



POLITECNICO di TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile

TESI di LAUREA

**“BIM e VR per le STRUTTURE SANITARIE
tra GESTIONE e RIABILITAZIONE**

Caso Studio: l’Ospedale S.S. Trinità di Fossano”

Relatore: *Prof.ssa Anna Osello*

Co-Relatore: *Ing. Matteo Del Giudice*

Candidata: *Chiara RIBA*

Luglio 2018

*“Io posso fare cose
che tu non puoi,
tu puoi fare cose
che io non posso.
Insieme possiamo fare
grandi cose.”*

Madre Teresa

 ABSTRACT

La gestione dei fabbricati esistenti è sempre un argomento molto sentito specie per quanto riguarda le strutture pubbliche sanitarie. Negli ultimi anni si sta utilizzando sempre più la metodologia BIM (Building Information Modelling) come strumento innovativo per digitalizzare, informatizzare e gestire il patrimonio architettonico esistente; obiettivo della tesi è cercare un collegamento che, tramite il BIM, possa fare interagire in modo più interdisciplinare i progettisti, il personale medico, i pazienti e se possibile anche il personale amministrativo e la proprietà della struttura approfondendo la ricerca per ciò che riguarda la riabilitazione motoria.

Per le persone affette da difficoltà motorie, infatti, la riabilitazione è senza alcun dubbio fondamentale. Un approccio tradizionale tuttavia può indurre nel paziente un senso di monotonia dovuto alla ripetitività dei gesti. È ulteriore oggetto della ricerca provare a proporre un approccio alternativo che con l'utilizzo della realtà virtuale permetta al soggetto di immergersi in ambientazioni appositamente modellate in cui svolgere esercizi personalizzati.



ABSTRACT

The management of existing buildings is always a very sensitive topic especially with regard to public health facilities.

In recent years BIM methodology has been increasingly used to digitize, computerize and manage existing buildings.

The subject of the thesis is to search a link that, through BIM, can make designers, medical personnel, patients and, if possible, even administrative staff and structure's ownership interact in a more interdisciplinary way, with a more in-depth focus over motor rehabilitation.

For people with motor difficulties, in fact, rehabilitation is undoubtedly fundamental. A traditional approach, however, can induce to the patient a sense of monotony due to the repetitiveness of gestures. Further object of the research is to try to propose an alternative approach that, with the use of virtual reality, allows the subject to dive himself in specially shaped environments in which carrying out personalized exercises.

INDICE

1. INTRODUZIONE.....	11
1.1. Il caso studio	13
1.1.1. Inquadramento storico	14
1.1.2. Inquadramento generale della struttura.....	17
1.2. BIM: Building Information Modelling/ Model	21
1.2.1. HBIM	23
1.2.2. La normativa di riferimento.....	25
1.2.3. I livelli di dettaglio (LOD)	28
1.2.4. BIM per la Sanità e per la Riabilitazione.....	31
1.3. Healing Environment	35
1.4. VAR	37
1.4.1. Strumenti e tecnologie	41
1.4.2. La VR in ambito medico.....	46
1.4.3. La VR immersiva per la riabilitazione	50
2. METODOLOGIA	53
2.1. Modello del contesto	55
2.2. Modello del secondo piano.....	61
2.2.2. Modellazione delle volte.....	63
2.3. Modellazione delle stanze per la VR.....	67
2.4. La creazione delle applicazioni.....	71
2.4.1. La piattaforma per la creazione delle applicazioni	71
2.4.2. La creazione delle scene ovvero l'importazione dei modelli.....	76
2.4.3. L'interazione tra oggetti e MYO.....	83
2.4.4. L'interazione tra oggetti e HTC VIVE.....	86
2.4.5. L'interazione tra oggetti e LEAP MOTION	91

2.5. Sviluppo dell'applicazione per la progettazione partecipata.....	95
2.6. Sviluppo delle applicazioni per la riabilitazione.....	97
2.6.1. I Test con paziente e fisioterapista	99
2.6.2. Gli applicativi per la riabilitazione	102
3. RISULTATI	105
3.1. La navigazione virtuale del piano	107
3.1.1. L'utilizzo di Enscape	107
3.1.2. L'utilizzo di Live	109
3.2. Il trattamento riabilitativo	111
4. CONCLUSIONI e SVILUPPI FUTURI.....	113
PRESENTAZIONE delle APPLICAZIONI al SALONE del LIBRO	117
BIBLIOGRAFIA e SITOGRAFIA.....	119
ALLEGATI.....	121

1

INTRODUZIONE

1.1. Il caso studio

La struttura oggetto di studio in questa tesi è l'ospedale Santissima Trinità di Fossano in provincia di Cuneo. La struttura ospedaliera è situata all'interno di un palazzo storico eretto nel XVIII secolo che si colloca nella parte alta della collina adiacente il fiume Stura sulla quale si sviluppa la città.

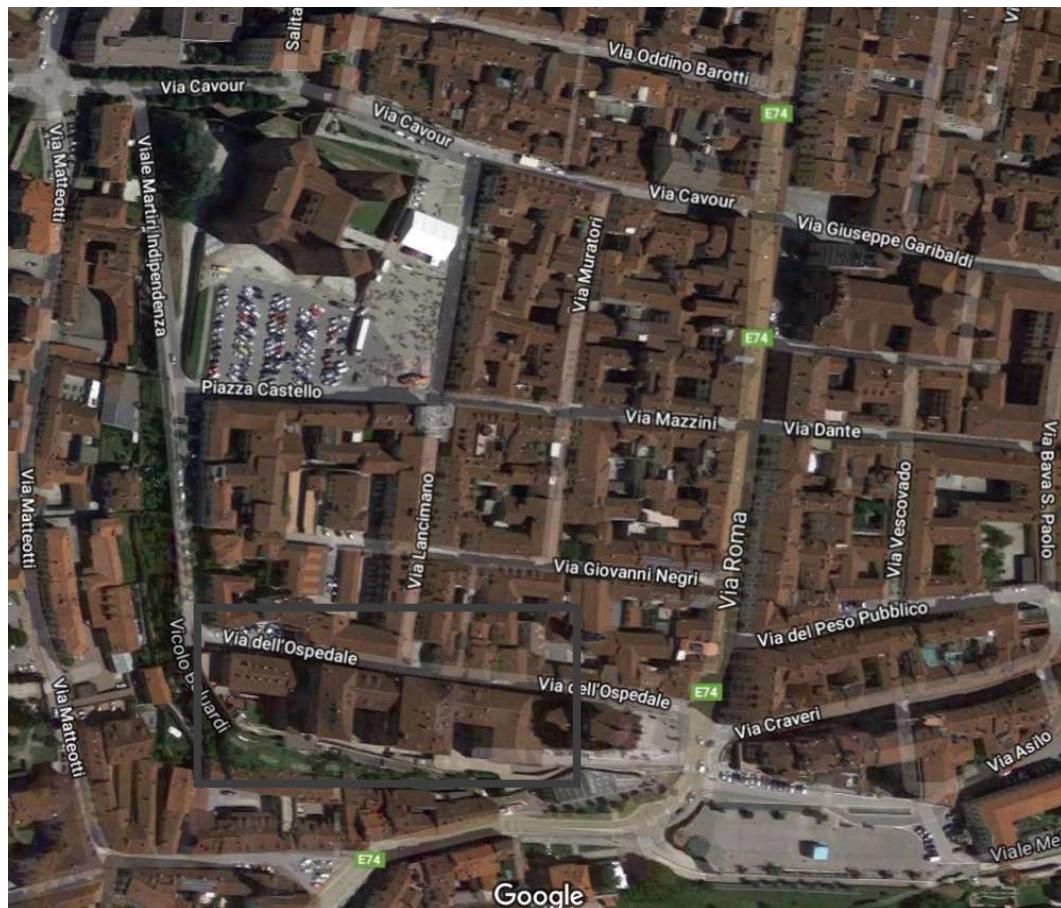


Figura 1 - Vista Aerea della zona dell'Ospedale (Google Maps)

1.1.1. Inquadramento storico

La costruzione dell'ospedale Maggiore a Fossano è senza dubbio il cantiere più importante per la città per quanto concerne alla prima metà del Settecento; l'idea di erigere un nuovo ospedale si presenta nel 1711 quando l'amministrazione del "vecchio" ospedale, ovvero la Confraternita della SS Trinità, invita l'ingegner Antonio Bertola a scegliere un luogo adatto e a redigere un progetto opportuno. Bertola non riuscì a soddisfare le esigenze dei committenti ed elaborò un piano troppo costoso così la questione rimase in standbye fino al 1723 quando l'architetto Francesco Gallo iniziò una serie di sopralluoghi per individuare nuovamente il sito più adeguato. Le fasi costruttive dell'opera possono essere ricostruite grazie all'"Archivio Storico dell'Ospedale Maggiore" conservato presso l'archivio comunale. Nel luglio dello stesso anno Gallo informa i confratelli che *"non vi è sito più capace e proprio che quello che resta a man sinistra subito entrati nella città per la porta del Romanisio"*; immediatamente dopo l'architetto viene incaricato di preparare il disegno sia dell'ospedale sia della chiesa della SS Trinità. Una volta acquisita l'approvazione da parte della municipalità, verso la fine del 1723 Gallo presenta la planimetria definitiva e all'inizio del 1724 la confraternita ottiene la concessione della licenza edilizia.



Figura 2 - Sezione longitudinale del progetto per l'ospedale SS. Trinità; fonte: Archivio Storico Comunale di Fossano

Dopo una serie di modifiche al progetto, scaturite da un incontro tra Gallo e l'architetto Gian Giacomo Plantery, nel maggio 1724 viene posata la prima pietra del cantiere affidato ai capi mastri Filippo e Giovanni Antonio

Robella; la fase più complessa del cantiere si conclude nella primavera del 1727 quando viene liquidato l'architetto Gallo ma la costruzione della chiesa (vedi immagine sottostante) attigua all'ospedale continua fino al 1770.



Figura 3 - Chiesa SS Trinità

L'edificio finale si sviluppa in orizzontale lungo un declivio che fa da margine all'abitato storico della città; è composto da un padiglione centrale di dimensioni maggiori che contiene l'atrio, lo scalone principale e la cappella, e da due padiglioni minori alle estremità delle lunghe maniche di servizio. I prospetti sono imponenti e caratterizzano di fatto il profilo meridionale di Fossano; gli stessi sono estremamente sobri e caratterizzati da una sequenza regolare di finestre prive di cornice, le aperture rimangono incastonate in una trama di lesene poco aggentanti. Lo schema distributivo dei piani risponde essenzialmente ad esigenze funzionali: dal nucleo centrale rappresentato dall'atrio e dalla scala si ramificano le corsie e gli ambienti di servizio che si affacciano verso sud ad una luminosa galleria. L'ospedale di Fossano è un esempio tipico del concetto settecentesco *"l'austerità sottolinea la funzione"* e *"gli ospedali debbono portar fisionomia di quel che sono: il loro pregio deve essere la semplicità, il comodo, la salubrità, la bellezza[...], inopportuna ogni manifigenza di struttura e ricchezza di ornati"* [1].

Bisogna ricordare inoltre che, nello stendere il progetto, Gallo ha avuto a disposizione alcuni modelli di riferimento appartenenti alla stessa epoca; il primo fra tutti è l'ospedale di San Giovanni costruito da Amedeo di Castellamonte nel cuore di una Torino all'epoca capitale del Regno sabaudo. Quest'ultimo è rappresentato da un grandioso impianto a croce sviluppato intorno a quattro cortili; per ragioni di spazio (l'area destinata all'ospedale permetteva soltanto la progettazione di un edificio da costruirsi in lunghezza) e di risorse (contenere i costi di costruzione era una delle condizioni), tenuto anche conto che ci si trova in una città di provincia, l'opera del Gallo risulta essere meno maestosa ma l'esito è comunque soddisfacente tanto che permette di inserire il nosocomio come uno dei modelli di riferimento per l'attualizzazione della riforma sanitaria avviata nel Piemonte sabaudo all'inizio del XVIII secolo.



Figura 4 - Vista ospedale dalla salita di via Guglielmo Marconi

1.1.2. Inquadramento generale della struttura

Ad oggi l'edificio si presenta dall'esterno esteticamente invariato rispetto al progetto del settecento ma si può notare come vi sia un ampliamento sulla destra se si guarda da via dell'Ospedale. Come si può dedurre dalla cartografia sottostante la struttura è in parte considerata come edificio soggetto a restauro conservativo mentre l'altra parte è soggetta a ristrutturazione con elementi vincolati. Questa parte dell'edificio, ovvero l'ampliamento prima citato, pur risultando esteticamente uguale non è presente nel progetto del Gallo e si può affermare, anche in virtù del fatto che presenta un apparato con struttura in pilastri, sia stata edificata nel XX secolo.

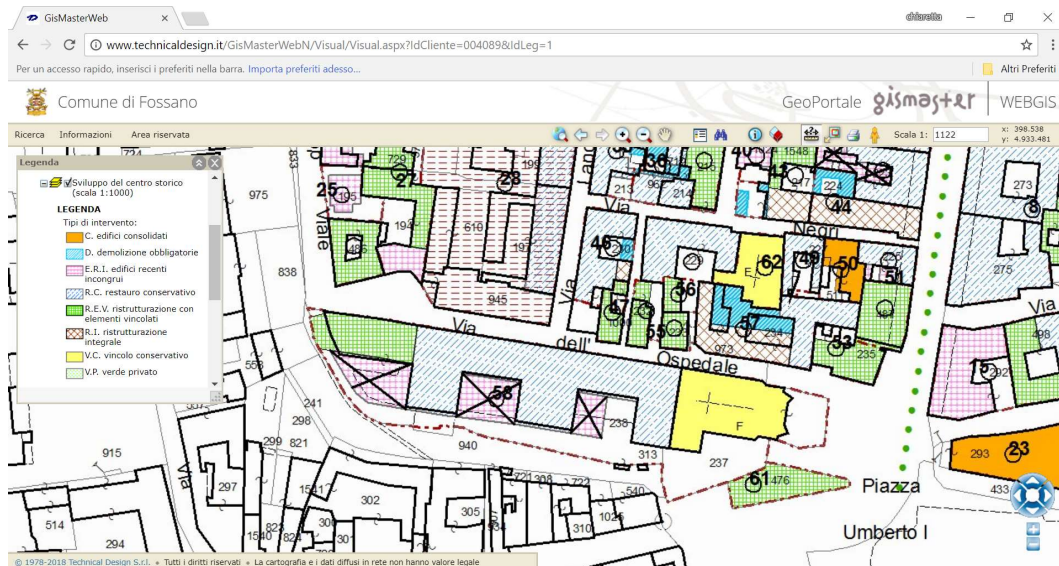


Figura 5 – Estratto cartografico dal sito del comune di Fossano (12/03/2018)

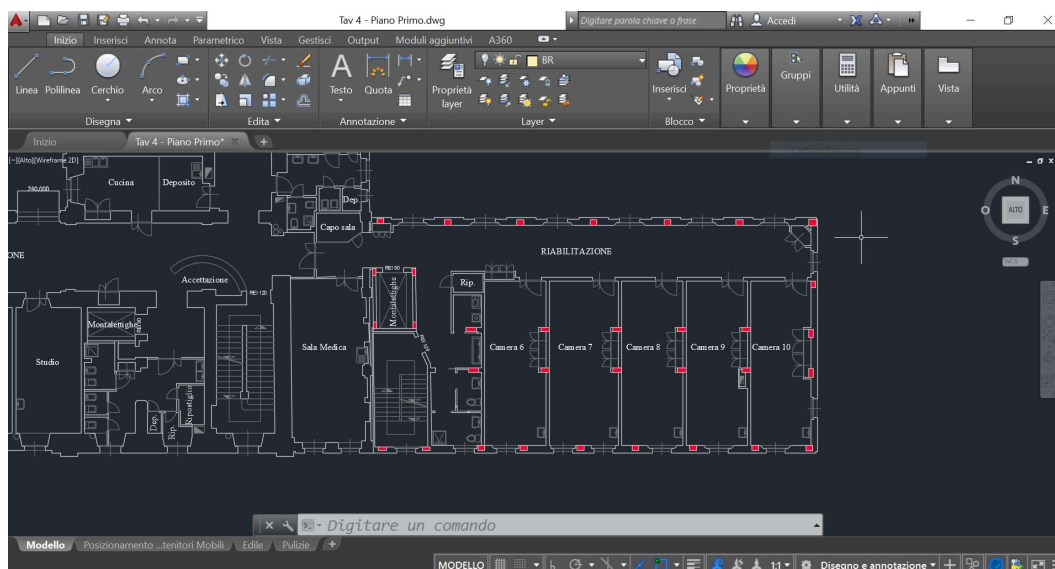


Figura 6 - Individuazione dei pilastri nella parte di corpo di fabbrica costruita in un secondo momento

Sotto l'aspetto prettamente burocratico, l'ospedale SS Trinità, fa parte di un presidio più ampio denominato Asl CN1, lo stesso comprende altri quattro ospedali ovvero l'Ospedale Civile di Saluzzo, l'Ospedale SS Annunziata di Savigliano, l'Ospedale Regina Montis Regalis di Mondovì e l'Ospedale Poveri Infermi di Ceva; sul territorio dell'asl CN1 sono inoltre presenti l'ospedale Santa Croce e l'ospedale Carle di Cuneo. Negli ultimi anni nel Cuneese si è optato per la costituzione di tale rete ospedaliera con lo scopo di orientare e regolare le prestazioni assistenziali per garantire un'adeguata risposta ai bisogni della popolazione ed un uso ottimale delle risorse disponibili.

Nel mese di aprile 2017 è stato annunciato, dalla Giunta regionale e dall'Asl CN1, un programma di ristrutturazione dei locali per adeguare la struttura alle recenti normative e per rafforzare i servizi offerti; i lavori, il cui investimento complessivo è superiore ai 3,5 milioni di euro, riguarderanno tutta la struttura del SS Trinità con particolare attenzione al sistema di videosorveglianza, alla climatizzazione estiva, alla sistemazione della copertura e all'installazione di vetri basso-emissivi e di sicurezza per le vetrate storiche.

In merito ai lavori l'assessore alla Sanità della Regione Piemonte Antonio Saitta ha affermato: *“All'ospedale di Fossano è riservata una parte importante del piano triennale di edilizia sanitaria presentato dall'Asl Cn1.*

L'obiettivo è quello di migliorare la qualità dei servizi e rispondere in maniera sempre più adeguata alle esigenze di pazienti e operatori: come è evidente, dunque, non c'è alcuna intenzione di ridurre i posti letto né, tantomeno, di chiudere la struttura, che rappresenta l'unico presidio riabilitatorio pubblico di alto livello dell'area" (in risposta ad una interrogazione presentata dalla minoranza in Consiglio Regionale del 11 Aprile 2017).

L'ospedale di Fossano vuole infatti caratterizzarsi come un centro in grado di offrire riposte ai pazienti dopo la fase acuta della malattia; nella struttura oltre al reparto di medicina riabilitativa di II livello e di Neuroriabilitazione e stati vegetativi sono presenti anche i reparti di riabilitazione cardio-respiratoria, ortopedica e il reparto di lungodegenza. In totale la struttura può accogliere 72 malati in regime di ricovero ordinario 4 in modalità day hospital.

All'interno dell'ospedale sono presenti anche un centro per la sterilità di coppia, un laboratorio per la riproduzione umana assistita e un centro per la riabilitazione visiva. Vi è inoltre un servizio di radiodiagnostica per l'effettuazione di radiologia tradizionale, ecografie internistiche, esami TAC e risonanze magnetiche.

Il reparto oggetto di studio è situato al secondo piano della struttura nell'ala sinistra della stessa. Si compone di 15 posti letto per la degenza ordinaria che sono così suddivisi: 10 per i pazienti della Neuroriabilitazione e 5 per i degenti dell'Unità Stati Vegetativi.

Il personale del nucleo di Neuroriabilitazione, che fa capo al Primario dott. Gianfranco Lamberti, si occupa di assistere persone affette da esiti di grave lesione cerebrale acquisita; nello specifico i pazienti vengono trattati per curare gli esiti di traumi cranici o ictus cerebrali seguiti da un periodo di coma superiore alle sei ore. La struttura assiste individui di tutte le età che presentano menomazioni e disabilità di varia natura e gravità; i pazienti vengono ricoverati in quanto non sarebbe possibile erogare i trattamenti in forma extra-ospedaliera.

1.2. BIM: Building Information Modelling/Model

L'acronimo BIM venne divulgato per la prima volta dallo studioso americano Jerry Laiserin all'interno delle sue pubblicazioni nel 2002; quest'ultimo si autodefinisce, "un padrino della materia" avendo contribuito in modo attivo alla sponsorizzazione e alla diffusione di questa metodologia; il NIBS (National Institutes of Building Science) definisce il BIM come la "rappresentazione digitale di caratteristiche fisiche e funzionali di un oggetto".

In campo pratico l'acronimo BIM viene utilizzato con due diversi significati; in letteratura sono presenti una numerosa serie di definizioni, per una maggiore comprensione del concetto si riportano quelle a mio avviso più chiare e maggiormente esplicative.

BIM come Building Information Modeling:

"Building Information Modeling is one of the most promising developments in the architecture, engineering and construction (AEC) industries. With BIM technology, an accurate virtual model of a building is constructed digitally. When completed, the computer-generated model contains precise geometry and relevant data needed to support the construction, fabrication, and procurement activities needed to realize the building" [2].

BIM come Building Information Model:

"The Building information Model is a data-rich, object-oriented, intelligent and parametric digital representation of the facility, from which views and data appropriate to various users' needs can be used to make decisions and improve the process of delivering the facility" [3].

Recentemente si sta diffondendo un terzo significato dell'acronimo ovvero BIM come Building Information Management. I vantaggi del processo BIM spingono infatti ad utilizzare questa metodologia anche per il Facility Management; questa disciplina deve adottare questi nuovi strumenti operativi a partire dal progetto fino a tutte le attività successive legate al processo edilizio organizzando i dati in modo che questi facciano da riferimento per la gestione successiva dell'opera. I dati, completi e organizzati secondo una certa gerarchia, possono essere trasferiti in

automatico in un software gestionale (e.g. ArchiBUS), che in funzione delle modifiche apportate al database BIM aggiorna la documentazione as built e permette di programmare gli interventi di manutenzione. Questo processo modello BIM / software di gestione prende il nome di interoperabilità bidirezionale.

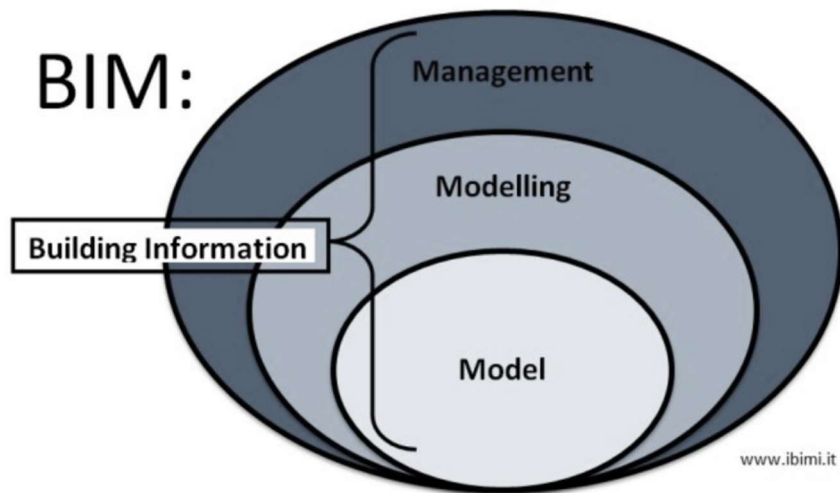


Figura 7 - I significati dell'acronimo BIM – Fonte: www.ibimi.it

1.2.1. HBIM

Trattando il caso studio di un edificio del XVIII secolo vi è da citare una branca specialistica definita HBIM che in maniera piuttosto grossolana si può definire come Historic Building Information Modeling; questo settore del BIM si occupa della conservazione degli edifici esistenti con particolare riferimento a quelli d'importanza storica e monumentale.

Negli ultimi anni, come dimostra anche il grafico riportato nella figura sottostante, l'attenzione degli studiosi in materia di BIM si è molto concentrata su questa branca e sono emerse una serie di nuove definizioni del termine che sono:

- BHIMM "Built Heritage Information Modelling and Management";
- DA-HBIMM "Diagnosis-Aided Historic Building Information Modelling and Management";
- HBIM "Historic Building Information Modelling";
- HBIM "Heritage Building Information Modelling";
- HBIMM "Historic Building Information Modelling and Management".

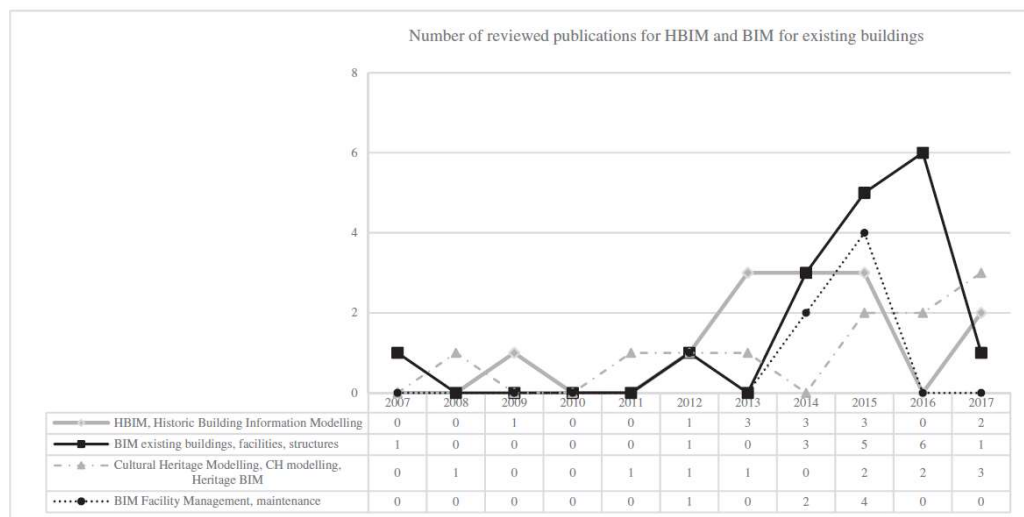


Figura 8 – Numero di pubblicazioni per HBIM e BIM per edifici esistenti - Fonte: [4]

Il BIM può essere un ottimo strumento per la completa gestione e conoscenza anche del patrimonio costruito, in particolare, nel caso di ristrutturazione e ammodernamento di edifici esistenti, si può gestire tramite modello il controllo qualità durante la diagnosi, progettazione e realizzazione del lavoro; in questi casi particolari, la gestione delle

informazioni è ancora più importante in quanto ci si trova a doversi interfacciare con la Soprintendenza per i Beni Storici e Culturali e bisogna sottostare a una lunga serie di vincoli da parte della stessa.

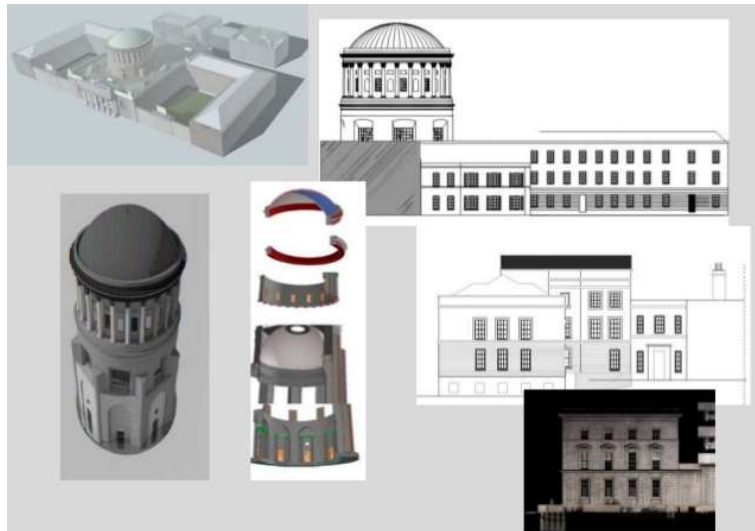


Figura 9 – Esempio modello HBIM; Fonte: Dr. Maurice Murphy (Dublin Institute of Technology)

L'ospedale è stato eretto nella prima metà del millesettecento e può quindi essere considerato come Historic Building Information Modelling.

1.2.2. La normativa di riferimento

Nella maggior parte dei progetti edili, specie quando si tratta di interventi di manutenzione/ristrutturazione di edifici storici (spesso vincolati dalla soprintendenza) vengono coinvolti una serie di professionisti con competenze diverse ma collegate tra loro ai fini del progetto. Utilizzare una metodologia BIM comporta che tutti gli attori coinvolti all'interno del processo progettuale debbano concentrarsi anche sulla qualità e trasferibilità dei "loro" dati. Passaggio fondamentale risulta quindi il coordinamento e la raccolta dei dati al fine di definire con chiarezza quali informazioni devono/possono essere scambiate/modificate dai vari attori del processo e quali no e soprattutto a che livello di dettaglio deve "spingersi" ogni professionista per quanto riguarda il proprio lavoro.



Figura 10 – Professionisti coinvolti nel processo BIM; Fonte: www.biblus.acca.it

I livelli che definiscono il grado di approfondimento e la quantità dei dati da fornire sono definiti nella UNI 11337-2017; tale norma nasce in risposta sia alla Direttiva Appalti Europea sia al Dlgs 50/2016.

La DIRETTIVA 2014/24/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 26 febbraio 2014 sugli appalti pubblici che abroga la direttiva 2004/18/CE all'art.22 comma 4 recita: *"Per gli appalti pubblici di lavori e i concorsi di progettazione, gli Stati membri possono richiedere l'uso di strumenti elettronici specifici, quali gli strumenti di simulazione elettronica per le*

informazioni edilizie o strumenti analoghi. In tali casi, le amministrazioni aggiudicatrici offrono modalità alternative di accesso, come previsto al paragrafo 5, fino al momento in cui tali strumenti divengono generalmente disponibili [...]”.

Il Decreto legislativo 18 aprile 2016, n. 50 Codice dei contratti pubblici (già aggiornato con il decreto legislativo 19 aprile 2017, n.56 e la legge 21 giugno 2017, n.96) affronta il tema “BIM” all'art.23 comma 1 recita “La progettazione in materia di lavori pubblici si articola, secondo tre livelli di successivi approfondimenti tecnici, in progetto di fattibilità tecnica ed economica, progetto definitivo e progetto esecutivo ed è intesa ad assicurare:[...] h) la razionalizzazione delle attività di progettazione e delle connesse verifiche attraverso il progressivo uso di metodi e strumenti elettronici specifici quali quelli di modellazione per l'edilizia e le infrastrutture[...]”.



Figura 11 - Struttura decreto BIM - Fonte: <https://reactstudio.it/it/news/decreto-bim>

A dicembre 2017 il Ministro delle Infrastrutture e dei Trasporti ha firmato il cosiddetto “decreto BIM” relativo all'introduzione dell'obbligo del progressivo utilizzo di metodi e strumenti elettronici specifici per l'edilizia e le infrastrutture; si tratta del Decreto attuativo dell'art. 23 del D.Lgs.50/2016 e serve a definire le modalità e i tempi per l'obbligatorietà dell'utilizzo del BIM da parte delle Stazioni Appaltanti, delle Amministrazioni Concedenti e degli Operatori economici. In sintesi l'introduzione di nuovi strumenti di

digitalizzazione BIM dovrà seguire un calendario ben definito che è stato articolato in tre fasi [5]:

- Fino al 2019, l'obbligo di adozione della metodologia BIM risulterà legato ad opere particolarmente complesse, con importi superiori a 100 milioni di euro;
- Dal 2019 al 2021 i criteri risulteranno invece legati più al tema della complessità che a quello dell'importo. Il BIM sarà utilizzato per opere di tipo strategico con particolari standard di sicurezza e con un alto affollamento di persone;
- Infine, dal 2022 in poi, il BIM verrà introdotto a pieno regime, diventando obbligatorio per tutte le opere ordinarie, ad eccezione di quelle residenziali e non caratterizzate da particolari problematiche legate alla sicurezza. Si arriverà quindi nel 2025 alla digitalizzazione dei processi per tutte le opere, di maggiore o minore complessità, fino a raggiungere importi inferiori al milione di euro.

