

REALTÀ VIRTUALE E STRUMENTI SCIENTIFICI: CONSIDERAZIONI E APPLICAZIONI

ROBERTO MANTOVANI

Università di Urbino

FRANCESCO SERAFINI

Istituto Professionale di Stato per l'Industria e l'Artigianato

«Montefeltro», Sassocorvaro (PU)

Le nuove frontiere della realtà virtuale

Negli ultimi anni i mezzi di comunicazione a nostra disposizione si sono notevolmente accresciuti e perfezionati. Si è passati in poco tempo dalla carta stampata alla radiofonia, dalla televisione fino alle più recenti rivoluzioni delle reti telematiche (Internet), degli accessi *wireless* e delle tecnologie multimediali. Questa evoluzione è oggi ben visibile in ogni ambito delle attività umane e in special modo nei sistemi di calcolo *home-consumer* posseduti ormai da un'utenza sempre più larga di persone. Mezzi di comunicazione di massa come Internet o pubblicazioni multimediali come Cd-rom, si sono notevolmente perfezionati passando da applicazioni prettamente testuali all'utilizzo di sistemi in grado di elaborare e visualizzare simultaneamente un numero sempre maggiore di informazioni integrate quali immagini, animazioni, testi e suoni. Una delle attuali frontiere di Internet (soprattutto con l'avvento delle connessioni a banda larga) e delle tecnologie di modellazione digitali 3D, tipiche dei prodotti desktop di ultima generazione, è la cosiddetta Realtà Virtuale (da ora VR, ovvero *Virtual Reality*). Questa nuova tecnologia, utilizzata fino a qualche anno fa esclusivamente da potenti *workstations* di calcolo, è oggi alla portata della grande utenza grazie alla notevole diffusione sul mercato *consumer* di personal computer sempre più potenti e sempre meno costosi. Il termine *Realtà Virtuale* è utilizzato comunemente per tutte le tecniche e le tecnologie digitali create dal computer. Da un punto di vista tecnico, però, si può parlare di VR solo per particolari tipi di applicazioni che prevedono una simulazione interattiva nella quale l'utente può osservare immagini calcolate in tempo reale (si parla di *Real Time*) dal calcolatore, secondo l'evento deciso dall'osservatore. Tramite un sistema di visualizzazione, l'utente è così in grado di interagire con un vero e proprio *Mondo Virtuale* in cui, oltre all'esplorazione spaziale in 3D, è possibile manipolare oggetti, cioè muoverli, smontarli, interrogarli e farli funzionare. Il punto di forza di tali tecniche è proprio l'elevata interattività che si realizza mediante la creazione di sistemi di visualizzazione più o meno immersivi e dispositivi interfacciabili al visualizzatore per l'interazione audio, video e sensoriale. Fin dai primi anni '90 del XX secolo la realtà virtuale era sinonimo principalmente di sistemi dedicati, costituiti da caschi, occhiali e guanti e la visualizzazione era totalmente immersiva; oggi, accanto a nuove e più perfezionate interfacce multisensoriali (caschi e tute con sensori tattili, di posizione e di movimento, *joystick*, *mouse 3D* o *tracker* a rilevazione di posizione, ecc.), si stanno affermando anche soluzioni alternative basate su sistemi semi-immersivi fruibili su *desktops* o, ad esempio, su nuovi settori applicativi come la

cosiddetta *Augmented Reality*. Queste nuove soluzioni permettono a più utenti di condividere la visione di oggetti e ambienti tridimensionali. L'uso di teatri virtuali, sistemi CAVEs o *display* 3D volumetrici stanno rapidamente prendendo piede in molti settori della ricerca; essi costituiscono nuove potenziali forme tecnologiche della comunicazione in cui l'apprendimento di tipo senso-motorio risulta più naturale per l'essere umano rispetto a quello di tipo simbolico-ricostruttivo mediato dalla scrittura e dalle immagini bidimensionali. Tralasciando le applicazioni militari che storicamente hanno avuto una parte rilevante nello sviluppo delle tecnologie virtuali (basti pensare alla *Realtà Aumentata* nata all'interno dell'aeronautica militare) e senza neppure dimenticare il successo che tali tecniche hanno incontrato in attività ludiche e ricreative (videogiochi) da parte delle generazioni più giovani, vanno comunque sottolineate le straordinarie potenzialità che le nuove tecnologie digitali, oggi, offrono per la conoscenza e lo studio in diversi ambiti di ricerca. Il loro utilizzo spazia, infatti, in ampi settori produttivi: dal designer per la progettazione di oggetti, al prototipo di veicoli per le aziende automobilistiche, alle tecniche aeronautiche per la simulazione dei voli, alla ingegneria edile per la resa visiva e l'impatto ambientale delle opere finite. Recentemente anche le discipline umanistiche stanno traendo da queste nuove tecniche grande beneficio: basti pensare alle numerose ricostruzioni virtuali nel campo del patrimonio artistico e culturale o, ad esempio, all'archeologia computazionale per la ricostruzione di monumenti, siti archeologici o città del passato. Ma è soprattutto in alcune aree avanzate della ricerca scientifica e tecnologica che le potenzialità della VR si rivelano sempre più evidenti ed efficaci. La possibilità di ricostruire virtualmente sistemi complessi (a volte per dimensioni o costi non realizzabili nella realtà) e di simularne la struttura interna ed esterna secondo i principi delle leggi fisiche, permette ai ricercatori di utilizzare la VR come un importante strumento di ricerca per l'analisi «visiva» e lo studio interattivo delle proprie costruzioni teoriche. Si pensi, ad esempio alla possibilità per i chimici di visualizzare e interagire con complesse strutture molecolari oppure allo studio di modelli predittivi fenomenologici nei campi della meteorologia, della geologia, della vulcanologia o all'utilità didattica nel campo della medicina con l'addestramento a simulazioni chirurgiche ad alto rischio.

