



POLITECNICO DI MILANO
FACOLTÀ DEL DESIGN

TrackSim: UN SIMULATORE DI INTERVENTI CHIRURGICI PER TRAUMI OCULARI E CRANIOFACCIALI

Anno Accademico 2011-2012

Corso di Laurea Magistrale : Design & Engineering

Elaborato di laurea di : Stefano Iorino - 750226

Relatore: Maria Rita Canina

Correlatore: Gianluca De Novi

In associazione con :

THE
SIM | Group



MASSACHUSETTS
GENERAL HOSPITAL



HARVARD
MEDICAL SCHOOL

Indice

1) IL SIMULATION GROUP E IL PROGETTO DI RICERCA	7
1.1_SimGroup	8
1.2.Abstract del progetto di ricerca	9
1.3_Introduzione e Background clinico	11
1.4_Metodi di sviluppo	12
2) LA SIMULAZIONE NELL'ADDESTRAMENTO CHIRURGICO	19
2.1_Introduzione	20
2.2_Perchè la simulazione?	21
2.3_Problemi educativi ed implicazioni pratiche	23
2.4_Cosa è richiesto per la progettazione di un simulatore?	26
2.5_Tipologie di simulatori?	26
2.6_Quando un simulatore può considerarsi pronto per l'uso?	35
2.7_Il ruolo dei medici: parola all'esperto	35
3) LA SIMULAZIONE PER LA CURA DI TRAUMI DA COMBATTIMENTO	39
3.1_Introduzione	40
3.2_L'apprendimento delle procedure di intervento	40
3.3_Simulatori usati per la formazione di medici da campo	41
4) LE TIPOLOGIE DI INTERVENTO	55
4.1_Introduzione	56
4.2_Traumi oculari	57
4.3_Critotiroidotomia	71

5) OVERVIEW DEL SIMULATORE : HARDWARE E SOFTWARE	77
5.1_ Introduzione	80
5.2_ Sistema di tracciamento	80
5.3_ Struttura e realizzazione anatomica del manichino	82
5.4_ Strumenti chirurgici	84
5.5_ Schede elettroniche	86
5.6_ Hardware per la realtà aumentata	89
5.7_ Contenuti e architettura di apprendimento	90
5.8_ Acquisizione dati e Software	95
5.9_ Trials per l'acquisizione dati	97
6) PROGETTAZIONE E PROTOTIPI	19
6.1_ Stand	102
6.2_ Gestione dei cavi	117
6.3_ Microscopio a realtà aumentata	145
7) SVILUPPO PRODOTTO	157
7.1_ Brief	158
7.2_ Punti di intervento	160
7.3_ Sviluppo prodotto	168
BIBLIOGRAFIA	186

Abstract

It

Traumi craniofacciali e lesioni oculari sono stati un quarto di tutte le lesioni subite su campi di battaglia durante gli interventi militari. Mentre miglioramenti sui sistemi di protezione del corpo hanno portato alla riduzione di infortuni al tronco e agli arti, la faccia e la testa rimangono relativamente vulnerabili. I sistemi di training chirurgico allo stato attuale sono molto buoni, tuttavia le opportunità per la cura di traumi facciali e testa sono limitati a causa di una mancanza di simulatori realistici per l'addestramento per questa particolare area del corpo. Per gli oftalmologi militari, competenze nella gestione di traumi critici come la sutura microchirurgica non sono più regolarmente effettuate negli ospedali statunitensi. Questa tesi si occupa di analizzare i requisiti necessari al fine di realizzare un simulatore per interventi chirurgici derivati da traumi oculari e craniofacciali. Il percorso progettuale sfrutta prototipi e la collaborazione con chirurghi per arrivare ad una soluzione finale di un simulatore completo, nelle funzioni, nella struttura e nella modalità di realizzazione.

Abstract Eng

Eye trauma in combat-related injuries can be devastating. Body armor improvements increase survivability from many injuries, however the face remains relatively unprotected, especially from blast and fragments. The number of physicians with significant eye trauma expertise is limited due to lack of teaching opportunities and evolution of surgical techniques away from microsuturing. To provide a non-animal, non-cadaver training system, a hybrid physical/virtual eye trauma simulation system for surgical technique learning and evaluation is being developed. It includes a silicone/polymer head with replaceable eye trauma modules with realistic anatomy. Position/orientation and grasp force/position of surgical instruments are measured, and real time scoring and feedback methods are under development. These elements are integrated with teaching materials presented on-screen and during training scenarios via augmented reality projection.

IL SIMULATION GROUP E IL PROGETTO DI RICERCA

SimGroup -

Abstract del progetto di ricerca -

Introduzione e Background clinico -

Metodi di sviluppo -

1.1 Simulation Group

Il lavoro di tesi è stato svolto all'interno del Simulation Group, un laboratorio di ricerca scientifica con sede a Boston presso il Massachusetts General Hospital. Il gruppo di ricerca si occupa di una vasta gamma di discipline coinvolte nella scoperta di fondamenti scientifici necessari per la simulazione medica, portandoli all'interno della medicina classica per migliorare l'educazione medica e aumentare la sicurezza dei pazienti. Il lavoro principale del laboratorio si concentra nello sviluppare ricerche che trasformeranno le modalità di apprendimento medico rispetto all'attuale, che è rimasto uguale a se stesso per secoli, usando una simulazione realistica, in tempo reale, e basata su computer. Inoltre si dedica all'esecuzione di ricerca di base che porterà a una nuova era dell'esercitazione medica permettendo a studenti, specializzandi ed esperti di praticare la medicina senza alcun rischio per i pazienti.

Partners

Lavorando nella sede presso il Massachusetts General Hospital vengono capitalizzati i forti legami con l'università di Harvard, in particolare la facoltà di Harvard Medical School ed il Massachusetts Institute of Technology, sfruttando

così il bacino di esperienza intellettuale di una delle principali istituzioni mediche del mondo e due delle facoltà più autorevoli al mondo. Inol-

tre nell'arco degli ultimi cinque anni sono state effettuate collaborazioni con i seguenti enti ed Università :

CIMIT

HARVARD BIROBOTICS LABORATORY

HARVARD MEDICINE

ASCENSION TECHNOLOGY SAWBONES

RODE ISLAND SCHOOL OF DESIGN

USHUS

TATRC

BOSTON MEDFLIGHT

STANFORD BIOCOMPUTATION CENTER

ETH ZURICH

1.2 Abstract

■ Background:

Traumi craniofacciali e lesioni oculari sono stati un quarto di tutte le lesioni subite su campi di battaglia durante gli interventi militari Operations Iraqi Freedom e Enduring Freedom tra il 2001 e il 2008 [1]. Mentre miglioramenti sui sistemi di protezione del corpo hanno portato alla riduzione di infortuni al tronco e agli arti, la faccia e la testa rimangono relativamente vulnerabili. I sistemi di training chirurgico allo stato attuale sono molto buoni, tuttavia le opportunità per la cura di traumi facciali e testa sono limitati a causa di una mancanza di simulatori realistici per l'addestramento per questa particolare area del corpo. Per gli oftalmologi militari, competenze nella gestione di traumi critici come la sutura microchirurgica non sono più regolarmente effettuate negli ospedali statunitensi. Di conseguenza, l'onere di sviluppare e mantenere queste competenze, essenziali per il trattamento di traumi è a carico dell'oftalmologo stesso.

■ Obiettivi ed ipotesi:

L'obiettivo che si prefissa il Simulation Group sarà quindi quello di occuparsi dei bisogni insoddisfatti nell'esercitazione di traumi facciali creando un prototipo di un sistema di training che simuli infortuni alla mandibola, mascella, alle vie respiratorie e ai tessuti dell'orbita

e quelli peri-orbitali. Il simulatore funzionerà come sistema di formazione procedurale e sarà inoltre progettato per l'integrazione con l'esistente sistema di simulazione per traumi COMETS e con altri simulatori basati su manichino, per scenari di traumi avanzati e multipli. L'ipotesi di ricerca si basa sul presupposto che un più realistico MOS-appropriato simulatore, migliori le capacità chirurgiche in medicina generale, mantenga un livello continuo di allenamento e permetta di raggiungere i desiderati livelli di standard di competenza.

■ Obiettivi specifici:

Lo scopo di questo programma è di creare un sistema di training per traumi da combattimento che consiste in una rappresentazione fisica sia di una testa normale che di una lesionata, comprendendo la struttura del collo, della mandibola, della regione mascellare, orbitale e peri orbitale e le lesioni associate alle vie respiratorie. L'esercizio delle competenze includerà la gestione di traumi ai tessuti molli orbitali e peri-orbitali e la gestione delle vie respiratorie in condizioni critiche di chirurgia generale. Verrà inoltre incorporato un metodo di valutazione più avanzata che fornirà un punteggio della competenza tecnica quando un esperto ed un principiante avranno convalidato il sistema. Dall'esperienza ricavata dallo sviluppo del sistema di simulazione COMETS, l'intento è quello di costruire un sistema che sia integrabile con i sistemi di simulazione

basti su manichino o che possa essere usato come sistema di simulazione a sé stante.

Tutto il lavoro verrà assistito nello sviluppo dal COL Robert Mazzoli, MD che collabora con il laboratorio sin dai precedenti progetti e Maria Troulis, MD,DDS, chirurgo del Massachusetts General Hospital.

■ Interesse:

Le lesioni agli occhi sono particolarmente devastanti, molti soldati che sono vittime di lesione da frammenti e da esplosioni rischiano di perdere la loro vista. Ad esempio il COL R. Mazzoli, nuovo direttore educativo al VISION CENTRE OF EXCELLENT e membro del team di sviluppo, ha sottolineato come i traumi oculari sono solitamente sottovalutati e le protezioni che si dovrebbero solitamente applicare agli occhi appena lesionati spesso non sono distribuiti nei kit medici di primo soccorso a tutti i soldati, con la risultante di una degradazione o perdita della vista. In più, i nuovi oftalmologi hanno sviluppato e mantenuto delle competenze di gestione e cura di traumi critici, come la sutura microchirurgica, grazie al loro personale impegno dato che queste tecniche non sono più costantemente insegnate nei programmi educativi di chirurgia nelle strutture nord-americane. Una maggiore attenzione riservata alle lesioni oculari e cranio-facciali durante le ore di addestramento potrebbe portare a netti miglioramenti della tecnica

di intervento, dalle fasi iniziali a quelle operative, al fine di avere una riparazione definitiva ed un alto livello di qualità. L'obiettivo del training medico, in questo progetto particolare, è quello di produrre soldati con sufficienti conoscenze mediche per il trattamento corretto di lesioni che raramente si vedono nella vita dei civili. Nella fase finale della progettazione, il sistema di simulazione dovrebbe integrare idealmente alcuni metodi di valutazione sulla prestazione chirurgica. Il prototipo sviluppato includerà le basi per future misure, così il tirocinante potrà essere portato al livello di competenze determinato dai tutor. Questa capacità da parte del simulatore di mostrare l'effettivo allenamento dell'utente aiuterà ad avere medici con capacità testate alla fine dei periodi di addestramento, e potrà fornire una tabella di marcia per gli esami di ri-certificazione. Anche il direttore del reparto di simulazione del Madigan Army Medical Center ha rimarcato che "al di fuori del teatro di combattimento la maggior parte dei medici non si prendono cura di pazienti con lesioni critiche o che sono esposti costantemente a traumi"[2].

1.3 Introduzione e Background Clinico

■ Origine lesioni ed esigenze del training:

Tra il 2001 e il 2008 negli interventi militari Operation Iraqi Freedom (OIF) e operation Enduring Freedom (OEF), traumi alla testa e al collo componevano il 27% di tutte le lesioni subite sul campo di battaglia. Il Vision Centre of Excellence, inoltre ha individuato che il 16% delle vittime dei combattimenti OIF e OEF avevano avuto danni agli occhi, il più alto tasso di infortuni dalla Guerre Civili statunitensi(3). Queste lesioni sono causate da esplosioni accidentali di dispositivi, armi da fuoco, incidenti di autoveicoli ed altre cause. Elmetti dalle tecnologie avanzate e migliorate protezioni per il corpo hanno ridotto i traumi al torso ma tuttavia la faccia rimane esposta. E' possibile che i nemici usino colpire preferibilmente queste zone invece di altre[4]. I traumi cranio-facciali si verificano anche in ambienti civili, per esempio cadute, incidenti automobilistici e infortuni sportivi. Le prime cure date a queste tipologie di lesioni sono solitamente effettuate dagli stessi compagni di battaglia del ferito, dai medici da campo (chiamati anche 68W). L'addestramento a cui prendono parte i 68W include la gestione delle vie respiratorie, controllo di emorragie, indirizzamento di traumi al collo, bruciate e specialmente bruciate che coinvolgono le vie respiratorie. Per imparare a diagnosticare e curare queste lesioni

è necessario che il materiale di addestramento, tra cui sistemi di training basati su manichini siano sufficientemente realistici per rappresentare in modo accurato lesioni che si possono incontrare in ambiente operatorio. Questi dovrebbero includere sanguinamento attivo, secrezioni (fluidi cerebrospinali, lacrimazione, salivazione), una realistica via respiratoria, fratture maxillo-facciali e danneggiamento di tessuti molli. Imparare a curare queste lesioni e a gestire i requisiti procedurali necessita che il training sia in grado di fornire feedback sulla corretta esecuzione di un compito. Attualmente l'addestramento di personale medico da campo specializzato ha una tempistica che include classi con più di 400 studenti per 16 settimane di corso per un totale di 7500 medici addestrati ogni anno. Questa tempistica ha portato al sovraccarico di lavoro per gli addestratori che devono seguire un preciso schema di addestramento, dal riconoscimento visuale della lesione alla performance di alcune procedure di intervento chirurgico.

■ Continuità con il lavoro precedente.

Il sistema di simulazione dovrà essere in grado di essere usato sia come struttura a se stante, che come modulo integrativo di altri simulatori, basati su manichini come ad esempio il prototipo esistente del COMETS. Il nuovo simulatore conterrà la testa e la regione del collo, con moduli replicabili della mandibola,

della mascella e della zona oculare. I componenti sostituibili simuleranno una varietà di lesioni dal tessuto sano a quello con ferite multiple. Il sistema sfrutterà le caratteristiche di autonomia e di risposta fisiologica già presente nel prototipo del COMETS. Inoltre verranno sfruttati elementi sviluppati nel laboratorio del Simulation Group in un precedente lavoro presso CIMIT che include un portatile di occhi lesionati, realistico e replicabile. Verranno apportati dei miglioramenti sul portale oculare e alla struttura della camera anteriore.

1.4 Metodi

Di seguito verranno descritte gli interventi che si vogliono eseguire al fine di realizzare il progetto, partendo dalle modifiche del lavoro precedentemente eseguito presso il laboratorio. Tutte le fasi di lavoro saranno integrate le une con le altre e la versione stand-alone verrà realizzata per prima, permettendo che il sistema venga testato dagli utenti verificando gli sviluppi hardware e software.

 Intervento 1 : Migliorare la fattibilità del simulatore stand-alone

● Miglioramenti sul sistema

Partendo dal feedback ricevuto dal COL Mazzoli e dal COL Gagliano, sono necessari parecchi aggiustamenti per la realizzazione del

simulatore stand-alone. Il modello dell'occhio deve essere implementato partendo dalla realizzazione della cornea trasparente, aggiungendo un'opportuna struttura dell'iride e creando una camera anteriore separata riempita di acqua che simuli l'umor vitreo. La creazione di un modello di cornea trasparente è una sfida dal punto di vista della manifattura. Il sostegno del portatile e le parti che compongono il teschio devono fissarsi in modo ottimale permettendo facili modifiche. Quando avvengono lacerazioni a livello della cornea-sclera spesso si verificano anche tagli alle palpebre, quindi la loro riparazione deve essere inclusa negli interventi simulabili dal sistema. Di conseguenza il modello delle palpebre deve essere riprogettato al fine di avere lo stesso tono, spessore e le sopracciglia. Anche se il sistema di tracciamento ha funzionato bene in passato, fissando i sensori alle dita dell'utente non si ha il livello di precisione richiesto per sapere l'esatto posizionamento della punta degli strumenti nello spazio. I sensori necessitano quindi di essere spostati direttamente sopra gli strumenti. Nuovi sensori, più piccoli e performanti sono ora disponibili. In più il sistema di tracciamento supporta altri due canali il che permetterà di usare ulteriori due strumenti. Una Graphic User Interface (GUI) deve essere creata per avere un sistema più intuitivo ed autosufficiente. I precedenti feedback hanno sottolineato la necessità di creare una sessione di debriefing dopo il training andando al di là della semplice valutazione grafica delle operazioni.

- **Miglioramenti tenendo conto della lista di requisiti scaturiti dai corsi di valutazione USUHS TriService:**

Verranno riorganizzati in base alle priorità i feedback ricevuti dai test di valutazione fatti sul sistema di simulazione stand-alone durante il corso di oftalmologia USUHS TriService. Dopo di che si implementerà il sistema con questi miglioramenti.

- **Condurre una seconda valutazione al USUHS o Madigan:**

Verrà fatto un secondo user-test al USUHS o al Madigan Army Medical Center a seconda della disponibilità degli oftalmologi.

- **Definire le specifiche finali da fornire ad un produttore commerciale:**

Dopo due user-test si finalizzeranno le specifiche e verranno passate ad un partner commerciale che realizzi il simulatore stand-alone.

- **Implementare il sistema con guide a realtà aumentata:**

Per una versione aggiornata del simulatore, verrà sviluppato un sistema di guida a realtà aumentata, per gli istruttori che vogliono fornire istruzioni visive sulle tecniche di sutura, potendo indicare l'appropriato ordine di sutura, posizione, profondità, tecniche dei nodi.

Il sistema in questo modo seguirà passo per passo l'utente alla realizzazione di un compito, avendo la possibilità di confrontare la stessa procedura eseguita da un esperto ricevendo un immediato feedback. L'aiuto fornito tramite realtà aumentata potrà essere maggiore o minore a seconda del livello di preparazione del tirocinante ed in base alla passata esperienza con questo simulatore.

- **Intervento 2: Struttura fisica della testa e del collo.**

La testa della piattaforma COMETS è stata creata tramite uno stampo esterno di una testa umana, e poi montata sopra ad un simulatore a manichino commerciale modificato. Mentre quello era funzionale, una soluzione ottimale sarebbe creare un simulatore partendo da normali scansioni CT, prese dal Massachusetts General Hospital Imaging Department che ha un grande database di campioni anonimi, quindi processate e importate su software CAD. Questi dati, assieme all'opinione degli esperti di traumi craniofacciali, permetteranno di progettare una nuova base strutturale che supporti i portali delle differenti parti anatomiche. Questa struttura di base indicherà quali regioni del collo e della testa devono essere conservati e quali servono come tasca/punti di montaggio per il moduli trauma. I moduli della mandibola e della faccia inferiore, sia nel caso di scenario in cui non vi siano lesioni che in quello in cui si presentino danneggiamenti saranno prodot-

ti usando materiali siliconici, precedentemente usati per creare braccia e gambe della piattaforma COMETS. Per realizzare le ossa saranno usate plastiche uretaniche dure, precedentemente usate per la gabbia toracica del COMETS. Verranno usate consolidate tecniche di modellazione, usando stampanti 3D per la creazione degli stampi minimizzando la necessità di intervento manuale sugli stampi per la maggior parte dei moduli. Come per la struttura della faccia, anche quella delle vie respiratorie sarà creata partendo da immagini 3D ed ottimizzata per far sì che si integri al meglio con il modulo della mandibola. Una combinazione di plastiche siliconiche ed uretaniche costituiranno la struttura della laringe e gli anelli della trachea.

Fig 1.1 | Lacerazione da truma oculare



Quest'ultimo potrà essere uno dei componenti realizzati direttamente tramite stampaggio 3D che permette la creazione di oggetti multi-materici, come se le varie parti fossero ottenute tramite colata e poi assemblate, processo molto più lungo e complesso.

Intervento 3: Rilevamenti e Azionamenti

Il simulatore si avvarrà di numerosi sistemi di rilevamento per individuare le azioni del tirocinante e per fornire dati al fine di determinare se le azioni compiute siano corrette o meno. Contemporaneamente un numero di attuatori saranno necessari per mostrare la reattività simulata del paziente e segnalare presenza di

Fig 1.2 | Lacerazione palpebra eseguita in silicone




lesioni o perdita di conoscenza. Sia il modulo dell'occhio sano che quello lesionato, verranno implementati con meccanismi per il movimento oculare usando piccoli servomotori ed attuatori pneumatici miniaturizzati. Il modulo con il globo danneggiato potrà essere realizzato e distribuito come modulo particolare, oppure usare dei meccanismi retro-orbitali per spingere il globo verso l'esterno, come guarnizioni gonfiabili, o attuatori servoassistiti al fine di avere un unico modulo. La connessione tra i moduli e la struttura portante del manichino dovrà includere cablaggi elettrici e tubi per i fluidi, sfruttando lo stesso approccio usato per la realizzazione delle connessioni tra braccia e gambe alla piattaforma COMETS.

Una buona gestione dei traumi oculari dovrebbe includere il posizionamento di uno scudo oculare, il cui rilevamento potrà essere effettuato tramite una combinazione di sensori di luminosità posizionati nel globo oculare o nella regione peri-orbitale del modulo e da sensori di forza o pressione. Il sistema COMETS si avvaleva di canali riempiti di liquidi che connessi a sensori di pressione, permettevano di rilevare la pressione diretta in una determinata regione. Un rilevamento più focalizzato si può ottenere implementando la struttura già esistente con sensori più piccoli a basso costo posizionabili direttamente sotto la pelle di silicone del modulo. Gli stessi sensori di pressione potranno essere sfruttati per il rilevare la pressione diret-

Fig 1.3 | Stato del manichino ad inizio progetto



ta applicata nei casi di emorragie simulate. La gestione delle vie respiratorie necessita del rilevamento del giusto posizionamento degli strumenti artificiali appropriati (pompa nasale, combitube, King LMA). Sensori di forza all'interno della struttura delle vie respiratorie rileveranno la loro posizione. In alternativa, si studieranno metodi alternativi per rilevare il flusso respiratorio. Lo scenario di traumi alla testa includerà la perdita di sangue o di liquidi cerebro-spinali dal naso e dalle orecchie. Questo sarà reso possibile grazie ad una riserva di fluidi combinata con piccole pompe e valvole.

 Intervento 4: Integrazione con sistemi di simulazione basati su manichino:

Nella fase finale del lavoro di progettazione e sviluppo, la piattaforma COMETS verrà modificata al fine di poter integrare il nuovo simulatore. Questo permetterà di avere nuovi e avanzati scenari di trauma su cui esercitarsi sia dal punto di vista delle lesioni che da quello della gestione di multi ferite e o danneggiamenti da trauma complessi. L'integrazione prevede la sostituzione dell'attuale testa e collo e la modifica del sistema di assemblaggio. Per quanto riguarda la versione stand-alone, dovrà essere progettato per avere la stessa interfaccia di assemblaggio, anche se ci aspettiamo che la struttura spinale del manichino debba essere modificata ed alcuni componenti sostituiti. Il sistema di simulazione oculare e craniofaciale

ospiterà anche degli addizionali moduli emorragici oltre a lacrimazione e salivazione. Il sistema dei fluidi del COMETS sarà modificato per supportare i nuovi percorsi dei fluidi così come i manichini commerciali. Mentre il simulatore oculare e craniofaciale sarà realizzato usando la stessa interfaccia hardware e software del COMETS, l'elettronica dovrà essere ridisegnata e modificata per aggiungere attuatori e sensori non originariamente inclusi.

COMETS

Il COMETS è un sistema autonomo capace di simulare un militare completamente equipaggiato da peso di circa 80 kg. Rende possibili simulazioni ultra realistiche di ferite da combattimento, tra le quali gestione delle vie aeree, controllo di emorragie, trauma toracico, scosse di rianimazione, gestione sul campo di ferite multiple traumi multipli. Diversamente ai sistemi in commercio è resistente all'acqua e il design rinforzato permette il training sotto condizione reali e permette il realizzarsi di un detto in voga nell'addestramento militare : " Allenati come si combatte e combatti come ti sei allenato". Il suo funzionamento autonomo, la semplicità di utilizzo, il maggiore realismo umano e la durata consentirà agli istruttori di insegnare in modo più efficiente, ad un livello più elevato di accuratezza, in qualsiasi condizione meteorologica. Questo simulatore ha ridefinito lo stato dell'arte dei simulatori per addestramento militare. Fig

Fig 2.2 I COMETS - Avanzato simulatore di incidenti da combattimento



LA SIMULAZIONE NELL' ADDESTRAMENTO CHIRURGICO

Introduzione -

Perchè la simulazione? -

Problemi educativi -

Cosa è richiesto per la progettazione di un simulatore? -

Tipologie di simulatori? -

Quando possiamo considerare un simulatore pronto per l'uso? -

Il ruolo dei medici: parola all'esperto -

2.1 Introduzione

Capacità manuali avanzate sono richieste ad un numero sempre crescente di professionisti che portano avanti procedure diagnostiche terapeutiche quali: endoscopie e radiologia interventistica. In campo medico le conoscenze vengono tramandate ai giovani da esperti professori di facoltà in grandi accademie mediche, facendo training su pazienti che danno consenso per il trattamento del proprio corpo a scopi scientifici o su pazienti privi di assicurazione sanitaria (USA). Il tradizionale metodo di insegnamento ha origine dagli antichi egizi, i giovani ragazzi erano istruiti dai "guaritori meccanici" quelli che ora chiameremmo chirurghi. Questi usi sono oramai comunemente accettati come passi necessari per l'apprendimento. I tradizionali metodi di insegnamento sono stati, solamente quello, tradizionali. Questo modello ha portato il chirurgo ad imparare esercitandosi direttamente, incontrando nel corso di molti anni un ampio spettro di condizioni cliniche costruendosi gradualmente le proprie abilità, necessarie per una pratica indipendente, unendo conoscenza teorica, giudizio clinico e capacità operative. Poiché i pazienti reali sono coinvolti in ogni fase di questo processo di apprendimento, il tirocinante deve essere assolutamente subordinato ai bisogni clinici del paziente. Imparare è un processo opportunistico che è insito nella pratica clinica.

C'è un interesse crescente sui processi di apprendimento, che dovrebbero essere chiari,

basarsi su misure obiettive delle capacità e su alternative di apprendimento rispetto a quelle incentrate su paziente umano, usate dove possibile. Certamente le capacità chirurgiche non sono solo necessarie per i chirurghi specialisti. Capacità molto meno complesse sono richieste da un'ampia quantità di studenti e di praticanti del settore medico. Questi possono includere studenti di medicina (prelevando il sangue, innestando linee intravenose, e chiudendo semplici tagli), praticanti generali (rimuovendo lembi di pelle e accumuli di grasso) ed infermieri (fornendo una serie di servizi ospedalieri e chirurgici). I chirurghi e molti dei sopra citati operatori sanitari, devono rimanere aggiornati sull'attuale stato dell'arte delle procedure e sui nuovi metodi interventistici anche dopo il periodo di studi. Da quando è stato introdotto il concetto di educazione medica continua (CME) i chirurghi si sono tenuti aggiornati frequentando lezioni o leggendo riviste specialistiche e rispondendo ai quiz CME. Per imparare nuove procedure si possono frequentare corsi specifici con addestramento su animale, dai quali si esce con un attestato di frequenza, questo viene fatto in maggior modo in chirurgia, radiologia, cardiologia e altre procedure specialistiche. Questi corsi di uno o due giorni su animali sono accettati come validi metodi di apprendimento per nuove e complesse procedure chirurgiche, anche grazie al fatto che esistono poco alternative. Come risultato, l'organizzazione dell'apprendimento di tecniche chirurgiche si è ridotto a dei semplici corsi di addestramento con simu-

lazione delle procedure su maiali coadiuvati da tutor esperti. Al fine di cercare di far progredire le tecniche di insegnamento in ambito interventistico, annualmente si tengono conferenze in cui esperti dei centri medici, progettisti dei test educativi, ingegneri, ed esperti di informatica si riuniscono per discutere su vie alternative ai tradizionali metodi di apprendimento, specialmente l'uso della simulazione medica.

2.2 Perché la simulazione?

L'ambiente medico ha ricevuto il quanto di sfida nel 2000 quando l'Institute of Medicine ha rilasciato un report⁵ in cui vengono presi in analisi gli errori medici all'interno del sistema sanitario statunitense, per stimolare un cambiamento. In accordo con il report, 44.000 americani muoiono ogni anno a causa di errori medici, vuol dire che la settima causa di morte in questa nazione è provocato dagli stessi medici. Come parte del piano di miglioramenti, gli autori suggeriscono alle organizzazioni mediche di incorporare una metodo affidabile di addestramento, come la simulazione. La frase chiave di questa analisi è proprio quella in cui si spinge la comunità scientifica a trovare metodi affidabili di formazione. In alcune discipline mediche, come l'anestesia, sono stati stabiliti dei percorsi di formazione con il fine di migliorare il lavoro in team e gestire momenti di crisi da parte del personale sanitario, il che ha dimostrato provati miglioramenti dopo l'addestramento tramite l'uso di simulatori. Tanto è vero che nello stato del

Massachusetts, gli anestesisti che si sono esercitati con simulatori hanno ricevuto degli sconti sul Mal-Practice Premium (quota annua pagata all'assicurazione che copre gli errori medici).

Per l'anestesia, la simulazione è un metodo di addestramento affidabile. In altri ambiti medici, messi a confronto con l'esempio precedente, la simulazione comincia a diffondersi solo ora grazie a percorsi formativi effettivamente affidabili. Ma ancora tanto lavoro deve essere fatto prima che l'attuale sistema, che genera profitti, di corsi di due giorni con interventi su maiali venga sostituito. Tuttavia quando si riusciranno a creare questi nuovi strumenti di formazione, ci sarà una potente rivoluzione educativa. Per esempio, su un sistema di simulazione, nuove tecniche interventistiche possono essere ripetute più volte, da soli o con un mentore, evitando l'uso di animali. Gli errori possono essere rilevati mentre l'operazione è in atto fino a quando il chirurgo non si rende conto dell'errore compiuto. A questo punto, un simulatore efficiente avrà un tasto per il ritorno e l'operazione potrà ripartire dal punto dell'errore. Il chirurgo potrà quindi ripetere ancora l'intervento, sia sotto il proprio sguardo che sotto quello di un tutor, che potrà guidare il tirocinante a ripetere il task dall'errore, in sicurezza. Con un eventuale tasto di riavvio, la corretta tecnica potrà essere ripetuta fino a quando diventerà un atto naturale. Gli errori perderebbero così le loro conseguenze e diventerebbero vie di apprendimento. E un movimento nuovo praticato dall'esperto chirurgo o una manovra critica di

I VANTAGGI DELLA SIMULAZIONE:

Formarsi in un ambiente completamente sicuro e privo di rischi clinici per il paziente.

Programmare la formazione in base ai bisogni dell'apprendista e non del paziente. Gli studenti possono focalizzarsi sull'insieme delle procedure o su specifiche operazioni, praticando queste quanto necessario.

Dato che l'ambiente è sicuro, gli studenti hanno il permesso di fallire e di imparare da questo fallimento in modo impensabile rispetto alle tradizionali pratiche cliniche. Questo fornisce l'opportunità di esplorare i limiti di ogni tecnica anziché dover rimanere nell'area della sicurezza clinica.

Rinfrescare tecniche per i chirurghi ritornando all'atto pratico dopo una prolungata assenza.

Correggere un mix di ineguaglianze nei programmi di formazione, così ciò che impari nella tua facoltà non dipende più in modo vincolante dal mentore che ti assiste.

Fornisce una tavola di valutazione per certificare competenze attraverso una esaminazione tecnica che non sarà più solo derivata dalla discussione orale.

Permette la prototipazione di nuove procedure di simulazione eseguite da computer o tramite computer, fornendo un nuovo significato alla frase "pratica della medicina".

Permette a ingegneri e designers di testare nuovi dispositivi medici in ambienti simulati e protetti.

Eventualmente, con il giusto design, si potrebbero affrontare interventi su pazienti con particolari anatomici non comuni.

una procedura potrà essere esercitata da qualsiasi utente. L'opportunità di imparare qualcosa di nuovo, con questa modalità non è mai stata disponibile nella storia della medicina. La simulazione offre quindi dei vantaggi sia ai novizi che agli esperti.

Un altro aspetto merita di essere preso in considerazione, mentre tutti siamo familiari con il concetto di curva di apprendimento all'inizio di una carriera, esiste anche una curva alla fine della carriera. Questo declino nella capacità e nel giudizio è stato percepito dagli stessi chirurghi. Un sistema educativo basato sulla simulazione, validato e maturo in tutti i suoi aspetti potrà fornire, per la prima volta nella storia della medicina, un addestramento durante tutta la durata della professione, permettendo un sistema di valutazione indipendente dall'età o da altri sistemi di valutazione arbitrarie.

2.3 Problemi educativi

■ Conoscenza - Capacità - Attitudine

L'addestramento fatto da tirocinanti su pazienti deve rimanere una parte fondamentale del processo di formazione avanzato, la simulazione può avere un forte ruolo nell'acquisizione di tecniche di base in ambienti dove non è messo a rischio la sicurezza del paziente. La chirurgia effettiva richiede esperienza in molti ambiti e un approccio olistico alle pratiche chirurgiche necessita che questo sia integrato. Questo in cambio richiede un approccio logico nell'identificare e nel venire incontro agli obiettivi educativi. La tassonomia di Bloom dell'imparare gli obiettivi è ampiamente usata all'interno dell'educazione medica e le sue tre categorie di conoscenza – capacità - attitudine sono frequentemente citate [6].

Come si possono relazionare queste all'attuale formazione chirurgica ?

■ **Conoscenza:** è raggiunta dall'assimilazione delle informazioni e dalla loro trasformazione attraverso il processo di apprendimento per far sì che questa trasformazione avvenga le informazioni devono essere credibili, prontamente accessibili e processabili con la massima efficienza. Anche se l'informazione chirurgica è sempre stata fornita dai libri e letture, programmi multimediali e ambienti on line di apprendimento ora rappresentano una fetta attrattiva di risorsa alternativa.

■ **Capacità:** giacciono nel cuore della pratica chirurgica, richiedono lo sviluppo di competenze psico-motorie, un processo basato sulla pratica regolare. La ricerca scientifica, la maggior parte della quale si è occupata del ruolo dell'esercizio in campo non medico, come lo sport e la musica, ha stabilito i seguenti principi chiave:

● L'esperienza può essere ottenuta solo da una pratica sostenuta e deliberata in molti anni [7]. Questa pratica dovrebbe essere integrata da feedback da parte di esperti all'interno di un ambiente di supporto focalizzato alla formazione.

● La motivazione è cruciale e la semplice ripetizione di un task non è abbastanza per garantire il raggiungimento di un'abilità elevata inoltre le performance ripetute sul lavoro non sono sufficienti, a meno che non sottostiano ad una determinazione conscia al miglioramento.

● Un programma costante di formazione è essenziale. Un iniziale eccesso di apprendimento deve essere supportato da un regolare aggiornamento evitando che queste scompaiano.

■ **Attitudine:** dipende dal modo in cui la conoscenza e la capacità si combinano nella cura del paziente. Quest'area include il giudizio clinico, il saper prendere decisioni e il valore del comportamento professionale è quello spettro di vitali ma intangibili qualità che contribuiscono a creare un dottore competente. Il compito di integrare la conoscenza e le capacità tecniche con questi attributi professionali è una sfida cruciale per l'apprendimento chirurgico.

■ Apprendimento in età adulta

Le nuove tecnologie hanno molto da offrire per raggiungere gli obiettivi di formazione e anche i nuovi modi di fornire informazioni stanno diventando sempre più utili. Tuttavia c'è da fare un passo avanti al semplice fornire informazioni e opportunità di pratica. Persone diverse imparano in modo diverso e la conoscenza delle modalità di apprendimento individuali è essenziale e per evitare un mancato incontro [8]. Per dare un senso a ciò che i nuovi metodi di formazione possono offrire è utile una breve overview di alcune teorie di apprendimento adulto [9].

■ **La scuola comportamentista:** si focalizza sul principio di stimolo-risposta analizzando il comportamento animale e quello umano, e concentrandosi sul comportamento osservabile anziché al processo interno di pensiero. Questo approccio S-R esercita un'influenza potente nella progettazione di molti programmi di formazione basati sul computer (CAL) specialmente quelli in cui ripetitivi input tecnici sono usati per sviluppare capacità psico-motorie nella chirurgia mini-invasiva [10].

■ **L'approccio umanista:** assume che l'essere umano si autodetermini, che sia responsabile e che abbia un'urgenza innata di sviluppare il proprio potenziale. Il processo dell'apprendimento adulto riguarda lo sviluppo di ogni apprendista come individuo, anziché l'acquisizione di competenze individuali [15].

Queste teorie non sono mutualmente esclusive e ognuna può essere utile nel capire le differenti componenti dell'apprendimento chirurgico. Il comportamentismo si relaziona con l'acquisizione di specifiche abilità manipolative, che, una volta dominate diventano parte del repertorio inconscio delle capacità del chirurgo. L'approccio cognitivo si realizza a seconda del

■ **L'approccio cognitivo:** si focalizza su processi mentali interni al tirocinante, sottolineando l'importanza della percezione, del significato e del contenuto. La sede del controllo è all'interno dell'apprendista e imparare coinvolge il riorganizzare le esperienze per dare un senso agli stimoli dell'ambiente [11, 12, 14].

■ **Il costruttivismo:** si concentra su come le persone diano valore alle proprie esperienze, interiorizzando le influenze esterne e interne per costruire un significato che sia per loro rilevante. La propria essenza è la costruzione interna della realtà e secondo Kolb, "imparare è il processo laddove la conoscenza è creata dalla trasformazione dell'esperienza", un processo attivo dove i quattro stadi del ciclo reinterpretano le esperienze, attraverso la riflessione, in concetti. Questi a loro volta servono da guida per la sperimentazione attiva e la scelta di nuove esperienze, creando una continua sequenza di feedback.

modo in cui l'apprendista processa le informazioni, usando questo per creare una conoscenza utile in un particolare contesto. L'approccio cognitivo ed umanista possono essere utili nel capire lo sviluppo del giudizio clinico e della professionalità, laddove ogni apprendista unisce una varietà di espedienti di apprendimento e le forgia in un unico insieme significativo.

2.4 Cos'è richiesto per la progettazione di un simulatore?

Molti degli attuali simulatori sono stati progettati come scatole altamente tecnologiche che permettono l'esercizio e la coordinazione mano-occhio per determinate procedure senza il beneficio della misurazione della prestazione. Alcuni sistemi sono stati progettati sfruttando integrando meccanismi di rilevamento metrici per la valutazione dell'apprendimento¹², e alcuni studi hanno mostrato che il trasferimento di conoscenza da sistemi di simulazione alla sala operatoria è in via di sviluppo. Per diventare un sistema formativo e non solo un gioco elaborato, è necessario che i progettisti tengano parecchio in considerazione i contenuti, le motivazioni, gli utenti finali, ed eventualmente sistemi di rilevamento che potranno essere usati per provare l'effettivo apprendimento. La sfida che si pone ai progettisti può essere generalizzata in tre aree:

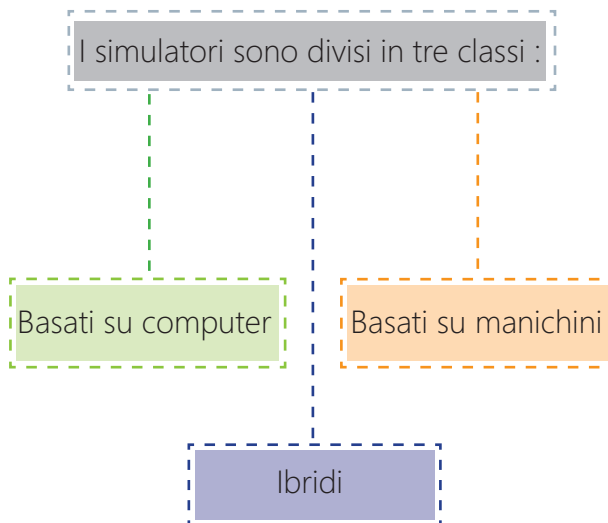
■ **Realismo:** risposta realistica degli organi, interazione realistica strumento-tessuto, corretta visualizzazione su schermo e interazione in tempo reale.

■ **Autenticità:** contenuti integrati educativi, addestramento clinico utile e trasferimento di apprendimento convalidato.

■ **Accettabilità:** testato in centri medici, accettato dai medici insegnanti, approvato dalle associazioni mediche.

In termini più generali, queste tre aree, rispettivamente, devono essere tenute in considerazione dai ricercatori, medici e organizzazioni mediche. I medici devono essere coinvolti in tutto il processo, nella scelta dei contenuti educativi, nella progettazione del sistema e nella validazione dalle misure. Senza questa collaborazione tra tutti gli attori coinvolti nella progettazione si rischia di avere simulatori ne clinicamente rilevanti ne efficaci per l'educazione.

2.5 Tipologie di simulatori



Simulatore basato su manichino

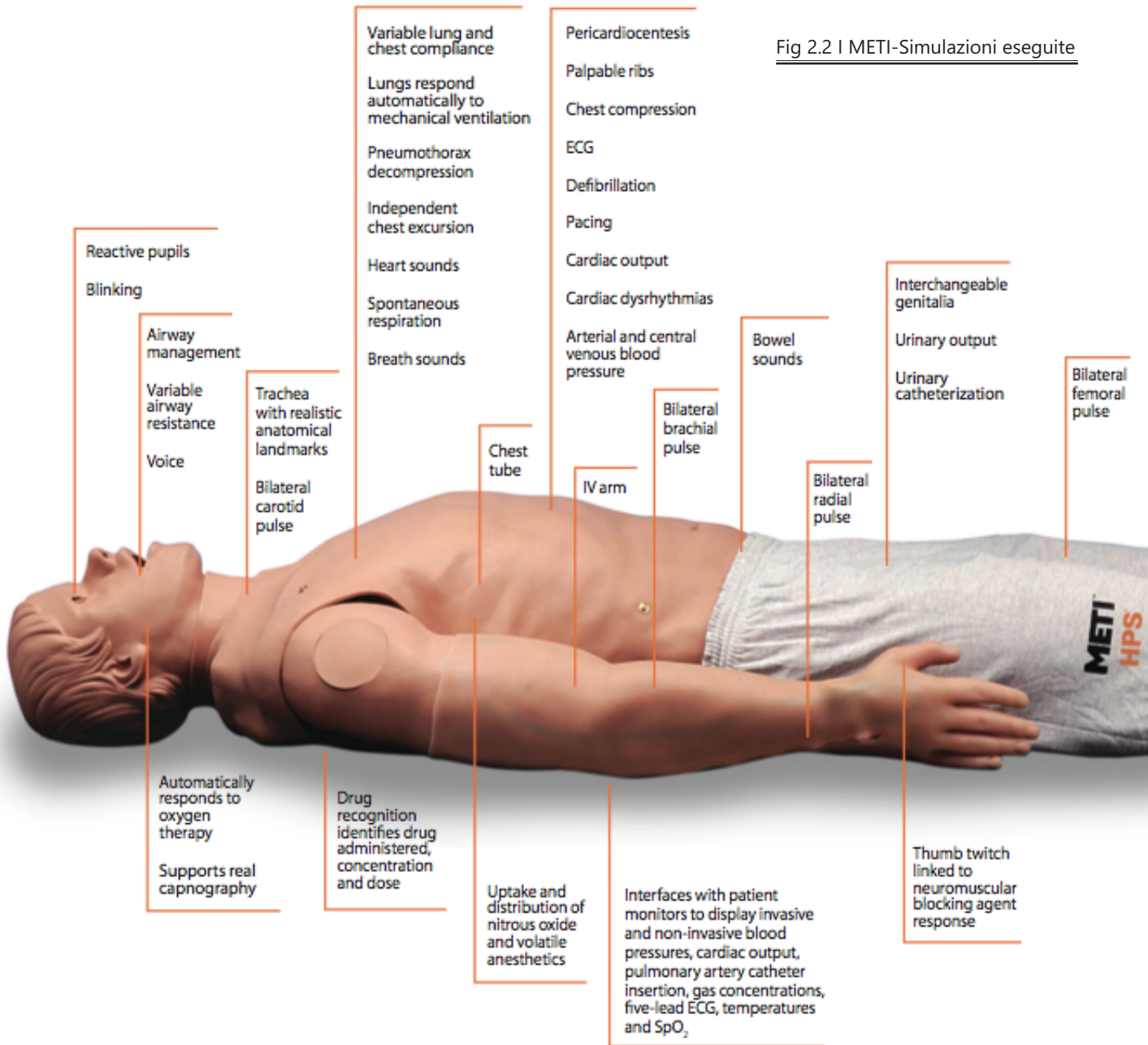
Gli sviluppi nella tecnologia dei materiali hanno portato a miglioramenti eccezionali nel realismo della simulazione fisica e molti tessuti umani possono essere ricreati con un ottimo grado di accuratezza. Una gamma di modelli relativamente economici è ora disponibile, molti ospedali e scuole mediche hanno un centro di addestramento, dove gli apprendisti provenienti da numerose discipline possono regolarmente fare pratica [13]. Le procedure insegnate comunemente usando manichini includono, ad esempio, l'applicazione del catetere urinario, prelievi venosi, trasfusioni e suture [14]. Questi modelli sono utili anche per praticare procedu-

re chirurgiche relativamente semplici come la rimozione di cisti e cumuli di grasso. Tuttavia anche i simulatori di alta gamma hanno serie limitazioni. La più ovvia è che possono simulare solo parti isolate del corpo, quindi una completa rappresentazione della realtà è impossibile. Inoltre, come modelli inanimati non sono in grado di dare risposte o di fornire misure obiettive di prestazioni e un apprendimento di questo tipo richiede un massiccio supporto di tutor esperti. I sistemi basati su manichini, a volte chiamati "simulatore paziente-realistico", usano la forma del paziente come interfaccia. Sono parecchio usati nei corsi di addestramento Advanced Life Support e Advanced Trauma Life Support (ATLS): corsi di addestramento

Fig 2.1 I METI Silumator



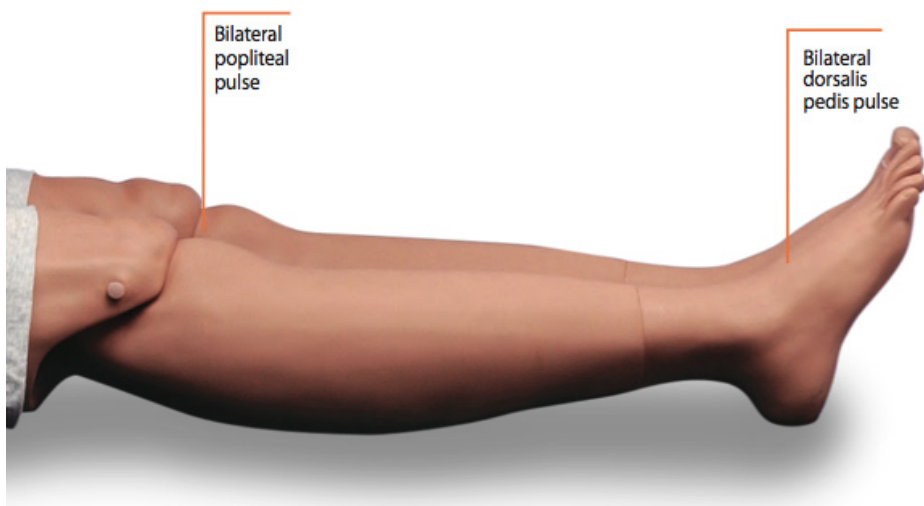
Fig 2.2 | METI-Simulazioni eseguite



chirurgici statunitensi. Solitamente incorporano al loro interno moduli fisiologici per la risposta ai farmaci, alla compressione cardiaca, all'incubazione e ad altre frequenti manipolazioni esterne.

