



**Università
degli Studi
di Ferrara**

**DOTTORATO DI RICERCA IN
SCIENZE UMANE**

CICLO XXXII

COORDINATORE Prof. Paolo Trovato

*TECNOLOGIA ED ESPERIENZA.
UN APPROCCIO GESTUALE AL PATRIMONIO MUSEALE*
Settore Scientifico Disciplinare L-ANT/01

Dottoranda

Dott.ssa Maria Nicoli

(firma)

Tutore

Prof. Luiz Oosterbeek

(firma)

Anni 2016/2019

INDICE

Abstract	1
Introduzione	5
PARTE PRIMA: CONTESTO TEORICO	8
1. Trasformazioni digitali	9
1.1 La comunicazione museale	10
1.2 Media analogici e media digitali	12
1.3 Media e musei	14
1.4 Allestimenti digitali	15
2. Gesto e processi cognitivi	26
2.1 Comunicazione somatosensoriale	27
2.2 Esperienza e linguaggio	29
2.3 Plasticità delle mappe neurali	29
3. Gesto e tecnologia	32
3.1 Trasformazioni operative	32
3.2 Il trasferimento del gesto	34
3.3 Catene invisibili	34
3.4 Interfacce	36
3.5 Da gesti a bit	37
3.6 Digit-azione	39
3.7 Il corpo postumano	40
3.8 L'archeologia come campo di ricerca della tecnologia	42

PARTE SECONDA: NUOVI CONTESTI DI SPERIMENTAZIONE	47
4. Realtà mista	48
4.1 Molteplici realtà	48
4.2 Ologrammi	49
4.3 Modelli di interazione	49
4.4 Il dispositivo indossabile	51
5. <i>Preistoria Digitale</i>	53
5.1 Impianto concettuale dell'applicazione	55
5.2 Livelli di contenuto	57
CONCLUSIONI	70
BIBLIOGRAFIA	73
SITOGRAFIA	76
RINGRAZIAMENTI	77

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1. Esempio di applicazione dello schema di Jakobson alla comunicazione museale.	11
Figura 2. Videoproiezione immersiva 360°. Foto scattate al Museo delle palafitte di Unteruhldingen, sul Lago di Costanza (Germania).....	17
Figura 3. Esempio di visori per la realtà virtuale con cablaggio. (Foto scattate presso la mostra Rebuild Palmira? Costanza 30.06-17.09 2017).....	19
Figura 4. Tavolo multimediale touch screen installato presso il Museo Archeologico Nazionale di Ferrara nell'ambito del progetto MUSST (2018).	23
Figura 5. Schema della comunicazione somatosensoriale.....	28
Figura 6. La postazione di gioco presso l'Aquincum Museum di Budapest (2016).	39
Figura 7. Workshop dimostrativo di archeologia sperimentale tenutosi presso l'Istituto Terra e Memoria di Maçao (Portogallo, 2019).....	45
Figura 8. Come si esegue l'air tap. È costituito dalla sequenza di due movimenti. (Crediti d'immagine: https://docs.microsoft.com/it-it/windows/mixed-reality/gestures).....	50
Figura 9. Esempio di comando gestuale tap and hold all'interno dell'app <i>Preistoria Digitale</i>	51
Figura 10. Microsoft HoloLens 1st generation. (Crediti d'immagine: https://www.bbc.com/news/technology-35686616).	52
Figura 11. Schema dell'impianto concettuale dell'app <i>Preistoria Digitale</i>	55
Figura 12. I tre ambienti di realtà mista. Da sinistra: Neolitico, Età metalli e Paleolitico, con i relativi contenuti organizzati in livelli di significato.	56
Figura 13. I livelli di contenuto all'interno dell'applicazione.....	57
Figura 14. L'ologramma del Livello 1, rappresentato dalla stratigrafia, che costituisce anche il menù di navigazione tra gli ambienti.....	60
Figura 15. Livello 2. Il modello tridimensionale dell'oggetto con i contenuti virtuali, evocati dall'air tap, che ne descrivono storia e caratteristiche.	62
Figura 16. Un fotogramma dal documento video realizzato per descrivere il la catena operativa alla base della produzione ceramica.....	65
Figura 17. Modello tridimensionale di una cava di minerali contenenti rame, sfruttata per la produzione di oggetti metallici. Rappresenta il Livello 3 all'interno dell'Età dei Metalli. (Crediti del modello: GSXNet)	66
Figura 18. Fotogramma estratto dal filmato realizzato per rappresentare il Livello 4 relativo all'USO. In questo caso si tratta dell'impiego dell'industria litica all'interno dell'ambiente Paleolitico.	68

ABSTRACT

Il tema affrontato dalla ricerca è la relazione tra gesto e apprendimento, mediata dalle tecnologie digitali, nell'ambito dell'esperienza museale.

La ricerca infatti si è mossa nell'ambito delle *Digital Humanities*, cercando di rispondere ad una domanda: *qual è il ruolo delle scienze umane OGGI? E cosa rappresenta OGGI il museo, per una società che sta vivendo la trasformazione digitale e che è sempre più abituata a rapportarsi con una dimensione virtuale della realtà?*

Porsi questa domanda è necessario per cercare di fornire una risposta anche ad altre domande che discendono da questa, ad esempio: *come si potrebbero utilizzare le tecnologie digitali per migliorare la fruizione e la valorizzazione del patrimonio museale?* Domande come questa sono quesiti di ordine pratico e stanno diventando sempre più ricorrenti a causa della "crisi" economica e sociale che alcuni musei stanno attraversando.

Le possibili risposte, tuttavia, non possono non prendere in esame anche le implicazioni TEORICHE che ci sono nella scelta dei mezzi e delle strategie della comunicazione museale.

Se da una parte, infatti, i numeri del turismo culturale sono in continuo aumento (ma solo in determinati siti) dall'altra parte la sostenibilità economica dei musei non è sempre scontata e, a ben pensare, entrambi questi fenomeni si devono alla percezione sociale dell'istituzione museale. È possibile, infatti, che sia in corso una crisi del modello stesso di museo.

Se tante volte, e in alcuni casi ancora oggi, è stata dimenticata la natura sociale e permanente del museo per prenderne in considerazione soltanto il contenuto, la collezione (museo-deposito); oggi, è giusto studiare modalità di fruizione e valorizzazione delle collezioni che tengano presente la definizione di museo che viene proposta dall'ICOM (International Council of Museums).

La ricerca quindi si è mossa in questa direzione e nel farlo ha voluto approfondire la dimensione gestuale dell'apprendimento perché, come spesso è stato ripetuto, la valorizzazione di un bene passa dalla sua comprensione. L'apprendimento si profila quindi l'unico processo in grado di generare una memoria che a sua volta è quella risorsa umana (intangibile) in grado di produrre una volontà di conservazione.

Da ciò si desume facilmente il ruolo chiave della **comunicazione**, e soprattutto di una comunicazione efficace, nel processo di valorizzazione appena descritto. È stata quindi presa in esame la comunicazione museale nelle sue forme e nel suo funzionamento. La schematizzazione risultante, per quanto pertinente, non ci è sembrata, però, sufficiente al fine dell'analisi del problema. Per capire come innescare i processi di apprendimento (e quindi il processo di valorizzazione) è stato preso in esame, quindi, anche un diverso livello di comunicazione, quella dell'uomo con l'ambiente ed in particolare la comunicazione mediata dal gesto e dalla percezione tattile.

La **comunicazione somatosensoriale**, infatti, è quel raffinato sistema di connessioni che ha permesso all'uomo di adattarsi, sopravvivere e creare. In questo sistema integrato tutti i sensi giocano un ruolo fondamentale, non solo per la formulazione di risposte agli stimoli ma anche nel processo di formazione delle memorie.

La comunicazione dell'uomo con l'ambiente utilizza come canale i 5 sensi e diversi tipi di codice: luminoso, chimico, meccanico.

Attualmente la maggior parte delle tecnologie digitali si rivolge e va a stimolare il senso della vista e quello dell'udito. Nel tempo, infatti, il linguaggio della comunicazione è diventato sempre più visivo. Nello sviluppo della mente umana, tuttavia, anche il tatto accompagnato dal gesto, cioè la **percezione aptica**, ha rivestito un'importanza fondamentale, soprattutto nella strutturazione dei concetti di spazio e di tempo. Nei processi di apprendimento, infatti, molte informazioni sono veicolate dall'atto del toccare e del manipolare. Allo stesso tempo il gesto è anche un veicolo di espressione (dal latino EX e PREMERE), quindi di uscita, del sentire umano più profondo, si pensi all'origine delle prime manifestazioni grafiche e al gesto artistico come lo conosciamo oggi.

Le neuroscienze ci dicono che nella specie umana esiste un legame diretto tra la liberazione della mano (raggiunta grazie all'ottenimento della stazione eretta), l'affinamento delle abilità manipolatorie e lo sviluppo del cervello; e il mondo che abbiamo sotto i nostri occhi ci dice che probabilmente proprio la peculiarità delle proprie mani è ciò che ha reso l'uomo **u-mano**. Nessuna altra specie animale, infatti possiede un aggettivo che descriva le profonde modificazioni che è in grado di indurre nell'ambiente che la ospita: l'aggettivo *antropizzato*.

La mano, quindi, ad un tempo ricevente ed emittente di un messaggio, si delinea come strumento di conoscenza, una conoscenza che deriva dall'**esperienza**, ovvero da una **interazione** con l'oggetto dell'indagine.

L'avvento delle tecnologie digitali, che hanno privilegiato, anche a causa di limiti intrinseci alla tecnologia stessa, il senso della vista e dell'udito nell'approccio alle informazioni (e quindi alla conoscenza), ha pregiudicato l'uso di uno strumento molto importante che è quello della percezione aptica. Attualmente però, grazie ai progressi della tecnologia è possibile pensare di recuperare l'elemento gestuale anche all'interno di una dimensione digitale di fruizione delle informazioni.

Se attraverso sequenze di numeri è stato possibile tradurre immagini e suoni in bit, quindi in quantità di informazione digitale, nell'ambito della *gesture recognition* la ricerca tecnologica si è chiesta come si potrebbe utilizzare lo stesso codice per trasportare anche il gesto nel panorama digitale. Nello sviluppo di questo tipo di ricerca uno degli scopi è quello di rendere più naturale ed intuitiva l'**interazione uomo-macchina**.

Una delle direzioni dello sviluppo tecnologico, dunque, è quella di progettare interfacce cosiddette naturali (NUI - *natural user interface*) che rispondano alla gestualità dell'utilizzatore e che non gli richiedano di **imparare** nuove tecniche di controllo e gestione dei contenuti, diverse da quelle a cui è abituato e, per questo, considerate artificiali.

Questo tipo di interfacce introduce alla fruizione di **ambienti di tipo misto**, dove l'utente può replicare la propria gestualità interagendo con contenuti digitali che dialogano con elementi fisici. Questo tipo di fruizione, all'interno del presente lavoro di ricerca, è stata l'oggetto dello studio e della sperimentazione, per tentare di replicare la dimensione esperienziale dell'apprendimento in ambito digitale, mettendone in luce limiti e potenzialità.

L'applicazione di realtà mista *Preistoria Digitale*, sviluppata insieme alle aziende partner del progetto (TryeCo 2.0 s.r.l. e WeAR s.r.l.) ha rappresentato il campo di sperimentazione della ricerca.

Il tema guida è quello dell'evoluzione tecnologica dell'uomo raccontata attraverso il rapporto dell'uomo con l'ambiente e i processi di trasformazione delle materie prime. Si è cercato, in questo modo, di costruire un apparato interattivo che favorisse

nell'utilizzatore la contestualizzazione dei reperti e la comprensione di relazioni di causa ed effetto legate non solo alla produzione ma anche alle modificazioni paesaggistiche ed ambientali.

All'interno di questo progetto il gesto è elemento cardine sia dal punto di vista della metodologia impiegata (per la scelta della realtà mista), sia dal punto di vista dei contenuti, che sono incentrati su catene operative e processi produttivi e fanno ampiamente ricorso ai dati provenienti dalle attività di archeologia sperimentale.

In conclusione, lo studio ha messo in luce l'insostituibilità della percezione aptica e dell'esperienza fisica ma anche la possibilità di arricchimento data dalla ricostruzione virtuale di contesti semantici e ambientali: fornire una rappresentazione visiva di temi complessi può favorire i processi di comprensione e memorizzazione. La realtà mista, in particolare, si profila come una tecnologia digitale non escludente nei confronti dell'ambiente fisico circostante e può contribuire al recupero della dimensione gestuale dell'apprendimento. Non può, tuttavia, sostituire (almeno per ora) il valore della percezione aptica nella costruzione di relazioni di significati. Le osservazioni fatte in questo studio suggeriscono quindi l'importanza di progettare esperienze di fruizione che integrino le due dimensioni, quella fisica e quella virtuale, tenendo conto dei vantaggi che entrambe possono offrire nel migliorare la trasmissione delle conoscenze e la comunicazione museale.

INTRODUZIONE

La dimensione della gestualità è aggregata da sempre sia allo sviluppo tecnologico sia ai processi di apprendimento. Attraverso il gesto (ed il tatto) l'uomo è stato in grado di orientarsi sia nella dimensione tangibile del paesaggio sia in quella intangibile delle emozioni. Ha costruito la sua conoscenza attraverso esperienze tattili su materiali tangibili, generando così una memoria sia muscolare che emotiva che ha rafforzato la sua capacità di apprendimento e di azione, favorendo la creazione di catene operative e lo sviluppo tecnologico.

La storia dell'uomo può essere, in certo modo, ricondotta alla storia della tecnologia. È possibile, infatti, scrivere la storia dell'uomo ripercorrendo la storia della tecnologia, anche se oggi sappiamo che anche altri primati oltre all'uomo sono stati e sono in grado di fabbricare strumenti. Per molto tempo, infatti il genere *homo* veniva distinto per l'innovatività dei suoi tratti biologici e della sua componente tecnologica, che gli aveva consentito di sfruttare la pietra per produrre manufatti e di guadagnarsi, così, la specificazione di *habilis*. Nel 2010, tuttavia, lo studio di McPherron *et al.*¹ ha messo in luce come altre specie, diverse dall'uomo e appartenenti al genere *Australopithecus*, utilizzassero strumenti litici come utensili già un milione di anni prima.² Le osservazioni sul comportamento dei primati contemporanei, poi, hanno messo in luce come la capacità di ricavare ed utilizzare strumenti non fosse una prerogativa solo umana³.

¹ McPherron SP, et al. (2010). Evidence for stone-tool-assisted consumption of animal tissues before 3.39 million years ago at Dikika, Ethiopia. *Nature* 466:857–860.

² Biondi G. e Rickerds, O. (2012). *Umani da sei milioni di anni*. Carocci Editore, Roma.

³ Fragaszy, D.M. e Eshchar, Y. (2017). Tool Use in Nonhuman Primates: Natural History, Ontogenetic Development and Social Supports for Learning. *Evolution of Nervous Systems (Second Edition)* 3, 317-328.

L'uso che il genere umano farà della tecnologia, da homo *habilis* in poi, tuttavia, subirà un'evoluzione unica all'interno del panorama animale, guidata anche dalla concomitante specializzazione della mano.

È possibile affermare, allora, che la storia della tecnologia è fin da subito profondamente legata al delinearsi della dimensione Umana e alla sua definizione.

I primi studiosi definirono l'Uomo come quell'essere che si differenzia dagli altri animali per la capacità di lavorare la materia prima al fine di produrre strumenti.

Oggi sappiamo che la capacità di produrre strumenti accomuna anche altri esseri viventi e che non è questo l'elemento decisivo nella definizione di Uomo. La capacità tecnica, però, è quella che ha consentito all'uomo di modificare profondamente l'ambiente in cui vive e di diventare sempre più indipendente dai vincoli dalla natura.

La capacità tecnica ha permesso agli esseri umani di sviluppare un patrimonio di gesti che, a partire dalla scheggiatura della pietra, è andato sempre più espandendosi per poi contrarsi dopo la prima rivoluzione industriale, fino a subire un netto calo dopo la cosiddetta "rivoluzione digitale".

Oggi, con il diffondersi capillare delle tecnologie digitali ed in particolare di quelle basate su interfacce utente di tipo grafico (GUI), si assiste ad una alienazione gestuale che però è anche mentale, poichè va ad indebolire la capacità di ragionamento causale, ovvero la comprensione delle relazioni causa-effetto e, di conseguenza, anche la capacità di sviluppare nuove soluzioni gestuali, risultando, quindi, in una perdita di creatività.

Quello che si ipotizza è che un indebolimento della capacità critica sia alla base dell'adozione di strategie e comportamenti non sostenibili.

Il lavoro di tesi analizza quindi i casi di impiego delle tecnologie digitali per il patrimonio culturale. Prende in esame il valore cognitivo del gesto e propone una nuova strategia educativa e comunicativa attraverso le tecnologie digitali.

In questo modo lo studio intende proporre un avvicinamento dell'uso delle tecnologie digitali alla valorizzazione della gestualità e della meccanica del corpo umano, così strettamente legata alla costruzione di conoscenza.

PARTE PRIMA
CONTESTO TEORICO

1. TRASFORMAZIONI DIGITALI

Quella che oggi è conosciuta come “rivoluzione digitale”, e che è considerata la terza grande rivoluzione tecnologica, dovrebbe più correttamente essere definita trasformazione⁴. Essa comincia con la transizione a partire da ciò che è analogico, un analogico già profondamente meccanizzato dopo la seconda rivoluzione industriale.

Ciò che la tecnologia digitale ha fatto è stato operare una traduzione: la traduzione dell'informazione in un codice. Il dato digitale infatti è la rappresentazione di un'informazione in forma codificata. Il codice che la tecnologia digitale utilizza per tradurre un'informazione è un codice semplice costituito da due soli elementi. Ciò lo rende estremamente rapido e ne facilita la diffusione. Lo stesso codice permette di rappresentare elementi diversi: immagini, testi, video, modelli tridimensionali. Tutta la variabilità del mondo digitale a cui ci siamo abituati negli ultimi 30 anni, quindi, è riconducibile ad una combinazione di due soli elementi, lo zero e l'uno, poiché il linguaggio digitale si basa in prevalenza sul sistema binario.