Realtà Virtuale e museologia scientifica

Negli ultimi anni si stanno diffondendo sempre più le applicazioni della VR alla museologia scientifica e ai beni culturali. L'idea primaria è che tali tecniche possano offrire al visitatore che entra in un Museo un utile e a volte spettacolare supporto didattico per osservare, studiare e capire gli oggetti in mostra o gli ambienti visitati. Presupposto essenziale all'uso della VR è la presenza all'interno del museo di una struttura informatica ipermediale e interattiva dotata di un certo numero di terminali, postazioni hardware, totem e teatri virtuali che permettano a uno o più utenti di poter accedere, in maniera non sequenziale, alla consultazione di un alto numero di informazioni del materiale collezionato sotto forma di suoni, testi, fotografie, immagini in movimento, simulazioni virtuali ed esperienze dimostrative. Quanto ai contenuti, essi potrebbero essere organizzati in percorsi multimediali aventi ciascuno un

diverso grado di approfondimento (multilivello), secondo l'itinerario culturale più consono ai desideri e alle curiosità dell'utente. Con l'avvento poi di Internet e dei sistemi multimediali, molti musei hanno raccolto la sfida della globalizzazione realizzando ciascuno un proprio sito WEB e sperimentando in esso nuove metodologie di presentazione delle loro collezioni e attività. In una logica di mercato (ma non solo) la realizzazione di un buon sito, in cui i contenuti storico-scientifici vengono efficacemente sviluppati ed esemplificati dalle nuove tecnologie digitali, assume un ruolo sociale e culturale di primaria importanza per le sorti e il prestigio del museo stesso: è indubbio, infatti, come attirare una utenza remota sempre più diversificata e numerosa possa produrre positive ricadute d'immagine e invogliare l'accesso successivo alla visione diretta del museo stesso. In tale logica molti musei hanno quindi sviluppato nei loro siti nuove forme di comunicazione in VR, favoriti in ciò soprattutto dalla diffusione di connessioni internet a larga banda (principalmente con tecnologie Adsl, satellitari e in fibre ottiche) che hanno reso possibile l'accesso all'informazione grazie a modalità di trasmissione dati più rapide e sofisticate (anche se non ancora paragonabili ai sistemi LAN). Per fare alcuni brevi esempi, si passa dalla gestione di scene bidimensionali e tridimensionali mediante *applet* (java) interattive, a tecnologie che consentono di «immergersi» e navigare all'interno di ambienti ricreati tramite ricostruzioni fotografiche a 360° (sia in ambienti aperti che chiusi), fino ad analoghe tecniche per visionare da diversi punti di vista oggetti e dettagli in 3D. Queste applicazioni, se utilizzate per musei scientifici (e in particolare per collezioni di strumenti scientifici), hanno l'indubbio vantaggio di fornire un elevato numero di informazioni sull'oggetto senza la necessità di doverlo toccare, visionarne i dettagli o rimetterlo in funzione. È noto, infatti, che non è mai consigliabile rimettere in funzione i pezzi originali (le motivazioni sono evidenti: danni alle strutture, rotture ecc.). Una buona alternativa potrebbe essere quella di operare con fedeli copie di apparati scientifici fatte appositamente costruire da bravi artigiani (non esistono in commercio, tranne rare eccezioni, modelli che riproducano con fedeltà storica antichi strumenti scientifici). Questa soluzione, però, non sempre è praticabile, sia per l'alto costo delle riproduzioni materiali degli strumenti, sia per la penuria di artigiani specializzati in grado di lavorare con la massima precisione. Il tipo di applicazione virtuale, che qui si andrà a trattare, nasce proprio come una possibile soluzione a questi ultimi problemi e fa parte di un progetto di ricerca che attualmente è in fase di sviluppo presso il Museo del Gabinetto di Fisica dell'Università di Urbino. L'idea di base è quella di ricostruire virtualmente la collezione degli strumenti scientifici presenti nel Museo di Urbino. Questo approccio non ha avuto ancora significative applicazioni per quanto concerne la valorizzazione del patrimonio strumentale del nostro paese e costituirebbe, quindi, un valore aggiunto nel campo della storia e della didattica della scienza. La tecnica utilizzata si discosta da tutte quelle applicazioni multimediali che, se pur interessanti, sono generalmente poco interattive poiché precalcolate e montate.

Il progetto del museo urbinato

Il progetto consiste nella creazione di un database di oggetti virtuali che intenderebbe ricostruire, utilizzando le metodologie della VR, la collezione degli antichi

strumenti scientifici giacenti presso il Museo del Gabinetto di Fisica dell'Università di Urbino. Queste ricostruzioni potranno poi essere archiviate e consultate sia attraverso una rete locale interna al museo stesso tramite terminali, postazioni multimediali o collocate in un vero e proprio Museo Virtuale fruibile via Web o su Cd-rom. Il visitatore avrebbe così la possibilità di ammirare dapprima lo strumento storico di suo interesse o una sua immagine, poi di interagire con esso mediante una vera e propria copia virtuale che ne illustri in modo ottimale, e da qualsiasi angolazione lo si voglia osservare, la sua struttura e il suo funzionamento. Questo tipo di presentazione costituisce, a nostro avviso, un vero e proprio cambio di impostazione rispetto alle più o meno complesse ma classiche e tradizionali soluzioni di divulgazione museale (cartellini esplicativi, cartellonistica, audiovisivi e visite guidate). Il cambio di prospettiva consiste nel poter manipolare una perfetta copia virtuale di uno strumento storico reale a cui associare un ipertesto multimediale che ne illustri tutte le caratteristiche e le informazioni raccolte quali, ad esempio, la storia, il suo uso scientifico e il principio di funzionamento. Come è già stato accennato, le potenzialità offerte da questa nuova tecnologia virtuale, fruibile tramite tastiera e mouse su sistemi *desktops* o sul web in modalità semi-immersiva, sono veramente notevoli: si può, infatti, a proprio piacimento, ruotare, spostare o zoomare lo strumento scientifico ricostruito, rilevandone particolari in superficie; laddove l'apparato risulti articolato, la manipolazione permette anche di smontarlo nelle sue parti più significative per lo studio della sua struttura interna. Quest'ultima possibilità permette, inoltre, di sviluppare alcuni temi di ricerca per gli storici della scienza: ad esempio, lo studio dell'evoluzione tecnica di alcune classi di strumenti scientifici o il confronto tra le diverse tecniche costruttive seguite dai costruttori dell'epoca. Altra potenzialità didattica offerta è l'*interrogazione* della ricostruzione virtuale. Cliccando alcune parti significative del modello ricostruito, si può dare la possibilità all'utente di visualizzare schede esplicative con testi, immagini, filmati, suoni o spiegazioni vocali. Infine l'ultima importantissima potenzialità consiste nel simulare il principio di funzionamento dell'apparato stesso. Tale possibilità costituisce un valore aggiunto nuovo e «cruciale» in ambito museale e apre vasti orizzonti nel campo della divulgazione scientifica. Infatti, rimettere in funzione l'apparato storico secondo i suoi «reali» principi fisici di funzionamento, utilizzando una sua perfetta copia virtuale, significa non solo evitare di far funzionare lo strumento «vero», ma anche di poter avvicinare l'utente a forme di apprendimento sempre più realistiche calate, ad esempio, all'interno di ambienti ed esperimenti storici ricostruiti.