Esistono eccellenti sistemi in anestesia per la formazione di team e per la gestione di situazioni critiche, accettati e validati. Un esempio di questi sistemi sono il METI® patient simulation system(fig) e il Laerdal SimMan.

Entrambi sono simulatori a corpo intero, possono essere usati in numerosi scenari differenti. Dagli incidenti traumatici alle semplici visite di routine fatte su vari tipologie di pazionet visto che le proprietà fisiologiche possono essere scelte a piacimento. Ad esempio nell'immagine possiamo vedere come il dipartimento per l'istruzione di un ospedale statunitense stia sfruttando le potenzialità di un simulatore a manichino per addestrare i vigili del fuoco



a gestire uno scenario di arresto cardiaco. L'elevata precisione di questo sistema permette che più persone possano intervenire contemporaneamente alla risoluzione della criticità, addestrandolo quindi non solo il singolo ma una team intero

Fig 2.3 | Esercitazione dei vigili del fuoco che usano il manichino SimMan della Leardal

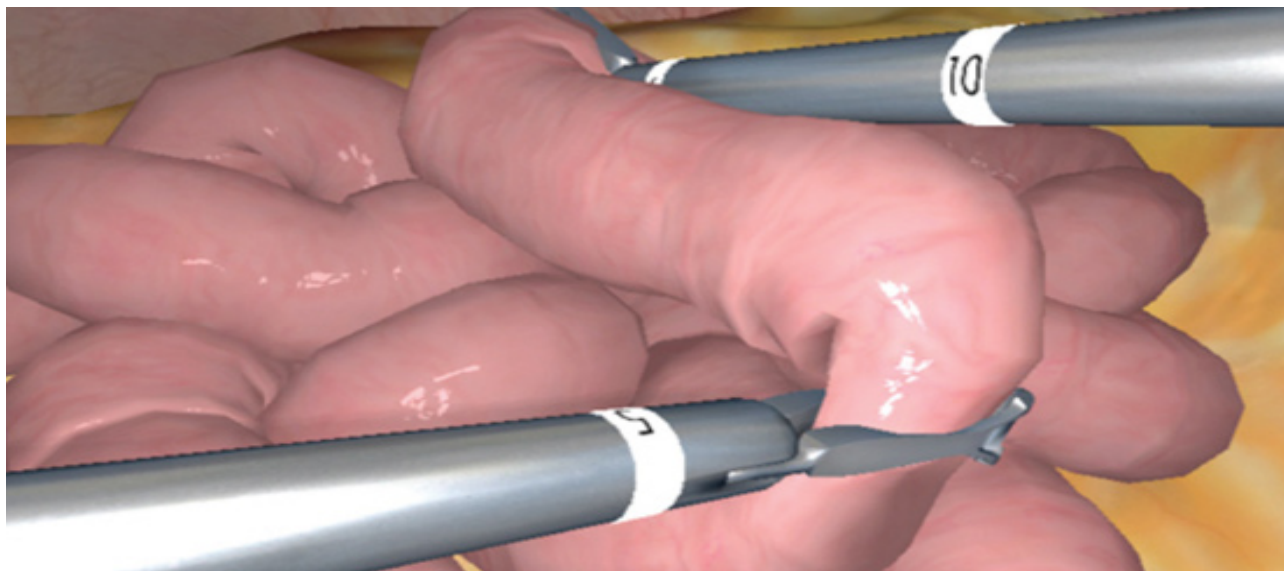


Simulatore basato su computer

Le simulazioni basate su computer sono alternative attraenti specialmente grazie ai continui miglioramenti nella potenza di programmazione che li rende sempre più realistici. Come linea guida generale, tanto più una procedura di simulazione è complessa e tanto più variabili vengono offerte, maggiore potenza è richiesta dal computer. C'è quindi un compromesso tra l'alta fedeltà delle visualizzazioni da un lato e l'abilità di interfacciarsi al programma dall'altro. Fino a poco tempo fa anche le più semplici simulazioni basate su computer richiedevano così tanta potenza di elaborazione da poter essere sviluppate ed usate solo in istituti di ricerca

specializzati. Negli ultimi anni, tuttavia, sviluppi nelle tecnologie informatiche hanno cambiato lo scenario radicalmente, portando programmi altamente sofisticati nei personal computer. La realtà virtuale (VR) è emersa come una potente tecnica all'interno della sanità, originata nei programmi spaziali agli inizi degli anni '90 e oggi radicata in molte branche della vita [15]. La realtà virtuale viene descritta come "un insieme di tecnologie che permettono alle persone di interagire efficacemente con database 3D in tempo reale, usando le proprie capacità naturali [15], e combina una rappresentazione convincente di un sistema di organi o parti anatomiche con l'obiettivo di lavorare su quell'immagine come se fosse realmente esistente [16]."

Fig 2.4 | LapSim simulatore endoscopico



Le interazioni possono essere: la manipolazione, l'affettamento, il taglio e la navigazione in apparati del corpo umano, usando complessi dispositivi aptici al fine di fornire all'utente un senso di presa realistico. All'interno della chirurgia specialistica, nuove procedure per la diagnosi ed il trattamento chirurgico si stanno spostando rapidamente dalla ricerca in laboratorio alla pratica clinica, guidate da nuove tecnologie informatiche, dal medical-imaging e dalla realizzazione di strumentazione chirurgica innovativa. I chirurghi possono quindi usare riproduzioni accurate di organi di pazienti, grazie all'alta risoluzione dei dati acquisiti tramite tecniche diagnostiche, per la pratica di operazioni specifiche, all'interno di un ambiente virtuale.

Fig 2.6 | Simulatore per endoscopio flessibile

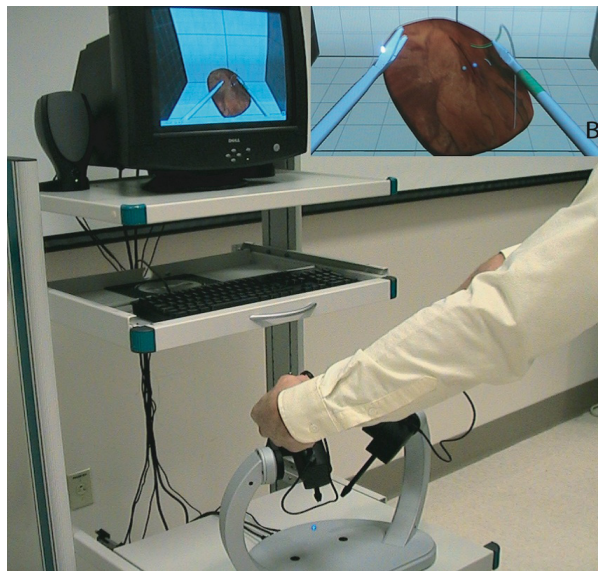


Fig 2.5 | Simulatore MIST-VR

Gli interventi eseguiti sottostanno ad obiettive misurazioni dell'abilità manuale ed inoltre i simulatori possono essere progettati per ridurre la possibilità di errore e migliorare il risultato clinico. Questi sviluppi hanno creato possibilità interessanti per l'educazione e l'apprendimento, così come per la pratica clinica. Dal punto di vista hardware, questi simulatori sono composti da un monitor e da un'interfaccia strumenti riprogettata in base alla simulazione che si vuole performare. Poiché il sistema si basa su software ci sono alcuni gradi di adattabilità nella procedura ed il tracciamento e la correzione dell'errore può essere realizzato facilmente. La progettazione integra facilmente i contenuti educativi, sia per la fase di addestramento in-

trodotiva che di tutta la procedura - ad esempio, quando viene commesso un errore, il tirocinante può accedere tramite link ipertestuale a documenti per capire che errore ha commesso, sia dal punto di vista anatomico che procedurale. Gli inconvenienti di questo sistema sono le lacune di provata affidabilità e l'alto costo di sviluppo, difficilmente affrontabili da singoli programmi di ricerca. Parecchi sistemi sono in commercio, dal MIST-VR che si avvale di grafiche astratte (fig 2.5), al C, il più avanzato può essere considerato il VIST (Vascular Interventional System for Training, operativo a Brussels, che addestra cardiologi interventisti per angioplastiche, stent coronarici, posizionamento di pacemaker ed interventi alla carotide. In un

Fig 2.7 | Simulatore VIST



solo anno più di 2000 persone hanno imparato queste tecniche usando questo simulatore. Dato che il concetto di simulazione chirurgica nasce dai simulatori basati su computer, esaminerò in dettaglio le caratteristiche che costituiscono un sistema basato su computer.

Un sistema ideale deve tenere in considerazione i seguenti fattori:

■ **Segmentazione:** la parte anatomica rappresentata nella procedura è separata dagli organi che la circondano, dando un'area di intervento che incorpora solo gli organi coinvolti nella procedura. La fonte dei dati sugli organi coinvolti possono essere presi da pazienti generici.

■ **Modellazione del tessuto:** l'idea consiste nella misurazione delle proprietà dei singoli organi per la creazione di modelli matematici di determinate proprietà così che gli organi possano essere rappresentati realisticamente da un programma sul pc. Per i chirurghi un buon feedback di realismo verrà raggiunto quando la rappresentazione grafica dell'organo sembrerà come l'organo reale. Arrivare ad ottenere un feedback fedele è un obiettivo che in tutti i centri accademici del mondo stanno cercando di raggiungere.

■ **Interazione strumento-tessuto:** una volta che le proprietà dell'organo sono conosciute e che le regole matematiche governano il comportamento delle parti anatomiche, deve essere creato un programma che rappresenti le interazioni e collisioni tra gli strumenti chirurgici ed i tessuti, per permettere al chirurgo di manipolare l'organo.

■ **Feedback visivi:** come fa il sistema a mostrare all'operatore la procedura? Inizialmente i simulatori usavano metodi grafici disponibili al tempo in cui furono sviluppati, mostrando frequentemente le parti anatomiche con falsi colori o rappresentazioni grafiche della geometria degli organi. La rappresentazione dei più comuni eventi presenti in chirurgia, come il sanguinamento, rappresentavano una grande sfida per i ricercatori in simulazione.

■ **Aptico:** significa il feedback che è fornito dal sistema all'operatore ed è strettamente correlato alla modellazione del tessuto ed alla interazione tra strumento e tessuto. Il livello di fedeltà per un'affidabile risposta aptica è un'area di ricerca molto importante.

■ **Fisiologia:** un sistema ideale dovrebbe permettere di verificarsi di errori ed includere una risposta fisiologica che mostri il risultato dell'errore. Come ad esempio il battito cardiaco e la pressione sanguigna.

■ **Educazione:** molti simulatori evidenziano una lacuna proprio nella loro parte più importante, ovvero sulla parte formativa che dovrebbero avere. Nel futuro sarebbe auspicabile che i simulatori vengano valutati per come effettivamente favoriscono l'educazione medica. Senza i contenuti educativi adatti, il miglior simulatore rimarrà comunque solo un buon videogame.

■ **Sistema integrazione in tempo reale:** tutto ciò che è stato descritto deve presentarsi nello stesso momento e comunicare tra di loro in tempo reale, se non dovesse funzionare in tempo reale, il simulatore perderà la propria funzione clinica e non sarà considerato accettabile dalla medicina.

■ **Simulatore ibrido**

I simulatori ibridi combinano modelli anatomici fisici con i computer, usando spesso un'interfaccia realistica, per ridurre il divario tra il manichino e il computer. Questo evita alcune criticità tecniche associate alla riproduzione della sensibilità dello strumento e del tessuto umano, mentre mantengono sempre l'accesso ai vantaggi della simulazione al computer. Questo ambiente ibrido è portato a diventare sempre più importante per l'esecuzione di procedure chirurgiche complesse. Degli esempi verranno fatti nel capitolo successivo

2.6 Quando possiamo considerare un simulatore pronto l'uso?

Le parole che i progettisti devono tener presente quando pensano di avere un simulatore finito e pronto all'uso sono tre : verifica, verifica e verifica. Negli anni molti addetti ai lavori hanno udito entusiasmanti report che parlavano dell'apprendimento basato su computer e nuove tecniche educative, sfortunatamente, secondo gli stessi addetti, la realtà non ha mai corrisposto con il livello di tale entusiasmo. La causa primaria individuata è che troppo spesso i simulatori sono stati progettati da team di ingegneri ed informatici con un piccolo, o a volte assente, coinvolgimento di medici, che sono le uniche persone che sanno realmente cosa deve essere insegnato e come deve essere presentato. Quello che è mancato sono stati effettivi feedback positivi di apprendimento: un simulatore potrà essere considerato pronto quando potrà fornire risultati di apprendimento clinicamente utili dopo il suo uso. Per creare sistemi di simulazione concepiti in modo ottimale, esperti nell'ambito dell'educazione e medici professionisti devono collaborare strettamente. I medici devono decidere a priori quali misurazioni tecniche devono essere usate per determinare le competenze cliniche. Nonostante sembrino principi base sui quali progettare dei simulatori, non sempre è stato tenuto in considerazione nei sistemi in commercio. Ad oggi, le misurazioni più comuni sono, il tempo di esecuzione di un compito e il percorso effettuato dallo

strumento. Anche se in alcuni casi la tempistica di esecuzione può non rappresentare una misura clinica critica, come invece potrebbe essere la valutazione della destrezza nell'esecuzione e l'evitare lesioni ad un organo adiacente.

Più sarà possibile avere delle misurazioni accurate e correlate tra di loro più si potranno costruire simulatori precisi ed affinati.

2.7 Quale deve essere il ruolo dei medici?

● Parola all'esperto, Steve Dawson:

“ Il ruolo del chirurgo è quello di curare e di educare, e se non accettiamo questa responsabilità nei confronti dell'educazione qualcun altro farà un passo avanti e lo farà al posto nostro. Attualmente molti venture-capitalist stanno investendo in start-up che realizzano simulatori, ma in molte di queste nuove compagnie la presenza di medici è ancora molto bassa. Il ruolo dei medici è quello di mantenere vivi alcuni approcci tradizionali: la medicina deve essere traghettata con rispetto dai medici esperti verso quelli più giovani. Possono essere fatti errori sotto un occhio attento di un tutor e corretti immediatamente senza creare menomazioni ai pazienti. La decisione circa il modo in cui si impara è la chiave, si può andare avanti ad insegnare secondo i metodi tradizionali usati per centinaia di anni o prendere il meglio dei metodi tradizionali e contemporaneamente

sviluppare nuove tecniche, seguendo le innovazioni in altri campi di studi, come l'informatica, la meccanica e le tecnologie dell'informazione. La medicina deve investire nella scienza che creerà rivoluzionarie vie di apprendimento, facendo errori in contesti realistici ma non reali in cui i paziente saranno sempre più tutelati. Dobbiamo lavorare tutti insieme per creare un ambiente in cui sia giusto commettere errori ed imparare a correggerli condividendo tecniche ed approcci tra tutti i chirurghi e non solo con quello a tuo fianco in sala operatoria. Il nostro sforzo potrà essere usato da colleghi a 3.000 km di distanza così potranno vedere una nuova tecnica, oppure qualcuno che opera in campo affine potrà scoprire un nuovo metodo per curare altre malattie."



Steve Dawson

Steve Dawson, direttore scientifico per il Simulation Group, è un radiologo interventista del Massachusetts General Hospital. Steve si è laureato al Tufts Medical School ed ha svolto la specializzazione e due anni di dottorato presso il dipartimento di radiologia del Mass general. Ad oggi è professore associato pres-

so Harvard Medical School e visiting scientist presso il Massachusetts Institute of technology. Nel 1994, vide il primo simulatore ed riconobbe che le innovazioni tecnologiche nel campo del computing, haptics e grafica potevano essere applicate all'apprendimento medico per cambiare il metodo classico insegnamento in medicina umana. Da quel momento ha focalizzato la sua ricerca sui simulatori continuando il suo lavoro come chirurgo in ospedale e come insegnante nelle università.



LA SIMULAZIONE PER LA CURA DI TRAUMI DA COMBATTIMENTO

Introduzione -

L'apprendimento delle procedure di intervento -

Simulatori per le vie respiratorie -

Simulatori per problemi respiratori -

Simulatori per problemi circolatori -

Simulatori per traumi oculari -

3.1 Introduzione

La cura di pazienti con traumi multipli richiede un estensivo addestramento per tutte le persone coinvolte. I membri dell'equipe medica che curano traumi da combattimento devono avere sia una conoscenza individuale per curare il paziente, sia capire il ruolo all'interno del team quando bisogna gestire situazioni critiche. Per traumi di civili che prendono luogo in ambiente urbano, il tempo di trasporto in ospedale è solitamente sotto i dieci minuti e la formazione per le competenze nella gestione di traumi può essere approfondita in centri specializzati, dove interventi sulle vie respiratorie, il controllo delle emorragie, l'esecuzione della tracheotomia per emotorace e pneumotorace sono tipicamente eseguiti. Nell'ambito militare, in ambienti civili rurali e in nazioni sottosviluppate, dove il tempo di trasporto da quando si verifica l'incidente a quando si ricevono le prime cure può variare dalle 16 alle 72 ore, è essenziale che ci sia un ampio corpo di operatori pre-ospedalieri che siano in grado di eseguire tutta una serie di procedure potenzialmente salva vita direttamente sul campo. Questo necessita un addestramento intensivo, non solo per dottori e infermieri, ma anche per una grande quantità di operatori pre-ospedalieri, come ad esempio i medici da campo di battaglia, che sono chiamati a eseguire interventi nelle peggiori condizioni possibili immaginabili. Al fine di andare in contro a questa necessità di avere personale addestrato per la gestione estensiva e di qualità di eventi

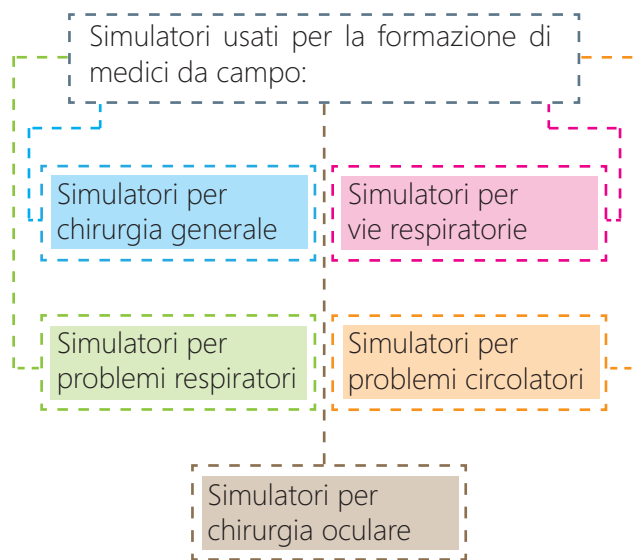
traumatici, il governo americano ha mostrato forte interesse nell'applicazione di tecnologie di simulazione emergenti. L'obiettivo non è quello di sostituire completamente l'attuale metodo di addestramento, ma di aumentarlo poiché la formazione di personale medico che intervenga su pazienti con traumi è più difficile rispetto, ad esempio, a quelle mini-invasivi, ed i benefici potenziali sono enormi.

3.2 L'addestramento di procedure per la cura di traumi e lesioni da campo di battaglia

Alcuni eventi traumatici portano alla morte più di altri, un rapido riconoscimento e un intervento tempistico sono spesso la chiave per la sopravvivenza di un soldato. Tradizionalmente l'addestramento per traumi si basa sul fatto che problemi alle vie aeree portano alla morte rapidamente se non riconosciuti e trattati in tempo e nel modo giusto, mentre problemi respiratori e problemi circolatori portano alla morte rapidamente ma meno rispetto ai primi. L'addestramento del personale medico avviene tramite un corso, l'ATLAS sviluppato negli anni 80, che migliora la conoscenza di base, le capacità psicomotorie ed il livello di performance di dottori che hanno seguito il corso¹⁷. Nonostante il successo di questi corsi ed i relativi approcci pre-ospedalieri,

i membri dell'esercito e quelli che operano in zone rurali o in paesi sottosviluppati spesso hanno poche opportunità di esercitare queste tecniche salva vita.

Fino a poco tempo fa le competenze apprese all'ATLAS erano esercitate su animali, che sono poveri surrogati per l'anatomia umana. In più l'uso di animali solleva problemi etici, non permette la ripetizione di interventi ed ha enormi e costosi problemi logistici. Risulta quindi ovvio che anche nella formazione per la cura per traumi e lesioni da campo di battaglia, l'utilizzo della simulazione può avere gli stessi vantaggi educativi precedentemente descritti.



3.3 Simulatori usati per la formazione di medici da campo

■ Simulatori per chirurgia generale

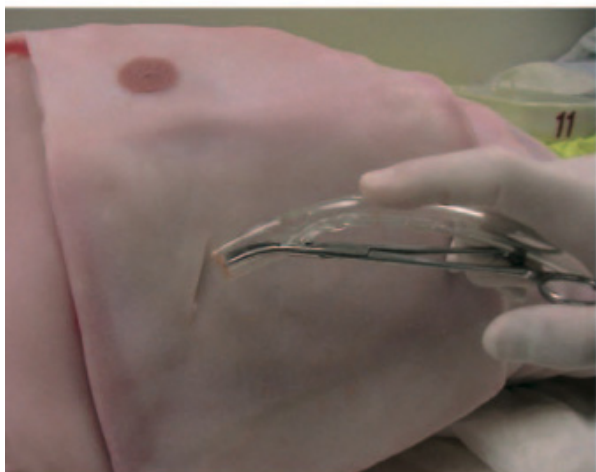
Per l'insegnamento chirurgico durante i corsi ATLAS è stato adottato il manichino TraumaMan (by SimuLab, Seattle), composto da un torso a grandezza naturale, con cavità toraciche ed addominali ed un collo/trachea simulate. (FIG1). Per insegnare interventi chirurgici base come cricotiroidotomia, inserimento del tubo toracico, pericardiocentesi, lavaggio peritoneale, taglio per accesso venoso. Un'esperienza preliminare è stata bene accolta dagli studenti ed ha portato ad una diffusa sostituzione degli animali e cadaveri durante i corsi. Il vantaggio maggiore del TraumaMan è che evita l'uso di animali e rende accessibili l'esercitazione anche dove non esistono laboratori di addestramento su animali. Altri vantaggi sono l'accuratezza anatomica raggiunta, e la possibilità di eseguire procedure seguendo il programma del corso, ad esempio occupandosi prima delle vie respiratorie, che solitamente è l'ultima cosa da fare nell'intervento su animale. Il manichino ha i polmoni nella gabbia toracica ed è connesso ad un generatore di aria che fa circolare l'aria attraverso le vie respiratorie superiori ed i polmoni, così che gli studenti possano avere un feedback di respirazione quando fanno pressione con le dita sul petto durante la decompressione della cassa toracica. L'attuale svantaggio di questo sistema è il costo che rimane elevato



(a)



(b)



(c)



(d)

Fig 3.1 | Il TraumaMan (by SimuLab, Seattle, WA, USA) fornisce un'alternativa di training rispetto all'uso di animali o cadaveri. Ed è composto da un torso simile a quello dell'uomo (a) con parti sostituibili che permettono l'esecuzione della cricotiroidotomia (b), a della DPL (Diagnostic Peritoneal Lavage) (d), e anche la pericardiocentesi.

ed è l'unico dispositivo del genere approvato dall'ATLAS. Inoltre la possibilità di ripetere le procedure più volte ha un costo proibitivo. Un sistema statico come questo non permette la variazione dell'anatomia e della fisiologia come accade durante la pratica delle stesse procedure nella vita reale.

Stimolati dalla necessità di avere nuovi modelli di addestramento sono stati sviluppati numerosi simulatori di singole procedure.

■ Simulatori per le vie respiratorie

Già dagli anni 50 sono nati i primi simulatori per le vie aeree [18] sono stati usati con grande successo per insegnare le procedure di base. Dei manichini per l'incubazione forniscono un'ampia opportunità agli studenti per imparare a gestire gli interventi alle vie aeree, In un paragone testa a testa, i modelli con le superfici dure tendono ad essere meno realistici di quelli con una pelle flessibile, come il Littel Ann prodotta da Laerdal [19]. Ci sono anche simulatori molto più costosi e alta fedeltà come il SimMan che permettono di essere intubati e possono essere creati vari scenari come l'ostruzione delle vie respiratorie con edema della laringe, edema della faringe, gonfiore della lingua e trisma. Lo studente può eseguire un intervento chirurgico alle vie aeree sul manichino nella corretta zona anatomica grazie ad un lembo di pelle sostituibile (Fig 3.2). Questi simulatori sono stati usati con e grande successo. Sia i manichini a bassa fedeltà che quelli ad alta fedeltà sono

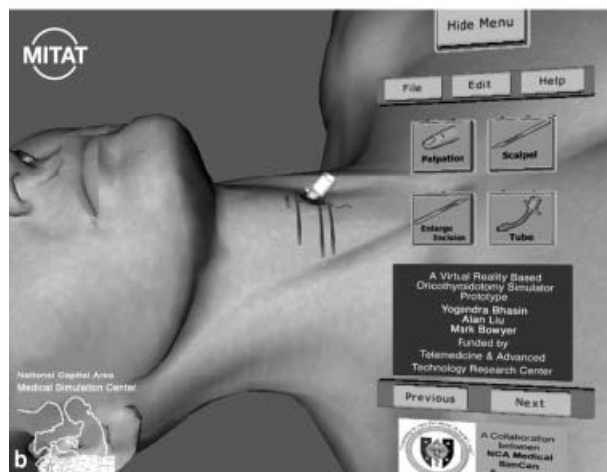


Fig 3.2 | Studente che si esercita sul manichino SimMan della Laerdal a gestire problemi alle vie respiratorie.

strumenti d'insegnamento molto utili ma sono comunque limitati dall'impossibilità di cambiare l'anatomia. Nuove tecnologie informatiche hanno portato allo sviluppo di simulatori a realtà virtuale per problemi alle vie respiratorie. Un esempio è un simulatore sviluppato in un centro di ricerca statunitense [13], che ha la peculiarità di combinare graphical user interface con un dispositivo aptico permettendo allo studente di trovare, palpeggiando, la membrana cricotiroidea sullo schermo e poi incidere con visibile sanguinamento. Il potenziale per simulatori come questo è grande. Non c'è la necessità di dover cambiare gli strumenti, e lo studente può esercitarsi innumerevoli volte semplicemente facendo ripartire il programma. Un altro grande vantaggio di simulatori misti è che su può cambiare l'anatomia del paziente, aumentando o diminuendo il livello di difficoltà e complicazioni.



(a)



(b)

Fig 3.3 | Simulatore a realtà virtuale che combina un'interfaccia grafica con una interfaccia aptica in modo da fornire all'utente un feedback tattile nell'effettuare l'incisione (a) e quando allarga l'incisione per infilare la cannula nella trachea (b).

Simulatori per problemi respiratori

Il trauma toracico è una causa frequente di mortalità. Molti dei pazienti muoiono dopo aver raggiunto l'ospedale, e molti di questi decessi potrebbero essere prevenuti con una tempestiva diagnosi ed intervento[20]. La maggior parte dei pazienti in fin di vita da trauma toracico può essere curato tramite inserimento di un tubo nel petto, quindi è necessario insegnare questa procedura a tutti gli operatori sanitari per prevenire questa causa di morte.

In particolare, insegnare queste procedure ha un'importanza ancora maggiore per i medici militari poiché le cure pneumo-toraciche sono state identificate come quelle che aumenteran-

no la sopravvivenza ai militari che subiscono lesioni in campo di battaglia [21]. Gli attuali simulatori per l'intubazione del petto hanno tuttavia dei limiti. Tradizionalmente l'addestramento per queste procedure veniva eseguita su cadaveri o animali con i pro e contro già analizzati per i perdenti sistemi. Nei simulatori umanoidi commercializzati dalla Leardal e dalla Meti vengono offerti moduli per l'inserimento del tubo nella gabbia toracica, ma entrambi non hanno una realistica simulazione della muscolatura della gabbia toracica e delle costole sufficientemente dettagliate. Per rispondere ai requisiti necessari in ambito militare è stato sviluppato appositamente un simulatore presso il CIMIT di Boston.

Fig 3.4 | Riproduzione in 3D del posizionamento tubo

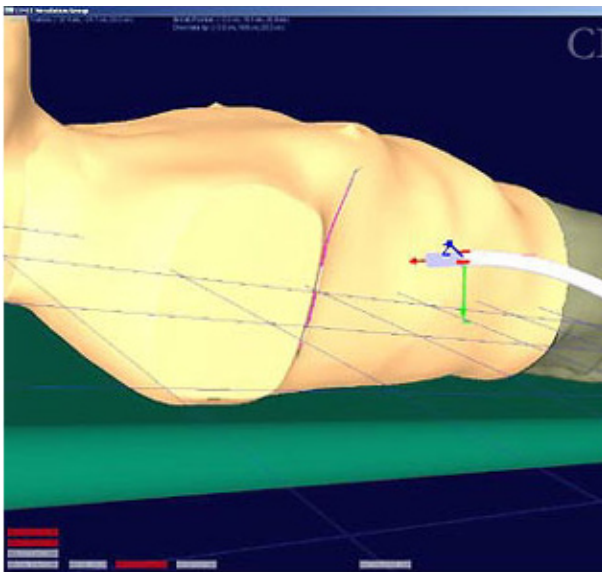


Fig 3.5 | Riproduzione in grafica 3D inserimento tubo

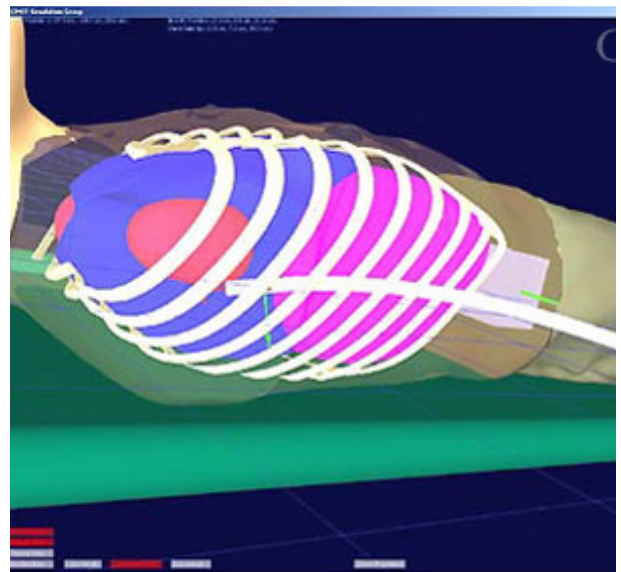




Fig 3.6 | VIRGIL - Organi all'interno della gabbia toracica

Il VIRGIL combina sofisticati modelli anatomici 3D, ottenuti da scansione CT di una reale anatomia umana, con un manichino costruito da questi modelli (Fig 3.10). Un'interfaccia touch-screen conduce lo studente tramite tutorial che coprono i compiti primari da eseguire nel caso di traumi toracici. Tutti i passi necessari, come l'anestesia locale, l'incisione, l'inserimento di pinze e l'inserimento del tubo nella cassa toracica possono essere eseguite e tracciate per avere un feedback immediato. Gli strumenti usati nel VIRGIL sono tracciati tramite un pacchetto software che segue gli spostamenti in relazione all'anatomia. Quando lo studente completa la procedura, il sistema automaticamente ripercorre il tracciato del tubo mostran-



Fig 3.7 | VIRGIL - Incisione sul portale

Fig 3.8 | VIRGIL - Il tubo è ora inserito

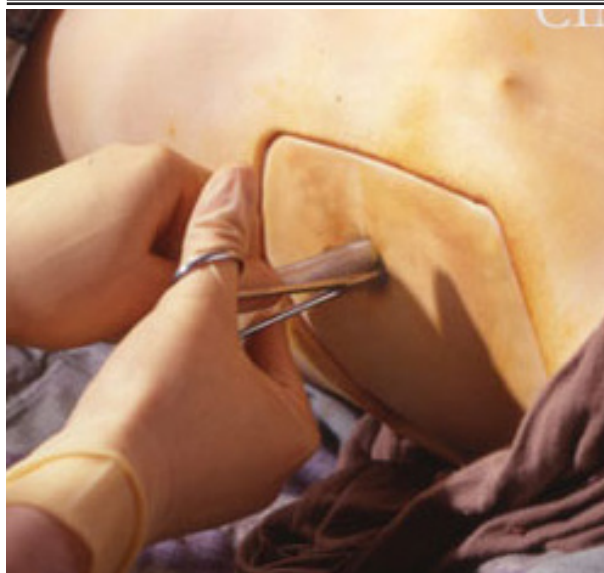




Fig 3.9 I VIRGIL - Tubo posizionato nella gabbia toracica

Fig 3.11 I Rendering di un torso 3D fatto da scansioni CT

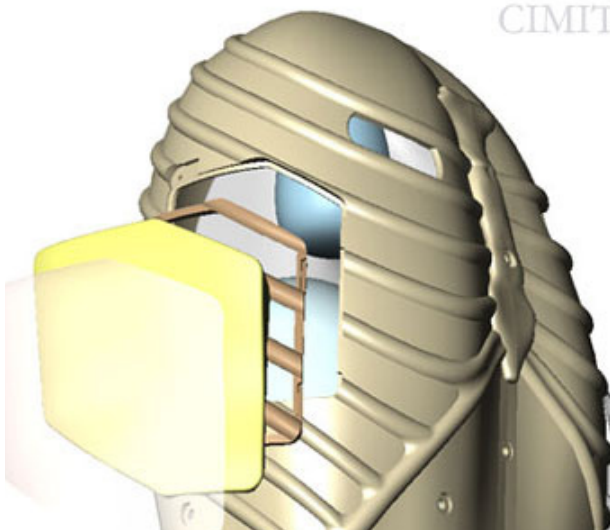


Fig 3.10 I VIRGIL - Visione generale

do se l'intervento è andato a buon fine o meno (Fig 3.9). VIRGIL è stato sottoposto ad analisi per la validazione ed è stato riconosciuto che per inserire il tubo nella cassa toracica è uguale se non meglio che usare un animale. Il modulo replicabile ha la pelle, i tessuti molli, il muscolo e le costole molto realistiche scostandosi dalla realtà di poco nella resistenza riscontrata nell'inserimento del tubo. Il problema di questo simulatore è che non è disponibile commercialmente visto l'alto costo di produzione.

Simulatori per problemi circolatori

Al trauma toracico può verificarsi una complicazione molto pericolosa: il tamponamento cardiaco. Può verificarsi quando la gabbia toracica subisce un trauma da perforamento e il sangue si accumula attorno al cuore portando al peggioramento della circolazione sanguinea, con conseguente ipertensione o morte se non curato in tempo. La manovra che permette il salvataggio del paziente consiste nell'evacuare il sangue pericardico e viene eseguito effettuando una pericardiocentesi. Solitamente viene usato per il training l'animale, anche se presenta una differente anatomia. Il simulatore che meglio permette l'esecuzione di questa procedura è il TraumaMan, che ha un'anatomia realistica ed il ritorno dei fluidi dei vasi sanguigni funziona adeguatamente (Fig 3.12).

Una delle maggior cause di shock in traumi da combattimento è l'emorragia, che è anche una delle lesioni mortali potenzialmente più prevenibili. Quando si verificano condizioni emorragiche il tirocinante deve essere in grado di riconoscere la causa del problema, controllarla e supplire al deficit di fluidi intravascolari. Gli esami più comuni per diagnosticare un'emorragia sono o il Focused Assessment Sonography for trauma (FAST) oppure il diagnostic peritoneal lavage (DPL). Per eseguire un esame FAST, il simulatore deve correttamente rispecchiare e spiegare quattro aree anatomiche, il collegamento tra il fegato e il rene destro, il collegamento tra il rene e la milza e la borsa recto-



(a)



(b)

Fig 3.12 | Esecuzione di una pericardiocentesi eseguita con il ritorno sanguigno sul TraumaMan (a) ed il simulatore in realtà virtuale (b) dove il movimento dell'ago e l'interfaccia aptica sono riportati sullo schermo del pc

vescicale del bacino. L'UltraSim è un simulatore basato su pc che permette di esercitarsi su questa procedura. L'altro esame diagnostico, il DPL è una procedura in cui viene posizionato un catetere nell'addome e quindi prelevato. Se una certa quantità di sangue viene estratta allora la procedura viene considerata di successo e si evita l'intervento chirurgico sul paziente. Il simulatore TraumaMan permette la pratica di questa procedura, ma rimane sempre la limitazione dovuto al suo alto costo.

Anche il prelievo di sangue spesso necessita di essere allenato, ed il più classico simulatore per queste procedure è il braccio di gomma. Viene prodotto da più aziende ed è essenzialmente una ricostruzione di un braccio umano con

Fig 3.13 | Simulatore UltraSim per gli ultrasuoni



(a)

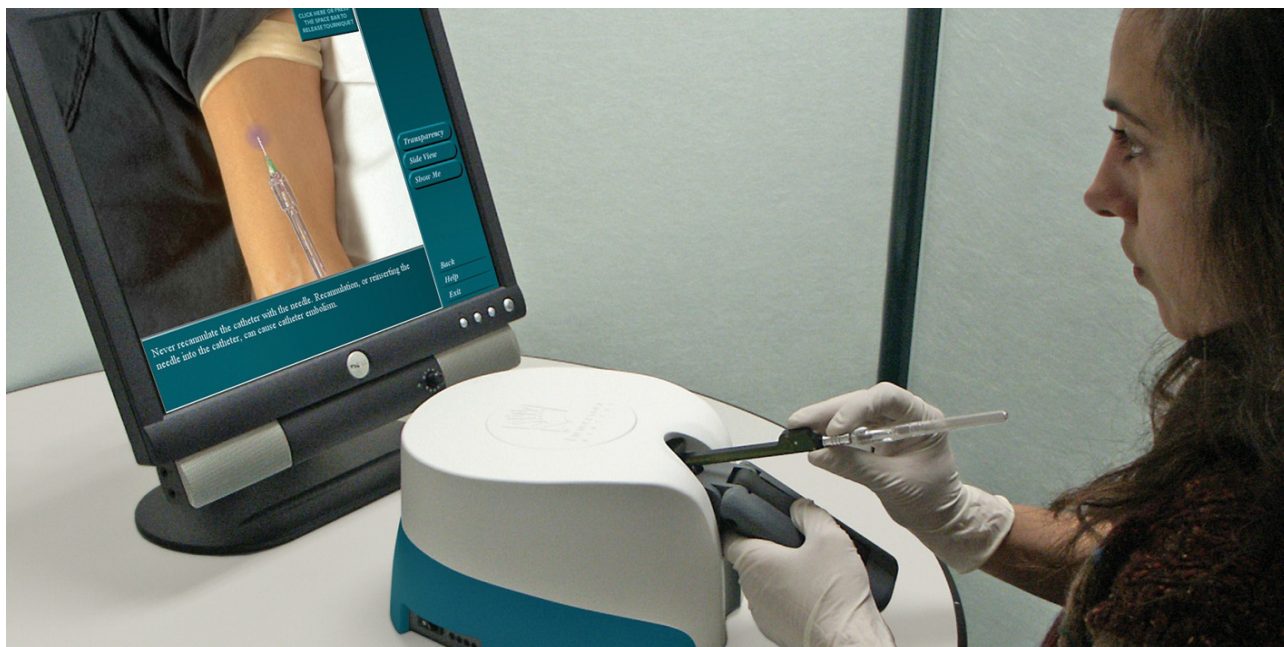


(b)

Fig 3.14 | Un tipico braccio di gomma con il sistema ACF (Antrcubital Fossa Pad)

all'interno della pelle sintetica una serie di tubi pieni di liquido che simulano le vene.(FIG 3.14)
Oltre ai simulatori fisici esistono anche quelli basati su computer per questa procedura, quelli di maggior successo son il CathSim (Fig 3.15) e Virtual-IV entrambi combinano un'applicazione software con un interfaccia aptica per ricreare la procedura.

Fig 3.15 | Simulatore Cathsim per prelievi



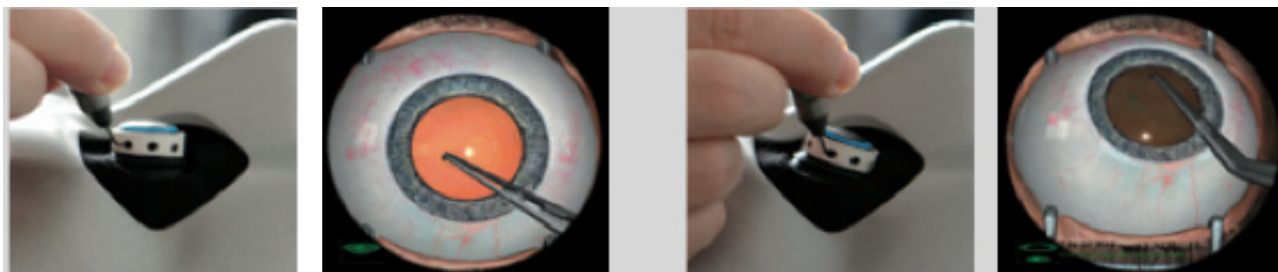
Simulatori per interventi oculari

Il successo degli interventi chirurgici oftalmologici dipende in gran parte dalle abilità acquisite dal chirurgo per l'esecuzione di procedure microchirurgiche e dalla sua ampia esperienza. Per assicurare interventi sicuri e di alta qualità, è generalmente riconosciuto che l'addestramento chirurgico dovrebbe essere rinfrescato e che le abilità dovrebbero essere valutate con intervalli regolari. L'addestramento in sala operatoria con il corrente modello di apprendimento è potenzialmente precario. Inoltre, problemi medico-legali e la riduzione delle ore di addestramento in sala operatoria da parte dello specializzando hanno reso necessario la nascita di nuove

strutture per l'addestramento chirurgico. Quindi molti programmi di addestramento hanno stabilito corsi di interventi per studenti prima che questi entrino in sala operatoria. Sebbene i wet-labs siano utili, hanno delle problematiche logistiche e modelli di tessuti inadeguati. Inoltre le esercitazioni in vivo rendono molto difficile avere una valutazione oggettiva delle abilità a causa delle difficoltà associate all'affidabilità e alla validità delle misurazioni.