Il quadro normativo sopra descritto, anche non essendo cogente in caso di lavori privati, permette di avere una traccia/riferimento non solo in merito ai livelli di dettaglio ma anche per quanto riguarda il capitolato, la creazione, la gestione e la verifica del modello da produrre.

1.2.3. I livelli di dettaglio (LOD)

Il concetto di livello di dettaglio, inteso in generale come definizione della qualità, quantità e grado di approfondimento delle informazioni da inserire nel modello è definito in modo diverso a seconda dello stato in cui ci si trova.

Per quanto riguarda l'Italia, nella norma UNI 11337:2017, il LOD è inteso come "Livello di sviluppo dell'oggetto" ed è suddiviso in LOG (Livello di sviluppo degli Oggetti riguardate gli attributi geometrici dell'oggetto) e LOI (Livello di sviluppo degli Oggetti riguardate le informazioni dell'oggetto). È stata definita una scala di LOD codificata secondo le lettere (dalla lettera A alla lettera G per non confondere l'utilizzatore rispetto alle scale USA e UK). Una novità da sottolineare consiste nel fatto che il LOD di un elemento non corrisponde necessariamente ad una determinata fase del processo. La scala generale della norma UNI 11337:2017 (descritta più nel dettaglio nella parte 4 della norma) risulta essere:

- LOD A: oggetto simbolico;
- LOD B: oggetto generico;
- LOD C: oggetto definito;
- LOD D: oggetto dettagliato;
- LOD E: oggetto specifico;
- LOD F: oggetto eseguito;
- LOD G: oggetto aggiornato.

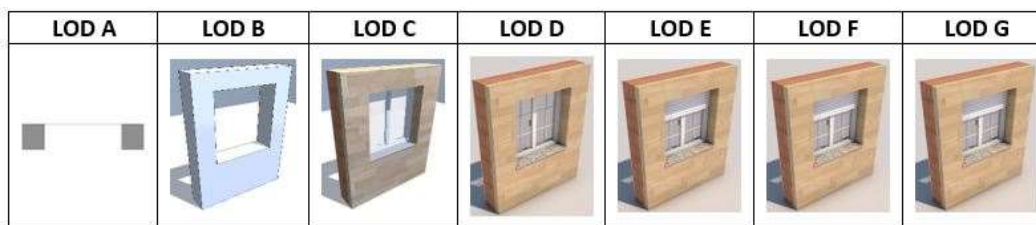


Figura 12 - Esempio LOD norma UNI 11337 - Fonte: www.ingenio.it

Nell'quadro normativo estero, invece, l'esperienza più significativa che si riporta è quella USA che utilizza una nomenclatura standard per definire i livelli di quantità/qualità dei dati. Il termine LOD è definito come "livello di sviluppo" di un elemento del modello BIM.

Il modello USA è stato sviluppato dall'American Institute of Architects (AIA) che ha pubblicato un quadro LOD per il Protocollo AIA G202-2013. Il framework LOD definisce i seguenti requisiti di contenuto per gli elementi del modello:

- LOD 100: è il livello più elementare; può essere rappresentato graficamente nel modello con un simbolo o altra rappresentazione generica, ma non soddisfa i requisiti per il LOD 200. Informazioni relative all'elemento del modello (ad esempio, il costo per metro quadrato, il peso, ecc.) possono essere derivate da altri elementi dello stesso modello;
- LOD 200: l'elemento del modello è rappresentato graficamente all'interno del modello come un sistema generico, un oggetto o un assemblaggio con caratteristiche approssimative in termini di dimensione, forma, posizione e orientamento; a questo livello si possono collegare all'elemento informazioni non grafiche;
- LOD 300: L'elemento del modello è rappresentato graficamente all'interno del modello come un sistema specifico, un oggetto o un assemblaggio con caratteristiche precise in termini di quantità, dimensioni, forma, posizione e orientamento. Anche in questo caso, informazioni non grafiche possono essere collegate all'elemento del modello;
- LOD 400: l'elemento del modello è rappresentato graficamente all'interno del modello come un sistema specifico, un assemblato o un oggetto riconoscibile in termini di dimensioni, forma, posizione, quantità e orientamento con dettagli utili per la fabbricazione, l'assemblaggio, l'installazione. Anche in questo caso, informazioni non grafiche possono essere collegate all'elemento del modello;
- LOD 500; l'elemento del modello è una rappresentazione verificata in cantiere in termini di dimensioni, forma, posizione, quantità e orientamento. Anche in questo caso, informazioni non grafiche possono essere collegate all'elemento del modello.

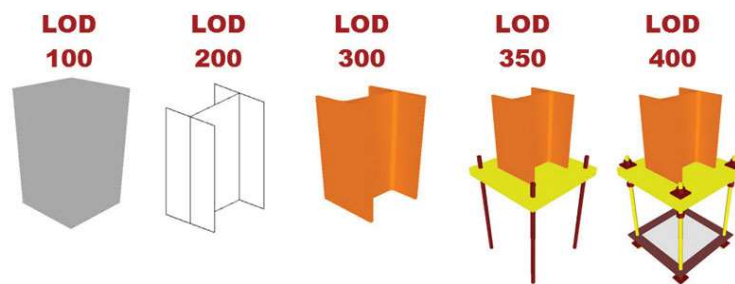


Figura 13 - Esempio LOD norma USA - Fonte: www.ibimi.it

I concetti sopra descritti risultano essere utili nel momento in cui si inizia a modellare un oggetto o un edificio; è compito del committente/progettista definire il livello di dettaglio richiesto in ogni fase, per ogni settore di sviluppo del progetto e il livello di attendibilità e la precisione dei dati da associare alle diverse tipologie di informazioni anche e soprattutto in funzione dello scopo finale del modello stesso. Questo garantisce che solo le informazioni effettivamente necessarie vengano sviluppate e non ci siano così sprechi per quanto riguarda i tempi e i costi della modellazione.

Per quanto riguarda il caso studio in questione e per gli scopi di questa tesi gli oggetti devono essere definiti in maniera precisa sotto l'aspetto puramente grafico cioè per la mera visualizzazione. Per questo motivo si può dire che in linea puramente teorica il livello LOD da adottare nella scala prevista dalla normativa italiana è un LOD E che ha solo la componente LOG; per la scala sviluppata dall'AIA invece si deve pensare a un LOD 300.

1.2.4. BIM per la Sanità e per la Riabilitazione

"Healthcare facilities offer a fundamental service for all citizens and the development of their technology is becoming increasingly important. Nowadays, it is possible to think of a wider concept of sharing experiences, in order to organize and optimize information in such a complex structure using Building Information Modelling (BIM). BIM means a process where all stakeholders are able to design and manage a building throughout its life cycle; the sharing information process leads all the activities, starting from a tridimensional parametric model containing the real properties of its construction elements. Alphanumeric and graphic information is retrieved from the BIM model according to the identified needs." [6]

In letteratura si trovano facilmente una serie di articoli scientifici che collegano il mondo dell'edilizia sanitaria al BIM e al Facility Management, allo stesso modo si possono trovare articoli che colleghino BIM, realtà virtuale e Facility Management. Negli ultimi tempi si sta approfondendo anche un filone di ricerca medico innovativo che, come verrà spiegato in seguito, si occupa di utilizzare la realtà virtuale per la riabilitazione.

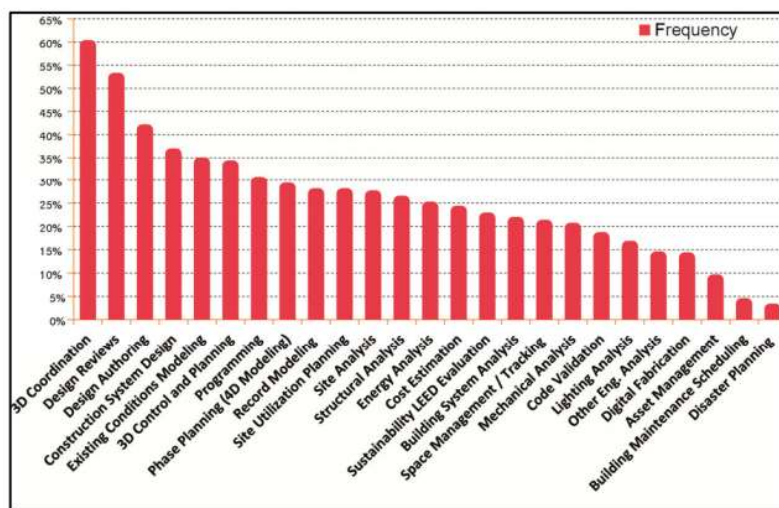


Figura 14 - Distribuzione delle applicazioni del BIM – Fonte: Kreinder, Messner, Dubler, 2013)

Uno degli obiettivi di questa ricerca è quello di cercare un punto di incontro comune tra BIM, realtà virtuale e riabilitazione motoria. Come si può evincere dall'immagine sottostante i collegamenti descritti in precedenza risultano supportati da una serie più o meno vasta di articoli scientifici mentre sono evidenziati con dei punti di domanda i collegamenti oggetto di ricerca.

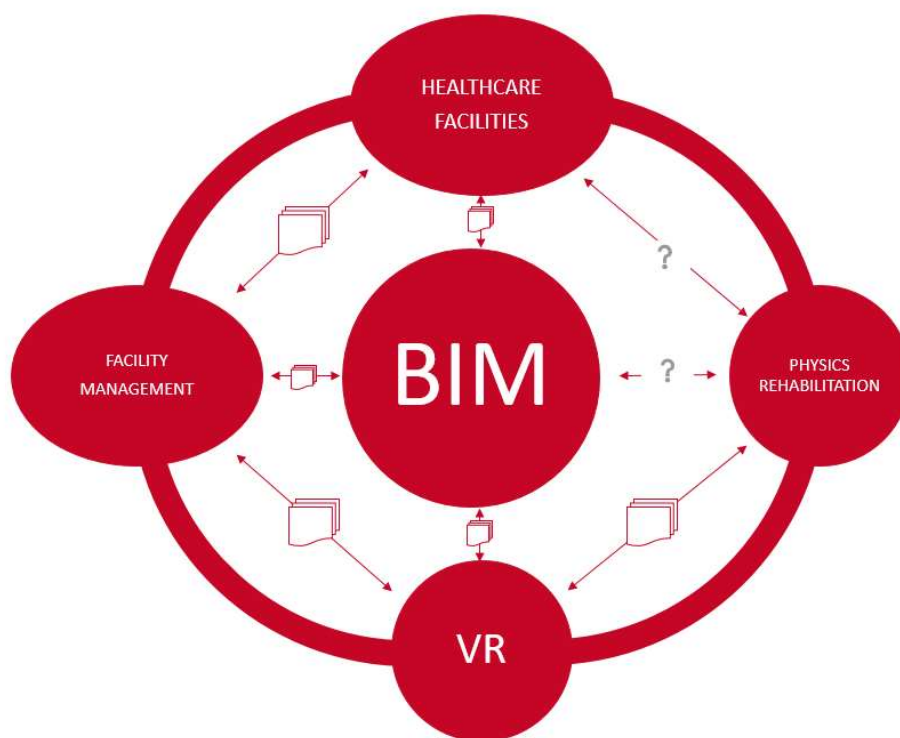


Figura 15 – Possibili collegamenti BIM, VR, FM, Healthcare Facilities e riabilitazione motoria

L'idea nasce dalla professoressa Anna Osello, relatrice di questa tesi, che in un'intervista al quotidiano la Stampa del 7 dicembre 2017 afferma: *"La modellazione 3D può servire per la riabilitazione, ad esempio per chi ha problemi di orientamento, ma vogliamo anche usarla per divertire"; l'articolo prosegue: "La prossima tappa sarà coinvolgere i malati che non possono muoversi dal letto, per portarli virtualmente dove non possono andare. Abbiamo un progetto con l'ospedale di Fossano".*

Nella pagina che segue è riportato per intero l'articolo.



I piccoli pazienti del Regina Margherita in trasferta al Politecnico alle prese con i visori 3D

REPORTERS

Torino, i piccoli ricoverati vedono il mondo in 3D

Progetto del Politecnico per i bambini dell'ospedale

FABRIZIO ASSANDRI
TORINO

Samuel mette sulla testa uno strano casco e inizia a «viaggiare». Muove un mouse e passa sopra i tetti di Parigi a volo d'angelo. Plana in mezzo ai vicoli, in un attimo è davanti alla Tour Eiffel. «Sembra di essere lì davvero, anche se non ci sono mai stato. Per me che voglio fare l'informatico questi strumenti sono bellissimi». Samuel, 16 anni, venezuelano, è da un mese a Torino per le cure dopo il trapianto di midollo. È uno dei ragazzi seguiti dall'ospedale Regina Margherita e dal centro tumori di Candiolino che hanno sperimentato le tecnologie 3D del Politecnico.

La professoressa di modellazione digitale Anna Osello usa le ricerche più avanzate sulla realtà aumentata a vantaggio dei malati con il progetto Sam4Care. Le tecniche sono legate al modello Bim, che sta rivoluzionando l'industria delle costruzioni e permette un'esperienza immersiva nella realtà virtuale e aumentata. Il team di Osello ad esempio si sta occupando della mappatura 3D dello Juventus Stadium, che gestirà l'arena da remoto. I manutentori potranno muoversi dentro come in un videogioco. Qualcosa di simile tiene occupato Moises, 7 anni. Gli occhi neri che escono dalla mascherina s'illuminano davanti al puzzle che, a ogni incastro, trasforma i pezzi da «piatti» a 3D. Carla, 6 anni, lascia un attimo da parte la tecnologia, prende i gessetti e disegna su una vecchia lavagna.

«La modellazione 3D può servire per la riabilitazione, ad esempio per chi ha problemi di orientamento, ma vogliamo usarla anche per divertire», dice Osello. La prima tappa del progetto sabato scorso: una quindicina di ragazzini dal 6 ai 16 anni in cura, hanno visitato i laboratori del Politecnico, con le associazioni di volontari del «Progetto Giada». Hanno provato visori e occhiali a loro volta realizzati con le stampanti 3D. La prossima tappa sarà coinvolgere i malati che non possono muoversi dal letto, «per portarli virtualmente dove non possono andare. Abbiamo un progetto con l'ospedale di Fossano», dice Osello.

Il cui padre Giovanni, da poco scomparso, era malato di Sla. «Insieme a un infermiere, Samuele, la cui mamma era ricoverata nella stessa struttura a Moncrivello, abbiamo pensato a come aiutare queste persone». I ricercatori per ora hanno fatto le ricostruzioni della Sala dei sarcofagi del Museo Egizio e l'intero borgo storico di Serralunga d'Alba, con il castello e le vigne. «Caricheremo questi e altri modelli sul nostro sito, saranno disponibili gratis per qualunque ospedale». Per il gioco con i bambini hanno usato la mappatura delle città di Google

(fatta sulla base di immagini, il modello Bim usa i rilievi). I bambini, che al termine della giornata hanno ricevuto la «laurea» dal rettore in toga, hanno anche fatto qualcosa per gli altri: hanno disegnato la mascotte, che i ricercatori trasformeranno in personaggio 3D, per la residenza di Moncrivello. Anche qui Osello vorrebbe portare la tecnologia. Per la riabilitazione, o per far muovere chi può farlo solo con la mente.

© BY NAC NO ALCUNI DIRITTI RISERVATI

Se la contadinella c

GHIOOTTO
GALFRE
ANTIPASTI D'ITALIA

www.ghiottogalfre.it
0175 34 42 86

Dai più gusto alle tue feste. Regala o regalati i

1.3. Healing Environment

Sempre più di frequente vengono eseguiti studi scientifici che vogliono valutare il rapporto tra l'ambiente ospedaliero (ovvero l'arredamento tecnico, i colori e la disposizione degli spazi per l'ospedale) e la guarigione dei pazienti. Lo studio approfondito degli ambienti in questo ambito può aiutare a ridurre gli errori medici e le ricadute dei pazienti ed a implementare la privacy e il comfort dei pazienti e dei proprio familiari.

I fattori che influenzano la degenza e la guarigione in maniera positiva sono molteplici. In primo luogo sarebbe auspicabile per lo staff medico avere ambienti con stanze tutte uguali; il layout identico di luci e dell'attrezzatura riduce infatti la possibilità di errore. In seconda battuta bisogna analizzare i materiali e i colori da utilizzare e la vista dalla stanza; se non è possibile avere una vista dalla finestra che mostri un paesaggio naturale è consigliabile, anche durante le terapie, utilizzare fotografie che "distraggano il paziente". In ultima, è dimostrato che pazienti che soggiornano in stanze luminose hanno degenze più brevi quindi è molto importante lo studio della variazione dell'intensità e della direzione della luce naturale all'interno dell'ambiente durante l'arco della giornata.

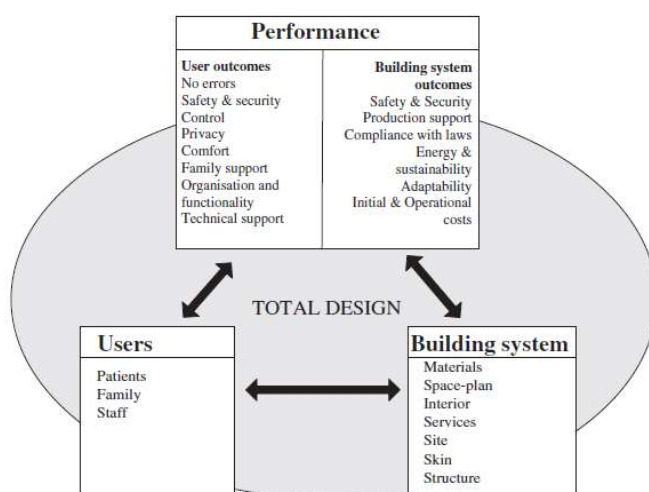


Figura 16 - Schema che correla lo spazio, gli utilizzatori e le prestazioni di un edificio ospedaliero.

A sostegno di quanto detto in precedenza vi è un articolo del 2012 "Healing environment: A review of the impact of physical environmental factors on users". L'articolo si basa a sua volta su altri testi, in particolare su "The role

of the physical environment in the hospital of 21st century: a once-in-a-lifetime opportunity" del 2004 e su "A review of the research literature on evidence-based healthcare design." del 2008 di Ulrich e altri autori.

Nelle conclusioni gli autori scrivono: *"Addressing the effects of the physical environment on the healing process and well-being of patients and their families and staff has become increasingly important in HCF (healthcare facilities) design and construction. [...] It was found that evidence for staff outcomes is scarce. Most staff outcomes are empirically based and not scientifically proven. It has been noted that the literature presents a variety of theoretical frameworks and technologies in the study of health outcomes on patients that are unsuitable for future research on healing environments. This shortcoming is because most of these studies have focused on the perspective of patient needs or on the perspective of the designer. Another reason why the conclusions of the current study are interesting for healthcare organisations is that HCF are developing a more customer-oriented management approach. This means that for designing and constructing new healthcare settings or renewing HCF, it is also crucial to understand the needs and relationships between the staff and other stakeholders related to the built environment. The main challenges for further research are the specifications of staff needs and the integration of all these needs into the built environment of HCF."* [7].

In sintesi quello che si evince dall'articolo è che la correlazione ambiente paziente esiste ed è dimostrata mentre non vale lo stesso per la correlazione tra personale medico e ambiente e quindi sono da valutare in maniera più approfondita i bisogni e le relazioni tra edificio ospedaliero e le persone che lavorano all'interno siano questi personale sanitario, amministrativo o di servizio.

1.4. VAR

Possiamo definire il concetto di "realtà mediata" come un'alterazione della percezione attraverso i cinque sensi della realtà circostante; la realtà viene quindi restituita all'utente dopo una mediazione che può essere attuata da un computer o tramite un dispositivo portatile o indossabile.

Nel tempo la definizione di realtà mediata è stata modificata e implementata; al momento sono definite in modo più o meno dettagliato quattro sottocategorie: la realtà virtuale (Virtual Reality o VR), la realtà aumentata (Augmented Reality o AR), la realtà mista (Mixed Reality o MR) e la virtualità aumentata (Augmented Virtuality o AV).

Per mettere ordine tra le varie categorie è utile definire un concetto introdotto da Paul Milgram nel 1994: il continuo reale-virtuale (Reality-virtuality continuum). La scala, rappresentata nell'immagine sottostante, presenta due estremi che sono il mondo reale così come lo percepiamo e il mondo virtuale ovvero il mondo fittizio che viene generato da un dispositivo elettronico come ad esempio un computer.

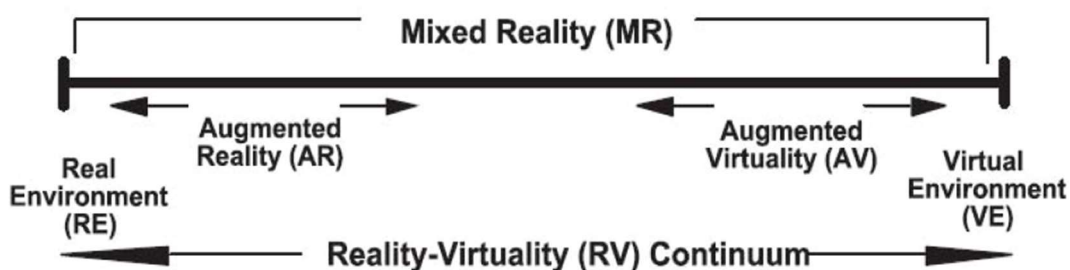


Figura 17 - Reality-Virtuality RV Continuum – Fonte: www.researchgate.net

La **Realtà Aumentata** (AR) può essere definita come la capacità di sovrapporre alla realtà osservata dal soggetto (mondo reale) un insieme di informazioni aggiuntive, generate da un elaboratore (es. computer, tablet, smartphone), relative al contesto. Le informazioni possono essere sia oggetti virtuali posti nell'ambiente reale sia informazioni relative ad oggetti reali.

In altre parole il concetto di realtà aumentata può essere descritto come la sovrapposizione di informazioni utili all'utente relative al mondo reale; esempio di questo genere può essere un'applicazione che inquadrando tramite una fotocamera un edificio pubblico ci restituisce informazioni a

riguardo come gli orari di apertura. Sulla scala del continuo reale virtuale ci si trova quindi vicino all'estremo reale ma non lo si raggiunge; l'utente è conscio dell'ambiente reale che lo circonda ma in esso vi sono delle aggiunte di informazioni virtuali.

La **Virtualità Aumentata** (AV) descrive i contesti in cui entità reali sono inserite in un ambiente generato dal computer e rappresenta sistemi che tipicamente includono input reali multi-sensoriali che integrano con l'ambiente virtuale.

Nell'ambiente aumentato è necessario localizzare in maniera corretta dove si trova un dato elemento rispetto all'ambiente reale per capire dove posizionare in modo esatto la parte digitale.

La **Realtà Virtuale** (VR) è una realtà simulata, rappresenta in genere un ambiente tridimensionale che viene modellizzato al calcolatore; l'ambiente virtuale può essere esplorato e con esso è possibile interagire usando dispositivi informatici come visori, guanti e auricolari che proiettano chi li indossa in uno scenario così realistico da sembrare vero. Questa realtà si colloca quindi all'estremo virtuale del continuo. L'ambiente virtuale è completamente digitale e quindi non è necessaria la sincronizzazione tra il mondo reale e quello virtuale; l'unica cosa che serve è l'interazione con l'utente.

All'interno di questa definizione si possono definire ancora due sotto-ambiti che sono:

- La **Realtà Virtuale Immersiva** (RVI). È accompagnata da una forte sensazione di immersione nello spazio esplorabile visivamente grazie alla possibilità di interagire con gli oggetti raffigurati virtualmente.
- **Realtà Virtuale Non Immersiva** (desktop RV) invece, non suscita una sensazione di coinvolgimento poiché l'ambiente creato non viene percepito come reale ma è visibile esclusivamente attraverso uno schermo (tv, pc ecc.).

Milgram definisce la **Realtà Mista** (MR) come tutto quello che è compreso tra gli estremi del continuo, sono quindi incluse la realtà aumentata, la

virtualità aumentata e tutte le altre configurazioni di tipo misto che si possono creare.

Negli ultimi anni il concetto di realtà mista si è un po' modificato; viene definita MR come una particolare realtà aumentata nella quale l'utente ha la percezione del mondo reale, vengono aggiunti elementi virtuali e in questo caso, non si tratta di oggetti distaccati semplicemente sovrapposti, ma di rappresentazioni realistiche che interagiscono con la realtà.

L'utente ha la percezione di una realtà che è commista di elementi reali e virtuali. Un esempio potrebbe essere una scrivania a cui vengono aggiunti cassetti, ante o moduli attraverso un visore per la realtà mista: gli elementi virtuali saranno quindi ancorati al mobile reale e l'utente avrà percezione sia del mobile reale che degli elementi virtuali ad esso aggiunti.



Figura 18 - Definizioni grafiche di AR AV e VR – Fonte: www.forbes.com

In altre parole la scala del continuo può essere meglio descritta se si analizzano due aspetti fondamentali della realtà mediata: il primo è il **livello di immersione** dell'utente all'interno dell'esperienza e il secondo è la **connessione tra utente e mondo reale**. Il livello di immersione aumenta passando da AR a VR mentre la connessione tra utente e mondo reale diminuisce.

Attualmente, il nuovo trend emergente consiste nel definire tutti i contenuti che usano queste tecnologie come "XR". Tuttavia il termine XR è usato anche per definire la "Cross Reality", traducibile come Realtà Trasversale, vale a dire qualsiasi hardware che combini aspetti AR, MR e VR.



Figura 19 – Campi di applicazione della Cross Reality – Fonte: www.slideshare.net

La diffusione di queste tecnologie è in continua progressione, nell'immagine che segue si riportano i dati relativi all'anno 2017 e la ipotetica progressione da oggi al 2021.

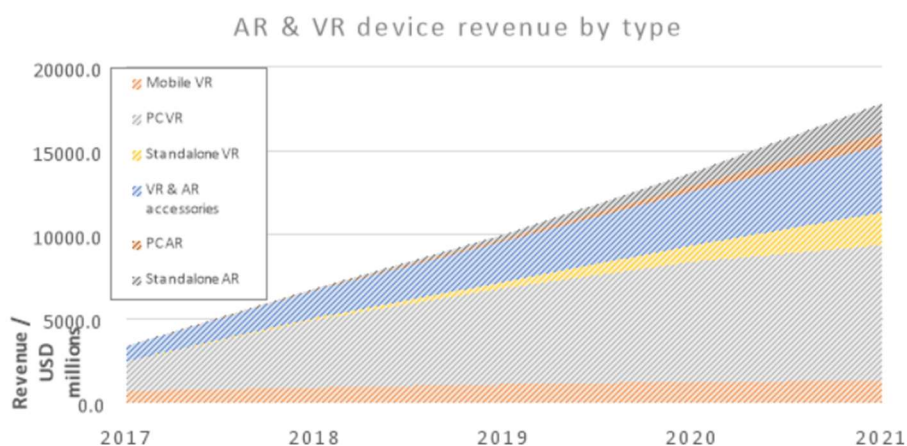


Figura 20 – Progressione del gettito delle entrate per il mercato delle tecnologie AR e VR -
Fonte: IDTechEx Report "Augmented, Mixed and Virtual Reality 2017-2027: Technologies, Forecasts, Players – Headsets, components and enabling technologies for future AR, MR, & VR devices"

Per quanto concerne questo elaborato e la relativa ricerca si è optato per lo sviluppo delle applicazioni in Realtà Virtuale Immersiva con una componente di Realtà Mista data dall'interazione tramite Leap Motion.

1.4.1. Strumenti e tecnologie

Per fare in modo che si abbia una perfetta immersione nella realtà virtuale servono tre tool: un visore integrato con un display che avvolge la vista, un computer e un controller (o altro dispositivo di input per poter interagire). Di seguito vengono descritti gli strumenti adottati per la ricerca oggetto della tesi.

HTC Vive

L'HTC Vive è un visore per la realtà virtuale immersiva prodotto da HTC in collaborazione con Valve; il kit ha fatto il suo debutto nel 2016 ed è in commercio attualmente al prezzo di circa 600 dollari (prezzo verificato a Giugno 2018).

Questa offre sei gradi di libertà (six degrees of freedom, 6DoF) grazie a controller da impugnare e alla possibilità di camminare all'interno di spazi virtuali. Oltre ai controller che "trasportano" le mani nei giochi, il Vive include un sistema di tracciamento che consente di muoversi nello spazio e interagire con gli ambienti virtuali. Valve chiama tutto questo "room-scale VR", ossia realtà virtuale con la dimensione della stanza.



Figura 21 – HTC Vive Kit e funzioni specifiche del controller

VIVE Specs

Headset Specs

Screen:	Dual AMOLED 3.6" diagonal
Resolution:	1080 x 1200 pixels per eye (2160 x 1200 pixels combined)
Refresh rate:	90 Hz
Field of view:	110 degrees
Safety features:	Chaperone play area boundaries and front-facing camera
Sensors:	SteamVR Tracking, G-sensor, gyroscope, proximity
Connections:	HDMI, USB 2.0, stereo 3.5 mm headphone jack, Power, Bluetooth
Input:	Integrated microphone
Eye Relief:	Interpupillary distance and lens distance adjustment

Controller specs

Sensors:	SteamVR Tracking
Input:	Multifunction trackpad, Grip buttons, dual-stage trigger, System button, Menu button
Use per charge:	Approx. 6 hours
Connections:	Micro-USB charging port

Tracked area requirements

Standing / seated:	No min. space requirements
Room-scale:	2 m x 1.5 m room size, 5 m max. between base stations

Figura 22 – Caratteristiche tecniche del HTC Vive – Fonte: www.vive.com

Vi è da segnalare un limite di questa tipologia di visore; quest'ultimo deve essere per forza utilizzato collegato ad un computer di fascia medio alta con prestazioni elevate (nella figura sottostante si possono leggere i requisiti minimi consigliati dal produttore). Tutte le caratteristiche sono state prese dal sito ufficiale www.vive.com.

Recommended Minimum Computer Specs

Graphics*:	NVIDIA® GeForce® GTX 1060 or AMD Radeon™ RX 480, equivalent or better.
Processor:	Intel® Core™ i5-4590 or AMD FX™ 8350, equivalent or better
Memory:	4 GB RAM or more
Video out:	HDMI 1.4, DisplayPort 1.2 or newer
USB ports:	1x USB 2.0 or better port
Operating system:	Windows® 7 SP1, Windows® 8.1 or later, Windows® 10

Figura 23 – Requisiti minimi PC per supportare l' HTC Vive

In sintesi il visore risulta essere tra i più efficienti e stimolanti per quanto riguarda l'esperienza di realtà virtuale immersiva in quanto il grado di immersione nel contesto virtuale è veramente elevato. D'altro canto però il visore risulta essere pesante (si fa sentire sia sul collo che sulla schiena) e il cavo, voluminoso e facilmente attorcigliabile, può far inciampare.

Leap motion

Il Leap Motion controller (siglato in seguito LM) è una tecnologia di rilevazione del movimento nell'interazione tra il computer e l'uomo; il dispositivo nasce da una startup con lo scopo di semplificare la creazione

di modelli 3D rispetto all'uso di mouse e tastiera. A tal proposito gli sviluppatori hanno affermato "Modellare creta virtuale con il LM è semplice come modellare la creta nel mondo reale".

Il LM è una piccola periferica USB che utilizza due telecamere e tre LED infrarossi che "tracciano" un'area semisferica 3D di circa un metro; esso è progettato per identificare dita (o oggetti simili come una penna) con una precisione di 0,01 mm.



Figura 24 - Area di azione LM - Fonte: www.leapmotion.it

Il dispositivo è stato lanciato nel 2013. Attualmente il kit, compreso l'ancoraggio per HTC Vive, è in vendita sul sito ufficiale a 79,99 euro (prezzo verificato a marzo 2018).