I pacchetti software

Negli ultimi anni l'offerta di nuovi programmi software per la modellazione 3D si è notevolmente evoluta e diversificata. I pacchetti, oggi, sono più facilmente utilizzabili e allo stesso tempo capaci di garantire una simulazione in VR molto più realistica rispetto al passato. I prodotti informatici da noi utilizzati consistono in programmi professionali di modellazione e di visualizzazione. I programmi di modellazione permettono di costruire geometricamente l'oggetto, decidendo su colori e materiali e giocando sui diversi parametri quali la riflettività, la trasparenza e l'emis-

sività. Inoltre è necessario aggiungere alle diverse superfici dell'oggetto delle *texture*, cioè delle immagini computerizzate che conferiscono alla superficie un aspetto di maggiore realismo. Il realismo degli oggetti (o degli ambienti) ricostruiti viene completato montando appropriate luci e simulando, attraverso l'animazione, il funzionamento dell'oggetto stesso. I programmi di visualizzazione permettono, invece, di costruire l'applicazione vera e propria con la quale andrà a interagire l'utente. In essa si specificano i metodi e i comandi per la manipolazione nonché i collegamenti di alcune parti dell'oggetto a pagine esplicative. Infine tutte le applicazioni realizzate sono state pensate per offrire una certa flessibilità nel loro utilizzo. Per rispondere a esigenze future è, infatti, molto importante assicurarsi che esse possano essere facilmente convertibili e scalabili. Ad esempio è pensabile che in futuro sia possibile scaricare su apparecchi portatili dotati di display multimediali (telefonini, palmari ecc.) applicazioni virtuali simili a quelle che qui si presentano per usufruire di una guida al museo personale, interattiva e interrogabile; le medesime ricostruzioni virtuali potrebbero poi essere «scalabili», cioè riutilizzabili per ambienti virtuali più complessi quali i teatri virtuali e i *VirtualSets* televisivi o cinematografici al fine di poter realizzare video documentari con attori che interagiscono con l'oggetto o con l'ambiente ricostruito.

Le applicazioni realizzate: due «casi-studio»

Le applicazioni storico-scientifiche che si presentano, riguardano due antichi strumenti scientifici completi e ben conservati, oggi giacenti presso il Museo del Gabinetto di Fisica dell'Università degli Studi di Urbino «Carlo Bo». Gli strumenti scelti per la ricostruzione virtuale sono, rispettivamente, l'uovo elettrico di A. de la Rive e l'elettrometro di E. Mascart. Questi lavori intendono fornire, sul piano storico e didattico, un contributo alla conoscenza degli strumenti medesimi ma soprattutto un efficace mezzo di presentazione e apprendimento da utilizzare in ambito museale. Muovendo dagli scritti originali, si è cercato di ricostruire la genesi degli apparati e l'uso scientifico a cui, inizialmente, vennero destinati. Per entrambi, l'applicazione software inizia con una copertina (fig. 1) che riproduce al centro una foto dello strumento.

Cliccando sulla foto, si accede alla consultazione vera e propria tramite una struttura a due *frames*. Il primo, sulla sinistra, riporta l'indice generale delle pagine visitabili (tale finestra rimarrà presente per tutte quelle pagine che visualizzano contenuti bidimensionali); il secondo *frame*, invece, cambierà a seconda dell'argomento prescelto, riportando in esso testi e immagini esplicative. È stato necessario, talvolta, suddividere il testo in più pagine successive accessibili tramite dei pulsanti riportati in basso a destra. Quanto ai contenuti si è cercato, per entrambe le applicazioni, di strutturare l'indice con una certa omogeneità. Ad eccezione di una presentazione iniziale in cui si puntualizza la finalità dei lavori e di una bibliografia finale, tutte le pagine visitabili sono state raggruppate per argomento all'interno di quattro paragrafi così titolati: *notizie storiche*, *lo strumento*, *l'esperimento storico* e *gli apparati antecedenti*. Il primo e l'ultimo paragrafo forniscono un nucleo comune di informazioni storiche relative a entrambi gli apparati urbinati, ai modelli storici



Fig. 1 Copertina e controcopertina delle applicazioni realizzate.

antecedenti e ai loro ideatori; in aggiunta viene anche descritto, in forma sintetica, il modello teorico delle aurore, elaborato dal de la Rive intorno alla metà del XIX; segue un secondo nucleo di informazioni relative alle caratteristiche degli strumenti, alla loro diffusione, al successo commerciale e all'esperimento storico (per l'apparato di A. de la Rive viene anche fornita la moderna spiegazione del fenomeno aurorale). In quest'ultimo nucleo sono state inserite le ricostruzioni virtuali sia degli strumenti che dei loro usi sperimentali (esperimenti storici). Al fine di preparare al meglio l'utente all'esplorazione 3D, si è pensato di fornire, preliminarmente, alcune informazioni e descrizioni ipertestuali. Ogni strumento viene, infatti, preceduto da una dettagliata descrizione la cui comprensione viene accresciuta da un set di immagini in *rendering* dell'oggetto ricostruito, visualizzabili su una finestra fissa e richiamabili nel testo con il metodo dell'ipertesto. Con lo stesso metodo si è proceduto anche per i paragrafi relativi a ciascun esperimento storico. Ad una introduzione all'esperimento si è aggiunta anche una descrizione ipertestuale sia dell'ambiente sperimentale che dell'intero set strumentale necessario per la ricostruzione dell'esperimento storico. Questo approccio permette all'utente, prima dell'esplorazione 3D dell'esperimento, di visualizzare, con l'aiuto di alcune immagini in *rendering*, ogni particolare dei set strumentali in gioco, di intendere la loro corretta predisposizione sperimentale e conseguentemente di prepararlo alla comprensione delle modalità di funzionamento degli strumenti stessi. Lo scopo precipuo dei percorsi sopra descritti consiste, quindi, nel permettere all'utente di accedere con maggior consapevolezza alle parti più significative e innovative delle applicazioni realizzate, costituite dalle ricostruzioni virtuali sia degli strumenti che degli esperimenti storici. Queste ultime vengono visualizzate su una pagina strutturata essenzialmente in quattro *frames*. Il primo *frame*, in alto, riporta il tipo di applicazione che si va consultando e l'indice generale delle pagine visitabili, richiamabile tramite un menù a tendina. Sotto di esso, a sinistra, sono posizionati altri due *frames* che mostrano, rispettivamente, l'oggetto in 3D (finestra più grande) e la legenda dei comandi per l'interazione (vedi fig. 3). Infine il *frame* di destra, permette di osservare, in successione, immagini e testi esplicativi relativi all'interrogazione sia

dell'oggetto virtuale che dell'esperimento storico. Esso, quindi, funge da utile guida per una più meditata esplorazione degli ambienti o degli oggetti ricostruiti poiché evidenzia particolari ingranditi o spiegazioni sull'uso e sul funzionamento di parti di essi.