Per di più è difficile allenarsi a parità di condizioni cliniche più volte e valutare i miglioramenti nelle medesime condizioni. In accordo con il Council of Graduate Medical Education, gli oftalmologi specializzandi per essere ritenuti adeguatamente addestrati per procedure come

Fig 3.16 EyeSi Simulator - hardware e software



la cataratta dovrebbero eseguire l'intervento almeno 86 volte. In realtà ora gli specializzandi vengono promossi con 120/150 casi di microchirurgia ed alcuni studi evidenziano come la maturità chirurgica venga raggiunta dopo aver eseguito un numero tra i 400 e 1000 interventi [22]. I simulatori offrono potenzialmente la possibilità di raggiungere questi numeri, e anche di mantenere nell'arco della vita lavorativa lo stesso livello di abilità.

Il simulatore EyeSi permette l'esecuzione di interventi intraoculari in realtà virtuale, in un ambiente controllato, sicuro e privo di stress, utile sia per chi ha poca esperienza in questi interventi sia per esperti che vogliono mantenere un livello di addestramento costante (Fig 3.17). Simulatori per traumi oculari da campo di battaglia devono essere progettati appositamente per soddisfare determinati requisiti. Le lesioni agli occhi sono molto frequenti in ambito militare e lo sono ancora di più in situazioni di non combattimento a causa di dispositivi esplosivi, che coprono il 90% delle lesioni agli occhi. Queste lesioni devono essere curate immediatamente per evitare dei danneggiamenti severi e la potenziale perdita della vista. Per soddisfare questa necessità un gruppo di ricerca mista con studenti e professori provenienti dall'Università di Millersville e Pennsylvania state stanno lavorando per fornire agli oftalmologi da campo uno strumento di formazione utile. Il simulatore da loro sviluppato si basa sulla realtà virtuale fornendo un ambiente di apprendimento realistico dove sono possibili numerose

Fig 3.17 | Simulatore EyeSi



Fig 3.18 | Interfaccia utente-simulatore EyeSi



ripetizioni di procedure. Lo sviluppo dell'hardware includerà il modello di una testa su cui avere un feedback aptico. Il modello 3D è stato progettato e realizzato per funzionare con parecchi strumenti, l'occhio è removibile, permettendo così una flessibilità maggiore quando si lavora attorno al bulbo oculare. Questo simulatore permetterà lo sviluppo di abilità di sutura di ferite, con tecniche differenti, seguite passo passo via interfaccia grafica.

Fig 3.19 | Simulatore in fase di sviluppo



Fig 3.20 | Team di sviluppo Millersville University



LE TIPOLOGIE DI INTERVENTO

Introduzione -

Traumi oculari -

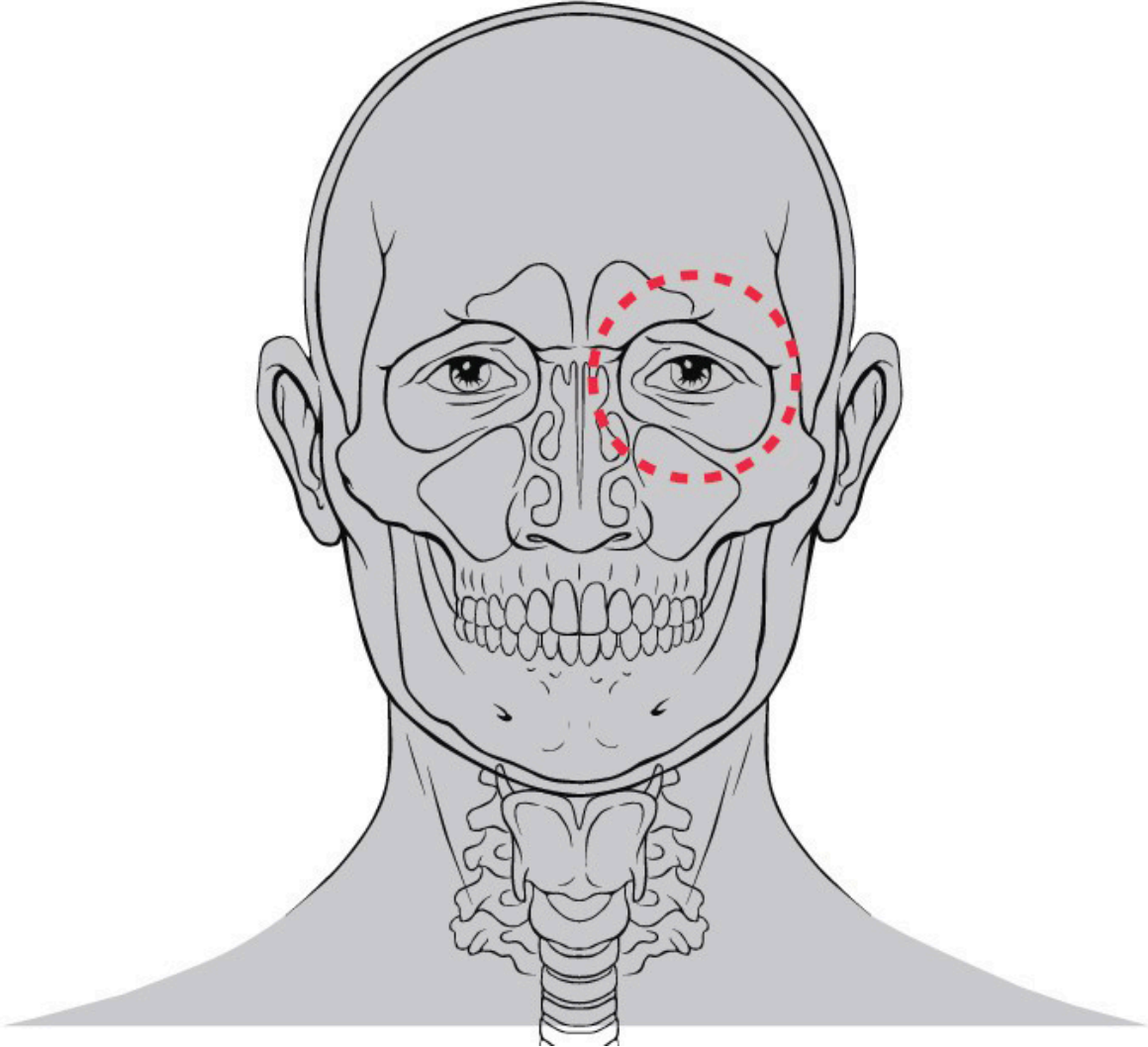
Critotiroidotomia -

4.1 Introduzione

Dopo aver fornito nei capitoli precedenti un'idea generale della simulazione chirurgica e di alcuni simulatori usati in ambito militare, entreremo in modo più approfondito nel caso studio da me affrontato. Di seguito verranno descritte le tipologie di intervento che potranno essere performati sul nostro simulatore, prendendo in considerazione come l'utente debba interfacciarsi con tali traumi.

Osservando ed analizzando le diverse procedure dal vivo, in sala operatoria, è stato possibile capire le reali necessità degli attori attivi nell'esecuzione di questi interventi, le loro difficoltà e le loro aspettative. Questa analisi è necessaria al fine di proseguire in modo adeguato con la progettazione del sistema di simulazione, le relazioni tra la strumentazione e il chirurgo è molto importante come le relazioni interne al team di intervento, nel nostro caso il simulatore sarà progettato anche per un uso individuale il che necessita un'attenta analisi dei ruoli in sala operatoria poiché solitamente gli interventi presi in considerazione sono affrontati in team.

4.2 Traumi oculari



■ Procedura di valutazione

La valutazione iniziale di un paziente con lesioni oculari necessita un approccio sistematico. L'esame fisico dovrebbe procedere passo per passo seguendo una determinata sequenza di operazioni. Non vi è l'esigenza di un gran numero di strumenti complicati. Piuttosto, possono essere fatte delle piccole manovre che spesso possono salvare la vista del paziente e prevenire il peggiorarsi delle lesioni prima che un oftalmologo sia disponibile.

■ Storia del paziente

Ottenere informazioni riguardanti problemi pre-esistenti agli occhi:

- Il paziente usa lenti correttive?
- Esiste un precedente di glaucoma o intervento chirurgico agli occhi?
- Che medicazioni usa il paziente?

■ Sintomi iniziali

Domande chiave al fine di indagare le condizioni iniziali del paziente sono:

- Quali erano i sintomi iniziali?
- Il paziente ha mostrato dolore o fastidio all'esposizione da fonti luminose?
- Si è verificato una repentino calo di vista, che successivamente si è stabilizzato o è progressivo?

In questo paragrafo verranno spiegate quali siano le informazioni che un medico deve ottenere per riconoscere e curare un modo rapido una lesione. I fattori chiave per la valutazione di un paziente con trauma oculare includono: la sua storia clinica, la storia dell'incidente che ha portato alla lesione e il risultato di un'analisi fisica.

■ Storia dell'incidente lesivo

Ottenere una descrizione dettagliata delle circostanze che hanno portato alla lesione. Questa informazione spesso innalza il livello di attenzione per certe potenziali lesioni e il loro sviluppo, come ad esempio l'alto rischio d'infezione per alcuni corpi estranei.

- Era presente un trauma contusivo?
 - La lesione è stata causata da un corpo esterno?(in incidenti automobilistici c'è la possibilità di essere feriti da vetro o parti metalliche)
 - La lesione è stata provocata da un proiettile?
 - C'era la possibilità di una bruciatura termica o chimica?
-

Valutazione fisica

L'analisi fisica deve essere sistematica per valutare le condizioni delle funzioni e le strutture anatomiche. Come per le lesioni di altri organi, la patologia può evolvere nel tempo e il paziente deve essere rivalutato periodicamente. Un approccio diretto all'esaminazione oculare, partendo dalle strutture più esterne verso l'interno assicura che non vengano trascurate lesioni.

Palpebre

Le parti più esterne che devono essere esaminate sono le palpebre e devono essere valutate a seconda della presenza di :

- edema
- echimosi
- bruciature evidenti o lesioni da prodotti chimici
- lacerazioni: mediale - laterale - margine della palpebra - canalicoli
- ptosi
- corpi estranei a contatto con il bulbo
- avulsione del tendine cantale.

Congiuntiva

Valutare la congiuntiva per echimosi, enfisema sbucongiuntivale, emorragia e corpi estranei.

Bulbo

Le palpebre dovrebbero essere divaricate per esaminare il bulbo evitando di pressarlo. Degli speciali divaricatori sono disponibili per questo scopo. Degli applicatori a punta di cotone possono essere usati, dovrebbero essere messi con tatto contro il cerchio orbitale superiore ed inferiore, per evitare che le palpebre si chiudano. Quindi valutare il bulbo anteriormente per un eventuale spostamento dovuto ad un ematoma nel retro-bulbo, e per uno spostamento superiore o inferiore dovuto ad una frattura dell'orbita. Inoltre valutare il bulbo per il regolare movimento oculare.

Pupilla

Valutare la pupilla attraverso la rotondità, la forma regolare e la reazione ad uno stimolo luminoso. E' un test importante per capire i difetti della pupilla. Il trauma al nervo ottico solitamente comporterà il mancato restringimento quando la luce colpisce l'occhio lesionato.

Cornea

Bisogna valutare la cornea secondo l'opacità, ulcerazione, e corpi estranei. La fluorescina e luce blu facilitano questa valutazione.

Lesioni alla palpebra e procedure di riparazione

La lesione alla palpebra si manifesta spesso con marcata echimosi, che rende l'esame della lesioni al globo e alla palpebra difficoltosa. Tuttavia, è da escludere un danno più serio alla struttura sottostante. La palpebra deve essere valutata con attenzione al fine di escludere danni al globo oculare. Se necessario devono

essere usati degli applicatori in cotone con la forza per aprire l'occhio ed esaminare il globo. Lacerazioni della palpebra superiore e inferiore che sono orizzontali, superficiali e non coinvolgono muscoli nella parte superiore possono essere suturate dal dottore che esamina il paziente.

Lesioni che richiedono trattamento da parte di un oftalmologo:

Tagli che coinvolgono il canthus mediale che possono aver danneggiato il canicolo mediale.

Lesioni al dotto lacrimale che può portare a problemi di respirazione se non curati in modo corretto.

Lacerazioni orizzontali profonde della palpebra superiore che possono coinvolgere la muscolatura.

Lacerazioni ai margini della palpebra che possono essere difficili da suturare.

Le suturazioni che andremo simulare saranno le seguenti :

Sutura palpebra

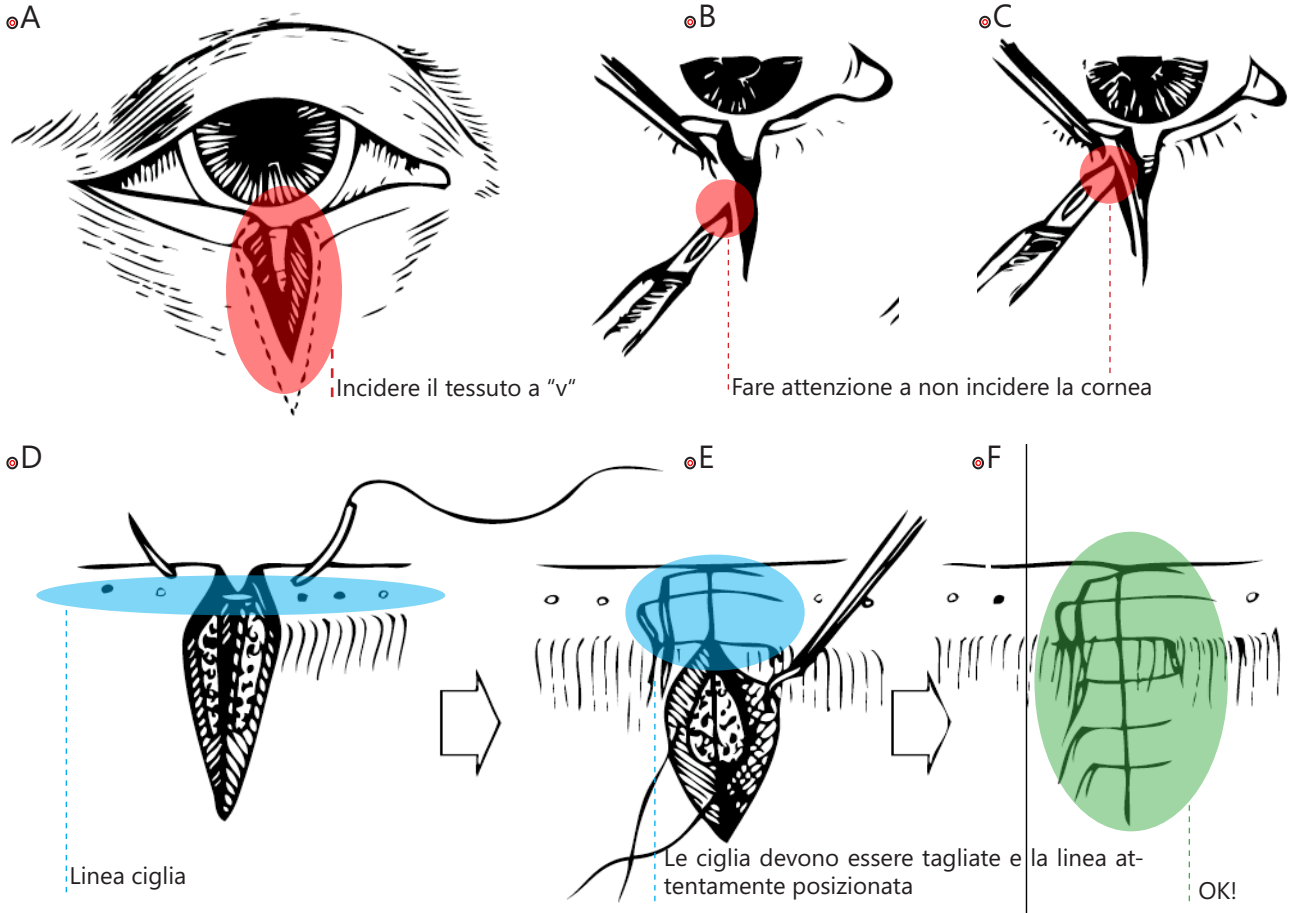
Sutura quando manca un pezzo di palpebra

Sutura palpebra dividendo il canto esterno

Sutura della palpebra

La sutura della palpebra quando viene perso solo una piccola parte di lembo non è un intervento difficile. Quello che il medico deve fare è ricongiungere le parti della palpebra, prima bisogna creare dei lati puliti al taglio facendo

attenzione a non danneggiare la cornea con il bisturi.(A,B,C). Dopo di che si può passare alla sutura, procedendo dall'alto verso il basso, il primo punto va messo al di là della linea delle ciglia. D E F

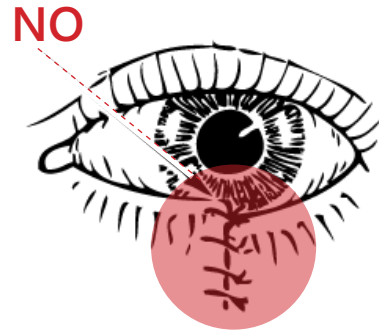


■ Sutura quando manca un pezzo di palpebra

Quando il tessuto viene perso dalla palpebra:

● Step A

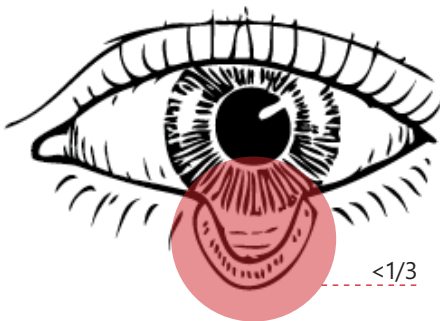
Non intagliare il bordo della palpebra del paziente.



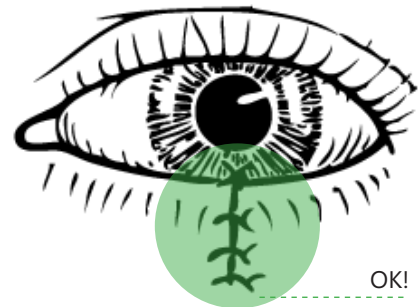
○A

● Step B-C

Se è stato perso meno di un terzo chiudere il taglio direttamente.



○B

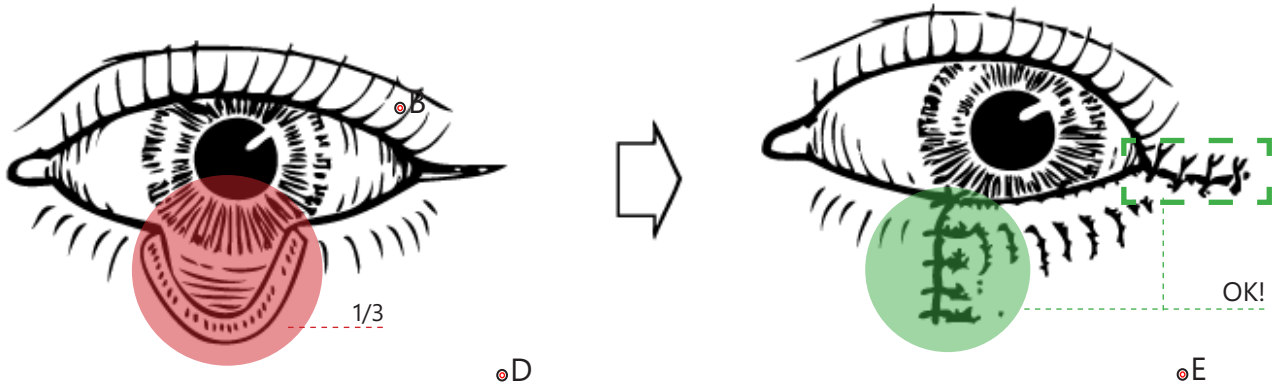


○C

● Step D-E

Se è stata persa una parte tra un quarto un terzo bisogna prima fare un taglio di distensione

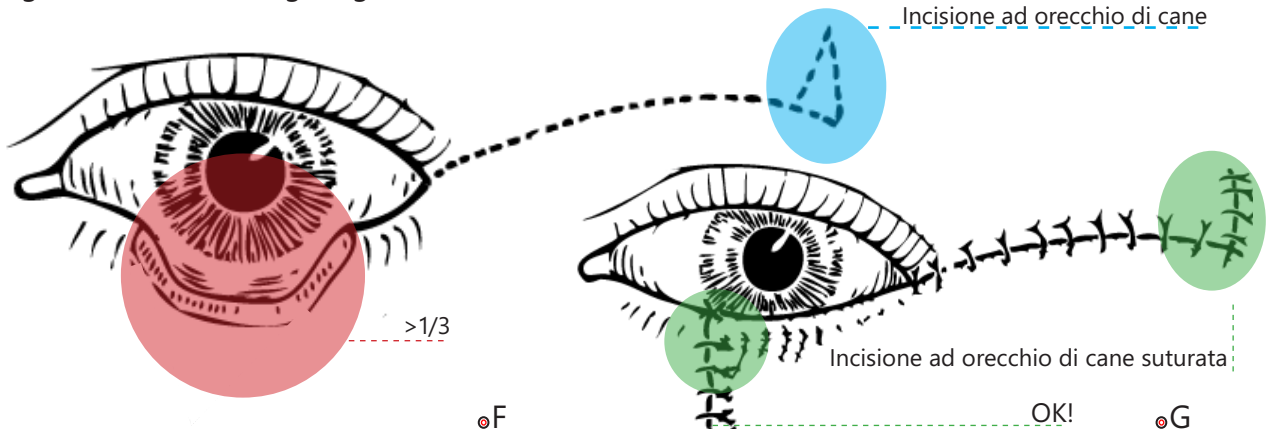
laterale e dividere il legamento cantale laterale come si può vedere nell'immagine successiva.



● Step F-G

Se la parte mancante è superiore ad un terzo bisogna effettuare un largo taglio di distensione

ne e scalzare il tessuto della guancia del paziente.



Sutura palpebra dividendo il canto esterno

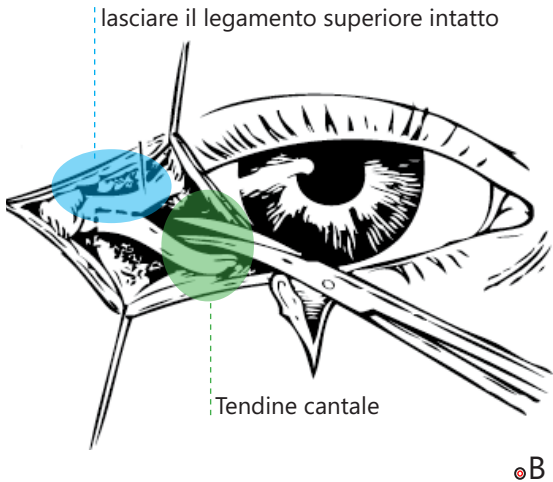
Step A

Incidere alcuni millimetri sotto il margine delle ciglie



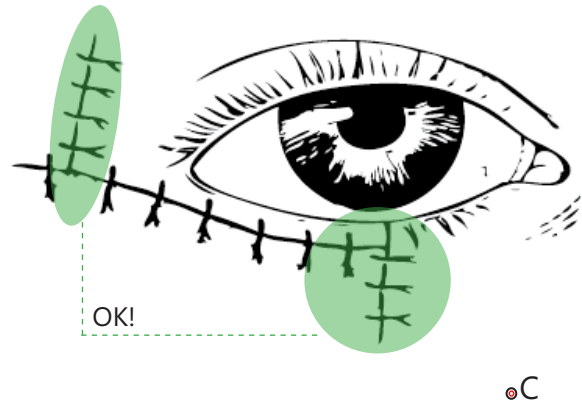
Step B

Trovare il tendine cantale laterale ed iciderlo



Step C

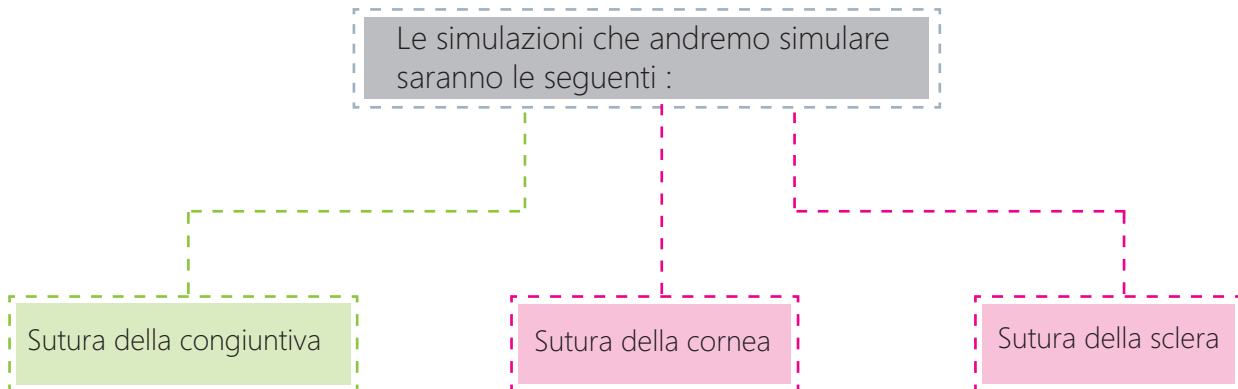
Scalzare il lembo cutaneo e riparare il difetto



Lesioni del bulbo oculare e procedure di riparazione

Un paziente con il bulbo oculare lesionato ha una menomazione visiva. L'occhio è morbido perché la pressione inter-oculare diminuisce e la camera anteriore può appiattirsi o seccarsi. Se la rottura è anteriore, il contenuto oculare potrebbe sembrare che esca dall'occhio. L'obiettivo della prima analisi di un bulbo lacerato è quello di proteggere l'occhio da successivi danni. Delle garze sterili ed una protezione rigida dovrebbero essere immediatamente applicate

una volta riconosciuta la lesione per evitare pressioni accidentali che causerebbero la fuoriuscita del contenuto dell'occhio. Se il paziente riscontra dolori e una perdita della vista costante potrebbero esserci dei corpi estranei all'interno dell'occhio, bisogna quindi che il medico ispezioni con cura la superficie del globo ed identificare anche la più piccola lacerazione provocata dal corpo estraneo.



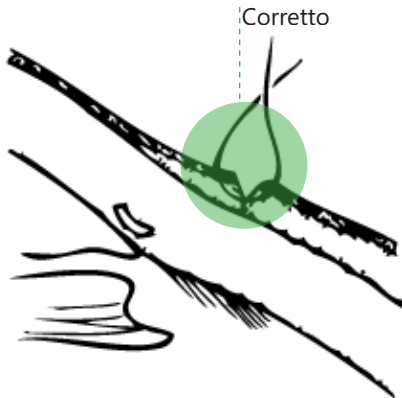
Sutura della congiuntiva

rendere bulbo

Non bisogna suturare piccole lacerazioni!

Step B

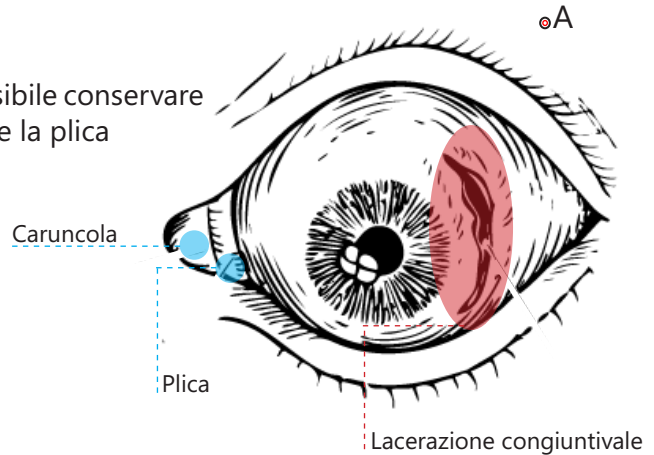
Suturare nella posizione corretta



⦿B

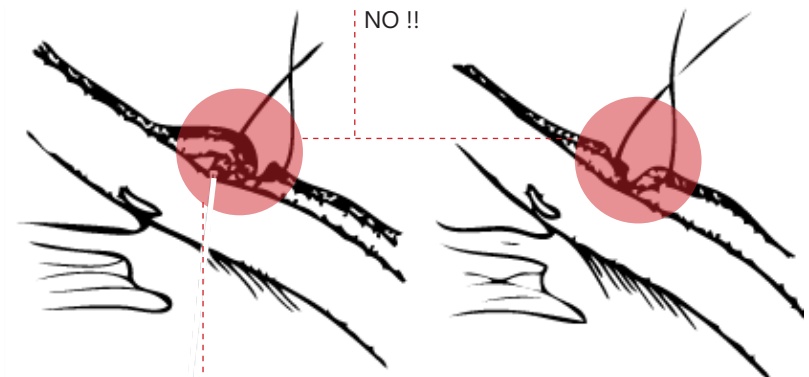
Step A

Quando possibile conservare la caruncola e la plica



Step C

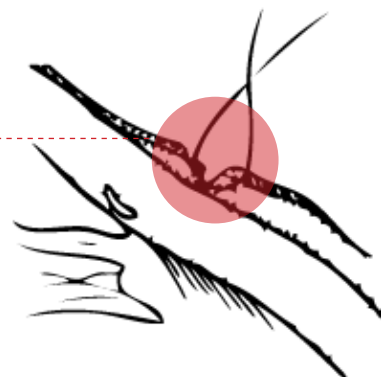
Se la congiuntiva viene ricucita in questo modo, posso svilupparsi delle cisti inclusive



⦿C

Step D

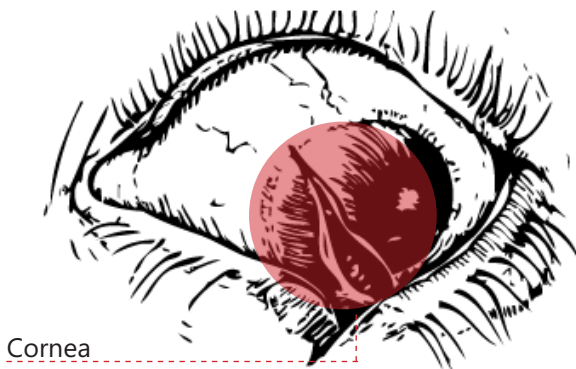
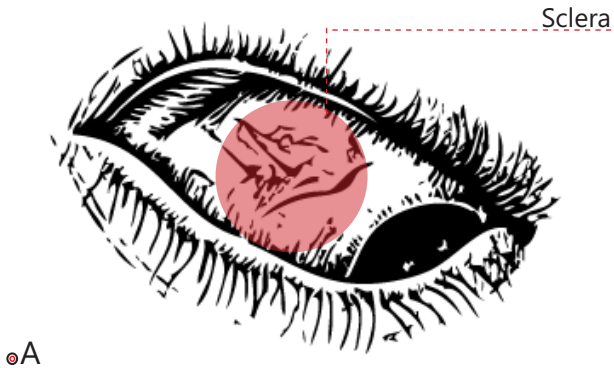
Questa sutura permetterà alla capsula di Tenon di erniarsi nella ferita



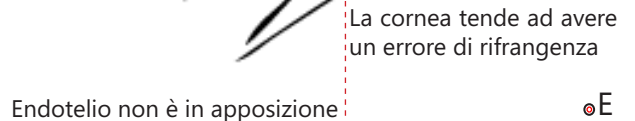
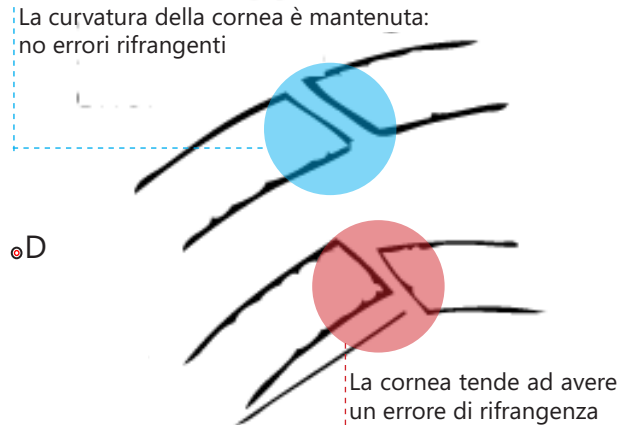
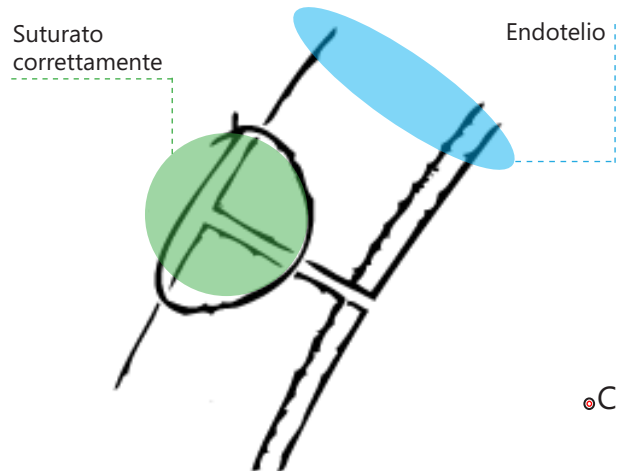
⦿D

Sutura della cornea e sclera

Nell'immagine A viene mostrata la lacerazione della sclera di un paziente, mentre nella B la lacerazione della cornea e della palpebra. Il primo passo da effettuare è una sutura tra la sua cornea e il terzo posteriore, non è facile dato il piccolo spessore delle parti, solo 1 mm.

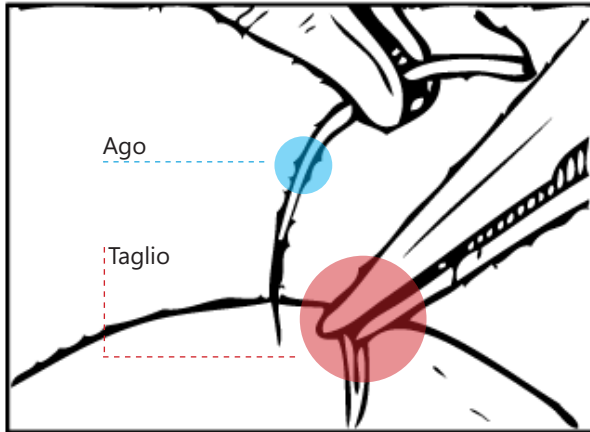


Se la lacerazione mantiene comunque la curvatura (D) ci sarà meno urgenza di sutura rispetto ad una lacerazione deformata (E). I lati del taglio sulla superficie posteriore della cornea devono essere in contatto.



● Step F

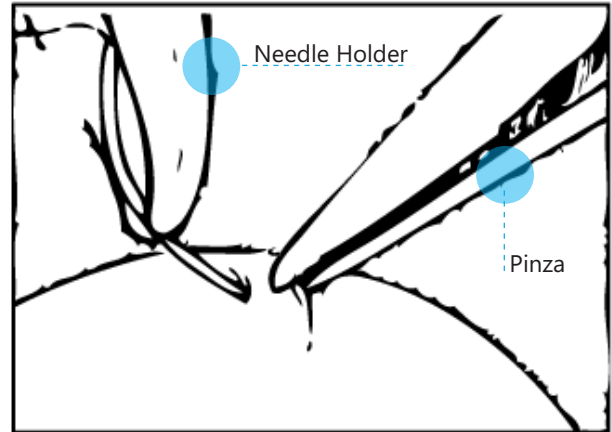
L'ago deve entrare a 90 gradi nella cornea



◉F

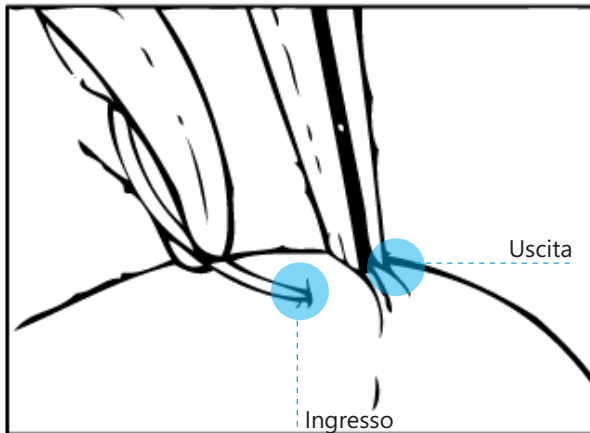
● Step G

L'ago deve attraversare il taglio



◉G

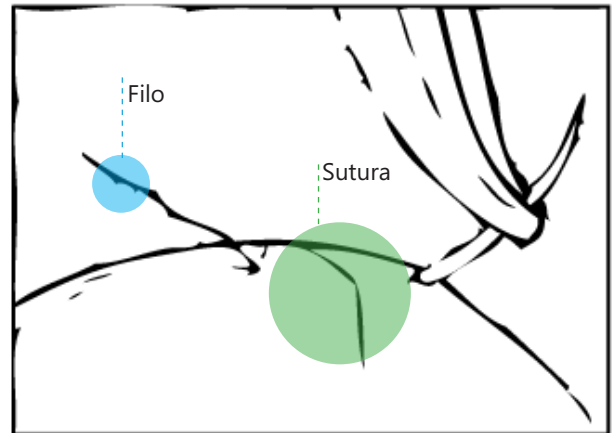
◉H



● Step H

E deve entrare nell'altro lato.

◉I

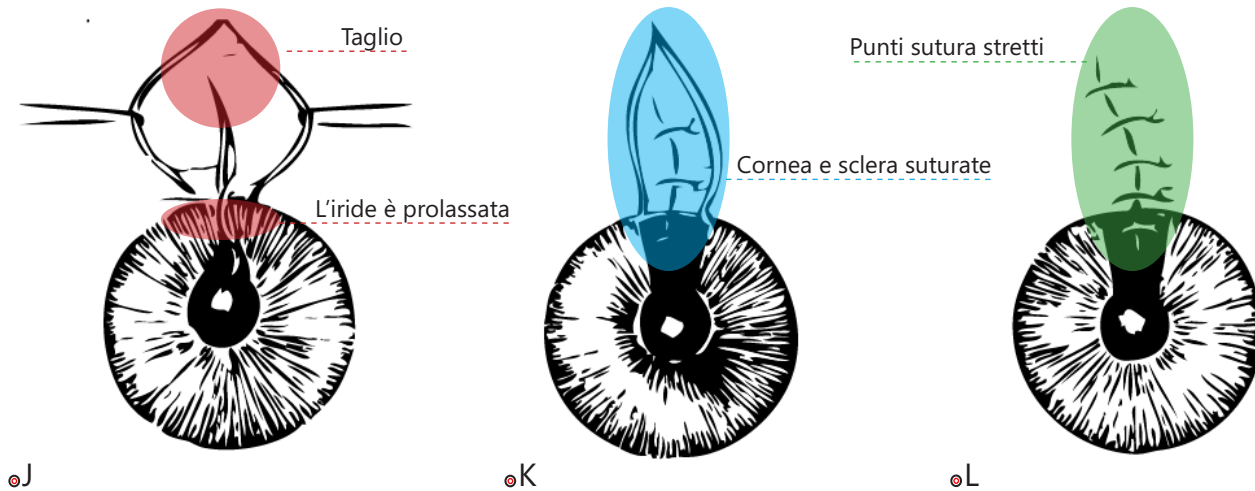


● Step I

Spingendo l'ago al di fuori

● Steps J- K-L

Esempio di un taglio della cornea e della sclera



● Steps M-N-O

Tecnica dei nodi per sutura cornea



C Cantotomia

Se si accumula liquido sangue o altro tra la struttura ossea dell'orbita e parti relativamente poco estensibili quali le palpebre, si può rapidamente determinare un danno per le strutture interne dell'occhio. L'eziologia è quasi sempre traumatica o secondaria ad una procedura chirurgica Quali sono le manifestazioni cliniche?

intenso dolore oculare

ridotti movimenti dell'occhio interessato con secondaria diplopia

diminuzione dell'acuità visiva

aumento della pressione endoculare

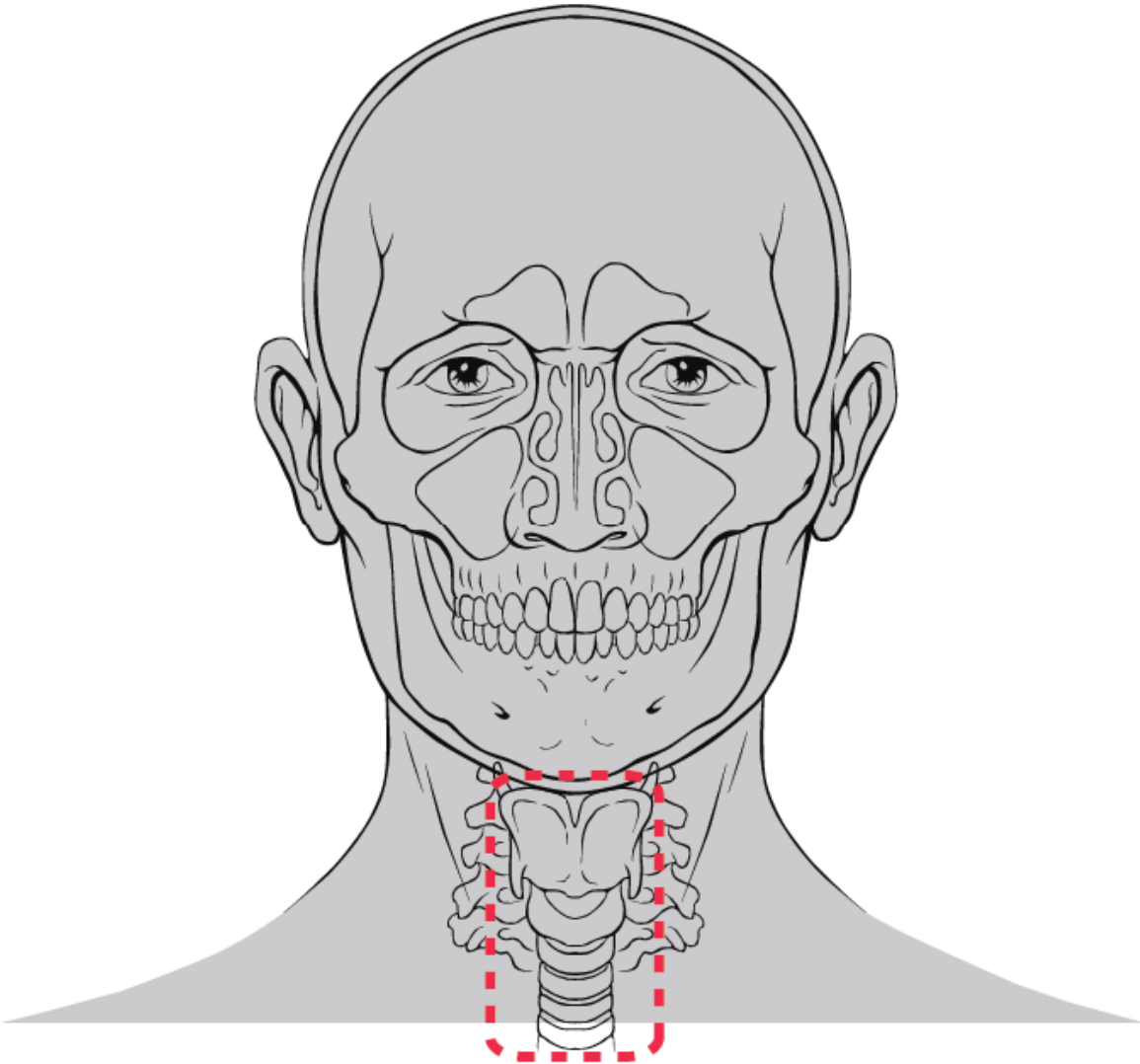
torpida risposta pupillare

esoftalmo

E' una delle poche vere emergenze oculistiche e richiede un rapido intervento di cantotomia; se, infatti, non si interviene entro due ore, l'occhio andrà incontro ad una ischemia retinica con conseguente cecità.

Come sostiene McGonigal nel suo blog, la procedura non è per i "deboli di cuore", ma dovrebbe essere patrimonio di tutti i medici di emergenza , soprattutto di quelli che lavorano in centri in cui non vi sia un oculista prontamente disponibile.