Il linguaggio digitale è quello che ha reso possibile la costruzione di realtà potenziali, intangibili, di natura virtuale, ma non di meno effettive e capaci di influenzare la vita quotidiana delle persone e la loro capacità di apprendere e costruire conoscenza.

La prima forma di “conoscenza virtuale”, intesa come conoscenza acquisita al di fuori dell'esperienza, è probabilmente quella legata all'invenzione della stampa a caratteri mobili, avvenuta, in Europa, nel 1455. Prima di allora l'uomo costruiva le proprie conoscenze principalmente tramite esperienze tangibili che coinvolgevano il movimento del suo intero corpo; il dizionario di riferimento era costituito dagli oggetti, frutto e approdo di quella gestualità. La parola scritta e la carta stampata

⁴ Padula, G. (2017). Innovazione o trasformazione? *Industrie 4.0* 1 (4), pag.3

hanno fornito alla conoscenza un supporto di diffusione rapida, rendendola al tempo stesso virtuale e concreta.

La stampa ha rappresentato per molto tempo il primo ed unico mezzo di comunicazione di massa. Tuttavia, con l'avvento della tecnologia digitale, grazie all'eliminazione dei supporti fino ad allora necessari per far viaggiare l'informazione, la rapidità di diffusione e la quantità delle informazioni è enormemente aumentata. Gli effetti sociali, economici, psicologici e cognitivi di questa nuova velocità devono ancora essere del tutto compresi. Certo è che, indotta dall'invenzione della fotografia, di pari passo è andata sviluppandosi una cultura dell'immagine, intesa, almeno per quel che riguarda le sue fasi iniziali, come cultura basata sulla forza comunicativa dell'immagine.

Le radiazioni luminose, che stanno alla base del fenomeno della visione, infatti, sono state le prime, insieme a quelle sonore, ad essere tradotte in bit, l'unità di misura dell'informazione digitale; la cifra, cioè, di quello che può essere definito come un vero e proprio linguaggio. Questa trascrizione ha aperto nuovi scenari creativi facilitando in tanti casi la manipolazione dei dati sonori e figurativi ai fini della creazione di prodotti innovativi di comunicazione multimediale.

1.1 La comunicazione museale

L'introduzione delle tecnologie digitali in ambito museale, ad esempio, ha, in un primo momento, agevolato la creazione e la gestione delle informazioni oggetto della comunicazione museale, senza alterare i modelli di fruizione tradizionali; successivamente, ha favorito la nascita di nuovi modelli di rappresentazione dei contenuti e quindi di nuovi modelli di fruizione.

Applicando all'ambito museale il paradigma del sistema della comunicazione, così come descritto dal linguista Roman Jakobson⁵, è possibile assumere l'oggetto musealizzato come mittente del messaggio e il visitatore, colui che osserva l'oggetto, come ricevente. Il museo contemporaneo, in quest'ottica, può essere considerato il *canale*, il mezzo, che si colloca tra il fruitore e l'oggetto della fruizione e che provvede alla trasmissione del messaggio o, come si legge nella definizione proposta dall'ICOM, alla "comunicazione del patrimonio che conserva"⁶. Per fare ciò il museo si serve, a sua volta, di diversi tipi di *media*. Questi possono essere analogici o digitali, più o meno tangibili, ma sono tutti accomunati da una caratteristica: essi sono al servizio del museo e in quanto *media* non dovrebbero mai sostituirsi ad uno dei soggetti coinvolti nello schema comunicativo discusso sopra. Nel caso dei musei, ad esempio, a prescindere dalla loro natura, i media non dovrebbero mai sostituirsi all'oggetto di cui si vuol parlare (o che si vuol far parlare).

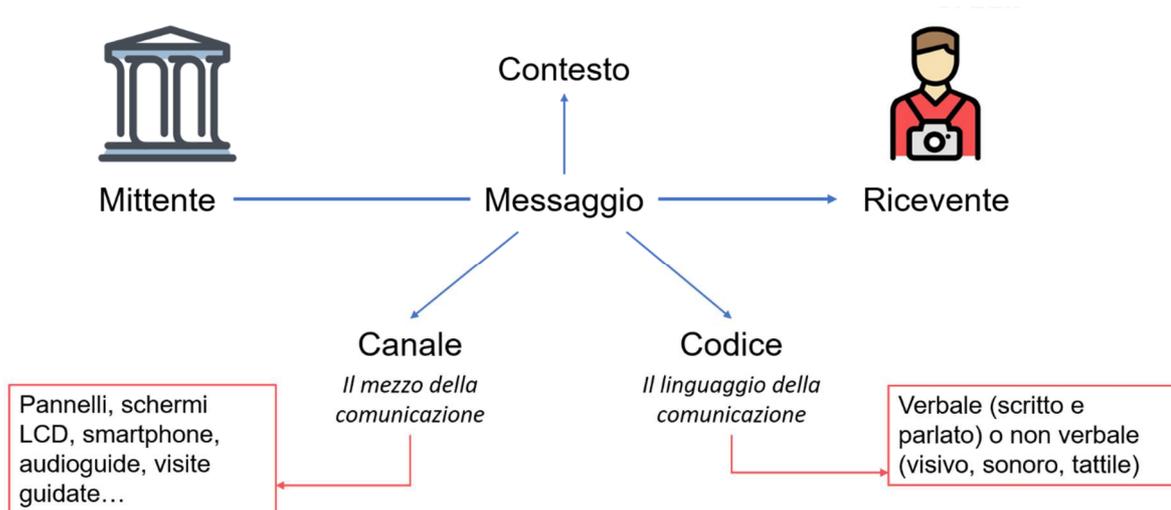


Figura 1. Esempio di applicazione dello schema di Jakobson alla comunicazione museale.

⁵ Jakobson, R., (1960). Linguistics and Poetics. In T. Sebeok, ed., Style in Language, Cambridge, MA: M.I.T. Press, pp. 350-377.

⁶ <http://www.icom-italia.org/definizione-di-museo-di-icom/>

Un altro modo di declinare lo schema di Jakobson sulle funzioni della comunicazione in ambito museale è quello di considerare il museo come mittente (Figura 1); in questo caso il ricevente è rappresentato dal visitatore. Nella stessa ottica, il canale è costituito dai mezzi utilizzati per trasmettere il messaggio: pannellistica, schermi, smartphones, guide turistiche, audioguide; il codice rappresenta, invece, il linguaggio utilizzato, e può essere verbale (scritto e parlato) o non verbale (visivo, sonoro, tattile).

1.2 Media analogici e media digitali

Come accennato, esistono diversi tipi di *media*. Una prima, grande, distinzione può essere fatta tra media analogici e media digitali.

Tra i media analogici frequentemente utilizzati nei musei si annoverano depliant, brochure, cataloghi, pannelli, adesivi prespaziati (per disegni e testi), didascalie, diorami, plastici, indicatori di percorso, oggetti illustrativi e/o copie in scala, illuminotecnica interattiva. Attualmente questi media derivano dall'impiego di tecnologie digitali, come nel caso di plastici e modelli in scala, ottenuti tramite modellazione e stampa 3D; ma anche, più semplicemente, della progettazione grafica dei pannelli e degli adesivi prespaziati. La trasformazione digitale, come osservato, ha permeato fortemente i processi di produzione, anche quelli creativi. Tuttavia, la genesi digitale di questi media non esclude la natura analogica del prodotto finito. I mezzi di comunicazione analogici all'interno dei musei hanno visto un incremento sia in termini di quantità che di qualità grazie all'avvento dei software di photo editing, impaginazione, grafica e stampa digitale. Dalle scarse didascalie, per lungo tempo unico supporto alla fruizione di opere d'arte e reperti, si è passati talvolta anche alla costruzione di vere e proprie scenografie, funzionali alla comunicazione delle opere. Tramite l'uso di adesivi prespaziati progettati

digitalmente, ad esempio, è possibile costruire mappe concettuali e progetti grafici che occupano un'intera parete e sostituirli a basso costo quando si rende necessario un cambio di allestimento o un'integrazione a seguito di nuove scoperte. Questo rende gli allestimenti molto più flessibili anche dal punto di vista delle possibilità comunicative e creative.

Vi sono, poi, i media digitali che fanno uso di supporti quali:

- Audioguide
- Videoproiettori
- Schermi LCD
- Altoparlanti
- Tavoli touch screen
- Smartphone e tablet
- Oggetti interattivi (oggetti il cui uso trasmette un'informazione e genera una reazione)
- Smart glasses (AR)
- Visori (VR)
- Beacom
- RFID/NFC
- Kinect
- QR code
- Illuminotecnica interattiva digitale

1.3 Media e musei

Negli ultimi anni si è assistito ad un largo impiego delle tecnologie digitali all'interno di musei e mostre. In alcuni casi sono state realizzate esposizioni completamente digitali ed itineranti⁷ con l'intento di coinvolgere ed emozionare il visitatore e al tempo stesso di guidarlo nella visita e nella comprensione delle opere attraverso il racconto. Le esposizioni digitali propongono un tipo di fruizione che potremmo definire esperienziale e che utilizza nuove modalità di rappresentazione, dove l'elemento digitale ha un carattere predominante, per coinvolgere il visitatore. In queste esposizioni, infatti, le opere vengono mostrate esclusivamente sotto forma di contenuti digitali debitamente organizzati. Questi ultimi, quindi, smettono di fungere da integrazione di collezioni fisiche storiche preesistenti, e diventano essi stessi i protagonisti della visita. In esposizioni di questo tipo, poi, il ricorso alla tecnologia digitale ha permesso di valorizzare anche ambienti non prettamente museali ma che conservano una valenza culturale e che diversamente non potrebbero essere fruibili (ad esempio chiese sconsacrate o edifici storici non più visitabili). Ciò è possibile grazie alla natura virtuale di molti contenuti e al fatto di poter conservare e trasportare molte informazioni in poco spazio, evitando, in questo modo, i costi legati alla movimentazione e alla gestione delle opere d'arte.

Questa modalità di comunicazione e fruizione caratterizza mostre temporanee che tendono a presentare contenuti tra loro affini: si tratta ad esempio di mostre dedicate ad un unico artista e che presentano un ridotto numero di opere, selezionate, appunto, per la loro omogeneità. Le *Experiences*, dunque, sono progettate sulla base di opere tra loro simili o temi specifici per favorire la creazione di

⁷ <http://www.klimtexperience.com/>; <http://www.monetexperience.it/#>

un'atmosfera coinvolgente per il visitatore e facilitare la comprensione del messaggio che l'esposizione vuole trasmettere.

I musei, che sono istituzioni permanenti, si caratterizzano, tuttavia, proprio per l'eterogeneità delle loro collezioni ed è quest'ultima a dover essere valorizzata, anche tramite il ricorso a strumenti digitali. Le soluzioni che sono state adottate negli anni sono state diverse e la loro diversità è stata favorita da un certo grado di flessibilità che caratterizza il dato digitale.

Nella progettazione di allestimenti digitali, tuttavia, è bene tenere presente che i musei sono luoghi di introduzione e di sviluppo di conoscenze, dove la funzione principale è quella del ragionamento. Lo sforzo interpretativo e il suo superamento sono ciò che permette la creazione di conoscenza. Il museo, infatti, non è e non può essere solo un tempio della bellezza, ma fa parte di un sistema dal forte valore educativo e civile dove è lecito ed opportuno non solo trasmettere informazioni e valorizzarle attraverso la bellezza, ma anche favorire l'insorgere di dubbi e dilemmi.

1.4 Allestimenti digitali

Audiovisivi

Per ambienti che consentono una permanenza limitata del pubblico per motivi di conservazione legati al microclima, come la Cappella degli Scrovegni a Padova e la Cappella Brancacci a Firenze, sono state pensate proiezioni di **filmati** prima dell'ingresso. Questo approccio è molto utile, oltre che per preservare i monumenti, anche per garantire al visitatore una visita di qualità che gli fornisca gli strumenti di contestualizzazione dell'opera nonostante lo scarso tempo di permanenza consentito in loco. La costruzione di questo tipo di filmato deve essere curata nei minimi particolari per garantire una comunicazione rapida ed efficace dei contenuti. È necessario infatti trasmettere al visitatore informazioni che possa facilmente

interiorizzare e portare con sé durante la successiva visita al monumento. Si tratta inoltre di semplificare concetti complessi che consentano al visitatore di leggere l'opera autonomamente e rapidamente e allo stesso tempo in maniera soddisfacente. Si tratta, quindi, di costruire, attraverso il mezzo audiovisivo, una memoria solida nel destinatario, che sarà in questo modo in grado di orientarsi autonomamente e di ricollegare immediatamente i concetti appresi durante la proiezione con quanto osservato durante la visita al monumento vero e proprio. Questo tipo di filmati funziona tramite la generazione di una memoria visiva alla quale l'utente associa alcuni concetti chiave proposti dalla voce narrante e talvolta supportati da testi scritti. In questo caso il ruolo delle immagini è fondamentale perché il visitatore possa crearsi quei punti di riferimento che, una volta giunto al monumento, gli consentiranno di orientarsi velocemente e ricostruire autonomamente quello che il filmato aveva precedentemente comunicato.

Nei musei i filmati vengono anche utilizzati a scopo introduttivo ma senza che la visita sia vincolata alla loro fruizione. In questi casi i filmati fanno parte dell'allestimento e la loro proiezione può essere curata in maniera scenografica. Vengono sempre più spesso dedicate intere sale a questi supporti audiovisivi e i contenuti sono sempre più immersivi e coinvolgenti. In passato venivano allestite sale con posti a sedere per gli spettatori che richiamavano l'idea del cinema e i contenuti multimediali erano proposti tramite schermi LCD assimilabili ad un televisore oppure venivano proiettati su di un vero e proprio schermo cinematografico. Oggi invece la tendenza è quella di rendere la visione sempre più immersiva e coinvolgente, utilizzando delle **videoproiezioni**. La proiezione dei contenuti, per questo motivo, tende ad avvenire a 180° o 360° e sempre più spesso coinvolge l'intera stanza, la cui architettura può essere studiata ad hoc per la successiva proiezione degli elementi grafici, oppure utilizzata per la costruzione

degli stessi, tramite 3D mapping (si veda ad esempio il Museo del Delta Antico a Comacchio, l'Antico Porto di Classe all'interno del Parco Archeologico, il Museo delle palafitte di Unteruhldingen).



Figura 2. Videoproiezione immersiva 360°. Foto scattate al Museo delle palafitte di Unteruhldingen, sul Lago di Costanza (Germania).

Il mezzo audiovisivo digitale è forse quello che conosce la più lunga e diffusa esperienza di utilizzo all'interno dei musei, tuttavia la natura dei suoi contenuti è stata influenzata, nel tempo, da varie evoluzioni tecnologiche. Attualmente è possibile non solo trasmettere sequenze di immagini catturate dalla realtà tramite registrazione, ma anche costruire sequenze i cui contenuti siano completamente virtuali, ovvero di sintesi digitale. Questo consente di creare dei prodotti digitali più o meno fotorealistici, a seconda delle destinazioni d'uso, che possono integrare i dati delle ricerche scientifiche condotte sul patrimonio allo scopo di fornire ricostruzioni storiche di territori, ambienti, personaggi e avvenimenti. Queste creazioni sono possibili tramite la computer grafica (CGI), nelle sue sottocategorie di modellazione tridimensionale digitale e di animazione digitale (si vedano a questo proposito i contenuti realizzati nell'ambito del progetto MUSST, per lo sviluppo di sistemi museali territoriali⁸). Grazie alla computer grafica e alle tecniche di compositing digitale è anche possibile integrare all'interno dello stesso filmato

⁸ https://www.youtube.com/channel/UC2rfhZkr-o-EJM8Ju47jG_A; <http://www.musst-eridano.it/musst/>

elementi reali e virtuali, come scenari, personaggi o effetti speciali. Le tecniche del *chroma key* (intarsio a chiave colore) e del *matte painting* (pittura di sfondi), ad esempio, sfruttano scenografie monocromatiche, comunemente denominate *green screen* o *blue screen*, per creare delle ambientazioni altrimenti non riproducibili (ad esempio città e monumenti antichi) ed integrarle all'interno di filmati con personaggi reali. Questa tecnica può essere di notevole interesse per la realizzazione di filmati a contenuto storico volti a rievocare precisi avvenimenti o contesti.

Realtà virtuale

La possibilità di ricostruire digitalmente ambienti e monumenti ormai cancellati dal tempo è alla base di un altro genere di fruizione, questa volta individuale: quella che avviene attraverso i **visori VR** per la realtà virtuale. Si tratta di dispositivi indossabili (*wearable devices*) sotto forma di occhiali che offrono all'occhio umano una realtà ed una esperienza completamente virtuali. Lo spazio fisico in cui si trova il fruitore e quello virtuale che viene osservato, infatti, una volta indossato il dispositivo, smettono di coincidere. Per questo motivo, nella maggior parte dei casi, l'impiego di questo tipo di realtà presuppone una fruizione statica da parte del visitatore, dove l'unico movimento concessogli, in quanto in grado di determinare effetti nell'ambiente virtuale e nell'esperienza di fruizione, è il movimento del capo.

Gli ambienti virtuali creati per i visori, infatti, sono tridimensionali e costruiti a 360° attorno ad un punto centrale che coincide con la posizione dell'osservatore. Muovendo il capo l'osservatore può guardarsi attorno come farebbe nella realtà giungendo in un nuovo ambiente. Non ha, tuttavia, altra libertà di movimento, per semplici ragioni di equilibrio ed orientamento: con gli occhi coperti dal visore può seguire il movimento dello spazio virtuale ma non può muoversi in quello reale. La staticità di questo tipo di fruizione è dovuta anche al fatto che la creazione di

ambienti virtuali interattivi, nel senso che modificano il panorama a seconda della direzione in cui si sposta il capo dell'osservatore, richiede un'elevata potenza di calcolo per poter fornire un'esperienza veramente immersiva, coinvolgente e verosimile. Questo risultato si ottiene combinando immagini di qualità e tempi di risposta al movimento con l'aggiornamento delle immagini (refresh frame) molto brevi⁹. Tutto ciò richiede un'elevata potenza e quindi il cablaggio del dispositivo ad una workstation.