Il CEO della Leap Motion al momento del lancio disse: "Noi vogliamo essere l'applicazione che cambierà il mondo, trasformando radicalmente il modo in cui le persone interagiscono con il proprio sistema operativo o vanno su internet [...]. Il traguardo è trasformare profondamente come le persone interagiscono con il computer allo stesso modo in cui il mouse lo cambiò, questo significa che la trasformazione farà effetto su di tutti, entrambi coloro che usano il computer in modo basilico e coloro che sfruttano le ultima tecnologie".



Figura 25 - VR Developer Kit - Fonte: www.leapmotion.it

MYO Armband

Myo Gesture Control Armband si presenta come un bracciale indossabile sull'avambraccio, questo è in grado di riconoscere una serie di movimenti della mano basandosi sulla lettura degli impulsi elettrici dei muscoli.

Il dispositivo, sviluppato da Thalmic Labs Inc, è stato lanciato nel 2015. Attualmente il kit è in vendita sul sito ufficiale a 199 dollari USA (prezzo verificato a marzo 2018).



Figura 26 - Kit Myo

Per riconoscere i gesti il dispositivo utilizza un set di sensori elettromiografici (EMG), combinati con un giroscopio, un accelerometro e un magnetometro; può rilevare fino a cinque diversi movimenti della mano, ma è possibile aggiungerne anche altri tramite la scrittura di complessi script e l'utilizzo di librerie che possono essere scaricate dal sito web della casa produttrice, è inoltre possibile sviluppare esecutivi e applicazioni

tramite la piattaforma di sviluppo Unity. Comunica con i device via Bluetooth e si ricarica con un cavo micro Usb.

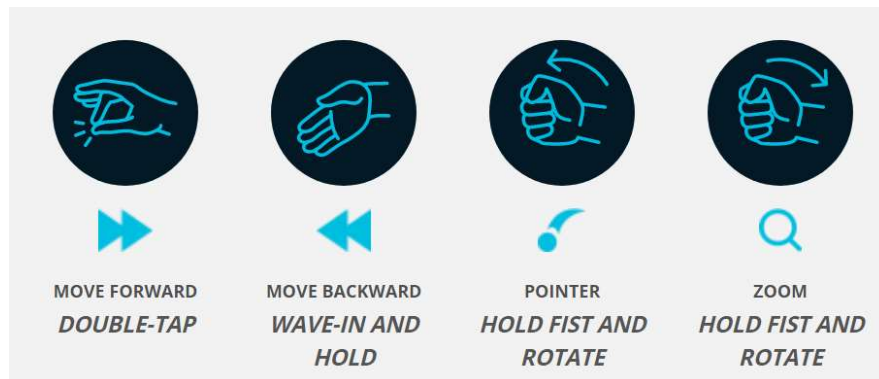


Figura 27 - Esempi di gesti associati a una determinata funzione con Myo - Fonte: www.myo.com

Myo può essere utilizzato per controllare videogiochi, presentazioni, musica ecc. La differenza principale tra Myo e LM consiste nel fatto che questo dispositivo deve essere indossato piuttosto che avere raggi infrarossi che rilevano il movimento nell'ambiente.

Le tecnologie avanzate, che permettono di rilevare gli impulsi muscolari, hanno una precisione limitata; in internet si trovano una serie di recensioni concordi nell'affermare che interagire con il PC attraverso mouse e tastiera risulta essere ancora un modo più intuitivo, semplice e preciso.

Detto ciò, l'idea di utilizzare questo strumento su persone che presentano deficit a livello fisico nasce dal fatto che in molti casi queste persone hanno perso la mobilità di un intero lato del corpo; questi pazienti sono quindi impossibilitati ad utilizzare simultaneamente le mani e l'utilizzo di mouse e tastiera risulterebbe essere difficile/impossibile. Inoltre, Myo permette la lettura di movimenti standard dell'intera mano e quindi potrebbe essere utile anche per quei pazienti che non sono in grado di recuperare la motricità fine delle mani.

1.4.2. La VR in ambito medico

Come già introdotto in precedenza le due principali caratteristiche dell'ambiente virtuale sono:

- la percezione di essere davvero in quel mondo; tale sensazione è amplificata dall'utilizzo di strumentazioni apposite come ad esempio un software in grado di riprodurre ambienti 3D, un visualizzatore per la realtà virtuale o dei sistemi audio integrati che offrono un rimando anche sonoro all'ambiente virtuale;
- la possibilità di interagire con movimenti di corpo, testa e arti aumentando la sensazione di potersi impadronire di quella dimensione. Ad esempio, cyber-gloves, arti virtuali, joypad, ecc. che permettono all'utente di toccare, spostare, manipolare o apportare modifiche agli oggetti virtuali come fossero reali.

Attraverso la manipolazione di tre variabili che sono spazio, tempo e interazione e la disponibilità di un'interfaccia grafica, è possibile creare una dimensione connotata da un forte senso di realtà, per cui il soggetto crede di trovarsi in quel mondo e di potervi interagire.

In questi ultimi anni sulla realtà virtuale non scommettono solo i player ludici e dell'intrattenimento, ma anche il mondo scientifico che sta perseguendo la strada dell'innovazione digitale nello sviluppo di nuovi prodotti e servizi. In generale, i campi di applicazione della VR in ambito medico sono principalmente:

- La riabilitazione motoria e cognitiva;
- La terapia di disturbi psichiatrici;
- l'apprendimento in un contesto di simulazione.

In questi contesti, la costruzione di un mondo virtuale in cui il soggetto può avere il controllo si rivela particolarmente efficace.

La cosiddetta "cyberterapia" nasce dall'esigenza di trovare soluzioni d'avanguardia in ambito riabilitativo-psicologico che comportano ulteriori vantaggi rispetto alle tecniche tradizionali di riabilitazione, tra cui:

- svolgere l'esercizio riabilitativo in un setting che riproduce le caratteristiche degli ambienti di vita;
- stimolare la multisensorialità;
- adattare la difficoltà degli esercizi in modo dinamico rispetto alle abilità acquisite;
- monitorare in maniera sistematica i miglioramenti;
- ridurre in modo significativo la sensazione di noia che scaturisce dalla ripetizione sistematica di movimenti nella realtà tramite la creazione di applicazioni/"giochi" in ambiente virtuale.

A questo proposito, l'IRCCS Auxologico Italiano ha messo in campo una versione 2.0 della riabilitazione fisica e cognitiva; l'istituto ospedaliero dispone di due "Cave" che sono stanze virtuali ove si sperimenta la "Telepresenza immersiva virtuale" (TIV) ed è possibile simulare i tipici scenari in cui vengono trattati alcuni disturbi cognitivi, motori conseguenti a ictus e Parkinson, o quelli psicologici come ansia, fobie e stress. L'intento è quello di promuovere l'esercizio delle funzioni compromesse attraverso attività con livelli di difficoltà graduabili atti a gestire, superare, ridurre o compensare i deficit.

Di seguito si riportano alcuni esempi di realtà virtuale immersiva e non immersiva utilizzate e testate in ambito sanitario; altri esempi sono disponibili al link <http://medicalfuturist.com/top-vr-companies-healthcare/>.

MindMaze

Compagnia fondata dal neuroscienziato Tej Tadi con lo scopo di sviluppare tecnologie che aiutano i pazienti nella riabilitazione da lesioni cerebrali. L'azienda ha dispositivi che utilizzano la VR, l'imaging cerebrale e software di gioco per riabilitare il cervello nelle vittime di ictus. MindMaze sviluppa anche soluzioni per pazienti con lesioni del midollo spinale e amputati.



Figura 28 - Esempio dal sito ufficiale di MindMaze

VIRTUALLY BETTER

Virtually Better è un team di psicologi, designer e sviluppatori di software con oltre 20 anni di esperienza nello sviluppo di applicazioni VR basate su prove atte a superare disturbi legati a fobie, uso di sostanze stupefacenti, PTSD, stress e gestione del dolore.

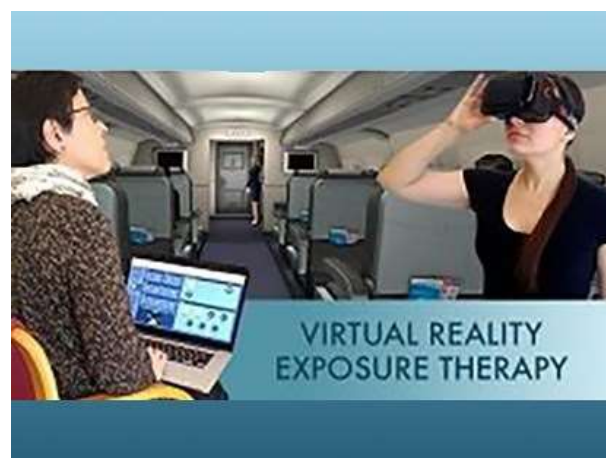


Figura 29 - Esempio dal sito ufficiale di Virtually Better

Osso VR

Si tratta di una start-up che sta lavorando sull'utilizzo della VR nel campo degli interventi ortopedici e sul miglioramento del metodo di allenamento chirurgico. Questa tecnologia consente agli utenti di simulare un intervento chirurgico per l'inserimento di un chiodo tibiale.



Figura 30 –Esempio dal sito ufficiale di Osso VR

1.4.3. La VR immersiva per la riabilitazione

In un articolo di aprile 2018 dal titolo "Immersive virtual reality in traumatic brain injury rehabilitation: A literature review." gli autori (Aida J, Chau B, Dunn J) valutano e riassumono lo stato dell'arte della VR utilizzata per la riabilitazione di pazienti che hanno subito un TBI (traumatic brain injury) ovvero un trauma cranico.

In sintesi, gli autori scrivono: *"Traumatic brain injury (TBI) is a common cause of morbidity and mortality in the United States with its sequelae often affecting individuals long after the initial injury. Innovations in virtual reality (VR) technology may offer potential therapy options in the recovery from such injuries. However, there is currently no consensus regarding the efficacy of VR in the setting of TBI rehabilitation."*; nella metodologia affermano di utilizzare come parole chiave per la loro ricerca i seguenti termini: virtual reality, TBI e immersive.

Il risultato della ricerca ha prodotto 11 articoli che sono stati poi analizzati, di questi 10 dimostravano un miglioramento dei pazienti attraverso la terapia virtuale. Nonostante questo gli autori nelle conclusioni scrivono: *"While the current literature generally offers support for the use of VR in TBI recovery, there is a paucity of strong evidence to support its widespread use. The increasing availability of immersive VR technology offers the potential for engaging therapy in TBI rehabilitation, but its utility remains uncertain given the limited studies available at this time."*

Un altro articolo che può essere citato a riguardo è "Immersion of virtual reality for rehabilitation – Review" di maggio 2018. Nell'articolo gli autori (Tyler Rose, Chang S. Nam, Karen B. Chen) si interrogano su tre tematiche principali che sono "(RQ1) the influence of immersion in VR performance and health outcomes; (RQ2) the relationship between enjoyment and potential patient adherence to VR rehabilitation routine; and (RQ3) the influence of haptic feedback on performance in VR. Performance measures including postural stability, navigation task performance, and joint mobility showed varying relations to immersion." In conclusione affermano: "Limited data did not allow a solid conclusion between

enjoyment and adherence, but patient enjoyment and willingness to participate were reported in care plans that incorporates VR."

L'articolo suddivide i dati anche in base alla tipologia di VR utilizzata come descritto nella figura seguente.

Types of VR systems.

	Non-Immersive	Semi-Immersive	Fully Immersive
Viewing Mediums	Computer monitor, TV screen	Panoramic TV	Head mounted display (HMD), CAVE
Cost	Low	Medium	From low (HMD) to high (CAVE)
Sense of Immersion	Low	Medium-High	High

Figura 31 – Tipologie di sistemi VR

Anche in questo caso lo studio si basa su articoli scientifici individuati tramite ricerca per parole chiave che nello specifico sono "virtual reality" e "rehabilitation"; inoltre, per ogni quesito di ricerca specificato prima si aggiungono una serie di termini che sono: "immersion" per RQ1, "enjoyment" e and "adherence" per RQ2 e "sensory" e feedback" per RQ3. Di seguito sono riportati in maniera schematica (così come nell'articolo) gli articoli analizzati, la strategia VR utilizzata, la diagnosi, il numero di pazienti coinvolti nello studio e il relativo risultato.

Studies selected for RQ1.

	Subramanian et al. (2008)	Lloréns et al. (2013)
Objective	To compare shoulder movement patterns when performed in a head-mounted display (HMD) or screen projection system	To study mobility variables of a VR-based balance rehabilitation system for patients with acquired brain injury
Number of participants	9	10
Participant characteristic	Stroke	Stroke
Display type	HMD	Panoramic TV
VR Model	Kaiser XL50	N/A
Immersion determinant	Questionnaire	Questionnaire
Immersion Q	Witmer & Singer	Modified Witmer & Singer
Immersive tier	Fully	Semi
Upper or lower limb	Upper	N/A
Inclusion/exclusion	Shoulder pain, brainstem/cerebellar stroke, or other neurological conditions affecting arm/trunk excluded	Unilateral neglect syndrome, ataxia, comprehension deficits, and severe visual problems excluded
Positive relationship?	No	Yes

Figura 32 – Esempio di risultato della ricerca

Dopo lo studio dei casi gli autori concludono: *"We found that no distinct correlation can be outlined between increased immersion and improved user performance/motor recovery. Increased immersion was shown to improve navigation task performance and assignment accuracy but also postural instability. [...] no comprehensive agreement was found between enjoyment and user adherence. While one study found no significant evidence linking the two characteristics, each of the other articles advocated that there is indeed a positive relationship between them. Finally, different haptic devices influenced performance; [...] The potential of VR for rehabilitation is not fully explored. There is the need for longitudinal and follow-up randomized control trials on VR rehabilitation interventions."*

In allegato, al fondo dell'elaborato, sono riportate le tre tabelle riassuntive con i risultati relativi a RQ1, RQ2 e RQ3.

2

METODOLOGIA

2.1. Modello del contesto

Per descrivere meglio il contesto urbano nella quale si inserisce il fabbricato oggetto di studio si è deciso di analizzare un'area limitata nell'intorno dello stesso. Fondamentale per la realizzazione di un qualsiasi modello in Revit che rappresenti la volumetria e la planimetria dell'area prefissata è il reperimento dei dati topografici relativi alla stessa.

Fino a qualche anno fa la base cartografica di riferimento regionale era la CTR (Carta Tecnica Regionale) redatta in scala 1:10.000 nel 1991; dal 2014 con l'entrata in vigore della Legge regionale 5 febbraio 2014, n. 1, "la base cartografica di riferimento per la Regione e per tutti i soggetti pubblici e privati che con essa si interfacciano è quella derivata dalla BDTRE" (art. 10). La BDTRE assume quindi il ruolo di "contenitore" condiviso di tutti i dati geografici, da cui deriva la base cartografica di riferimento regionale; la Regione Piemonte ha deciso di rendere disponibile tutti i dati in modalità open, in questo modo i dati sono completamente fruibili a tutti i soggetti interessati siano questi gli Enti della PA Piemontese i professionisti, le università o i cittadini. Tutti i dati e i servizi della BDTRE pubblicati sono resi disponibili con licenza Creative Commons in versione 2.5, in progressiva sostituzione con la versione 4.0.

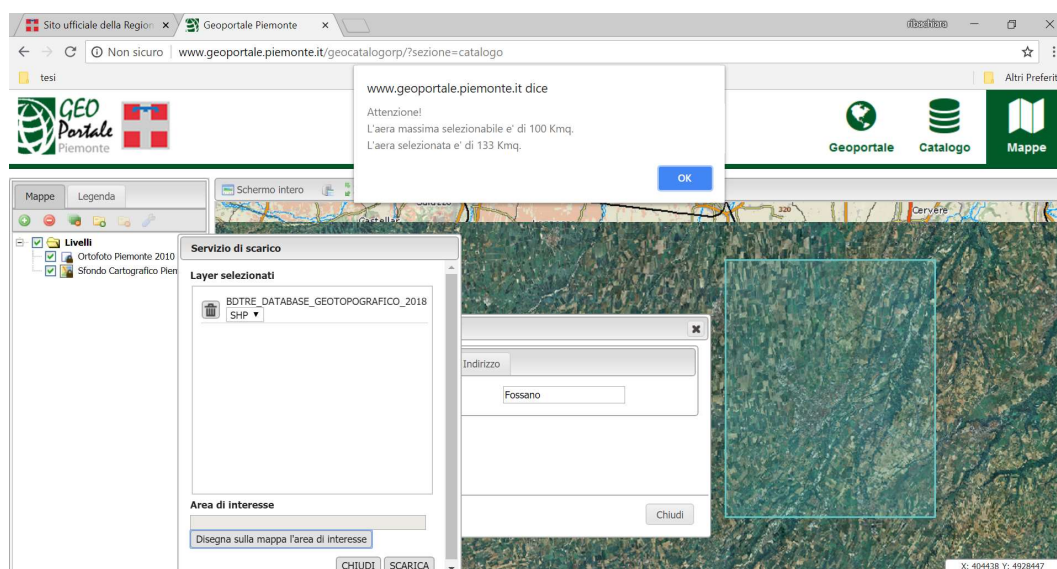


Figura 33 – Area selezionata per il download dei dati sul sito www.geoportale.piemonte.it

Il file scaricato è stato poi aperto con il software GIS ArcMap, nell'immagine sottostante si può notare come i punti quotati siano insufficienti al fine di

produrre una superficie topografica accettabile. I contorni dei fabbricati invece sono ben definiti e quindi si è proceduto con l'esportazione degli stessi in formato CAD e l'importazione dei contorni in Revit per la modellazione delle masse di contesto.



Figura 34 – Visualizzazione dei file .shp da ArcMap di edifici e punti quotati

Per ricreare la superficie topografica dell'area si è allora pensato di utilizzare il software InfraWorks® che nasce per consentire ai progettisti di pianificare e inserire gli interventi, siano questi di tipo edilizio o infrastrutturale, nel contesto del mondo reale. Il programma supporta i processi BIM ed è interoperabile sia con Autocad sia con Revit.

Tramite il comando Model Builder, in maniera automatica e abbastanza velocemente (il programma lavora e elabora sul cloud Autodesk 360), si può ottenere un modello tridimensionale dell'area da analizzare semplicemente selezionandola su una mappa.

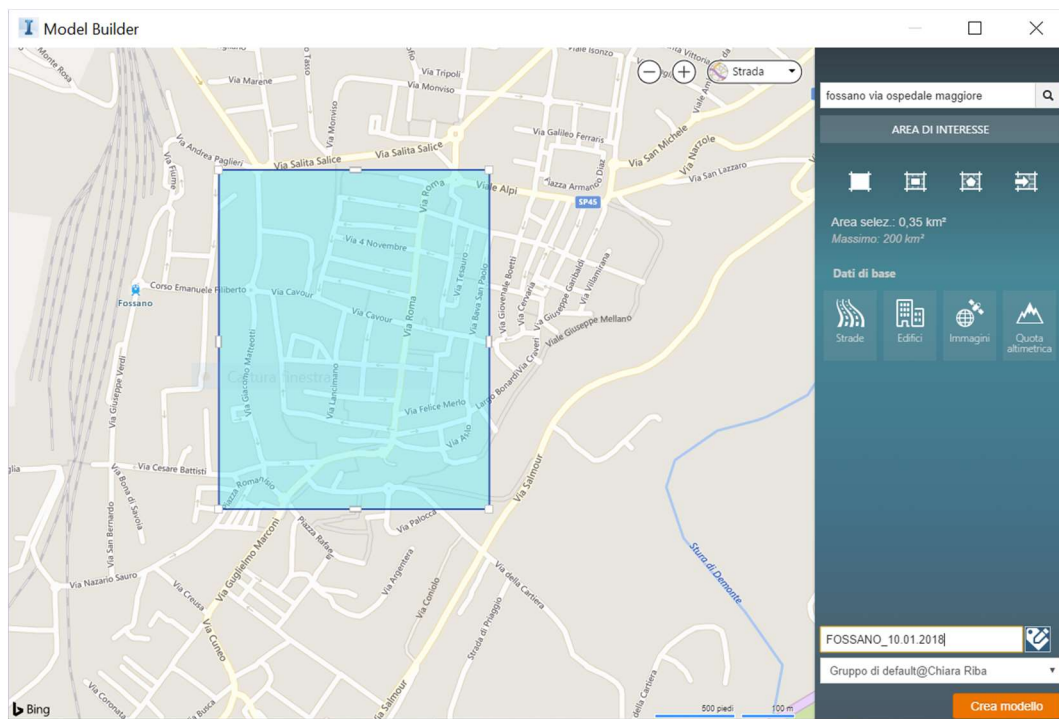


Figura 35 - Selezione dell'area da analizzare con Infraworks

Il programma tramite dati estratti da OpenStreetMap genera una restituzione 3D degli edifici, delle strade e della topografia della zona. Per ogni punto si possono conoscere le coordinate XYZ riferite al sistema WGS84; si può inoltre interrogare la toponomastica stradale e ogni singolo edificio ottenendo (in maniera approssimata) l'altezza, l'area, il volume, la pendenza del tetto, il materiale della facciata e altre caratteristiche estetiche/geometriche dello stesso.

CASO STUDIO: L'Ospedale S.S. Trinità di Fossano

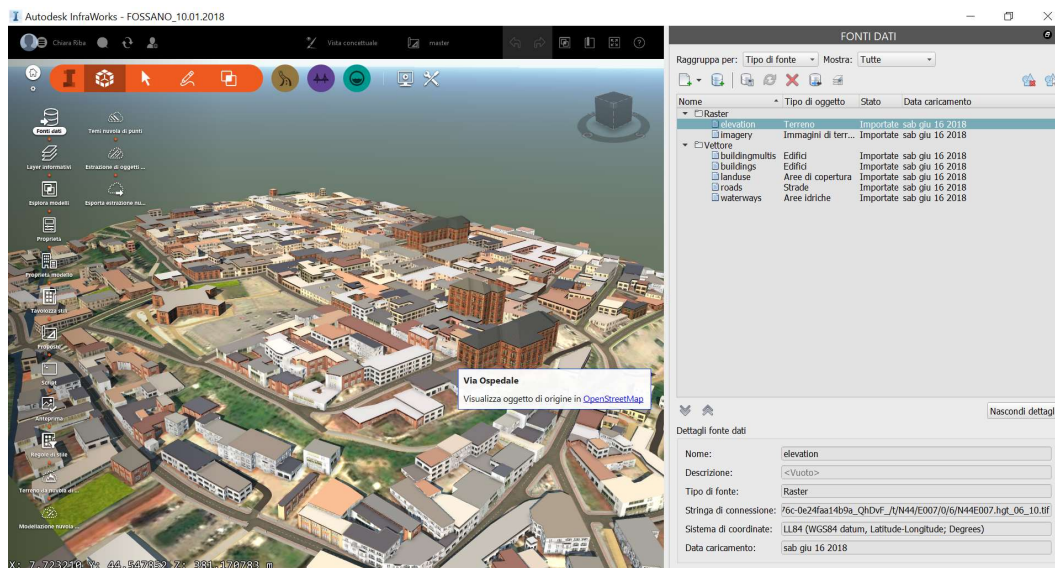


Figura 36 - Restituzione 3D dell'area selezionata con Infravorks (vista assonometrica)

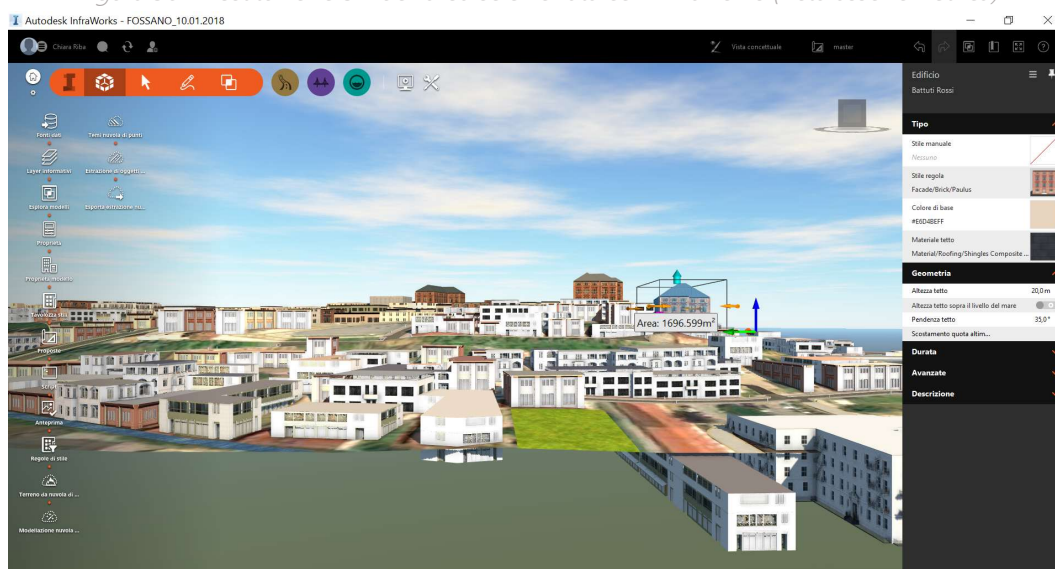


Figura 37 - Esempio di dati visualizzabili in automatico dal modello 3D (vista frontale)

Confrontando il risultato con la realtà sono emerse una serie di imprecisioni che hanno fatto di che si optasse per una soluzione differente il cui risultato è proposto nella pagina successiva. Dal sito www.daftlogic.com tramite l'applicazione Google Maps Find Altitude è stato possibile determinare la quota altimetrica di una serie di punti; la stessa è stata poi inserita manualmente in Revit.

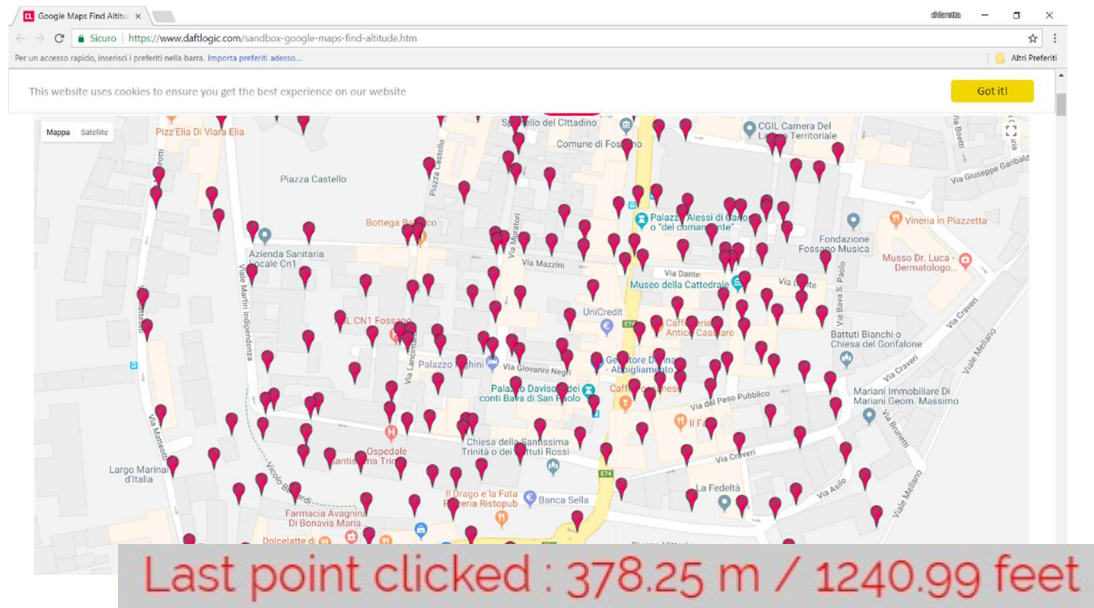


Figura 38 – Individuazione della quota dei punti su www.daftlogic.com



Figura 39 – Superficie topografica in Revit

Di seguito si riporta il risultato della modellazione del contesto; le quote degli edifici sono state approssimate mediando i dati di output del modello Infracore, le immagini di Google Street View.



Figura 40 –Modello delle masse del contesto in Revit

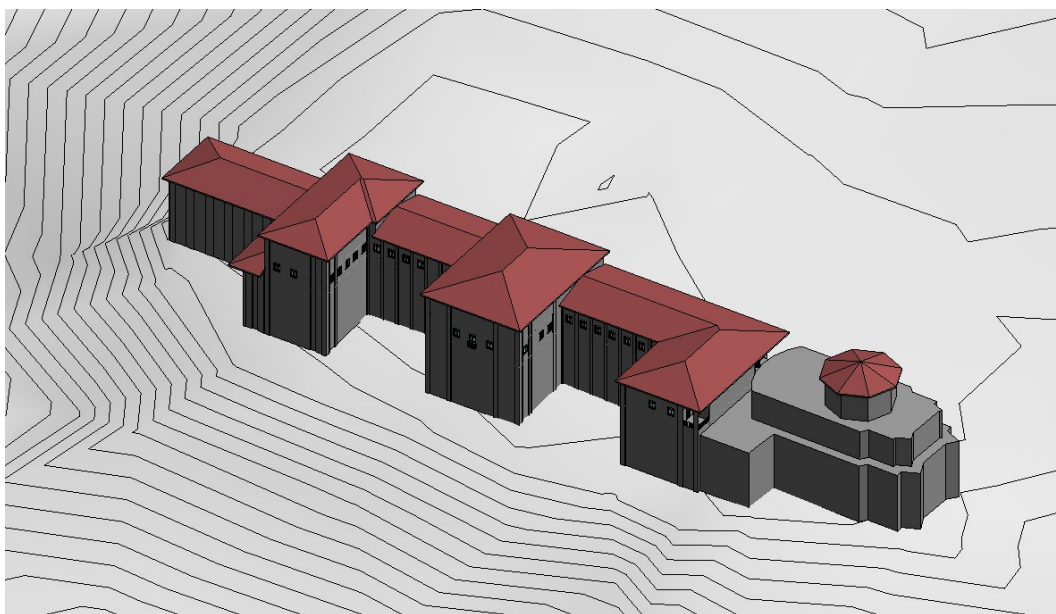


Figura 41 – Modello delle masse dettagliato del complesso ospedale e chiesa

2.2. Modello del secondo piano

Per la modellazione del piano dove si trova il reparto oggetto di studio è stato necessario contattare l'ufficio tecnico della ASL; lo stesso ha fornito i CAD di due piani, nello specifico il piano primo e il piano secondo (ovvero quello in esame).

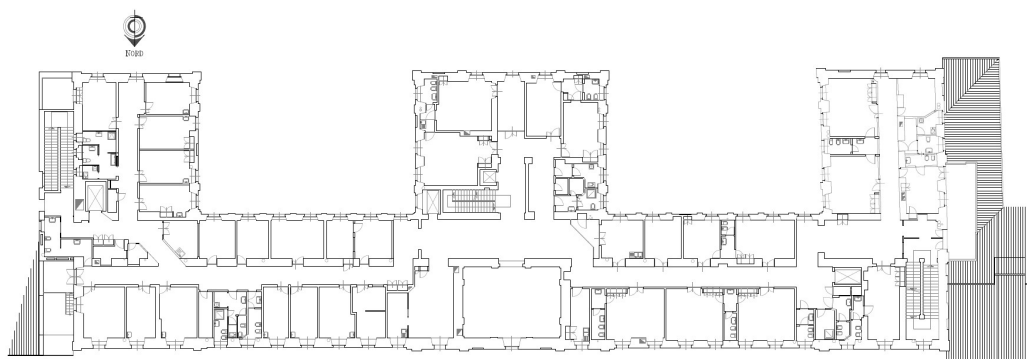


Figura 42 – Pianta CAD secondo piano – fonte: ufficio tecnico ASL

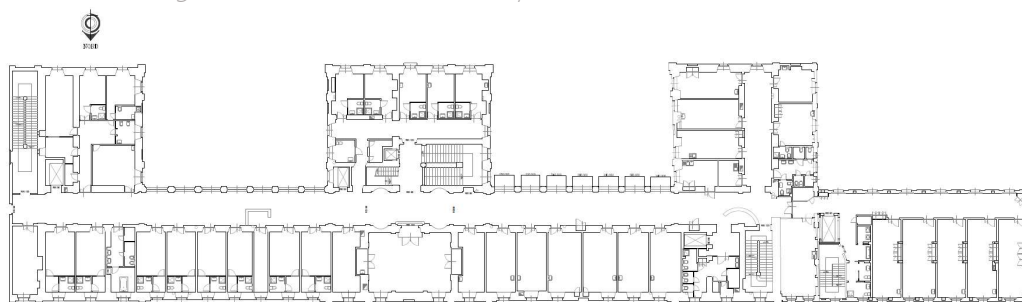


Figura 43 - Pianta CAD primo piano – fonte: ufficio tecnico ASL

Non essendo reperibile una sezione dell'edificio, per quanto concerne le quote, queste sono state rilevate mediante distometro digitale laser durante il rilievo del piano. Nello stesso momento sono state misurate le finestre e le porte ed è stata evidenziata la presenza di sistemi voltati e di difformità rispetto ai disegni forniti dall'ufficio tecnico.