L'apparato di Auguste Arthur de la Rive

Il primo oggetto che si è provveduto a ricostruire è stato l'uovo elettrico di Auguste Arthur de la Rive.

Notizie storiche

Premettiamo alcune brevi note storiche. Da ricerche d'archivio, sappiamo che lo strumento fu acquistato a Parigi presso il meccanico Secretan al prezzo di £ 144. L'ordine venne redatto direttamente dallo scienziato urbinato Alessandro Serpieri, attivo a Urbino dal 1846 al 1884 e allora responsabile del «Gabinetto fisico» dell'università di Urbino. Il pezzo arrivò in Urbino il 29 marzo 1865. In un documento, accanto al prezzo, è riportata la seguente dicitura (probabilmente scritta dal Serpieri): «Ovo elettrico di De la Rive, per la rotazione intorno a una calamita dell'arco luminoso prodotto dal Rocchetto di Rumkorff [sic!], già acquistato in passato – esperienza che mostra le analogie tra le aurore boreali e le scariche elettriche». Esso, quindi, opportunamente alimentato e collegato a una pompa pneumatica, permetteva di mostrare l'effetto rotatorio di un campo magnetico su una scarica

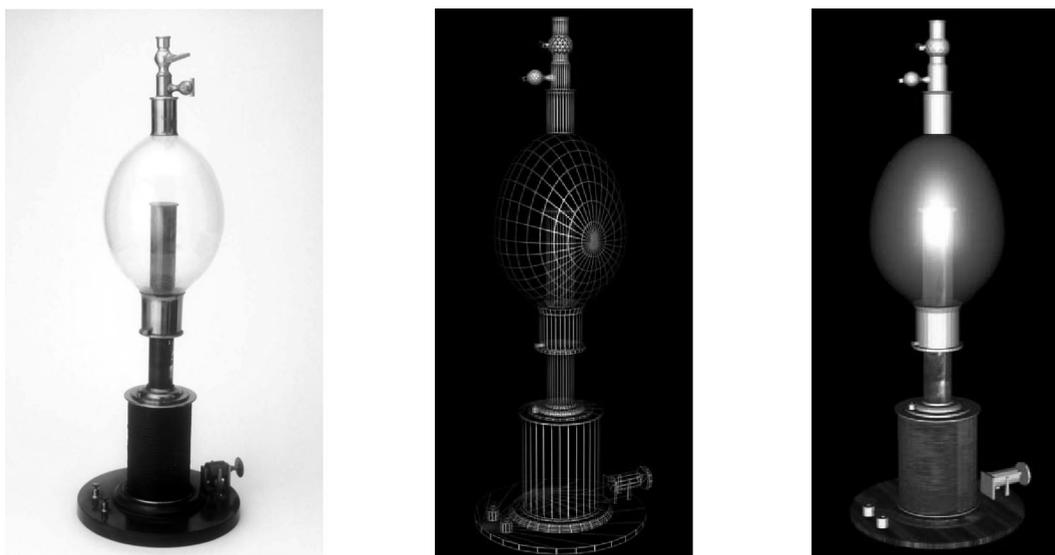


Fig. 2 Uovo elettrico di A.A. de la Rive (Museo del gabinetto di Fisica dell'Università di Urbino); *wireframe* dello strumento e sua ricostruzione geometrica con superfici renderizzate.

elettrica in un gas rarefatto. L'apparato fu ideato dal fisico svizzero Auguste Arthur de la Rive (1801-1873) per riprodurre sperimentalmente l'analogia tra le aurore australi e boreali (che allora si riteneva potessero manifestarsi solo nei due emisferi polari) e le scariche elettriche. La sua teoria elettrica delle aurore prevedeva, infatti, che esse, influenzate dal campo magnetico terrestre, avvenissero nelle regioni polari tramite processi di scarica tra l'elettricità positiva accumulata nelle alte regioni dell'atmosfera e la negativa del globo terrestre. L'apparato di de la Rive ebbe per tutto l'ottocento un notevole successo commerciale. Esso venne, infatti, riprodotto e descritto in numerosi testi di fisica della seconda metà dell'ottocento e ciò contribuì a una sua diffusione presso i laboratori di fisica dell'epoca.

La ricostruzione virtuale dello strumento

Per ricostruire virtualmente lo strumento, si è proceduto inizialmente con la rilevazione dei materiali e con la misura accurata di tutte le sue parti per una corretta riproduzione in scala. Successivamente si è passati alla rilevazione fotografica, necessaria per la creazione di *texture*, e alla fase di ricostruzione geometrica mediante un modellatore tridimensionale.

Lo studio dei materiali e l'attento utilizzo delle *texture* ha permesso di ottenere un effetto finale fotorealistico, usufruendo di una corretta copertura e visualizzazione delle superfici ricostruite. La fase della modellazione geometrica ha permesso anche uno studio approfondito della costruzione dell'oggetto reale e contemporaneamente ha messo in luce simmetrie e peculiarità costruttive utili anche per il suo studio storico. L'oggetto virtuale finale è stato quindi caricato su di un programma di visualizzazione nel quale si è proceduto a costruire i diversi comandi per il movimento e l'interazione. Nella prima fase si è programmato di gestire il maggior

L'apparato urbinante in realtà virtuale
INDICE



Scheda dello strumento

Uovo elettrico di Arthur Auguste de la Rive



Settore: meteorologia/teoria dell'aurora boreale
Numero di inventario: 47
Costruttore: sulla base di mogano. "Secretan a Paris" (inciso)
Periodo di costruzione: 1865 [documento]
Costo: £ 144 [documento]
Materiali: Mogano, ottone, vetro, ferro, ebanite, rame
Dimensioni: Base: Ø 270 mm, altezza: 735 mm

BARRA COMANDI:

- * Tasto sinistro del mouse per esplorare l'oggetto.
- * Tasto destro del mouse per zoomare sull'oggetto.
- * Tasto sinistro del mouse + tasto SHIFT spostamento oggetto.
- * Tasto spazio da tastiera per resettare la posizione dell'oggetto.