Figura 3. Esempio di visori per la realtà virtuale con cablaggio. (Foto scattate presso la mostra Rebuild Palmira? Costanza 30.06-17.09 2017).

Per ovviare a questa limitazione e per rendere interattivo l'ambiente virtuale, ai visori sono stati associati dei controller che l'utente utilizza con le mani, come fossero telecomandi. Per rendere l'esperienza ancora più immersiva, sono state messe a punto delle specifiche piattaforme attive che permettono all'utente, debitamente vincolato ad esse, di camminare e addirittura di correre per avere la sensazione di maggiore controllo dei propri movimenti all'interno dell'ambiente virtuale e di

⁹ Negroponete, N., (1995). Essere digitali. [Sperling & Kupfer](#), Milano.

maggior coinvolgimento durante l'azione. Ne è un esempio l'esperienza virtuale lunare proposta da Samsung e NASA e chiamata *A Moon for All Mankind* che dà al visitatore la possibilità di vivere le immagini e le sensazioni di uno sbarco sul satellite più prossimo alla Terra. In questo caso, infatti, la realtà virtuale è associata ad un sistema, utilizzato per l'addestramento degli astronauti, che simula il movimento all'interno di un ambiente a gravità ridotta¹⁰.

Con i visori, quindi, è possibile fruire di contenuti digitali altamente coinvolgenti ed interattivi, ma che escludono la realtà tangibile. L'utilizzo di visori all'interno di un percorso museale, perciò, dovrebbe essere pensato per scopi di inquadramento o per la comunicazione in forma visuale dei risultati delle ricerche scientifiche condotte sulla collezione.

Un esempio di applicazione della realtà virtuale al patrimonio culturale è la ricostruzione, tramite tecniche di modellazione 3D digitale, di contesti storici che attualmente sono del tutto o in parte invisibili come la Domus Aurea a Roma o gli edifici della città di Palmira, in Siria, distrutti dalla furia iconoclasta dei terroristi dell'ISIS. In entrambi i casi la tecnologia digitale ha permesso la valorizzazione e la fruizione di testimonianze del passato tramite la loro ricostruzione virtuale¹¹. Esiste, poi, un tipo di fruizione che può coinvolgere anche i visori VR e che riguarda le immagini **panoramiche a 360°**, realizzate con specifiche fotocamere ed elaborate con software dedicati. Anch'esse possono essere un utile strumento per la rappresentazione e la comunicazione di siti di difficile accesso. Si pensi, a questo proposito, alla documentazione e valorizzazione delle pitture rupestri del riparo roccioso chiamato Balma dei Cervi (Crodo, Piemonte), la cui visione è possibile solo

¹⁰ <https://www.framestore.com/amfam>

¹¹ Rutelli, F. & Matthiae, P. (cur.). (2016). *Rising from destruction. Nimrud, Ebla, Palmyra*. Rome: Associazione Incontro di Civiltà.

grazie alla realizzazione di un museo virtuale accessibile online, realizzato tramite la tecnica dello stitching panoramico 360°¹².

App per schermi e tavoli interattivi

All'interno dei musei, insieme all'uso della realtà virtuale, anche l'uso di **schermi e tavoli interattivi** sta avendo un notevole incremento, che corre parallelo a quello dell'innovazione tecnologica nel campo dei touch screen e dello sviluppo delle app. Questo tipo di dispositivo interattivo, oltre a fornire informazioni integrative rispetto alla collezione, ha anche la funzione di coinvolgere il visitatore rendendolo libero di personalizzare autonomamente la visita, navigando tra le informazioni e gli argomenti che maggiormente corrispondono al suo interesse. In certi casi, inoltre, questo dispositivo può aiutare nella valorizzazione di quelle opere che, per ragioni di conservazione, non è possibile esporre. Si pensi, a questo proposito, ai libri antichi o a tutti quei manufatti che si trovano nei depositi museali. Un tavolo multimediale touch screen permette di sfogliare libri e documenti altrimenti inaccessibili e in alcuni casi, come quelli dei codici miniati, può migliorarne la fruizione. Tramite l'acquisizione digitale delle pagine ad altissima definizione (gigapixel), infatti, il visitatore, così come lo studioso, ha la possibilità di ingrandire anche i particolari più piccoli (si veda a questo proposito il lavoro realizzato per la mostra temporanea della Bibbia di Borso d'Este presso la Pinacoteca Nazionale di Ferrara).

La qualità dei tavoli interattivi sta anche nella possibilità di mostrare la complessità di una collezione e della sua storia. Con questi strumenti, infatti, è possibile costruire e visualizzare reti di informazioni che legano tra loro musei e territori diversi.

¹² <http://www.balmadeicervi.it/index.html>

Un esempio di ciò è l'applicativo che è stato realizzato per riunire virtualmente e raccontare la storia delle collezioni estensi frammentate dopo il declino della casata degli Este e l'annessione della città di Ferrara allo Stato Pontificio. A partire dal 1958 le stanze delle dimore estensi furono spogliate delle opere fino ad allora lì conservate. Buona parte di esse fu portata via dalla città, la collezione fu dispersa e le opere che una volta la costituivano sono oggi conservate in diversi musei in tutto il mondo. Nelle sale del castello cittadino, dimora dei nobili estensi e oggi museo, è presente un tavolo multimediale interattivo touch screen che permette di visualizzare quelle opere che non ci sono più, di conoscerne committenti e attuali luoghi di conservazione e di metterle in relazione con le opere che invece sono rimaste. Oltre all'interazione con le opere, i tavoli multimediali e gli schermi touch screen permettono anche di giocare. Possono essere sviluppate, infatti, specifiche applicazioni con contenuti personalizzati, che, specialmente per i più piccoli, trasformano la visita in un gioco. Si tratta per lo più di **videogiochi educativi** (edugames), come quello sviluppato per il Museo Archeologico Nazionale di Ferrara o per il Museo Archeologico Nazionale di Napoli (MANN), che integrano nella storia oggetti o personaggi legati alla collezione del museo.



Figura 4. Tavolo multimediale touch screen installato presso il Museo Archeologico Nazionale di Ferrara nell'ambito del progetto MUSST (2018).

Come accennato precedentemente, il numero di applicazioni sviluppate per la fruizione delle collezioni museali è in continuo aumento. I tavoli stessi, di cui si è discusso poc'anzi, funzionano grazie alla progettazione di specifici software che permettono di interagire con i contenuti digitali curati dal museo stesso. La maggior parte delle app a contenuto culturale, tuttavia, è pensata per la fruizione tramite smartphone e tablet, ovvero i devices portatili che la maggior parte dei visitatori possiede. Molti musei hanno promosso lo sviluppo di applicazioni, che in realtà sono veri e propri software o programmi, per il miglioramento dell'esperienza museale. Il Museo dell'Opera del Duomo di Firenze, ad esempio, ha reso disponibili diverse applicazioni scaricabili autonomamente da parte del visitatore per guidarlo attraverso le sale del museo.

Realtà aumentata

Alcune applicazioni utilizzano la **realtà aumentata**. Per realtà aumentata s'intende la visione di uno scenario reale al quale si sovrappongono, attraverso l'impiego di specifici software, informazioni aggiuntive presentate in forma di elementi virtuali. Gli elementi virtuali supportati dalla realtà aumentata sono tutti i prodotti e supporti della comunicazione visuale, cioè testi, immagini, filmati ma anche modelli tridimensionali. La fruizione di questo tipo di contenuti, tuttavia è possibile solo attraverso l'impiego di un device dotato di fotocamera: è proprio questa a fornire lo scenario reale (ad esempio il reperto conservato in una teca o i resti di murature di un edificio) a cui si sovrappongono le informazioni digitali. Ciò che il visitatore osserva attraverso la realtà aumentata, quindi, non è direttamente il reperto o il paesaggio, ma ciò che di esso la fotocamera del device è in grado di catturare. I contenuti digitali da visualizzare, poi, possono essere programmati per essere evocati in base alla posizione geografica rilevata dal GPS del device, come nel caso della nota applicazione PokemonGo (AR georeferenziata), oppure in base al riconoscimento di specifici target legati all'oggetto di cui si vogliono fornire le informazioni aggiuntive (AR a metafora visiva). Questa tecnologia che vorrebbe promuovere un'espansione del nostro campo visivo potrebbe in alcuni casi provocare l'effetto contrario, quindi ridurlo. Le applicazioni di realtà aumentata, infatti, se progettate soltanto in funzione dei contenuti virtuali all'interno del device, possono disorientare il visitatore e al contempo operare un'inversione della rilevanza degli stimoli sensoriali. Se, infatti, l'applicazione non mira alla valorizzazione dell'esperienza fisica all'interno del museo, quindi a proporre un'esperienza multisensoriale che coinvolga in maniera globale il visitatore, il rischio è quello di favorire il solo senso della vista, paradossalmente quello che si sviluppa più tardi e che non ha un ruolo chiave nella strutturazione delle nozioni di spazio e tempo che sono alla base del ragionamento critico. Il rischio è dunque quello di

proporre un'esperienza priva di contenuto e poco significativa per il visitatore; un'esperienza che probabilmente non sarà in grado di favorire la creazione di un legame tra il visitatore ed il patrimonio e, di conseguenza, non sarà in grado di favorire la formazione di una memoria. È necessario evidenziare, quindi, che la musealizzazione digitale costituisce un cambio di paradigma, non solo dal punto di vista tecnico, ma anche dal punto di vista cognitivo ed è fondamentale tenerne conto.

QR codes

I **QR codes** (da “Quick Response Code”, letteralmente “Codice a risposta rapida”) sono un esempio di codici a barre, ovvero di immagini bidimensionali, di forma quadrata contenenti diversi moduli di colore nero disposti in maniera variabile su uno sfondo bianco. Queste immagini sono in grado di archiviare un gran numero di informazioni e funzionano come un target da inquadrare con la fotocamera del proprio smartphone. L'operazione, come per la realtà aumentata, permette di richiamare informazioni digitali (link a siti web, immagini, video, file di testo, ecc.). La differenza è nel fatto che queste informazioni non si sovrappongono alla realtà ma vengono fruite dall'utilizzatore separatamente rispetto al contesto a cui si riferiscono: direttamente sul device, senza che sullo schermo dello stesso sia presente un riferimento visivo all'opera.

2. GESTO E PROCESSI COGNITIVI

Come si è evoluto il gesto? Con il suo corpo e con le sue mani l'uomo è oggi abituato a compiere una moltitudine di gesti e di movimenti, pari quasi al numero di oggetti che lo circonda e con i quali quotidianamente si relaziona.

Siamo portati a ritenere che da sempre l'uomo abbia saputo adattare i suoi gesti al contesto in cui si muoveva, a seconda delle necessità (e delle intenzioni). La strada che i nostri progenitori hanno percorso, dalla liberazione della mano, attraverso l'acquisizione della statura eretta, fino allo sviluppo di gesti precisi, è stata lunga ed articolata¹³.

Molti dei gesti e dei movimenti che i primi individui appartenenti al genere *homo* hanno impiegato e messo a punto restano per noi sconosciuti: sono patrimonio intangibile di quel lontano passato. Alcuni di quei gesti, convenzionalmente attribuiti ad *homo habilis*, sono, tuttavia, rimasti impressi nella pietra.

Le prime industrie litiche scheggiate associate al genere *homo*, infatti, conservano l'impronta delle sequenze di movimenti impiegati per realizzarle e questo ha permesso agli archeologi di ricostruirle, ipotizzando una catena operativa anche sulla base dei risultati delle ricerche di archeologia sperimentale.

Dagli studi condotti nell'ambito delle neuroscienze, poi, sappiamo che ogni oggetto, quando osservato, richiama nella nostra mente un gesto che consente di afferrarlo¹⁴. Potremmo quindi affermare che esistono tanti gesti quanti sono gli oggetti con cui l'uomo si confronta e che questi gesti, specialmente se legati alle

¹³ Leroi-Gouhran, A. (1977). Il gesto e la parola. Torino: G. Einaudi.

¹⁴ Regni e Fogassi (2019). Maria Montessori e le neuroscienze. Cervello, mente, educazione. Fèè editore. Roma

attività artigianali e inseriti all'interno di una catena operativa, costituiscono un patrimonio gestuale.

2.1 Comunicazione somatosensoriale

I movimenti ed i gesti dell'uomo, uniti al tatto (e agli altri sensi), sono, inoltre, alla base del sistema che l'uomo usa per conoscere il mondo e per costruirsi un'idea: la comunicazione somatosensoriale. Si tratta di un raffinato sistema di connessioni che mette in comunicazione l'uomo con l'ambiente e che gli ha permesso di adattarsi, sopravvivere e creare.

Riprendendo il modello sulle funzioni della comunicazione proposto da Jakobson¹⁵, lo scambio di informazioni (ed azioni) tra l'uomo e l'ambiente utilizza come canale i 5 sensi e diversi tipi di codice: luminoso, chimico, meccanico.

Attualmente la maggior parte delle tecnologie digitali si rivolge e va a stimolare il senso della vista e quello dell'udito. Nel tempo, infatti, il linguaggio della comunicazione è diventato sempre più visivo. La presa di potere dell'immagine deriva sia dalla sua forza, indiscussa e riconosciuta fin dall'alba dei tempi (come testimoniano le più antiche testimonianze di arte rupestre preistorica¹⁶ e le ipotesi sulla nascita dell'alfabeto¹⁷) sia dallo sviluppo di tecnologie che ne hanno resa sempre più facile la creazione e la manipolazione. Nello sviluppo della mente umana, tuttavia, anche il tatto accompagnato dal gesto, cioè la **percezione aptica**, ha rivestito un'importanza fondamentale.

¹⁵ Jakobson, R., (1960). *Linguistics and Poetics*. In T. Sebeok, ed., *Style in Language*, Cambridge, MA: M.I.T. Press, pp. 350-377.

¹⁶ Menéndez, M., Mas, M., Mingo, A. (2009). *El arte en la Prehistoria*. UNED

¹⁷ Kallir, A. 1994. *Segno e disegno. Psicogenesi dell'alfabeto*. Spirali/Vel, Milano.

Comunicazione somatosensoriale

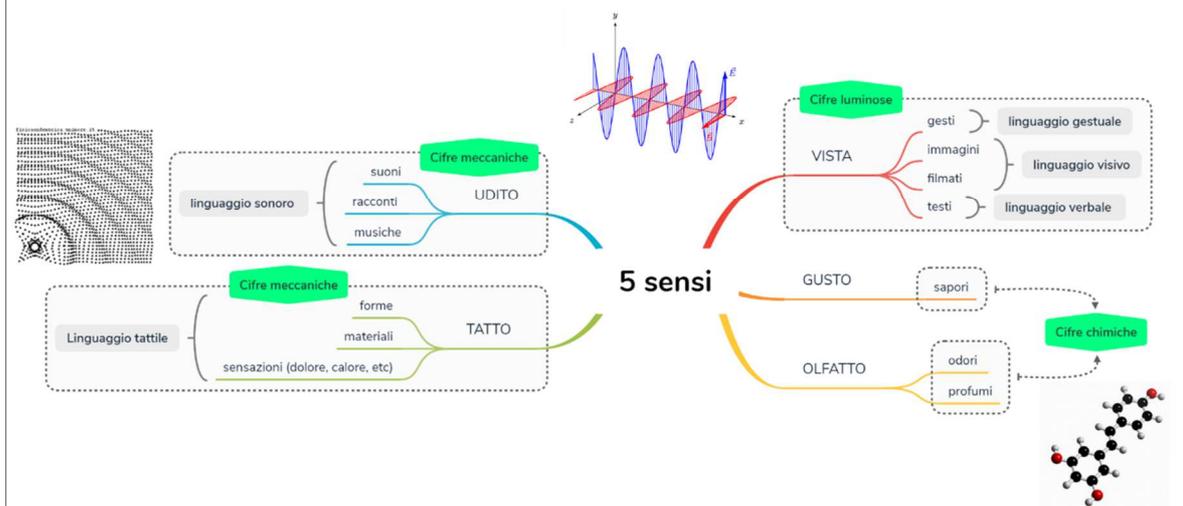


Figura 5. Schema della comunicazione somatosensoriale.

Il gesto costituisce un doppio canale che da una parte permette all'uomo di interagire con l'ambiente, di lasciare traccia di sé e, in ultima analisi, di esprimere se stesso; mentre dall'altra gli consente di raccogliere ed elaborare le informazioni relative al mondo esterno.

Entrambe le canalizzazioni del gesto, verso l'interno e verso l'esterno, sono in grado di generare delle memorie. Che si proceda dall'interno verso l'esterno o dall'esterno verso l'interno, il nostro sistema cognitivo tiene traccia delle nostre azioni e delle loro conseguenze. Questo consente all'uomo da una parte di generare delle vere e proprie memorie muscolari (o procedurali), ripetendo più volte una stessa sequenza di movimenti; dall'altra di creare concetti (gli elementi che compongono la conoscenza¹⁸) attraverso la creazione, a livello mentale, di rappresentazioni

¹⁸ Zeki, S., (2010). Splendori e miserie de cervello. Codice edizioni.

cosiddette motorie, che gli danno coscienza dell'oggetto che sta maneggiando, delle sue caratteristiche e delle sue potenzialità¹⁹.

Ciò che accomuna i processi di apprendimento sopra descritti è, oltre al ruolo preminente della percezione aptica che unisce tatto e movimento, quello dell'esperienza. L'abilità manuale e la coscienza, infatti, sono generate e si esplicano attraverso l'esperienza dell'uomo nell'ambiente.

2.2 Esperienza e linguaggio

Come discusso più sopra, il gesto, oltre ad essere una forma di conoscenza, è una forma di comunicazione, di espressione e quindi di linguaggio. Studi scientifici nel campo delle neuroscienze, inoltre, stanno mettendo in evidenza come lo sviluppo del linguaggio parlato nell'uomo sia strettamente connesso allo sviluppo della gestualità e del movimento²⁰. Tramite le indagini di imaging cerebrale è stata, infatti, messa in evidenza l'esistenza di un circuito neurale stimolato al tempo stesso dai movimenti della mano e dall'uso del linguaggio parlato. È stato osservato, ad esempio, che il solo udire frasi contenenti parole d'azione attiva la corteccia motoria e, per di più, specifiche aree della corteccia motoria, a seconda del tipo di azione di cui si parla. Il gesto è dunque al tempo stesso una forma di linguaggio e l'elemento basilare per poterlo utilizzare ed apprendere²¹.