4.3 Cricotiroidotomia

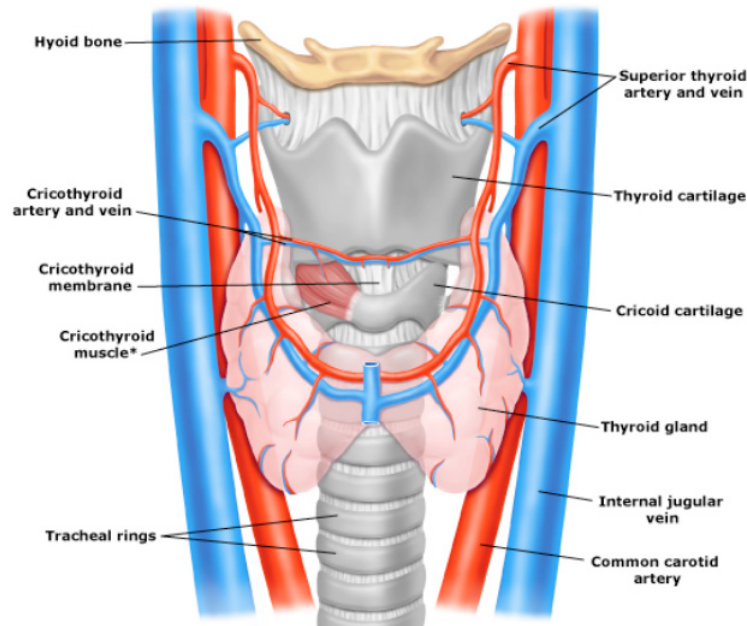


Introduzione

La cricotiroidotomia è una procedura nella quale un medico inserisce un tubo tracheostomico nella membrana cricotiroidea attraverso un taglio per creare una via aerea per l'ossigenazione e la ventilazione. Questa procedura è eseguita raramente durante il percorso educativo anche se è una procedura potenzialmente salva vita in pazienti con le vie respiratorie compromesse, i medici che sono a contatto con problemi respiratori dovrebbero rimanere sempre allenati per eseguire queste procedure e per essere in grado di riconoscere i problemi anatomici in modo efficace.

La cricotiroidotomia è indicata quando le vie aeree sono in condizioni di emergenza e non si possono eseguire intubazioni orotracheali o nasotracheali perché contro indcate. Quando un medico non può intubare o ventilare un paziente, creare celermente un'alternativa via respiratoria è di cruciale importanza. Se non si fornisce ossigeno al cervello entro 3/5 minuti si può arrivare ad avere morte cerebrale.

Fig 4.1 | Anatomia Trachea



Procedura

Devono essere usate le precauzioni standard per proteggersi contro l'esposizione al sangue o altri liquidi corporei, questo include l'uso di guanti, maschera, protezioni agli occhi e copriscarpe.

■ Step 1

Immobilizzare la laringe e palpare la membrana cricotiroidea, eseguire la procedura con la mano dominante e con quella non dominante mantenere immobilizzata la laringe.



■ Step 2

Incidere la pelle verticalmente. Dopo aver palpato la membrana bisogna tracciare una linea mediale verticale di 3-5 cm lunga lungo la pelle che copre la membrana.



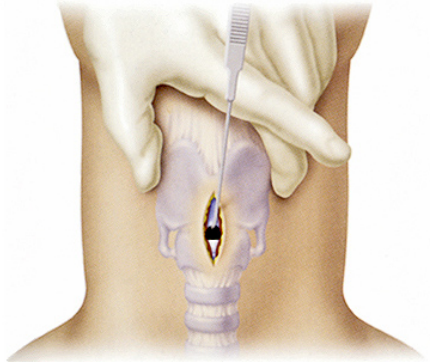
■ Step 3

Incidere la membrana cricotiroidea orizzontalmente. Il taglio deve essere 1 cm orizzontale, il taglio deve essere fatto con cura, troppo sforzo danneggerebbe il muro posteriore della trachea.



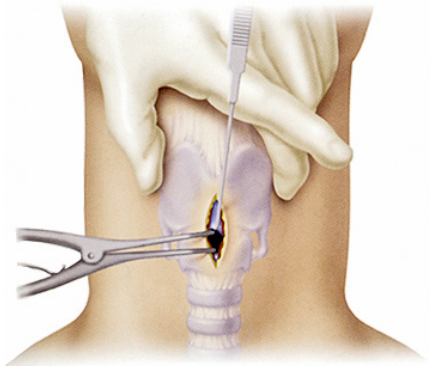
■ Step 4

Inserire il gancio tracheale sotto la cartilagine tiroidea e chiedere assistenza, se possibile, per avere una trazione superiore.



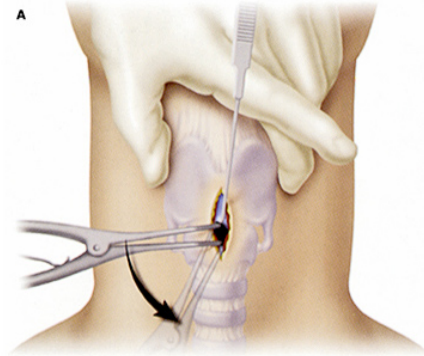
■ Step 5

Inserire il dilatatore di Trousseau ed aprirlo per allargare l'incisione verticalmente.



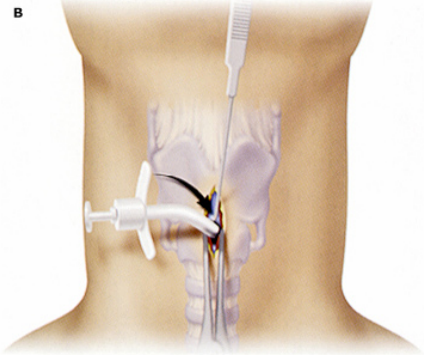
■ Step 6

Inserire il tubo tracheostomico dopo avere dilatato l'apertura, quindi rotare il tubo di 90 gradi in modo che la maniglia sia diretta verso i piedi del paziente ed inserire il tubo tra pinze del divaricatore di Trousseau.



■ Step 7

Rimuovere l'otturatore.

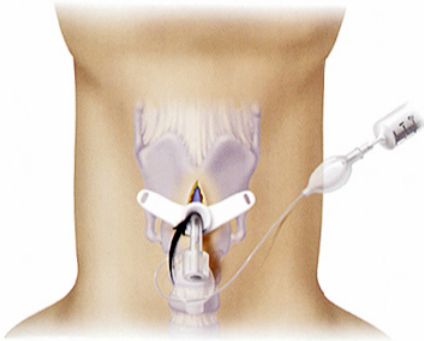


■ Step 8

Inserire la canna interna e gonfiare il pallone.

■ Step 9

Attaccare il tubo tracheostomico al ventilatore artificiale o al pallone autoespandibile.



OVERVIEW DEL SIMULATORE: HARDWARE E SOFTWARE

Introduzione -

Sistema di tracciamento -

Struttura e realizzazione anatomica del manichino -

Strumenti chirurgici -

Schede elettroniche -

Hardware per la realtà aumentata -

Contenuti e architettura di apprendimento -

Acquisizione dati e Software -

Trials per l'acquisizione dati -

TrackSim:

Funzione?

SIMULARE
INTERVENTI
CHIRURGICI

Derivati da:

TRUAMI
OCULARI E
CRANIOFACCIALI

Lacerazione bulbo

Lacerazione plapebra

Cantotomia

Cricotiroidotomia

Chi lo usa?

Studenti
Esercitori dell'esercito
Medici pronto soccorso
Oftalmologi
Medici generici
Medici da campo
Assistenza

INTERAZIONI
utente-simulatore

OUTPUT

Sistema di allerta sonoro
Movimento dell'occhio
Contrazione della pupilla
Feedback sull'esercitazione
Feedback aptico
Avviso di sanguinamento
Movimento respiratorio
Avvisi sull'HW per AR
Temperatura

Dove?

Ospedali
Classi
Lab. per la simulazione
Disastri di guerra
Incidenti di guerra

INPUT

Eseguire procedure chirurgiche
Login e navigazione nel profilo
Selezionare il tipo di esercitazione
Revisionare il curriculum
Aggiungere un nuovo curriculum
Revisionare l'operato a fine prova
Tracciamento strumenti
Tracciamento ago di sutura

Strumenti

HARDWARE

Stand
Sistema di tracciamento
Microscopio
Strumenti chirurgici
Manichino
Occhiali magnificati
Camera
Luci
Proiettore
Kinect
Protezione per gli occhi
Moduli scenario

SOFTWARE

Software fisiologia
Software per l'acquisizione dati
Software istruttore
Software simulazione

5.1 Introduzione

Le varie tipologie di simulazione e i correlati simulatori sono stati introdotti, ora verranno descritti tutti la componenti hardware necessari al fine di sviluppare il nostro simulatore. Questo è necessario per comprendere gran parte delle scelte progettuali che verranno effettuate e per meglio comprendere come le scelte prese sono state sempre una sintesi tra requisiti hardware e requisiti derivati dall'utilizzo del sistema da parte dell'utente.

Il nostro simulatore stand-alone con realtà aumentata e contenuti per l'insegnamento e la valutazione. Consisterà in un manichino testa e collo, con moduli replicabili. Strumenti chirurgici saranno tracciati nello spazio con sei gradi di libertà e la forza di afferraggio verrà misurata. I componenti fisici saranno parte integrante del sistema di insegnamento che terrà conto dell'identità e delle performance dell'utente.

5.2 Sistema di tracciamento

Per considerare un simulatore efficace, come precedentemente descritto, è necessario fornire al tirocinante un feedback sul lavoro svolto. Questo può essere fatto in vari modi, un tutor potrebbe visionare direttamente lo studente e consigliarlo passo per passo, nel nostro caso invece, forniremo allo studente la possibilità di capire in tempo reale l'efficacia di un intervento, poiché verranno misurati numerosi dati che, una volta analizzati, rilasceranno

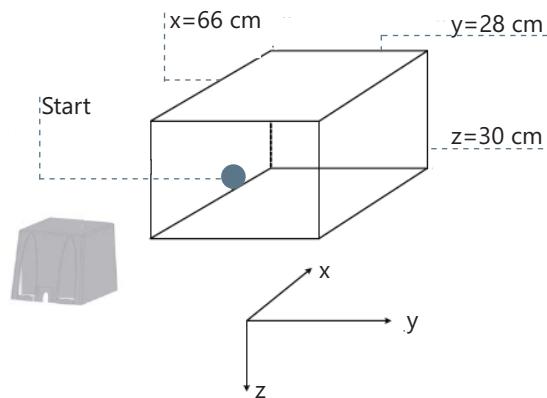


Fig 5.1.1 Volume di maggiore precisione del campo

una valutazione oggettiva sull'operato.

Il primo dato necessario al sistema al fine di valutare l'esecuzione di un determinato task, è la posizione dello strumento nello spazio. Sapendo dove si trova e conoscendo la posizione esatta del manichino, si può valutare con precisione elevata su che parte anatomica lo studente si sta esercitando. Nel nostro caso sarà anche utile, non solo per capire in che zona si ha l'inerazione strumento-tessuto, ma anche per capire se vengono fatti i giusti movimenti per le suture e i nodi di chiusura che ne seguono, infatti esistono differenti tecniche di sutura, al variare della lesione e del filo scelto bisogna seguire determinate procedure. Riconoscere il movimento dello strumento nello spazio permetto al sistema di confrontare il percorso eseguito da uno studente a quello prer-acquisito eseguito dall'esperto, in modo da avere dei dati oggettivi di valutazione.

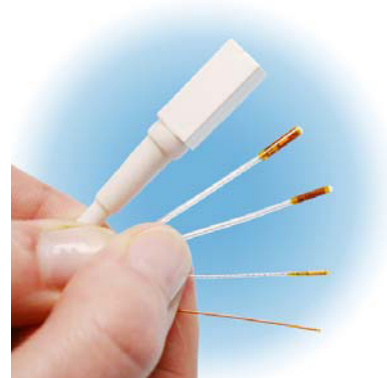
La tecnologie che consentono localizzazione e tracking real-time sono parecchie, ognuna delle quali con dei pro e dei contro, in base alla precisione di rilevamento, struttura, qualità dei sensori, costi ed adattabilità. Nel nostro caso verrà utilizzato il sistema di tracking 3D GUIDANCE trackSTAR della ASCENSION TECH. USA mentre per i senso miniaturizzati magnetici utilizzeremo il Model 180 6DOF sensor. Il sistema di tracciamento è composto da una scatola contenente l'elettronica, un'antenna trasmittente. La scatola ha quattro ingressi, il che vuol dire che possono essere rilevati un massimo di 4 sensori nello stesso istante. L'antenna propaga nello spazio un campo magnetico, che può essere idealizzato ad un parallelepipedo, all'interno del quale i sensori sono rilevati con la migliore accuratezza. Il sistema necessita di essere calibrato via software in modo da poter cono-

scere la coordinate X,Y,Z del sensore rispetto all'origine del campo. Il campo magnetico, data la sua natura, risente di variazioni quando all'interno vengono introdotti corpi solidi. I materiali di questi solidi sono determinanti per la gravità della distorsione del campo che provocano, metalli ferromagnetici sono i più critici, ma anche alluminio e plastiche possono portare a variazione del campo. Il manifestarsi di questo evento influisce in modo determinante la progettazione, poiché bisognerà evitare di far entrare in contattato oggetti ferromagnetici con il campo di tracciamento. Il volume di massima precisione (MagicBox) viene fornita dal produttore (immagine) e sarà nostro compito evitare di distorgerlo il meno possibile. Se il campo varia nel tempo anche le coordinate spaziali del sensore non saranno costanti, il chè comprometterebbe l'affidabilità del tracciamento.

Fig 5.2 | 3D GUIDANCE trackSTAR della ASCENSION



Fig 5.3 | Sensore di rilevamento



5.3 Struttura e realizzazione anatomica del manichino

Al mio arrivo nel SimulationGroup i componenti anatomici realizzati comprendevano: un manichino con testa e collo e parecchie copie dei un modulo contenente il tessuto delle sopracciglia, la guancia superiore, e il bulbo oculare. Queste parti saranno tutte comprese nel simulatore finale che verrà progettato anche in base alla loro struttura. Descriverò quindi brevemente le tecniche di fabbricazione di queste parti.

Testa: pelle e struttura interna

Grazie alla partecipazione di un volontario, maschio adulto, è stato creato una colata viva utilizzando tecniche e materiali standard (plaster e silicone) per creare lo stampo esterno. Questo stampo è stato rimosso dal modello e usato per colare la prima copia di argilla della testa del modello. Questo copia positiva è stata rivestita e ritoccata a mano e stampata ancora per creare lo stampo finale della testa. Il plastico positivo è stato colato dallo stampo e scannerrizzato via laser, così che è stato creato un modello a CAD disponibile per la simulazione. Un secondo positivo, fatto di argilla modellata è stato rifinito per approssimare la forma del

Fig 5.4 | Sequenza creazione manichino, creazione delle stampo da uomo, colata resina e risultato finale



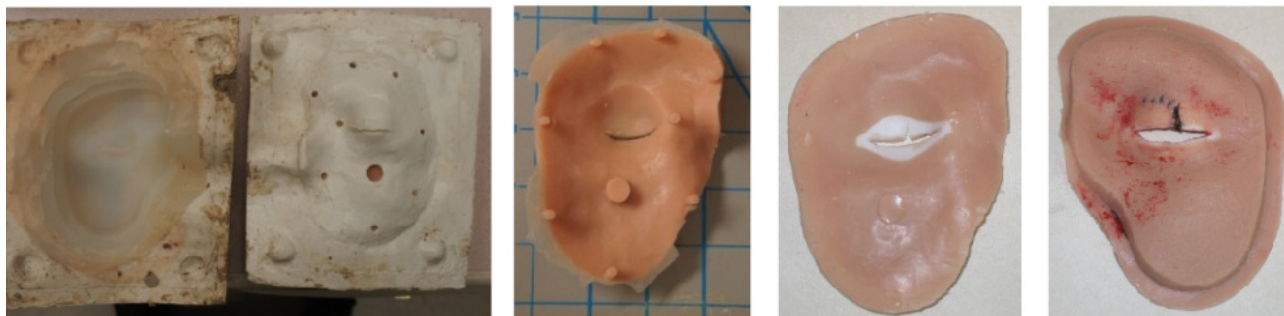
teschio sottostante basato sullo spessore classico della tessuto morbido che ricopre il teschio. Nella regione occipitale è stata creata una cavità ritagliando la superficie così che dei moduli sostituibili giacenti in questo spazio potessero conseguentemente essere fabbricati. Infine la struttura esterna e l'anima interna sono stati riassamblati con un inserto addizionale occupante la cavità oculare. Un pelle di silicone con i corretti contorni esterni ed interni e lo spazio oculare è stata creata. Il modello CAD è stato usato per creare un rapido prototipo dell'anima utilizzato per il montaggio dei componenti sostituibili e nell'iniziale montaggio dell'antenna del sistema di tracciamento.

Appendice oculare

L'apertura nello strato della pelle circonda gli inserti del modula trauma, che includono le palpebre e i tessuti circostanti, entrambi creati in silicone. Le palpebre sono strutture complesse

che includono multipli strati di tessuto ed una varietà di complesse caratteristiche anatomiche esterne, tuttavia le cose più significative per il nostro scenario di primo trauma sono: la pelle e il piatto tarsico. Il piatto tarsico è stato progettato dalla prima scansione laser del colaggio del positivo di plastica dal portale dell'occhio. Il modello 3d scannerizzato è stato importato in SOLIDWORKS e la superficie del modello della palpebra è stata inspessita per creare lo stampo per il piatto tarsico. Lo stato è stato quindi stampato con una stampante 3D in grado di ottenere parti lisce e chiare. Durante la fabbricazione, una rete di naylor è stata racchiusa tra le due parti dello stampo del piatto tarsico e il silicone è stato iniettato dentro lo stampo. La rete aiuta a limitare la tendenza delle punture e dei tagli in silicone a di propagare. La pare viene quindi rimossa dallo stampo e posizionato nel portale dove il silicone è ancora iniettato per creare la palpebra con il piastra tarsale.

Fig 5.5 | Stampo per creazione del portale oculare ed alcuni portali in siliconi differenti



Bulbo oculare

La versione attuale del bulbo è stato creato con differenti gradi di silicone. Una maglia di nylon è avvolta attorno alle due parti del nucleo dello stampo interno. Un nucleo esterno viene allineato e collegato con l'interno e il viene iniettato il silicone bianco, formando la sclera (parte bianca dell'occhio). Uno stelo sul retro dell'occhio permette di rimuovere il nucleo interno. Conseguentemente alla rimozione vengono aggiunti al bulbo delle lenti di silicone chiaro, l'iride colorata e la cornea chiara ed un tappo per riempire la parte lasciata vuota dalla rimozione dello stelo nella parte posteriore del bulbo. L'attacco comprende un foro di accesso, riempito di silicone adesivo, che si autosigilla dopo la puntura. Una siringa viene usata per rimuovere l'aria dal bulbo e rimpiazzarla con un materiali che simuli l'umor vitreo, un materiale simile alla gelatina che riempie l'occhio umano dietro le lenti.

5.4 Strumenti chirurgici

Nell'esecuzione degli interventi riguardanti le parti degli occhi, sono necessari parecchi strumenti chirurgici. Per il nostro simulatore forniremo all'utente pinze per suture Castroviejo, porta aghi curva Castroviejo, fobici Wescott, di differenti dimensioni per procedure specifiche, raggiungendo il numero totale di 9 strumenti. Durante la simulazione è necessario che lo strumento sia localizzato nello spazio, che il pc rilevi quando vengano aperti e chiusi, con che forza agiscono sui tessuti e il movimento della mano del chirurgo per conoscere la traiettoria della procedura eseguita dal tirocinante che verrà poi analizzata e valutata. Per valutare il movimento dello strumento useremo un sistema di tracciamento magnetico, precedentemente descritto. Al fine di essere compatibili con in suddetto sistema tutti gli strumenti saranno in titanio, in modo che non creino interferenza con il campo magnetico.

Fig 5.6 I

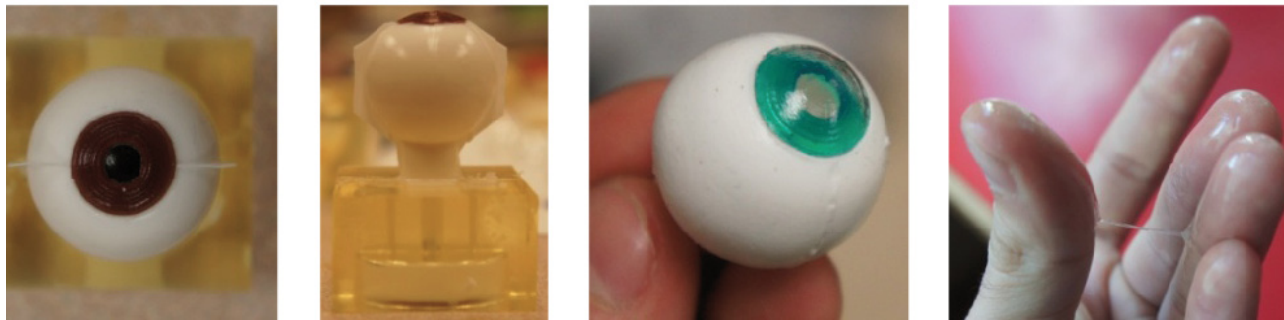
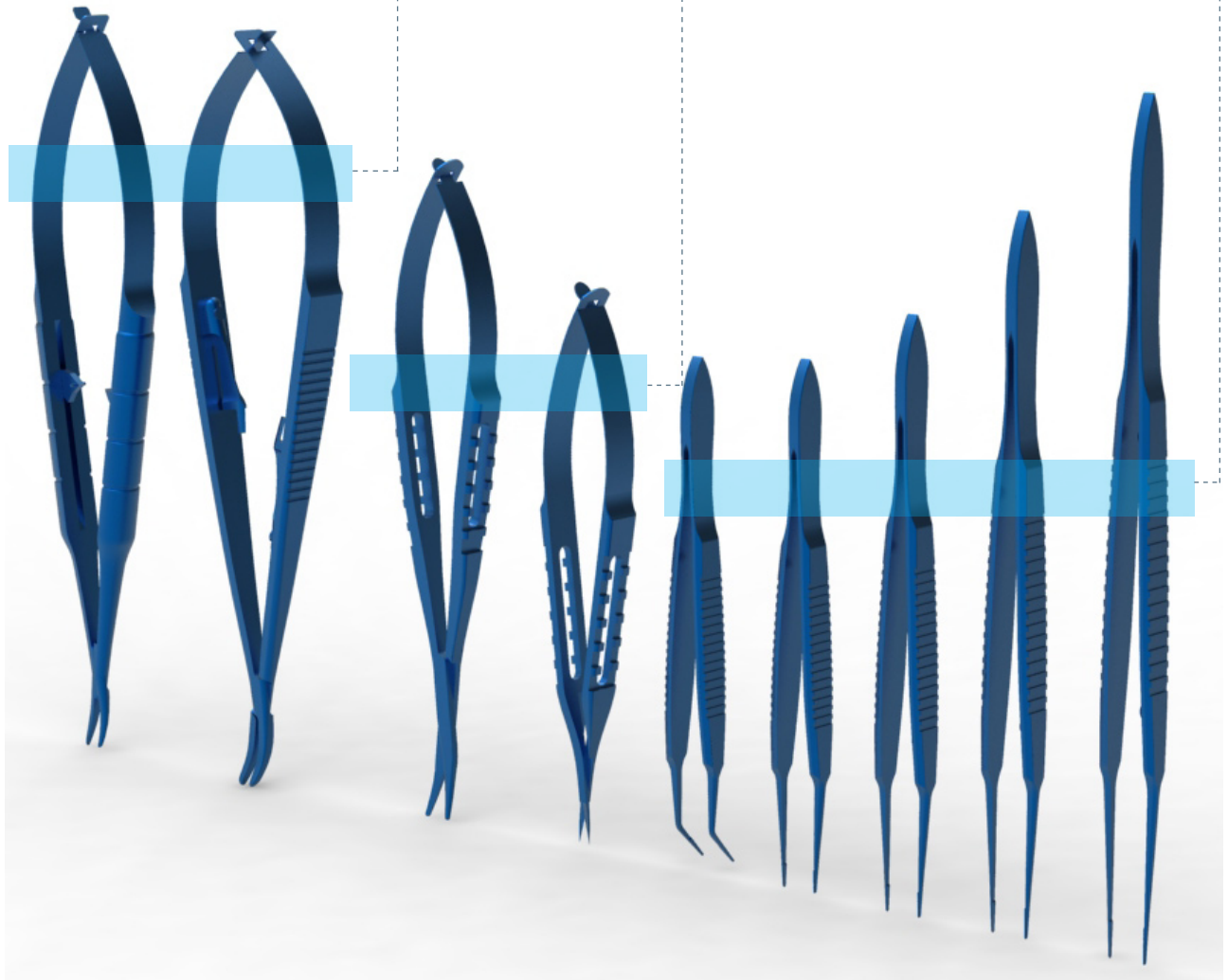


Fig 5.6 | Strumenti chirurgici

Needle Holder Castrovejo

Forbici Wescott

Pinze Castrovejo



Tutti gli strumenti sono stati equipaggiati con degli estensimetri (CEA-06-062UW-350), Micro-Measurements, USA), che sono stati posizionati nelle zone appropriate dopo un'analisi agli elementi finiti (Solidworks 2012), questo per determinare l'apertura e la chiusura delle punte e per misurare la forza applicata dalle punte delle pinze al tessuto.

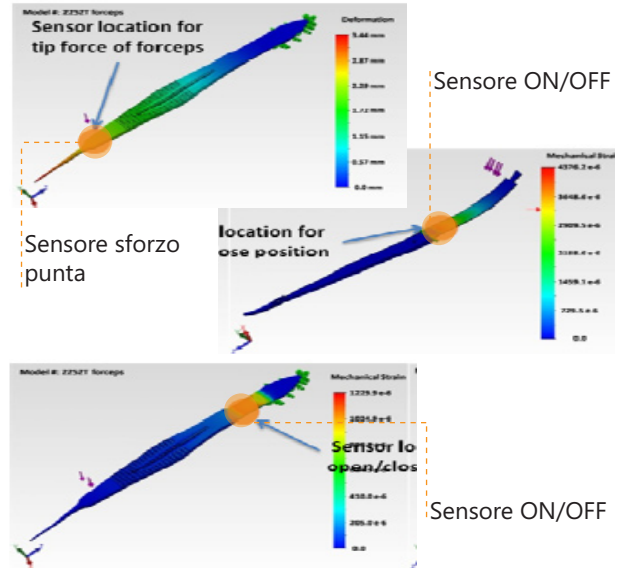


Fig 5.7 | Analisi FEM per posizionare estensimetri

5.5 Schede elettroniche

Per convertire il segnale in uscita dei sensori in dati utili per il nostro sistema è stato sviluppato nel laboratorio una scheda miniaturizzata, che chiameremo scheda di condizionamento, delle dimensioni di 10 mm X 16 mm, composto da un microcontrollore (Microchip PIC18F2450) ed altri componenti elettronici, e sono state incorporate ad ogni strumento. Questo si è reso possibile sviluppando dei contenitori incorporati agli strumenti, realizzati tramite stampa 3D (i connettori verranno discussi nel capitolo X)

Fig 5.8 | Scheda di condizionamento

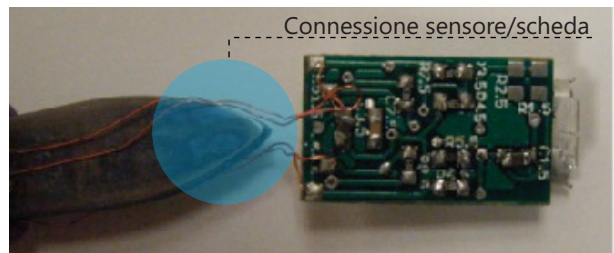
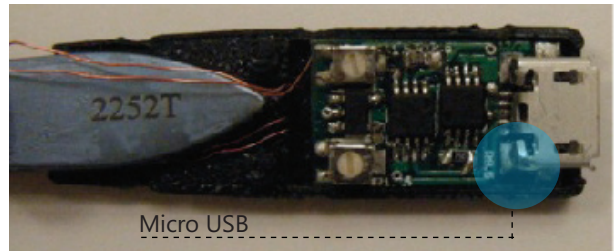
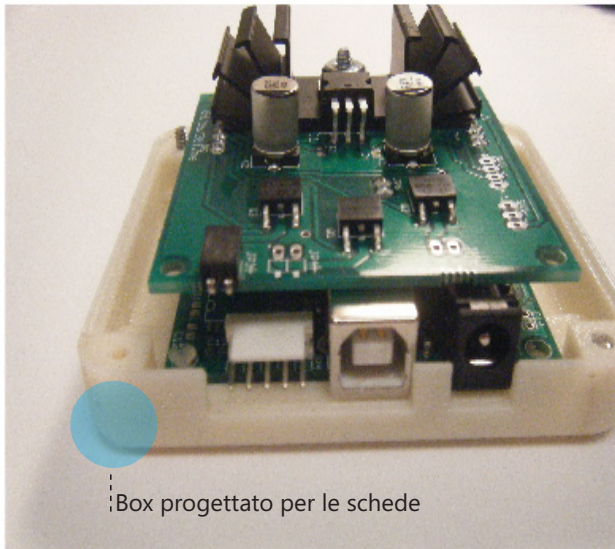
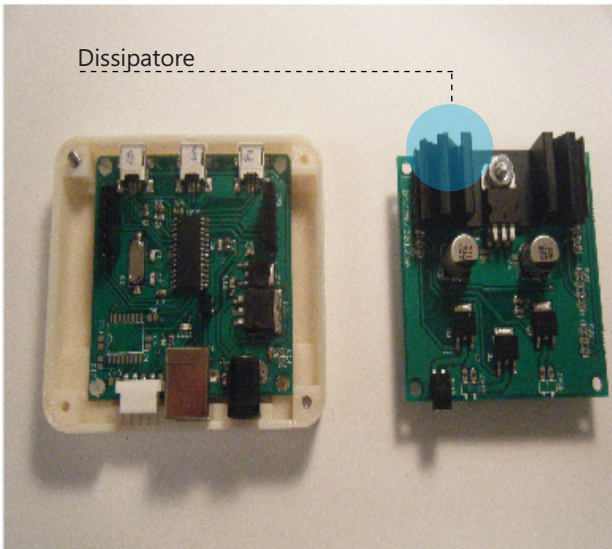
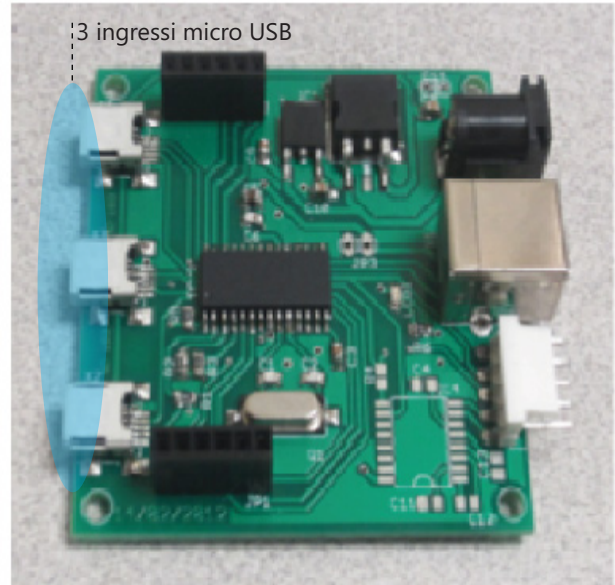
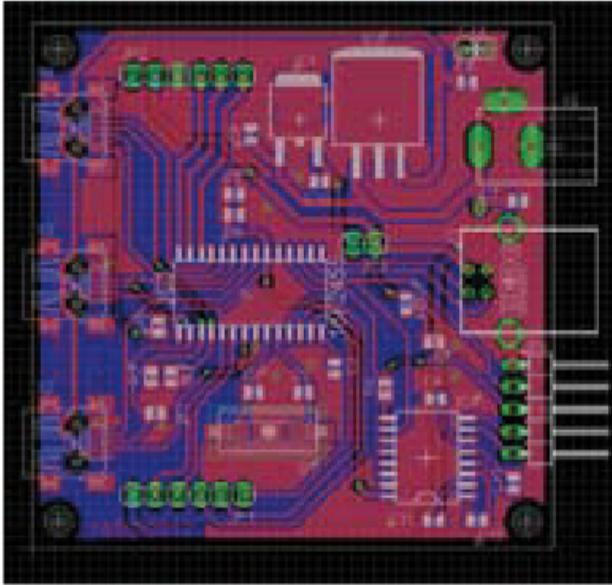


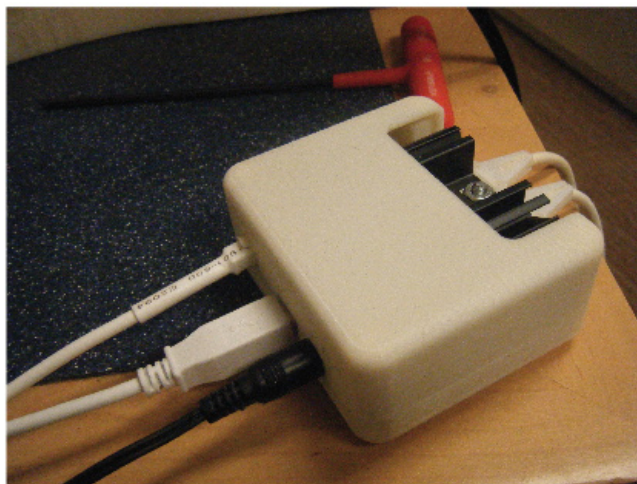
Fig 5.9 | Scheda di acquisizione



Il microcontrollore supporta comunicazione tramite USB ed ha un convertitore 10-bit da analogico a digitale con 10 differenti inputs. La scheda comunica attualmente con il Pc tramite bus USB. Per ogni strumento, ci sono 3 segnali analogici in uscita: uno per l'identificazione dello strumento, gli altri due per identificare l'apertura e la chiusura e lo stato di sforzo. I sensori per il tracciamento sono costosi e legati alla loro interfaccia elettronica, così per minimizzare il costo e il numero di cavi che il chirurgo deve maneggiare, ho sviluppato dei connettori intercambiabili tra gli strumenti e il sensore di tracciamento e la parte "femmina" della connessione USB, che quindi serve anche per allineare e manetere nella giusta posizione

il sensore. La main board sviluppata per queste comunicazioni elettroniche ha 3 micro-USB. Sono stati previsti anche collegamenti futuri con schede addizionali e per collegarci l'elettronica necessaria al funzionamento del modulo oculare munito di movimentazione e contrazione pupillare.

Fig 5.10 I Box mindboard



5.6 Hardware per la realtà aumantata

Per determinare i movimenti delle mani e per avere dei contenuti proiettati sulla pelle del manichino, verranno usati il sistema di rilevamento dei movimenti Microsoft Kinect e un "pico" proiettore (vivitek Qumi). Questi dovranno essere quindi integrati nello stand finale e perfettamente calibrati in relazione con la posizione della testa del manichino per far sì che le proiezioni siano allineate con le parti fisiche ed il contenuto sempre visibile al chirurgo.

Durante gli interventi agli occhi è necessario l'ausilio di un microscopio chirurgico, visto l'esigua dimensione del campo operatorio. Al fine di veicolare informazioni all'utente durante l'esecuzione di queste procedure si è ritenuto opportuno modificare un microscopio esistente

implementandolo con dei display. Questo verrà descritto in modo più approfondito nel capitolo X.

Fig 5.11 | Microscopio chirurgico



Fig 5.12 | Kinect



Fig 5.13 | Videoproiettore



5.7 Contenuti ed architettura di apprendimento

Gli sviluppi iniziali dei contenuti e dell'architettura di apprendimento sono stati orientati per soddisfare le esigenze di chirurghi apprendisti con limitate esperienze di intervento oculistico, e chirurghi più esperti che non possono esercitarsi con frequenza su pazienti esposti a traumi. Il nostro obiettivo è di adattare il sistema ai chirurghi militari, che beneficerebbero di un addestramento pre-operatorio e della possibilità di rinfrescare tecniche interventistiche ormai poco esercitate. L'architettura prevista consentirà l'accesso ai contenuti di base e materiali didattici su piattaforme multiple. Smart-phones, personal computer e dispositivi simili sarebbero appropriati in questa fase.

L'interazione dell'utente avrà inizio con un tipico log-in, attraverso il quale il sistema riconosce l'identità e il livello di esperienza dell'utente. A questo seguirà l'accesso ai contenuti, che in questa fase sarà prevalentemente focalizzato sull'anatomia rilevante, tecniche di sutura, strategie interventistiche e consigli sulle modalità di intervento in base allo scenario che si deve affrontare.

Il primo scenario su cui ci siamo focalizzati è la lacerazione della palpebra. Le lesioni sono create manualmente con un bisturi attraverso la pelle e la piastra tarsale nella posizione voluta dall'addestratore. All'inizio della sessione di simulazione, verranno presentati all'utente: la storia clinica del paziente, test di laboratorio,



Fig 5.14 | Realtà aumentata con tablet

Fig 5.15 | Realtà aumentata con occhiali magnificati

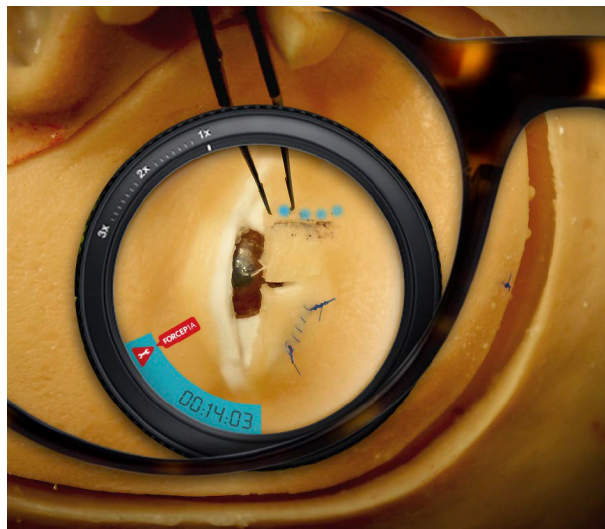
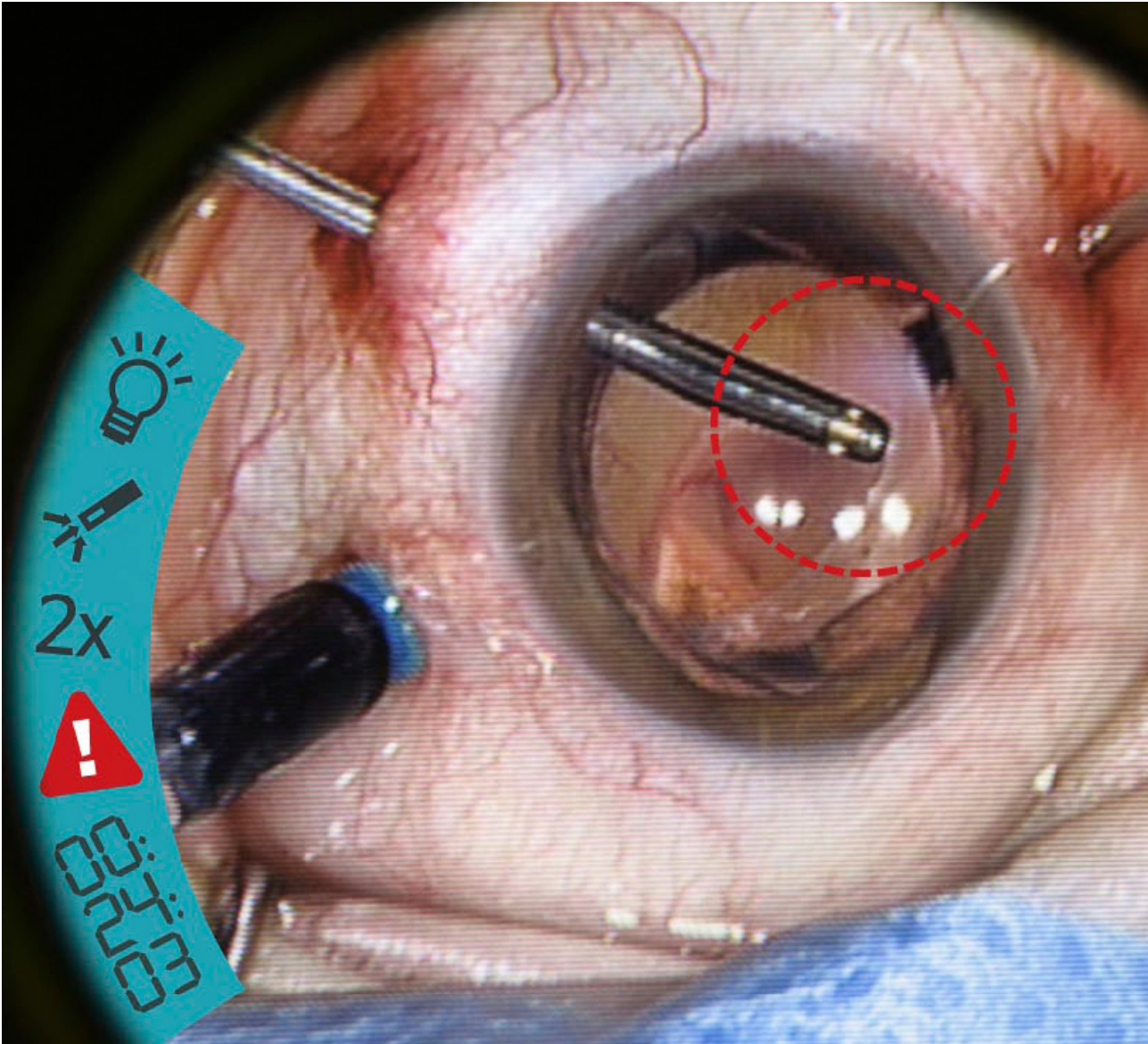


Fig 5.16 | Realtà aumentata con microscopio chirurgico



analisi pre-operatorie, TAC, radiografie, ecografie ecc. Una volta che tutte le informazioni fornite sono state analizzate, il simulatore è pronto ad entrare in funzione, il chirurgo seleziona gli strumenti ed il modulo trauma viene reso accessibile. L'utente, con lo strumento, tracciabile nei movimenti e nell'utilizzo, eseguirà un'analisi preliminare della lesione, verificando l'assenza di corpi estranei e lesioni supplementari (rispetto allo scenario iniziale), e comincia così a eseguire l'intervento. I dati provenienti dal sistema di tracciamento e dai sensori vengono registrati su disco fisso per essere poi processati. L'obiettivo del laboratorio è quello di rendere l'analisi dei dati in tempo reale così che il sistema riconosca se una data procedura non viene performata secondo gli standard, in modo da fornire feedback all'utente durante l'intervento stesso e non dopo, aumentando così l'efficacia di apprendimento. Durante l'esecuzione di questo determinato scenario l'utente sarà in grado di usare due o più strumenti contemporaneamente (i chirurghi spesso impugnano uno strumento e ne prendono un'altro con la stessa mano prima di rimmetterlo nel vassoio - ad esempio per tagliare l'eccesso di filo durante la fase di sutura dove needle holder e forbice sono tenuti con la stessa mano), ed il sistema di tracciamento sarà in grado di identificare quale strumento viene utilizzato nell'istante esatto in cui viene maneggiato. Per gli interventi in cui sia necessario usare più di tre strumenti l'utente dovrà staccare il connettore contenente il sensore del tracciamento per ricollegarlo allo



Fig 5.17 I Profilo addestramento

Fig 5.18 I Scelta intervento su cui esercitarsi



Fig 5.19 | Istruzioni per la procedura

68W AI Training/ Eye Injuries

SMITH, JONAH
Top Score: 100
AIT LEVEL: 1

PROCEDURE: 1 2 3 4 5

Step 4: Dressing



Labels: Eyepads, Tape, Ointment, Non-adherent gauze

Typically, the wound is dressed with an ointment containing a combination of steroid and antibiotic. A non-adherent gauze pad and the eye is patched shut for 24 hours. Once the patch is removed, a regimen of combined steroid antibiotic containing eye drops is prescribed for 10 to 14 days. Generally, cutaneous sutures are removed at postoperative day 7-10, eyelid margin sutures are removed at postoperative day 10-14, depending on wound tension and soft-tissue edema.

DRESSING TECHNIQUES



Correct lid repair requires precise approximation of the lacerated lid margin, tarsal plate, and skin. This is initiated by placing a double-armed 6-0 silk or nylon suture in mattress fashion through the edge of the tarsal plate.

! Pitfall: carefull not to appl yto much pressure.

TrueVision

strumento che vuole usare. La scheda elettronica riconosce automaticamente quale strumentazione è stata selezionata. A seguito del completamento dello scenario, saranno mostrate all'utente le statistiche di performance. Al momento noi siamo in grado di calcolare il tempo di durata dell'intervento, la lunghezza del tracciato effettuato da ogni singolo strumento, il tempo d'utilizzo e la sequenza d'uso di ogni strumento. Ora è in studio una tecnica di analisi dei dati che permetta di identificare i gesti chirurgici (ad esempio, annodare il filo di sutura, taglio del filo, afferrare il tessuto) così che dati più accurati e feedback più utili possono essere forniti all'utente.



