibilità culturale. Una proposta per facilitare l'accesso alle informazioni in ambito museale", *Italian Journal of special education for inclusion*, 9(2): 94-104.
- Brewster S. A. (2001), "The Impact of Haptic 'Touching' Technology on Cultural Applications", *Proceedings of EVA 2001*, pp. 1-14.
- Brewster S.A. (2005), *The impact of haptic 'touching' technology on cultural applications*, in Hemsley J., Cappellini V., Stanke G., eds., *Digital Applications for Cultural Heritage Institutions*, Routledge, London.
- Brogni B.A., Avizzano C.A., Evangelista C., Bergamasco, M. (1999), "Technological approach for cultural heritage: augmented reality", *8<sup>th</sup> IEEE International Workshop on Robot and Human Interaction. RO-MAN'99*, pp. 206-212.
- Butler M., Neave P. (2008), "Object appreciation through haptic interaction", *Hello! Where are you in the landscape of educational technology?*, *Proceedings Ascilite Melbourne 2008*, pp. 133-141.
- Capomagi G., Santoro A., D'Angelo I., Del Bianco N., Capellini S.A., Giaconi C. (2021), *L'arte a occhi chiusi. Percezione tattile ed educazione artistica*, in *La formazione dell'insegnante specializzato nella scuola dell'infanzia e*

- primaria. *Esperienze e progetti a confronto*, Edizioni Accademiche Italiane, Baubassin, pp. 132-144.
- Carrozzino M., Bergamasco M. (2010), "Beyond virtual museums: Experiencing immersive virtual reality in real museums", *Journal of Cultural Heritage*, 11(4): 452-458.
- Ceccacci S., Generosi A., Leopardi A., Mengoni M., Mandorli A.F. (2021), "The Role of Haptic Feedback and Gamification in Virtual Museum Systems", *Journal on Computing and Cultural Heritage (JOCCH)*, 14(3): 1-14.
- Ciccolungo B., Zitti M., Gentilozzi C., Crescimbeni M., Del Bianco N., D'Angelo I., Sarchet T., Giaconi C. (2023), *Arte e Inclusione: un connubio possibile, in Didattica Inclusiva nella scuola secondaria di primo e secondo grado. Esperienze e progetti in rete*, Edizioni Accademiche Italiane, Baubassin, pp. 61-79.
- Comes R. (2016), "Haptic devices and tactile experiences in museum exhibitions", *Journal of Ancient History and Archaeology*, 3(4): 60-64.
- Dettori A., Avizzano C. A., Marcheschi S., Angerilli M., Bergamasco M., Loscos C., Guerraz A. (2003), "Art Touch with CREATE haptic interface", *ICAR Proceedings, International Conference on Advanced Robotics*, p. 269.
- El Rassi I., El Rassi J.M. (2020), "A review of haptic feedback in tele-operated robotic surgery", *Journal of Medical Engineering & Technology*, 44(5): 247-254.
- Figuerola P., Coral M., Boulanger P., Borda J., Londoño E., Vega, F., Prieto F., Restrepo, D. (2009), "Multi-modal exploration of small artifacts: an exhibition at the Gold Museum in Bogota", *Proceedings of the 16<sup>th</sup> ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, pp. 67-74.
- Gatti E., Carus G., Bordegoni M., Spence C. (2013), "Can the feel of the haptic interaction modify a user's emotional state?", *2013 World Haptics Conference (WHC)*, pp. 247-252.
- Giaconi C., Ascenzi A., Del Bianco N., D'Angelo I., Capellini S.A. (2021), "Virtual and Augmented Reality for the Cultural Accessibility of People with Autism Spectrum Disorders: A Pilot Study", *The International Journal of the Inclusive Museum*, 14(1): 95-106.
- Giaconi C., Del Bianco N. (2019), *Inclusione 3.0*, FrancoAngeli, Milano.
- Giaconi C., Del Bianco N., D'Angelo I., Halwany S., Aparecida S.A. (2021), "Cultural accessibility of people with Intellectual disabilities: A pilot study in Italy", *JESET*, 7(1): 17-26.
- Grow D.I., Verner L.N., Okamura A.M. (2007), "Educational Haptics", *AAAI Spring Symposium: Semantic Scientific Knowledge Integration*.
- Hamza-Lup F.G., Stanescu I.A. (2010). "The haptic paradigm in education: Challenges and case studies", *The Internet and Higher Education*, 13(1-2): 78-81.
- He Z., Wu, L., Li X.R. (2018), "When art meets tech: the role of augmented reality in enhancing museum experiences and purchase intentions", *Tourism Management*, 68: 127-139.
- Ibem E. O., Oni O.O., Umoren E., Ejiga, J. (2017), "An Appraisal of Universal Design Compliance of Museum Buildings in Southwest Nigeria", *International Journal of Applied Engineering Research*, 12(23): 13731-13741.