2.3 Plasticità delle mappe neurali

Lo sviluppo di nuove tecnologie digitali quali la realtà virtuale hanno permesso di approfondire gli studi sul cervello umano ed in particolare quelli riguardanti la

¹⁹ Regni e Fogassi (2019). Maria Montessori e le neuroscienze. Cervello, mente, educazione. Fefè editore. Roma

²⁰ Rizzolatti, G. e Arbib M.A. (1998). Language within our grasp. *Trends in Neuroscience* 21, 188-194; Gentilucci, M. e Corballis M.C. (2006). From manual gesture to speech: a gradual transition. *Neuroscience and biobehavioral Reviews* 30, 949-60.

²¹ Regni e Fogassi (2019). Maria Montessori e le neuroscienze. Cervello, mente, educazione. Fefè editore. Roma

plasticità delle mappe neurali. I risultati di studi precedenti²² avevano già contribuito all'ipotesi che l'impiego di strumenti, nei primati ed ancor più negli esseri umani, determinasse una modificazione dell'immagine corporea²³. Con la realtà virtuale è stato possibile spingersi oltre. È stato infatti osservato che anche in assenza di contatto con determinati strumenti o stimoli tattili, il cervello umano, tramite l'osservazione di un determinato avvenimento, risponde a quegli stimoli sensoriali che, in linea teorica, dovrebbero essere puramente virtuali²⁴. Così può essere registrata in chi osserva una sensazione di dolore alla vista di un braccio virtuale identificato come proprio quando questo è sottoposto ad un evento doloroso come una puntura. La sensazione di realistica che si può ottenere tramite la realtà virtuale ha permesso al soggetto l'immedesimazione necessaria per l'ampliamento del proprio spazio e della propria sensibilità corporea non più ad uno strumento ma ad un'immagine virtuale di sé.

Questo può verificarsi grazie ad una proprietà dei neuroni della corteccia che è quella di creare delle mappe neurali e di riuscire a modificarle plasticamente a seconda delle necessità che si presentano. Gli studi sulla plasticità delle mappe neurali permettono anche di poter affermare che l'attività motoria (o manuale) è in grado di modificare la percezione dello spazio corporeo per estenderla, ad esempio, ad uno strumento che, attraverso un uso ripetuto diventa una vera e propria estensione della mano.

²² Iriki, A., Tanaka, M., Iwamura, Y. (1996). Coding of modified body schema during tool use by macaque postcentral neurones. *Neuroreport* 7, pp. 2325-30.

²³ Regni e Fogassi (2019). *Maria Montessori e le neuroscienze. Cervello, mente, educazione.* Fefè editore. Roma.

²⁴ Fusaro, M., Tieria, G., Aglioti, S.M., (2019). Influence of cognitive stance and physical perspective on subjective and autonomic reactivity to observed pain and pleasure: An immersive virtual reality study. *Consciousness and Cognition* 67, pp. 86–97.

Questi risultati aprono interessanti scenari dal punto di vista dell'apprendimento e dell'impiego delle nuove tecnologie digitali non solo in ambito medico, ad esempio per la simulazione di situazioni stressanti e la cura di pazienti con fobie o affetti da autismo in ambienti sicuri e controllati²⁵, ma anche nell'ambito della comunicazione e della trasmissione di conoscenze, in ambito educativo e museale.

Nei musei archeologici, per esempio, la realtà virtuale e le nuove tecnologie digitali, supportate dagli sviluppi della grafica computerizzata, possono aiutare a ricreare dei contesti altrimenti difficilmente riproducibili. L'associazione di un oggetto al suo contesto, che si tratti di quello di ritrovamento, di impiego o di produzione è utile ai fini della comprensione e della valorizzazione dell'oggetto stesso da parte del visitatore. Poiché la realtà virtuale offre un'esperienza immersiva e coinvolgente, inoltre, quest'ultimo tipo di fruizione potrebbe stimolare i processi di memorizzazione delle informazioni associate all'oggetto, attraverso una sollecitazione emozionale, come cominciano ad evidenziare alcuni studi²⁶.

²⁵ Parsons, S., (2016). Authenticity in Virtual Reality for assessment and intervention in autism: A conceptual review. *Educational Research Review* 19, 138-157.

²⁶ Selzera M.N., Gazcona N.F., Larrea M.L., (2019) Effects of virtual presence and learning outcome using low-end virtual reality systems. *Displays* 59, pagg. 9–15.

3. GESTO E TECNOLOGIA

Stiamo smarrendo il nostro patrimonio gestuale? Abbiamo affermato che, pur non essendo infiniti, i gesti dell'uomo sono molti e vari, in dipendenza dalle forme con le quali si interfacciano e dell'ambiente culturale in cui si sviluppano. In particolare, più dei singoli gesti, ciò che costituisce un patrimonio, sono le sequenze di gesti e movimenti. In archeologia una concatenazione *ordinata di azioni, gesti e processi in una sequenza di produzione che porta alla trasformazione di un dato materiale in un prodotto finito* è detta catena operativa²⁷. Le principali catene operative che è stato possibile ricostruire attraverso studi di archeologia sperimentale, e che affondano le loro radici nella preistoria, sono quelle che hanno portato alla trasformazione della pietra, dell'argilla e dei minerali in utensili per l'uomo. Queste trasformazioni raccontano del rapporto dell'uomo con il territorio, della sua capacità di individuare le materie prime e di lavorarle, e di come gli strumenti ottenuti abbiano ulteriormente contribuito alla trasformazione dell'ambiente.

3.1 Trasformazioni operative

Inizialmente l'esplorazione dell'ambiente da parte dell'uomo ha portato ad una trasformazione meccanica della pietra attraverso l'impiego di un percussore e di una tecnica di scheggiatura che è andata costruendosi e perfezionandosi nel tempo fino a dare vita a sequenze ripetute e ben riconoscibili. Per questo motivo è stato possibile, a partire dallo studio degli artefatti, indentificare diverse tecniche di scheggiatura e, sulla base delle loro caratteristiche, attribuirle a ben distinte fasi cronologiche²⁸.

²⁷ Renfrew, C. e Bahn, P., (2006). Archeologia. Teorie, metodi, pratiche. Zanichelli, Bologna.

²⁸ Cocchi Genick, D., (2009). Preistoria. QuiEdit; Arzarello, M., Fontana, F., Peresani, M., (2011). Manuale di tecnologia litica preistorica. Cocetti, metodi e tecniche. Carocci editore.

In seguito, grazie al controllo di una prima forma di energia, quella del fuoco, l'uomo ha introdotto all'interno delle catene operative trasformazioni chimiche che hanno permesso non solo la modificazione delle materie prime, ma anche la creazione di nuovi materiali, come la ceramica e, più tardi, il bronzo²⁹.

In tutti questi casi l'uomo ha pensato e sperimentato nuove idee e con esse nuove gestualità che mettessero in essere il suo pensiero. Ciò che era stato conosciuto in precedenza tramite la mano, veniva ora trasformato con la mano, in un continuo processo di adattamento guidato anche dal gesto. Per millenni le sequenze di movimenti sviluppate con le prime ricerche e sperimentazioni umane sono state impiegate, ottimizzate e tramandate, finché quegli stessi gesti non hanno creato qualcosa che in qualche modo permettesse di risparmiarli e, in parte, sostituirli: le macchine. L'evoluzione tecnologica guidata dal gesto si era superata.

È possibile che questo passaggio abbia prodotto nuove gestualità, che potremmo definire integrate, in quanto prevedono una collaborazione tra movimento meccanico e movimento umano. Dall'altra parte però, in termini concettuali ha prodotto anche l'introduzione dell'idea di automazione.

Da quel momento in poi la via dell'automazione è stata quella che si è cercato di seguire, quella assunta come via maestra. È stato forse allora che il patrimonio gestuale ha cominciato a perdersi progressivamente e con esso tutte le implicazioni cognitive della percezione aptica che coniuga tatto e movimento.

La funzione di questa considerazione non è quella di demonizzare l'evoluzione tecnologica ma di mettere in evidenza gli obiettivi e gli indirizzi di questa evoluzione per provare ad ipotizzarne le implicazioni in termini cognitivi. L'analisi delle traiettorie

²⁹ Smil, V.,(2000). Storia dell'energia. Bologna: Il Mulino.

dell'evoluzione tecnologica serve per comprendere non solo quali scelte sono state compiute ma anche quali scelte possono ancora essere compiute in un'ottica di sviluppo sostenibile, a livello economico, ambientale ed anche umano.

3.2 Il trasferimento del gesto

Con la prima rivoluzione industriale, che ha portato ad una meccanicizzazione dei processi produttivi, si sono osservate le prime forme di alienazione che consistevano nel trasferimento ad altri (in questo caso ad oggetti) di qualcosa che fino a quel momento era appartenuta solamente all'uomo, cioè la sua gestualità.

Il sistema, tuttavia, allora come oggi, restava strettamente legato al contributo umano. Si profilò quindi un'integrazione del gesto umano e di quello meccanico. Le novità introdotte dalla tecnologia restavano, però, confinate all'interno delle fabbriche, ed è in questa direzione che stava per avvenire un secondo trasferimento: quello della produzione, che da domestica diveniva industriale. Quest'ultimo fatto, ovvero lo spostamento dei siti di lavorazione, ha generato l'involontario allontanamento di parte della comunità dai processi di lavorazione delle materie prime (anche a livello di semplice osservazione). Anche questa può essere considerata una prima forma di alienazione, intesa come trasferimento di qualcosa che è connaturato alla persona o al gruppo sociale (la coscienza della produzione) verso altre persone o, in questo caso, altri luoghi.

3.3 Catene invisibili

Il processo intrapreso da allora non si è mai fermato. Le fabbriche sono cresciute di dimensioni, la ricerca dell'automazione ha prodotto nuovi avanzamenti tecnologici e, con l'avvento dell'elettrotecnica prima e dell'elettronica poi, molti processi sono stati trasformati in invisibili movimenti di elettroni, capaci, però, di muovere velocemente molte informazioni. Lo sviluppo dell'elettronica, delle comunicazioni e

dell'informatica, cioè del settore ICT (Information and Communication Technology) ha segnato l'avvento della cosiddetta terza rivoluzione industriale, quella digitale.

Come accennato in precedenza, in realtà non si è trattato di una vera e propria rivoluzione, bensì di una trasformazione³⁰, che, tuttavia, ha innescato una serie di rapidi cambiamenti che permeano la quotidianità delle società economicamente avanzate e sembrano raggiungerci con una velocità superiore a quella con cui, attorno alla metà del Novecento, le macchine raggiunsero le comunità degli operai che con esse lavoravano.

Se è vero che il relazionarsi dell'uomo con nuovi oggetti genera lo sviluppo di nuove gestualità, non è però detto che queste si traducano sempre in una sequenza ordinata di movimenti finalizzati, cioè in una catena operativa definita da precisi rapporti di causa ed effetto e volta ad uno scopo determinato.

Un primo esempio di ciò è l'introduzione della catena di montaggio all'interno delle fabbriche nei primi anni del '900: allora cominciò a perdersi la percezione della causalità del gesto, favorendo negli addetti alla catena, l'insorgere di quei disagi psicologici riconducibili anch'essi ad una forma di alienazione.

Un secondo esempio, invece, riguarda le tecnologie digitali. Esse permettono, infatti, di associare ad un unico gesto molteplici risultati potenziali: la digitazione innesca procedimenti che sembrano invisibili, ma possono per questo anche essere considerati non indispensabili?

Sulla base di quanto esposto in merito al rapporto tra gesto ed apprendimento ci sembra di poter affermare che la consapevolezza del processo sia fondamentale,

³⁰ Padula, G. (2017). Innovazione o trasformazione? *Industrie 4.0* 1 (4), pag.3

non solo per la creazione di conoscenza ma anche per lo sviluppo della creatività e quindi dell'innovazione.

Non a caso i mezzi a cui oggi ci affidiamo sono definiti elaboratori. In molti casi sono indispensabili perché in grado di archiviare e operare su una grande quantità di dati. Sono inoltre in grado di rendere accessibili grandi quantità di informazioni grazie ad internet, ma quante di queste informazioni siamo poi in grado di elaborare?

3.4 Interfacce

Quando gli elaboratori sono diventati beni di largo consumo è stato necessario rendere possibile la comunicazione tra persone non esperte di linguaggio informatico e macchine che invece su questo linguaggio erano basate³¹. Si era reso necessario trovare un punto d'incontro che permettesse all'uomo di comunicare con quelle che sarebbero diventate le sue estensioni³². Si cominciò quindi, a partire dal 1960, a studiare delle *interfacce* adeguate. Le prime, cosiddette *a linea di comando* (CLI -*Command Line Interface*), prevedevano un'interazione di tipo testuale, ma questa tipologia era evidentemente non adatta per un impiego di tipo massivo come quello che andava prospettandosi. Poiché era necessario ricercare l'usabilità dell'interfaccia, la ricerca in campo informatico si concentrò sullo sviluppo di interfacce *user-friendly* la cui caratteristica era l'interazione con elementi grafici. Le interfacce grafiche (GUI – *graphic user interface*) sono quelle che hanno migliorato l'accessibilità del mezzo informatico e che gli conferiscono l'aspetto con cui oggi lo conosciamo e con il quale ci interfacciamo. L'intuitività di questi sistemi deriva dall'uso del linguaggio visivo ma richiede comunque all'utilizzatore di apprendere un nuovo codice di interazione, nuove tecniche di controllo e gestione dei contenuti,

³¹ Negro Ponte, N., (1995). Essere digitali. [Sperling & Kupfer](#), Milano.

³² McLuhan, M. (2002) Gli strumenti del comunicare. Mass media e società moderna. Net, Milano.

diverse da quelle gestuali con le quali l'essere umano istintivamente si avvicina all'esplorazione e alla conoscenza. Le interfacce che sfruttano la gestualità e che coinvolgono le capacità sensoriali umane sono dette multimodali e per molto tempo non fu possibile realizzarle poiché richiedono un'elevata capacità di elaborazione da parte della macchina. Bisognerà infatti aspettare gli anni '90 per i primi significativi sviluppi del riconoscimento gestuale da parte degli elaboratori, il quale a sua volta è alla base dello sviluppo delle interfacce naturali (NUI – *natural user interface*).

3.5 Da gesti a bit

Attualmente i dispositivi tecnologici digitali sono sempre più in grado di rispondere alla gestualità dell'utente che con essi si interfaccia. Questo è possibile perché tali dispositivi sono dotati di sensori di tracciamento del gesto e sono in grado di codificarlo. Vi sono smartphones che riconoscono il volto del proprietario e videogiochi dove il protagonista è animato dai gesti del giocatore.

Se attraverso sequenze di numeri è stato possibile tradurre immagini e suoni in bit, quindi in quantità di informazione digitale, nell'ambito della *gesture recognition* la ricerca tecnologica si è chiesta come utilizzare lo stesso codice per trasportare anche il gesto nel panorama digitale.

Negli anni sono state sperimentate diverse tecniche:

- Data glove (sistema elettromeccanico)
- Gesture recognition per mezzo di telecamere digitali
- Capture motion (telecamere + uso di marker)
- Cinematica inversa (con motion capture)

Nello sviluppo di questo tipo di ricerca si possono identificare principalmente due scopi: da una parte quello di rendere più naturale ed intuitiva **l'interazione uomo-macchina**, dall'altro quello di fornire una rappresentazione del movimento il più possibile realistica, per esempio in ambito cinematografico.

La tecnologia che sfrutta il riconoscimento del gesto è stata impiegata anche in alcuni allestimenti museali come quello del Cleveland Museum of Art, dove la tecnologia Kinect permette di dipingere una parete composta da schermi LCD o di interagire con i contenuti proposti col solo movimento delle braccia³³; o, ancora, quello dell' Aquincum Museum di Budapest (Ungheria), dove sono state installate, in una sala dedicata, alcune postazioni di gioco nelle quali, tramite riconoscimento gestuale, la gestualità del visitatore è trasferita ad un avatar virtuale che lo riporta indietro nel tempo, permettendogli di muoversi tra i palazzi dell'antica città romana di Aquincum. Si tratta, però, per lo più di applicazioni a scopo ludico-educativo che non contemplano la fruizione diretta del patrimonio a cui fanno riferimento.

Tutto questo è reso possibile dall'impiego di algoritmi il cui obiettivo è quello di tradurre automaticamente il linguaggio del corpo in informazione digitale. Tecnologie che sfruttano il riconoscimento del gesto sono impiegate anche da discipline che studiano l'uso umano dello spazio, come la prossemica, che oggi assume sempre più rilievo nel campo della sicurezza e della prevenzione.