Quando appare il dito si possono visualizzare schede esplicative.

Fig. 3 Pagina relativa alla ricostruzione virtuale dell'uovo elettrico di A. A. de la Rive.

numero possibile di movimenti dell'oggetto tramite l'utilizzo di tastiera e mouse. Ad esempio con il tasto sinistro del mouse si è ottenuta una rotazione controllata dell'oggetto, mentre con il destro si è programmato l'effetto zoom, molto utile per poter rilevare le peculiarità costruttive dell'apparato; infine sono state create altre possibilità di movimento combinando contemporaneamente alcuni tasti della tastiera e del mouse. La fase di lavoro successiva ha riguardato i comandi per l'interazione. Si è pensato di fornire all'utente una mappa sensibile dei particolari più importanti dell'oggetto su ciascuno dei quali poter attivare, con un semplice click del mouse, una finestra per la lettura di brevi schede esplicative ciascuna corredata da un'immagine reale del particolare. L'individuazione dei particolari avviene attraverso il cambio di «forma» del puntatore del mouse: da «freccetta» a «dito». In questo modo si evidenziano le particolarità e le funzionalità di diversi elementi costitutivi dell'apparato quali gli elettrodi, il commutatore, la bobina, il nucleo ferromagnetico, il pallone di vetro, i rubinetti per il vuoto ecc.

La ricostruzione virtuale dell'esperimento storico

Un altro importante processo interattivo introdotto, ha riguardato la ricostruzione virtuale dell'intero set strumentale, necessario per la messa in funzione dell'apparecchio (esperimento storico). Esso è stato pensato e realizzato consultando le fonti manoscritte relative alla storia del Gabinetto di Fisica dell'Università di Urbino unitamente ad alcuni testi di fisica degli anni '60 del XIX secolo. Come precedentemente detto, l'apparato venne acquistato e presumibilmente messo subito in funzione nel 1865 da Alessandro Serpieri. Si è così pensato di ambientare l'esperimento nella maniera in cui, probabilmente, l'avrebbe potuto realizzare il fisico urbinato. Inizialmente si è modellato un tipico tavolo da laboratorio ottocentesco; quindi si è ricostruito virtualmente tutto il set strumentale necessario per l'esperimento. Esso consisteva in alcune pile, un rocchetto di Ruhmkorff e una pompa pneumatica. Le pile servivano ad alimentare sia l'uovo elettrico che la bobina di Ruhmkorff. Circa il modello scelto per la ricostruzione delle pile, si è optato per quelle di Bunsen. In effetti da alcuni documenti sappiamo che Serpieri faceva effettivamente largo uso di questo tipo di pila che, del resto, era molto diffusa nei laboratori sperimentali del tempo perché idonea ad alimentare la maggior parte degli apparati elettrici. Purtroppo nessuna delle pile Bunsen utilizzate dal Serpieri si è conservata fino a oggi. Più semplice è stata, invece, la scelta del rocchetto di Ruhmkorff da ricostruire. Infatti, grazie a un documento, sappiamo che Serpieri si servì di un rocchetto a induzione che aveva acquistato l'anno prima dal medesimo costruttore (Secretan), per alimentare una parte dell'uovo di de la Rive. Si tratta di un bel rocchetto di Ruhmkorff, tuttora conservato presso il Museo del Gabinetto di Fisica dell'Università di Urbino, completo dello spinterometro e dell'interruttore di Foucault. Quanto, infine, alla pompa pneumatica da riprodurre virtualmente, la scelta è ricaduta su una macchina pneumatica a un cilindro conservata nel Museo di Urbino e firmata dal costruttore milanese Carlo Dell'Acqua. Questa pompa venne, infatti, riportata nel catalogo del Dell'Acqua pubblicato nel 1863 e subito acqui-

stata dal Serpieri per il suo laboratorio. È quindi plausibile che il Serpieri l'abbia usata per mettere in funzione l'uovo di de la Rive. Nella ricostruzione virtuale dell'esperimento, l'utente è in grado di muoversi liberamente nel laboratorio attraverso alcuni comandi da tastiera. Egli può, quindi, spostarsi nelle tre dimensioni spaziali, ruotare il proprio punto di vista e avvicinarsi agli apparati per osservarne particolari costruttivi o di collegamento. La ricostruzione mostra, sin dall'inizio, la pompa pneumatica in funzione, con la rotazione del grande manubrio a volano in ghisa e il movimento ciclico dei pistoni; essa è posizionata accanto al tavolo e collegata mediante un lungo tubo di gomma all'ovoide in vetro dell'apparato di de la Rive. Quest'ultimo è posto centralmente sul tavolo ed ha una doppia alimentazione che è stata così realizzata: a destra, sul tavolo, quattro pile Bunsen, connesse in parallelo e collegate mediante fili elettrici a una coppia di reofori (posti sulla base dello strumento), alimentano l'elettromagnete dell'apparato; a sinistra, sul tavolo, tre pile Bunsen, connesse in serie, alimentano, mediante fili elettrici, il rocchetto di Ruhmkorff. Quest'ultimo ha lo spinterometro collegato, tramite fili elettrici, a una seconda coppia di reofori, i quali alimentano gli elettrodi anulare e a disco (coperchio) del cilindro in ferro dolce magnetizzato che giace all'interno del pallone di vetro. L'intero set descritto permette di mostrare il funzionamento dello strumento sia come semplice uovo elettrico, sia come uovo modificato. Entrambe le simulazioni si attivano con l'apparato già alimentato dal solo rocchetto di Ruhmkorff. Come semplice uovo elettrico si clicca sul manubrio a volano della pompa pneumatica; nel *frame* di destra viene visualizzata una scala di pressioni in millimetri di mercurio caratterizzata da cinque pulsanti ognuno dei quali individua, a partire da 760 mmHg, uno specifico *range* di pressioni.