Fig 5.17 | Visualizzazione dello stato di training

Fig 5.18 | Procedura di riparazione palpebre



5.8 Acquisizione dati e software

Lo sviluppo del software che gestisce il simulatore si è focalizzato prevalentemente sulla fase di acquisizione dati ed interfaccia con la strumentazione. L'applicazione è flessibile all'utilizzo di molteplici dispositivi di interfaccia come mouse, spacenavigator, trackball. Il software è in grado di registrare il percorso nello spazio di al massimo 8 differenti sensori magnetici per il tracciamento della posizione, i dati provenienti da 2 estensimetri e di identificare ogni strumento. In aggiunta integra all'interno del sistema anche i segnali in uscita del Kinect, che rappresentano i movimenti delle mani, rendendo possibile il riconoscimento di azioni come le diffe-

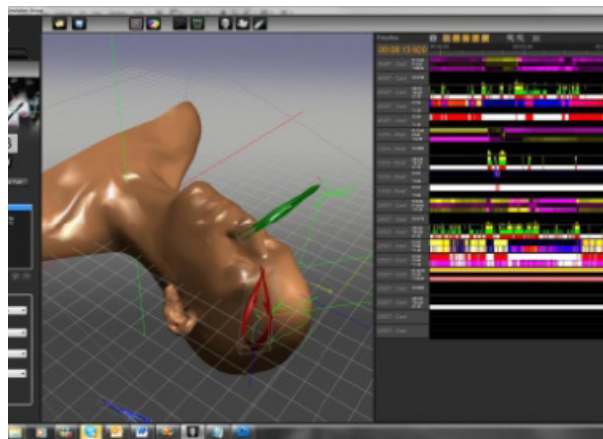
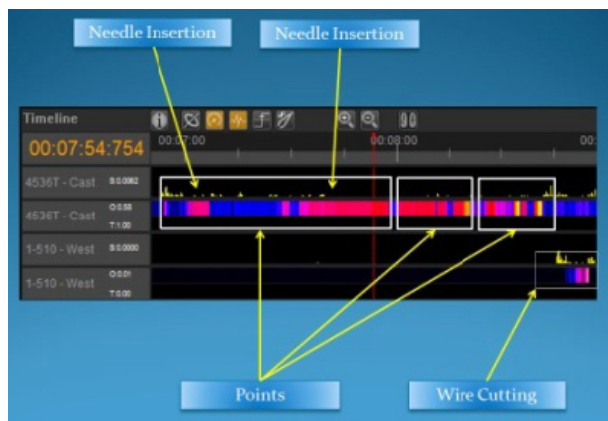


Fig 5.19 | Software analisi dati e visualizzazione tracciato

Fig 5.20 | Differenziazione dei dati in ingresso



renti tipologie di sutura. Tutti questi dati sono registrati come canali separati e salvati in formato XML. Contemporaneamente, sul display l'utente può visualizzare un render 3 D in tempo reale, raffigurante gli strumenti e il manichino, e le loro interazioni nello spazio. Il sistema è stato progettato per essere facilmente estensibile per la registrazione di ulteriori strumenti, per la locazione spaziale degli occhiali magnificati con AR quando disponibili e il movimento relativo della testa rispetto alla base quando sarà realizzato il collo flessibile. Il render 3D è importante poiché permette la navigazione attorno alla scena, utile durante la fase post-operatoria per visionare ciò che è stato fatto sia manualmente che attraverso un algoritmo di ricono-

scimento automatico del gesto. Delle funzioni di soglia sono costruite all'interno del software di acquisizione dati provenienti dagli strumenti, permettendo una segmentazione preliminare usando ad esempio le caratteristiche di chiusura e apertura delle forbici (il che indica taglio) e la simultanea chiusura delle pinze e l'aumento dello sforzo misurato, suggerendo che il tessuto è stato afferrato (vs. La chiusura libera). In modo simile, l'ingresso o l'uscita da una pre-determinata regione dello spazio sono riconosciuti come transizioni di stato significativi. Noi ci riferiamo a queste come " riconoscimento dei gesti chirurgici basati su eventi", e proponiamo che il riconoscimento di eventi consecutivi sarà utile al fine di individuare le differenti prestazioni tra gli utenti.

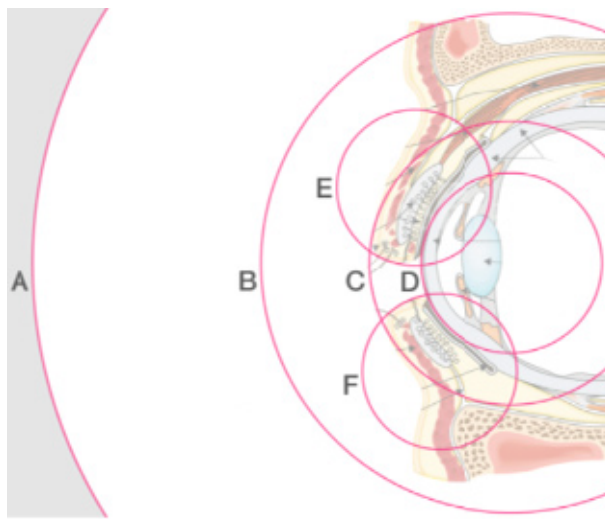
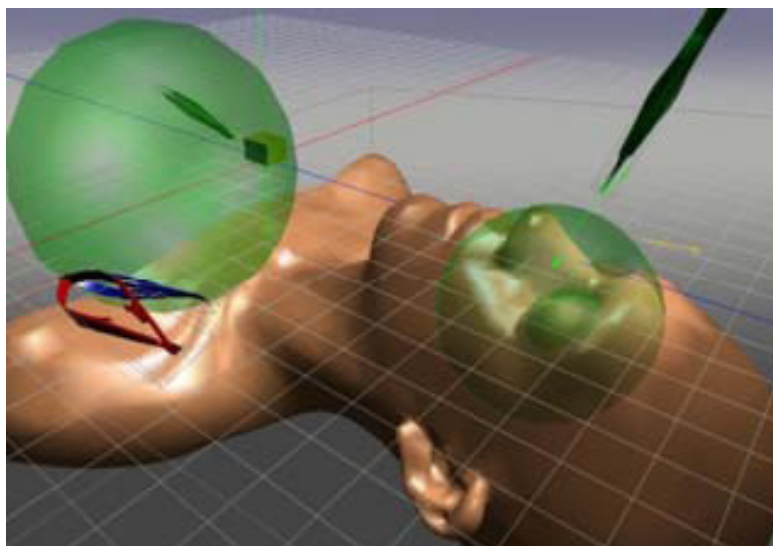


Fig 5.21 | Aree identificate dal sistema di tracciamento

Fig 5.22 | Visualizzazione software del simulatore



5.9 Trials per l'acquisizione di dati

Tre dei nostri chirurghi esperti di interventi agli occhi hanno eseguito interventi di riparazione di lacerazione marginale sui nostri moduli, in tutti i casi suturando tagli creati nelle medesime posizioni e con geometria identica (perpendicolare, a metà palpebra attraversando tutto lo spessore del tessuto, con estensione della lacerazione parallelo al bordo della palpebra). Agli esperti è stato chiesto di eseguire la sutura, allineando e connettendo la piastra tarsale e sovrapponendo i tessuti, commentando l'operato come se fossero in sala operatoria (invece che in caso di insegnamento, in cui sarebbero necessarie maggiori discussioni). Durante l'inter-

vento, hanno eseguito 15 tasks parziali, tra cui differenti modi per annodare il filo e tecniche di sutura, per aiutarci a raccogliere dati in modo discreto e pulito, facilitando la futura comparazione con i dati raccolti dagli utenti. In tutte queste procedure, il percorso degli strumenti è stato registrato, sia tramite i sensori che videocamera, permettendo l'incrocio di dati con il campo operatorio.

Fig 5.23 | User test per classificare i task



PROGETTI DI STUDIO

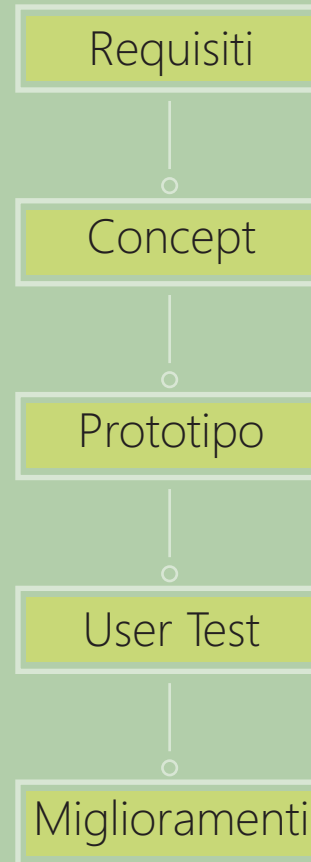
Stand -
Gestione dei cavi -
Microscopio a realtà aumentata -

Interventi di lavoro:

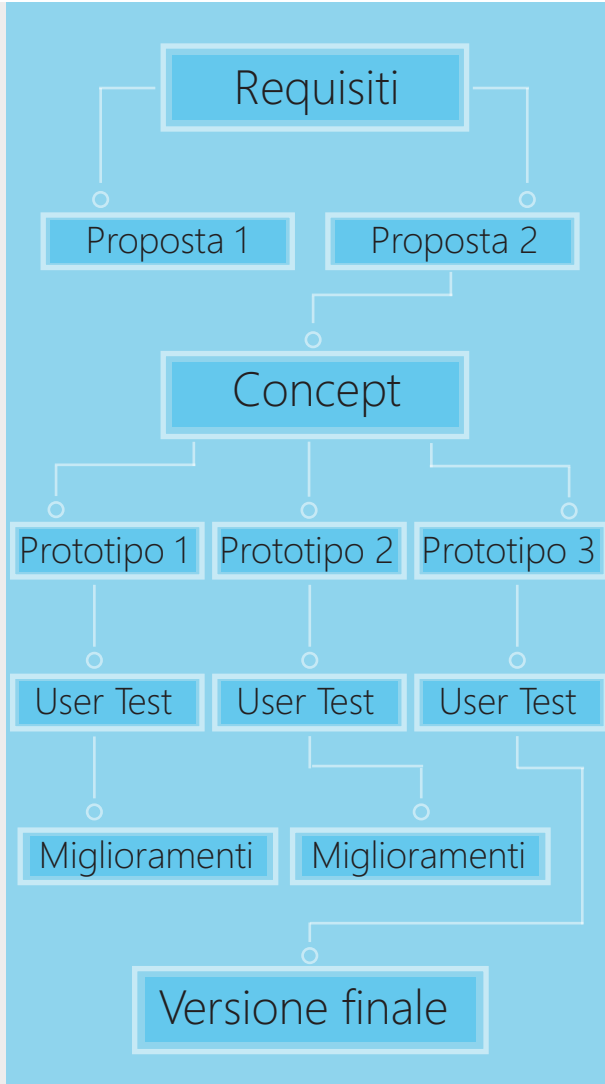
Come primo lavoro mi è stato chiesto di trovare una soluzione progettuale che unisse i componenti necessari per far partire il simulatore.

Nasce quindi la necessità di realizzare uno stand, il percorso progettuale parte dalla definizione dei requisiti prosegue con la generazione di un concept dal quale nasce il primo prototipo. Grazie a test effettuati dagli utenti è stato possibile individuare delle punti di miglioramento e delle caratteristiche da implementare, raggiungendo una soddisfacente versione finale dello stand. Durante i primi user test si sono rese evidenti anche altre problematiche, una delle quali risultava essere la gestione degli strumenti e dei relativi cavi. Ho elaborato quindi due proposte di intervento da proporre al team. Dalla seconda è nato il primo concept al quale è seguito il primo prototipo, testato, valutato sul quale è stato necessario effettuare miglioramenti giungendo al secondo prototipo, che seguendo lo stesso iter del primo ha portato alla versione finale con il terzo prototipo. Al fine di realizzare il simulatore ho dovuto progettare la disposizione dei display all'interno del microscopio per avere realtà aumentata. L'approccio progettuale nasce con due proposte che sono state tema di dibattito all'interno del team, sono quindi stati fatti dei concept prototipi per poi seguire la seconda proposta dal feedback del primo prototipo.

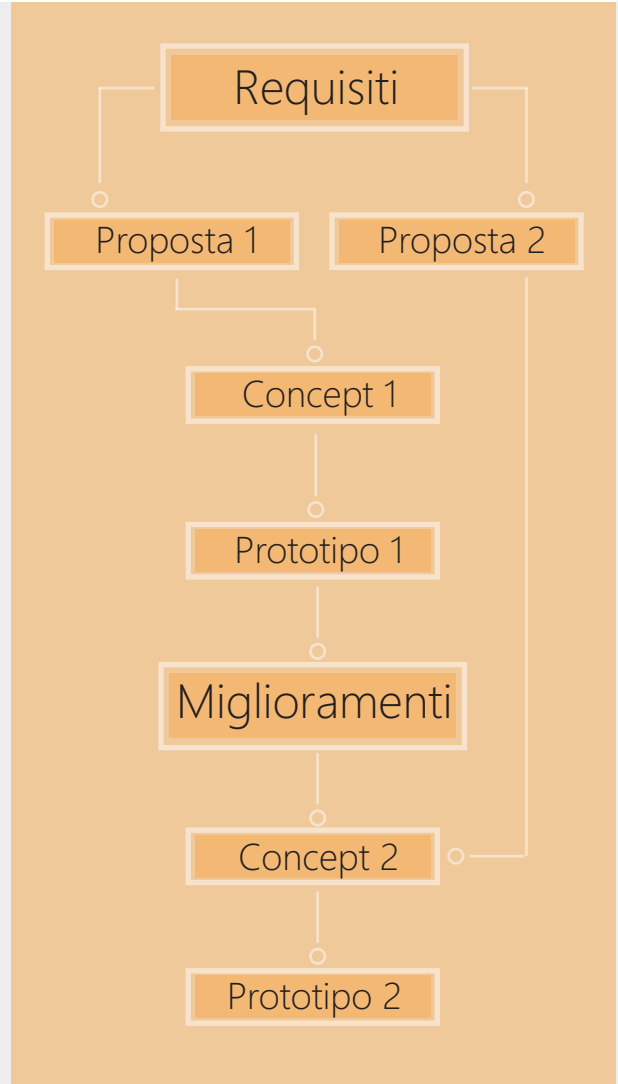
Stand



Gestione Cavi



Microscopio



6.1 Stand

Una volta analizzato le parti che saranno presenti nel simulatore e la relativa l'interazione che dovrà esserci tra componenti hardware e software, ho realizzato uno stand che contenesse alcune parti necessarie ad un primo test di valutazione del sistema di tracciamento, degli strumenti e delle componenti per la realtà aumentata. L'obiettivo è quindi quello di trovare la giusta relazione spaziale tra i componenti, ottimizzando l'usabilità del sistema sia per l'utente finale che per lo sviluppatore software. Infatti una volta trovata la posizione ottimale del campo magnetico si potranno fissare alcuni punti di riferimento che renderanno le opera-

zioni ripetibili in condizioni di utilizzo costanti e quindi confrontabili nel tempo.

Il progetto iniziale richiedeva poco tempo, visto l'incombere di user test programmati. Per il primo concept ho dovuto tener conto sia di requisiti tecnici che di usabilità, seguendo alcuni feedback precedentemente raccolti da colleghi in esperienze passate; sia requisiti tecnici derivanti dalla componentistica elettronica.

Dopo aver sviluppato un concept a CAD, ho realizzato il primo prototipo funzionante dello stand, avvalendomi di stampanti 3D, frese cnc e tutti gli altri strumenti necessari alla realizzazione.

Requisiti

- No vibrazioni in fase d'uso
- Posizione manichino reattiva costante
- Possibilità di essere spostato su una base di appoggio
- Distanza AR hardware - manichino--> 90 cm
- Disassemblabile velocemente
- Materiali compatibili con sistema di tracciamento magnetico
- Performance Motion Box dell'antenna posizionato sul volto
- Possibilità di sporgere dalla base di appoggio

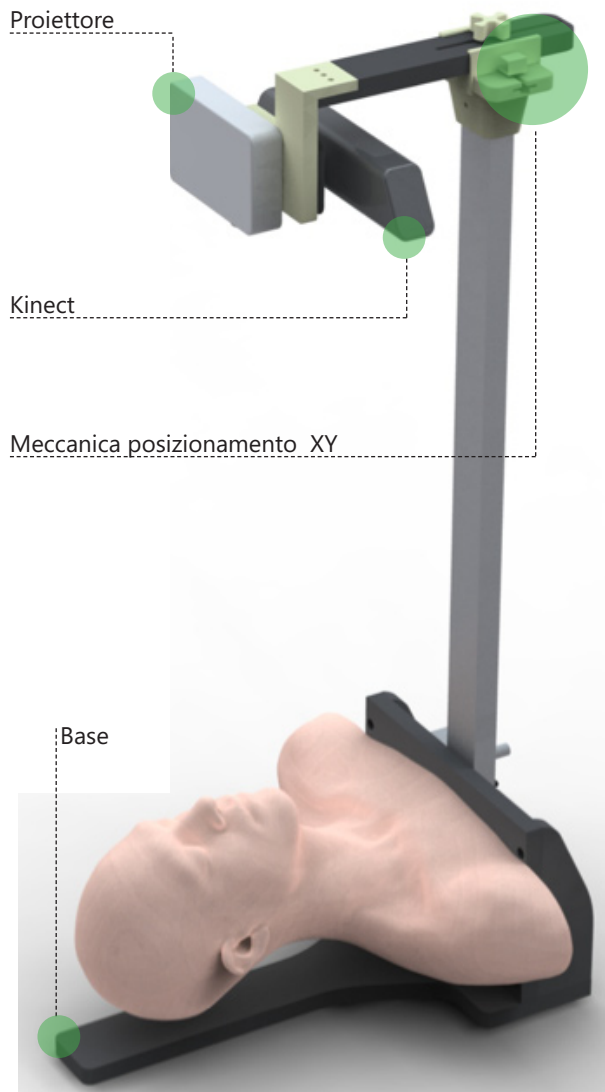
Concept

Tenendo conto di questi requisiti verrà ora descritto il concept con i relativi punti di intervento ed ipotesi di realizzazione.

Fig 6.2 | Stand - concept



Fig 6.1 | Stand - concept



Lo stand deve quindi trovare la giusta realizzazione tra il manichino, il sistema di tracciamento, il videoproiettore e il kinect. Il gruppo di testa deve stare circa 90 cm dal viso del manichino, ma la posizione precisa nello spazio non possiamo ancora definirla, quindi ho progettato un sistema di incastro alla testa dello stand che permetta al videoproiettore e al kinect di traslare lungo gli assi X e Y, ed una volta trovato il giusto posizionamento in relazione al volto, il meccanismo può essere bloccato, utilizzando uno sistema di compressione a vite. Per realizzare la base ho deciso di partire da una lastra di ABS di 30X60 cm (Fig.6.4) e lavorarla tramite fresa CNC. La scelta sui materiali è stata un compromesso tra costo, lavorabilità e proprie-

Fig 6.4 | Lastra ABS

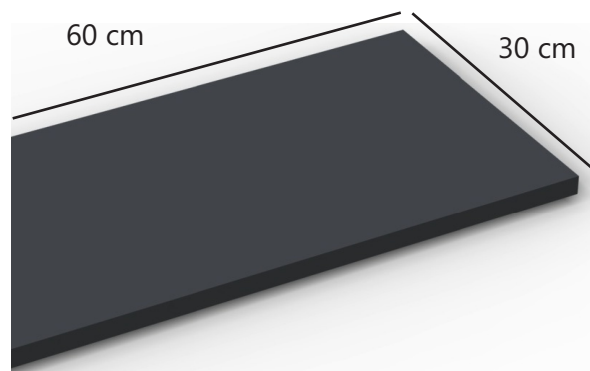
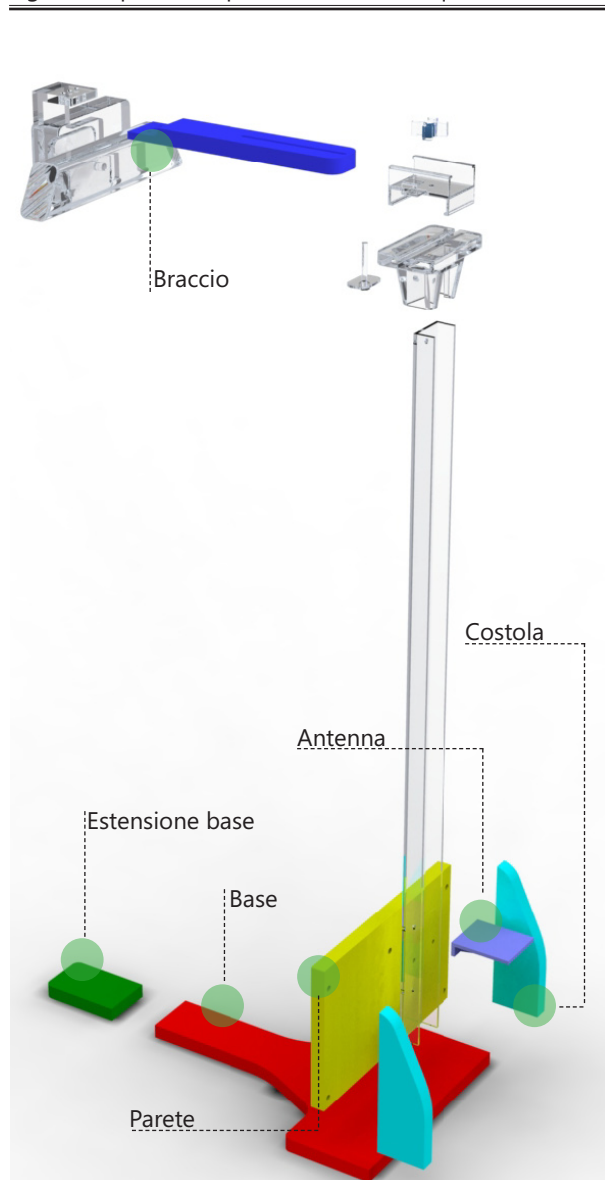


Fig 6.3 | Esploso - le parti colorate sono quelle in ABS



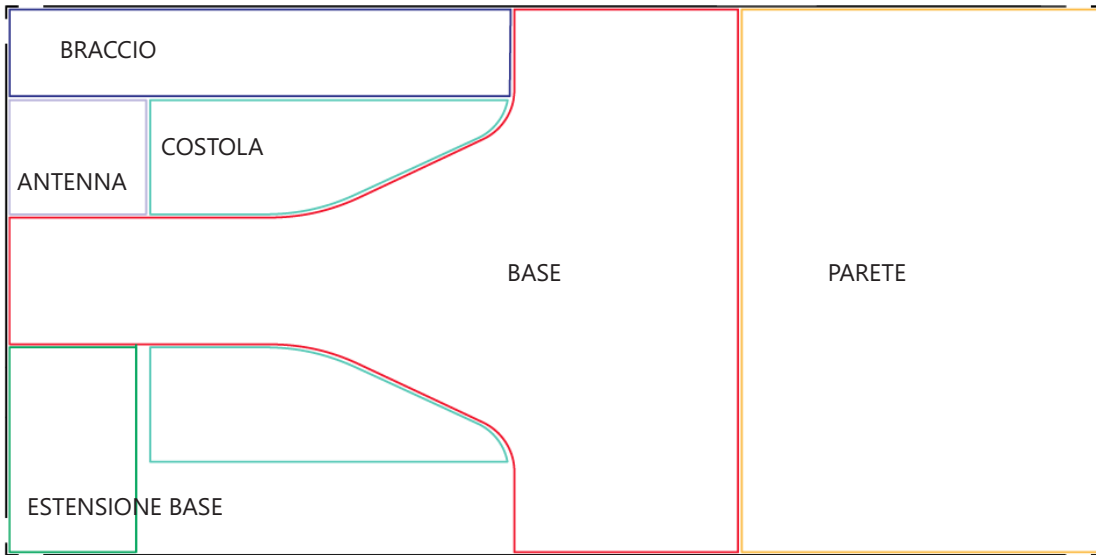


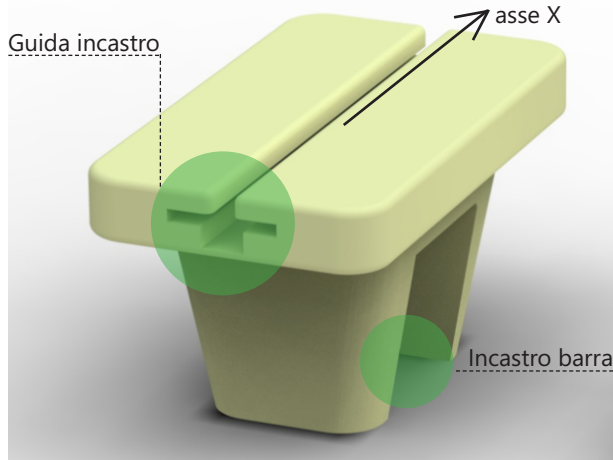
Fig 6.5 | Percorso punta fresa, i diversi colori corrispondono alle parti ottenute dalla stessa lavorazione a macchina

tà meccaniche richieste. La base deve avere un peso rilevante dato che quando lo stand verrà messo in sprgenza sulla base di appoggio questo dovrà rimanere stabile il più possibile, evitando tremolii durante la fase di intervento. La stessa tavolo di ABS l'ho sfruttata per ricavarci altri pezzi necessari, per primo le costole, che conferiscono sostegno e stabilità meccanica alla parete, sulla quale verranno in seguito fissati sia il manichino che la barra di alluminio. Inoltre ho ricavato anche il braccio posto in cima alla struttura e la base per l'antenna. Il totale della parti in ABS si vedono in figura 6.3. Per ottenere dalla lastra le sigole parti ho usato una fresa a 3 assi a controllo numerico, come software CAM ho usato BobCAM. Nella figura

6.5 è possibile vedere come è stato pensato il percorso utensile sulla lastra. Una volta divise le parti i fori che in seguito conterranno gli inserti in ottone per le viti sono stati realizzati con un trapano a colonna o sempre con la fresa ma a posizionamento fisso. Per raggiungere l'altezza desiderata di 90 cm ho usato una barra di alluminio a sezione rettangolare (fig 6.8).

L'alluminio è stato scelto in quanto materiale non ferromagnetico, che disturba il meno possibile il campo emesso dall'antenna posizionata a breve distanza e per le sue ottime proprietà meccaniche, che eviteranno la flessione e la torsione dei componenti in cima allo stand in fase di intervento.

Fig 6.6 | Base incastro



Per la realizzazione dell'incastro meccanico, posizionato in cima allo stand, ho disegnato e stampato in 3D dei componenti ad hoc. Questo perchè la presenza del campo magnetico vietava l'uso di incastri meccanici preesistenti fatti in leghe metalliche che ne avrebbero compromesso la precisione. Nell'immagine 6.6 vediamo la base del meccanismo, che contiene l'incastro con la barra di alluminio e la guida che permette al braccio di traslare lungo l'asse x. Mentre la fig 6.7 presenta il secondo pezzo nel quale entra il braccio che potrà traslare lungo l'asse y; inoltre funziona anche da blocco per rotazione grazie ai binari inferiori ed è previsto anche un porta cavi.

Fig 6.8 | Barra alluminio



Fig 6.7 | Guida braccio

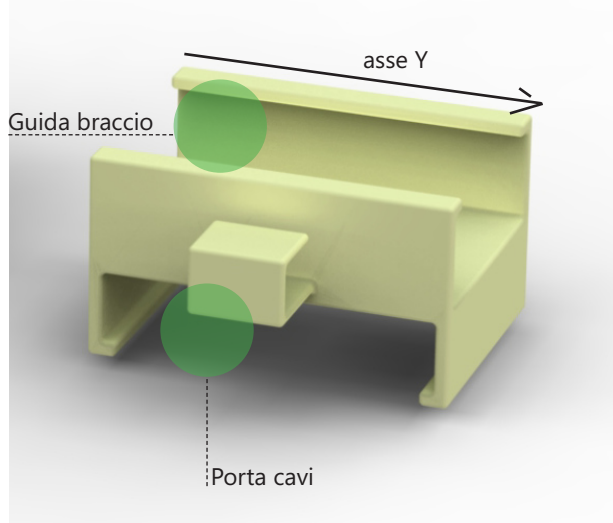


Fig 6.9 | Knobb



Fig 6.10 | Fissare la base alla barra di alluminio

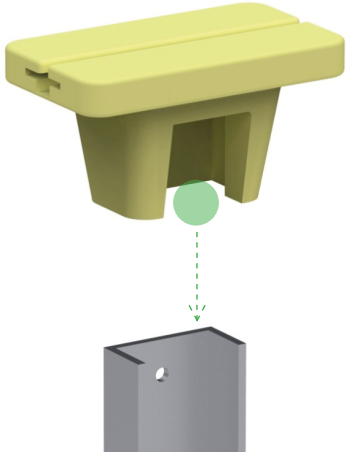
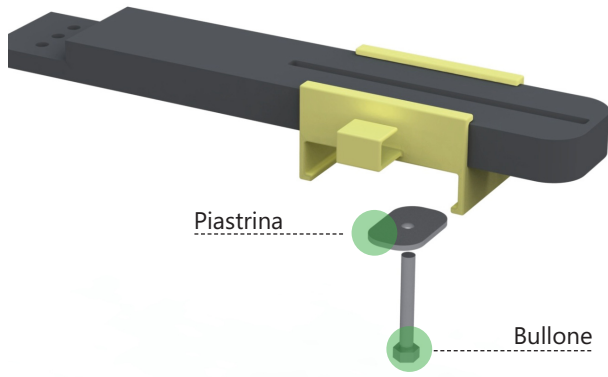


Fig 6.12 | Inserire il bullone tra la piastrina e il braccio



Di seguito verrà spiegato il montaggio e il funzionamento dell'assieme della testa dello stand.

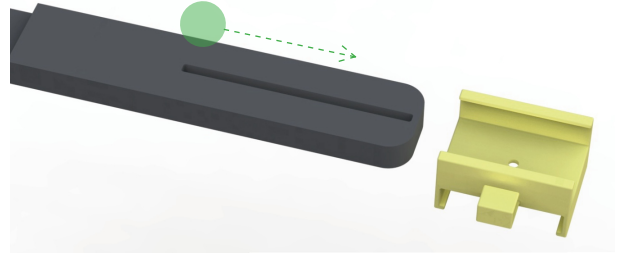


Fig 6.11 | Inserire il braccio nella guida

Fig 6.13 | Unire i componenti alla testa

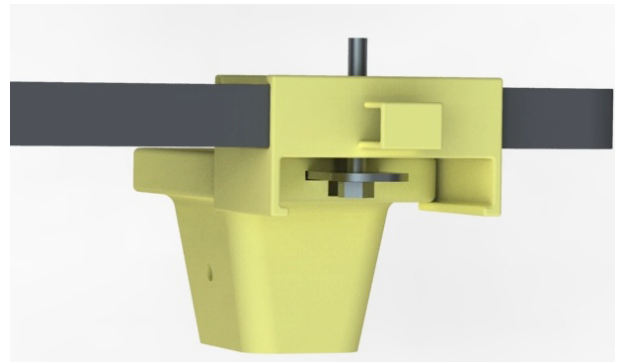
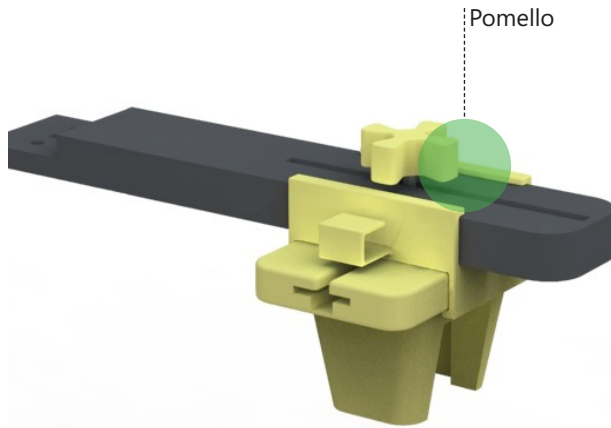
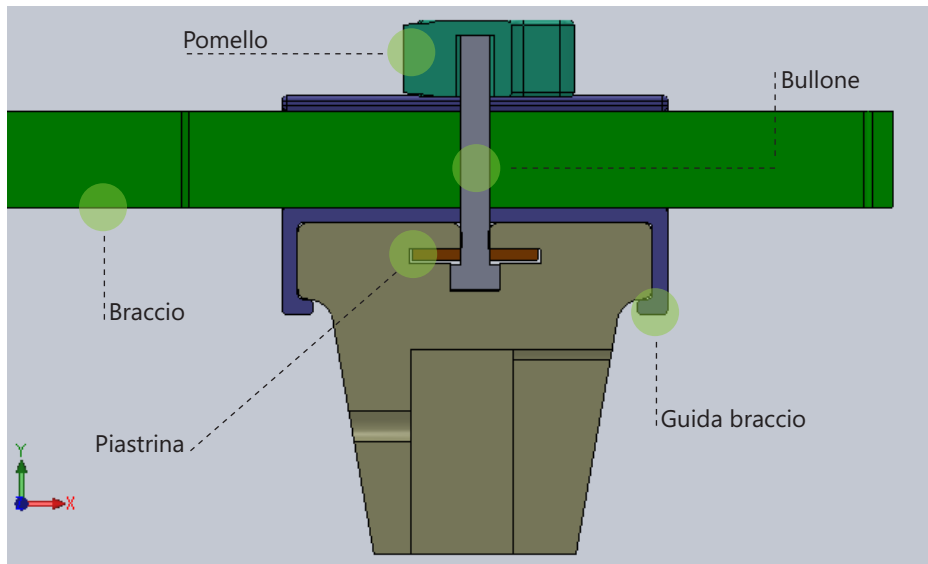


Fig 6.14 | Avvitare il pomello per fissare l'incastro



Una volta assemblati i componenti della testa, possiamo scegliere la posizione del braccio sfruttando traslazioni lungo le direzioni X e Y , il braccio può scorrere all'interno della guida che funge anche da blocco alla rotazione. La guida stessa può traslare sulla testa che fa presa sulla barra di alluminio. Per fissare il tutto una volta raggiunta la posizione voluta si frutta il semplice attrito per compressione. Il bullone può muoversi lungo Y e nel braccio vi è un foro che permette il movimento relativo del braccio. Il bullone viene fatto passare attraverso una piastrina e grazie ad un dado di chiusura, una volta a pressione il sistema risulta essere completamente fissato.

Fig 6.15 | Sezione incastro



Una volta montata la testa possiamo procedere con l'assemblaggio totale dello stand.

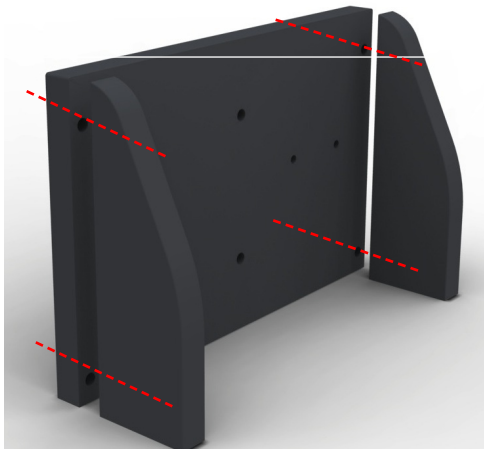


Fig 6.16 | Step 1_Avvitare le costole alla parete

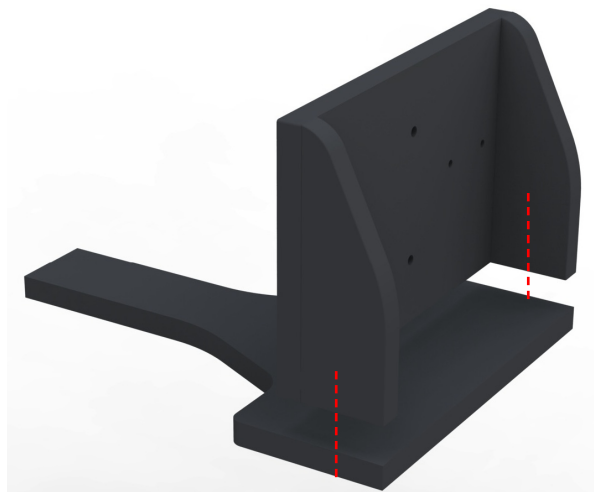


Fig 6.17 | Step 2_Avvitare le costole alla base

Fig 6.18 | Step 3_Avvitare la barra alla parete

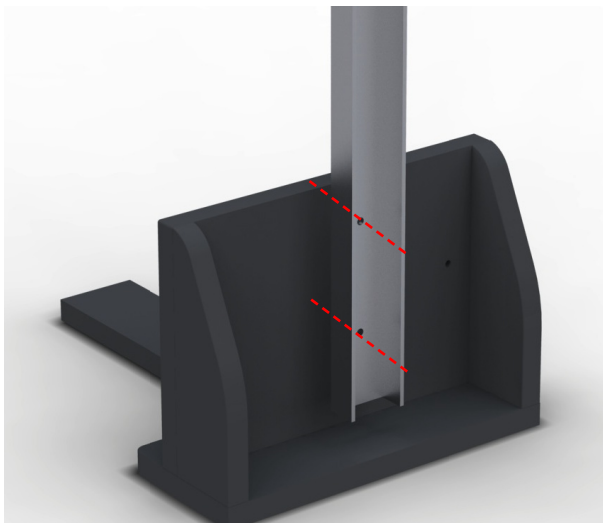


Fig 6.19 | Step 4_Avvitare la base antenna alla parete



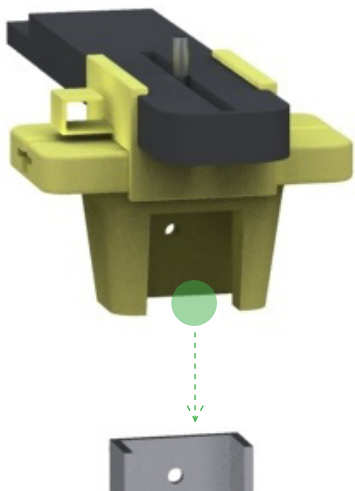


Fig 6.20 | Step 5_Avvitare le costole alla parete

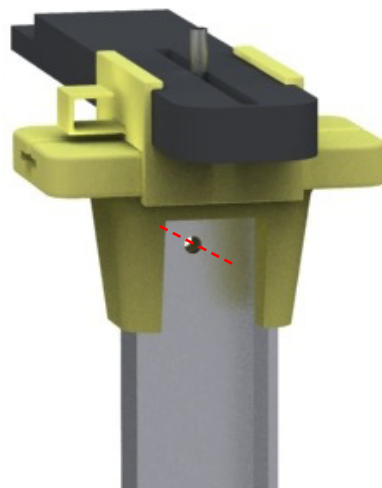
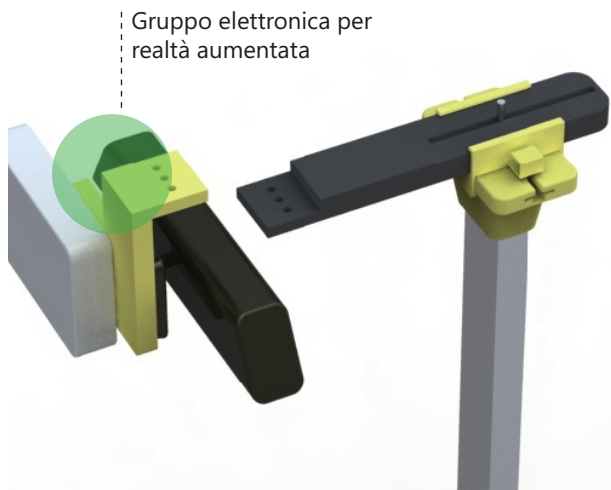
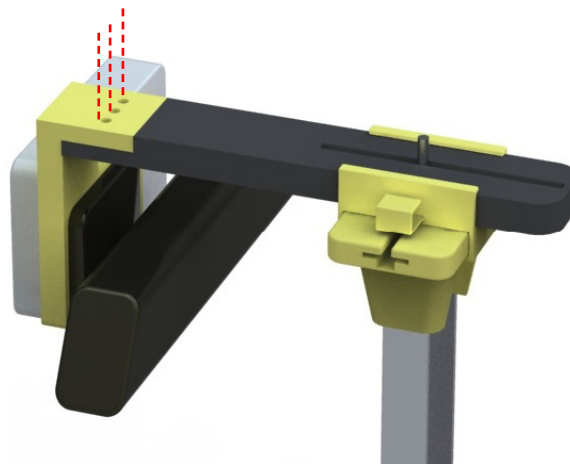


Fig 6.21 | Step 6_Avvitare la barra e la testa

Fig 6.22 | Step 7_Fissare gruppo AR con braccio



6.23 | Step 8_Regolare nello spazio la testa



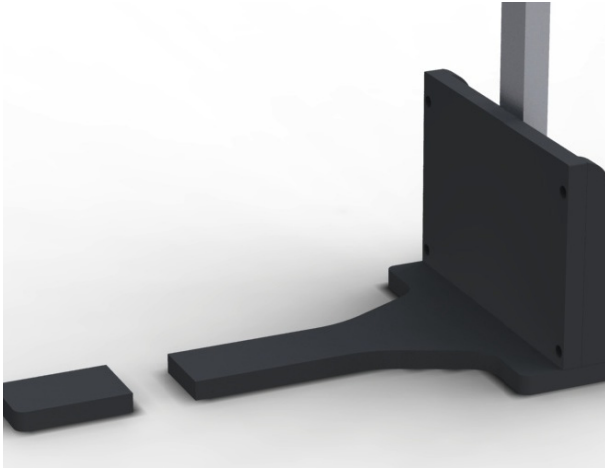


Fig 6.24 | Step 9_Collegare l'estensione della base

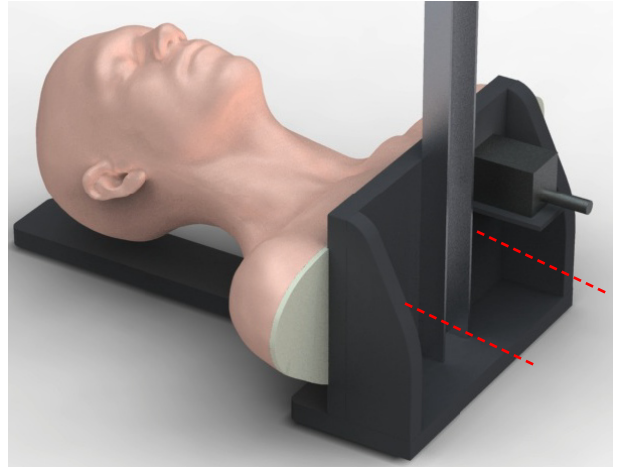


Fig 6.25 | Step 10_Avvitare il manichino alla parete

Fig 6.26 | Necessità di uno riempimento testa-base

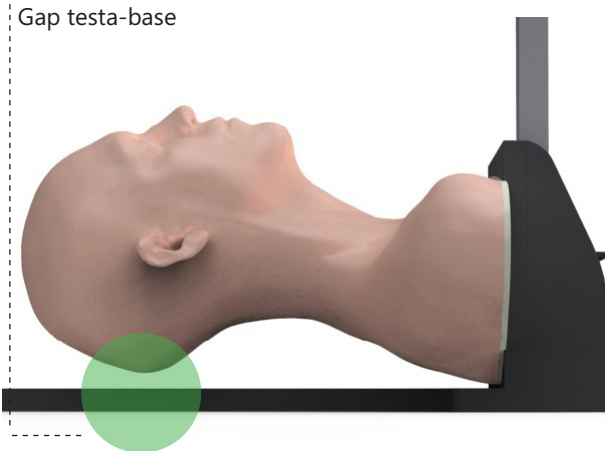
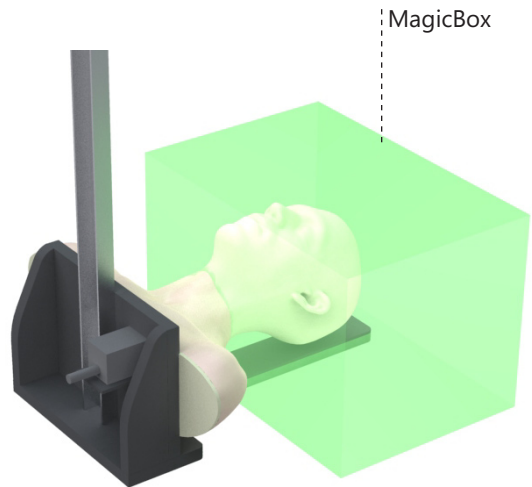


Fig 6.27 | Posizione relativa del MagicBox dell'antenna



Da una prima analisi dello stand, all'interno del team sono nate delle osservazioni al fine di implementare le funzionalità del sistema. Durante gli interventi in sala operatoria il chirurgo non sistema da sé la strumentazione ma è sempre assistito da uno strumentista che gli fornisce ciò che richiede e poi sistema gli strumenti in un vassoio che non è direttamente sul paziente. Ma può anche capitare che per alcuni strumenti di frequente utilizzo, come le forbici, il chirurgo preferisca appoggiarle sul petto del paziente. Dato che il simulatore dovrà essere utilizzabile anche da un solo utente alla volta senza l'assistenza di nessuno si è deciso che fosse più pratico inserire dei vassoi di appoggio in caso di necessità.