I dati sono stati poi elaborati ed è stato creato il modello 3D con il software Autodesk Revit nella versione 2018.



Figura 44 – Foto del corridoio principale dal rilievo

Di seguito sono stati inseriti gli screenshot del piano con e senza l'inserimento dei materiali; si è deciso di inserire solo i materiali necessari per comprendere dove ci si trova all'interno del piano per i tour di navigazione che verranno descritti nel capitolo relativo ai risultati; più nello specifico quindi sono stati inseriti i colori degli infissi e delle pareti nelle stanze che fanno da scenario alle applicazioni di realtà virtuale. NB: tutti i materiali sono settati come colori omogenei.

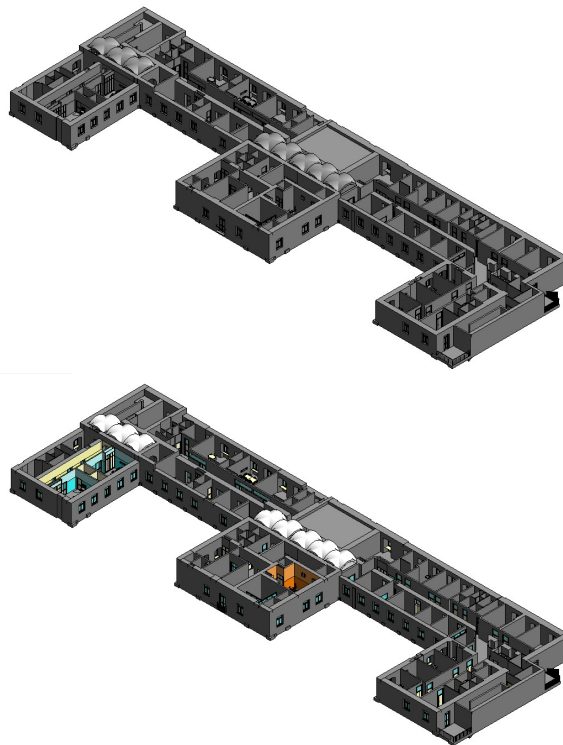


Figura 45 – Screenshot del modello 3D in Revit

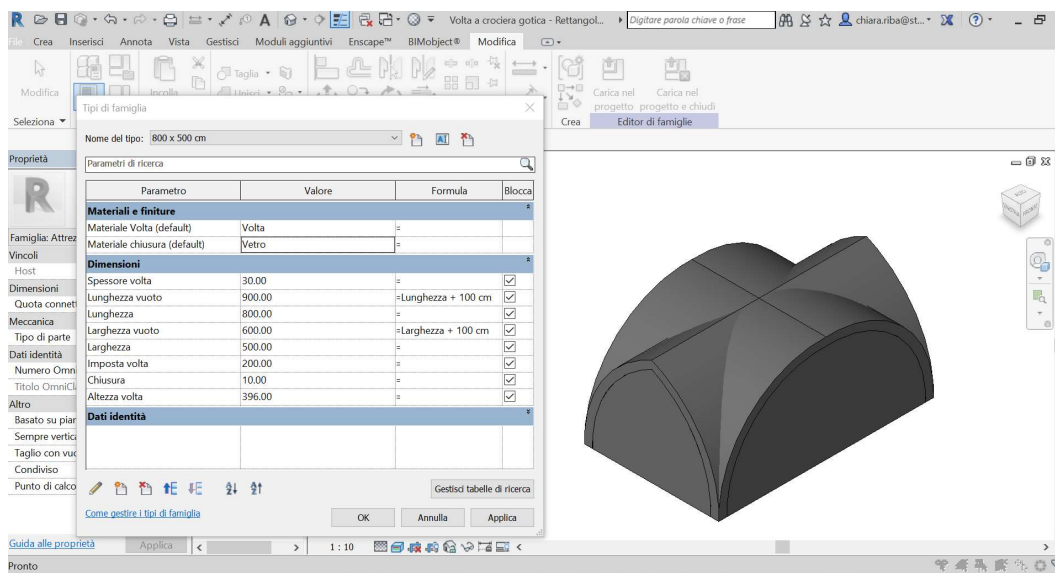
2.2.2. Modellazione delle volte

All'interno dell'ospedale si trovano una serie di volte a crociera composte da un arco a tutto sesto e da uno a sesto ribassato.

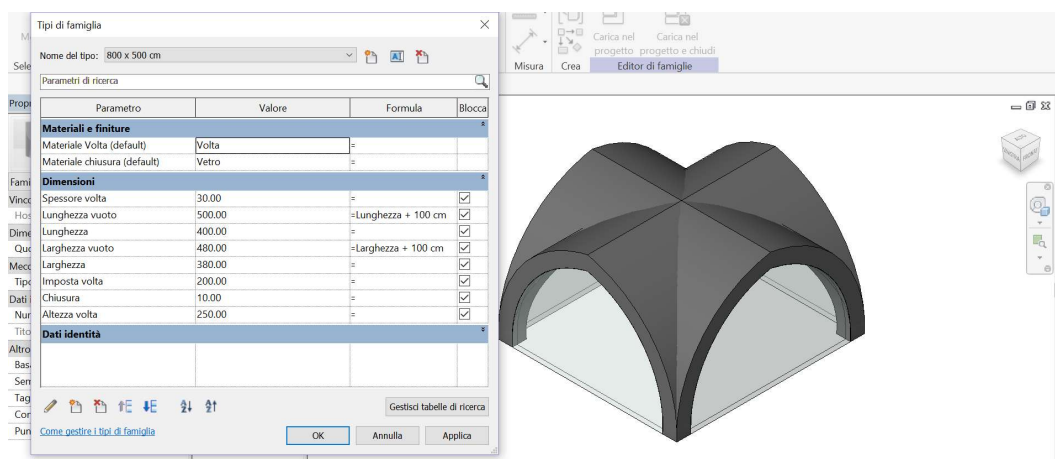


Figura 46 – Volte a crociera all' ingresso del secondo piano dell' edificio

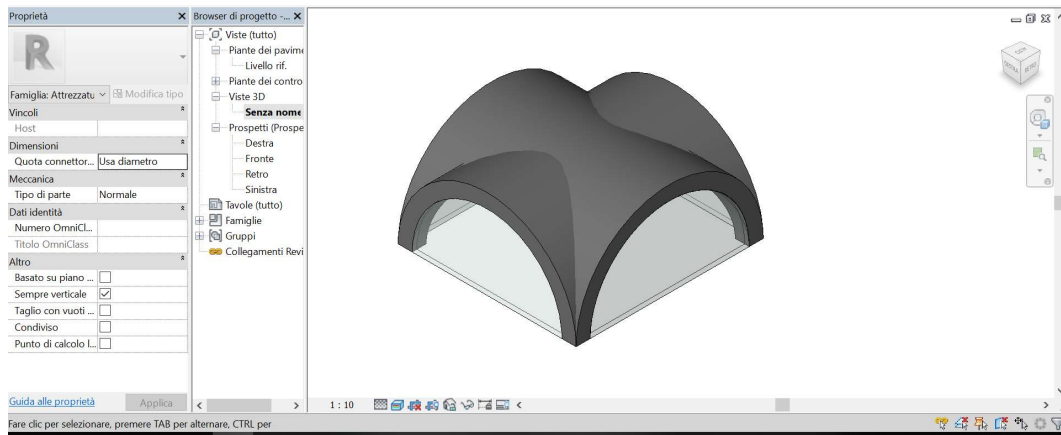
Per la modellazione si è partiti da una famiglia presente nella libreria di Revit nella cartella attrezzature speciali chiamata "Volta a crociera gotica".



All'interno dei parametri della volta sono state sostituite le misure prese durante il rilievo in sito; nella figura in seguito si riporta il risultato. Come si può vedere dalla immagine del rilievo inserita in precedenza, la volta non risultava ancora somigliante a come era nella realtà; per questo si è deciso di andare a modificare i profili dei pieni e dei vuoti con la quale era definita.



Il risultato è una volta più simile a quella reale ma non ancora identica; come si può vedere nella figura sottostante infatti le due unghie della volta si incontrano lungo una linea e non in un punto (come invece dovrebbe essere).



Si è quindi proceduto con l'abbassare l'arco formato dal raggio più lungo fino a farlo coincidere con l'altezza dell'arco con il raggio più corto. Il risultato è rappresentato nelle immagini sottostanti ed è stato caricato all'interno del progetto. Lo stesso meccanismo è stato ripetuto tre volte essendo le misure dei raggi delle volte anch'essi differenti in tre diverse zone del piano.

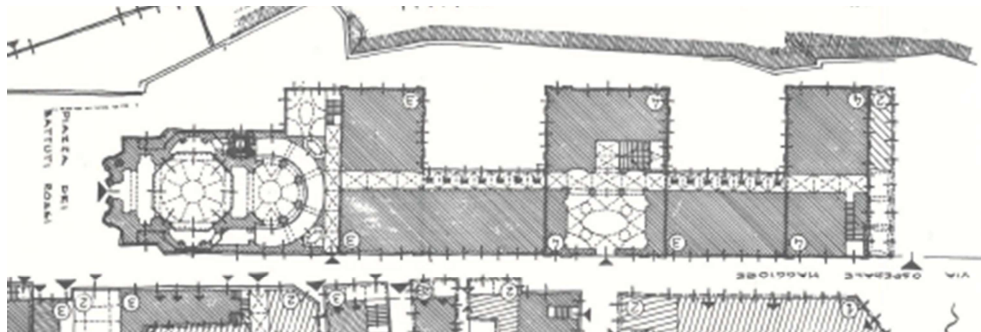
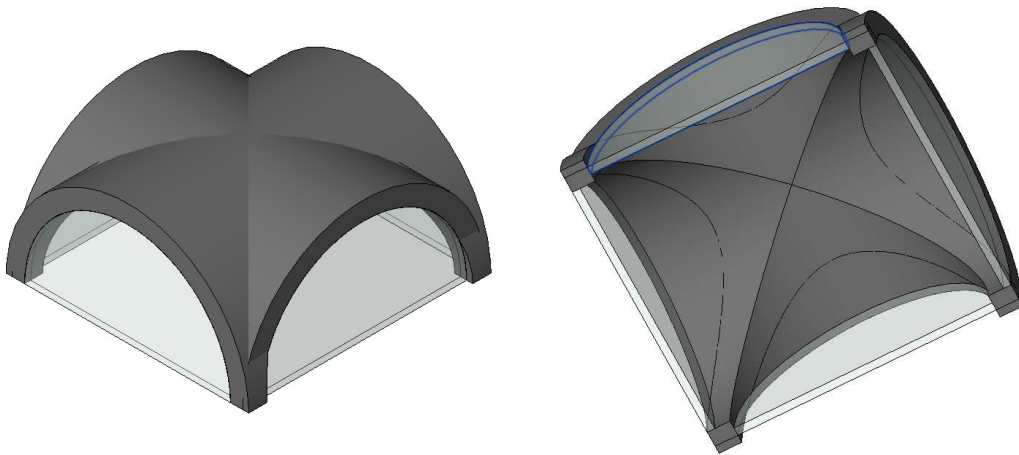


Figura 47 – Individuazione dei sistemi di volte all' interno del piano

2.3. Modellazione delle stanze per la VR

All'interno del piano sono state scelte due sottozone che fungessero da ambientazione per le applicazioni per la progettazione partecipata e per la riabilitazione. In entrambi i casi i modelli sono stati estratti dal modello generale del secondo piano e sono stati implementati con i materiali e gli arredi per rendere più accattivante la scena. I due modelli 3D sono poi stati importati in Unity così come descritto qualche paragrafo più avanti.

La stanza tipo

La stanza tipo è composta da due locali collegati tra di loro, la prima è adibita a degenza, la seconda a palestra. Inoltre, tra le due si trova un locale destinato a servizio igienico.



Figura 48 - Individuazione della stanza nel piano

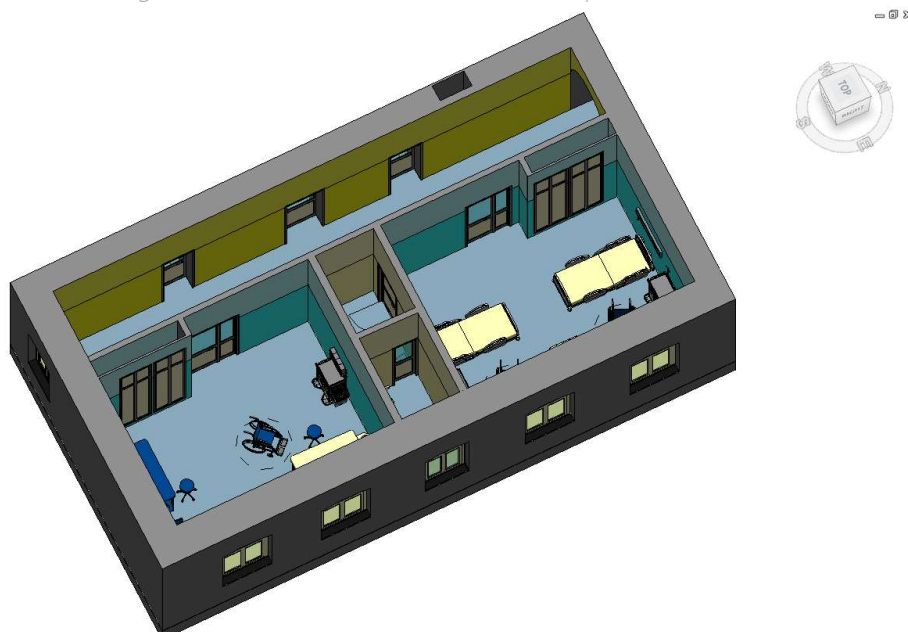


Figura 49 - Vista assonometrica della stanza tipo in Revit



Figura 50 – Render degli ambienti della stanza tipo

Il link e il QR Code che seguono permettono di visualizzare degli estratti dalle viste stereo panorama della stanza.

Link: <http://pano.autodesk.com/pano.html?url=jpgs/40b10788-198b-41d8-9ab0-4c71e9889ad5> render 360



La palestra

All'interno del piano sono distribuiti tre locali adibiti a zona palestra per la riabilitazione, quella modellata è situata nella manica centrale dell'edificio.

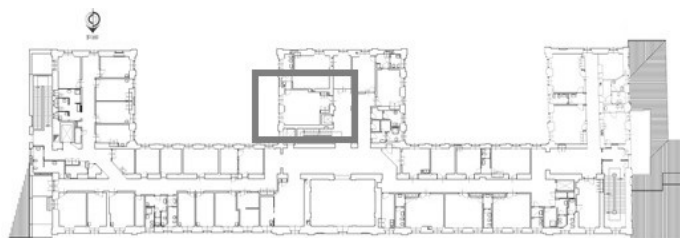


Figura 51 – Individuazione della palestra nel piano

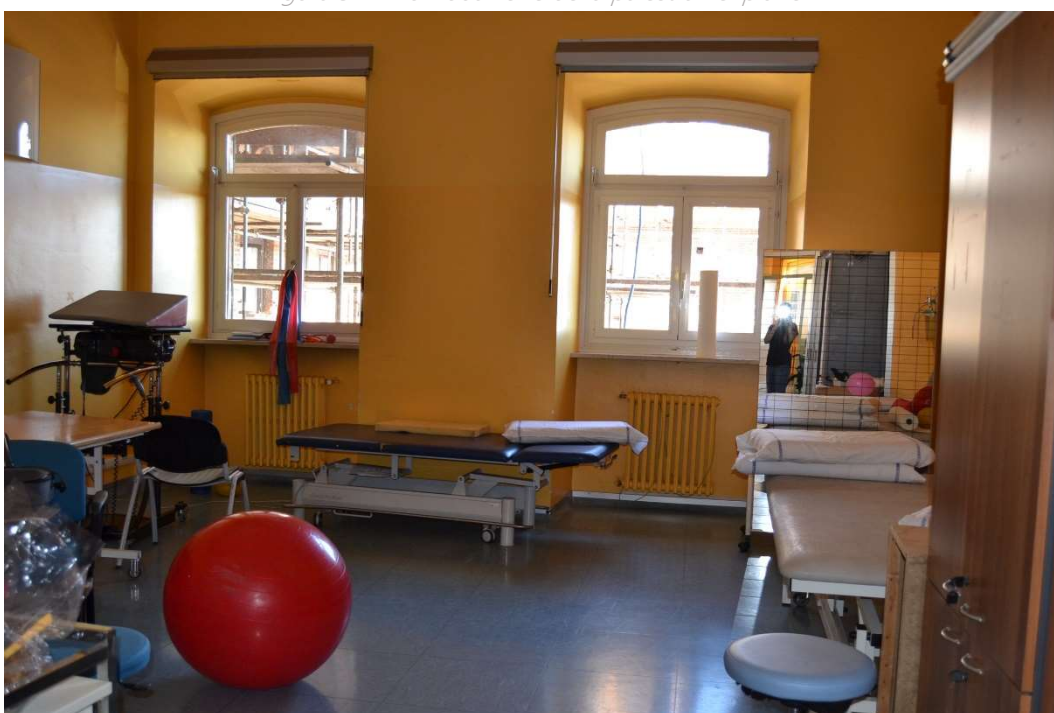


Figura 52 – Foto del rilievo della palestra di riabilitazione



Figura 53 – Assonometria dell' ambiente palestra in Revit

CASO STUDIO: L'Ospedale S.S. Trinità di Fossano

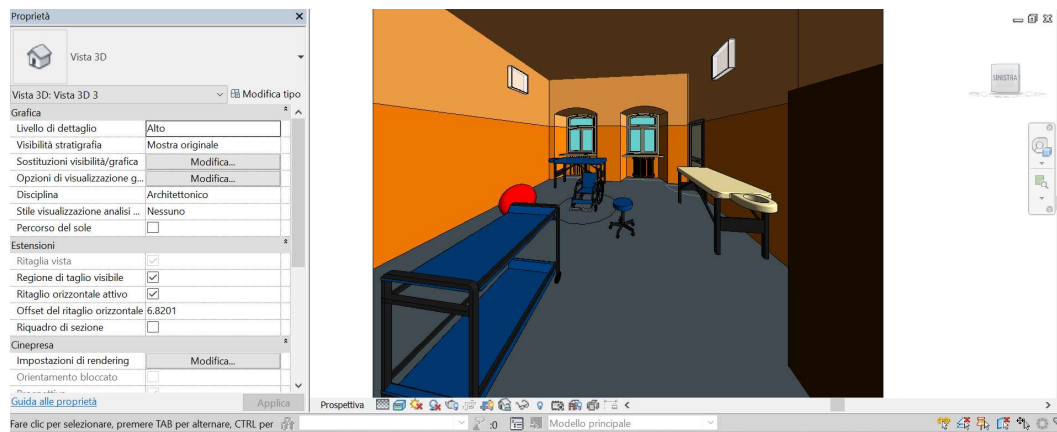


Figura 54 - Vista 3D modello della palestra

Il link e il QR Code che seguono permettono di visualizzare degli estratti dalle viste stereo panorama della stanza.

Link: <http://pano.autodesk.com/pano.html?url=jpgs/c746284b-07be-4880-973c-cf856d022325>



Figura 55 – Render della palestra

2.4. La creazione delle applicazioni

La piattaforma scelta per la creazione delle applicazioni è Unity; questa è uno strumento di authoring integrato multiplatforma per la creazione di videogiochi 2D e 3D e di altri contenuti interattivi, come ad esempio visualizzazioni architettoniche o animazioni 3D in tempo reale.

Unity prevede l'utilizzo di tre linguaggi di programmazione diversi: C#, Javascript e Boo; è possibile ottenere gli stessi risultati con tutti e tre i linguaggi ma, essendo C# quello mediamente più usato in Unity è anche quello per cui si trovano più risorse (script, tutorial ecc.).

2.4.1. La piattaforma per la creazione delle applicazioni

L'interfaccia base di Unity è composta da 6 pannelli che hanno funzioni ben precise al fine della progettazione del gioco/applicazione.

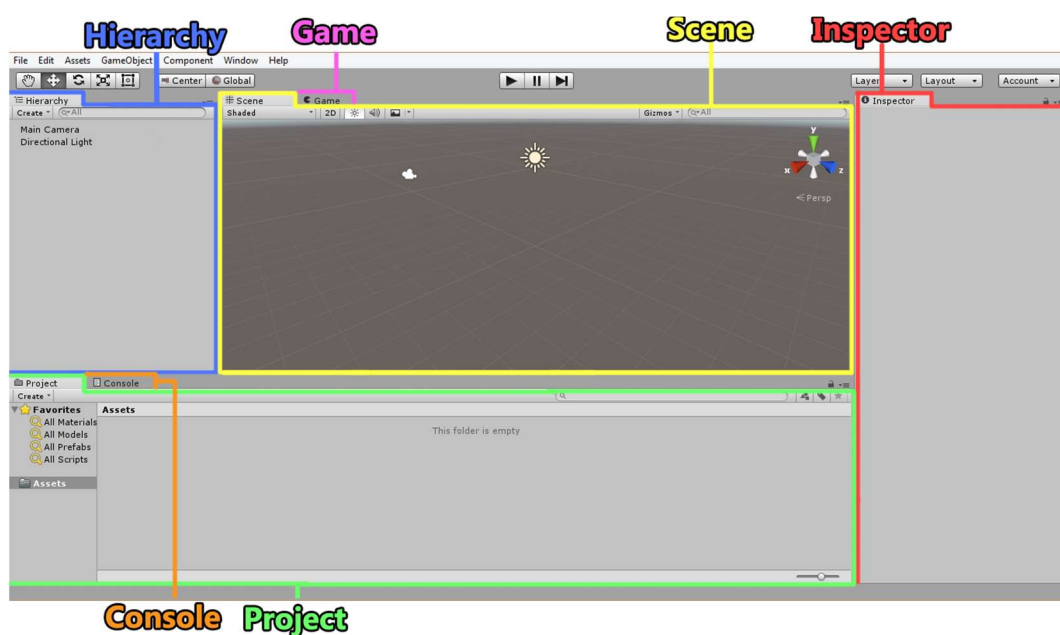


Figura 56 - Interfaccia base di Unity

Scene Panel

È il pannello in cui viene mostrata la scena ed i relativi oggetti. Per oggetto si intende ogni elemento che costituisce il gioco come ad esempio telecamere, luci, oggetti 3D ecc; mentre la scena è il contenitore che racchiude tali oggetti. Quando si apre un nuovo progetto sono già presenti una Camera e una Directional light.

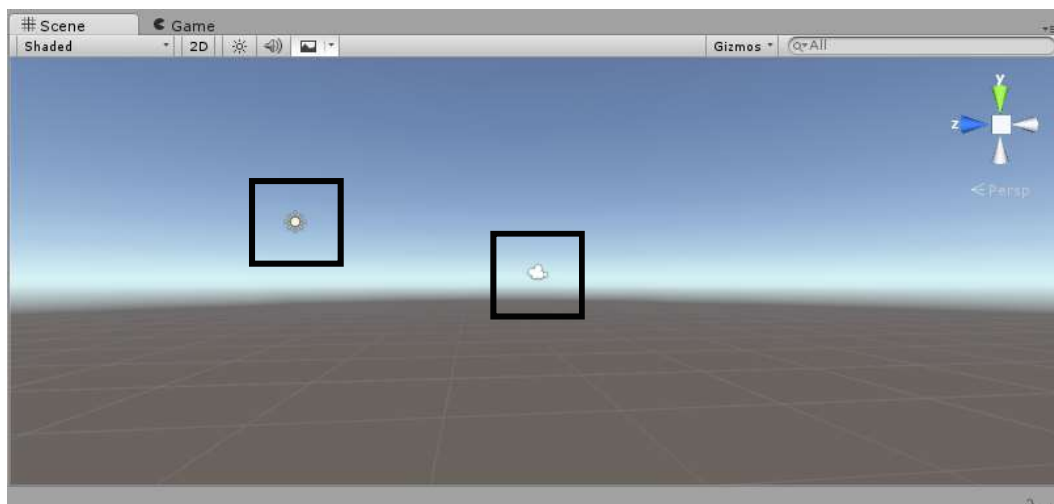


Figura 57 – Scene Panel - Unity

La Camera rappresenta il punto dal quale viene ripresa l'azione all'interno del gioco. La directional light è una luce che serve a illuminare la scena.

Hierarchy Panel

Rappresenta il “pannello delle gerarchie” e al suo interno vengono elencati tutti gli oggetti presenti nella nostra scena. Tramite il pulsante Create è possibile inserire nuovi oggetti nella scena e creare una relazione di parentela fra due o più oggetti. L'oggetto esterno verrà chiamato “padre” (nell'immagine il Cube), mentre quello interno sarà il “figlio” (nell'immagine la Sphere); in questo modo quando si va a spostare l'oggetto padre anche l'oggetto figlio subisce la modifica mentre non risulta vero il contrario.

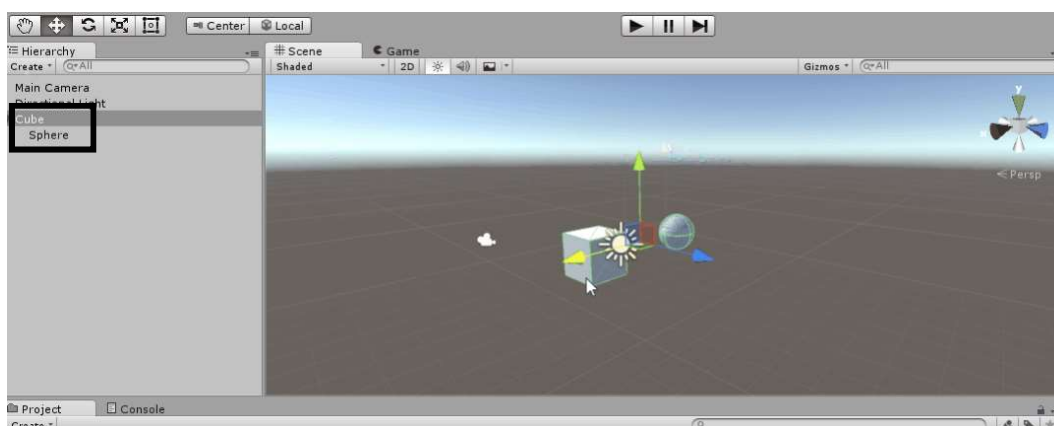
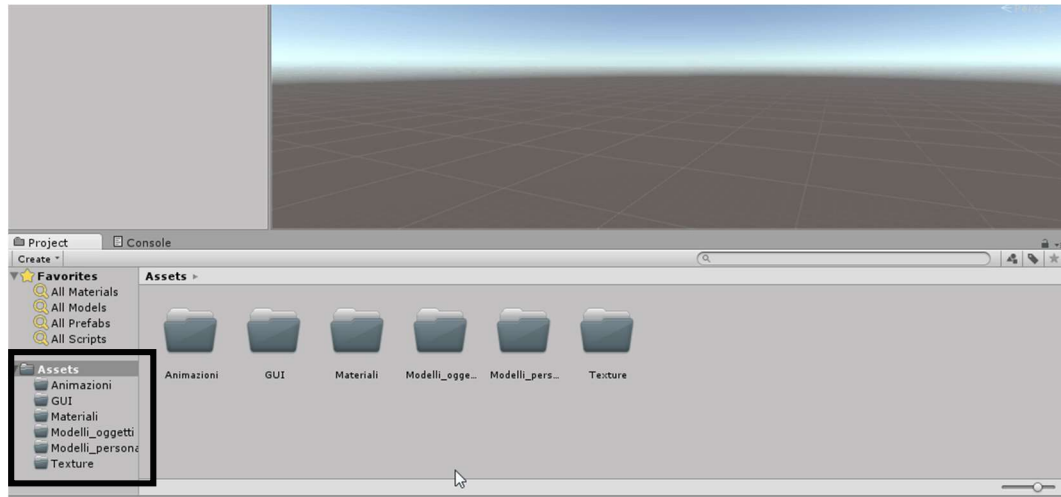


Figura 58 – Hierarchy Panel - Unity

Project Panel

È il pannello in che contiene gli assets; questi sono tutti gli elementi che vengono utilizzati per il nostro gioco ovvero texture, modelli 3D, materiali, scene, script, effetti sonori ecc.



Console Panel

In questo pannello vengono mostrati tutti gli errori, diventa utile quando bisogna risolvere un bug o per testare il corretto funzionamento di uno script.

Inspector Panel

L'inspector panel raccoglie tutte le impostazioni e i settaggi relativi a un determinato oggetto selezionato; quando si seleziona un GameObject all'interno dell'inspector vengono visualizzati script, suoni, mesh e altri elementi grafici come Lights ad esso associati.



Figura 59 – Esempio pannello Inspector di un generico cubo

In alto, nella barra evidenziata nella figura sovrastante sono fornite le informazioni generali sull'oggetto come la sua visibilità (cioè se l'oggetto è visibile o meno nella scena), il suo nome o il suo comportamento fisico (cioè se l'oggetto reagisce alla gravità o a qualsiasi altra forza durante il gioco); sotto, nel caso in esempio troviamo altri componenti che sono: Il Transform, un mesh filter, un box collider, un mesh renderer e uno shader. Ovvero i componenti gestiscono tutti gli aspetti del nostro oggetto. Questi settaggi permettono di dire che forma ha un cubo, come deve comportarsi se va a sbattere contro un altro oggetto, come reagisce alle forze che gli vengono applicate ecc.

Va sottolineato che i componenti predefiniti sono diversi per ogni tipo di oggetto; una luce, ad esempio, conterrà anche un componente Light, che servirà a gestire qualsiasi aspetto legato alla luce emessa: dal colore alla sua intensità.

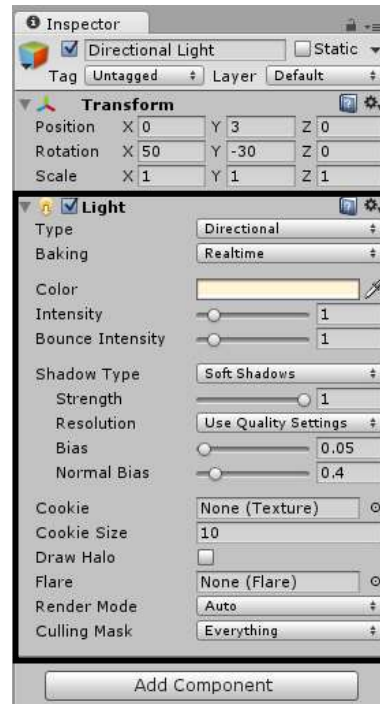


Figura 60 - Esempio pannello Inspector di una generica luce

Game Panel

Il game panel è l'ultimo pannello dell'interfaccia base; cliccando sul tasto play scompare lo "Scene panel" per fare posto al "Game panel"; così facendo si entra nel "Play mode" ovvero nella modalità in cui si può provare il gioco. Importante è sottolineare che, mentre si è in "Play mode", è possibile applicare delle modifiche ma, esse non verranno salvate.