³³ <https://www.clevelandart.org/magazine/cleveland-art-septemberoctober-2016/studio-play-2.0>

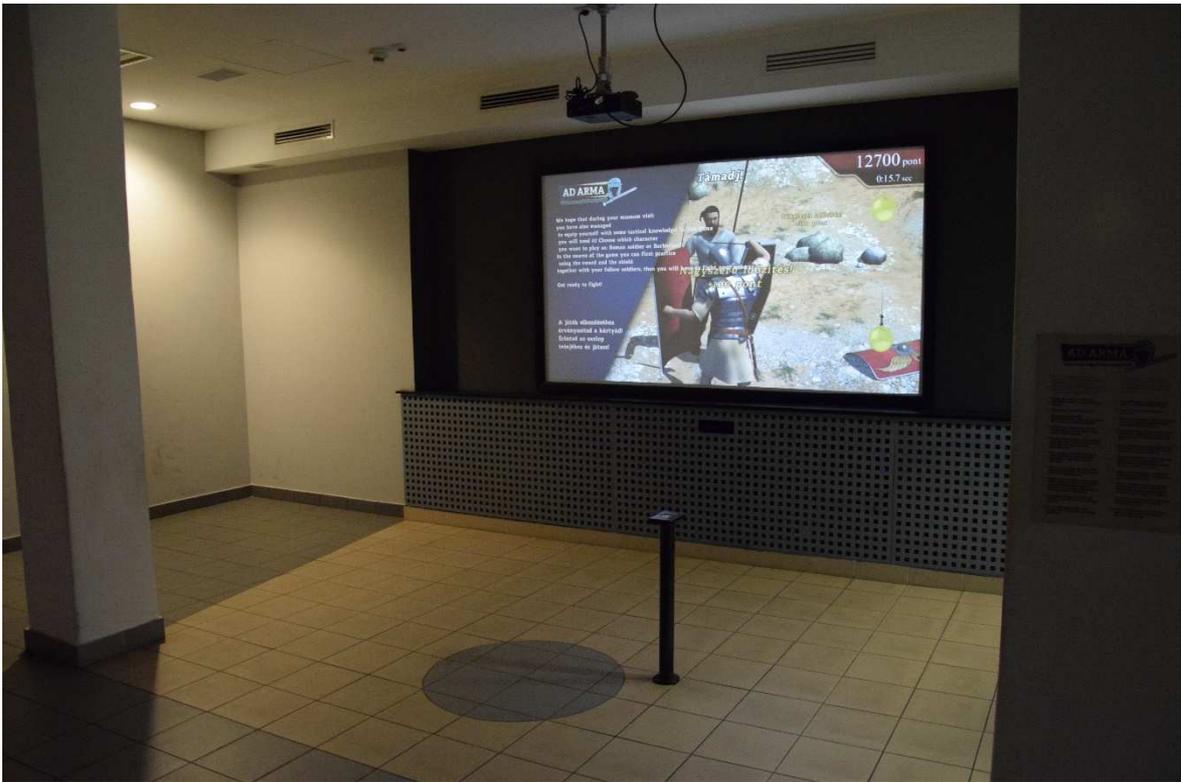


Figura 6. La postazione di gioco presso l'Aquincum Museum di Budapest (2016).

3.6 Digit-azione

Nonostante gli esempi sopra riportati, va osservato che il primato dell'interazione con le macchine, che si tratti di interfacce testuali o grafiche, lo detiene la digitazione. L'interazione con le macchine e con i dispositivi digitali ha in parte imposto la sostituzione dei gesti umani con sequenze alfanumeriche. Lettere e numeri hanno preso il posto delle sequenze di movimenti ed anche gli altri sistemi comunicativi umani, come lo sguardo e la voce, non risultano più adatti nella comunicazione tra uomo e macchina. Per funzionare il sistema ha bisogno di un unico gesto, quello della digitazione.

La tendenza alla miniaturizzazione, unita all'indispensabilità dei dispositivi, tuttavia, ha fatto sì che i centri di elaborazione e trasferimento di informazioni divenissero

prima portatili poi indossabili e, in via sperimentale, impiantabili³⁴. È proprio quest'ultima caratteristica che ha fatto emergere la necessità di nuovi tipi di interazione³⁵. I dispositivi indossabili, infatti, si caratterizzano per le loro ridotte dimensioni e per la possibilità (e la necessità) di comunicare con essi senza necessariamente avere le mani impegnate. Gli avanzamenti tecnologici stanno dunque permettendo all'uomo di tornare ad utilizzare un sistema di comunicazione multimodale basato oltre che sul gesto, anche sulla voce e sullo sguardo. Un sistema più "naturale" ed affine al funzionamento del sistema sensori-motorio umano, che viene infatti definito NUI - *natural user interface* (Interfaccia utente naturale).

3.7 Il corpo post-umano

La miniaturizzazione dei dispositivi, come accennato, ne rende possibile, oltre che la portabilità e l'indossabilità, anche l'impiantabilità. L'uomo ha infatti progressivamente creato dei meccanismi ausiliari che potessero divenire parte del suo stesso corpo, che ne agevolassero il funzionamento o che ne sostituissero le parti danneggiate (si pensi alle protesi ed ai pacemaker). Gli oggetti impiantabili, dapprima inanimati, dopo la rivoluzione digitale e con il diffondersi delle innovazioni introdotte dalla quarta rivoluzione industriale (l'Industria 4.0), sono divenuti in grado di comunicare con altri dispositivi, inviando e custodendo dati.

Sembra delinearsi, quindi, una forma di ibridazione, un'interconnessione tra uomini e macchine, tra reale e virtuale, che di naturale ha ben poco. Ma nel dibattito tra tecnofili e tecnofobi quello che sfugge è la duttilità e unicità dell'esperienza umana³⁶.

³⁴ Caronia, A., (2002). Dopo l'uomo. Cyberzone n. 16

³⁵ Negro Ponte, N. (1995). Essere Digitali. Sperling & Kupfer, Milano.

³⁶ Braidotti, R., (2014). Il postumano. La vita oltre l'individuo, oltre la specie, oltre la morte. DeriveApprodi, Rome; Marchesini, R., (2002). Post-human. Verso nuovi modelli di esistenza, Bollati Boringhieri.

Per quanto riguarda le trasformazioni introdotte dall'uomo fin dalla preistoria, ad esempio, esse costituiscono delle modificazioni che potremmo definire artificiali ma che in realtà rappresentano delle possibilità e delle opportunità offerte dalla natura.

Quello che ci si chiede è: che cos'è che segna il limite dell'attività umana nei confronti della natura? Fino a che punto l'uomo può spingersi? Vi sono, infatti, tracce del passaggio dell'uomo, con la sua attività trasformatrice, sia nell'infinitamente piccolo sia nell'infinitamente grande: l'uomo, supportato dalle macchine, è stato in grado di modificare paesaggi naturali a grande e a piccola scala.

Si pensi a questo proposito alle modificazioni genomiche o alle attività di estrazione nella miniera di Hambach in Germania, dove operano le macchine semoventi più grandi mai costruite dall'uomo³⁷.

Quand'è che è opportuno fermarsi? Probabilmente si potrebbe rispondere “quando le trasformazioni che vengono operate smettono di essere un vantaggio per la specie e cominciano a compromettere la sua sopravvivenza.” Ma affinché ognuno possa formulare la propria risposta è necessaria una consapevolezza dei meccanismi che sottendono l'evoluzione umana e dei rapporti di causalità. La velocità che caratterizza le tecnologie digitali ha portato ad una nuova percezione e ad una ridefinizione delle nozioni di spazio e tempo, che, insieme alla causalità, sono gli strumenti cognitivi con cui l'uomo interpreta il mondo.

La possibilità di far viaggiare velocemente le informazioni accorcia i tempi e le distanze tra le persone, al contempo, l'emergere di nuove realtà virtuali sembra moltiplicare lo spazio a disposizione. Sarebbe sbagliato e controproducente, però, cercare di ricondurre i nuovi paradigmi di spazio e tempo all'interno degli schemi

³⁷ <https://www.telegraph.co.uk/finance/newsbysector/industry/mining/8433249/The-worlds-largest-diggers-in-pictures.html?image=2>

tradizionali costruiti per questi concetti. Oggi coesistono più realtà e perciò più concezioni di spazio e di tempo. Per non incorrere in interpretazioni erranee dei fenomeni che osserviamo, siano essi fisici o virtuali, è necessario operare un adattamento cognitivo, sviluppare una strategia che, attraverso un ampliamento delle categorie utilizzate, ci permetta di inquadrare correttamente gli avvenimenti ed il loro significato. Sarà dunque opportuno pensare, ad esempio, che esistano almeno due tipi di spazio e due tipi di tempo che si distinguono per essere l'uno fisico e l'altro virtuale; e che, a seconda di ciò, abbiano funzionamenti differenti; ma che si tratti in entrambi i casi di nozioni reali.

In questo processo di trasformazione postumano, il ruolo delle Scienze Umane in generale e delle Digital Humanities in particolare è fondamentale per guidare il cambiamento e costruire strutture cognitive forti che permettano di salvaguardare e sviluppare il pensiero critico attraverso la consapevolezza.

3.8 L'archeologia come campo di ricerca della tecnologia

Nella sua principale attività di costruttore di oggetti, l'uomo, e di tutti gli animali solo l'uomo, ha operato trasformazioni fisiche e chimiche della materia e, successivamente del paesaggio. Ha trasformato l'argilla in ceramica e i minerali in strumenti di metallo: ha utilizzato l'ambiente, l'osservazione dei processi naturali, come campo di sperimentazione e di ricerca tecnologica³⁸. Quella umana è stata l'unica specie che ha voluto e potuto controllare i processi naturali di trasformazione delle materie prime.

Molto spesso le trasformazioni indotte dall'uomo hanno lasciato tracce sul territorio che occupava, consentendo di riconoscere, anche a distanza di migliaia di anni, un ambiente antropizzato da uno che non lo è mai stato. L'archeologia si occupa

³⁸ Mannoni, T.& Giannichedda, E., 2014. Archeologia della produzione. Torino : Piccola biblioteca Einaudi.

proprio di questo: di studiare le tracce lasciate dall'azione dell'uomo e dalla sua opera di ricerca e sperimentazione tecnologica. Una branca dell'archeologia, l'archeologia sperimentale, in particolare, può svolgere un ruolo importante nel processo archeologico di ricerca, catalogazione, studio ed interpretazione della cultura materiale e dei paesaggi umani.

Con archeologia sperimentale s'intende *“lo studio dei processi comportamentali del passato attraverso ricostruzioni sperimentali condotte in condizioni scientifiche accuratamente controllate”*³⁹.

L'archeologia sperimentale, quindi, studia i processi produttivi e le tecnologie alla base della creazione di quegli oggetti che il tempo ha trasformato in testimonianze archeologiche; ci aiuta a comprendere COME sono stati realizzati, COME sono state impiegate le materie prime offerte dal territorio e quali trasformazioni hanno subito.

Questa disciplina, quindi, cerca di rispondere ad una delle sei domande chiave (*chi, cosa, quando, come, dove, perché*), le cui risposte sono considerate alla base di un'efficace comunicazione, non solo giornalistica.

Nel condurre le sue ricerche, infatti, l'archeologia, cerca di trovare risposte a queste stesse domande “guida” e, a seconda dei contesti, tramite lo studio e l'interpretazione della cultura materiale, può essere in grado di rispondere a tutte o ad alcune di queste.

Muovendo da questi assunti e spostandosi nell'ambito della comunicazione museale, è bene rimarcare che tutte le volte che ci si accinge a raccontare qualcosa, bisogna sapere che chi ascolta cercherà per prima cosa nelle parole di chi parla le risposte a quelle sei domande. Questo fatto mette in evidenza lo stretto legame tra ricerca e divulgazione e può costituire un buon punto di partenza per la definizione

³⁹ Renfrew, C. e Bahn, P., (2006). Archeologia. Teorie, metodi, pratiche. Zanichelli, Bologna.

di strategie comunicative in ambito museale, poiché rappresenta un punto di contatto tra ricerca e fruizione: l'esistenza di un interrogativo comune a ricercatori e fruitori.

Molte discipline, afferenti ad altrettanti ambiti, contribuiscono alla ricerca e allo studio delle evidenze e delle tracce lasciate dall'uomo. Vi sono, tuttavia, risposte che non possono essere trovate solamente attraverso il "tradizionale" esame dei manufatti e che necessitano invece di un approccio sperimentale per poter emergere ed essere incontrate⁴⁰. Necessitano, se vogliamo, di un approccio fisico che coinvolga il sistema percettivo umano, verosimilmente lo stesso di cui era dotato colui che creò l'oggetto in esame.

Oltre a cercare di dipanare i dubbi sul COME, con quali mezzi, con quali catene operative - con quali sequenze di movimenti - è stato realizzato un determinato manufatto, l'archeologia sperimentale cerca anche di spiegare COME quell'oggetto, una volta prodotto, venisse utilizzato e come funzionasse. I risultati degli studi condotti in questo modo possono, così, contribuire alla formulazione di ipotesi relative agli scopi della produzione e, di conseguenza ai PERCHÉ dell'indagine archeologica.

Sebbene i vantaggi di un approccio di tipo sperimentale ai dilemmi posti dallo studio delle evidenze archeologiche fossero già stati intuiti in precedenza, è solo a partire dalla fine degli anni '60 del 1900 che l'archeologia sperimentale prende corpo e si diffonde come disciplina⁴¹. Le informazioni che è in grado di fornire rivestono, una doppia importanza.

A livello di studio ed interpretazione dei materiali, come osservato, l'approccio sperimentale, attraverso valutazioni qualitative e quantitative, può migliorare le

⁴⁰ <https://exarc.net/experimental-archaeology>

⁴¹ Coles, J., (1981). Archeologia sperimentale. Longanesi, Milano.

considerazioni in materia di ricostruzione delle catene operative e, quindi, dei processi produttivi impiegati per la trasformazione delle materie prime e la creazione di nuovi materiali e di nuovi oggetti. Questo ha ovviamente implicazioni anche in altri ambiti della ricerca storica, ad esempio nell'analisi degli aspetti socioeconomici che caratterizzano i diversi gruppi umani.

A livello comunicativo, di trasmissione delle informazioni, le attività di archeologia sperimentale svolgono un importante ruolo di sostegno alla divulgazione in quanto offrono una rappresentazione concreta di ciò che spesso viene descritto solo tramite parole o disegni. Attività di questo tipo, condotte in ambito museale, danno, inoltre, al visitatore stesso la possibilità di mettere mano ai materiali e di misurarsi con le possibilità di trasformazione ed impiego dei manufatti.



Figura 7. Workshop dimostrativo di archeologia sperimentale tenutosi presso l'Instituto Terra e Memoria di Mação (Portogallo, 2019).

La ricostruzione della storia della tecnologia attraverso l'archeologia sperimentale può essere considerata campo di studio della tecnologia in quanto sono necessarie competenze tecniche, oltre che conoscenze storiche, per replicare e comprendere i processi produttivi del passato; ma anche perché l'archeologia sperimentale, come

la tecnologia moderna, tocca aspetti legati all'ottimizzazione dei processi e all'efficienza energetica⁴². I risultati delle ricerche condotte in archeologia sperimentale, correlati con quelli ottenuti da altre discipline coinvolte nel recupero e nell'analisi dei dati archeologici (archeotecnologia, geoarcheologia, etnoarcheologia), hanno permesso di definire alcune delle strategie di gestione delle risorse usate nell'antichità e ne hanno messo in luce gli aspetti vantaggiosi e quelli svantaggiosi a livello di sostenibilità economica e ambientale⁴³.

L'integrazione delle due discipline e la divulgazione dei risultati degli studi intrapresi potrebbero essere di grande importanza per i fruitori di queste informazioni, per la formazione di una coscienza della propria storia, umana e civile. Oggi più che mai non è banale pensare che la conoscenza dei processi del passato, dei meccanismi che hanno condotto l'uomo alla sua esistenza presente e del loro impatto su di essa, sia fondamentale per favorire processi trasformativi sostenibili, attraverso lo sviluppo di nuove visioni del futuro, innovative e resilienti. Per innovare bisogna conoscere.

⁴² Cavallini, M., Montanari, R., (2003). La metallografia nei beni culturali. Associazione Italiana di Metallurgia.

⁴³ Erika Guttmann-Bond (2010) Sustainability out of the past: how archaeology can save the planet, *World Archaeology*, 42:3, 355-366; Danielisová A., Olševičová K., Cimler R., Machálek T. (2015) Understanding the Iron Age Economy: Sustainability of Agricultural Practices under Stable Population Growth. *Advances in Geographic Information Science*. Springer, Cham

PARTE SECONDA
NUOVI CONTESTI DI SPERIMENTAZIONE

4. REALTÀ MISTA

La realtà mista è una tecnologia d'avanguardia che consente di creare ambienti in cui oggetti fisici ed oggetti virtuali non solo coesistono, ma possono anche interagire.

È una forma di realtà aumentata avanzata che non è mediata da un dispositivo mobile, come lo smartphone, ma da un dispositivo indossabile, sotto forma di occhiali.

4.1 Molteplici realtà

In riferimento a quanto descritto in precedenza è possibile osservare che lo sviluppo delle tecnologie digitali ha dato origine ad almeno tre diversi tipi di realtà, che vanno ad aggiungersi alla realtà fisica, esse sono: la realtà virtuale, la realtà aumentata e la realtà mista. Ognuna di queste si caratterizza per funzioni e modalità di fruizione differenti. Ognuna di queste, tuttavia, aggiunge qualcosa alla realtà fisica o alla conoscenza che abbiamo di essa. La realtà virtuale, ad esempio, che per le sue caratteristiche è considerata escludere la realtà fisica, può essere impiegata con profitto nella simulazione di situazioni potenzialmente pericolose o irripetibili⁴⁴. È il caso, ad esempio, dei simulatori virtuali utilizzati nello studio e nel trattamento delle fobie o dell'autismo⁴⁵; o, ancora, dei simulatori di volo che permettono di addestrare i piloti a reagire a situazioni di emergenza diversamente non riproducibili fisicamente in fase di volo, a meno di non mettere a rischio la vita del pilota stesso. In questo modo la realtà virtuale è in grado di accrescere le competenze umane nell'ambiente fisico. La realtà aumentata aggiunge dettagli virtuali e permette di

⁴⁴ Negroponete, N., (1995). Essere digitali. Sperling & Kupfer, Milano.

⁴⁵ Parsons, S., (2016). Authenticity in Virtual Reality for assessment and intervention in autism: A conceptual review. *Educational Research Review* 19, 138-157.

associarli, sovrapponendoli, ad a un'immagine, a un oggetto o a una coordinata spaziale, quindi ad un luogo. La realtà mista permette di interagire con questi dettagli tramite un'interfaccia utente naturale, quindi tramite la gestualità umana, continuando al contempo ad interagire anche con gli elementi dell'ambiente fisico.