Cliccando su intervalli di pressione inferiori alla pressione atmosferica (la scarica si attiva a partire dal *range* 300-100 mmHg) si visualizzano all'interno del pallone di vetro le corrispondenti scariche elettriche, caratterizzate da proprie forme e colori. Cliccando il *range* di pressione più basso (10-0,1 mmHg), la scarica appare per buona parte stratificata, formata da una pila di anelli concavi con spazi oscuri e luminosi; contemporaneamente nel *frame* di destra, vengono visualizzate un'immagine delle quattro pile in parallelo (che alimentano l'elettromagnete) e una scheda esplicativa del fenomeno con l'avvertenza che, giunto a questo *range* di pressione, A. de la Rive metteva in funzione anche l'elettromagnete (uovo modificato). Per avviare anche quest'ultima simulazione è sufficiente cliccare sull'immagine del-



Fig. 4 Pagine relative alla simulazione dell'esperimento storico con l'uovo elettrico di A. A. de la Rive.

le pile posta in basso alla fine della scheda esplicativa (vedi la pagina centrale relativa alla fig. 4). A questo punto l'utente visualizza la scarica luminosa all'interno dell'ovoide che inizia a ruotare tutt'intorno all'espansione polare dell'elettromagnete; contemporaneamente, sul *frame* di destra, egli è in grado di leggere in francese un brano di A. de la Rive, del 1849, nel quale il fisico svizzero descriveva la propria esperienza sperimentale e l'aspetto della scarica.

L'elettrometro di Elenthère Mascart

Come secondo «caso-studio» è stato scelto l'elettrometro a quadranti di Elenthère Mascart.

Notizie storiche

Anche per questo apparato, premettiamo alcune brevi note storiche. La documentazione storica rinvenuta risulta alquanto scarsa. Il pezzo si trova trascritto in un inventario degli strumenti scientifici del Gabinetto di Fisica relativo agli anni 1900-1910. Da esso si desume che lo strumento venne acquistato nel 1900 dal prof. Aristide Fiorentino, direttore del Gabinetto di Fisica dal 1899 al 1901. Il suo acquisto rientrava nelle esercitazioni di fisica del corso di Farmacia. L'elettrometro è inserito nel settore *elettricità* dell'inventario ed è annotato al numero 88 con il nome di *Elettrometro Thomson-Mascart*. Esso non è firmato da alcun costruttore ma dall'inventario risulta fabbricato presso le *Officine Roiti* ed ha come anno di acquisizione il 1901. Ricerche storico-scientifiche su questa ditta non hanno portato ad alcuna informazione. L'elettrometro di Mascart è una versione modificata di un altro elettrometro a quadranti, ideato e descritto per la prima volta nel 1867 dal fisico inglese William Thomson (1824-1907, dal 1892 Lord Kelvin). Il fisico francese Eleuthère Elie Nicolas Mascart (1837-1908) apportò al modello di Thomson alcune semplici modifiche che ne accrebbero la sensibilità e l'accuratezza. Lo strumento permet-



Fig. 5 L'elettrometro reale (al centro) e virtuale (ai lati) presentato intero e smontato.

teva di misurare potenziali elettrici incogniti tramite la deviazione angolare di un equipaggio mobile collegato a una sospensione bifilare in seta. Anche tale apparato ebbe, verso la fine dell'ottocento e nei primi anni del novecento, un discreto successo commerciale. A supporto di quanto detto si può, nel menù generale dell'applicazione, cliccare e consultare alla voce *L'apparato nel mondo* un elenco (che non pretende di essere esaustivo bensì euristico) di alcune collezioni strumentali in cui è conservato almeno un elettrometro modello Mascart.

La ricostruzione virtuale dello strumento

Per ricostruire virtualmente l'elettrometro, si è proceduto in modo analogo alla ricostruzione dell'uovo elettrico di de la Rive. Le fasi di modellazione e visualizzazione dell'oggetto sono risultate sostanzialmente identiche.

Si è così proceduto nell'analisi dei materiali, delle *texture* e della ricostruzione geometrica in scala; nel programma di visualizzazione sono stati caricati i comandi per il movimento e l'interazione nonché la mappa sensibile dei particolari dell'oggetto (per l'interrogazione). L'unica importante differenza di questa ricostruzione virtuale rispetto alla precedente è stata l'aggiunta di alcuni comandi interattivi per lo *smontaggio* dell'oggetto; con essi si è in grado di osservare ed esplorare in dettaglio le parti interne dell'elettrometro. L'utente, infatti, con un semplice comando, simulando un comportamento reale, può alzare il coperchio della cassa che racchiude lo strumento ed esplorarne a 360° la sua struttura interna. L'applicazione offre, in questo modo, un potente mezzo di apprendimento per la disamina dell'intera struttura materiale, sia visibile che invisibile, dello strumento. Vale la pena fornire una breve spiegazione della struttura interna e del funzionamento dell'apparato. L'elettrometro è essenzialmente costituito da una scatola cilindrica d'ottone vuota, divisa in quattro settori (quadranti) identici, sospesi e isolati entro la custo-

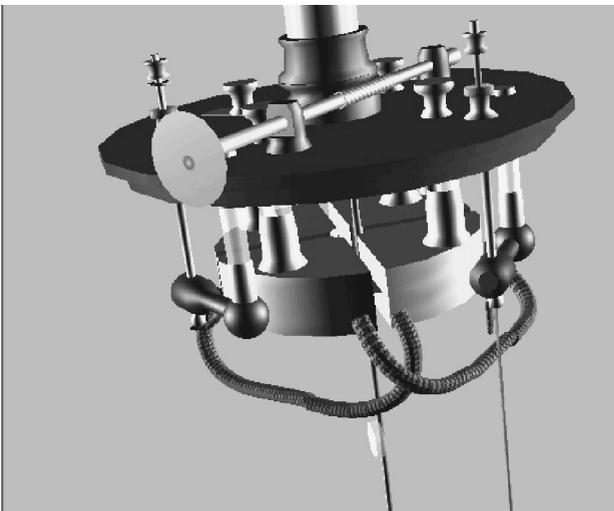


Fig. 6 Particolare del coperchio e della struttura a quadranti.