Fig 6.29 | Idea per vassoio porta strumenti

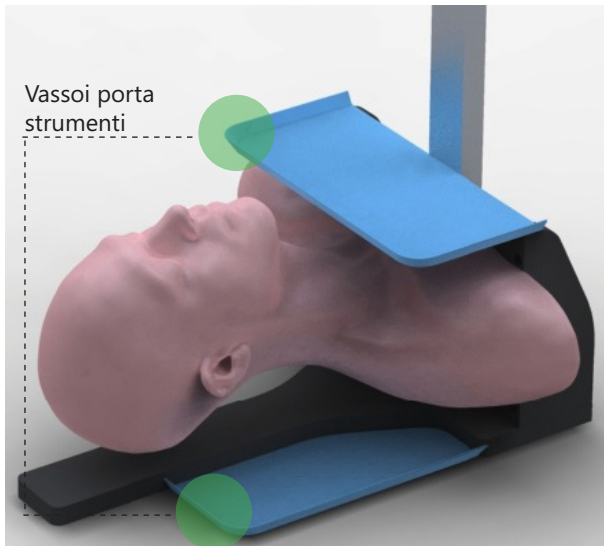
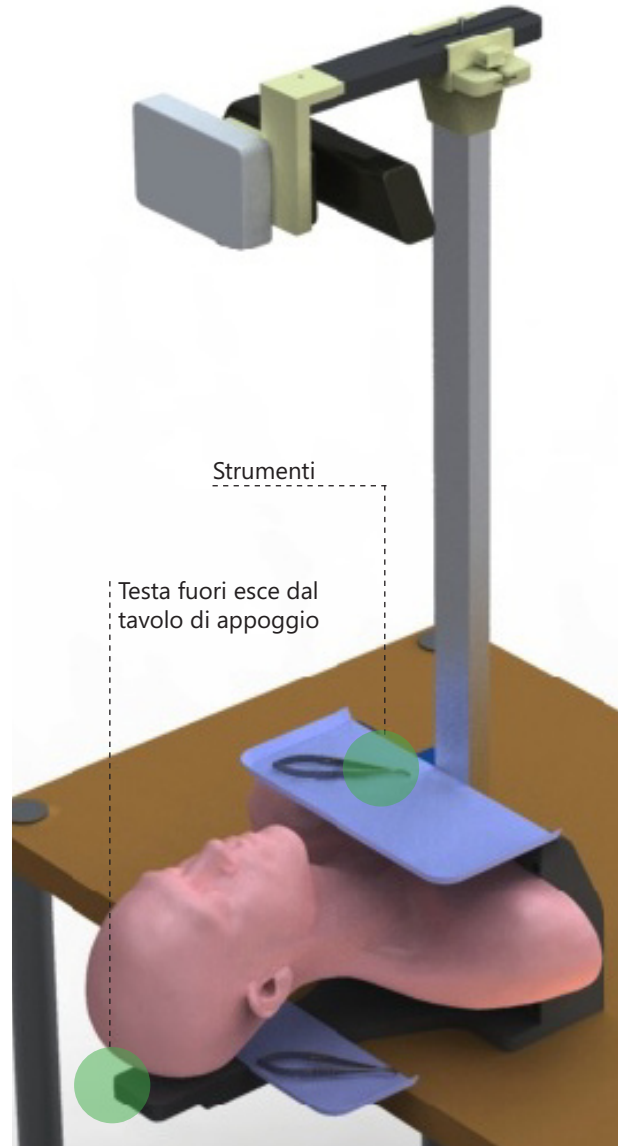


Fig 6.28 | Render base d'appoggio e vassoio



Prototipo

Una volta ottenute le parti lavorate a CNC e quelle stampate 3D si è proseguito con l'assemblaggio, che ha dato qualche problema per il non perfetto allineamento dei fori delle viti, il che ha portata ad alcuni aggiustamenti in post lavorazione. Finito l'assemblaggio si sono riscontrati dei problemi per quanto riguarda la compatibilità tra la barra in alluminio, l'antenna e la posizione dell'area di maggior precisione del campo magnetico. Posizionando l'antenna a fianco della barra abbiamo notato che il campo risultava essere parecchio disturbato nell'area di interesse. Probabilmente l'alluminio, pur non essendo ferromagnetico crea comunque un'interferenza fisica nella propagazione delle onde. Quindi per ovviare al problema ho cambiato la barra di alluminio con una in PVC sempre dalla sezione rettangolare con uno spessore di 4 mm. Dal punto di vista della stabilità, con questo materiale si aveva poca flessione residua in cima ma risultava poco resistente alla torsione. Inoltre anche il campo magnetico era ancora disturbato, il che ci suggeriva che non fosse solo una questione di materiale ma anche di posizionamento dell'antenna.

Come soluzione finale si è quindi pensato di posizionarla di fronte alla barra e di utilizzare quella in alluminio per la maggior stabilità meccanica.

Fig 6.30 | Stand - prototipo

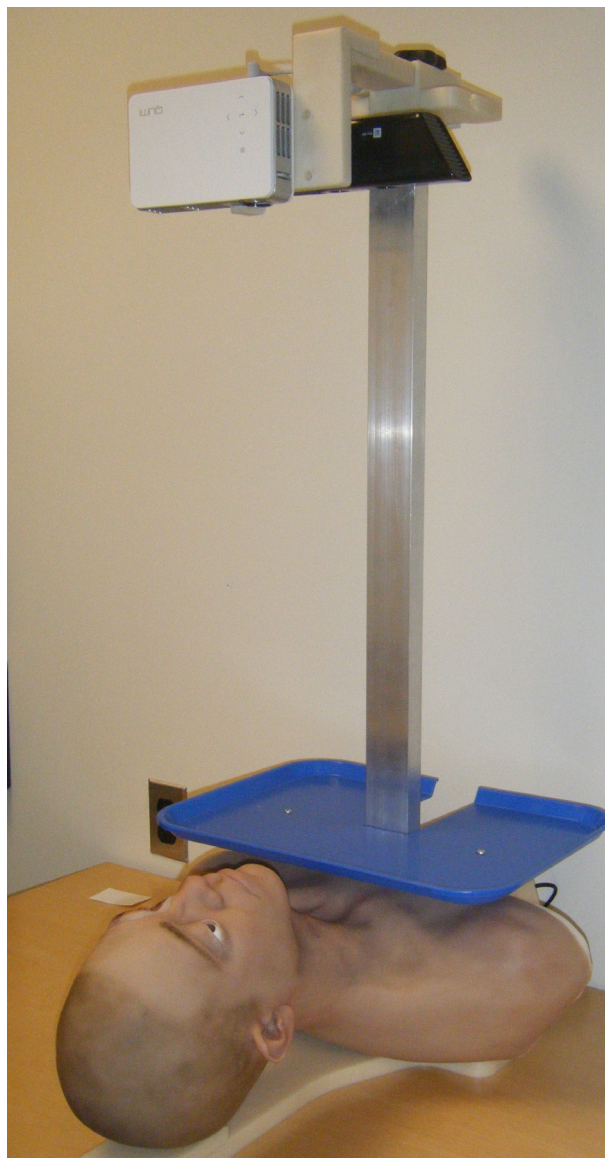




Fig 6.31 | Testa stand - prototipo



Fig 6.32 | Incastro con due gradi di libertà - prototipo

Fig 6.33 | Vista posteriore - prototipo



Nella figura 6.31 e 6.32 possiamo vedere come sono stati assemblati i componenti dell'incastro che permettono al proiettore ed al kinect di essere spostati lungo gli assi XeY per poi essere bloccati una volta giunti nella posizione corretta tramite il pomello. Nella struttura è stato tenuto conto anche dei cavi, realizzando nel pezzo in cui scorre il braccio un supporto. Inoltre la base stampata 3D è aperta sul retro permettendo di inserire i cavi nella barra di alluminio che escono poi a terra grazie ad un foro (Fig 6.33). Il manichino è fissato alla parete tramite due viti di plastica, mentre tutte le altre parti sono in alluminio e gli inserti in ottone, questo perché sono due metalli non ferromagnetici che danno grande stabilità alla struttura.

A seguito di alcune ore passate ad osservare operazioni dal vivo abbiamo deciso di implementare lo stand con un sistema di illuminazione. Anche in questo caso le condizioni al contorno non solo le solite nelle quali avvengono i comuni interventi, quindi l'aggiunta delle luci doveva essere fortemente modificabile. Di conseguenza ho progettato e stampato un meccanismo che permettesse di orientare le luci led (Fig 6.35), accuratamente scelte per temperatura di illuminazione. Le luci sono poi posizionate su un tubo cilindrico trasparente Fig (6.34) lungo il quale possono essere traslate. Il tubo stesso può essere traslato verticalmente a piacimento(Fig 6.36).

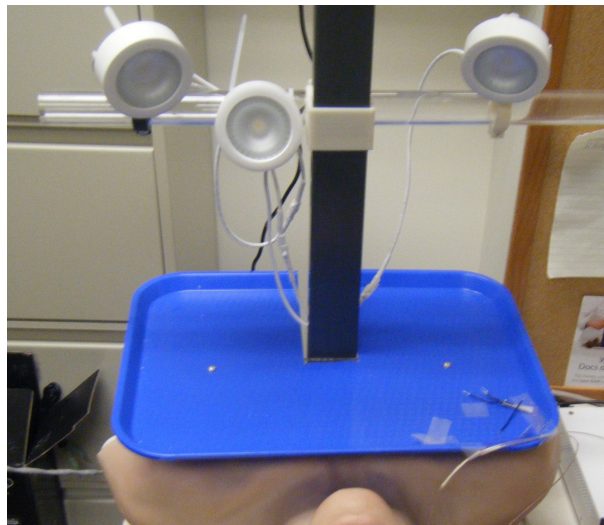


Fig 6.34 | Sistema di illuminazione

Fig 6.35 | Faro singolo - giunto rotativo

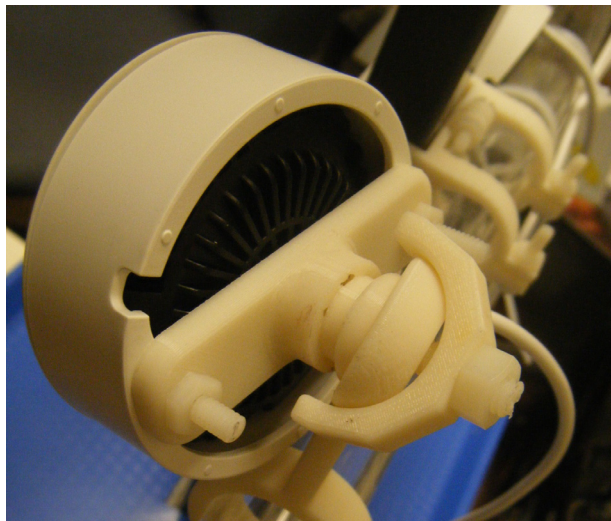


Fig 6.36 | Sistema traslante su entrambe le barre



User test and feedback

Il prototipo è stato testato più volte, da numerosi chirurghi. Dal punto di vista dell'interazione tra utente e simulatore è risultato molto positivo l'utilizzo di un vassoio per riporre gli strumenti. L'uso del simulatore in assenza di assistenti ha portato i chirurghi stessi a capire come gestire meglio gli spazi. Ad un primo approccio gli strumenti venivano lasciati indistintamente sul vassoio, noncuranti del fatto che, avendo essi dei cavi, dopo poco si legavano tra di loro. Questo impediva il regolare avanzamento delle procedure e la risoluzione di questo problema è descritto di seguito.

La possibilità di sistemare la testa del manichino al di fuori del piano di appoggio ha avuto riscontri molto positivi, i chirurghi oftalmologici solitamente si sistemano attorno all'area di intervento in modo molto personale, ovvero non vi è una relazione fissa tra tipologia di intervento e posizione del chirurgo. La possibilità di poter girare lo stand e mettersi nella posizione più consona è quindi stato molto apprezzato.

Dal punto di vista strutturale, dopo alcune rilevamenti e analisi dei dati possiamo dire che è andato tutto bene, le vibrazioni sono minime ed il segnale acquisito è molto buono.

Dopo vari tentativi ed opinioni degli utenti è stato anche trovata la posizione ottimale per il sistema di illuminazione, ovvero a circa 80 cm dalla testa del manichino, in cui l'eliminazione delle ombre e l'illuminazione risultavano adeguati.

Conclusioni

Lo sviluppo ha tenuto conto delle osservazioni fatte da chirurghi in alcune sessioni di prova della strumentazione e dalle necessità tecniche del sistema di tracciamento.

Questo ci ha permesso di arrivare ai seguenti risultati:

- Possibilità di posizionare il proiettore e il kinect nel miglior modo possibile grazie alle due guide ad incastro in cima.
 - Possibilità di sporgere la testa dal tavolo, per favorire un migliore posizionamento del chirurgo attorno alla zona operata.
 - Installazione di un vassoio per appoggiare gli strumenti quando non vengono usati
 - Il manichino è completamente fissato alla struttura, in modo che non ci siano oscillazioni durante la fase di intervento
 - Sistema facilmente disassemblabile e trasportabile, questo per future possibilità di training in ospedale e una migliore analisi d'uso.
 - Cavi nascosti dall'area d'uso.
-

6.2 Gestione dei cavi

Durante la simulazione i chirurghi devono avere accesso ad almeno una decina di strumenti, ogni strumento però necessita di essere localizzato nello spazio e deve mandare dei dati generati da sensori montati su essi al pc.

Quando sono arrivato ogni strumento avevo una serie di cavi collegati che si prolungavano fino alla scatola di tracciamento ed a una scheda elettronica per acquisizione dati dei sensori. Questo era un enorme problema poichè con 10 cavi liberi dopo 5 minuti di training bisognava fermarsi a sbrogliarli.

Vista la situazione ho proposto due vie di intervento, che verranno spiegate di seguito, per poi

seguire la seconda, di cui ho fatto un concept di intervento, dei prototipi assieme ad un ingegnere elettrico e sono tutt'ora parte fondamentale del sistema.

Ovviamente anche la soluzione adottata è in fase di divenire, poichè nel frattempo ci sono stati dei cambiamenti di requisiti e anche l'arrivo di una stampante 3D nuova, più accurata ha portato a più prototipi.

IMMAGINE

Proposta 1

All'analisi del problema ho individuato due possibili vie di soluzione. La prima prevedeva un approccio poco invasivo, partendo dallo studio d'uso degli strumenti, dall'analisi del personale e cercando quindi di creare un sistema che mantenesse intatti gli strumenti e i cavi così come erano stati progettati. L'obiettivo sarebbe stato

dunque quello di intervenire con un dispositivo che evitasse il sovrapporsi dei cavi in fase d'uso, avvalendosi anche dell'aiuto dello strumentista che solitamente durante gli interventi agli occhi forniscono gli strumenti richiesti dal chirurgo. Un approccio del genere ha dei pro e dei contro che ora verranno elencati che porteranno a tracciare una possibile via di intervento.

Pro

- Connessione strumento-cavo è già stata testata e funziona
- Il chirurgo sarà in grado di cambiare strumento velocemente
- La calibrazione dello strumento è buona
- Gli strumenti usati in contemporanea potrebbero essere solo 3 o 4

Contro

- Rimarranno 10 cavi per ogni strumento, evitare nodi è difficile
- Il sistema di trascinamento funziona con non più di 4 strumenti per volta, sarà necessario l'acquisto di nuova strumentazione
- L'utente dovrà collegare da sé gli strumenti prima delle operazioni

Possibile Soluzione

Solitamente i chirurghi sono aiutati da assistenti durante gli interventi, fornendo loro gli strumenti. Anche durante la simulazione si può pensare che qualcuno gestisca l'ordine dei cavi. Partendo da queste osservazioni si potrebbe realizzare un sistema di raccogli cavi retrattile, in modo che quando un determinato strumento è in uso gli altri cavi sono raccolti al di fuori del campo operatorio. Il sistema dovrà essere preciso, veloce e di facile uso.

Proposta 2

La seconda proposta verte su un approccio molto più radicale. L'idea è quella di avere come risultato finale solo due cavi che escono dal simulatore, uno per la mano destra e uno per la mano sinistra. Questo annullerebbe la problematica della gestione dei cavi in fase di intervento. Con una soluzione del genere il

chirurgo sarebbe in grado di gestire autonomamente l'interscambiabilità degli strumenti e non sarebbe necessario acquistare altri sistemi di rilevamento, anzi, i canali liberati possono essere sfruttati per altro. Dare l'opportunità di usare il simulatore in solitario presuppone un'analisi e la progettazione di un sistema di interfaccia tra l'utente, gli strumenti e lo stand.

Pro

- Avere solo 2 cavi riduce di molto la probabilità di avere nodi
- Il chirurgo sarà in grado di cambiare strumento velocemente senza preoccuparsi dei cavi
- Il sistema risulta essere più usabile
- Non bisogna acquistare nuovi prodotti
- Il simulatore potrà essere usato anche da una sola persona

Contro

- I componenti elettronici del connettore non sono di facile realizzazione
- Dovranno essere progettate le connessioni per tutti e 10 gli strumenti
- Necessario il supporto di un ingegnere elettronico

Possibile Soluzione

Progettare al meglio possibile le connessioni tra lo strumento ed il sistema di tracciamento e la scheda di acquisizione dati. L'utente dovrà essere in grado di attaccare e staccare gli strumenti in modo veloce e preciso senza compromettere più del necessario l'operazione in corso.

Dopo dibattiti all'interno del team di lavoro, è stato scelto di seguire la seconda proposta. Per prima cosa ho analizzato tutti gli strumenti in discussione, per capire se fosse realmente possibile intervenire su di essi. Nella figura 6.38 possiamo vedere come sono fatti questi strumenti e come erano collegati ai cavi di tracciamento e ai cavi dati in rame. Ogni strumento è particolare e i sensori stessi non sono sempre posizionati nella stessa posizione. Questo perché la geometria determina la distribuzione degli sforzi all'interno dello strumento e quindi il posizionamento del sensore. Le prime analisi sulla fattibilità dell'intervento sono stati del tutto qualitativi. Possiamo dividere gli strumenti in due classi, in base alle somiglianze geometri-

che, le pinze e le forbici. Le pinze hanno due sensori, uno per rilevare l'apertura e la chiusura dello strumento e il secondo per rilevare la forza esercitata nella presa. Le forbici invece hanno un meccanismo a molla e sfruttano la deformazione elastica del titanio, queste hanno un solo sensore che rileva l'apertura e la chiusura. La divisione in due classi mi ha facilitato per capire come intervenire. L'idea progettuale si basa sul trovare la giusta via per far creare un'interfaccia di collegamento comune a tutti gli strumenti. Come possiamo vedere nella figura 6.39 la connessione comune, quella in azzurro, conterrà il sensore di tracciamento, mentre i connettori verdi per le pinze e rossi per le forbici dovranno avere una forma tale per cui contengano

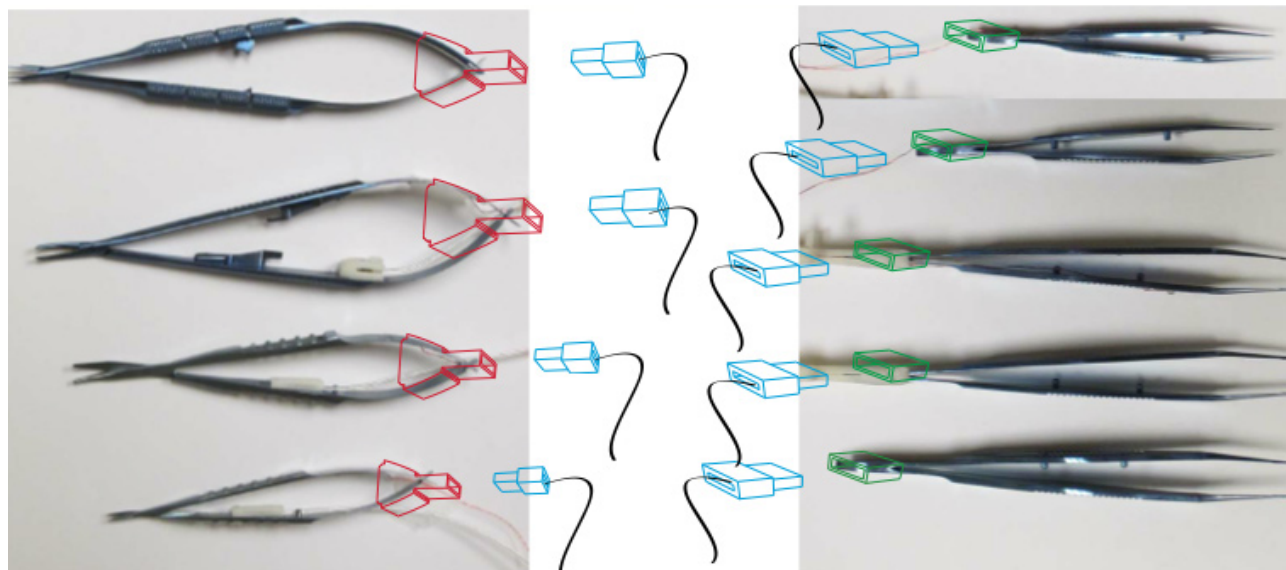
Fig 6.38 | Connessione cavi dati e sensori prima dell'intervento progettuale



l'eventuale componente elettronica e non compromettano l'usabilità dello strumento. Trovare la giusta geometria delle connessioni sarà particolarmente complicato, visto che non si vuole andare a cambiare la percezione che il chirurgo ha degli strumenti in fase di intervento. Questo vuol dire che le forbici non dovranno essere né più dure né più morbide quando vengono usate per tagliare i fili di sutura e per muovere l'ago all'interno della pelle lesionata. I chirurghi riscontreranno comunque una forte differenza nell'uso della strumentazione, visto l'introduzione dei cavi, cosa che in condizioni normali di utilizzo non hanno. Si vuole quindi evitare un'ulteriore causa di variazione di percezione. Ad ogni strumento arrivano due tipologie

di cavi differenti: il primo serve a collegare il box di tracciamento con il sensore di posizione, mentre il secondo sono fili di rame che servono a portare i dati generati dagli estensimetri alla mindboard. Nella configurazione iniziale entrambi i cavi erano collegati direttamente sullo strumento, ognuno in posizioni differenti per dar fastidio il meno possibile. Nella mia idea di intervento si avranno un connettore maschio, uguale per tutti gli strumenti, e connettori femmina, progettati appositamente per ogni strumento. Nel connettore maschio verranno posizionati il sensore e una interfaccia USB per permettere lo scambio di dati tra le due connessioni. Per collegare il connettore maschio USB ai cavi di rame è necessario prevedere una

Fig 6.39 | Ipotesi di connessione per tutti gli strumenti



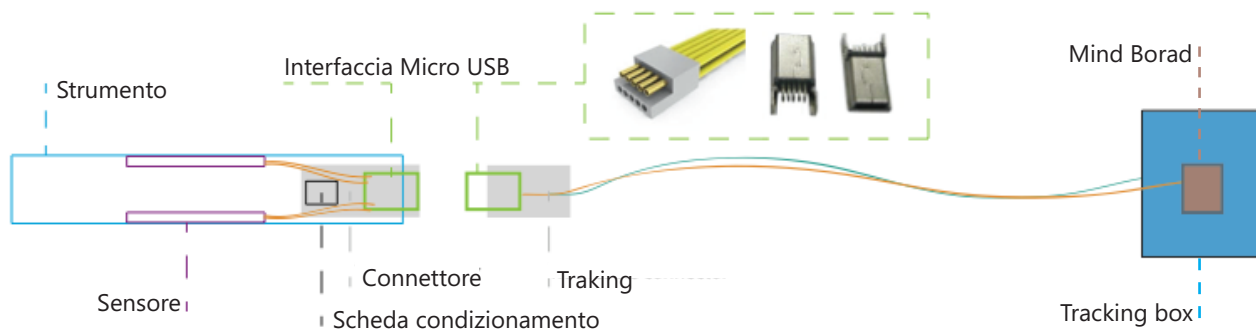


Fig 6.40 | Schema parti connettori

scheda elettronica con delle resistenze. Anche nel connettore femmina l'interfaccia USB dovrà essere collegata ad una scheda elettronica. Questa scheda la chiameremo scheda di condizionamento, questo perchè serve ad acquisire il segnale derivante dagli estensimetri e a renderlo distinguibile per ogni strumento, così che sarà possibile avere un riconoscimento automatico dello strumento. Come possiamo vedere nella figura 6.40 la soluzione sembrerebbe adattabile alle due classi di strumenti, le pinze e le forbici, l'unica cosa che varierà saranno le connessioni femmine. Per migliorare l'usabilità del sistema cavi è stato pensato anche di dotare il chirurgo di due braccialetti, uno per il braccio sinistro ed uno per quello destro. Ogni braccialetto ha una

superficie rettangolare di velcro che sarà accoppiata alla parte corrispondente posizionata sul cavo, questo per diminuire il peso incidente sulla mano del chirurgo. Come analisi qualitativa da presentare al team ho deciso di realizzare un mockup dell'idea usando una stampante 3D. La prova è stata fatta sulle forbici perchè a prima vista risultavano le più complesse per creare la connessione. Infatti questo deve rimanere sempre allineato con l'asse di rotazione delle punte e deve essere poco ingombrante. Ho quindi deciso di aprire l'estremità iniziale dello strumento (Fig 6.43) ed disegnare nel connettore delle cavità che permettessero l'ingresso delle due parti (Fig 6.42), poi fissate con della colla per mantenerle stabili (Fig 6.44).



Fig 6.41 | Set parti per analisi fattibilità proposta 2



Fig 6.42 | Connettore per forbice

Fig 6.43 | Forbice aperta

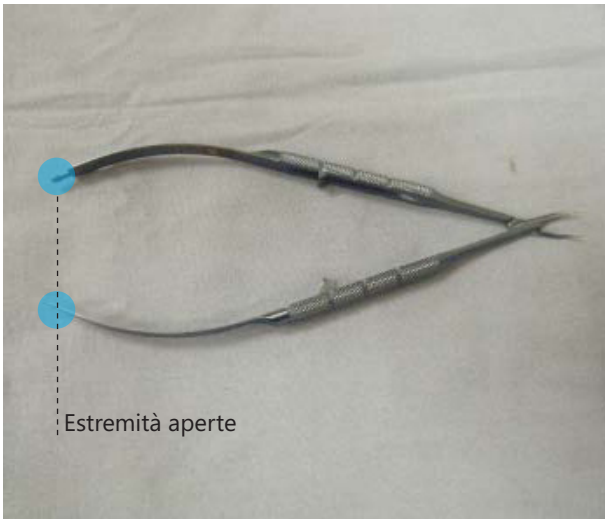
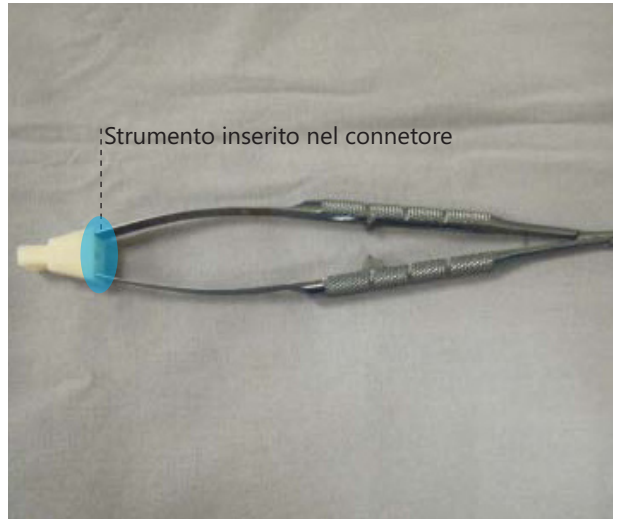


Fig 6.44 | Inserimento connettore



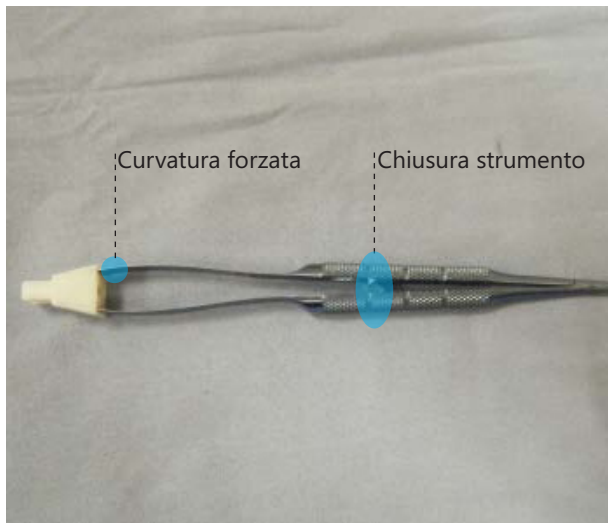


Fig 6.45 | Forbice chiusa

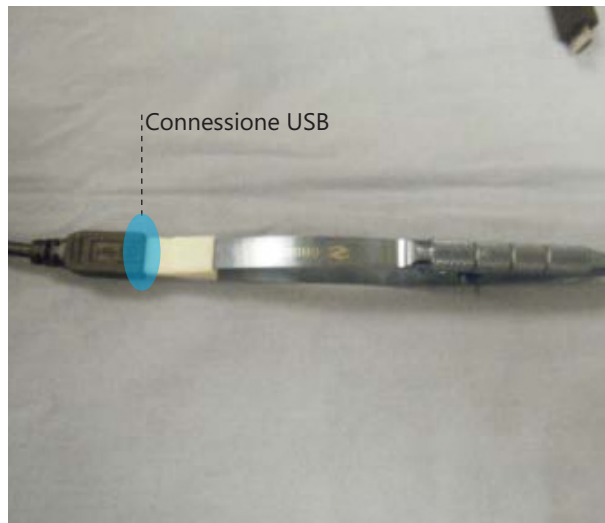


Fig 6.46 | Strumento connesso via usb

Fig 6.47 | Interfaccia usb



Fig 6.48 | Connessione usb



Nella figura 6.45 possiamo notare come la curvatura dello strumento in fase di chiusura risulta parecchio forzata, infatti è parecchio rigido. Questo punto sarà oggetto di analisi approfondita, verranno progettati diversi tipi di connettori per trovare l'angolo e il sistema che minimizzi questa forzatura. Una volta collegato il connettore allo strumento è possibile far combaciare l'interfaccia usb del cavo. Come prova della funzionalità del sistema ho integrato i cavi allo stand con manichino (Fig 6.49) ed usando i braccialetti ho dimostrato come questa soluzione potesse realmente migliorare la gestione dei cavi in fase di intervento. Come si vede dalla figura 6.51 gli strumenti possono essere usati senza interferire l'uno con l'altro.

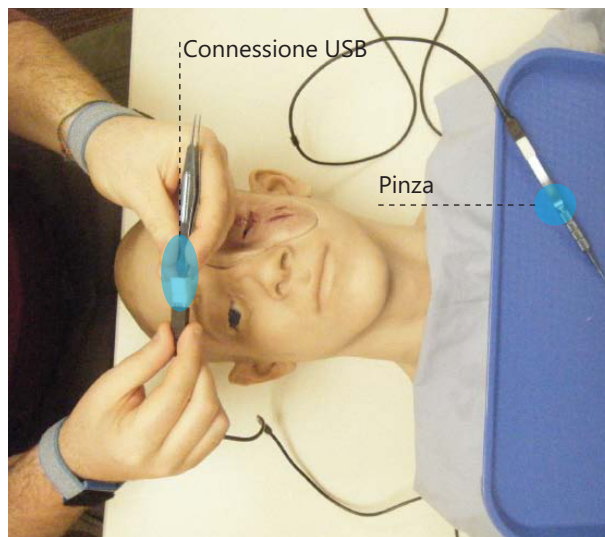


Fig 6.49 | Step 1 - collegare gli strumenti via porta usb

Fig 6.50 | Step 2 - collegare i cavi ai braccialetti

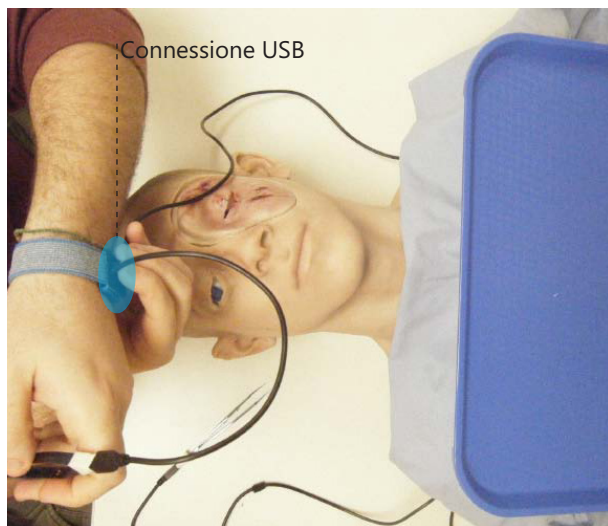
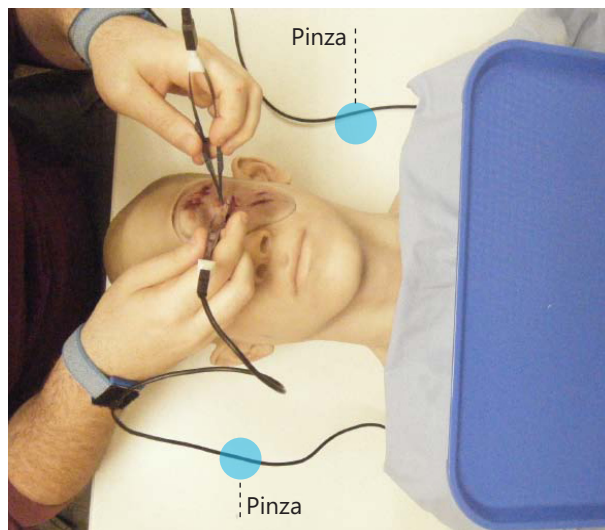


Fig 6.51 | Step 3 - iniziare procedura



Concept

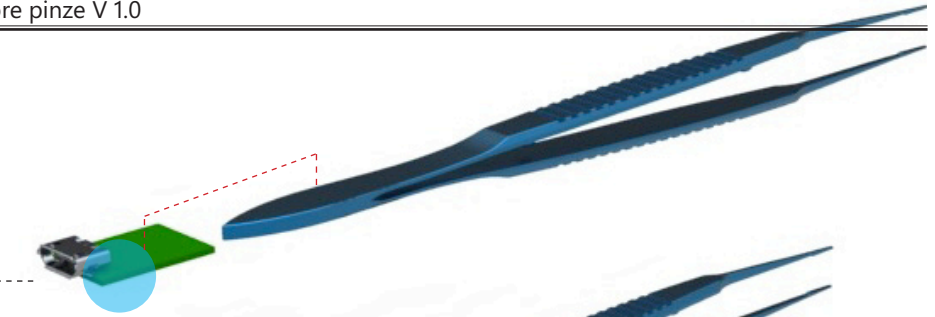
Una volta dimostrato che l'idea progettuale è perseguibile ho cominciato a collaborare con un ingegnere elettronico per capire quale soluzione fosse percorribile nella creazione della scheda elettronica e nella scelta dei connettori usb. La scheda nell'arco del tempo si è rivelata essere un variabile di forte importanza. Nel cercare di ottimizzare al meglio gli spazi tutte le connessioni disegnate racchiudevano la scheda elettronica nel minor spazio possibile. Questo doveva tenere conto anche del fatto che andava lasciato dello spazio di manovra per far sì che la scheda venisse messa e rimossa più volte durante i test fatti dall'ingegnere. Inoltre bisogna poter collegare i cavi dati dallo strumento al connettore ed una volta messa in sede la scheda, questi devono rimanere il più stabili possibile, poichè sono cavi di rame molto sottili. Lo sforzo maggiore di progettazione risulterà nel capire come ancorare il connettore allo strumento in modo stabile permettendo comunque all'ingegnere di intervenire. Nell'atto di collegamento dell'interfaccia usb non ci sono problemi, ma nell'atto di scollegamento la trazione necessaria a dividere la connessione è parecchio forte e serve quindi che le scocche stesse mantengano in compressione sia la scheda, onde evitare che fuoriesca dalla sede e strappi i cavi dati che sono saldati, sia lo strumento.

■ Concept V 1.0

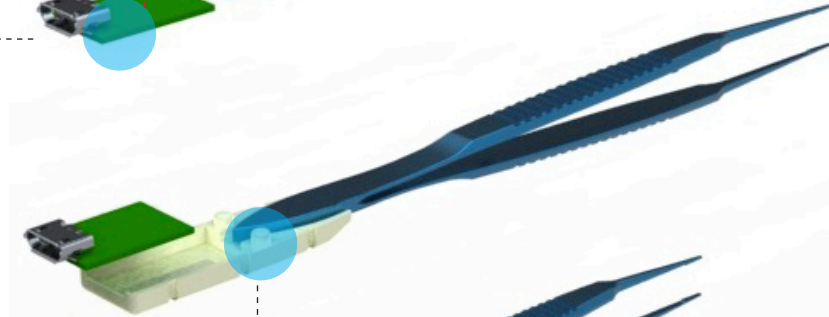
Il primo concept è stato fatto per le pinze e prevedeva l'uso di due scocche, una superiore ed una inferiore. In quest'ultima è ricavato lo spazio per posizionare la scheda di condizionamento, che dovrà avere il baricentro geometrico della connessione usb perfettamente allineato con il punto di chiusura della punta della pinza. Il procedimento di assemblaggio (fig 6.52) parte con la saldatura dei cavi dati alla scheda di condizionamento, dodichè la scocca inferiore viene incollata alla superficie finale della pinza, quella senza estensimetri. La scheda viene quindi inserita con cura, evitando di rompere le saldature, sia dei componenti, come le resistenze, che dei cavi dati; essendo che sono tutte saldature fatte a mano in uno spazio decisamente ridotto, queste non sono molto resistenti. Dei pin sono stati aggiunti per favorire l'accoppiamento delle scocche, sono due in modo da evitare la rotazione. I pezzi sono disegnati per essere stampati in 3D con la stampante Dimension Elite, il materiale usato sarà ABS. Visto la modalità di apporto di materiale è necessario progettare con cura le parti con piccoli spessori. Nel voler minimizzare gli ingombri bisogna evitare di eccedere poichè sotto un determinato spessore il connettore potrebbe diventare parecchio fragile e la stampante potrebbe non riuscire a realizzare determinati particolari. Sulle scocche è prevista la sede per posizionare degli O-Ring.

Fig 6.52 | Assemblaggio connettore pinze V 1.0

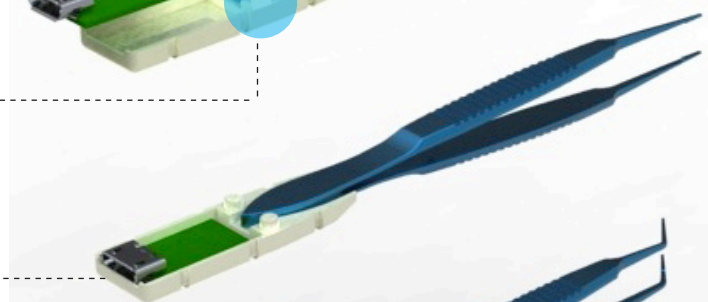
Scheda collegata ai sensori



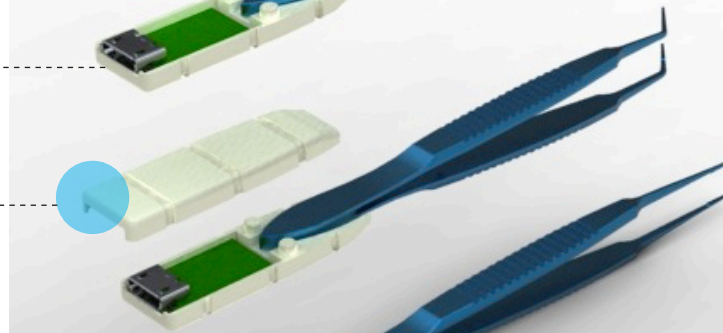
Incastro scocca inferiore-pinza



Messa in sede della scheda



Scocca superiore chiude



Connettore finito con sedi per O-ring

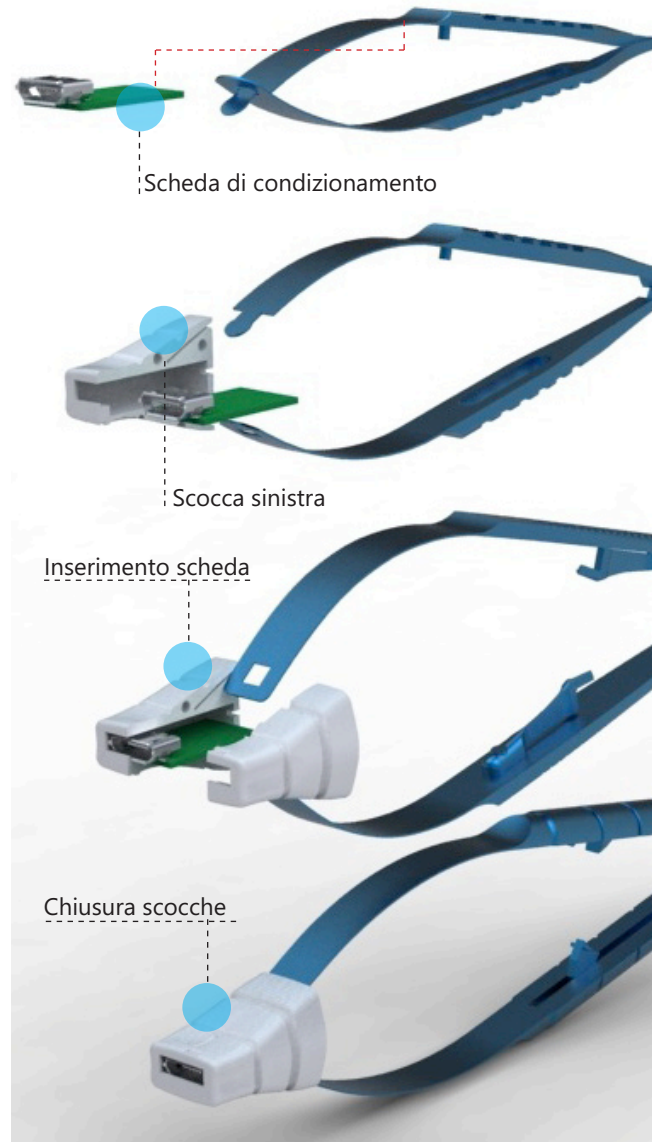


Per il secondo gruppo di strumenti, che racchiudono le forbici e i needle holder, l'approccio è stato diverso. La progettazione ha tenuto conto dei seguenti requisiti:

- Usabilità dello strumento deve rimanere uguale a quella dello strumento in assenza di connettore.
- Il sensore per il tracciamento deve essere allineato all'estremità di presa dello strumento.
- La scheda di condizionamento deve essere facilmente rimovibile, a causa delle frequenti modifiche in atto su di essa all'epoca dello sviluppo del primo prototipo.
- Il connettore deve occupare il minor spazio possibile evitando di disturbare il chirurgo. Tenendo conto di questi requisiti ho disegnato dei connettori ad hoc per ogni strumento.
- La schema costruttivo rimane costante per ogni strumento del gruppo, due scocche racchiudono la scheda e le estremità degli strumenti, allineati tramite pin e tenuti in compressione grazie agli o-ring.

Nella figura 6.54 possiamo vedere come è composto il connettore maschio del sistema. Come per gli altri strumenti abbiamo una chiusura a due scocche con dei pin di allineamento. Per prima cosa i cavi dati che comunicano con la mindboard sono collegati al connettore usb per

Fig 6.53 | Assemblaggio connettore forbici-needle holder



mezzo di saldatura e quindi riposto nell'apposito spazio della scocca inferiore. Il sensore viene quindi posizionato e la scocca superiore chiude il tutto. Il sensore deve essere anch'esso perfettamente allineato con la punta dello strumento chiuso, così da avere un perfetto feedback visivo via software 3D. La chiusura delle scocche è dato dagli O-Ring, la scelta è stata fatta per la loro facilità di montaggio, per la possibilità di aprire e chiudere le scocche frequentemente e per fornire un maggiore attrito in fase di distacco della connessione usb. Infatti i chirurghi oftalmologi sono soliti vestire guanti alle mani, anch'essi in materiale plastico che mal si abbina dal punto di vista dell'aderenza con il materiale usato dalla stampante 3D.