4.2 Ologrammi

La realtà mista, quindi, si profila come una tecnologia additiva che opera un'integrazione di contenuti virtuali all'interno dell'ambiente fisico, presentandoli come ologrammi. Gli ologrammi sono oggetti fatti di luce e suono che rispondono alle sollecitazioni della vista, del gesto e della voce⁴⁶. Possono essere immagini bidimensionali o tridimensionali. Possono sovrapporsi ad elementi dell'ambiente fisico o essere messi in relazione con essi. Possono essere animati o interattivi. Possono essere spostati dal fruitore proprio come oggetti fisici e collocati in maniera tale da costruire nuove relazioni di significato con ciò che si trova loro attorno. Questa possibilità risulta particolarmente utile, ad esempio, in fase di esplorazione ed apprendimento delle informazioni relative ad un oggetto ma anche in fase di analisi dei dati. Come si è detto, gli ologrammi reagiscono a comandi di tipo visivo, vocale, e gestuale da parte dell'utilizzatore.

4.3 Modelli di interazione

Trattandosi di un'interfaccia utente naturale, nella realtà mista le modalità di interazione con i comandi sono mediate dai gesti del corpo, che comprendono anche lo sguardo e la voce. Questo comporta da parte dell'hardware la capacità di riconoscimento del movimento e del suono.

⁴⁶ <https://docs.microsoft.com/it-it/windows/mixed-reality/hologram> (consultato nel mese di Novembre 2019)

Il controllo tramite la vista (*gaze*) serve a direzionare un puntatore (l'equivalente della freccia del mouse) sull'oggetto con il quale s'intende interagire. Il controllo tramite la vista, nel caso specifico dell'hardware utilizzato (Microsoft HoloLens 1st generation), è legato al movimento della testa e non al tracciamento del movimento degli occhi.

A questa modalità, che consente di selezionare visivamente un oggetto, è solitamente associata la gestualità della mano (*gaze and commit*) e, in particolare, un movimento chiamato *air tap* che corrisponderebbe al click del mouse⁴⁷.

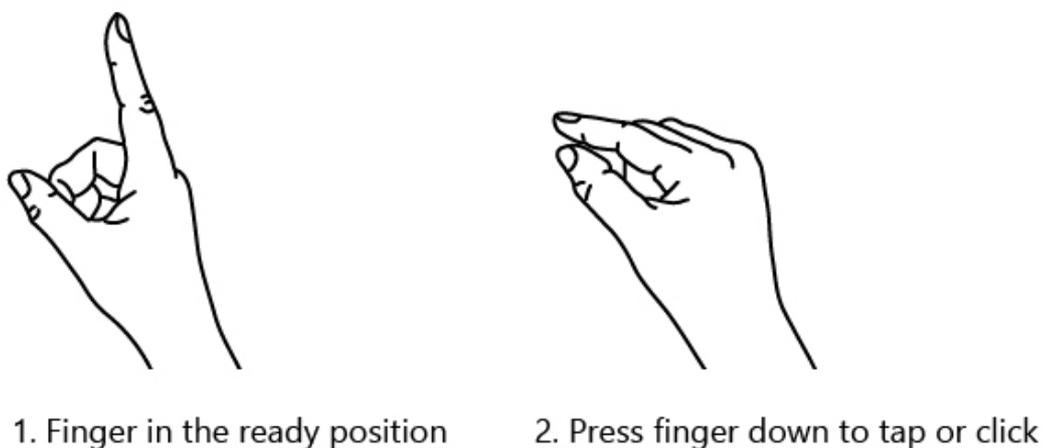


Figura 8. Come si esegue l'air tap. È costituito dalla sequenza di due movimenti. (Crediti d'immagine: <https://docs.microsoft.com/it-it/windows/mixed-reality/gestures>).

L'*air tap* è uno dei gesti basilari sul quale gli sviluppatori possono poi costruire nuove forme di interazione. Le applicazioni in realtà mista sono, infatti, in grado di riconoscere anche movimenti compositi. Il *tap and hold*, ad esempio è un movimento costruito sulla base dell'*air tap*, che però non prevede il rilascio del dito

⁴⁷ <https://docs.microsoft.com/it-it/windows/mixed-reality/gestures> (consultato nel mese di Novembre 2019)

indice. Bensì consente, mantenendo la posizione e spostando il braccio a destra e a sinistra, di spostare gli oggetti selezionati.



Figura 9. Esempio di comando gestuale *tap and hold* all'interno dell'app Preistoria Digitale.

Il riconoscimento dei movimenti delle mani viene effettuato dal dispositivo indossabile attraverso telecamere montate sul dispositivo stesso che rilevano ed interpretano il movimento degli arti superiori e delle dita della mano, all'interno però di una zona limitata chiamata *gesture frame*.

4.4 Il dispositivo indossabile

Le telecamere ed i sensori che permettono di interagire con gli ologrammi si trovano tutti all'interno di uno stesso dispositivo che è un vero e proprio computer indossabile. Questo studio, come anticipato nei paragrafi precedenti, prende in esame uno specifico dispositivo per la realtà mista che è Microsoft HoloLens (1st generation). Si tratta di un computer olografico che non necessita di collegamenti tramite cavo, né dell'installazione di sensori all'interno della stanza dove si intende ricreare l'esperienza, come avviene, invece, nel caso dei visori per la realtà virtuale che necessitano di una potenza di calcolo tale da richiedere una connessione cablata e costante con un computer esterno. Questo è uno dei motivi per cui le esperienze di realtà virtuale devono essere fruite in maniera statica (o hanno bisogno di sofisticate piattaforme per poter essere fruite in modo dinamico).



Figura 10. Microsoft HoloLens 1st generation. (Crediti d'immagine: <https://www.bbc.com/news/technology-35686616>).

Il dispositivo si indossa come un paio di occhiali e contiene anche il sistema di lenti che permette di visualizzare contemporaneamente gli ologrammi tridimensionali e la realtà fisica in cui sono integrati.

5. PREISTORIA DIGITALE

In questa tesi viene affrontato il tema della fruizione del patrimonio museale e della sua comunicazione e trasmissione tramite l'impiego di tecnologie digitali, in particolare di quelle che sfruttano un'interfaccia gestuale. Lo studio si basa su una ricerca di tipo teorico, ma al tempo stesso si svolge nell'ambito di un'esperienza di trasferimento tecnologico il cui scopo è quello di verificare se è possibile creare una sinergia tra Impresa ed Università per lo sviluppo di nuove forme di comunicazione e fruizione digitale del patrimonio. La ricerca teorica inerente all'impiego delle tecnologie digitali nei musei è stata, quindi, affiancata da una sperimentazione tecnologica svolta in collaborazione con due aziende ferraresi: TryeCo 2.0 s.r.l. e WeAR s.r.l.. Il risultato di questo scambio di conoscenze e competenze si è tradotto nella creazione di un prototipo di applicazione di realtà mista, su device Microsoft HoloLens, chiamata **Preistoria Digitale**. La ricerca svolta per la realizzazione dell'applicazione ha affrontato temi di diversa natura:

- Preistoria ed evoluzione tecnologica: poiché questo abito più di altri presenta le evidenze archeologiche meno tangibili e più difficilmente interpretabili, sia da parte dei ricercatori che da parte dei visitatori;
- Sostenibilità: perché il tema dell'evoluzione tecnologica è legato a doppio filo a quello dell'impatto ambientale;
- Società: perché lo sviluppo sociale è influenzato dallo sviluppo tecnologico e dallo sfruttamento delle risorse;
- Processi produttivi, quindi economia: poiché i processi tecnologici possono avere un'importanza di tipo economico in grado di modificare l'assetto di una società.

Il criterio con cui è stata costruita questa applicazione è quello della trasmissione di conoscenze tramite l'esperienza e, poiché il gesto umano è in grado di creare conoscenza migliorando i processi di apprendimento, l'app lo coinvolge a più livelli: sia dal punto di vista dell'interazione che dal punto di vista dei contenuti.

Per quanto riguarda l'interazione si è scelto di utilizzare la realtà mista, poiché questa tecnologia sfrutta un'interfaccia utente di tipo naturale e può far riferimento contemporaneamente a più canali di percezione e comunicazione umana: voce/udito, vista e movimento. Grazie a queste caratteristiche la realtà mista consente di utilizzare comandi vocali, di udire suoni o parole, di selezionare oggetti virtuali utilizzando la vista e di interagire con essi direttamente tramite il movimento del corpo e delle mani (avvicinandosi ed allontanandosi, girandoci intorno, spostandoli, ingrandendoli, ruotandoli).

Dal punto di vista dei contenuti si è scelto di porre l'attenzione sull'evoluzione tecnologica preistorica, sulla scelta e lo sfruttamento delle materie prime e sulle catene operative che coinvolsero il gesto e l'intelletto umano. A questo scopo, ad esempio, sono state selezionate delle sequenze di filmati di archeologia sperimentale realizzati con la collaborazione dell'Instituto Terra e Memoria di Mação (Portogallo) e dell'equipe del corso di cinema documental dell'Instituto Politecnico di Tomar (Portogallo). I filmati hanno la funzione di illustrare le trasformazioni indotte dai processi produttivi e sono focalizzati sul gesto della mano umana, sul ripetersi di determinate sequenze di movimenti e sui possibili impieghi degli oggetti realizzati.

La realtà mista che è la tecnologia alla base di questa sperimentazione è stata scelta in quanto rappresenta il tentativo di recuperare l'importanza della dimensione

esperienziale della fruizione e al tempo stesso l'importanza del gesto e del patrimonio gestuale. L'esperienza, infatti, influenza profondamente i meccanismi di apprendimento, specialmente nei giovani. Valorizzare la dimensione attiva della fruizione è lo scopo di questa sperimentazione. D'altro canto, la dimensione esperienziale dell'apprendimento è sempre meno valorizzata, mentre antichi mestieri artigiani vanno perdendosi insieme al patrimonio di gesti ad essi associati e alla sensibilità verso le materie prime e l'ambiente, che le attività artigianali permettevano di sviluppare. Nell'applicazione si fa riferimento anche al paesaggio, al paleoambiente e agli ambienti di approvvigionamento proprio per questo motivo: per costruire una serie di relazioni significative tra gesto e ambiente che siano immediatamente visibili grazie ai contenuti digitali costituiti da immagini, filmati e ricostruzioni 3D.



Figura 11. Schema dell'impianto concettuale dell'app Preistoria Digitale

5.1 Impianto concettuale dell'applicazione

Nell'app *Preistoria Digitale*, dunque, il gesto è inteso sia come patrimonio gestuale sia come gestualità dell'utilizzatore ed è valorizzato nel primo caso tramite la scelta dei contenuti digitali, che mostrano attività di archeologia sperimentale; nel secondo

caso tramite una tecnologia di realtà mista, che è basata su un'interfaccia di tipo gestuale.

Il tema guida è quello dell'evoluzione tecnologica dell'uomo raccontata attraverso il rapporto dell'uomo con l'ambiente e i processi di trasformazione delle materie prime. Si è cercato, in questo modo, di costruire un apparato interattivo che favorisse la contestualizzazione dei reperti e la comprensione di relazioni di causa ed effetto legate non solo alla produzione ma anche alle modificazioni paesaggistiche ed ambientali. Questa scelta tematica ha chiare implicazioni che riguardano le scelte e le strategie adottate (e da adottare) in materia di sviluppo sostenibile e cambiamenti globali, oltre che i fenomeni di trasformazione e adattamento. Per raccontare le trasformazioni che hanno determinato l'evoluzione tecnologica sono stati costruiti tre ambienti virtuali, fruibili attraverso la realtà mista e corrispondenti a tre diverse epoche storiche, contraddistinte da altrettante innovazioni tecnologiche, rappresentate in maniera simbolica da tre diversi reperti, ognuno costruito con materiale differente, dalla pietra al metallo.



Figura 12. I tre ambienti di realtà mista. Da sinistra: Neolitico, Età metalli e Paleolitico, con i relativi contenuti organizzati in livelli di significato.

5.2 Livelli di contenuto

Ogni ambiente è costruito attorno a quattro livelli di significato che sono derivati direttamente dagli elementi cardine dell'indagine archeologica ed in particolare di quella preistorica. I quattro livelli sono:

1. Record archeologico;
2. Ricostruzione della catena operativa;
3. Risorse e paleoambiente;
4. Uso.

Questi, poi, sono stati tradotti graficamente in oggetti virtuali costituiti da immagini, filmati e modelli tridimensionali che si presentano al fruitore sotto forma di ologrammi.

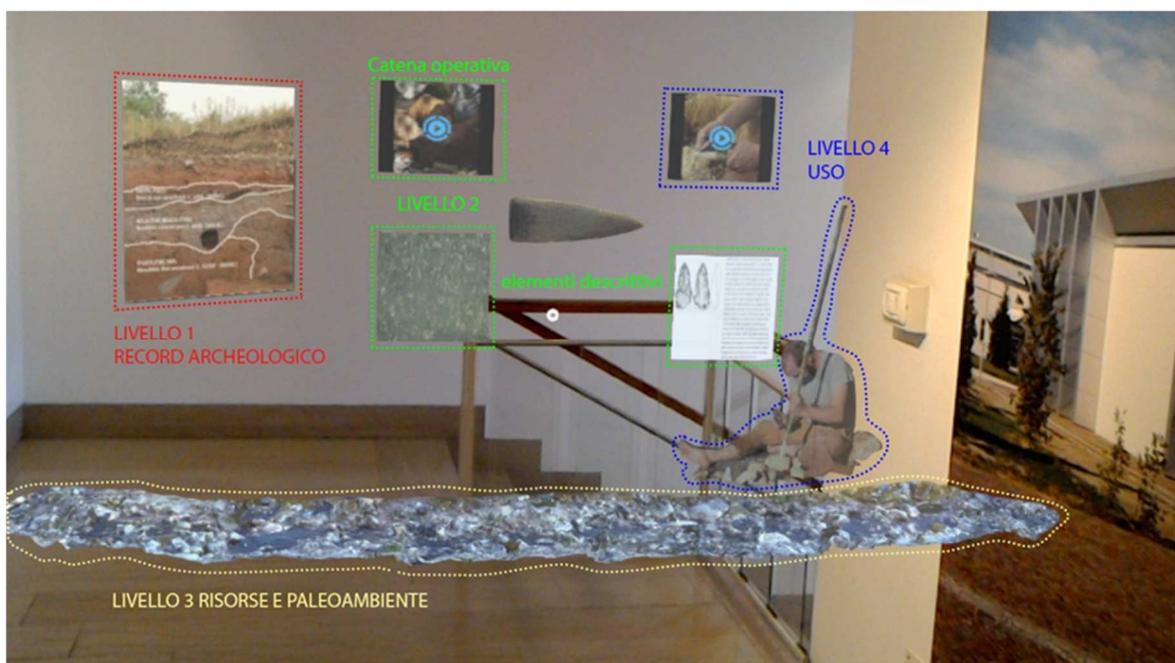


Figura 13. I livelli di contenuto all'interno dell'applicazione.

Il record archeologico, che costituisce il **Livello 1**, è rappresentato da una stratigrafia che costituisce anche il menu di navigazione. Per record archeologico s'intende quell'insieme di manufatti e testimonianze archeologiche che il visitatore vede entrando in un museo o visitando un sito archeologico.

Questi luoghi racchiudono oggetti insoliti, legati tra loro da storie difficili da immaginare. A volte si tratta di luoghi talmente grandi e con un patrimonio talmente vasto che possono disorientare il visitatore. La stessa cosa avviene per gli archeologi che si imbattono nelle evidenze archeologiche, specialmente in quelle preistoriche, il cui contesto di utilizzo è così difficile da ricostruire. In entrambi i casi quindi, si può affermare che il record, l'evidenza, il reperto è il punto di partenza: ciò da cui la riflessione ha origine. Un ricercatore esperto del settore potrebbe contestare questa affermazione perché in realtà una ricerca non parte da un record archeologico, ma da accurate valutazioni che vengono fatte prima di procedere allo scavo vero e proprio. È però vero che il record archeologico è ciò a cui si trovano di fronte sia i visitatori che i ricercatori. Si è deciso, quindi, di valorizzare il più possibile i punti in comune tra chi fruisce e chi ricerca, in modo tale che il visitatore si possa immedesimare nell'attività di scientifica di ricerca e che, al tempo stesso, il ricercatore sia facilitato nel coniugare i diversi aspetti della sua indagine.

La realtà mista, infatti, è uno strumento che può servire sia a scopo di fruizione museale sia a scopo di studio, agevolando la gestione dei dati. Per il visitatore, inoltre, potrebbe essere stimolante sapere che sta utilizzando lo stesso strumento che i ricercatori hanno usato per studiare il reperto che ha di fronte e che, quindi, sta osservando quell'oggetto con gli occhi di un ricercatore. Questa consapevolezza potrebbe aumentare l'entusiasmo di chi visita il museo perché, anziché sentirsi escluso ed inadeguato rispetto al processo e al ragionamento scientifico che sta alla base dell'esposizione, vi è incluso. Si tratta, inoltre, di una forma di valorizzazione di una delle funzioni fondamentali dell'istituzione museale, cioè quella della ricerca⁴⁸, nonché del lavoro di quei professionisti che a quella funzione contribuiscono.

⁴⁸ <http://www.icom-italia.org/definizione-di-museo-di-icom/>

Il record archeologico dell'applicazione *Preistoria Digitale* è costituito da tre oggetti, di materiale differente, inseriti in strati diversi all'interno di una stratigrafia.

Si tratta di una raffigurazione in termini spaziali e temporali dell'evoluzione tecnologica operata dall'uomo nei millenni. Accanto ad ogni oggetto vi è una didascalia che ne fornisce una datazione e il fruitore può interagire con uno degli oggetti per muoversi da un'epoca all'altra ed evocare i contenuti relativi.