dia dello strumento da quattro colonnine di vetro, fissate sulla superficie inferiore del coperchio da quattro viti. I quadranti diagonalmente opposti sono collegati tra loro per mezzo di piccole spirali di rame ricoperte di seta e ciascuna coppia è connessa elettricamente mediante un filo conduttore con un elettrodo posto sul coperchio della scatola. All'interno di quest'ultima è sospeso orizzontalmente e centralmente, un leggero ago di alluminio a forma di *otto* per mezzo di una sospensione bifilare in seta che scende lungo l'asse di un tubo cilindrico d'ottone che si incastra nel centro del coperchio dell'apparato. L'ago è anche una parte essenziale dell'equipaggio mobile dello strumento costituito da un lungo filo di platino verticale a cui è saldato, a una certa altezza, l'ago di alluminio; sotto di esso il filo di platino sostiene, all'altezza di una lente (incastrata su una finestra circolare della custodia), un piccolo specchietto circolare piano e verticale mentre la sua estremità inferiore, ripiegata per un breve tratto a 90° , va a immergersi in una vaschetta contenente una soluzione concentrata di acido solforico. Il filo di platino pesca nella soluzione conduttrice (che ha l'ufficio anche di mantenere secca l'aria dentro la custodia) per mezzo di una doppia croce che serve a smorzare le oscillazioni dell'ago. Infine un terzo elettrodo, posto sul coperchio dell'apparecchio, è collegato elettricamente all'ago mediante un secondo filo di platino che pesca nell'acido solforico. Un procedimento ordinario di misura consiste nel portare l'ago al potenziale incognito e nel caricare le due paia di settori a potenziali costanti (collegandoli, ad esempio, ai poli di una pila). L'ago e lo specchietto ruotano fino a che le forze elettriche non vengono bilanciate dalle forze elastiche del doppio filo dell'equipaggio mobile e dalle forze di attrito agenti sulla paletta a doppia croce. La rotazione dell'ago viene registrata tramite un pennello di luce che incide sullo specchietto e viene riflesso su una scala di riferimento esterna. L'operazione virtuale di alzare il coperchio della cassa per esplorarne la struttura sottostante non è l'unica che si è realizzata: posizionando il puntatore del mouse sul coperchio della scatola cilindrica e cliccando su di esso si visualizzano, sul *frame* di destra, una breve descrizione dei principali elementi del coperchio, un'immagine reale di esso e una frase linkabile (*vai al pezzo smontato*) che permette di accedere alla visualizzazione della ricostruzione virtuale dello strumento senza custodia. Questo itinerario alternativo permette all'utente di visionare e interrogare tutte le parti nascoste dello strumento senza l'ingombro *visivo* della custodia. Ad esempio, utilizzando il comando zoom e la mappa sensibile per l'interrogazione virtuale, si è in grado di esplorare in dettaglio i quadranti, i vari collegamenti elettrici, le colonnine di vetro per l'isolamento e una porzione del filo di platino; questo ulteriore livello esplorativo non permette, tuttavia, di visualizzare parti ancora più nascoste, quali, ad esempio, l'ago elettrico e l'intero equipaggio mobile. Al fine di visualizzare anche questi ultimi elementi si è pensato di dare la possibilità all'utente di smontare ulteriormente la struttura dello strumento senza custodia: cliccando sul tubo di ottone che racchiude la sospensione bifilare è, infatti, possibile accedere a una nuova finestra e visualizzare una struttura a rotazione fissa (su di un asse) costituita dal cilindro d'ottone, dai quadranti e dall'equipaggio mobile (vedi fig. 7).

Utilizzando opportuni comandi e con l'aiuto di una immagine esplicitiva (posizionata sul *frame* di destra) l'utente è così in grado di spostare lateralmente il tubo d'ottone per vederne la sospensione bifilare o di aprire la scatola a quadranti per

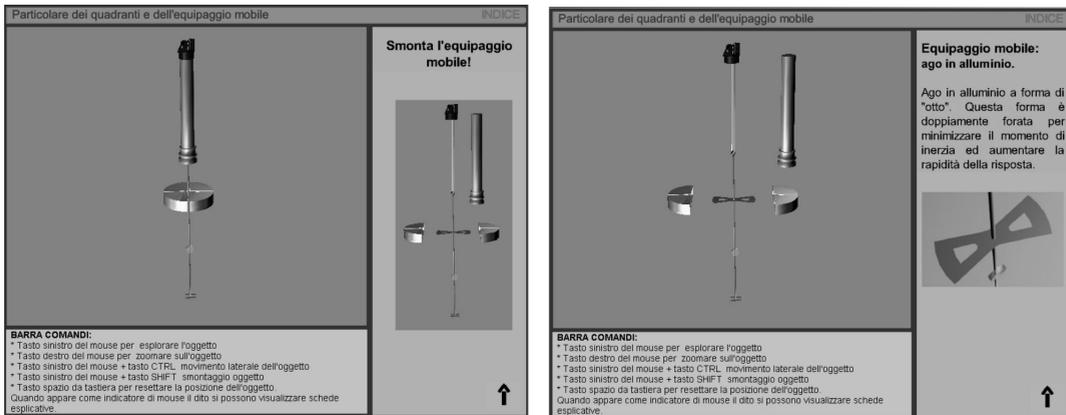


Fig. 7 Pagine relative alla visualizzazione delle parti più «nascoste» dello strumento.

osservarne la parte interna. Questo ulteriore processo di scomposizione permette così di arrivare al cuore dello strumento, l'ago, di cliccare su di esso e leggerne una breve scheda esplicativa.

La ricostruzione virtuale dell'esperimento storico

Una seconda significativa ricostruzione virtuale è stata la simulazione sperimentale dell'esperimento storico di Mascart, inquadrabile all'interno delle ricerche, allora molto in voga, sulla *meteorologia elettrica*. Lo studio dell'elettricità atmosferica nella seconda metà del XIX secolo beneficiò dell'invenzione e dell'uso dell'elettrografo a gocce d'acqua e dell'elettrometro di Lord Kelvin. Questi mostrò che l'estremità di un tubicino dal quale fuoriesce una vena d'acqua che si frantuma in gocce, prende il potenziale elettrico dell'aria in quel punto. Su tale idea Mascart basò la costruzione del suo apparato per lo studio dell'elettricità atmosferica o, più precisamente, per il monitoraggio continuo nel tempo del potenziale elettrico dell'aria. L'esperimento proposto è la fedele ricostruzione virtuale di quella esperienza. La descrizione e la relativa documentazione iconografica che ha ispirato la ricostruzione storica dell'esperimento sono state tratte da alcuni articoli apparsi nel 1883 sulla rivista francese *La Nature*. L'elettrometro registratore venne installato da Mascart in alcune stanze del laboratorio di fisica del *Collège de France*, presumibilmente intorno al 1882. Successivamente esso venne adottato in diversi osservatori meteorologici francesi.