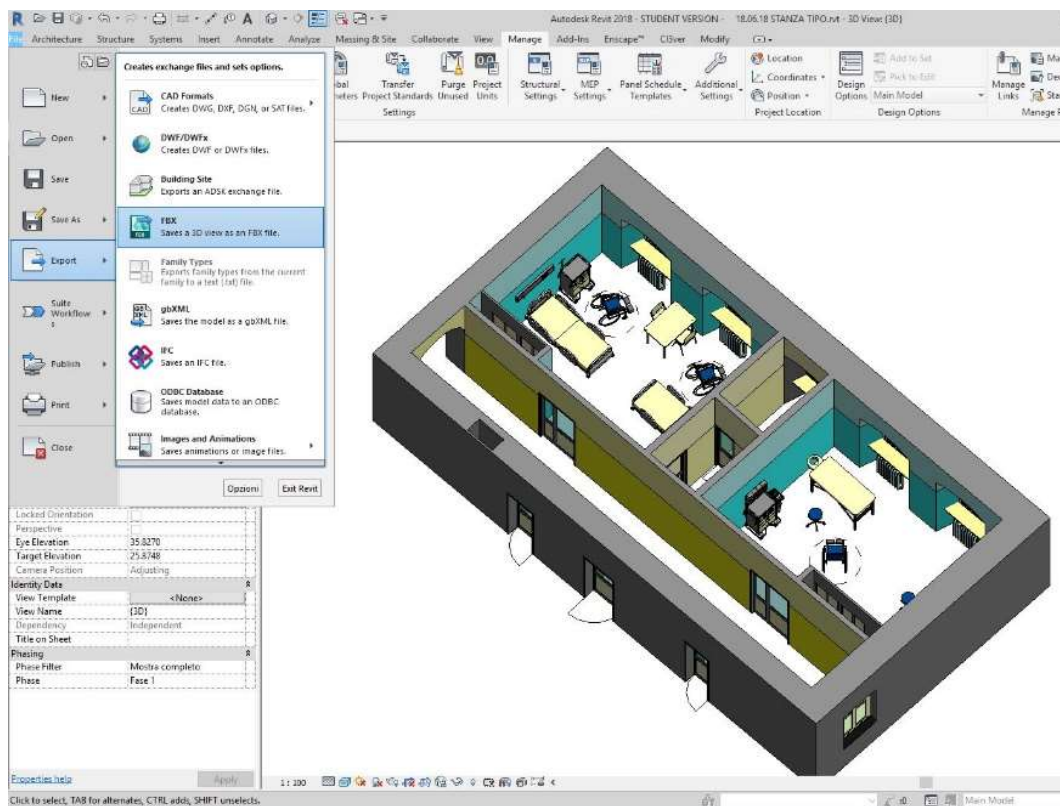
2.4.2. La creazione delle scene ovvero l'importazione dei modelli

Partendo dal modello BIM della stanza tipo e della palestra è stato necessario trasferire gli oggetti all'interno di Unity. In funzione degli scopi associati a ciascuna stanza i modelli sono stati importati su Unity con due metodi differenti.

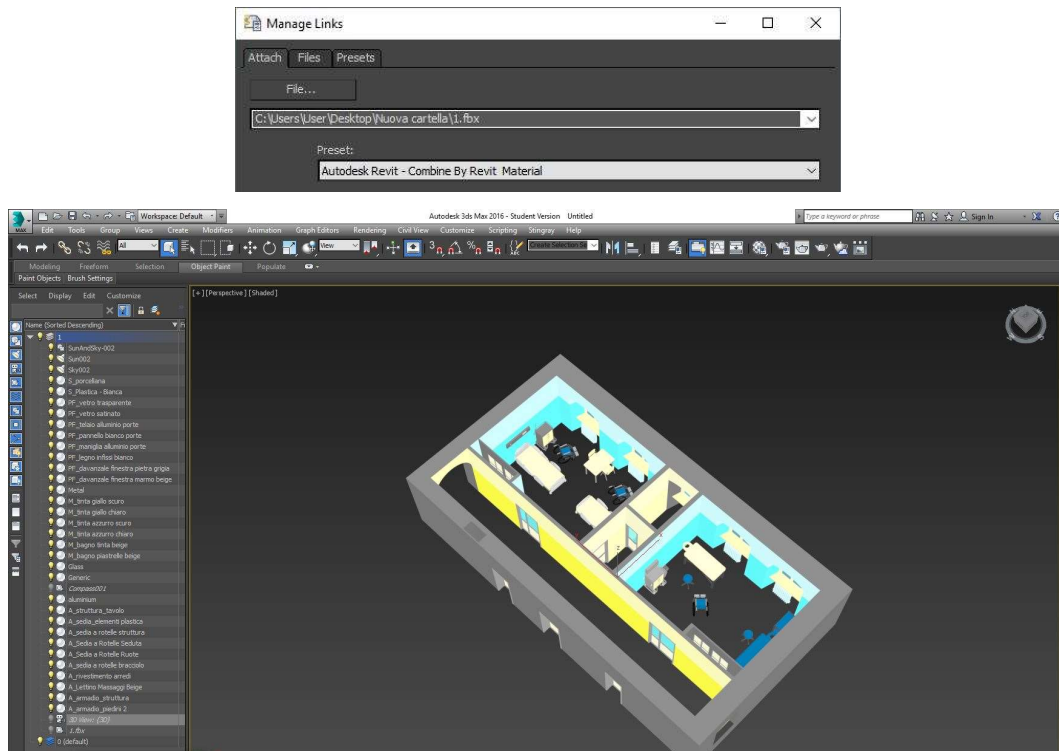
Metodo 1

Nel caso in cui il modello creato in Revit serva solo da "cornice" per la scena (come nel nostro caso per la palestra), ovvero non vi deve essere interazione tra gli oggetti BIM e uno qualsiasi dei controller si può importare il file "by Revit Material" seguendo la procedura descritta in seguito.

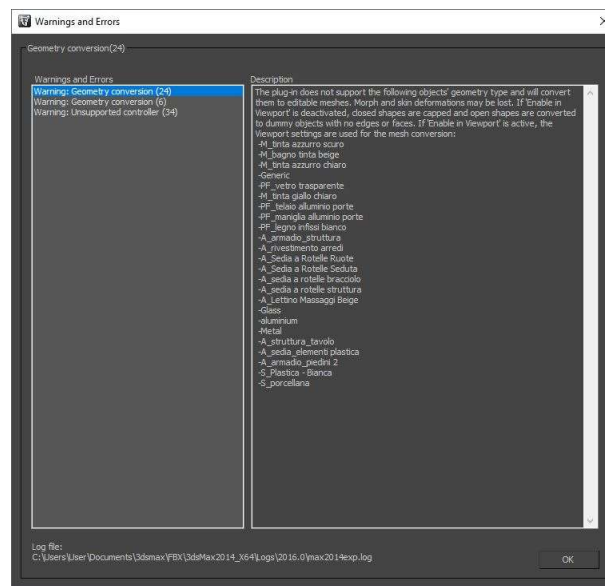
1. Si esporta il modello della vista 3D da Revit in formato FBX avendo cura di settare la vista in scala 1:100, modalità visualizzazione dettaglio fine e vista realistica;



2. Si importa in 3ds Max come link FBX settando tra le scelte del menù a tendina "Combine by Revit Material";

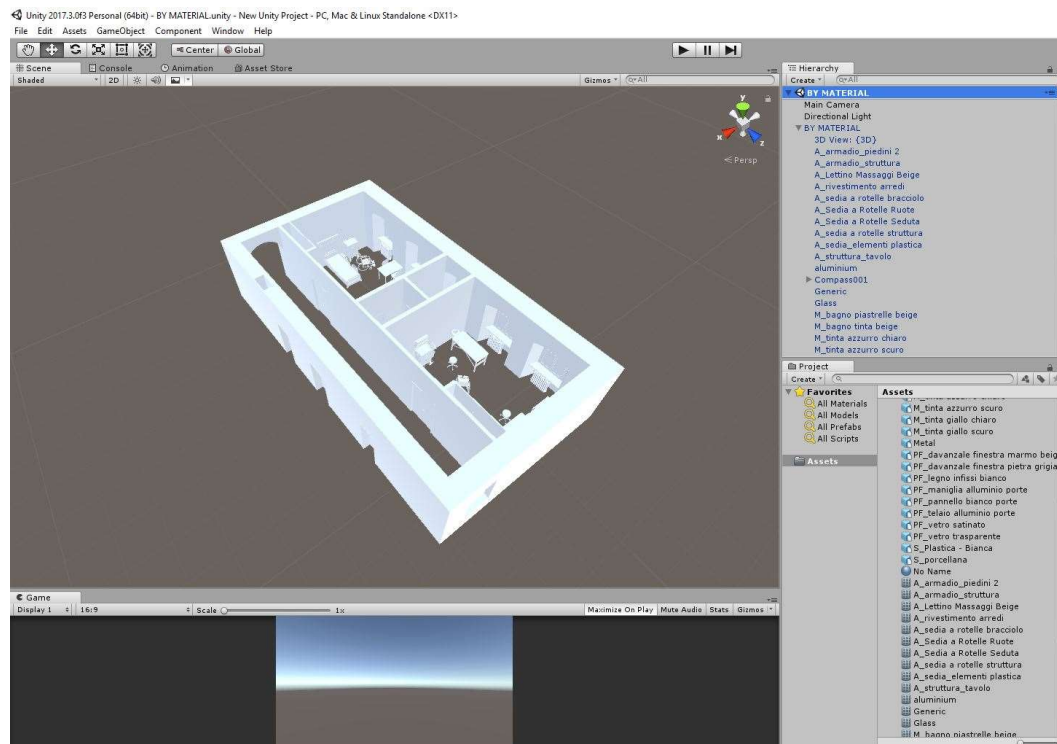


3. Si riesporta il file in formato FBX da 3ds Max; NB: durante l'esportazione compare il seguente messaggio di errore;

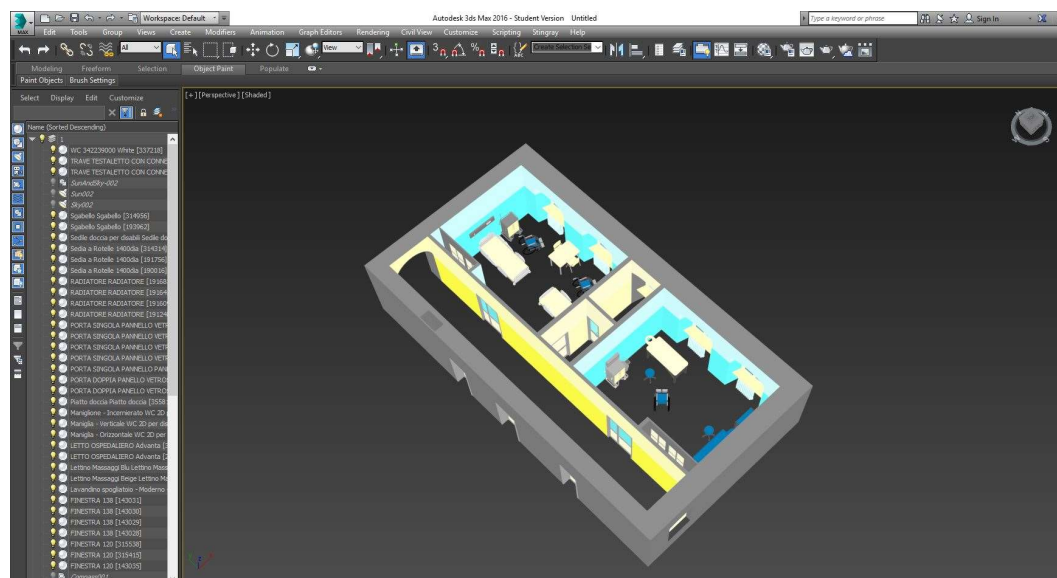
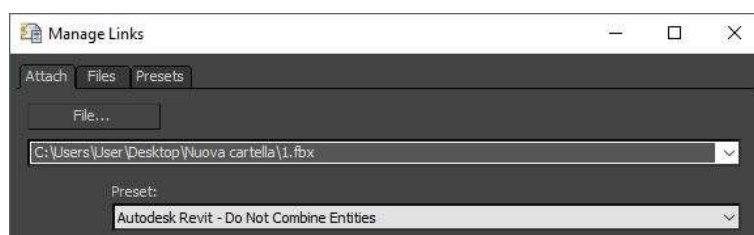


4. Si importa il file FBX in Unity; come si evince dalla figura sottostante il programma non legge nessun materiale dal punto di vista visivo ma, la divisione degli oggetti è stata fatta sulla base del materiale settato in Revit e 3ds Max;

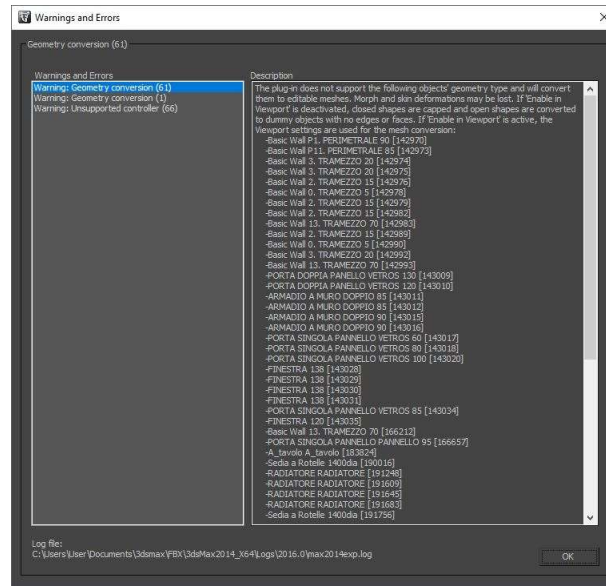
CASO STUDIO: L'Ospedale S.S. Trinità di Fossano



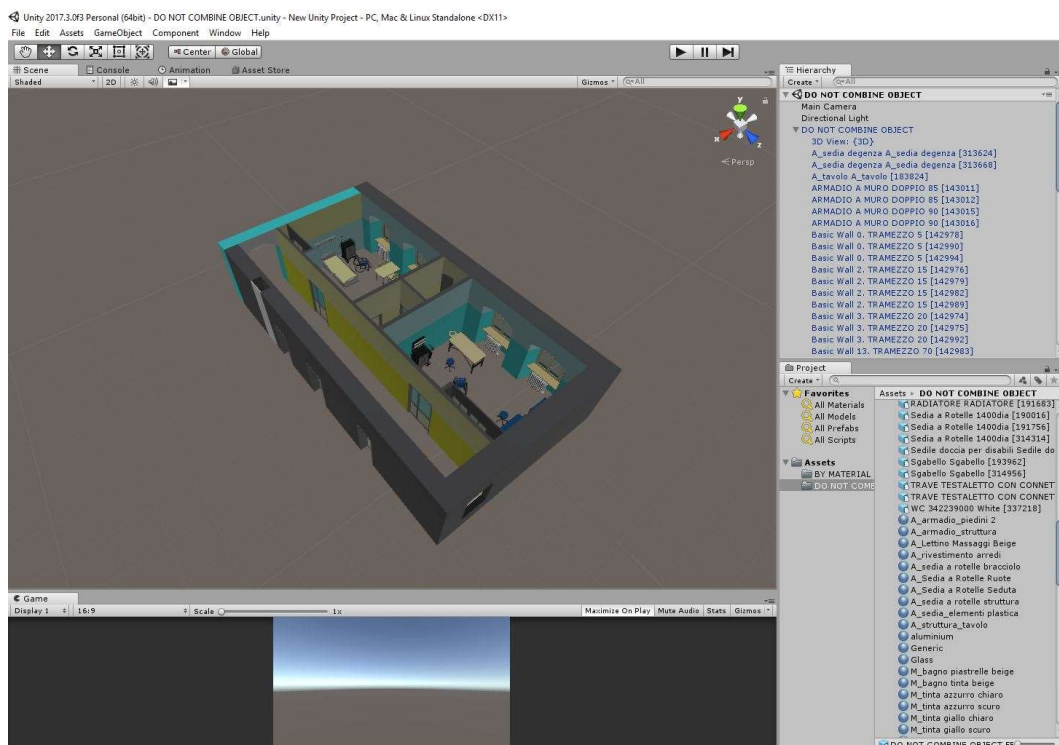
5. Si importa in 3ds Max come link FBX settando tra le scelte del menù a tendina "Do Not Combine Entities";



6. Si riesporta il file in formato FBX da 3ds Max; NB: durante l'esportazione compare il seguente messaggio di errore;

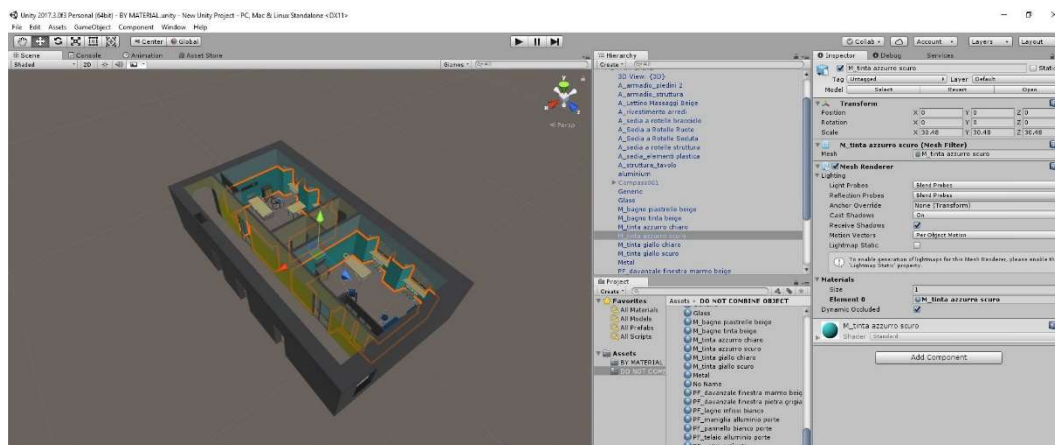


7. Si importa il file FBX in Unity; come si evince dalla figura sottostante il programma legge i materiali ma non li associa in maniera corretta a tutti gli oggetti che vengono visti ognuno come oggetto a se stante così come avveniva in Revit e 3ds Max;

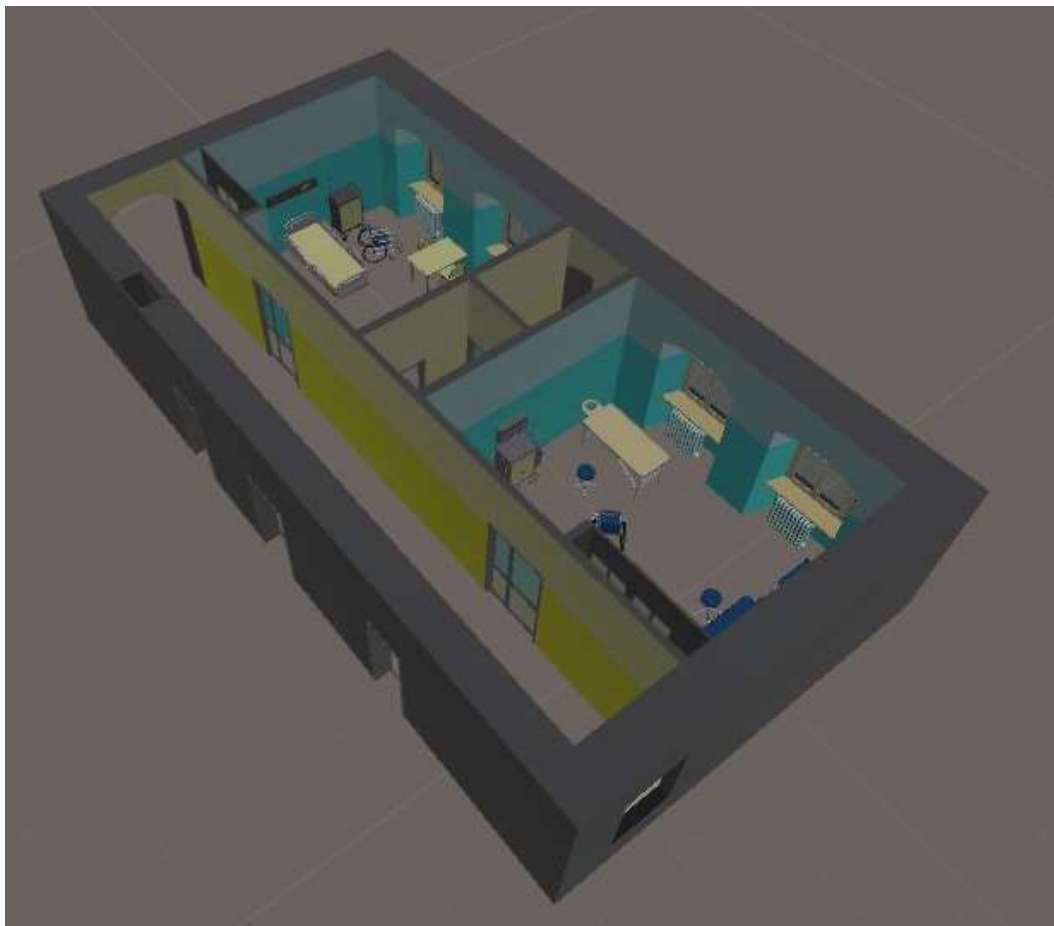


8. Si associano nel file "Combine by Revit Material" i materiali che ricavo dal file "Do Not Combine Entities";

CASO STUDIO: L'Ospedale S.S. Trinità di Fossano



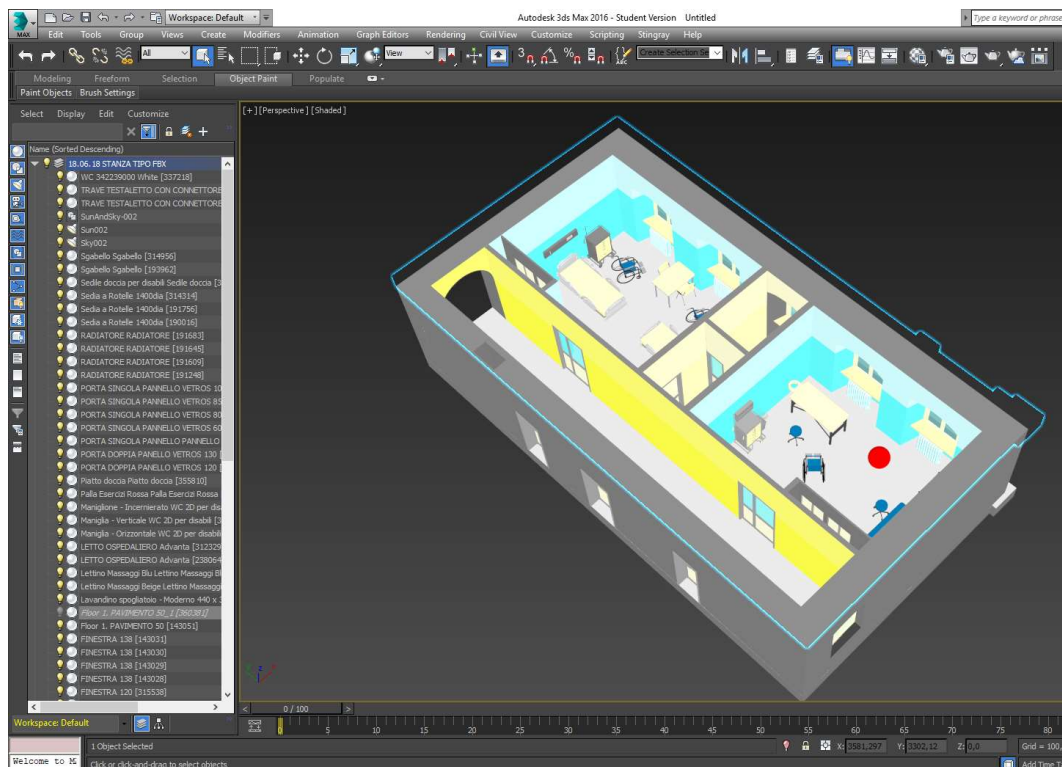
L'immagine sottostante rappresenta il risultato finale della scena di Unity. Si deve specificare che così facendo per Unity il modello 3D è costituito da una serie di oggetti e ogni oggetto è formato da tutte le parti che sono associate a quel determinato materiale, risulta quindi praticamente impossibile interagire con gli oggetti in quanto spostando ad esempio il lavandino si sposterebbero anche il wc e il bidet essendo tutte queste entità legate al materiale S_sanitari.



Metodo 2

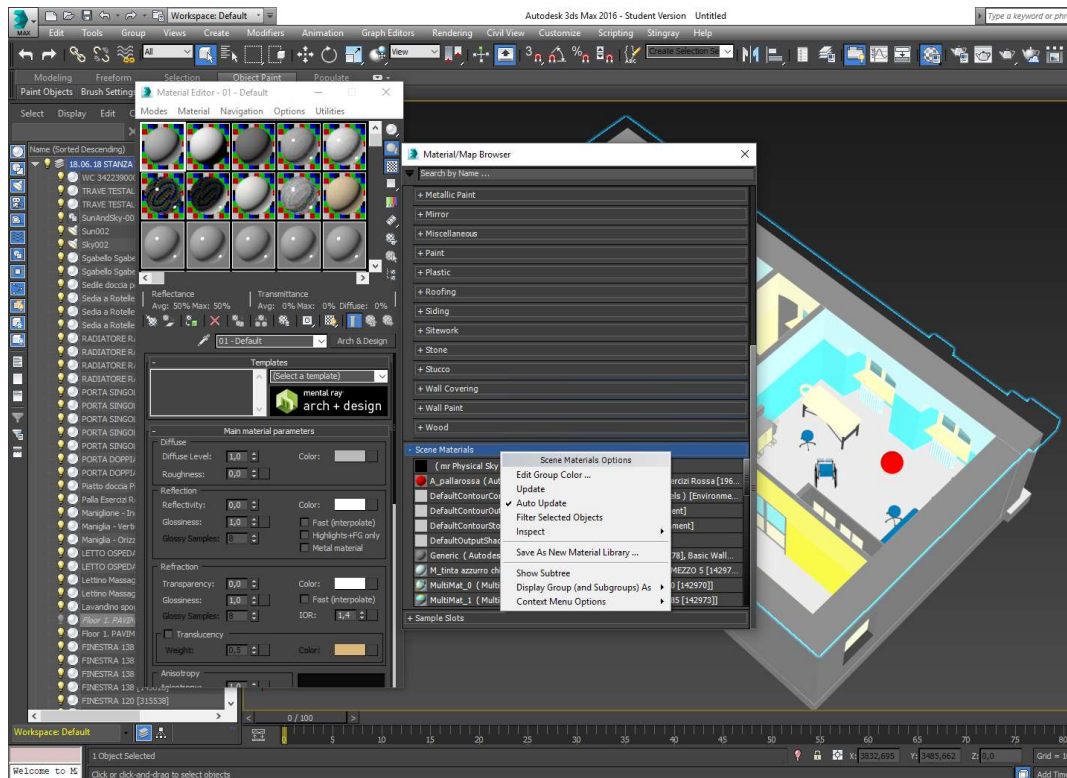
Nel caso in cui partendo dal modello creato in Revit bisogna interagire con gli oggetti presenti all'interno della scena è necessario che le entità rimangano distinte; per fare questo la procedura da seguire per importare il file Revit in Unity è la seguente:

1. Si esporta il modello della vista 3D da Revit in formato FBX avendo cura di settare la vista in scala 1:100, modalità visualizzazione dettaglio fine e vista realistica;
2. Si importa in 3ds Max come link FBX settando tra le scelte del menù a tendina "Do Not Combine Entities";

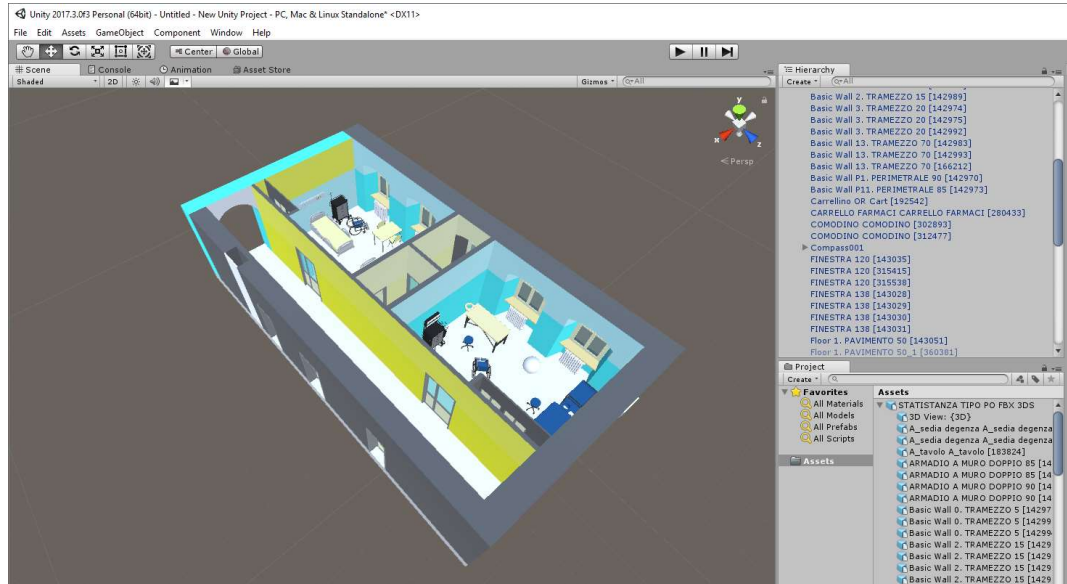


3. Si estrae dal menù dei materiali la cartella con i materiali presenti nella scena;

CASO STUDIO: L'Ospedale S.S. Trinità di Fossano



4. Si riesporta il file da 3ds Max come FBX;
5. Si importa il file FBX in Unity;



L'immagine soprastante rappresenta il risultato finale della scena di Unity. Si può notare che il file presenta ancora degli errori grafici che sono stati risolti direttamente in Unity; così facendo il modello 3D è costituito da una serie di oggetti distaccati con la quale si può interagire.

2.4.3. L'interazione tra oggetti e MYO

Per quanto riguarda il bracciale Myo si è inizialmente pensato di creare un oggetto che potesse essere gestito tramite il tool; nello specifico è stato creato un martello composto da un'asta e da un cubo che raffigurava la testa. La testa a seconda del gesto compiuto dalla mano (si fa riferimento sempre ai gesti pre-settati in Myo come per esempio stringere il pugno) cambiava di colore e tramite un perno inserito sull'asta del martello e il giroscopio del bracciale era possibile anche far traslare e ruotare il martello in tutte le direzioni seguendo il movimento del braccio.