La raffigurazione è stata costruita sulla base del sistema delle Tre Età e sul principio di sovrapposizione stratigrafica. Il sistema delle Tre Età è una delle prime periodizzazioni proposte dagli archeologi nel XIX secolo, un primo modo di organizzare la conoscenza delle società del passato acquisita attraverso lo studio dei manufatti archeologici⁴⁹. La suddivisione proposta da C.J. Thomsen, per quanto anacronistica e per certi aspetti superata, può essere considerata ancora valida per la rappresentazione e la comunicazione dell'evoluzione tecnologica attraverso le epoche, con le dovute revisioni e aggiornamenti. Da questo punto di vista, la suddivisione nelle Tre Età è importante perché pone l'accento sui materiali e, quindi, sulla tecnologia impiegata per produrli, ma anche sulle caratteristiche dei manufatti archeologici stessi. Poiché prende le mosse dal record archeologico, si tratta di una periodizzazione che parte dal dato oggettivo che si offre all'archeologo e al ricercatore in fase di scavo o di analisi. Diversamente dal sistema originario, che identificava le Tre Età con Età della pietra, Età del bronzo ed Età del ferro, nel caso dell'applicazione *Preistoria Digitale* le tre età si riferiscono a Paleolitico, Neolitico ed Età dei metalli. Come materiali di riferimento sono stati scelti materiali inorganici, perché quelli organici difficilmente si sono conservati sotto forma di evidenze archeologiche fino ai nostri giorni. Gli oggetti realizzati in materiali organici come fibre vegetali e pelli, tuttavia, hanno con ogni probabilità accompagnato l'uomo fin

⁴⁹ Renfrew, C. e Bahn, P., (2006). *Archeologia. Teorie, metodi, pratiche*. Zanichelli, Bologna.

dai primordi della sua esistenza, sotto forma di bastoni, cesti intrecciati, borse di pelle, pellicce, ecc. Allo stesso modo vengono studiate, anche grazie all'archeologia sperimentale, le sequenze della produzione di questi oggetti e per la loro contestualizzazione potrebbe essere impiegato il medesimo approccio proposto da dall'applicazione *Preistoria Digitale*.

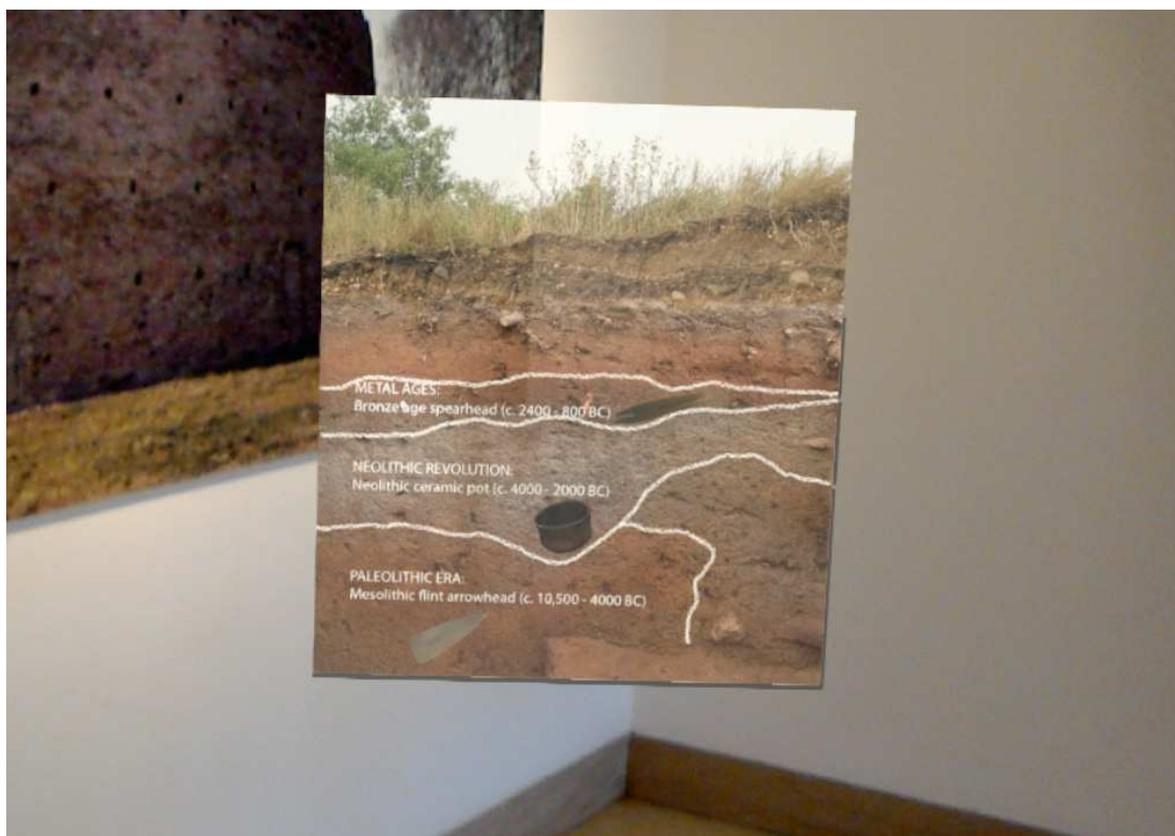


Figura 14. L'ologramma del Livello 1, rappresentato dalla stratigrafia, che costituisce anche il menù di navigazione tra gli ambienti.

Il primo livello, dunque, è rappresentato dal record archeologico che è collocato all'interno di una cronologia stabilita sulla base del sistema delle Tre Età e che è rappresentata da una sezione stratigrafica, evocando, in questo modo, il principio di sovrapposizione stratigrafica, per cui è possibile stabilire una cronologia relativa sulla base del susseguirsi dei vari strati. Il principio di sovrapposizione stratigrafica venne inizialmente stabilito in ambito geologico, ma ben presto divenne di fondamentale importanza anche per gli studi sul passato dell'uomo.

A causa della scelta dei modelli di riferimento sopra elencati, il Livello 1 dell'esperienza immersiva può costituire, dal punto di vista del ricercatore e dell'archeologo esperto, un tuffo anacronistico nella storia dell'archeologia. Le conquiste scientifiche ed intellettuali a cui il Livello 1 fa riferimento, tuttavia, costituiscono ancor oggi principi fondamentali nella ricerca archeologica e, alla fine del XIX Secolo hanno consentito a questa disciplina di nascere e di svilupparsi⁵⁰. Il principio della sovrapposizione stratigrafica permette di affermare che lo strato più basso è più antico e di stabilire, quindi, una cronologia relativa per i manufatti rinvenuti all'interno dei diversi strati. Il Sistema delle Tre Età invece ha posto le basi della datazione su base tipologica degli oggetti rinvenuti. L'integrazione dei due principi è stata alla base dello sviluppo della disciplina archeologica. Nel Livello 1, dunque, la cronologia geologica (derivata dal principio di sovrapposizione stratigrafica) e quella tecnologica (derivata dal Sistema delle Tre Età) si integrano per costituire il punto di partenza e di riferimento per l'esplorazione dei tre ambienti virtuali. Il Livello 1, infatti, costituisce anche il menu di navigazione, che permette al fruitore di spostarsi attraverso le epoche, ed è attivabile interagendo con uno dei tre oggetti dalla stratigrafia. Estruendo in prima persona l'oggetto dalla stratigrafia viene ricalcato il gesto dell'archeologo e il fruitore viene coinvolto nel processo di scavo e di studio in quanto, tramite quel gesto, può identificarsi all'interno del processo stesso.

Il **Livello 2** dell'applicazione raccoglie le informazioni relative all'analisi del manufatto e al processo produttivo che ha condotto alla sua realizzazione. Per la rappresentazione del concetto di catena operativa, che è la guida dei moderni studi tecnologici in archeologia, è stato fondamentale avvalersi dell'aiuto dell'archeologia

⁵⁰ Renfrew, C. e Bahn, P., (2006). Archeologia. Teorie, metodi, pratiche. Zanichelli, Bologna.

sperimentale. Questa disciplina ha un ruolo importante non solo nel fornire dati scientifici a supporto delle interpretazioni archeologiche, ma anche nella comunicazione dei risultati delle ricerche.

Il Livello 2 viene evocato estraendo uno dei tre oggetti dalla stratigrafia e utilizza modelli tridimensionali, filmati, fotografie e testi per rappresentare graficamente i risultati degli studi tecnologici e archeometrici volti a caratterizzare il reperto e le modalità della sua produzione. Il modello tridimensionale interattivo del reperto è utilizzato per consentire al visitatore o al ricercatore di esplorarne l'aspetto. Grazie alla realtà mista è possibile, infatti, avvicinarsi, girare intorno al modello, spostarlo, ingrandirlo e ruotarlo. Il filmato viene utilizzato per presentare la sequenza di movimenti necessaria alla realizzazione del reperto selezionato. Le fotografie ed i testi vengono evocate interrogando l'oggetto con uno specifico gesto detto *air tap* e contengono informazioni che descrivono l'oggetto sia dal punto di vista storico, sia da quello archeometrico.



Figura 15. Livello 2. Il modello tridimensionale dell'oggetto con i contenuti virtuali, evocati dall'*air tap*, che ne descrivono storia e caratteristiche.

Una catena operativa deriva da un progetto ed è volta a soddisfare un bisogno attraverso la costruzione di un oggetto, di cui sarà fatto specifico uso. L'intero processo produttivo, dunque, è composto da due dimensioni: una concettuale data dall'idea dell'oggetto ed una fisica data dalla materia prima e dai gesti impiegati per lavorarla. Le risorse ambientali, la materia prima raccolta e le sue caratteristiche costituiscono delle variabili rispetto all'idea progettuale. La sequenza di operazioni e gestualità impiegata dovrà quindi tenere conto di entrambe le dimensioni, quella ideativa e quella materiale. A sua volta anche la gestualità impiegata può costituire una variabile, poiché dipende dalla conoscenza e dalla abilità pratica dell'individuo che agisce sulla materia⁵¹. Lo studio tecnologico di un reperto deve tenere conto di tutte queste variabili e l'archeologia sperimentale è fondamentale per lo studio di quella che poteva essere la "situazione presente" e di tutte le sue variabili e delle possibili risposte che l'uomo, attraverso il gesto, ha dato ad esse. Si potrebbe dire che ogni adattamento dell'uomo al suo ambiente costituisce un esempio di resilienza. Le strategie adattative che l'uomo attua comprendono e promuovono le innovazioni tecnologiche. I documenti video utilizzati mostrano, quindi, tramite il coinvolgimento di tecnici archeologi, le catene operative che portano alla manifattura di strumenti litici, contenitori ceramici ed oggetti in metallo. Mostrare queste sequenze di gesti può sembrare anacronistico, una pura velleità dato che l'uomo non ha più bisogno di scheggiare la pietra per costruire strumenti dai lati taglienti, così come non deve modellare e cuocere l'argilla per poter ottenere dei contenitori. Allo stesso modo, anche il processo di produzione di oggetti in metallo è molto cambiato nel tempo. Qual è dunque il fine di mostrare questi contenuti? Questi contenuti dovrebbero far riflettere sulla potenzialità della mano umana, sul

⁵¹ Arzarello, M., Fontana, F., Peresani, M., (2011). Manuale di tecnologia litica preistorica. Cocetti, metodi e tecniche. Carocci editore.

ruolo che ha avuto nell'evoluzione della nostra specie e sul ruolo che ancora oggi potrebbe avere, se la gestualità umana non fosse sempre più confinata dalla diffusione di nuove tecnologie che la coinvolgono solo in minima parte. Questo fattore, unito allo sviluppo ed all'impiego di nuovi materiali nell'industria sta portando alla scomparsa di antichi mestieri e con essi alla scomparsa di antiche gestualità ed abilità manuali. Fino a che punto è possibile rinunciare alla manualità? Ci saranno sempre soluzioni tecnologiche in grado di sostituirsi alle nostre mani e ai nostri gesti? E saranno accessibili (economicamente) da parte di tutti quanto lo è il gesto e l'abilità manuale?

La mano (insieme al tatto), infatti, ha ricoperto un ruolo importante nello sviluppo degli ominidi a livello cerebrale e di diffusione della specie. La mano, inoltre, nel caso della specie umana possiede un'elevatissima specializzazione e precisione di movimento, permettendo all'uomo di distinguersi tra gli altri animali⁵². L'uomo è in grado di scegliere una determinata materia prima e di lavorarla per creare delle estensioni del proprio corpo, estensioni che porta con sé e che non sfrutta semplicemente in maniera opportunistica, ma anche come mezzo di espressione della propria identità. Col tempo, sviluppando una metodologia e innovandola continuamente, l'uomo ha creato una vera e propria cultura materiale. Gli oggetti e i gesti hanno cominciato ad assumere un valore simbolico, oltre che tecnologico. A questo proposito si pensi, ad esempio, alle rappresentazioni dell'arte rupestre paleolitica, alle asce in pietra levigata e agli oggetti in rame o altri metalli rinvenuti nei corredi funebri di età più tarda. Come ha osservato Ian Hodder la cultura materiale è parte integrante e fattore attivo all'interno di una società, determinandone le possibilità di sviluppo ed evoluzione. Nella cultura materiale, dunque, si riflettono pensieri, oltre che azioni, ed è l'unione di questi due elementi a

⁵² Di Napoli, G. (2004) *Disegnare e conoscere. La mano, l'occhio, il segno*. Giulio Einaudi Editore, Torino.

determinare le caratteristiche della società ed il suo futuro⁵³. Le condizioni ambientali giocano anch'esse un ruolo fondamentale in questa trasformazione.



Figura 16. Un fotogramma dal documento video realizzato per descrivere il la catena operativa alla base della produzione ceramica.

Il **Livello 3** dell'applicazione, per i motivi esposti sopra, è dedicato al paleoambiente e alle fonti di approvvigionamento delle materie prime. In questo livello s'intende rappresentare graficamente tutto ciò che può essere desunto rispetto all'ambiente tramite l'analisi dei reperti archeologici. Le informazioni relative a questo campo d'indagine provengono soprattutto dallo studio dei reperti archeobotanici e faunistici, ma anche dalle analisi forensi eseguite sui resti umani: questi possono dare informazioni in merito alla dieta e, quindi, indirettamente, in merito all'ambiente. La geologia e la paleontologia, inoltre, possono contribuire all'indagine ambientale su scala mondiale e consentono di individuare, ad esempio, antiche linee di costa e paleoalvei⁵⁴. Le fonti di informazione tramite le quali è possibile desumere

⁵³ Hodder, I. (1992). *Leggere il passato*. Einaudi Editore, Torino.

⁵⁴ Renfrew, C. e Bahn, P., (2006). *Archeologia. Teorie, metodi, pratiche*. Zanichelli, Bologna.

informazioni dirette ed indirette riguardo al paleoambiente sono: pollini, resti di semi e frutti, carboni, ossa e resti animali e umani, ma anche fossili e sedimenti.

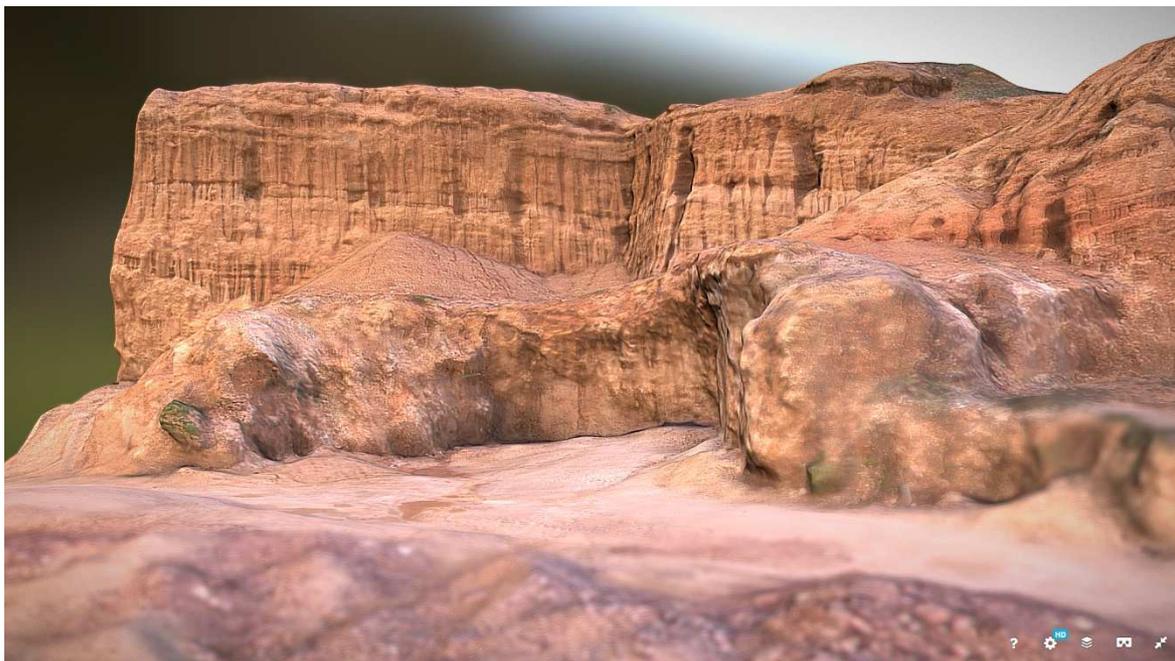


Figura 17. Modello tridimensionale di una cava di minerali contenenti rame, sfruttata per la produzione di oggetti metallici. Rappresenta il Livello 3 all'interno dell'Età dei Metalli. (Crediti del modello: GSXNet⁵⁵)

Il Livello 3 rappresenta anche l'ambiente inteso come fonte di approvvigionamento della materia prima, elemento, questo, che ha certamente determinato, ieri come oggi, precise scelte strategiche da parte dell'uomo. La funzione di questo livello è quella di rimarcare la stretta relazione tra oggetti, materie prime e paesaggio per favorire la comprensione dell'intero processo produttivo, partendo dall'oggetto finito fino a tracciare la provenienza del materiale o dei materiali che lo compongono. Il Livello 3, in questo modo, può rappresentare anche i risultati degli studi di provenienza dei materiali condotti, ad esempio, in ambito geologico tramite le analisi geochimiche (studio degli elementi in traccia, analisi isotopiche)⁵⁶. All'interno dell'ambiente misto il terzo livello è costituito dal modello tridimensionale di un luogo

⁵⁵ <https://sketchfab.com/3d-models/open-pit-mine-f631584e90df411bafc1aa9fd117e713>

⁵⁶ Arzarello, M., Fontana, F., Peresani, M., (2011). Manuale di tecnologia litica preistorica. Cocetti, metodi e tecniche. Carocci editore.

o di un elemento paesaggistico che permetta di contestualizzare l'oggetto mettendolo in relazione con gli elementi ambientali che ne hanno permesso la realizzazione.