La ricostruzione virtuale dell'esperimento (fig. 8) visualizza due stanze nelle quali sono state fedelmente riprodotte rispettivamente la strumentazione rivelatrice (a sinistra) e quella registratoria (a destra). La rivelatrice è un collettore a gocce d'acqua costituito da un serbatoio cilindrico metallico riempito d'acqua con rubinetto, sostenuto da tre isolatori di Mascart e connesso elettricamente all'elettrometro a quadranti. La misura del potenziale avviene nel punto in cui la vena liquida del rubinetto aperto cessa d'esser continua e si divide in goccioline. La registratoria è invece posizionata in una stanza attigua ben oscurata. Essa è costituita

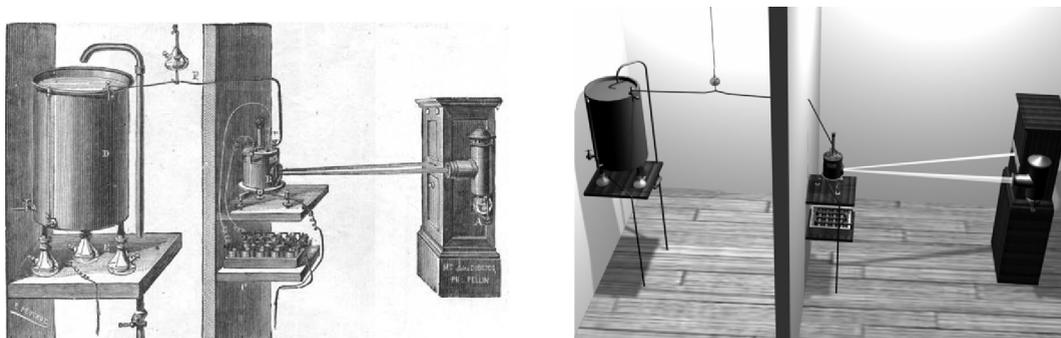


Fig. 8 Incisione storica dell'esperimento di E. Mascart e sua ricostruzione virtuale in rendering.

dall'elettrometro di Mascart alimentato, per il suo campo ausiliario, da una pila a corona di tazze e da un sistema meccanico registratorio che fa uso di lastre fotosensibili. Le deviazioni dell'ago dell'elettrometro vengono registrate dal movimento di un fascio di luce proveniente da una lampada a olio (fissata esternamente alla cassa registratoria) che, incidendo sullo specchietto dello strumento, riflette i raggi sul sistema fotografico registratorio. Come nella precedente applicazione l'utente è in grado di spostarsi liberamente all'interno del laboratorio ricostruito con modalità *walk* e di zoomare qualunque dettaglio della strumentazione. Per avviare la simulazione dell'esperienza basta cliccare con il mouse sulla lampada per generare il raggio luminoso e osservarne il percorso: il raggio incidendo sullo specchietto ruotante dello strumento viene riflesso verso la feritoia orizzontale della cassa di registrazione. Quest'ultima, infine, può essere esplorata dall'utente in tutta la sua struttura interna: cliccando sullo sportello laterale del mobile che racchiude la parte registratoria, questo si apre per mostrare il sistema fotografico registratorio (vedi fig. 9). Quest'ultimo è una cassa in legno divisa internamente da un tramezzo verticale. La parte posteriore ha un sistema meccanico a orologeria mentre l'anteriore è in sostanza una camera oscura munita frontalmente di una feritoia orizzontale. Il sistema meccanico mette in movimento nella parte anteriore una cremagliera che

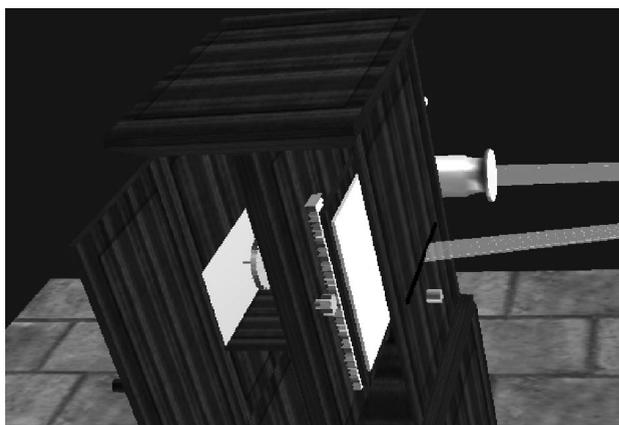


Fig. 9 Particolare del sistema fotografico registratorio a sportello aperto.

porta orizzontalmente un foglio di carta fotosensibile incastrato tra due lastre di vetro. La carica dell'orologio è tale da far discendere molto lentamente (circa di un centimetro a ora) la lastra fotosensibile per tutta la sua altezza nell'arco delle ventiquattrore. La luce riflessa dallo specchietto passa attraverso la feritoia e impressiona sulla lastra una serie di linee orizzontali molto fini che interrompono la curva a intervalli uguali. In tal modo per ogni lastra si ottiene una registrazione continua giornaliera dei valori forniti dallo strumento.

Conclusioni

Una delle questioni più importanti nel campo della museografia scientifica riguarda lo sviluppo di nuove tecnologie informatiche che, unitamente ad appropriati contenuti testuali, sappiano rendere sempre più efficace e immediata la divulgazione scientifica. In un'epoca altamente tecnologica, qual è la nostra, la divulgazione di contenuti storico-scientifici deve sapersi rinnovare nella metodologia didattica e offrire nuove soluzioni a vecchi problemi museografici. È compito precipuo di ogni Museo preservare il proprio materiale collezionato con strutture adeguate e con idonei metodi conservativi. Manipolare un antico strumento scientifico o, peggio, tentare di rimmetterlo in funzione, comporta, nella maggior parte dei casi, notevoli rischi conservativi. D'altra parte, produrre perfette copie funzionanti, come già detto, può costituire un'ottima soluzione ma la sua reale fattività si scontra con gli alti costi e con le scarse risorse artigianali disponibili. Le tecniche della realtà virtuale hanno invece il pregio di beneficiare di un interesse crescente e di una continua innovazione tecnologica che tende a ottimizzare il rapporto prestazioni/prezzo. Esse, anche se non in grado di sostituire *tout court* l'enorme valore cognitivo e didattico dell'esperimento scientifico diretto e reale, possono tuttavia assumere un ruolo di primaria importanza nell'ambito di una più variegata e approfondita pedagogia scientifica.