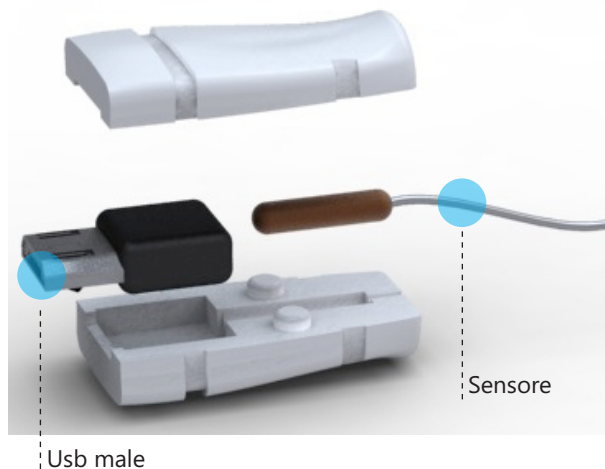
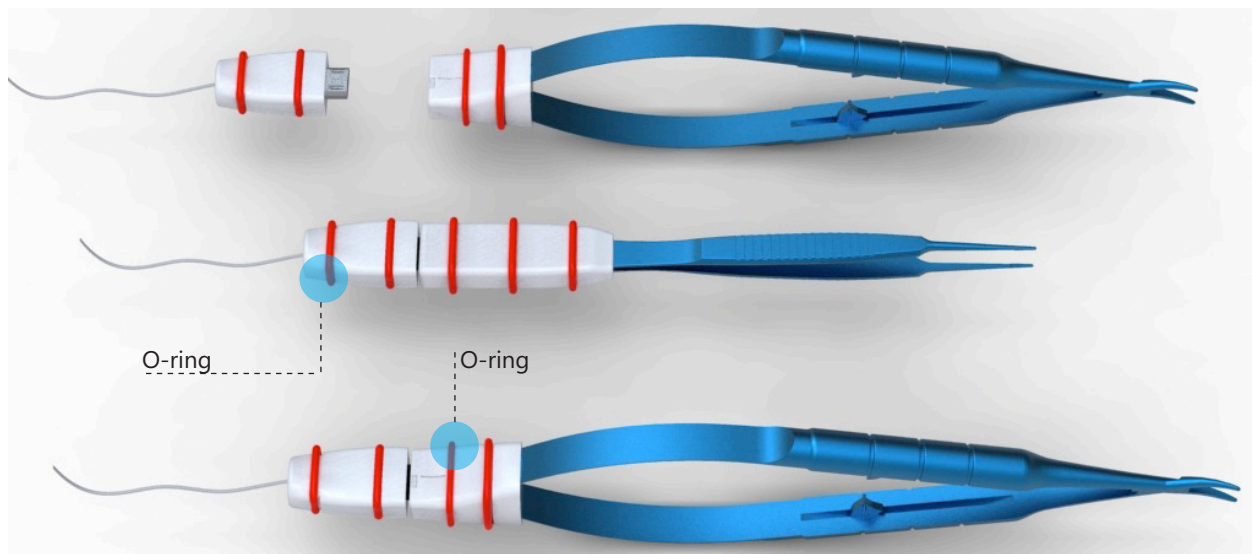


Fig 6.54 | Connettore sensore di tracciamento

Fig 6.55 | Strumenti con O-ring

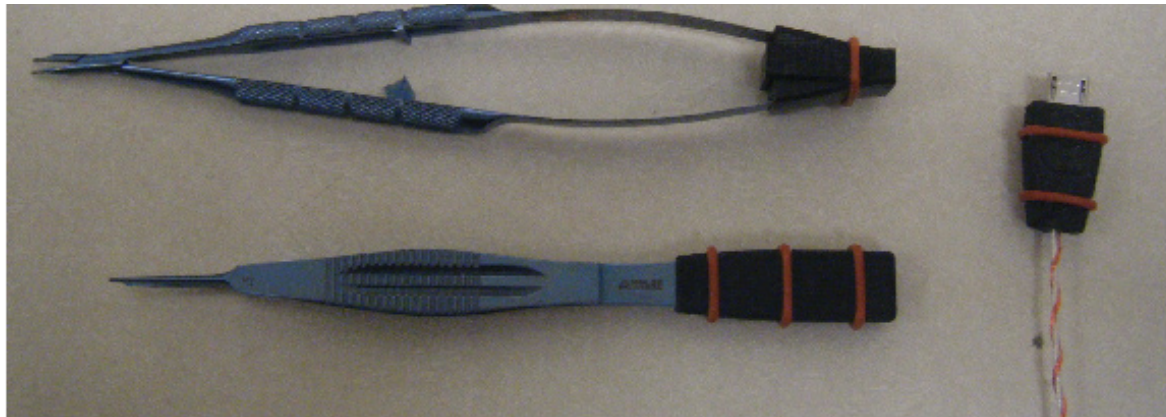


■ Prototipo V 1.0

Nella figura 6.56 sono esposti i prototipi derivanti dal primo concept. Dal punto di vista realizzativo ho avuto parecchie difficoltà, le dimensioni sono parecchie ridotte per la qualità che la stampante 3D poteva offrire. Alcuni particolari di allineamento, come i pin, combaciavano difficilmente e le stampe non erano sem-

bre uguali. Ho avuto la possibilità di far testare questa soluzione ad una conferenza ed il feedback, per quanto riguarda la presenza di soli due cavi in fase di operazione, è stato molto positiva. Si sono avute delle problematiche per quanto riguarda la stabilità della connessione e la resistenza allo scollegamento, più connettori dopo alcune ore di test si sono staccati dallo strumento andando a dissaldare i cavi dati.

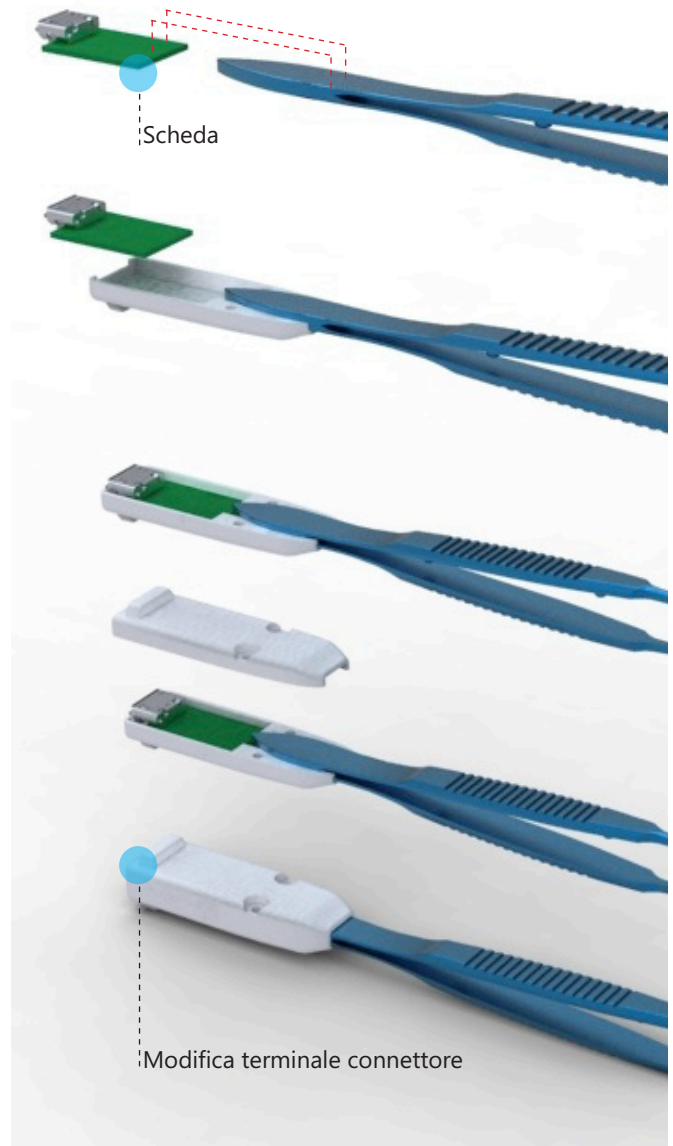
Fig 6.56 I Prototipi connessioni V 1.0



■ Concept Versione 2.0

Dallo user test del primo prototipo sono emerse delle necessità di miglioramento. Il primo intervento da effettuare è stato sui connettori direttamente, per le pinze, per le forbici e per il sensore di tracciamento alla ricerca di una maggiore stabilità meccanica. Mentre un secondo intervento andrà fatto per capire come integrare meglio la strumentazione nel complesso dello stand e inoltre bisogna come far interfacciare l'utente allo stand nell'atto di cambio di strumentazione nelle condizioni peggiori possibili, ovvero quando si trova senza assistenza e può usare una sola mano. Per quanto riguarda le pinze pre migliorare la compattezza dei connettori che porta ad un maggiore aderenza con lo strumento e una crescente stabilità della scheda interna ho deciso di rimuovere la chiusura ad O-ring e introdurre delle viti. Questo è stato possibile anche grazie all'arrivo di una nuova stampante 3D, la Objet 360, molto più precisa della Dimension Elite e che permette di realizzare particolari molto più accurati e resistenti. Per favorire il cambio strumento è stato pensato un sistema di bloccaggio sui connettori in modo l'utente possa posizionare lo strumento nel blocco attraverso una guida, togliere la mano, staccare il sensore di tracciamento collegare un altro strumento e riprendere l'operazione in pochi secondi. Questo potrà essere fatto con una mano e senza l'ausilio di uno strumentista nella zona di simulazione.

Fig 6.57 | Assemblaggio connettore pinze V 2.0



Per quanto riguarda il gruppo forbici e needle holder è stato rilevato dai chirurghi una resistenza meccanica eccessiva in fase di chiusura. Questo è dovuto al fatto che l'angolo in cui erano fissate precedentemente le bacchette era troppo grande. Per ovviare a questo ho riprogettato il connettore (fig 6.59), ora composto da un corpo centrale in cui verrà inserita la scheda (Fig 6.58) e chiusa da uno sportellino, le bacchette verranno inserite in delle apposite sedi e poi collegate al corpo centrale. Tra le sedi e la struttura porta scheda ho posizionato del silicone. Questa soluzione permette una variazione di resistenza in fase di chiusura, come se fosse una molla, addolcendo notevolmente la resistenza meccanica.

Fig 6.59 | Connettore forbici e needle holder V 2.0

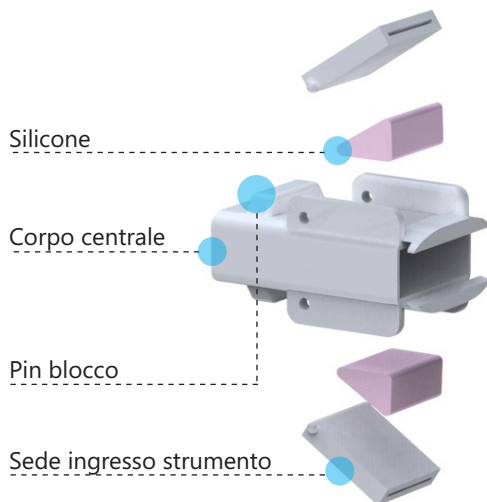
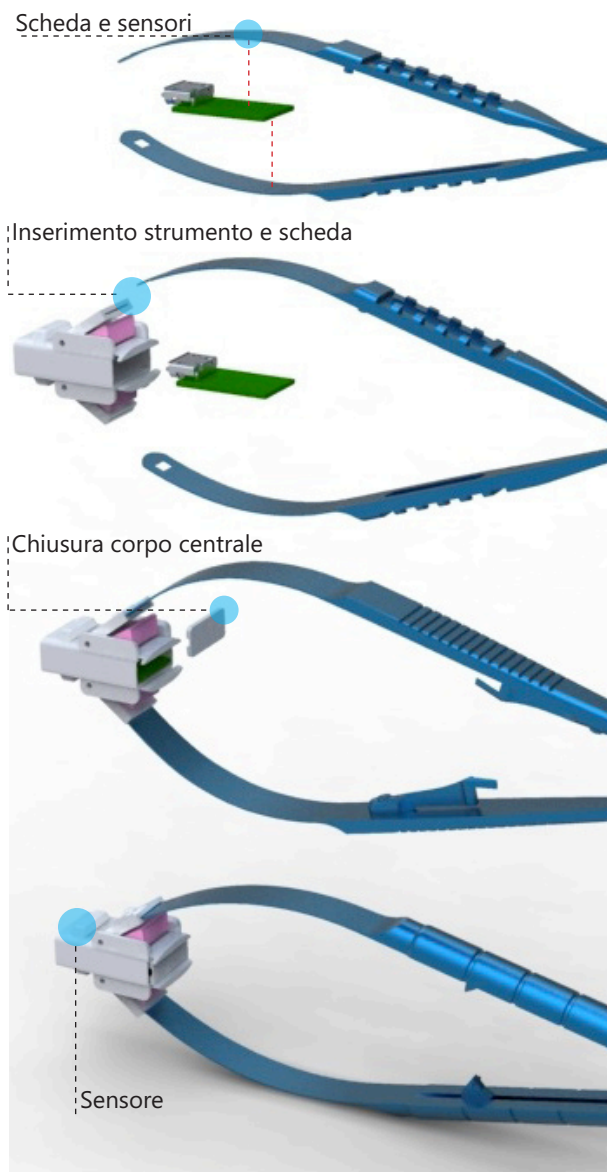


Fig 6.58 | Assemblaggio connettore V 2.0



Anche il connettore per il sensore di tracciamento cambia notevolmente sfruttando come per i connettore per le pinze una chiusura a vite. La maggiore precisione della stampante permette un migliore incastro del maschio USB ed inoltre viene migliorata la geometria al fine di una minor fatica per la rimozione del connettore dagli strumenti, fornendo maggiore grip in tutte le direzioni di presa. La fase terminale del connettore è stata modificata per evitare che il sensore ruotasse su stesso ed avesse un raggio di curvatura in uscita più dolce, questo per evitare rotture del cavo che si è rivelato essere parecchio fragiel. Nella figura 6.61 notiamo come avviene la connessione tra gli strumentie ed il sensore e la posizione del pin blocco.

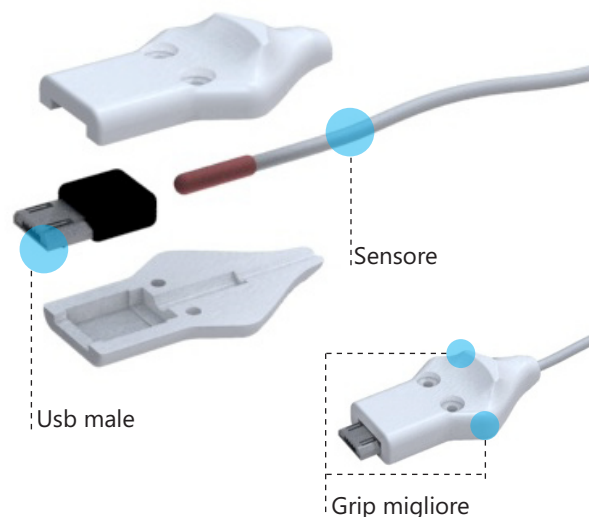
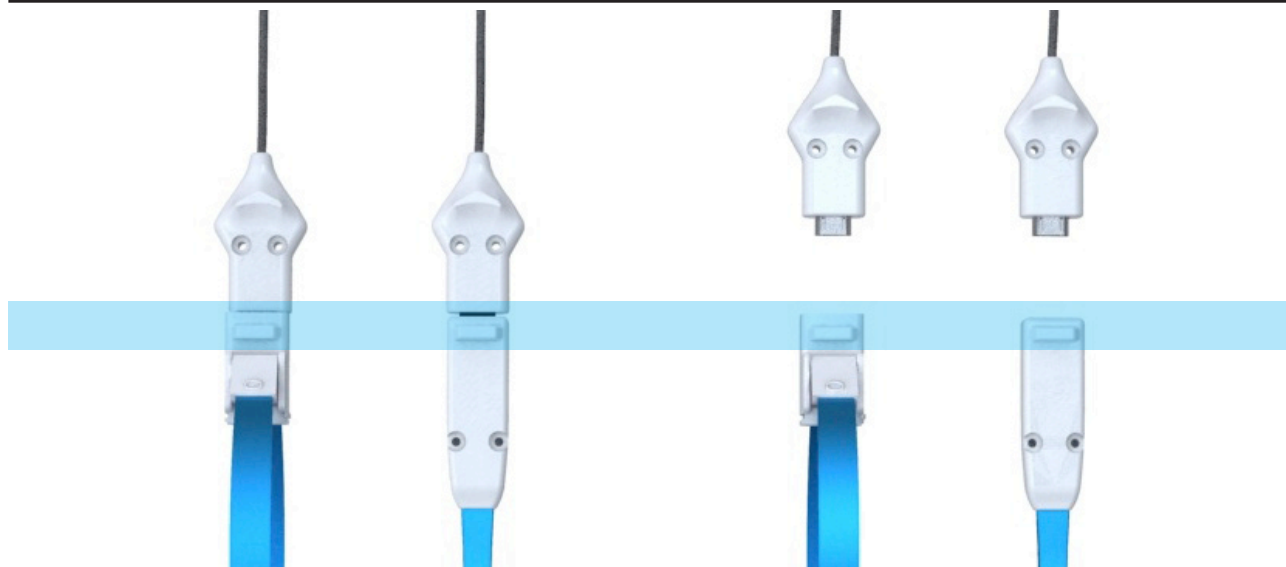


Fig 6.60 I Connettore sensore tracciamento V 2.0

Fig 6.61 I Connessione strumenti - sensore tracciamento e cavo dati V 2.0



Ho progettato anche un blocco che permettesse il fissaggio degli strumenti e la seguente fase di plug-in e plug-out. Nel blocco è presente una guida (fig 6.63) in cui è possibile inserire gli strumenti. Per favorire l'ingresso dello strumento ho optato per un ingresso a V, quando lo strumento viene posizionato dall'alto, il centramento è favorito. Come accennato, a seguito dei test, bisogna integrare nello stand il blocco di sostegno e collegamento degli strumenti. In questa versione si è pensato di fissarli direttamente sul vassoio, 4 a destra e 4 a sinistra, in modo che fossero accessibili a secondo dell'occhio operato e della mano usata dal chirurgo. Nell'immagine 6.62 possiamo vedere il posizionamento relativo delle parti nello stand.

Fig 6.63 | Guide e pin nel blocco strumenti

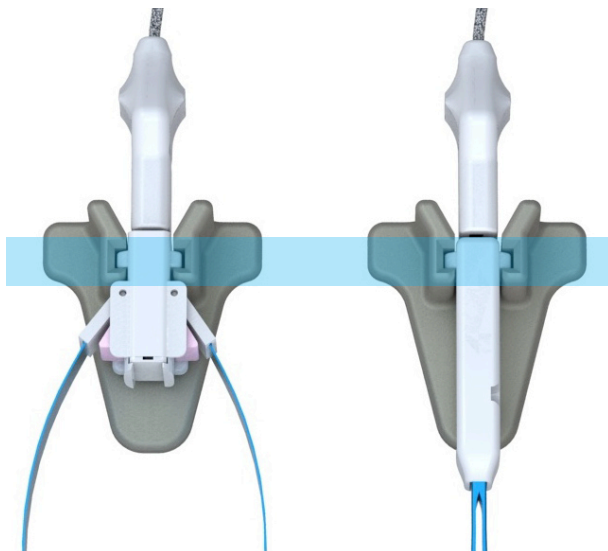
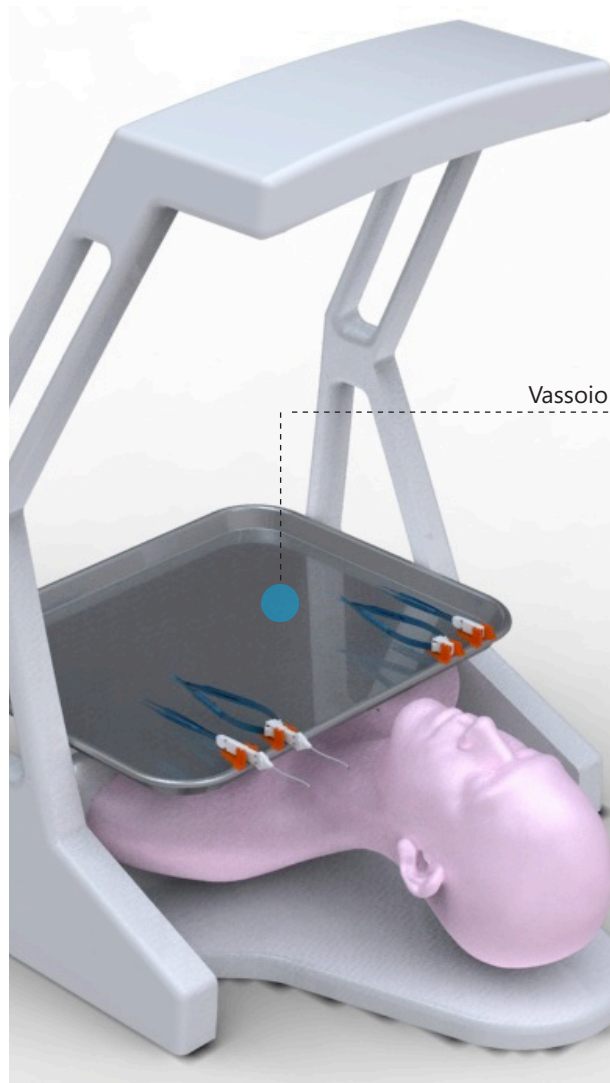


Fig 6.62 | Integrazione blocco e strumenti con lo stand



■ Prototipo Versione 2.0

Dal concept al prototipo di sono avute alcune difficoltà riguardanti le viti, le prime usate erano il alluminio ma interferivano con il campo elettromagnetico. Si è dovuto optare per viti in plastica, perdendo in rigidità nella tenuta della scheda nelle pinze. Trovare la giusta geometria nel nuovo attacco per le forbici ha necessitato parecchi prototipi, questo perchè lo spessore delle bacchette non è costante in tutti gli strumenti del gruppo e la rotazione della sede che ospita lo strumento con il corpo centrale era a volte eccessiva.

● User test Versione 2.0

I chirurghi hanno trovato molta più stabilità in questi nuovi connettori riuscendo ad operare con scioltezza e non avendo alcun problema dai cavi (fig 6.65). Forti intoppi sono invece nati dalla tipologia di connessione tra lo strumento ed il blocco. Questo risultava essere di difficile centraggio a causa sia della geometria stessa del blocco che dalla sua posizione nello stand. Infatti durante gli interventi i chirurghi vestono occhiali magnificati e nella posizione attuale risulta di difficile individuazione il blocco porta strumenti.

Fig 6.64 I Prototipo V 2.0 con integrazione allo stand

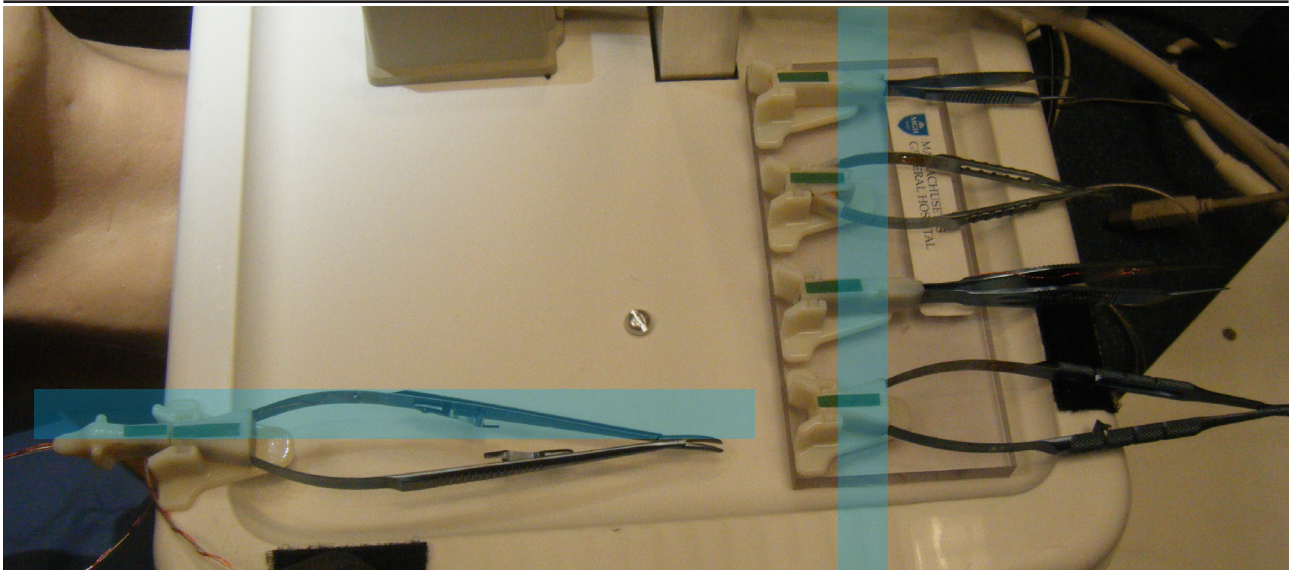
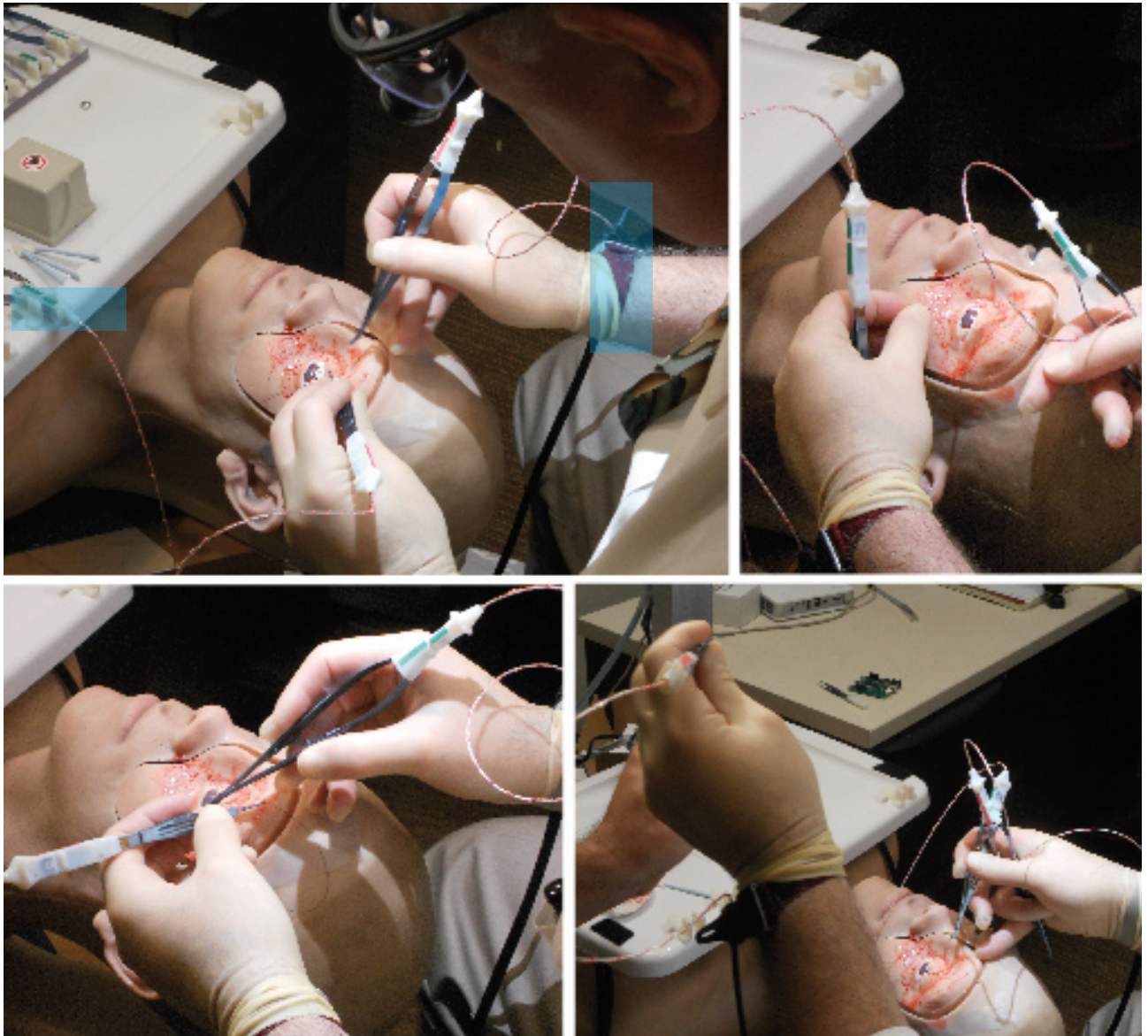


Fig 6.65 | User test v 2.0 Il chirurgo esegue alcune manovre di sutura



■ Concept Versione 3.0

La tenuta delle schede in fase di scollegamento risultava essere anche non sufficiente, dopo una ventina di prove, questa usciva di sede e disaldava i fili di rame. Ho deciso quindi di abbandonare il concept a due scocche simmetriche avvitate con viti di plastica a favore di una soluzione ibrida. Abbiamo sempre due scocche (Fig 6.66) ma quella superiore viene incollata direttamente sulla pinza. Poi si procede all'inserimento della scheda seguendo un binario e le due scocche vengono avvitate. La struttura geometrica fornisce un blocco in tutte le direzioni della scheda, non può né avanzare né ruotare. Anche la geometria del pin blocco è stato modificato, è ora ingrandito e facilmente identificabile, i lati lunghi sono in pendenza per favorire l'ingresso nella guida del blocco. Per quanto riguarda gli altri strumenti, dopo i test si è capito che la soluzione adottata per le forbici nella versione 2.0 fosse ottima, poca resistenza alla chiusura con leve più corte. Mentre per i needle holder, dove le leve sono più lunghe era preferibile la soluzione adattata nella versione V 1.0 che dava meno resistenza. In entrambe le soluzioni (fig 6.67 e 6.68) i connettori sono stati implementati con il pin blocco nuovo. Lo stesso blocco è stato riprogettato per facilitare l'ingresso sia frontalmente che superiormente (fig 6.70). Ora tutti e 10 gli strumenti possono essere fissati nel blocco e possono essere collegati e scollegati dal sensore di tracciamento, come possiamo vedere in figura 6.69.

Fig 6.66 | Assemblaggio connettore pinze V 3.0

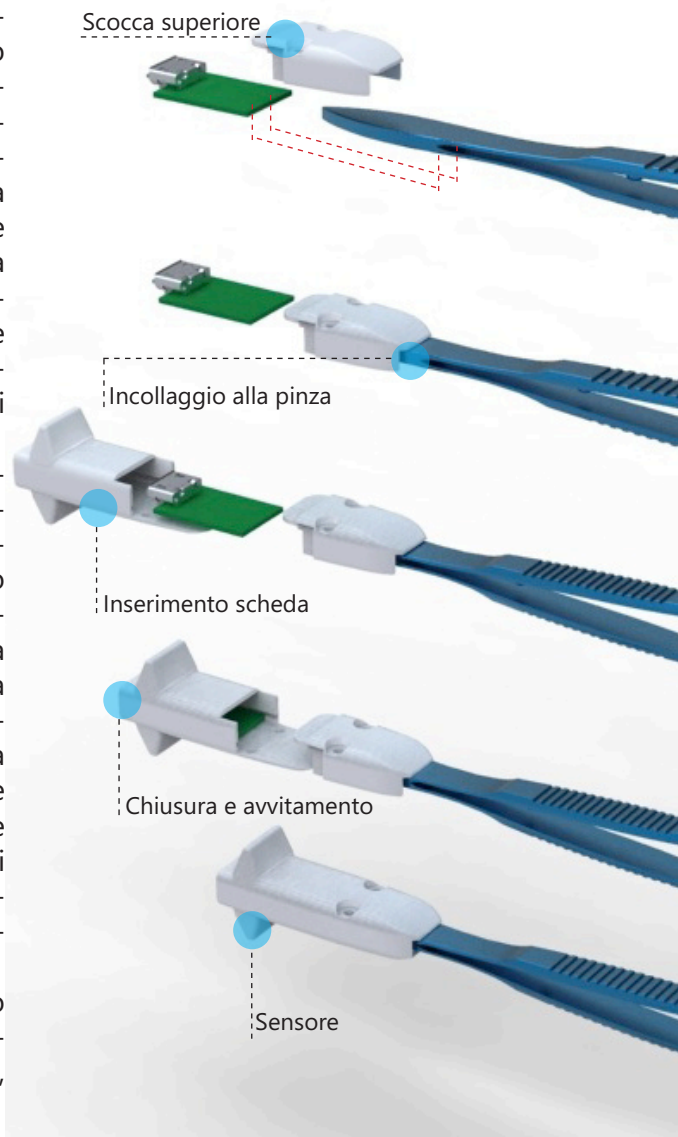
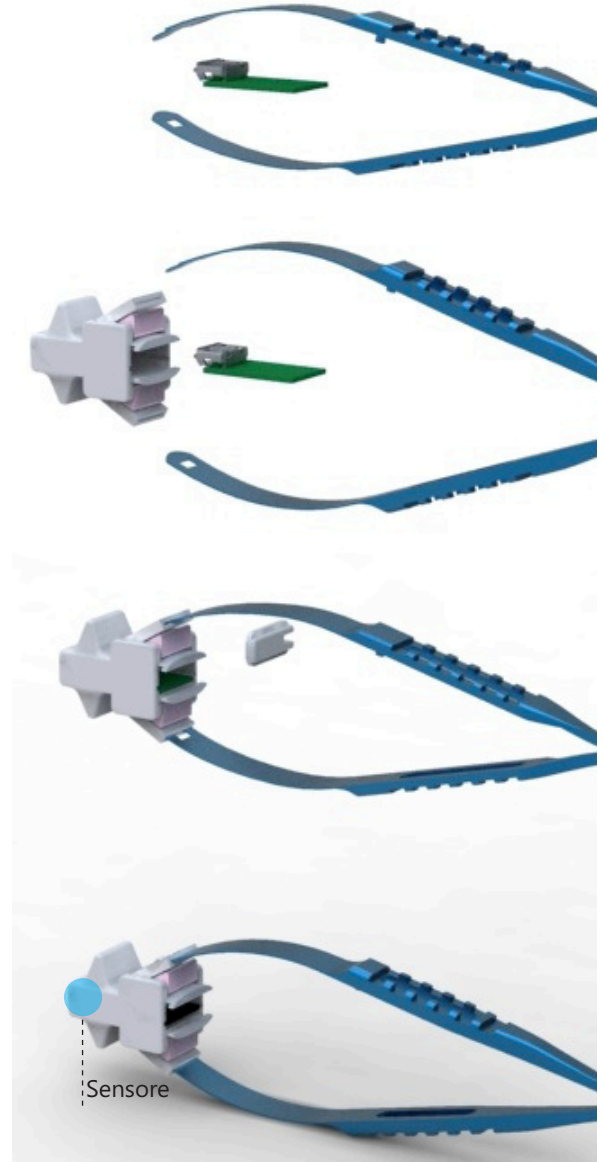


Fig 6.67 | Assemblaggio needle holder V 3.0



Fig 6.68 | Assemblaggio forbici V 3.0



L'interazione tra lo strumento e lo stand è stato ripensato, cercando di individuare all'interno dello stando una posizione congrua con l'uso degli occhiali magnificati del chirurgo. Una struttura di 20 cm e di 30 gradi di inclinazione è stata disegnata per essere implementata allo stand (fig 6.71). Questo permette di posizionare 5 strumenti a destra e 5 a sinistra per meglio soddisfare le esigenze del chirurgo. L'inclinazione serve a mantenere gli strumenti fermi nel blocco.

Fig 6.69 I Connettori collegati tra le tre classi di strumenti

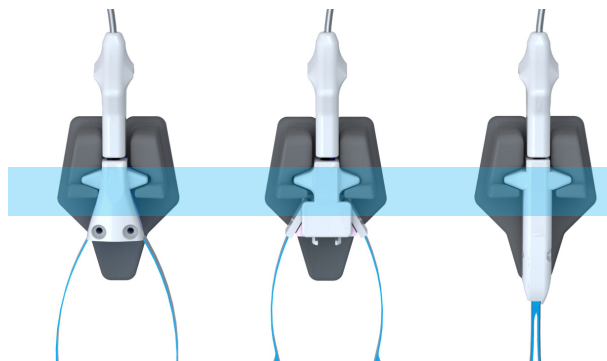


Fig 6.70 I Focus sulla geometria del sistema plug-in

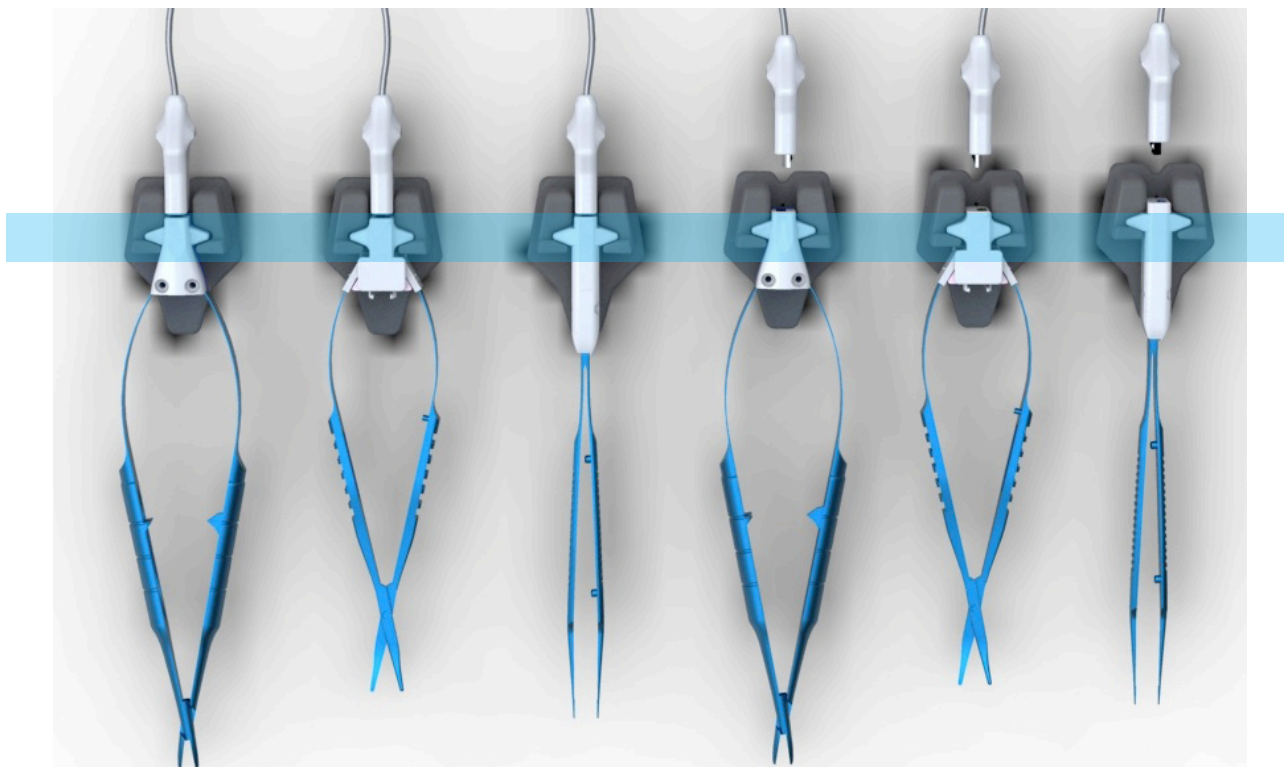
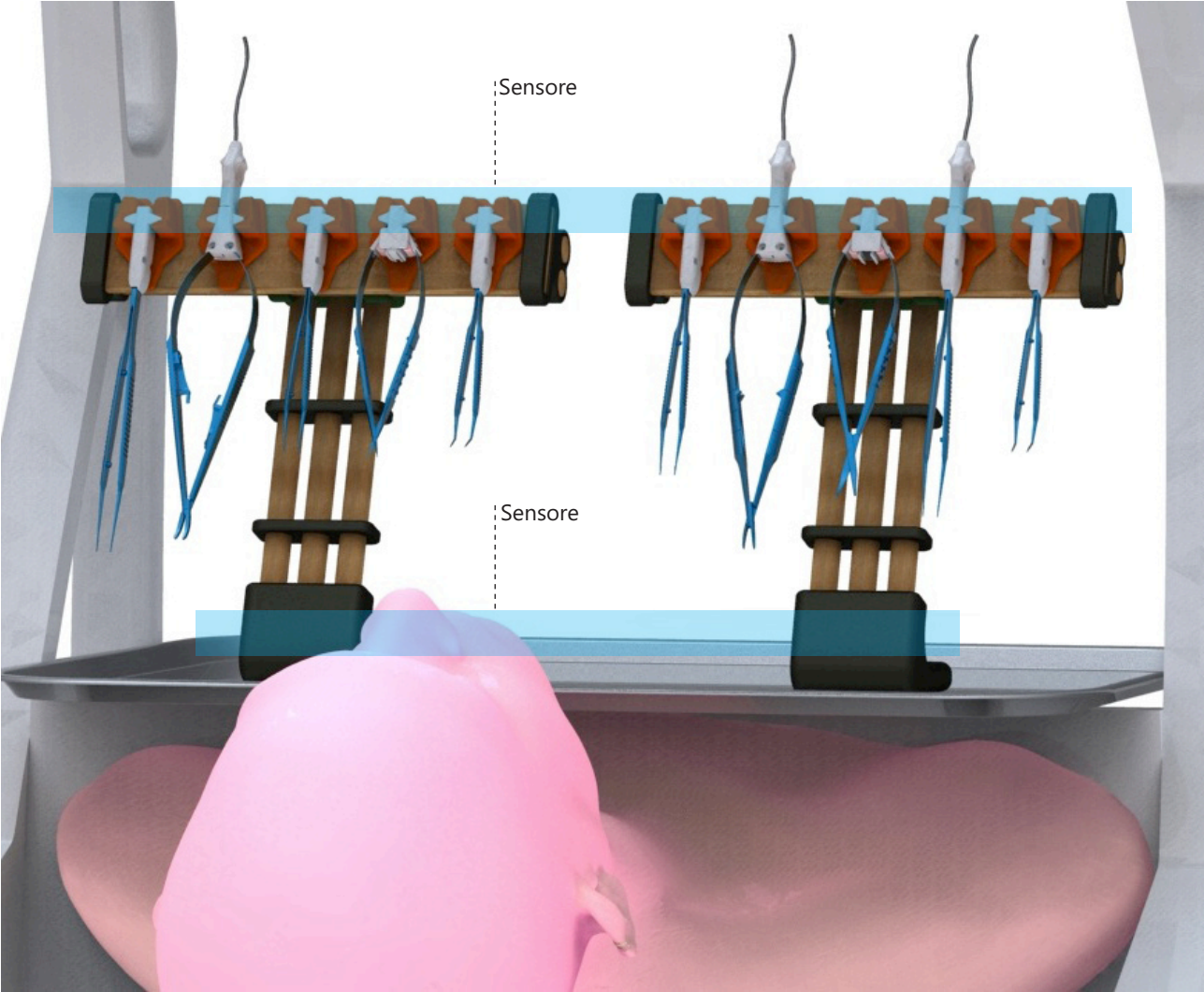


Fig 6.71 | Integrazione allo stand degli strumenti con nuovo supporto di plug-in



Prototipo V 3.0

Per tutti i connettori sono state trovate le giuste viti in plastica da usare, facili da avvitare con l'attrito sufficiente in relazione alla plastica della stampante 3D (fig 6.67). La procedura di assemblaggio per le pinze risulta essere molto semplificata, l'uso di binari per l'inserimento della scheda facilita il posizionamento e conferisce molta più stabilità nella fase di distacco usb.(fig 6.68-70) Il supporto dello

Fig 6.67 I Prototipi connettori V 3.0

tand, atto a sostenere gli strumenti a 20 cm dal vassoio usa come struttura portante dei cilindri in legno della sezione di un 1 cm uniti. Le base e le parti di congiunzione sono tutte disegnate e stampate in 3D, mentre la superficie sulla quale sono incollati i blocchi strumenti è un cartone compressato. Nelle figure 6.69-71 possiamo vedere il prototipo integrato allo stand. Il fissaggio al vassoio è fatto con una sola vite, il che permette la rotazione per un migliore orientamento. Anche l'altezza dei blocchi può variare a seconda della richiesta del chirurgo.