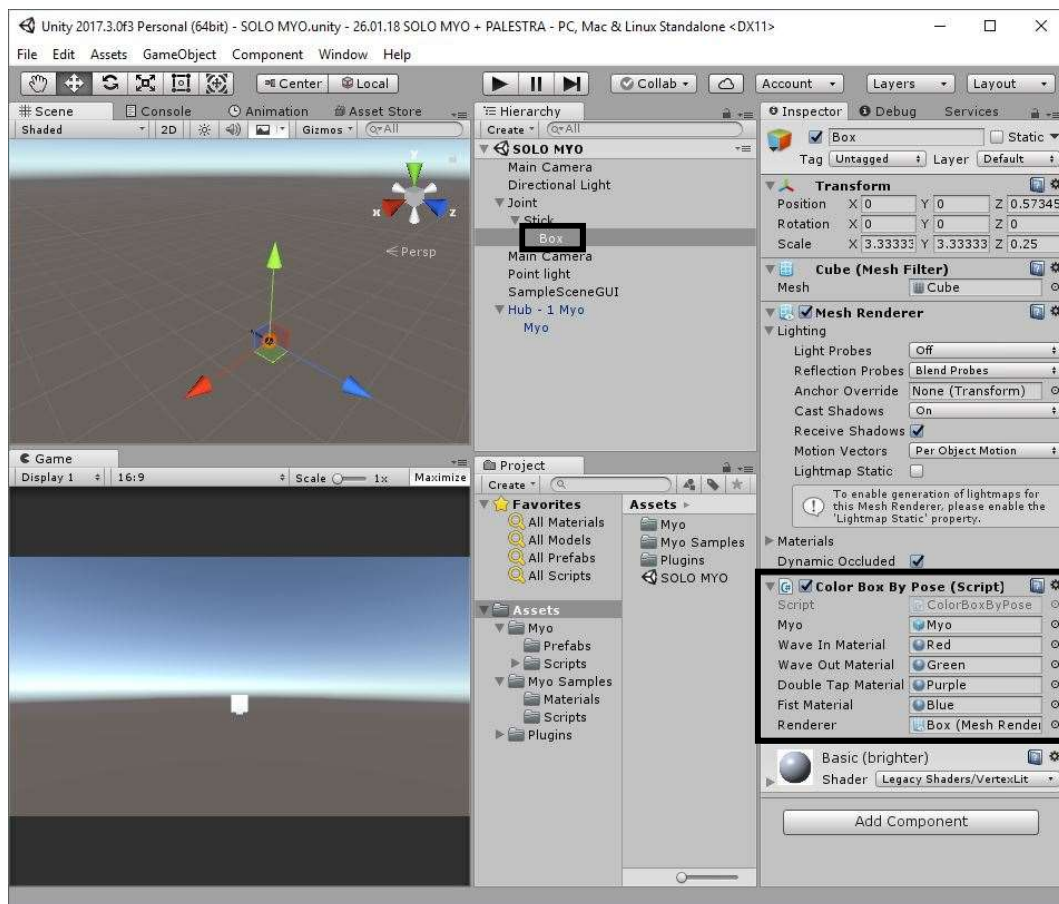


Figura 61 - Inserimento del codice e associazione alla testa del martello in Unity

Nella pagina seguente è riportato lo script utilizzato per far cambiare colore alla testa del martello.


```
using UnityEngine;
using System.Collections;
```

```
using LockingPolicy = Thalmic.Myo.LockingPolicy;
using Pose = Thalmic.Myo.Pose;
using UnlockType = Thalmic.Myo.UnlockType;
using VibrationType = Thalmic.Myo.VibrationType;
```

```
public class ColorBoxByPose : MonoBehaviour
{
    // Myo game object to connect with.
    // This object must have a ThalmicMyo script attached.
    public GameObject myo = null;

    // Materials to change to when poses are made.
    public Material waveInMaterial;
    public Material waveOutMaterial;
    public Material doubleTapMaterial;
    public Material FistMaterial;
    public Renderer renderer;

    // The pose from the last update. This is used to determine if the pose has changed
    // so that actions are only performed upon making them rather than every frame during
    // which they are active.
    private Pose _lastPose = Pose.Unknown;

    // Update is called once per frame.
    void Update ()
    {
        // Access the ThalmicMyo component attached to the Myo game object.
        ThalmicMyo thalmicMyo = myo.GetComponent<ThalmicMyo> ();

        // Check if the pose has changed since last update.
        // The ThalmicMyo component of a Myo game object has a pose property that is set
        // to the
        // currently detected pose (e.g. Pose.Fist for the user making a fist). If no pose is
        // currently
        // detected, pose will be set to Pose.Rest. If pose detection is unavailable, e.g.
        // because Myo
        // is not on a user's arm, pose will be set to Pose.Unknown.
        if (thalmicMyo.pose != _lastPose) {
            _lastPose = thalmicMyo.pose;

            // Change material when wave in, wave out or double tap poses are made.
            if (thalmicMyo.pose == Pose.Fist) {
                renderer.material = FistMaterial;

            } else if (thalmicMyo.pose == Pose.WaveIn) {
                renderer.material = waveInMaterial;

                ExtendUnlockAndNotifyUserAction (thalmicMyo);
            } else if (thalmicMyo.pose == Pose.WaveOut) {
                renderer.material = waveOutMaterial;

                ExtendUnlockAndNotifyUserAction (thalmicMyo);
            } else if (thalmicMyo.pose == Pose.DoubleTap) {
                renderer.material = doubleTapMaterial;

                ExtendUnlockAndNotifyUserAction (thalmicMyo);
            }
        }
    }
}
```

```
    }  
  }  
}  
  
// Extend the unlock if ThalmicHub's locking policy is standard, and notifies the given myo  
that a user action was  
// recognized.  
void ExtendUnlockAndNotifyUserAction (ThalmicMyo myo)  
{  
    ThalmicHub hub = ThalmicHub.instance;  
  
    if (hub.lockingPolicy == LockingPolicy.Standard) {  
        myo.Unlock (UnlockType.Timed);  
    }  
  
    myo.NotifyUserAction ();  
}  
}
```

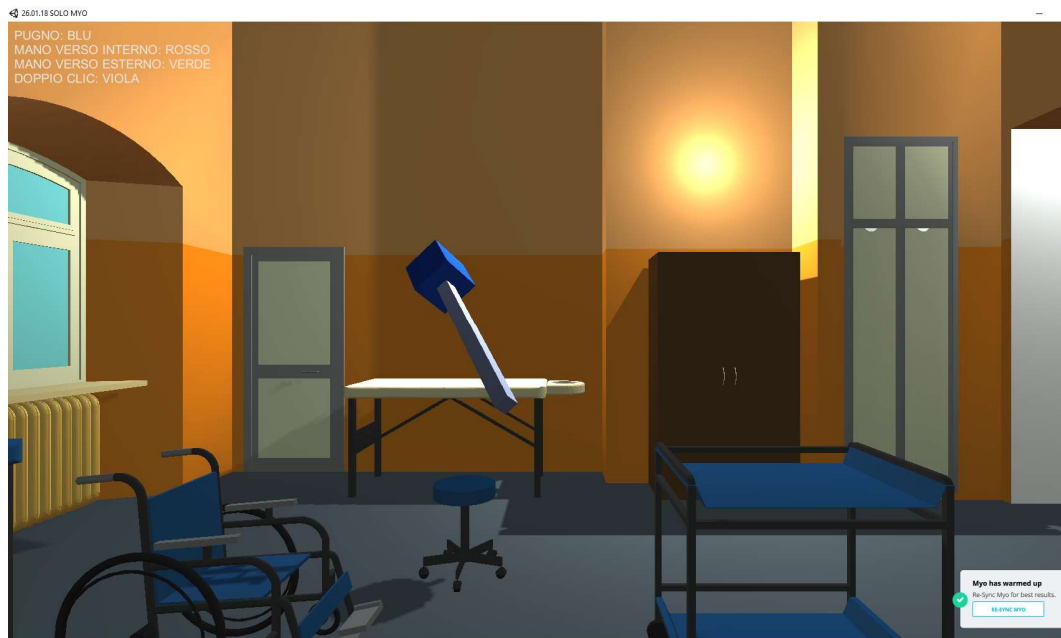
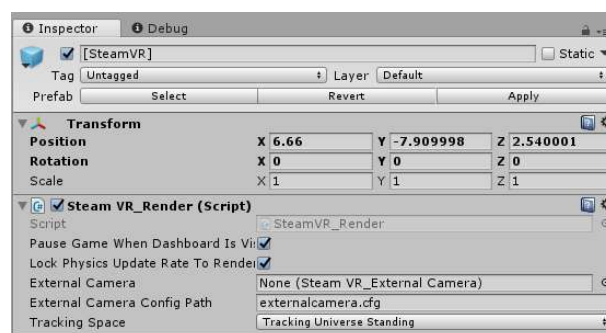
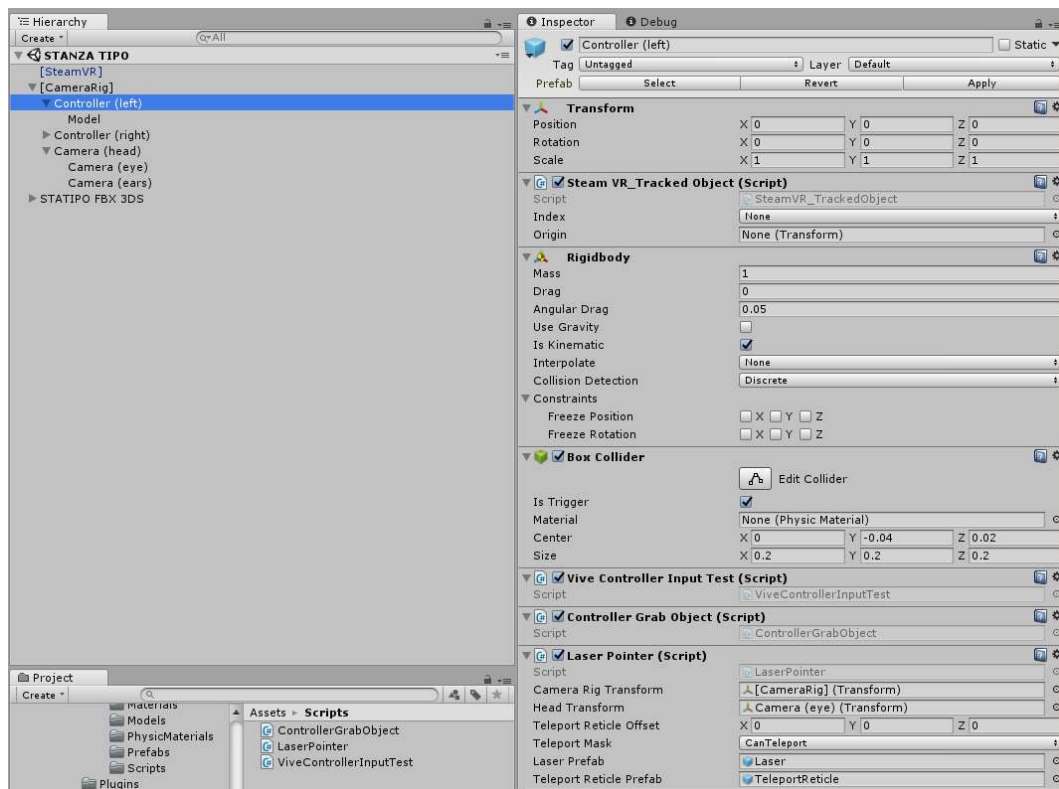


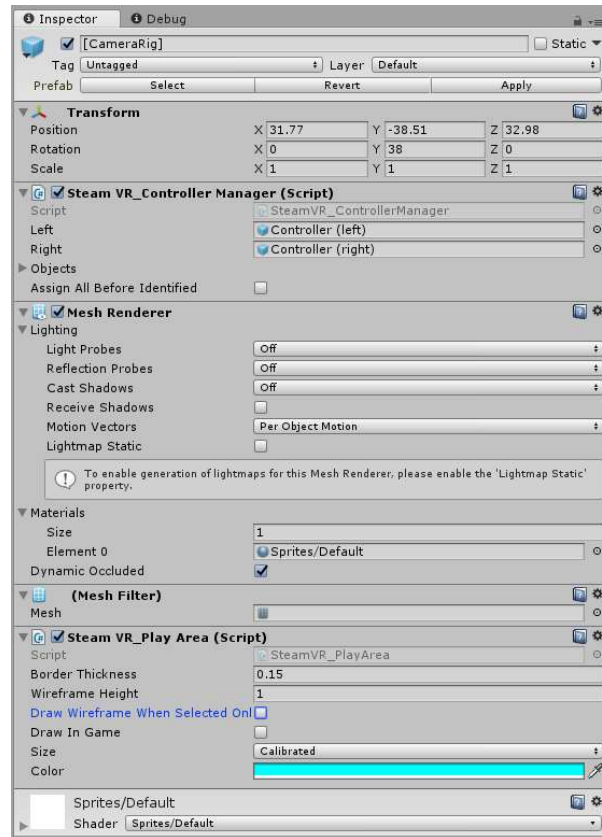
Figura 62 - Applicazione Unity con Myo

2.4.4. L'interazione tra oggetti e HTC VIVE

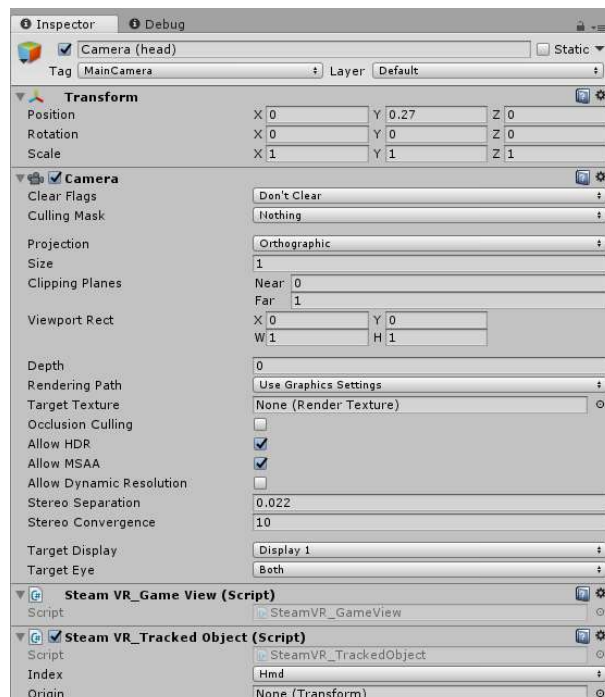
L'interazione tra oggetti e HTC Vive è gestita tramite prefabbricati e script scaricabili dall'asset store di Unity. In particolare sono fondamentali due prefabbricati chiamati "SteamVR" e "CameraRig" che gestiscono rispettivamente la mappatura della stanza nella quale si utilizza lo strumento VR e il visore.

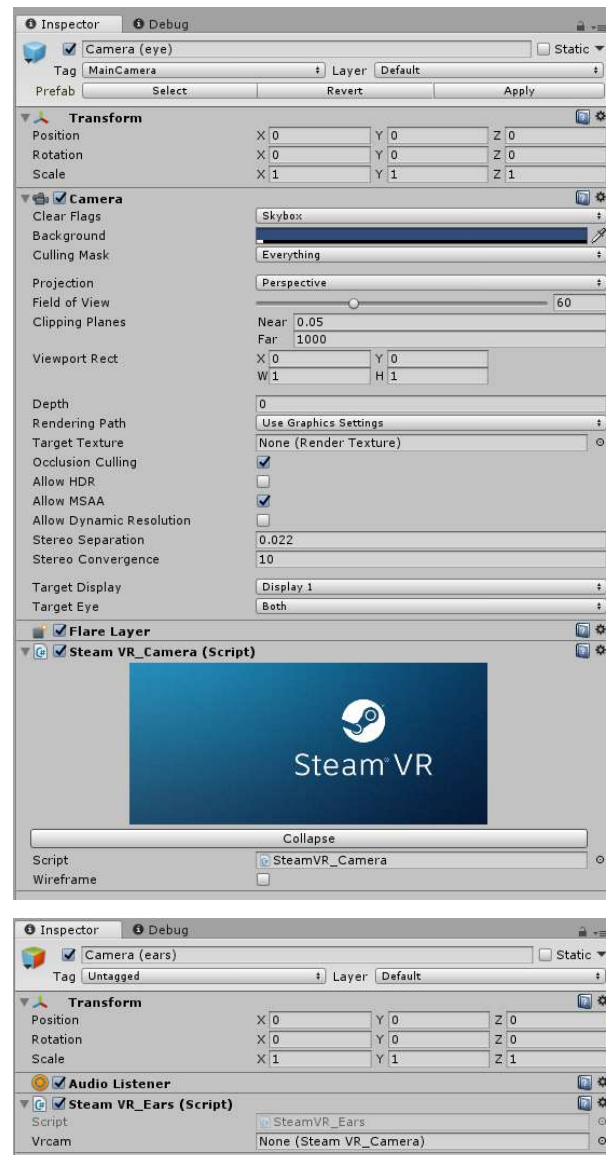


La camera gestisce tre prefabbricati "figli" che sono i due controller e il visore.



Il visore (head) “contiene” a sua volta una suddivisione per la gestione dell'uscita video (eye ovvero lo schermo HMD) e di quella audio (ears ovvero le cuffie).





Di seguito viene riportato lo script "Controller Grab Object" che permette tramite il trigger del controller HTC di afferrare gli oggetti mentre lo script "Laser Pointer" è necessario per muoversi "teletrasportandosi" da un punto all'altro della stanza.

using UnityEngine;

```
public class ControllerGrabObject : MonoBehaviour
{
    private SteamVR_TrackedObject trackedObj;

    private GameObject collidingObject;
    private GameObject objectInHand;

    private SteamVR_Controller.Device Controller
    {
        get { return SteamVR_Controller.Input((int)trackedObj.index); }
    }
}
```

```
void Awake()
{
    trackedObj = GetComponent<SteamVR_TrackedObject>();
}

public void OnTriggerEnter(Collider other)
{
    SetCollidingObject(other);
}

public void OnTriggerStay(Collider other)
{
    SetCollidingObject(other);
}

public void OnTriggerExit(Collider other)
{
    if (!collidingObject)
    {
        return;
    }

    collidingObject = null;
}

private void SetCollidingObject(Collider col)
{
    if (collidingObject || !col.GetComponent<Rigidbody>())
    {
        return;
    }

    collidingObject = col.gameObject;
}

void Update()
{
    if (Controller.GetHairTriggerDown())
    {
        if (collidingObject)
        {
            GrabObject();
        }
    }

    if (Controller.GetHairTriggerUp())
    {
        if (objectInHand)
        {
            ReleaseObject();
        }
    }
}

private void GrabObject()
{
    objectInHand = collidingObject;
    collidingObject = null;
    var joint = AddFixedJoint();
    joint.connectedBody = objectInHand.GetComponent<Rigidbody>();
}
```

```

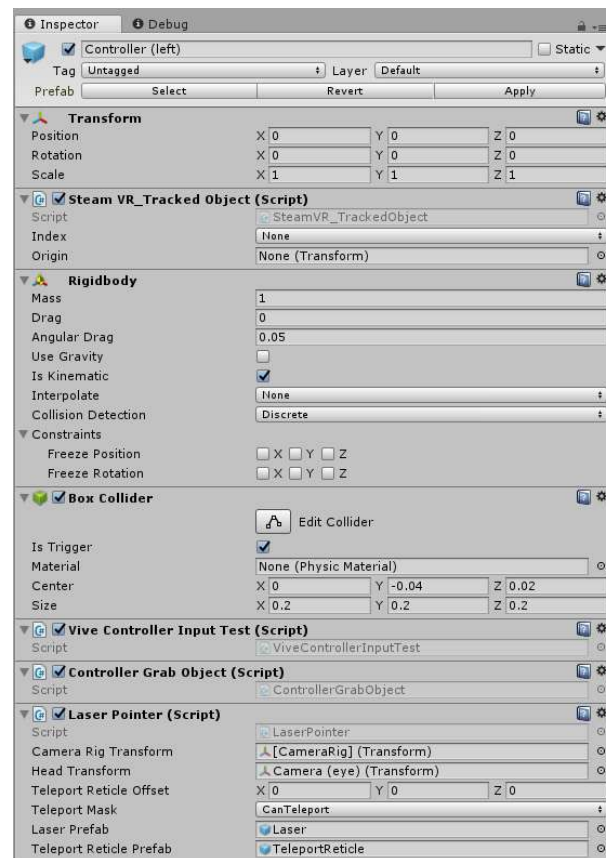
}

private FixedJoint AddFixedJoint()
{
    FixedJoint fx = gameObject.AddComponent<FixedJoint>();
    fx.breakForce = 20000;
    fx.breakTorque = 20000;
    return fx;
}

private void ReleaseObject()
{
    if (GetComponent<FixedJoint>())
    {
        GetComponent<FixedJoint>().connectedBody = null;
        Destroy(GetComponent<FixedJoint>());
        objectInHand.GetComponent<Rigidbody>().velocity = Controller.velocity;
        objectInHand.GetComponent<Rigidbody>().angularVelocity =
        Controller.angularVelocity;
    }

    objectInHand = null;
}
}

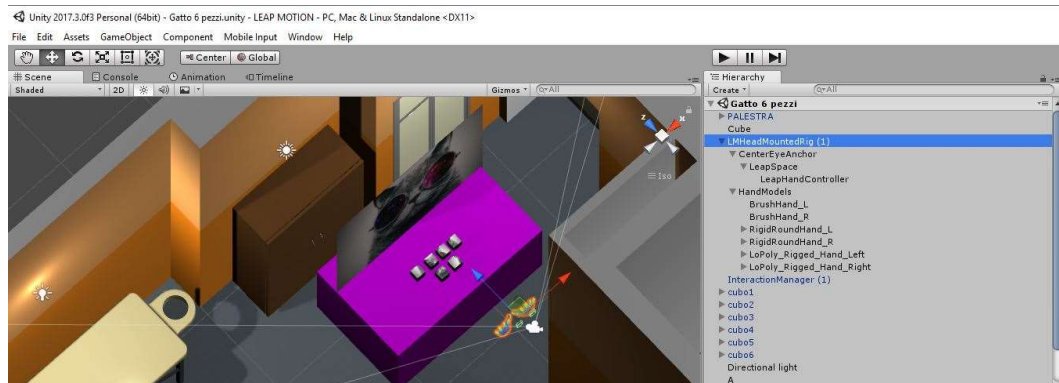
```



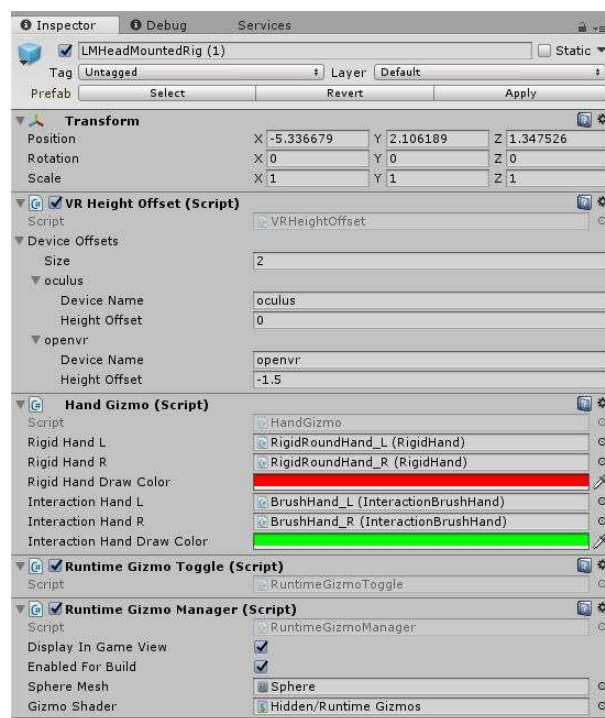
Ad ogni oggetto con la quale si vuole andare a interagire va associato un "Rigidbody" e un "Box Collider".

2.4.5. L'interazione tra oggetti e LEAP MOTION

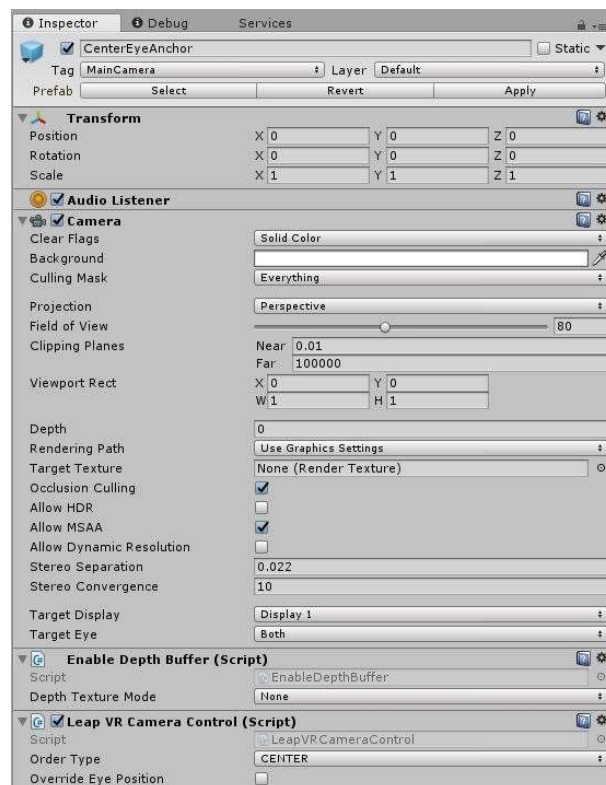
In seguito viene descritto il metodo adottato su Unity per fare interagire il Leap Motion con un qualsiasi oggetto.



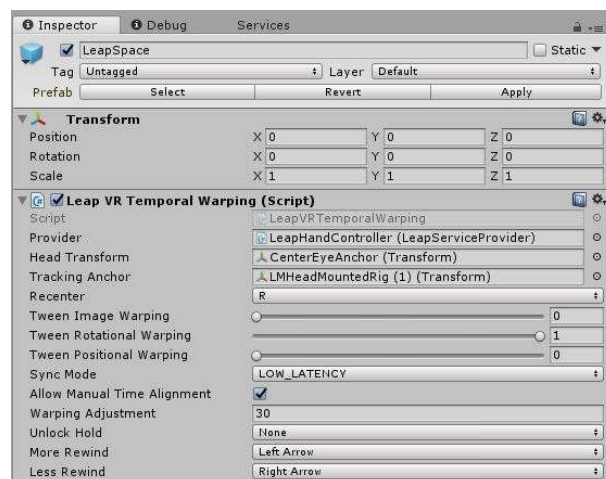
All'interno della scena vanno inseriti due prefabbricati propri del LM scaricabili dall'asset store di Unity che sono: "LMHeadMountedRig" e "InteractionManager".



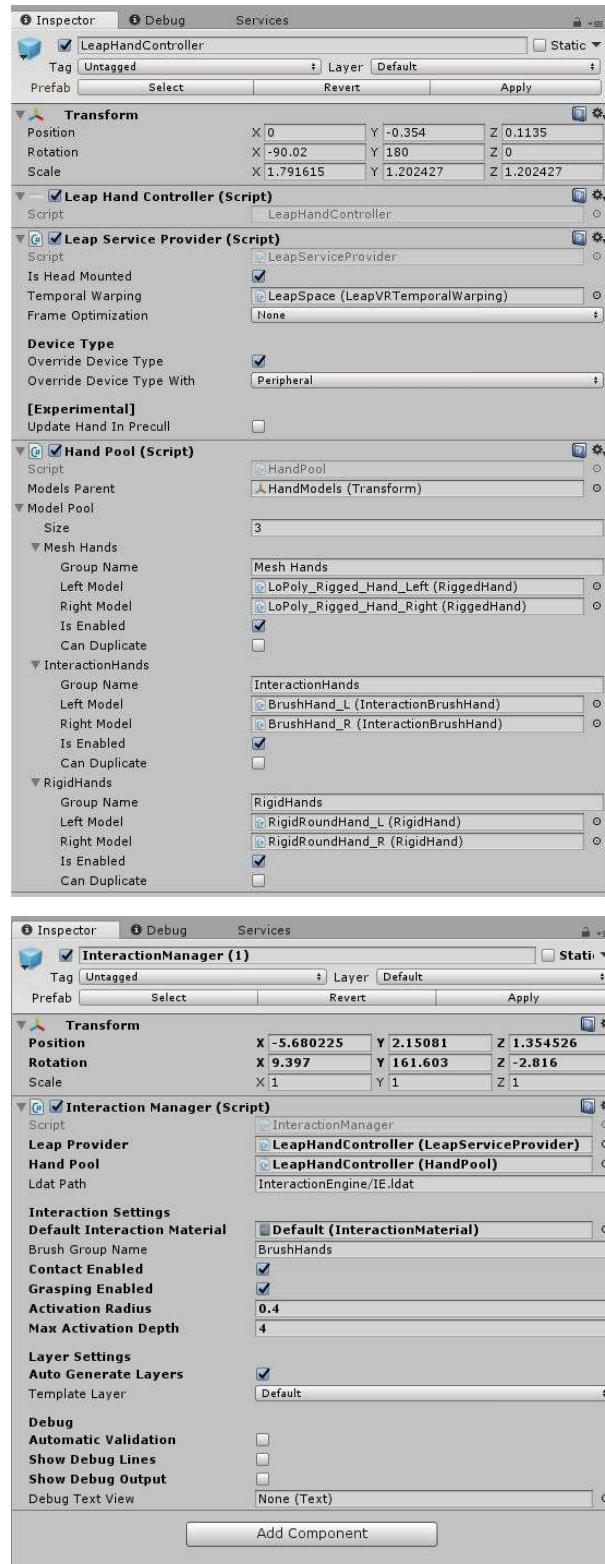
Figlio del prefabbricato "LMHeadMountedRig" vi è la camera principale denominata "CenterEyeAnchor".



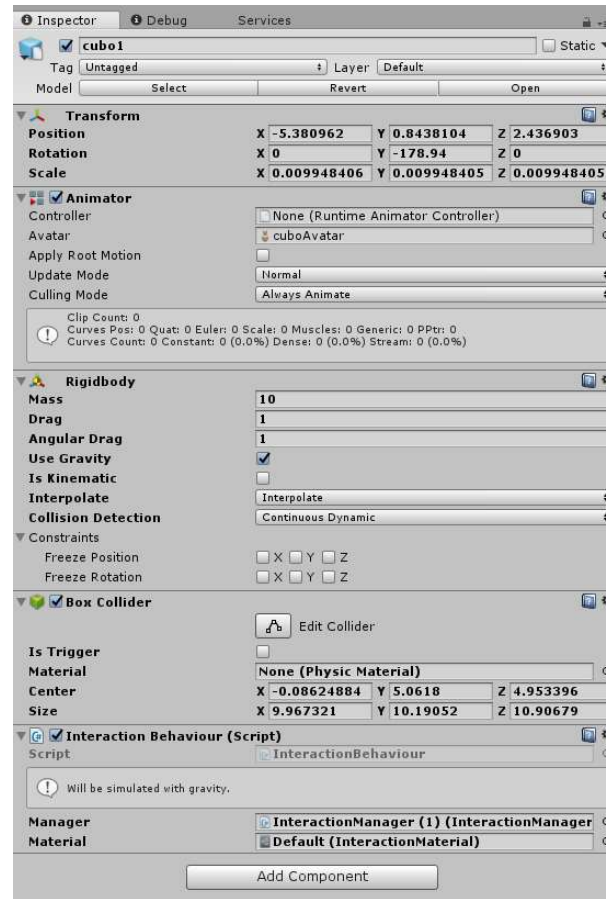
All'interno della camera vi è lo spazio nella quale sono visibili le mani tracciate mediante LM denominato "LeapSpace".



In ultima vi è il "LeapHandController" ovvero lo script che gestisce le mani; nel caso in esame essendo il LM montato sul visore è necessario mettere la spunta (all'interno dello script "Leap Service Provider" a "Is Head Mounted").



Ad ogni oggetto con la quale si vuole andare a interagire va associato un "Rigidbody", un "Box Collider" e lo script "Interaction Behaviour" nella quale va inserito l'"Interaction Manager".



Nel caso in cui l'oggetto con la quale si va a interagire sia una sfera bisognerà associare invece alla stessa una "Sphere Collider" e lo script che gestisce la rotazione e la traslazione della sfera.

2.5. Sviluppo dell'applicazione per la progettazione partecipata

La progettazione partecipata (traduzione dell'inglese design planning) è un argomento senza dubbio attuale e per questo motivo, sempre più esperti, principalmente del settore delle costruzioni, cercano di trovare una spiegazione che meglio si adatti al concetto. Sul web si possono trovare una ampia serie di definizioni; in seguito si riportano le più significative.

"È il coinvolgimento dei destinatari dei progetti nel processo di produzione dell'attività progettuale." - Prof. Sandro Balducci – PTUA Politecnico di Milano.

"La progettazione partecipata è una forma di progettazione che implica l'associazione e l'unione di più punti di vista al fine di creare la migliore soluzione possibile in termini di piani, progetti e strategie, indispensabile quindi è che essa faccia interagire differenti capacità, competenze ed esperienze." Dott. Jeff Bishop – City planner del BDOR Limited di Bristol UK.

"Pianificazione e progettazione con, invece che per, le persone." Dott. Mark Francis – Esperto di progettazione partecipata – USA.