- Jamil M.H., Annor P.S., Sharfman J., Parthesius R., Garachon I., Eid M. (2018), "The role of haptics in digital archaeology and heritage recording processes", *2018 IEEE International Symposium on Haptic, Audio and Visual Environments and Games (HAVE)*, pp. 1-6.
- Jordan B., Henderson A. (1995), "Interaction Analysis: Foundations and Practice", *Journal of the Learning Sciences*, 4: 39-103.
- Kruppen S., Klein R., Weinmann M. (2021), "Towards Tangible Cultural Heritage Experiences – Enriching VR-based Object Inspection with Haptic Feedback", *Journal on Computing and Cultural Heritage*, 15(1): 1-17.
- Leopardi A., Ceccacci S., Mengoni M. (2021), "A New Paradigm for the Enjoyment and Exploitation of Cultural Heritage Based on Spatial Augmented Reality: The Case of the Ducal Palace of Urbino", *Proceedings of the ASME 2021 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference 2*, pp. 1-8.
- Leopardi A., Ceccacci S., Mengoni M., Naspetti S., Gambelli D., Ozturk E., Zanoli R. (2020), "X-reality technologies for museums: a comparative evaluation based on presence and visitors experience through user studies", *Journal of Cultural Heritage*, 47: 188-198.
- Lisney E., Bowen J.P., Hearn K., Zedda M. (2013). "Museums and Technology: Being Inclusive Helps Accessibility for All", *The Museum Journal*, 56(3): 353-361.
- Marto A., Gonçalves A., Melo M., Bessa M. (2022), "A survey of multisensory VR and AR applications for cultural heritage", *Computers & Graphics*, 102: 426-440.
- McCall V., Gray C. (2014), "Museums and the 'new museology': theory, practice and organisational change", *Museum Management and Curatorship*, 29(1): 19-35.
- Mengoni M., Leopardi A. (2019), "An exploratory study on the application of reverse engineering in the field of small archaeological artifacts", *Computer-Aided Design and Applications*, 16(6): 1209-1226.
- Neuburger L., Egger R. (2017), "An afternoon at the museum: Through the lens of augmented reality", *Information and communication technologies in tourism. Proceedings of the International Conference in Rome, Italy, January 24-26, 2017*, pp. 241-254.
- Noh Z., Sunar M.S., Pan Z. (2009), "A review on augmented reality for virtual heritage system", *International Conference on Technologies for E-Learning and Digital Entertainment*.
- Okamura A.M. (2004), "Methods for haptic feedback in teleoperated robot-assisted surgery", *Industrial Robot*, 31(6): 499-508.
- Okamura A.M. (2009), "Haptic feedback in robot-assisted minimally invasive surgery", *Current Opinion in Urology*, 19(1): 102-107.
- Overtoom E.M., Horeman T., Jansen F.W., Dankelman, J., Schreuder H.W.R. (2019), "Haptic Feedback, Force Feedback, and Force-Sensing in Simulation Training for Laparoscopy: A Systematic Overview", *Journal of Surgical Education*, 76(1): 242-261.

- Panait L., Akkary E., Bell R.L., Roberts K.E., Dudrick S.J., Duffy A.J. (2009), “The Role of Haptic Feedback in Laparoscopic Simulation Training”, *Journal of Surgical Research*, 156(2): 312-316.
- Petrelli D., Ciolfi L., Van Dijk D., Hornecker E., Not E., Schmidt A. (2013). “Integrating material and digital: a new way for cultural heritage”, *Interactions*, 20(4): 58-63.
- Reichinger A., Svenja Schröder S., Löw C. (2016), “Spaghetti, sink and sarcophagus: design explorations of tactile artworks for visually impaired people”, *Proceedings of the 9<sup>th</sup> Nordic Conference on Human-Computer Interaction*, pp. 1-6.
- Reuter P., Riviere G., Couture N., Mahut S., Espinasse L. (2010), “ArcheoTUI – driving virtual reassemblies with tangible 3D interaction”, *Journal on Computing and Cultural Heritage (JOCCH)*, 3(2): 1-13.
- Rua H., Alvito P. (2011), “Living the past: 3D models, virtual reality and game engines as tools for supporting archaeology and the reconstruction of cultural heritage—the case-study of the Roman villa of Casal de Freiria”, *Journal of Archaeological Science*, 38(12): 3296-3308.
- Sandell R. (2003), *Museums, society, inequality*, Routledge, London.
- Shogren K.A., Caldarelli A., Del Bianco N., D’Angelo I., Giaconi C. (2022), “Co designing inclusive museum itineraries with people with disabilities: A case study from self-determination”, *Education Sciences & Society*, 2: 214-226.
- Sreeni K.G., Priyadarshini K., Praseedha A.K., Chaudhuri S. (2012), *Haptic Rendering of Cultural Heritage Objects at Different Scales*, in Isokoski P., Springare J., eds., *Haptics: Perception, Devices, Mobility, and Communication*, Springer, Berlin.
- Tecchia F., Ruffaldi E., Frisoli A., Bergamasco M., Carrozzino M. (2007), *Multimodal Interaction For The Web*, in Trant J., Bearman D., eds., *Museums and the Web 2007: Proceedings, Toronto: Archives & Museum Informatics*.
- Vi C.T., Ablart D., Gatti E., Velasco C., Obrist M. (2017), “Not just seeing, but also feeling art: Mid-air haptic experiences integrated in a multisensory art exhibition”, *International Journal of Human-Computer Studies*, 108: 1-14.
- Vignoni M. (2002). “Tactual Exploration in Cultural Heritage”, *XIV Round Table Computer-Aided Egyptology*.