Il **Livello 4** propone una ricostruzione ipotetica dell'impiego degli oggetti prodotti e della gestualità ad essi legata. Confluiscono in questo livello, ad esempio, i risultati delle analisi tecnologiche sulle tracce d'uso dell'industria litica e degli strumenti in metallo e quelli delle analisi gas-cromatografiche, eseguite per studiare il contenuto dei vasi ceramici. Anche in questo caso il contributo dell'archeologia sperimentale è stato determinante per la realizzazione dei contenuti specifici che consistono in sequenze filmate dove vengono impiegati gli oggetti di cui precedentemente sono state raccontate caratteristiche e metodi di produzione.

Si sa molto poco dell'uso che veniva fatto dei vari oggetti e ancora meno si sa della gestualità alla base del loro utilizzo. I ricercatori formulano ipotesi e queste sono talvolta avvalorate dai risultati delle analisi tecnologiche condotte sui manufatti. Queste indagini sono in grado di stabilire che determinati oggetti sono stati utilizzati per interagire con determinati materiali. Esse permettono quindi di creare delle associazioni di manufatti su base tecnologica, anziché tipologica, e di confrontare eventualmente le due classificazioni per poter fare delle deduzioni.

Osservando un oggetto musealizzato all'interno di una vetrina, difficilmente il visitatore potrà avere accesso ad informazioni relative al suo utilizzo. Pur trattandosi di oggetti creati dalla mano per la mano, il fatto di non poterli toccare e maneggiare rende più difficile immaginarne l'impiego. Molto spesso risulta addirittura difficile capire come venissero impugnati e maneggiati alcuni oggetti particolarmente inusuali rispetto al contesto culturale di riferimento del visitatore, specialmente nel caso degli oggetti preistorici. In altri casi, ancora, è il fatto che il reperto in mostra

facesse parte di un'oggetto più grande e complesso, le cui componenti non si sono conservate, che può disorientare il visitatore. Per questo è così importante poter estrarre gli oggetti dalle vetrine e le tecnologie digitali permettono di farlo, virtualmente.



Figura 18. Fotogramma estratto dal filmato realizzato per rappresentare il Livello 4 relativo all'USO. In questo caso si tratta dell'impiego dell'industria litica all'interno dell'ambiente Paleolitico.

§

Questo progetto insiste molto sul ruolo della gestualità, della tecnologia intesa come abilità tecnica e dell'impiego di materiali diversi, perché si basa sull'idea che la cultura materiale sia un fattore attivo nella definizione di una società⁵⁷. Questo significa che la conoscenza della cultura materiale, oltre ad aiutare gli archeologi a formulare ipotesi sui rapporti socioeconomici nell'antichità, permette anche ai cittadini di scegliere che tipo di società costruire oggi per il futuro. A chi li osserva, seppure a millenni di distanza, i processi tecnologici possono fornire informazioni relative al modo in cui le società passate sfruttavano le materie prime e le risorse ambientali, alla loro economia ed organizzazione, al loro sistema di valori e al loro

⁵⁷ Hodder, I. (1992). *Leggere il passato*. Einaudi Editore, Torino.

comportamento simbolico. La comprensione dei processi tecnologici permette, dunque, approfondimenti anche a livello ecologico, socioeconomico e cognitivo.

È opportuno specificare, inoltre, che l'applicazione *Preistoria Digitale* è un prototipo nato per studiare nuovi approcci di comunicazione e nuove forme di apprendimento all'interno dei musei, attraverso le tecnologie digitali. Non nasce come gioco, non prevede tutti quei principi che sono alla base della "ludicizzazione" della vita quotidiana, alla quale sempre più frequentemente si assiste. Questi sono, ad esempio, l'acquisizione di punti, le strutture a livelli etc. Non vi è all'interno di questa applicazione nessuna competizione, tipica dei videogames, nessuna missione da compiere o obiettivo da raggiungere. Si tratta semplicemente di esplorare un'oggetto in maniera nuova, in un ambiente misto che fa dialogare contenuti virtuali ed oggetti fisici, dove le informazioni sono presentate in maniera differente. Quella che viene esplorata, quindi, è una nuova forma di comunicazione e di fruizione le cui regole devono ancora essere scritte. Per questo si tratta di una sperimentazione: perché attraverso la progettazione e lo sviluppo di questa applicazione si vogliono indagare le potenzialità ed i limiti della tecnologia digitale e anche quelli della comunicazione e fruizione dei contenuti.

CONCLUSIONI

La ricerca si è mossa nell'ambito delle *Digital Humanities* e ha preso in esame dapprima le peculiarità dell'era digitale, ha cercato di analizzarne le trasformazioni e le implicazioni nei processi di costruzione della conoscenza.

Ha esaminato, poi, l'applicazione delle tecnologie digitali nel campo della comunicazione museale, la loro varietà e le loro caratteristiche ai fini della fruizione e della valorizzazione delle collezioni.

Questa analisi ha imposto una riflessione sul ruolo del museo contemporaneo ed, in particolare, del museo di preistoria, che conserva testimonianze fragili e, ad un primo impatto, così diverse dai tanti oggetti della quotidianità attuale. Nei musei preistorici il filo della narrazione storica sembra assottigliarsi, sembra sparire per un momento per poi riapparire poco più avanti, mentre il racconto cede spazio alle domande. Il visitatore spesso si confronta con materiali (più che con veri e propri oggetti) di cui non è facile ricostruire né l'assetto originario né l'uso. Nei musei e nei siti preistorici, insomma, la Storia sembra essersi nascosta e gli indizi sugli avvenimenti passati vengono da insospettabili testimonianze. Non sono più i muri, le case, i templi, gli scritti ad alimentare il racconto, ma pollini, ossa, pietre, frammenti di argilla cotta, la terra, i resti vegetali... Nei musei di preistoria è più che mai il territorio a parlare e questo impone, a ricercatori e visitatori, un grande sforzo interpretativo.

Le tecnologie digitali, per la loro capacità di rendere visibile ciò che non è più tangibile, possono essere un valido strumento per migliorare la comunicazione e la fruizione delle collezioni preistoriche e, in questo modo, valorizzarle. Queste tecnologie, inoltre, si servono di un linguaggio prevalentemente visivo, il che ha due vantaggi: da una parte rende la fruizione più inclusiva, agevolando la trasmissione

delle informazioni tramite il superamento delle barriere linguistiche; dall'altra favorisce la creazione di memorie relative alle informazioni ricevute e, quindi, l'apprendimento.

Vi è una forma di apprendimento, tuttavia, che può essere penalizzata da un uso scorretto delle tecnologie digitali, si tratta dell'apprendimento legato al gesto. Poiché nell'impiego delle tecnologie digitali coesistono rischi ed opportunità di innovazione, per ridurre i primi e promuovere le seconde, risulta fondamentale la costruzione di un apparato critico che affianchi quello strumentale. Il ruolo delle scienze umane in questo contesto si delinea come essenziale.

La ricerca ha quindi preso in esame gli studi neuroscientifici che hanno messo in luce le profonde relazioni tra gesto e processi cognitivi; ha, inoltre, analizzato l'importanza del gesto nell'evoluzione biologica e tecnologica dell'uomo; nella definizione di catene operative e processi produttivi; nonché nella sua capacità trasformatrice, anche a livello socioeconomico ed ambientale.

La sperimentazione tecnologica, volta ad esplorare nuove forme di comunicazione e fruizione del patrimonio culturale, ha preso le mosse da questi assunti, facendo del gesto un elemento cardine, sia a livello di tecnica che di contenuto.

Il sistema di realtà mista, oggetto della sperimentazione, è stato scelto perché consente un'ibridazione della realtà fisica con quella virtuale. In questo modo è possibile offrire al visitatore un'esperienza di conoscenza mediata il più possibile dalla propria gestualità. La realtà mista, infatti, utilizza un'interfaccia di tipo naturale che, pur non sostituendo la percezione aptica, può contribuire al recupero di uno strumento di conoscenza molto importante, quale è il gesto, a fronte di un suo sottoutilizzo nell'ambito dell'interazione digitale.

La sperimentazione, condotta in questo ambito, tramite lo sviluppo dell'applicazione *Preistoria Digitale*, ha mostrato come le tecnologie digitali, in continuo sviluppo, possano contribuire all'arricchimento delle forme di fruizione e valorizzazione delle collezioni, ma anche come non siano ancora in grado di sostituire l'esperienza fisica dell'interazione coi materiali che, ove possibile, andrebbe sempre integrata, in quanto forma di comunicazione complementare a quella digitale.

Il lavoro di ricerca, non solo finalizzato alla realizzazione dell'applicazione, ha anche messo in luce il ruolo chiave dell'archeologia sperimentale nella divulgazione, analogica o digitale, dei risultati delle ricerche archeologiche e dell'importanza della dimensione gestuale umana. Sarebbe, dunque, un bene se attività di questo genere divenissero parte integrante non solo dell'offerta museale, ma anche dell'apparato di ricerca del museo stesso.

In conclusione, il lavoro intende suggerire la necessità di nuovi approcci alla trasmissione e costruzione di conoscenze in ambito museale. Approcci che favoriscano l'insorgere di domande, mentre offrono "risposte"; che valorizzino le attività di ricerca e il lavoro dei ricercatori, oltre al reperto. Poiché entrambe sono opere dell'ingegno umano, entrambe possono costituire dei modelli per la costruzione del futuro. È importante che il museo restituisca prima di tutto all'Uomo la coscienza di sé e la consapevolezza di ciò che è stato per poter provare a scegliere ciò che sarà. A questo fine, la sapiente integrazione di tecnologie e saperi vecchi o nuovi, analogici o digitali, umanistici o scientifici, è ciò che potrà fare la differenza.

BIBLIOGRAFIA

- Arzarello, M., Fontana, F., Peresani, M., (2011). Manuale di tecnologia litica preistorica. Cocetti, metodi e tecniche. Carocci editore.
- Biondi G. e Rickerds, O., (2012). Umani da sei milioni di anni. Carocci Editore, Roma.
- Braidotti, R., (2014). Il postumano. La vita oltre l'individuo, oltre la specie, oltre la morte. DeriveApprodi, Rome.
- Caronia, A., (2002). Dopo l'uomo. Cyberzone n. 16
- Cavallini, M., Montanari, R., (2003). La metallografia nei beni culturali. Associazione Italiana di Metallurgia.
- Cocchi Genick, D., (2009). Preistoria. QuiEdit; Arzarello, M., Fontana, F., Peresani, M., (2011). Manuale di tecnologia litica preistorica. Cocetti, metodi e tecniche. Carocci editore.
- Coles, J., (1981). Archeologia sperimentale. Longanesi, Milano.
- Danielisová A., Olševiřová K., Cimler R., Machálek T. (2015) Understanding the Iron Age Economy: Sustainability of Agricultural Practices under Stable Population Growth. In: Wurzer G., Kowarik K., Reschreiter H. (eds) Agent-based Modeling and Simulation in Archaeology. Advances in Geographic Information Science. Springer, Cham
- Di Napoli, G. (2004) Disegnare e conoscere. La mano, l'occhio, il segno. Giulio Einaudi Editore, Torino.
- Fragaszy, D.M. e Eshchar, Y. (2017). Tool Use in Nonhuman Primates: Natural History, Ontogenetic Development and Social Supports for Learning. *Evolution of Nervous Systems (Second Edition)* 3, 317-328.
- Fusaro, M., Tieria, G., Aglioti, S.M., (2019). Influence of cognitive stance and physical perspective on subjective and autonomic reactivity to observed pain and pleasure: An immersive virtual reality study. *Consciousness and Cognition* 67, pp. 86–97.
- Gentilucci, M. e Corballis M.C. (2006). From manual gesture to speech: a gradual transition. *Neuroscience and biobehavioral Reviews* 30, 949-60.

- Erika Guttmann-Bond (2010) Sustainability out of the past: how archaeology can save the planet, *World Archaeology*, 42:3, 355-366.
- Hodder, I. (1992). *Leggere il passato*. Einaudi Editore, Torino.
- Iriki, A., Tanaka, M., Iwamura, Y. (1996). Coding of modified body schema during tool use by macaque postcentral neurones. *Neuroreport* 7, pp. 2325-30
- Jakobson, R., (1960). Linguistics and Poetics. In T. Sebeok, ed., *Style in Language*, Cambridge, MA: M.I.T. Press, pp. 350-377.
- Kallir, A. (1994). *Segno e disegno. Psicogenesi dell'alfabeto*. Spirali/Vel, Milano.
- Leroi-Gouhyan, A. (1977). *Il gesto e la parola*. Torino: G. Einaudi.
- Menéndez, M., Mas, M., Mingo, A. (2009). *El arte en la Prehistoria*. UNED
- Mannoni, T. & Giannichedda, E., (2014). *Archeologia della produzione*. Torino : Piccola biblioteca Einaudi.
- Marchesini, R., (2002). *Post-human. Verso nuovi modelli di esistenza*, Bollati Boringhieri.
- McLuhan, M. (2002) *Gli strumenti del comunicare. Mass media e società moderna*. Net, Milano.
- McPherron SP, et al. (2010). Evidence for stone-tool-assisted consumption of animal tissues before 3.39 million years ago at Dikika, Ethiopia. *Nature* 466:857–860.
- Negroponte, N., (1995). *Essere digitali*. Sperling & Kupfer, Milano.
- Padula, G. (2017). Innovazione o trasformazione? *Industrie 4.0* 1 (4), pag.3
- Parsons, S., (2016). Authenticity in Virtual Reality for assessment and intervention in autism: A conceptual review. *Educational Research Review* 19, 138-157.
- Regni e Fogassi (2019). *Maria Montessori e le neuroscienze. Cervello, mente, educazione*. Fefè editore. Roma
- Renfrew, C. e Bahn, P., (2006). *Archeologia. Teorie, metodi, pratiche*. Zanichelli, Bologna.
- Rizzolatti, G. e Arbib M.A. (1998). Language within our grasp. *Trends in Neuroscience* 21, 188-194;

- Rutelli, F. & Matthiae, P. (cur.). (2016). *Rising from distruction. Nimrud, Ebla, Palmyra*. Rome: Associazione Incontro di Civiltà.
- Selzera M.N., Gazcona N.F., Larrea M.L., (2019) Effects of virtual presence and learning outcome using low-end virtual reality systems. *Displays* 59, pagg. 9–15.
- Smil, V., (2000). *Storia dell'energia*. Bologna: Il Mulino.
- Zeki, S., (2010). *Splendori e miserie de cervello*. Codice edizioni.

SITOGRAFIA

(consultata fino a novembre 2019)

- <http://www.icom-italia.org/definizione-di-museo-di-icom/>
- <http://www.klimtexperience.com/>
- <http://www.monetexperience.it/#>
- https://www.youtube.com/channel/UC2rfhZkr-o-EJM8Ju47jG_A;
<http://www.musst-eridano.it/musst/>
- <https://www.framestore.com/amfam>
- <http://www.balmadeicervi.it/index.html>
- <https://www.clevelandart.org/magazine/cleveland-art-septemberoctober-2016/studio-play-2.0>
- <https://www.telegraph.co.uk/finance/newsbysector/industry/mining/8433249/The-worlds-largest-diggers-in-pictures.html?image=2>
- <https://docs.microsoft.com/it-it/windows/mixed-reality/hologram>
<https://docs.microsoft.com/it-it/windows/mixed-reality/gestures> <http://www.icom-italia.org/definizione-di-museo-di-icom/>
- <https://sketchfab.com/3d-models/open-pit-mine-f631584e90df411bafc1aa9fd117e713>
- <https://exarc.net/experimental-archaeology>

RINGRAZIAMENTI

Desidero ringraziare tutti coloro che hanno reso possibile la realizzazione di questo lavoro, mettendo a disposizione conoscenze, esperienze e competenze, ma anche promuovendo nuove occasioni di collaborazione, confronto e sperimentazione.

Mi riferisco al mio Tutore, il Prof. Luiz Oosterbeek, che ha orientato la mia ricerca conducendomi verso nuove sfide e, perciò, verso nuove e importanti occasioni di crescita professionale e personale.

Alla Regione Emilia-Romagna e all'Università degli Studi di Ferrara, la cui visione mi ha permesso di studiare ad approfondire un tema, a mio avviso, centrale per il patrimonio culturale italiano, e di svolgere la mia ricerca in un contesto di integrazione tra Università ed Impresa.

Alle aziende, e ai loro teams, che si sono rese disponibili per collaborare alla sperimentazione tecnologica: TryeCo 2.0 S.r.l. e WeAR S.r.l., con le quali non sono mancate anche occasioni di riflessione e confronto sulle tematiche affrontate da questa indagine.

All'Instituto Terra e Memoria di Mação, in Portogallo, che, come istituzione ospitante, mi ha permesso di svolgere un periodo di ricerca all'estero, e a tutti i ricercatori che vi lavorano e che hanno condiviso con me le loro conoscenze scientifiche e le loro competenze tecniche nell'ambito dell'archeologia sperimentale.

Al Museu de Arte Pré-Histórica e do Sagrado no Vale do Tejo di Mação e a tutto il suo staff: la loro disponibilità mi ha permesso di studiare una collezione ed un

allestimento museale che sono stati di grande ispirazione per lo sviluppo del progetto.

Vorrei ringraziare, inoltre, coloro che hanno contribuito alla creazione o alla condivisione di alcuni dei contenuti digitali inseriti all'interno dell'applicazione

Preistoria Digitale.

Il fotografo João Belo, che ha realizzato la documentazione fotografica ed i modelli tridimensionali dei reperti messi a disposizione dal *Museu de Arte Pré-Histórica e do Sagrado no Vale do Tejo.*

L'archeotecnico Pedro Cura e l'equipe del corso di *cinema documental* dell'*Instituto Politecnico* di Tomar (Portogallo), per la realizzazione dei filmati relativi alle catene operative ed all'impiego degli utensili preistorici.

La Prof.ssa Carmela Vaccaro, del Dipartimento di Fisica e Scienze della Terra dell'Università di Ferrara, ed Il Dott. Stefano Bertola, del Dipartimento di Studi Umanistici, per le microfotografie delle sezioni sottili della ceramica e della selce.