Nell'ottica di progettare/rimodernare una camera di degenza coinvolgendo anche il personale medico/infermieristico e l'ente proprietario/gestore della struttura è stata sviluppata una applicazione che permette (tramite il controller dell'HTC Vive) di muovere, spostare e organizzare gli arredi presenti nella stanza. In questo modo anche persone meno affini all'attività di progettazione possono, in maniera totalmente immersiva e realistica, provare a pianificare l'interno di una camera rendendosi realmente conto di come viene utilizzato lo spazio.

2.6. Sviluppo delle applicazioni per la riabilitazione

Per meglio comprendere le problematiche associate alla mano del paziente bisogna definire il concetto di motricità; questa è la capacità di compiere tutti i movimenti possibili con il proprio corpo. Quando si parla invece di motricità fine si tende a concentrare l'attenzione sulla capacità di fare i movimenti più fini con le mani (ad esempio pizzicare con le dita, indicare, tenere nella mano una matita ecc.).



Figura 63 - Esempio di attività per lo sviluppo della motricità fine nei bambini

Al fine di creare le applicazioni e di testare i tool descritti nei capitoli precedenti si è collaborato con una fisioterapista e uno studente di fisioterapia; questi hanno scelto tra i loro assistiti un paziente che potesse essere rappresentativo ma non troppo complesso da trattare con questi strumenti. La scelta è ricaduta su una ragazza di 23 anni che, quasi quattro anni fa ha subito un incidente automobilistico nella quale ha subito un trauma cranico e che dopo un periodo di coma ha iniziato il suo processo riabilitativo. Ad oggi, la ragazza è autonoma in tutte le attività della vita quotidiana sfruttando prettamente l'arto superiore sinistro. L'obiettivo dei terapisti in questo trattamento era di portare ad un'integrazione migliore

l'arto superiore destro in modo che questo venisse usato soprattutto nelle attività bimanuali (come ad esempio stendere il bucato).

I principali deficit del paziente sono dovuti al fatto che l'arto superiore sinistro presenta scarsi reclutamenti (attivazioni muscolari), quindi una minore forza nel compiere qualsiasi attività a lui richiesta o una maggiore precisione nel movimento che si nota molto bene nell'attuazione di prese e pinze con la mano che risultano grossolane (presa digito-palmare o pinza termino/laterale pollice indice). Inoltre il complesso articolare della spalla risulta limitato quindi non permette movimenti su tutti i piani della spalla in particolare in elevazione/abduzione ed adduzione sul piano orizzontale. A tutto ciò si associa un'alterazione del tono dei muscoli antigravitari che non permette il lancio fluido di oggetti.

Le richieste effettuate dai fisioterapisti erano in sintesi:

- VR immersiva con possibilità di interazione per il paziente sia stando seduto sia in piedi;
- un'applicazione che permettesse al paziente di afferrare/pinzare/lanciare oggetti con la mano e le dita;
- un'applicazione che permettesse al paziente di ruotare il polso compiendo una rotazione completa;
- un'applicazione che permettesse al paziente di spostare/lanciare oggetti con braccio e spalla in modo da muovere/ruotare l'articolazione in tutte le direzioni possibili.

Partendo dalle richieste e dalle finalità che erano emerse da un primo incontro con il team di fisioterapisti si sono sviluppate, tramite la piattaforma Unity3D delle semplici applicazioni per vedere quali fossero i tool che più si adattavano alle necessità loro e del "paziente tipo".

2.6.1. I Test con paziente e fisioterapista

Durante lo sviluppo delle applicazioni, in collaborazione con i fisioterapisti e la paziente, sono stati condotti una serie di test al fine di valutare progressivamente la potenziale efficacia e la facilità di utilizzo degli strumenti.

A. HTC VIVE

Test 1

Una prima applicazione prevedeva lo spostamento di alcuni oggetti al fine di ricostruire un oggetto più complesso.



Figura 64 – Esempio Test 1 “Costruzione di una casetta”

Test 2

Una seconda idea era sviluppata come una specie di canestro formato da tanti fori nella quale bisognava lanciare una pallina.

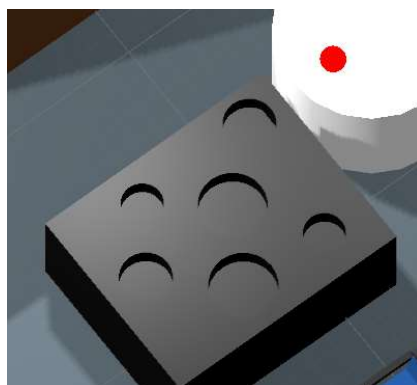


Figura 65 – Esempio Test 2 “Canestro con la pallina”

Test 3

Il terzo applicativo prevedeva la presa e lo spostamento di alcune lettere su di un piano al fine di scrivere una parola di senso compiuto.



Figura 66 – Esempio Test 3 “Composizione di una parola”

B. LEAP MOTION

Test 1

Una prima applicazione prevedeva di afferrare e spostare con le dita dei cubetti al fine costruire ad esempio una pila.



Figura 67 - Esempio Test 1 “Creare una pila con dei cubetti”

Test 2

Una seconda idea era sviluppata come un labirinto nella quale fare scorrere con le dita una sfera.



Figura 68 - Esempio Test 2 “Spostare una sfera all’ interno di un labirinto”

C. MYO ARMBAND

Durante i test effettuati con la paziente e il bracciale sono emersi una serie di problematiche; per il corretto funzionamento il braccialetto deve essere spinto verso l'alto fin quasi sotto al gomito e deve essere indossato in modo da rimanere ben aderente alla pelle. Nonostante il diametro del bracciale fosse regolabile il braccio della ragazza risultava essere troppo piccolo; nonostante il contatto braccio/Myo non proprio ottimale la calibrazione di un profilo associato agli impulsi muscolari della paziente risultava andare comunque a buon fine ma, nel momento in cui si provava a utilizzare lo strumento questo interpretava male i movimenti (ad esempio l'apertura delle dita della mano veniva considerata come un pugno chiuso). I movimenti associati al giroscopio e all'accelerometro, visibili al pc nell'ambiente virtuale, risultavano invece essere fluidi e compatibili con quanto fatto dalla paziente nell'ambiente reale.

Dopo il test l'ipotesi di utilizzare questa tecnologia su questa "paziente tipo" è quindi stata abbandonata; da un ulteriore confronto con i fisioterapisti è emerso che un'altra possibile problematica associata al mancato funzionamento potesse essere legata al fatto che il braccio della paziente non ha attivazioni muscolari singole anzi a gruppi muscolari che inficiano sulla pulizia del gesto compromettendo la lettura da parte del bracciale.

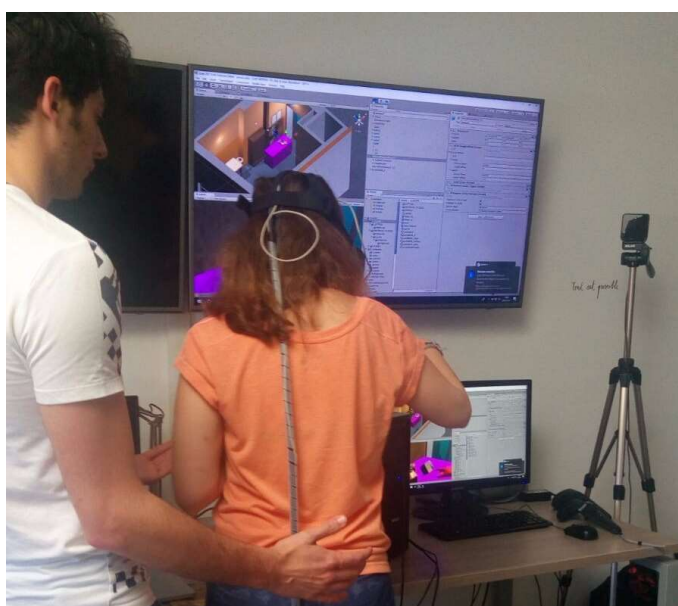


Figura 69 - Test finale pre-trattamento effettuato con la paziente al Drawing to the Future

2.6.2. Gli applicativi per la riabilitazione

Sulla base dei test descritti nel paragrafo precedente e del confronto con il personale medico e il paziente sono state elaborate due applicazioni che rispondessero in toto alle richieste dei fisioterapisti ma, allo stesso tempo, fossero compatibili in termini di utilizzo dello strumento con le abilità del paziente.

Per una descrizione più accurata delle applicazioni dal punto di vista medico/fisioterapico, si rimanda alla tesi in fase di sviluppo dello studente di fisioterapia.

A. HTC VIVE

Per quanto riguarda l'esecutivo sviluppato per essere utilizzato con il controller dell'HTC Vive si è optato per la creazione di una libreria composta da più mensole di altezza, dimensione e spaziatura differenti nella quale andare ad inserire dei libri.



Figura 70 – Vista di Unity 3D con la camera HTC visualizzata

Come si può notare nel video di presentazione dell'applicazione (visibile su youtube tramite il QR Code nell'immagine seguente) il paziente, su precise indicazioni del fisioterapista, può distendere il braccio e fare ruotare sia

l'arto sia il polso; inoltre, essendo l'esercizio da svolgersi in piedi può essere valutato anche l'equilibrio nello svolgere spostamenti/movimenti e rotazioni.



Figura 71 – Video dimostrativo applicazione HTC Vive

B. LEAP MOTION

Per quanto riguarda l'esecutivo sviluppato per essere utilizzato con il Leap Motion è stato ricreato una sorta di puzzle composto da un numero pari (4, 6 o 8) di pezzi cubici di grandezza variabile. L'esercizio è stato proposto sia da seduto sia in piedi.



Figura 72 - Vista di Unity 3D con la camera LM visualizzata

Anche in questo caso è stato realizzato un video; la paziente, sempre seguendo le indicazioni del fisioterapista, può prendere/pinzare i cubetti con tutte le dita della mano e farli ruotare utilizzando le dita e/o il polso.

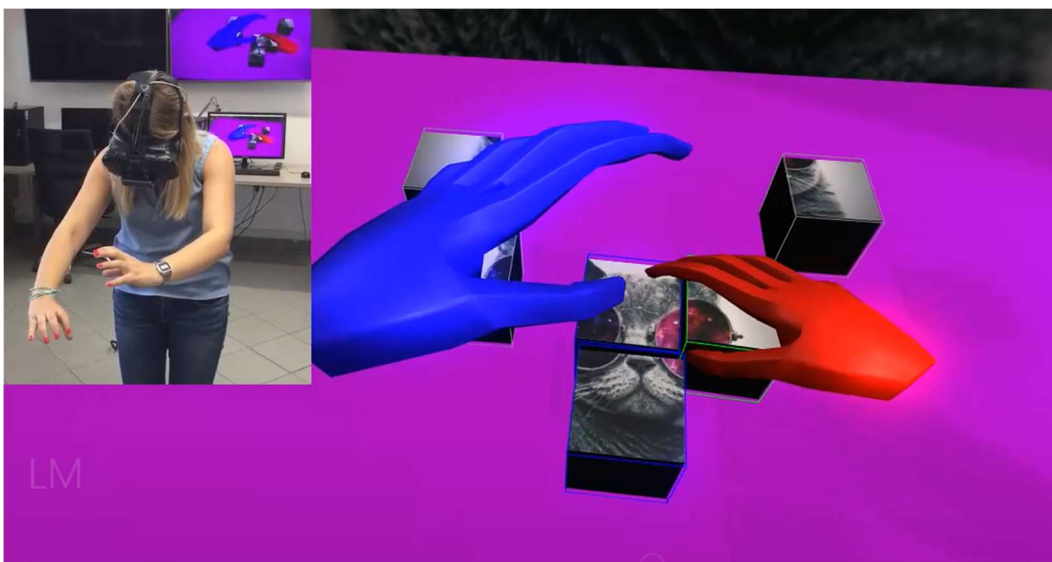


Figura 73 – Video dimostrativo applicazione LM

3

RISULTATI

3.1. La navigazione virtuale del piano

Nell'ottica di "coinvolgere i malati che non possono muoversi dal letto, per portarli virtualmente dove non possono andare", come già spiegato nel capitolo introduttivo, si è deciso di iniziare facendo fare loro un tour della struttura nella quale si trovano anche in previsione, una volta capaci di alzarsi dal letto, di potersi muovere in maniera autonoma all'interno dell'edificio.

Come ambiente per i test si è deciso di utilizzare il piano modellato con Revit in precedenza. Per lo scopo puramente di visualizzazione del modello i due software descritti in seguito sono da considerarsi praticamente equivalenti, mentre, non si può dire lo stesso per quanto riguarda la gestione/modifica del modello che però non rientra tra i focus di questo specifico elaborato.

Entrambi i software supportano come tecnologie VR sia HTC Vive sia altri brand conosciuti come ad esempio Oculus Rift.

3.1.1. L'utilizzo di Enscape

Enscape è plug-in di realtà virtuale e rendering per Revit che non necessita di nessun caricamento sul cloud o esportazione verso altri programmi.

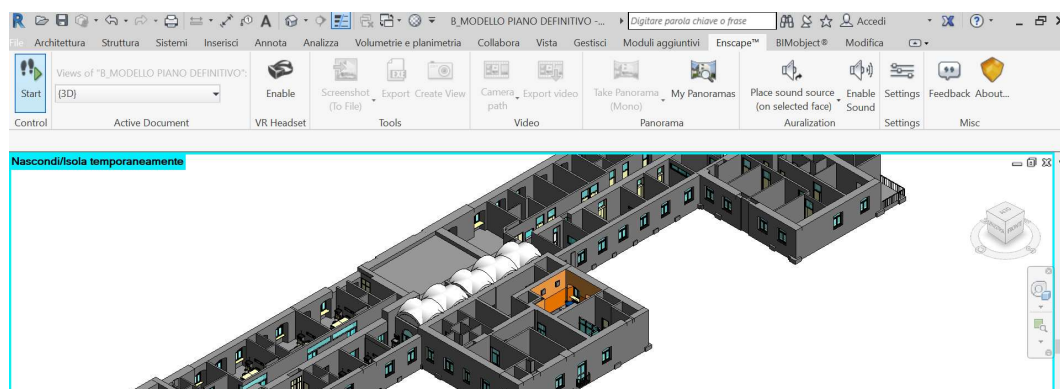


Figura 74 – Enscape plug-in per Revit

Enscape mostra in tempo reale tutte le modifiche che vengono apportate in Revit sia in modalità desktop sia in VR. Inoltre, vi è un'opzione che permette di creare un file del progetto che può essere inviato e visualizzato da qualsiasi utente.



Figura 75 - Visualizzazione in modalità desktop con Enscape

Del tour completo del piano è stato prodotto un video visionabile interrogando il QR code sottostante.

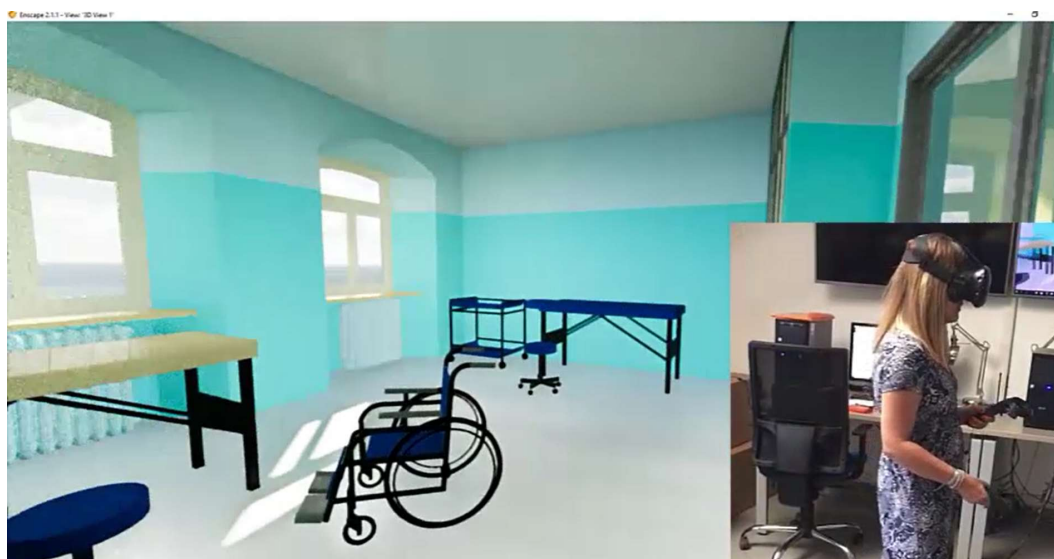


Figura 76 – Visualizzazione in modalità VR con Enscape

3.1.2. L'utilizzo di Live

Autodesk Live è un servizio di visualizzazione interattiva 3D per Revit; l'esperienza fornita dal software proietta l'utente nel progetto architettonico proprio come avviene in un videogioco. Cliccando sull'icona presente nel menù Vista di Revit, Autodesk Live converte la vista 3D del progetto in un modello interattivo nel cloud.

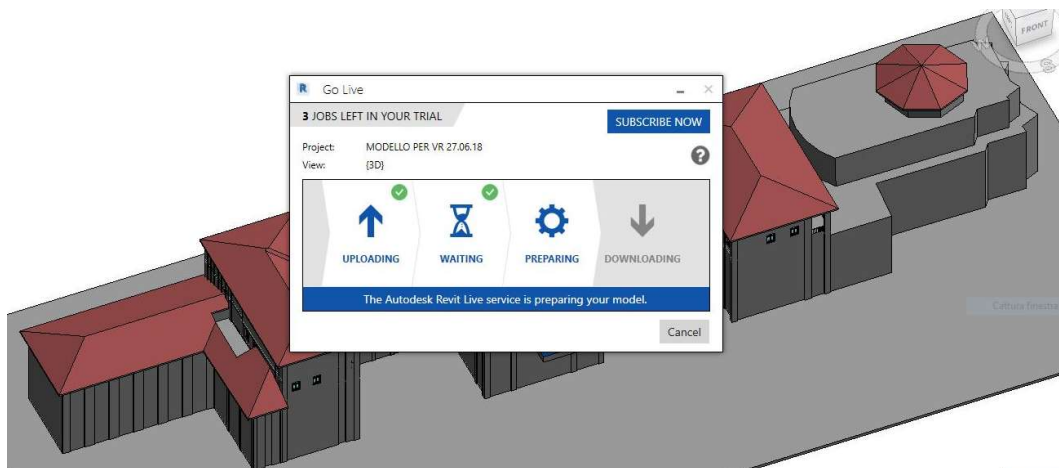


Figura 77 – Esportazione nel cloud di Revit Live

Qualsiasi utente può quindi “vivere” il progetto, Live permette infatti di poter entrare all'interno dell'edificio, in questo modo, gli utenti possono vedere come appare uno spazio e possono sperimentare come ci si sente in quell'ambiente.

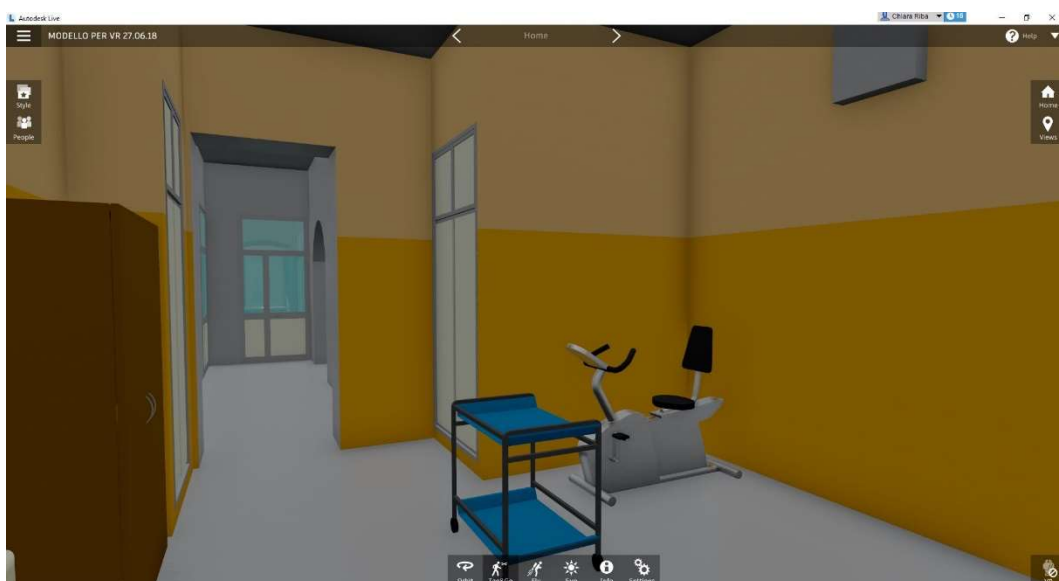


Figura 78 - Visualizzazione in modalità desktop con Revit Live

Anche in questo caso il tour completo è visibile interrogando il QR code sottostante.

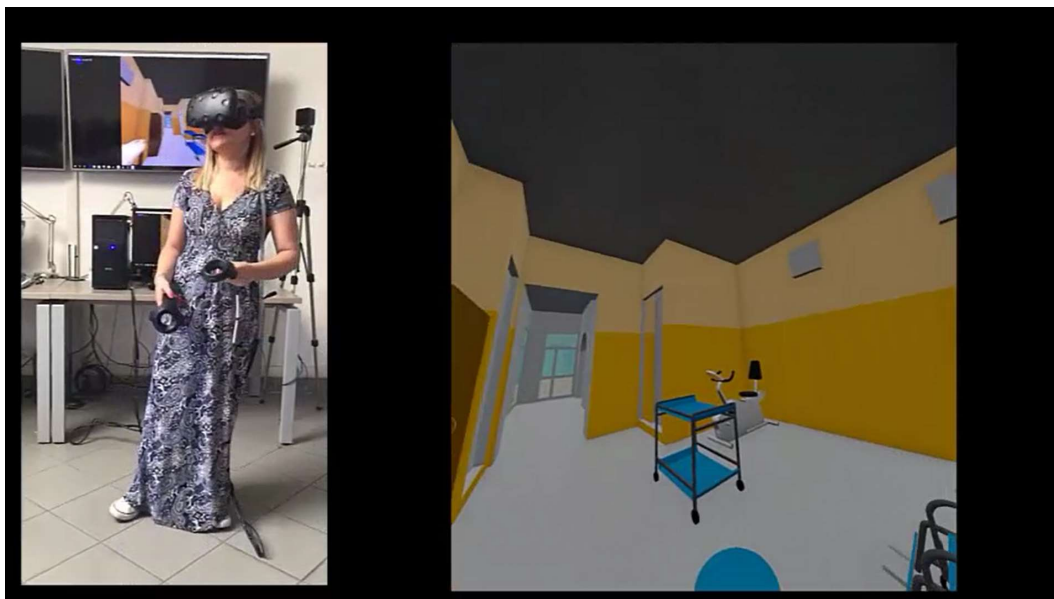
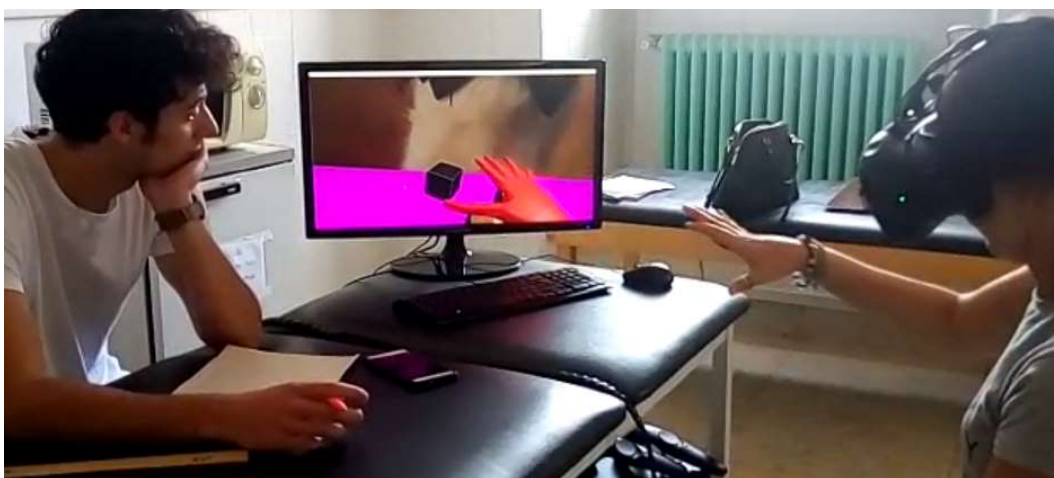


Figura 79 – Visualizzazione in modalità VR con Revit Live

3.2. Il trattamento riabilitativo

Il trattamento è stato svolto per due settimane consecutive nei giorni feriali con cadenza giornaliera; ogni seduta della durata complessiva di un'ora e trenta minuti era suddivisa in 40 minuti di trattamento convenzionale a lettino e 40 minuti di trattamento tramite l'uso delle applicazioni precedentemente descritte finalizzati all'ottenere il massimo rendimento dai movimenti residui.



In allegato sono riportate le schede compilate dal fisioterapista a inizio e fine trattamento. Al momento in cui si scrive questo elaborato non sono ancora disponibili le conclusioni da parte del personale medico; tuttavia, si può notare dalla somma dei punteggi ottenuti il primo e l'ultimo giorno di trattamento che vi è un lieve miglioramento oggettivo. Da un confronto finale con la paziente ed alcuni membri della sua famiglia è emerso che, in alcuni movimenti che tutti noi effettuiamo nel corso della giornata, la ragazza si sentiva più sicura e indipendente.



Figura 80 – Immagini dei momenti di fisioterapia

4

CONCLUSIONI E
SVILUPPI FUTURI

Lo sviluppo tecnologico sta cambiando la vita di tutti noi e di conseguenza cambierà anche il modo di studiare, apprendere e lavorare. Questi anni rappresentano una fase di transizione che porterà quasi sicuramente ad un miglioramento in tutti i settori industriali e di conseguenza anche nell'ambito edile. Dalla ricerca effettuata si possono trarre una serie di conclusioni.

In primo luogo è difficile stabilire quali siano gli standard di un modello BIM affinché questo possa essere compreso in modo chiaro e nitido anche dalle persone che non fanno parte del mondo delle costruzioni. Standardizzare il modello risulta ancora più complesso se, gli utenti che devono visualizzare/interagire con l'edificio virtuale hanno delle problematiche di tipo fisico, psichico o cognitivo.

In tutti i progetti, in particolar modo in quelli che riguardano l'ambito sanitario, il coinvolgimento di tutte le figure che ruotano intorno all'edificio è fondamentale. L'unione delle competenze permette di arrivare senza ombra di dubbio ad un risultato più efficiente e soddisfacente per tutti in termini di vivibilità, sicurezza e fruibilità degli spazi.

La modellazione 3D può servire sì per la riabilitazione e allo stesso tempo può fare in modo che questa diventi meno stressante e più divertente. Come visto in precedenza il passaggio non è immediato ma vi è la necessità di apprendere nuovi software e competenze che esulano dalla mera modellazione e dalle sole capacità dell'ingegnere edile.

I nuovi strumenti tecnologici per la realtà virtuale nascono per scopi principalmente ludici; adottare gli stessi tool in altri ambiti (come ad esempio il mondo delle costruzioni e della sanità) è una possibilità che può e deve essere sfruttata ma che richiede ancora molto tempo e lavoro. In particolare sarà necessario formare il personale sanitario per imparare a gestire e utilizzare gli strumenti.

Il miglioramento del settore edile/costruzioni dovuto all'utilizzo delle nuove tecnologie è possibile, per far sì che questo avvenga vi è però la necessità di fare uscire le conoscenze dall'ambito ristretto della ricerca e formare sia i professionisti del futuro, ovvero gli studenti e i neo-laureati, sia quelli che da anni lavorano nel settore e che sono meno inclini a abbracciare le

nuove tecnologie. Così come avveniva una decina di anni fa per il BIM, i cui vantaggi sembra siano stati recepiti da tutte le figure che operano nel mondo delle costruzioni, adesso è ora di fare conoscere e apprezzare strumenti come la realtà virtuale anche in virtù del fatto dei prezzi sempre più competitivi degli strumenti.

PRESENTAZIONE delle APPLICAZIONI al SALONE del LIBRO

Dal 10 al 14 maggio 2018 si è svolto a Torino il 31° Salone Internazionale del Libro; il Politecnico era presente con un proprio stand in cui venivano presentate alcune attività e alcuni progetti negli ambiti Didattica, Ricerca, Trasferimento Tecnologico e Internazionalizzazione. Ogni anno il Salone si basa su un tema; per questa edizione gli organizzatori (ovvero la Fondazione per il Libro, la Musica e la Cultura, la Fondazione Circolo dei lettori e la Fondazione per la Cultura di Torino) hanno scelto *“Un giorno, tutto questo”* per sviluppare insieme un ragionamento condiviso sull'idea di futuro.

All'interno dello stand è stato allestito uno spazio dedicato alla *“Virtual Reality experience at Polito”*; qui vi era la possibilità di capire e sperimentare l'utilizzo della realtà virtuale in quattro differenti ambiti: nell'industria 4.0 per rappresentare fedelmente l'intero processo fisico e tutte le informazioni necessarie per ottimizzare la filiera produttiva; in ambito sanitario per la riabilitazione attraverso esercizi ambientati e personalizzati in base alle proprie necessità, attitudini e preferenze; per la navigazione e interazione simultanea immersiva e infine per creare semplici animazioni con cui interagire in ambiente virtuale.

Per quanto riguarda l'applicazione in ambito sanitario, sono state fatte provare a ragazzini e adulti i “giochi” prima descritti e sulla base delle reazioni e dei commenti sono stati applicati miglioramenti e modifiche agli stessi.



Figura 81 - Immagini del test al Salone del Libro 2018

BIBLIOGRAFIA e SITOGRAFIA

- [1] F. Milizia, *Principi di architettura civile*, Fossano, 1781.
- [2] Eastman, Teicholz, Sacks, Liston e Laiserin, *BIM Handbook*, Hoboken, New Jersey: Jhon Wiley & Son, Inc., 2008.
- [3] D.W. Halpin e B.A. Senior, *Constructio Management*, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2011.
- [4] S. Bruno, M. De Fino e F. Fatiguso, «Historic Building Information Modelling: performance assessment for diagnosis-aided information modelling and management,» in *Automation in Construction* 86, Bari, 2018, pp. 256-276.
- [5] «reactstudio.it,» 7 Dicembre 2017. [Online]. Available: <https://reactstudio.it/it/news/decreto-bim/>. [Consultato il giorno 7 3 2018].
- [6] «<http://www.drawingtothefuture.polito.it>,» Dicembre 2017. [Online]. [Consultato il giorno Marzo 2018].
- [7] E.R.C.M. Huisman, E. Morales e J. van Hoof, «Healing environment: A review of the impact of physical environmental factor on users,» *Building and Environment*, 22 Giugno 2012.
- [8] *Storia di Fossano e del suo territorio - Tra i Lumi e l'Antico Regime (1680-1796)*, Fossano: CO.RE Editrice Società Cooperativa, 2013.
- [10] G. Dell'Acqua, «BIM per Infrastrutture Lineari,» *Ingenio*, 2017.
- [11] «www.leapmotion.com,» [Online]. [Consultato il giorno 25 Giugno 2018].

[12] «www.aslcn1.it,» [Online]. [Consultato il giorno 25 Giugno 2018].

[13] «unity3d.com,» [Online]. [Consultato il giorno 5 Giugno 2018].

ALLEGATI

In allegato si riportano:

- Le tabelle riassuntive dell'articolo "Immersion of virtual reality for rehabilitation – Review" di maggio 2018; autori Tyler Rose, Chang S. Nam, Karen B. Chen.
- Le scale di valutazione usate dal fisioterapista.

Studies selected for RQ1.

	Subramanian et al. (2008)	Lloréns et al. (2013)	Slobounov et al. (2015)	Bailenson et al. (2008)	Rand et al. (2008)	Crosbie et al. (2006)	Gokeler et al. (2014)
Objective	To compare shoulder movement patterns when performed in a head-mounted display (HMD) or screen projection system	To study mobility variables of a VR-based balance rehabilitation system for patients with acquired brain injury	To examine the effect of immersive 3D presentations and less immersive VR environments	To study the effect of interactivity on learning physical actions in VR	To investigate the potential of using a low-cost video-capture VR platform for rehabilitation	To assess the interaction of the user in terms of immersion in the VE and their perceived exertion	To evaluate the influence of immersion in a VE on knee biomechanics
Number of participants	9	10	27	65	56	17	40
Participant characteristic	Stroke	Stroke	Asymptomatic	Asymptomatic	Stroke	Stroke	ACL injury
Display type	HMD	Panoramic TV	3D Glasses	CAVE	Video-capture (screen)	HMD	Projection system
VR Model	Kaiser XL50	N/A	CrystalEyes stereo glasses	N/A	PS EyeToy	N/A	N/A
Immersion determinant	Questionnaire	Questionnaire	Questionnaire	Questionnaire	Questionnaire & Comparative	Questionnaire	None
Immersion Q	Witmer & Singer	Modified Witmer & Singer	0-10 Scale	Basic Likert Scale	Witmer & Singer, Slater	Witmer & Singer	N/A
Immersive tier	Fully	Semi	Semi	Semi	Semi	Fully	Semi
Upper or lower limb	Upper	N/A	N/A	N/A	Upper	Upper	Lower
Inclusion/exclusion	Shoulder pain, brainstem/cerebellar stroke, or other neurological conditions affecting arm/trunk	Unilateral neglect syndrome, ataxia, comprehension deficits, and severe visual problems excluded	History of neurological disorders, ADD, or injuries affecting balance excluded	None	None	None	Grade three injury of collateral ligaments, swelling or varus malalignment of knee
Positive relationship?	No	Yes	Yes & No	No	Yes	Yes	Yes

Studies selected for RQ2.

	Parry et al. (2015)	Bryanton et al. (2006)	Rand et al. (2008)	Thomton et al. (2005)	Subramanian et al. (2007)	Sharar et al. (2007)
Objective	To compare compliance in patients receiving two types of rehabilitation systems	To compare virtual reality with conventional exercises in terms of enjoyment and compliance	To investigate the potential of using a low-cost video-capture VR platform for rehabilitation	To explore benefits of exercise participation perceived by participants and their caregivers	To confirm the effectiveness of training in a VE compared to PE regarding enjoyment	To assess the efficacy of IVR patient factors associated analgesia
Number of participants	17	16	56	27	12	146
Participant characteristic	Severe burn	Cerebral palsy	Stroke	Traumatic brain injury	Stroke	Severe burn
Display type	Video-capture	Computer	Video-capture (screen)	Computer	HMD/CAVE	HMD
VR model	PS EyeToy	N/A	PS EyeToy	N/A	Kaiser XL 50	nVisor SX
Length of study	6 months	90 min	40 min	3 months	2 Weeks	7 days
Interventions	Baseline, 3 weeks, 3 months, 6 months	N/A	N/A	Baseline, three times per week for 6 weeks, 3 month follow-up	5 days per week	Unknown
Dropout rate	6 dropouts	N/A	N/A	Unknown	Unknown	Unknown
Upper or lower limb	Upper	Lower	Upper	N/A	Upper	N/A
Inclusion/exclusion	Preexisting neurological deficits, upper limb amputations, inability to abstain follow-up excluded	None	None	Vestibular, vertigo, or orthopedic problems that severely limited mobility excluded	Shoulder pain, brainstem or cerebellum stroke, or orthopedic conditions affecting arm/trunk excluded	None
Positive relationship?	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

Studies selected for RQ3.

	Ebrahimi et al. (2016)	Magdalon et al. (2011)	Deutsch et al. (2008)	Ramírez-Fernández et al. (2015)	Levin et al. (2015)	Cameirão et al. (2012)
Objective	To characterize the human reach motion in the presence of visuo-haptic feedback	To compare kinematics of reaching and grasping movements performed in an immersive VE with haptic feedback	To test the contributions of visual stimuli and haptic effects to users gait on a walking simulator	To exhibit that haptic feedback in upper limb motor therapy improves performance and generates a lower mental workload	To characterize reaching and grasping parameters with and without haptic feedback	To compare the impact of VR-based training with three different types of interface systems
Number of participants	63	10	11	30	12	44
Participant characteristic	Asymptomatic	Asymptomatic	Asymptomatic	Hand motor impairments	Stroke	Stroke
Display type	HMD	HMD	Projector	Computer	HMD	Computer
VR model	nVisor SX111	Kaiser XL50	N/A	N/A	Kaiser XL 50	N/A
Haptic device	Stylus	Cyberglove	Rutgers Mega-Ankle	Novint Falcon	Cyberglove	Force-feedback handles
Upper or lower limb	Upper	Upper	Lower	Upper	Upper	Upper
Inclusion/exclusion	None	Visual or perceptual problems, movement impairments that would interfere with reaching/grasping excluded	Weighing over 150 lbs and taller than 5'7", musculoskeletal pathology excluded	None	Hemispatial neglect, visual field deficits, apraxia, shoulder pain, other neurological conditions excluded	Severe to moderate aphasia and other cognitive and visual deficits excluded
Positive relationship?	Yes	No	No	Yes	No	Yes

BARTHEL INDEX: VALUTAZIONE DELLA DISABILITA'Paziente: G. B. Età: 23 Data ing. 28/05/2018Diagnosi: Emic. e L. TCE Data dim. 8/06/2018

ATTIVITA'	Punteggio Ing.	Punteggio Dim.
Alimentazione 0= incapace 5= necessita di assistenza, ad es. per tagliare il cibo 10= indipendente	10	10
Fare il bagno 0= dipendente 5= indipendente	5	5
Igiene personale 0= necessita di aiuto 5= Si lava la faccia, si pettina, si lava i denti, si rade (inserisce la spina se usa il rasoio)	5	5
Vestirsi 0= dipendente 5= necessita di aiuto ma compie almeno metà del compito in tempo ragionevole 10= indipendente, si lega le scarpe, usa le cerniere lampo, bottoni	10	10
Controllo del retto 0= incontinente 5= occasionali incidenti o necessità di aiuto 10= continente	10	10
Controllo della vescica 0= incontinente 5= occasionali incidenti o necessità di aiuto 10= continente	10	10
Trasferimenti nel bagno 0= dipendente 5= necessita di qualche aiuto per l'equilibrio, vestirsi/svestirsi o usare carta igienica 10= indipendente con l'uso del bagno o della padella	10	10
Trasferimenti sedia/letto 0= incapace, no equilibrio da seduto 5= in grado di sedersi, ma necessita della max assistenza per trasferirsi 10= minima assistenza e supervisione 15= indipendente	15	15
Deambulazione 0= immobile 5= indipendente con la carrozzina per > 45 m 10= necessita di aiuto di una persona per > 45 m 15= indipendente per più di 45 m, può usare ausili (es. bastone) ad eccezione del girello	10	10
Salire le scale 0= incapace 5= necessita di aiuto o supervisione 10= indipendente, può usare ausili	5	5
TOTALE (0 - 100)	80	80

FRENCHAY ARM TEST FORM *Inizio*

1- Tenere fermo un righello mentre si traccia una linea	1	
2- Afferrare un cilindro (12mm x 5cm) posto a 15cm dal bordo del tavolo	1	
3- Afferrare un bicchiere pieno a metà di acqua, posto a 15-30cm dal bordo del tavolo, bere e poggiare di nuovo senza versare il liquido	1	
4- Posizionare e rimuovere una molletta per i panni da un supporto lungo 15cm, spesso 1cm, provvisto di base larga 10cm, posto a 15-30cm dal bordo del tavolo		0
5- Pettinarsi i capelli	1	

Punteggio: 1 = esegue l'azione

0 = non esegue

FRENCHAY ARM TEST FORM *FINE*

1- Tenere fermo un righello mentre si traccia una linea	1	
2- Afferrare un cilindro (12mm x 5cm) posto a 15cm dal bordo del tavolo	1	
3- Afferrare un bicchiere pieno a metà di acqua, posto a 15-30cm dal bordo del tavolo, bere e poggiare di nuovo senza versare il liquido	1	
4- Posizionare e rimuovere una molletta per i panni da un supporto lungo 15cm, spesso 1cm, provvisto di base larga 10cm, posto a 15-30cm dal bordo del tavolo	1	
5- Pettinarsi i capelli	1	

Punteggio: 1 = esegue l'azione

0 = non esegue

Motricity Index | 11/310

		Punteggio					
Arto superiore destro	Presa a pinza	0	11	19	22	26	33
	Flessione gomito	0	9	14	19	25	33
	Abduzione spalla	0	9	14	19	25	33
Punteggio totale arto superiore Dx:		/100					
		Punteggio					
Arto superiore sinistro	Presa a pinza	0	11	19	22	26	33
	Flessione gomito	0	9	14	19	25	33
	Abduzione spalla	0	9	14	19	25	33
Punteggio totale arto superiore Sx:		/100					
		Punteggio					
Arto inferiore destro	Dorsiflessione caviglia	0	9	14	19	25	33
	Estensione ginocchio	0	9	14	19	25	33
	Flessione anca	0	9	14	19	25	33
Punteggio totale arto inferiore Dx:		/100					
		Punteggio					
Arto inferiore sinistro	Dorsiflessione caviglia	0	9	14	19	25	33
	Estensione ginocchio	0	9	14	19	25	33
	Flessione anca	0	9	14	19	25	33
Punteggio totale arto inferiore Sx:		/100					

Modalità di attribuzione del punteggio

Presa a pinza:

- 0 nessun movimento,
- 11 inizio di prensione, qualche movimento di pollice o indice
- 19 presa possibile ma non contro gravità
- 22 presa possibile contro gravità ma non contro resistenza
- 26 presa possibile contro resistenza ma più debole della controlaterale,
- 33 presa normale.

Tutti gli altri items:

- 0 nessun movimento,
- 9 contrazione palpabile del muscolo ma senza movimento apprezzabile
- 14 movimento visibile ma non per l'intero range articolare o contro gravità
- 19 movimento possibile per l'intero range articolare contro gravità ma non contro resistenza
- 25 movimento possibile contro resistenza ma più debole del controlaterale
- 33 movimento eseguito con forza normale.

Istruzioni per l'uso di Motricity Index

Sono testati sei movimenti degli arti. Il paziente è seduto su una sedia o sul bordo del letto.

Se necessario, può essere testato anche da sdraiato.

Presa. Viene chiesto al paziente di afferrare un cubo di 2.5 cm di lato tra il pollice e l'indice. L'oggetto deve essere posto su una superficie piana. Controllare i muscoli dell'avambraccio ed i piccoli muscoli della mano. 19 = l'oggetto cade quando viene sollevato (l'esaminatore potrebbe dover sostenere il peso). 22 = l'oggetto può essere sollevato, ma può essere rimosso con facilità.

Flessione gomito. Gomito flesso a 90°, avambraccio orizzontale e braccio verticale. Viene chiesto al paziente di piegare il gomito in modo che la mano tocchi la spalla. L'esaminatore oppone resistenza con la mano sul polso. Monitorare il bicipite. 14 = non è visibile alcun movimento, ma il gomito resta flesso a 90°.

Abduzione spalla. A gomito completamente flesso e contro il petto, viene chiesto al paziente di abduire il braccio. Monitorare il deltoide. Il movimento del cingolo scapolare non è da considerare, si deve evidenziare il movimento dell'omero rispetto alla scapola. 19 = abduce più di 90°, oltre l'orizzontale.

Dorsiflessione caviglia. Piedi rilassati in posizione di flessione plantare, viene richiesta la dorsiflessione del piede. Monitorare il tibiale anteriore.

14 = meno dell'intero range articolare della dorsiflessione.

Estensione ginocchio. Piedi non appoggiati, ginocchi a 90°, viene richiesta la completa estensione del ginocchio. Monitorare il quadricipite.

14 = meno dell'estensione completa. 19 = ginocchio esteso completamente, ma può essere spinto giù facilmente.

Flessione anca. Paziente seduto con anche flesse a 90°, viene chiesto di sollevare il ginocchio verso il mento. Verificare i movimenti trucco associati di propulsione indietro del tronco, ponendo una mano sulla schiena del paziente e chiedendogli di non inclinarsi indietro. Monitorare l'ileopecteo.

14 = meno del range completo della flessione (controllare il movimento passivo). 19 = flessione completa, ma può essere facilmente spinta giù.

Motricity Index *FINE*

		Punteggio					
Arto superiore destro	Pres a pinza	0	11	19	22	<i>26</i>	33
	Flessione gomito	0	9	14	19	<i>25</i>	33
	Abduzione spalla	0	9	14	<i>19</i>	25	33
Punteggio totale arto superiore Dx:		/100					
		Punteggio					
Arto superiore sinistro	Pres a pinza	0	11	19	22	26	<i>33</i>
	Flessione gomito	0	9	14	19	25	<i>33</i>
	Abduzione spalla	0	9	14	19	25	<i>33</i>
Punteggio totale arto superiore Sx:		/100					
		Punteggio					
Arto inferiore destro	Dorsiflessione caviglia	0	9	14	<i>19</i>	25	33
	Estensione ginocchio	0	9	14	19	25	<i>33</i>
	Flessione anca	0	9	14	19	25	<i>33</i>
Punteggio totale arto inferiore Dx:		/100					
		Punteggio					
Arto inferiore sinistro	Dorsiflessione caviglia	0	9	14	19	25	<i>33</i>
	Estensione ginocchio	0	9	14	19	25	<i>33</i>
	Flessione anca	0	9	14	19	25	<i>33</i>
Punteggio totale arto inferiore Sx:		/100					

Modalità di attribuzione del punteggio

Pres a pinza:

- 0 nessun movimento,
- 11 inizio di prensione, qualche movimento di pollice o indice
- 19 presa possibile ma non contro gravità
- 22 presa possibile contro gravità ma non contro resistenza
- 26 presa possibile contro resistenza ma più debole della controlaterale,
- 33 presa normale.

Tutti gli altri items:

- 0 nessun movimento,
- 9 contrazione palpabile del muscolo ma senza movimento apprezzabile
- 14 movimento visibile ma non per l'intero range articolare o contro gravità
- 19 movimento possibile per l'intero range articolare contro gravità ma non contro resistenza
- 25 movimento possibile contro resistenza ma più debole della controlaterale
- 33 movimento eseguito con forza normale.

Istruzioni per l'uso di Motricity Index

Sono testati sei movimenti degli arti. Il paziente è seduto su una sedia o sul bordo del letto.

Se necessario, può essere testato anche da sdraiato.

Pres a. Viene chiesto al paziente di afferrare un cubo di 2.5 cm di lato tra il pollice e l'indice. L'oggetto deve essere posto su una superficie piana.

Controllare i muscoli dell'avambraccio ed i piccoli muscoli della mano. 19 = l'oggetto cade quando viene sollevato (l'esaminatore potrebbe dover sostenere il polso). 22 = l'oggetto può essere sollevato, ma può essere rimosso con facilità.

Flessione gomito. Gomito flesso a 90°, avambraccio orizzontale e braccio verticale. Viene chiesto al paziente di piegare il gomito in modo che la mano tocchi la spalla. L'esaminatore oppone resistenza con la mano sul polso. Monitorare il bicipite. 14 = non è visibile alcun movimento, ma il gomito resta flesso a 90°.

Abduzione spalla. A gomito completamente flesso e contro il petto, viene chiesto al paziente di abduire il braccio. Monitorare il deltoide. Il movimento del cingolo scapolare non è da considerare, si deve evidenziare il movimento dell'omero rispetto alla scapola. 19 = abduce più di 90°, oltre l'orizzontale.

Dorsiflessione caviglia. Piedi rilassati in posizione di flessione plantare, viene richiesta la dorsiflessione del piede. Monitorare il tibiale anteriore.

14 = meno dell'intero range articolare della dorsiflessione.

Estensione ginocchio. Piedi non appoggiati, ginocchi a 90°, viene richiesta la completa estensione del ginocchio. Monitorare il quadricipite.

14 = meno dell'estensione completa. 19 = ginocchio esteso completamente, ma può essere spinto giù facilmente.

Flessione anca. Paziente seduto con anche flesse a 90°, viene chiesto di sollevare il ginocchio verso il mento. Verificare i movimenti trucco associati di propulsione indietro del tronco, ponendo una mano sulla schiena del paziente e chiedendogli di non inclinarsi indietro. Monitorare l'ileopecteo.

14 = meno del range completo della flessione (controllare il movimento passivo). 19 = flessione completa, ma può essere facilmente spinta giù.

Rehabilitation Medicine, University of Gothenburg

FUGL-MEYER ASSESSMENT
UPPER EXTREMITY (FMA-UE)
Assessment of sensorimotor function

ID:
Date: 28/05/18
Examiner:

Fugl-Meyer AR, Jaasko L, Leyman I, Olsson S, Sieglind S: The post-stroke hemiplegic patient. A method for evaluation of physical performance. *Scand J Rehabil Med* 1975, 7:13-31.

A. UPPER EXTREMITY, sitting position					
I. Reflex activity		none	can be elicited		
Flexors: biceps and finger flexors		0	2		
Extensors: triceps		0	2		
Subtotal I (max 4)		4			
II. Volitional movement within synergies, without gravitational help					
		none	partial	full	
Flexor synergy: Hand from contralateral knee to ipsilateral ear. From extensor synergy (shoulder adduction/ internal rotation, elbow extension, forearm pronation) to flexor synergy (shoulder abduction/ external rotation, elbow flexion, forearm supination). Extensor synergy: Hand from ipsilateral ear to the contralateral knee	Shoulder	refraction	0	1	2
		elevation	0	1	2
		abduction (90°)	0	1	2
		external rotation	0	1	2
	Elbow	flexion	0	1	2
	Forearm	supination	0	1	2
	Shoulder	adduction/internal rotation	0	1	2
	Elbow	extension	0	1	2
	Forearm	pronation	0	1	2
	Subtotal II (max 18)		13		
III. Volitional movement mixing synergies, without compensation					
		none	partial	full	
Hand to lumbar spine	cannot be performed, hand in front of SIAS hand behind of SIAS (without compensation) hand to lumbar spine (without compensation)	0	1	2	
Shoulder flexion 0°-90° elbow at 0° pronation-supination 0°	immediate abduction or elbow flexion abduction or elbow flexion during movement complete flexion 90°, maintains 0° in elbow	0	1	2	
Pronation-supination elbow at 90° shoulder at 0°	no pronation/supination, starting position impossible limited pronation/supination, maintains position complete pronation/supination, maintains position	0	1	2	
Subtotal III (max 6)		5			
IV. Volitional movement with little or no synergy					
		none	partial	full	
Shoulder abduction 0 - 90° elbow at 0° forearm pronated	immediate supination or elbow flexion supination or elbow flexion during movement abduction 90°, maintains extension and pronation	0	1	2	
Shoulder flexion 90°- 180° elbow at 0° pronation-supination 0°	immediate abduction or elbow flexion abduction or elbow flexion during movement complete flexion, maintains 0° in elbow	0	1	2	
Pronation/supination elbow at 0° shoulder at 30°-90° flexion	no pronation/supination, starting position impossible limited pronation/supination, maintains extension full pronation/supination, maintains elbow extension	0	1	2	
Subtotal IV (max 6)		3			
V. Normal reflex activity evaluated only if full score of 6 points achieved on part IV					
biceps, triceps, finger flexors	0 points on part IV or 2 of 3 reflexes markedly hyperactive 1 reflex markedly hyperactive or at least 2 reflexes lively maximum of 1 reflex lively, none hyperactive	0	1	2	
Subtotal V (max 2)		0			
Total A (max 36)		25			

Approved by Fugl-Meyer AR 2010

I

05-LUG-2018 12:52

P.007/011

28105118

Rehabilitation Medicine, University of Gothenburg

B. WRIST support may be provided at the elbow to take or hold the position, no support at wrist, check the passive range of motion prior testing		none	partial	full
Stability at 15° dorsiflexion elbow at 90°, forearm pronated shoulder at 0°	less than 15° active dorsiflexion dorsiflexion 15°, no resistance is taken maintains position against resistance	0	1	2
Repeated dorsiflexion / volar flexion elbow at 90°, forearm pronated shoulder at 0°, slight finger flexion	cannot perform volitionally limited active range of motion full active range of motion, smoothly	0	1	2
Stability at 15° dorsiflexion elbow at 0°, forearm pronated slight shoulder flexion/abduction	less than 15° active dorsiflexion dorsiflexion 15°, no resistance is taken maintains position against resistance	0	1	2
Repeated dorsiflexion / volar flexion elbow at 0°, forearm pronated slight shoulder flexion/abduction	cannot perform volitionally limited active range of motion full active range of motion, smoothly	0	1	2
Circumduction	cannot perform volitionally jerky movement or incomplete complete and smooth circumduction	0	1	2
Total B (max 10)		8		

C. HAND support may be provided at the elbow to keep 90° flexion, no support at the wrist, compare with unaffected hand, the objects are interposed, active grasp		none	partial	full
Mass flexion from full active or passive extension		0	1	2
Mass extension from full active or passive flexion		0	1	2
GRASP				
A – flexion in PIP and DIP (digits II-V) extension in MCP II-V	cannot be performed can hold position but weak maintains position against resistance	0	1	2
B – thumb adduction 1-st CMC, MCP, IP at 0°, scrap of paper between thumb and 2-nd MCP joint	cannot be performed can hold paper but not against tug can hold paper against a tug	0	1	2
C – opposition pulpa of the thumb against the pulpa of 2-nd finger, pencil, tug upward	cannot be performed can hold pencil but not against tug can hold pencil against a tug	0	1	2
D – cylinder grip cylinder shaped object (small can) tug upward, opposition in digits I and II	cannot be performed can hold cylinder but not against tug can hold cylinder against a tug	0	1	2
E – spherical grip fingers in abduction/flexion, thumb opposed, tennis ball	cannot be performed can hold ball but not against tug can hold ball against a tug	0	1	2
Total C (max 14)		13		

D. COORDINATION/SPEED after one trial with both arms, blind-folded, tip of the index finger from knee to nose, 5 times as fast as possible		marked	slight	none
Tremor		0	1	2
Dysmetria	pronounced or unsystematic slight and systematic no dysmetria	0	1	2
Time	more than 5 seconds slower than unaffected side 2-5 seconds slower than unaffected side maximum difference of 1 second between sides	0	1	2
Total D (max 6)		5		

TOTAL A-D (max 66)		57		
---------------------------	--	----	--	--

Approved by Fugl-Meyer AR 2010

2

28/05/18

Rehabilitation Medicine, University of Gothenburg

H. SENSATION, upper extremity blind-folded, compared with unaffected side		anesthesia	hypoesthesia dysesthesia	normal
Light touch	upper arm, forearm palmar surface of the hand	0	1	2
		0	1	2
		absence less than 3/4 correct	3/4 correct considerable difference	correct 100% little or no difference
Position small alterations in the position	shoulder	0	1	2
	elbow	0	1	2
	wrist	0	1	2
	thumb (IP-joint)	0	1	2
Total H (max12)				12

J. PASSIVE JOINT MOTION, upper extremity				J. JOINT PAIN during passive motion, upper extremity		
Sitting position, compare with unaffected side	only few degrees (less than 10° in shoulder)	decreased	normal	pronounced constant pain during or at the end of movement	some pain	no pain
Shoulder						
Flexion (0° - 180°)	0	1	2	0	1	2
Abduction (0°-90°)	0	1	2	0	1	2
External rotation	0	1	2	0	1	2
Internal rotation	0	1	2	0	1	2
Elbow						
Flexion	0	1	2	0	1	2
Extension	0	1	2	0	1	2
Forearm						
Pronation	0	1	2	0	1	2
Supination	0	1	2	0	1	2
Wrist						
Flexion	0	1	2	0	1	2
Extension	0	1	2	0	1	2
Fingers						
Flexion	0	1	2	0	1	2
Extension	0	1	2	0	1	2
Total (max 24)				Total (max 24)		
13				20		

A. UPPER EXTREMITY	25 /36
B. WRIST	8 /10
C. HAND	13 /14
D. COORDINATION / SPEED	5 /6
TOTAL A-D (motor function)	51 /66

H. SENSATION	12 /12
J. PASSIVE JOINT MOTION	13 /24
J. JOINT PAIN	20 /24

Rehabilitation Medicine, University of Gothenburg

FUGL-MEYER ASSESSMENT
UPPER EXTREMITY (FMA-UE)
Assessment of sensorimotor function

ID:
Date: 8/06/18
Examiner:

Fugl-Meyer AR, Jaasko L, Leyman I, Olsson S, Steglind S: The post-stroke hemiplegic patient. A method for evaluation of physical performance. *Scand J Rehabil Med* 1975; 7:13-31.

A. UPPER EXTREMITY, sitting position			
I. Reflex activity		none	can be elicited
Flexors: biceps and finger flexors		0	2
Extensors: triceps		0	2
Subtotal I (max 4)		4	
II. Volitional movement within synergies, without gravitational help		none	partial full
Flexor synergy: Hand from contralateral knee to ipsilateral ear. From extensor synergy (shoulder adduction/ internal rotation, elbow extension, forearm pronation) to flexor synergy (shoulder abduction/ external rotation, elbow flexion, forearm supination). Extensor synergy: Hand from ipsilateral ear to the contralateral knee	Shoulder retraction	0	1 2
	Shoulder elevation	0	1 2
	Shoulder abduction (90°)	0	1 2
	Shoulder external rotation	0	1 2
	Elbow flexion	0	1 2
	Forearm supination	0	1 2
	Shoulder adduction/internal rotation	0	1 2
	Elbow extension	0	1 2
Forearm pronation	0	1 2	
Subtotal II (max 18)		14	
III. Volitional movement mixing synergies, without compensation		none	partial full
Hand to lumbar spine	cannot be performed, hand in front of SIAS hand behind of SIAS (without compensation) hand to lumbar spine (without compensation)	0	1 2
Shoulder flexion 0°-90° elbow at 0° pronation-supination 0°	immediate abduction or elbow flexion abduction or elbow flexion during movement complete flexion 90°, maintains 0° in elbow	0	1 2
Pronation-supination elbow at 90° shoulder at 0°	no pronation/supination, starting position impossible limited pronation/supination, maintains position complete pronation/supination, maintains position	0	1 2
Subtotal III (max 6)		5	
IV. Volitional movement with little or no synergy		none	partial full
Shoulder abduction 0° - 90° elbow at 0° forearm pronated	immediate supination or elbow flexion supination or elbow flexion during movement abduction 90°, maintains extension and pronation	0	1 2
Shoulder flexion 90° - 180° elbow at 0° pronation-supination 0°	immediate abduction or elbow flexion abduction or elbow flexion during movement complete flexion, maintains 0° in elbow	0	1 2
Pronation/supination elbow at 0° shoulder at 30°-90° flexion	no pronation/supination, starting position impossible limited pronation/supination, maintains extension full pronation/supination, maintains elbow extension	0	1 2
Subtotal IV (max 6)		3	
V. Normal reflex activity evaluated only if full score of 6 points achieved on part IV			
biceps, triceps, finger flexors	0 points on part IV or 2 of 3 reflexes markedly hyperactive 1 reflex markedly hyperactive or at least 2 reflexes lively maximum of 1 reflex lively, none hyperactive	0	1 2
Subtotal V (max 2)			
Total A (max 36)		26	

Approved by Fugl-Meyer AR 2010

1

8106/18

Rehabilitation Medicine, University of Gothenburg

B. WRIST support may be provided at the elbow to take or hold the position, no support at wrist, check the passive range of motion prior testing		none	partial	full
Stability at 15° dorsiflexion elbow at 90°, forearm pronated shoulder at 0°	less than 15° active dorsiflexion dorsiflexion 15°, no resistance is taken maintains position against resistance	0	1	2
Repeated dorsiflexion / volar flexion elbow at 90°, forearm pronated shoulder at 0°, slight finger flexion	cannot perform volitionally limited active range of motion full active range of motion, smoothly	0	1	2
Stability at 15° dorsiflexion elbow at 0°, forearm pronated slight shoulder flexion/abduction	less than 15° active dorsiflexion dorsiflexion 15°, no resistance is taken maintains position against resistance	0	1	2
Repeated dorsiflexion / volar flexion elbow at 0°, forearm pronated slight shoulder flexion/abduction	cannot perform volitionally limited active range of motion full active range of motion, smoothly	0	1	2
Circumduction	cannot perform volitionally jerky movement or incomplete complete and smooth circumduction	0	1	2
Total B (max 10)		8		

C. HAND support may be provided at the elbow to keep 90° flexion, no support at the wrist, compare with unaffected hand, the objects are interposed, active grasp		none	partial	full
Mass flexion from full active or passive extension		0	1	2
Mass extension from full active or passive flexion		0	1	2
GRASP				
A – flexion in PIP and DIP (digits II-V) extension in MCP II-V	cannot be performed can hold position but weak maintains position against resistance	0	1	2
B – thumb adduction 1-st CMC, MCP, IP at 0°, scrap of paper between thumb and 2-nd MCP joint	cannot be performed can hold paper but not against tug can hold paper against a tug	0	1	2
C – opposition pulpa of the thumb against the pulpa of 2-nd finger, pencil, tug upward	cannot be performed can hold pencil but not against tug can hold pencil against a tug	0	1	2
D – cylinder grip cylinder shaped object (small can) tug upward, opposition in digits I and II	cannot be performed can hold cylinder but not against tug can hold cylinder against a tug	0	1	2
E – spherical grip fingers in abduction/flexion, thumb opposed, tennis ball	cannot be performed can hold ball but not against tug can hold ball against a tug	0	1	2
Total C (max 14)		14		

D. COORDINATION/SPEED after one trial with both arms, blind-folded, tip of the index finger from knee to nose, 5 times as fast as possible		marked	slight	none
Tremor		0	1	2
Dysmetria	pronounced or unsystematic slight and systematic no dysmetria	0	1	2
		> 5s	2 - 5s	< 1s
Time	more than 5 seconds slower than unaffected side 2-5 seconds slower than unaffected side maximum difference of 1 second between sides	0	1	2
Total D (max 6)		5		

TOTAL A-D (max 66)	53
---------------------------	----

05-LUG-2018 12:52

P.011/011

8/06/18

Rehabilitation Medicine, University of Gothenburg

H. SENSATION, upper extremity blind-folded, compared with unaffected side		anesthesia	hypoesthesia dysesthesia	normal
Light touch	upper arm, forearm palmar surface of the hand	0 0	1 1	2 2
		absence less than 3/4 correct	3/4 correct considerable difference	correct 100% little or no difference
Position small alterations in the position	shoulder elbow wrist thumb (IP-joint)	0 0 0 0	1 1 1 1	2 2 2 2
Total H (max12)				12

J. PASSIVE JOINT MOTION, upper extremity				J. JOINT PAIN during passive motion, upper extremity		
Sitting position, compare with unaffected side	only few degrees (less than 10° in shoulder)	decreased	normal	pronounced constant pain during or at the end of movement	some pain	no pain
Shoulder						
Flexion (0° - 180°)	0	1	2	0	1	2
Abduction (0°-90°)	0	1	2	0	1	2
External rotation	0	1	2	0	1	2
Internal rotation	0	1	2	0	1	2
Elbow						
Flexion	0	1	2	0	1	2
Extension	0	1	2	0	1	2
Forearm						
Pronation	0	1	2	0	1	2
Supination	0	1	2	0	1	2
Wrist						
Flexion	0	1	2	0	1	2
Extension	0	1	2	0	1	2
Fingers						
Flexion	0	1	2	0	1	2
Extension	0	1	2	0	1	2
Total (max 24)				Total (max 24)		
18				21		

A. UPPER EXTREMITY	26 /36
B. WRIST	8 /10
C. HAND	14 /14
D. COORDINATION / SPEED	5 /6
TOTAL A-D (motor function)	53 /66

H. SENSATION	12 /12
J. PASSIVE JOINT MOTION	18 /24
J. JOINT PAIN	21 /24

Approved by Fugl-Meyer AR 2010

3

TOTALE P.011