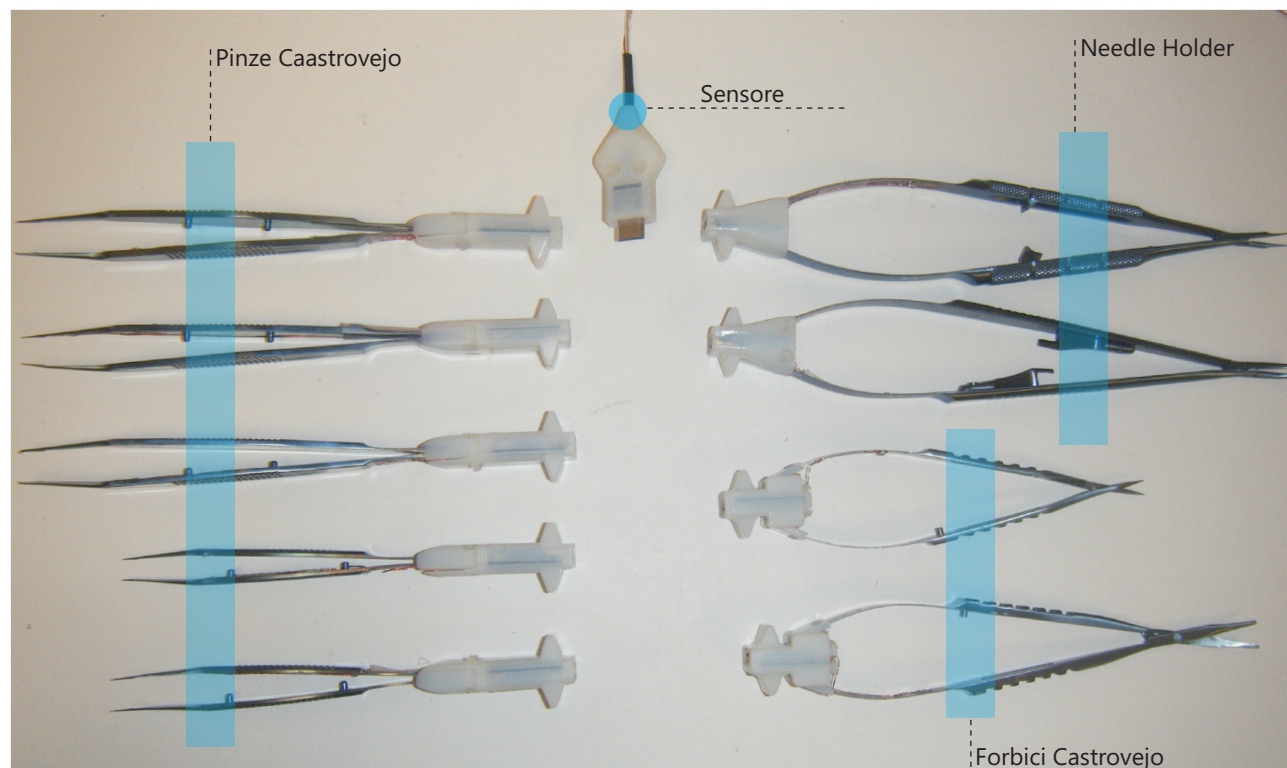


Fig 6.68 | Connessione strumento

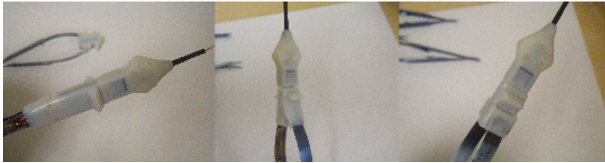
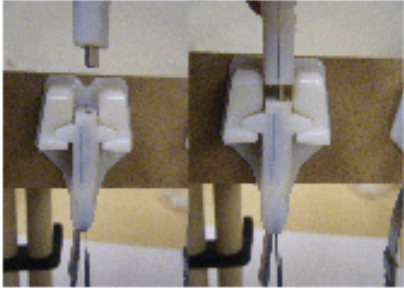


Fig 6.70 | Connessioni attive nell tre classi di strumenti

Fig 6.71 | Sistema di posizionamento dei porta strumenti

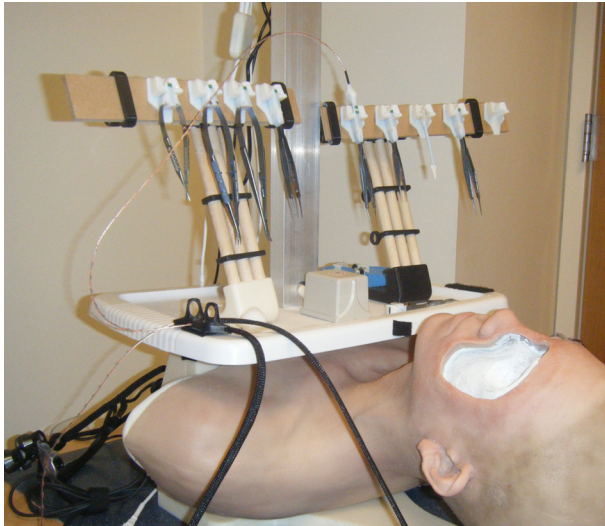
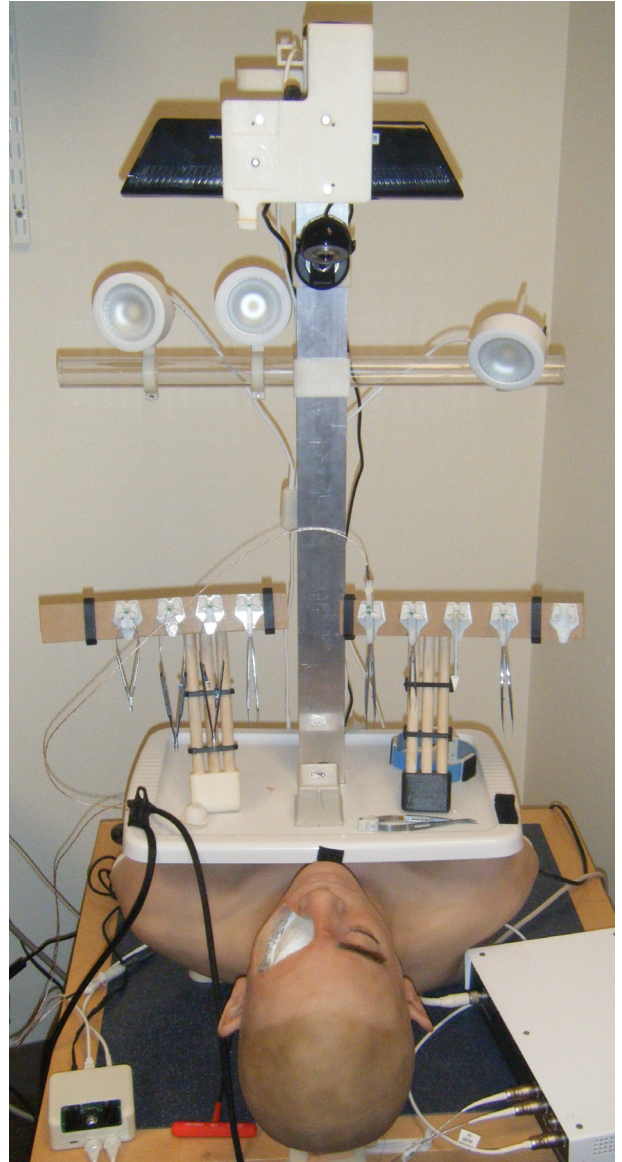


Fig 6.69 | Prototipo V 3.0 integrato allo stand



● User test

I connettori sono stati giudicati molto positivamente, i giochi tra le parte totalmente evitati. Anche il posizionamento dello strumento all'interno del blocco risulta decisamente più naturale grazie alle nuove geometrie, sia del pin che della sede del blocco. Grande importanza ai test è stato dato alla interazione tra il chirurgo ed il supporto porta strumenti integrato allo stand. (fig 6.73-73) Anche questo ha avuto recensioni

molto positive. Il chirurgo può ora cambiare lo strumento con una mano sola in maniera fluida e senza difficoltà. Trovare il blocco dove posizionare lo strumento è molto più facile poiché non è più necessario che il chirurgo alzi la testa per cercare i blocchi, ma basta semplicemente che alzi gli occhi e li trovi. Questo è di fondamentale importanza quando si usano occhiali mangnificati, si può rimanere fermi con la testa per fissare il punto di intervento e cambiare strumento senza alcuna perdita di posizione. +

Fig 6.72 | User test effettuato al SimLab della versione 3.0 dei connettori e dei porta strumenti

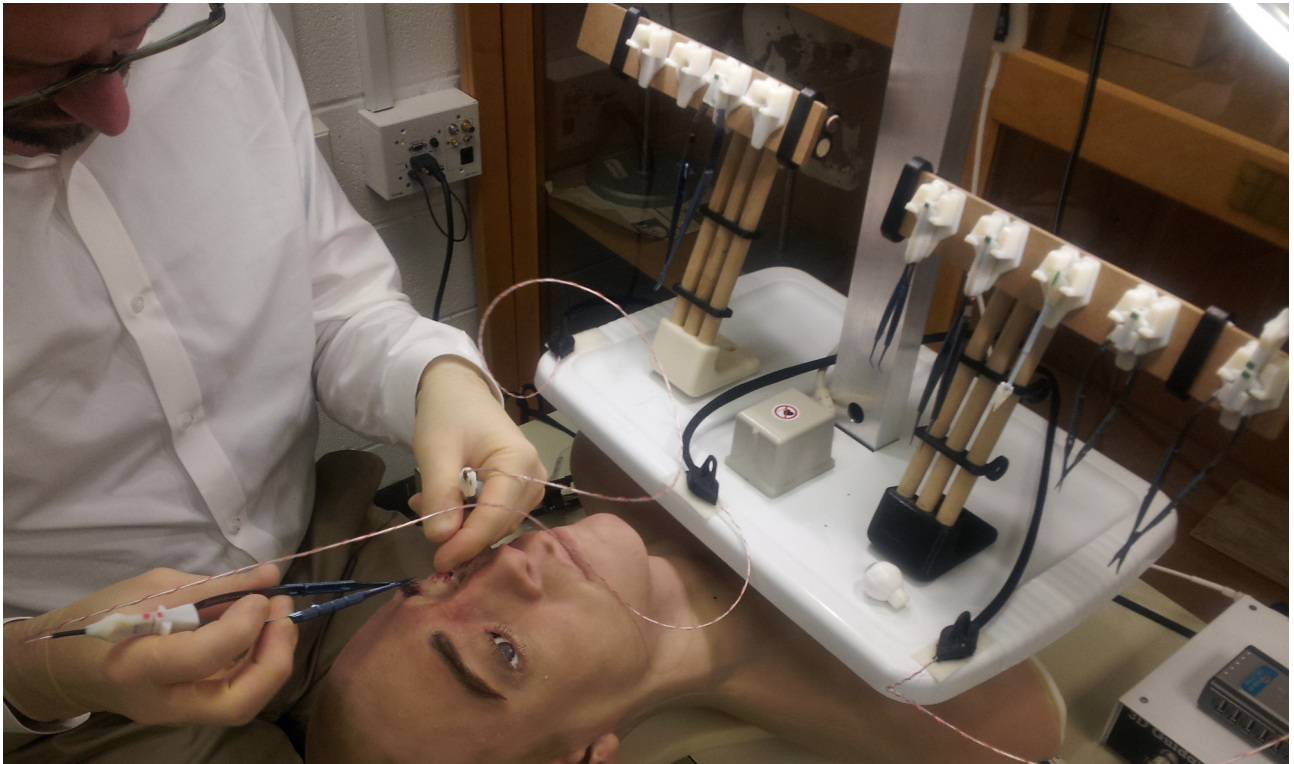


Fig 6.73 I User test- sutura della palpebra con connettori V 3.0



10.3 Microscopio a realtà aumentata

In order to provide some additional information to the surgeon during interventions i'm designing a surgical stereoscopic microscope with embedded displays for augmentation of reality. The first approach was to gain an a existing microscope head, used by U.S ARMY, disassemble it and figure out if and how improving the system with displays. This kind of approach has an advantage, gathering high quality optics and the right allignment geometry. But as a first working prototype I preferred to follow another way, and if this one is fine than

Requisiti

- Compatibile con sistema tracciamento
- Qualità dell'immagine confrontabile con i microscopi in uso US Army
- Hardware per realtà aumentata integrato
- Integrabile allo stand
- Mantenere le stesse funzionalità dei microscopi in commercio
- Illuminazione dell'oggetto sotto esame
- Zoom ottico

Fig 6.74 | Sala operatoria - microscopio chirurgico



Proposta 1

La prima proposta di progettazione da me avanzata è molto radicale, l'idea è quella di creare ex-novo il microscopio con le caratteristiche necessarie al funzionamento sia in caso di visione normale che di realtà aumentata. L'approccio è sicuramente rischioso a causa della

consoscnenze necessarie di ottica per realizzare un microscopio, della stabilità e precisione di assemblaggio di tutta la componentisca (ottiche, guide). Il vantaggio risiederebbe nel poter gestire tutti gli aspetti del progetto, scegliere i materiali adatti, i display migliori e poter organizzare al meglio l'interazione tra lo strumento e l'utente integrandolo al meglio nello stand.

Pro

- Materiale compatibili con il sistema di tracciamento
- Totale integrabile con lo stand
- Maggiore libertà nella progettazione
- Riduzione dei costi

Contro

- Difficoltà nella scelta delle ottiche
- Assemblaggio delle parti ad elevata precisione
- Bassa qualità dell'immagine
- Tempi lunghi di realizzazione

Possibile Soluzione

Cercare di costruire un microscopio sfruttando progetti condivisi ed implementarli con ottiche di relativa qualità al fine di implementare le informazioni che arrivano al chirurgo dal campo operatorio.

Proposta 2

La seconda proposta aveva come punto cardine l'acquisto di un microscopio chirurgico professionale, per smontarlo, capirne il funzionamento e cercare di impementarlo aggiungendo la componentistica ottica necessaria e dei display che mandassero ulteriori informazioni agli oc-

chi dell'utente. Questo avrebbe permesso di sfruttare le ottiche di alta qualità per avere immagini nitide a cui i chirurghi fossero abituati. Il problema però potrebbe essere l'incompatibilità dei materiali, con i quali sono costruiti i microscopi, con il nostro campo magnetico. Inoltre intervenire su della meccanica ottica di alta precisione potrebbe essere problematico.

Pro

- Ottiche già esistenti
- Meccanica gestione ottiche precisa
- Zoom ottico
- Alta qualità dell'immagine
- Non bisogna acquistare nuovi prodotti

Contro

- Necessità di comprare un microscopio commerciale, costi maggiori
- Materiali non compatibili con sistema di tracciamento
- Necessità di dover ricreare la struttura portante delle ottiche in plastica
- Spazi ridotti per implementazione dei display

Possibile Soluzione

Acquistare la testa di un microscopio chirurgico con le proprietà tecniche richieste per interventi chirurgici agli occhi. Smontarlo e scegliere una via di intervento per implementare le informazioni provenienti dal campo operativo. Bisognerà scegliere delle componenti ottiche, quali lenti, specchi e hardware elettronico, come display dai quali far uscire le informazioni che vogliamo aggiungere

■ Prototipo 1

Sfruttando alcune teorie di ottica sfruttando le potenzialità di due binocoli. L'idea è nata da alcuni progetti trovati in rete [29] e riarrangiati per raggiungere il mio scopo, ovvero quello di costruire un binocolo stereoscopico. Le parti più importanti di hardware ottico, ovvero i prismi sono stati ricavati smontando un binocolo. Mentre per il meccanismo di messa a fuoco ho sfruttato l'attrito di un cavo d'acciaio rivestito di pvc ed un paio di barre di alluminio, che, nel caso in cui il prototipo avesse successo verranno sostituite con barre di plastica. I binocoli sono fatti per osservare oggetti distanti, e i raggi di luce riflessa dagli oggetti entra negli

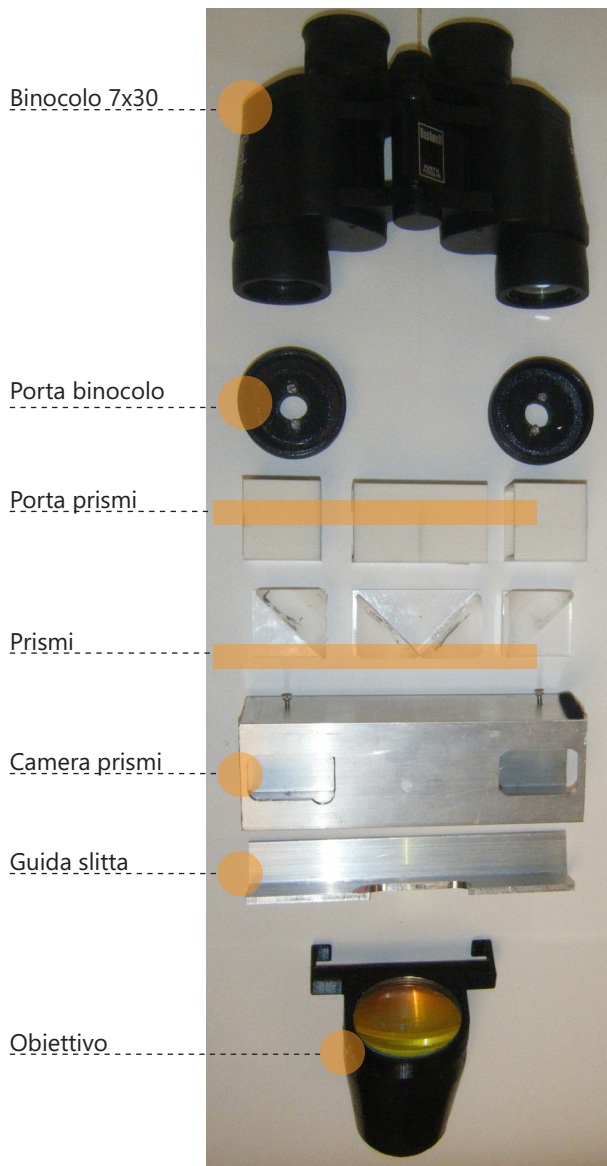
obiettivi del binocolo praticamente in parallelo. Ogni obiettivo dei binocoli forma un'immagine alla sua distanza focale, in un piano sfruttabile per essere osservato ed ingrandito dall'oculare. Sfrutteremo questo tipo di lenti per il nostro microscopio. Posizionando quello che era l'obiettivo del binocolo vicino al campione di cui vogliamo l'ingrandimento avremo dei raggi in ingresso paralleli che dovranno essere sdoppiati per arrivare all'occhio destro e quello sinistro in due immagini differenti, in modo di avere una vista stereo scopica. L'obiettivo del binocolo quindi focalizzerà due immagini separate dell'oggetto osservato sui piani focali degli oculari. Solitamente gli oculari ingrandiscono l'immagine restituendola all'osservatore.

Per avere due immagini separate dovremo avere:

- Una serie di prismi che permettono ad un ulteriore binocolo di focalizzare il percorso ottico che fuoriesce dall'obiettivo comune
- sfruttare la larghezza distale relativa dei prismi per permettere un aggiustamento della distanza interpupillare senza dover muovere l'intero microscopio
- I componenti ottici verranno recuperati da un binocolo disassemblato
- Un binocolo 7x30 integrale, funzionante

Nell'immagine 6.75 possiamo vedere la componentistica relativo all'ottica. Partendo dal basso abbiamo l'obiettivo, come detto, la lente è stata ricavata da un binocolo rotto 10X50. Il supporto per la lente è stato progettato e stampato in 3D. I raggi quindi entrano da questo obiettivo ed entrano nella camera ottica, il corpo principale è in alluminio, lavorato con fresa CNC per creare i fori nella posizione adatta. Anche la guida per lo slittamento dei prismi è in alluminio e anch'essa è stata fresata. Dopo di che abbiamo i prismi che sono stati recuperati da un altro binocolo. Questi sono stati incollati accuratamente su dei supporti di acrilico della stessa dimensione. La precisione in questa fase è stata necessario dato che dal giusto allineamento potremo avere un risultato finale soddisfacente. I prismi con i supporti saranno poi inseriti nei porta prismi, parallelepipedi con i fori per permettere il passaggio dei raggi e di fissare i porta binocolo. Le due strutture di supporto sono state stampate in 3D, in abs, ma di colore differente. Il percorso del raggio luminoso quindi, parte dall'oggetto osservato passa dalla prima lente, appunto, l'obiettivo, il cui ruolo è quello di mettere in parallelo i raggi. Dopodiché il raggio entra nella camera dei prismi dove viene sdoppiato. Il percorso è di lunghezza uguale per entrambi i raggi ma specchiato. L'informazione contenute nei raggi arrivano quindi agli obiettivi del binocolo integrato, in cima alla foto, ed essendo già paralleli possono essere ingranditi dall'oculare. Per permettere l'aggiustamento interpupillare, la camera dei prismi

Fig 6.75 | Componentistica ottica microscopio



è progettata per far sì che i due prismi esterni possono essere traslati in relazione allo spostamento degli obiettivi del binocolo (fig 6.77). Per quanto riguarda la messa a fuoco, ho creato un carrello sul quale fissare tutta la parte ottica. Una barra di alluminio passa per il blocco permettendone lo spostamento verticale in modo preciso. In orizzontale ho posizionato un'altra barra con dei pomelli sulla quale è stato avvolto un cavo, poi fissato in cima e alla base del microscopio (fig 6.76). Il sistema nonostante alcune imprecisioni funziona, ho ottenuto immagini nitide ingrandite. L'investimento è stato irrisorio e tutti i materiali usati sono compatibili. Ma visto l'alta accuratezza necessario con le lenti ho deciso di seguire la seconda proposta per l'implementazione di display per la realtà aumentata.

Fig 6.77 | Camera dei prismi con percorso raggi

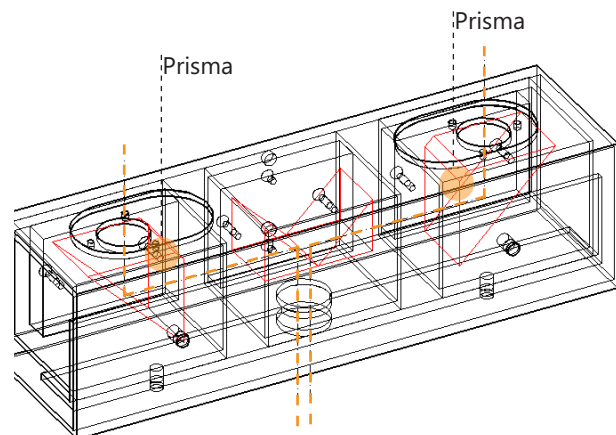
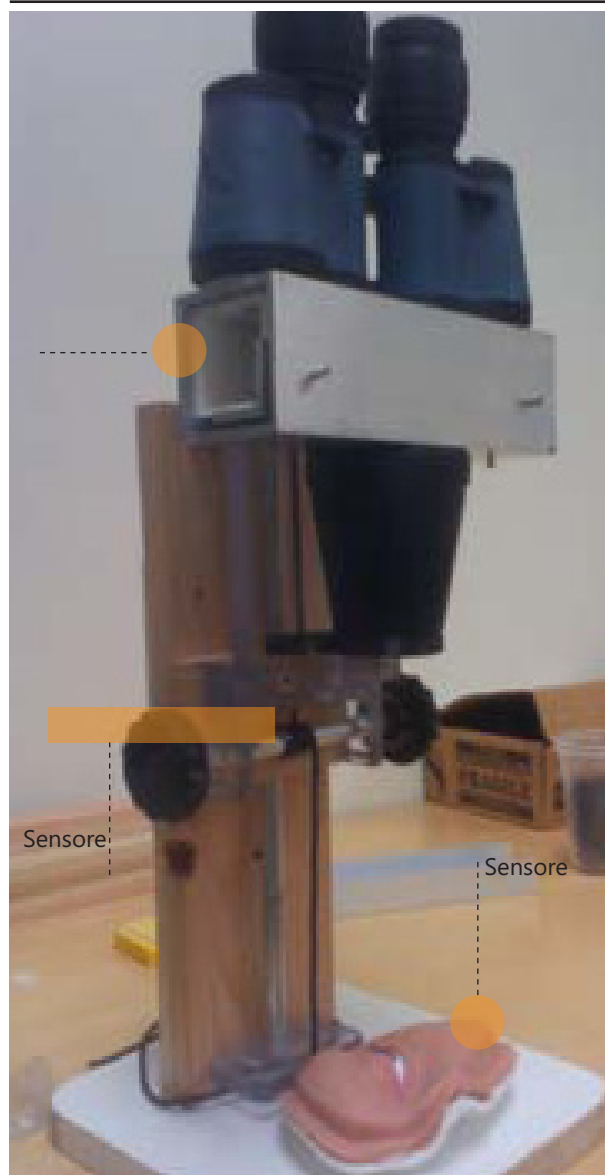


Fig 6.76 | Prortipo 1, ottiva e movimentazione



Prototipo 2

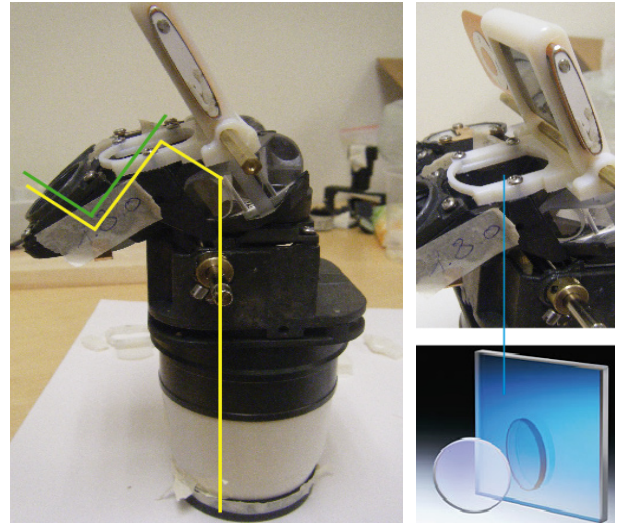
Il primo prototipo mi ha permesso di avere le idee molto più chiare sul funzionamento delle lenti, prismi, oculari e obiettivi dei microscopi stereoscopici. Data la necessità di avere ottiche di alta qualità ho scelto il microscopio che avessi le proprietà di ingrandimento, il campo di lavoro e gli oculari che facessero al caso nostro. Visto l'elevato costo del prodotto mi sono anche fatto consigliare da chirurghi esperti, raccogliendo informazioni sulla tipologia di microscopio chirurgico preferito. La scelta è quindi ricaduta su un microscopio venduto dalla AMSCOPE (Fig 6.78) che ha il corpo ottico progettato dalla OLYMPUS, nota casa produt-

trice di gruppi ottici di elevata qualità. Il primo passo è stato quello di smontare pezzo per pezzo il microscopio per capire come fosse fatto all'interno e se ci fossero veramente delle analogie con quello costruito nel prototipo uno. Il meccanismo generale è lo stesso, ovvero un fascio di luce unico viene normalizzato da una lente (obiettivo) e poi seguendo un percorso attraverso prismi, viene scisso in i due fasci per raggiungere gli oculari. Dopo aver analizzato la meccanica ho ragionato su quale fosse il posto migliore nel quale intervenire per aggiungere un'altra immagine. Il primo intervento è ricaduto sulla cima del microscopio dove una serie di specchi rimbalzava l'immagine per poi mandarla all'oculare (fig 6.79). Ho scelto questa

Fig 6.78 | AmScop Microscope



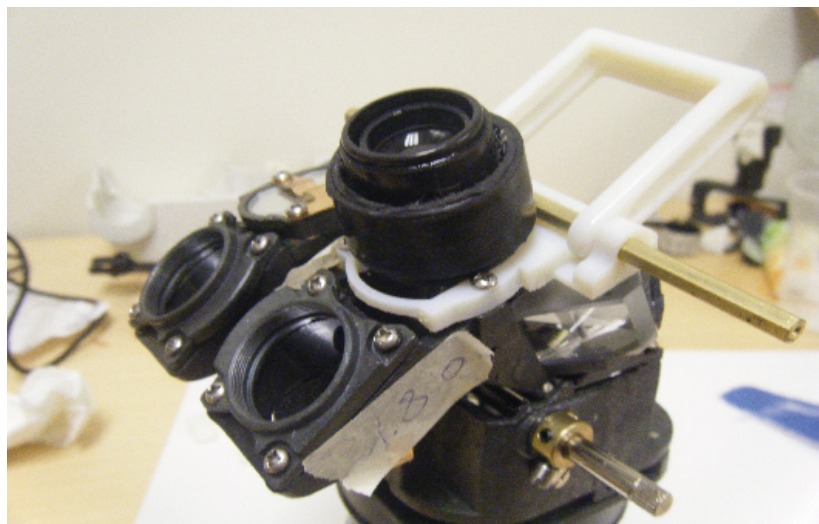
Fig 6.79 | Primo intervento di implementazione display



posizione per la facilità di manovra nell'aggiungere eventualmente della componentistica. L'idea è stata quella di sostituire lo specchio che rifletteva al 100% con uno che potesse sia riflettere che trasmettere, ovvero lasciasse passare dei raggi. Il primo tentativo è stato fatto con un IPOD visto la facilità di caricamento immagini ed interfaccia con il pc. Per il giusto posizionamento ho progettato e stampato un meccanismo che si avvitasse al corpo centrale del microscopio e che permettesse all'ipodi di ruotare, in modo di trovare l'angolo di incidenza migliore. Il tentativo non è andato a buon fine, l'immagine che fuoriusciva dall'oculare era fuori fuoco. Memore dell'esperienza con il primo prototipo mi sono ricordato che i raggi uscenti

dallo schermo andavano resi paralleli prima di intrare nel percorso in cui avrebbe incontrato i prismi. Ho quindi usato gli oculari del vecchio binocolo usato nel precedente prototipo, come possiamo vedere nella figura 6.80, le lenti sono posizionate prima dello specchio, manualmente ho fatto delle prove per capire se poteva funzionare e alla fine sono riuscito ad avere delle immagini nitide che uscivano dall'oculare del microscopio. La prova fatta aveva parecchi difetti, per ottenere un'immagine a fuoco la distanza del display dal sistema di lenti era parecchio elevata, inaccettabile per un'eventuale implementazione ed inoltre le immagini erano troppo ingrandite, infatti potevo vedere i singoli pixel del display. Nel frattempo il prototi-

Fig 6.80 | Lenti per mettere in parallelo i raggi in uscita dal display (Ipod)



po è stato implementato con uno specchio che riflettesse solo il 50 % della luce che lo colpiva in una determinata direzione. (Fig 6.81), questo mi ha permesso di cominciare a fare dei test sull'effettiva fusione dei raggi luminosi che formano le immagini. Il primo test è stato positivo, mettendo il microscopio su un supporto e coprendo con nastro adesivo alcuni componenti ottici che potevano infastidire il segnale di luce, ho osservato contemporaneamente l'immagine di una parte del manichino e l'immagine che stavo proiettando dal display dell'ipod. Persisteva il problema dell'eccessivo ingrandimento e della definizione del piano di messa a fuoco. Per ridurre l'ingrandimento ho deciso di usare un'ulteriore lente concava, in modo che rimpic-

cilisse l'output dell'immagine prima che i raggi entrassero in contatto con lo specchio (fig 6.82). Grazie a questo intervento ho ridotto in modo significativo l'ingrandimento, anche se non ancora a sufficienza, per ottenere il risultato giusto ho cambiato la lente con una con differenti proprietà ottiche. Nel frattempo, grazie all'aiuto di un collega, abbiamo trovato la giusta distanza focale alla quale posizionare il display, ovvero circa 10 centimetri dalla prima lente concava. Il percorso dei raggi ottimale è quindi quello testato e possiamo vederlo nell'immagine 6.83, in cui possiamo vedere come le informazioni si uniscano per arrivare contemporaneamente all'occhio dell'osservatore. Nell'immagine 6.84 sono mostrati i risultati finali soddisfacenti.

Fig 6.81 Specchio 50 Rif - 50 Ref integrato al microscopio



Fig 6.82 I Display e lenti integrate al microscopio



Fig 6.83 | Schema di percorso dei raggi luminosi per ottenere un'immagine implementata agli occhi

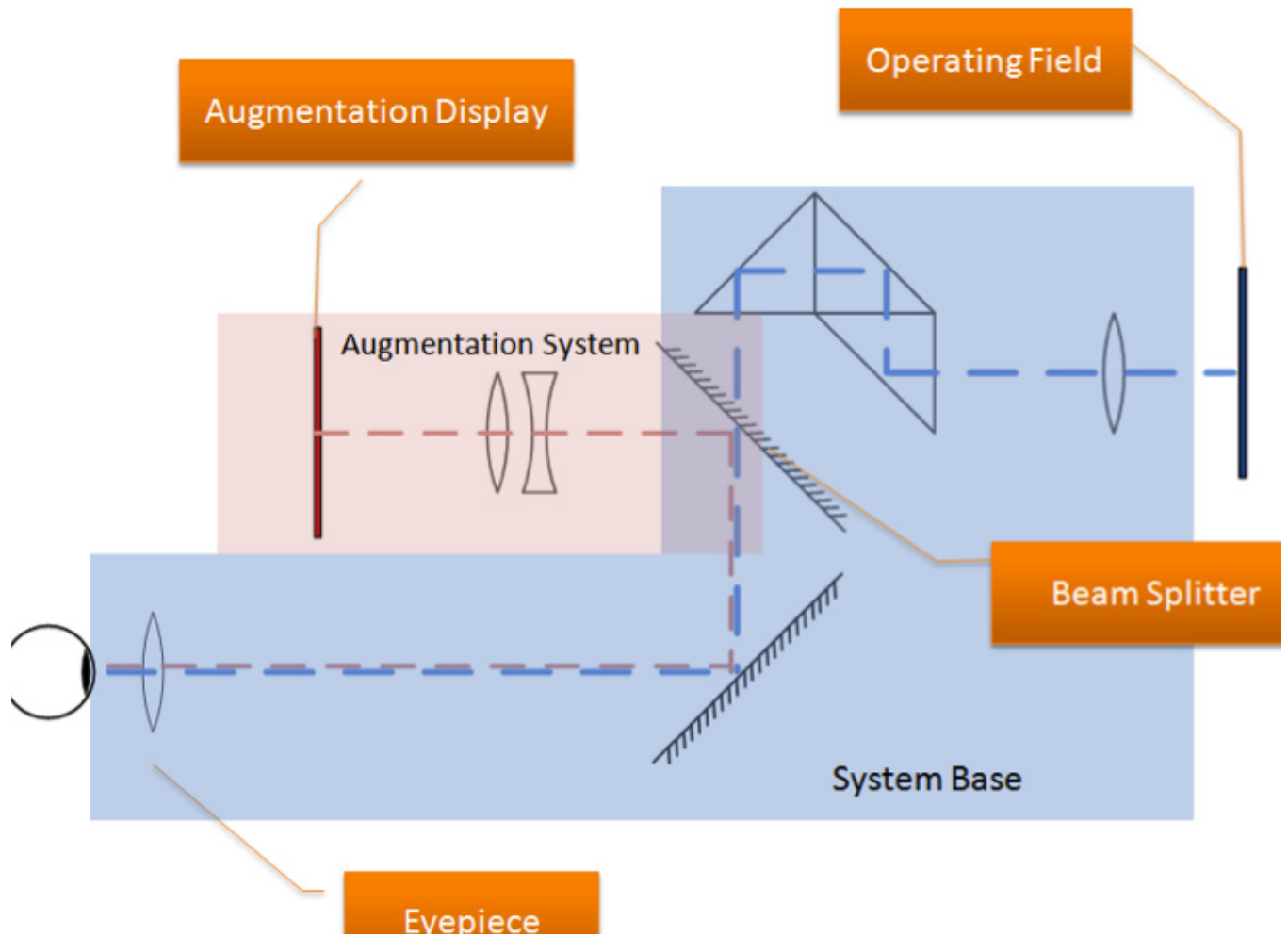
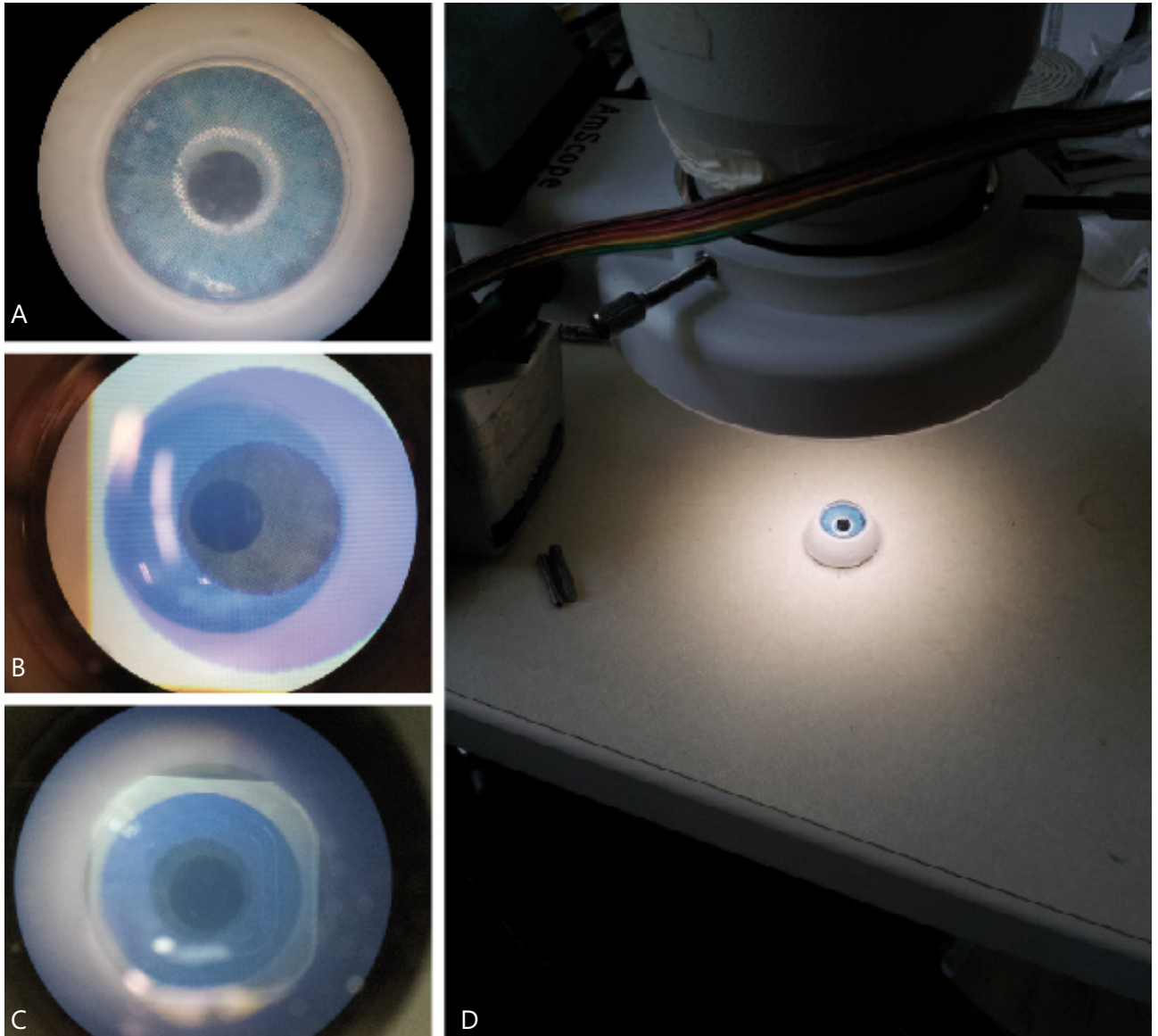


Fig 6.85 | Risultato prototipo 2. A) immagine reale B) Immagine dal display c) Visione aumentata d) Sistema visivo



SVILUPPO PRODOTTO

*Brief di progetto -
Punti di intervento -
Com'è fatto il simulatore -*

Brief

Stand

Gestione Cavi

Microscopio

Requisito d'uso

Requisiti

- Pratico e intuitivo
- Facilità montaggio e smontaggio
- Il chirurgo deve operare attorno alla testa
- Deve essere stabile
- Il chirurgo deve aver facile accesso agli strumenti e al microscopio

- Utente può utilizzare gli strumenti anche da solo
- Strumenti devono essere intercambiabili durante la fase attiva della simulazione
- Prestazione meccaniche strumenti devono rimanere costanti
- Manovrabilità strumenti agevolata

- L'utente deve poter posizionare e rimuovere il microscopio dal campo operativo
- Il braccio porta microscopio deve poter ruotare 15° dall'asse neutro
- Utente deve poter azionare e spegnere le informazioni in realtà aumentata

Requisito tecnico

Requisiti

- Distanza proiettore manichino 90 cm
- Materiali che non interferiscano con il campo magnetico
- Distanza faccia manichino-antenna deve essere di 30 cm

- Sensore track allineato con la punta strumento
- Estensimetri sugli strumenti devono funzionare correttamente
- Stabilità meccanica all'interfaccia usb
- Resistenza dei connettori ad urti

- L'obiettivo deve stare tra i 5 e i 10 cm dagli occhi
- Il microscopio deve contenere i display e tutte le ottiche per la realtà aumentata
- Deve fornire le stesse prestazioni ottiche di un microscopio professionale

Requisito sistema

Requisiti

- Tenere strumenti
- Contenere il microscopio
- Sistema di illuminazione
- Contenere i portali
- Contenere le schede elettroniche
- Microscopio orientabile nello spazio
- Vassoio
- Pc + Desktop

- Posizionamento nello stand funzionale all'utente
- Strumenti a riposo non devono intralciare le operazioni
- La connessione stand-strumento deve essere meccanicamente stabile

- Deve avere un sistema di illuminazione indipendente
- Quando a riposo non deve interferire con gli strumenti e l'illuminazioni
- Deve essere parte fissa del simulatore

Punti di intervento :

Posizionamento
manichino

Posizionamento
elettronica

Posizionamento
vassoio

Posizionamento
strumenti

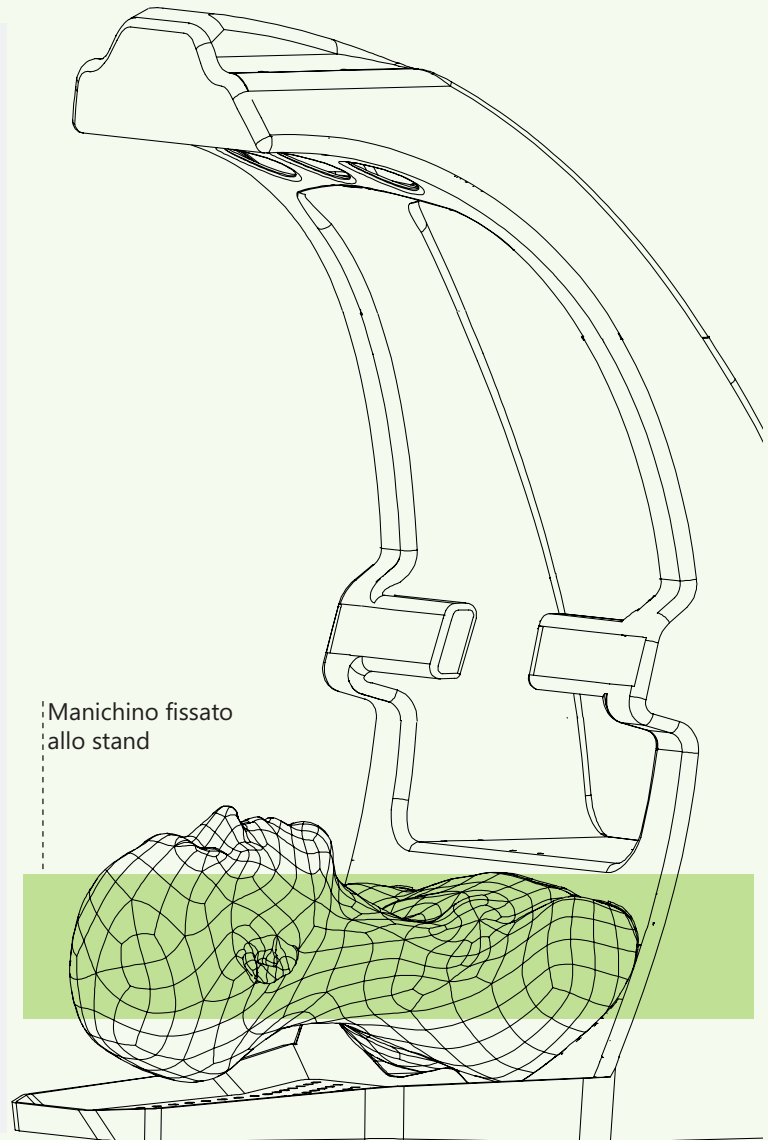
Posizionamento
luci

Posizionamento
microscopio

Posizionamento
tavolo da lavoro

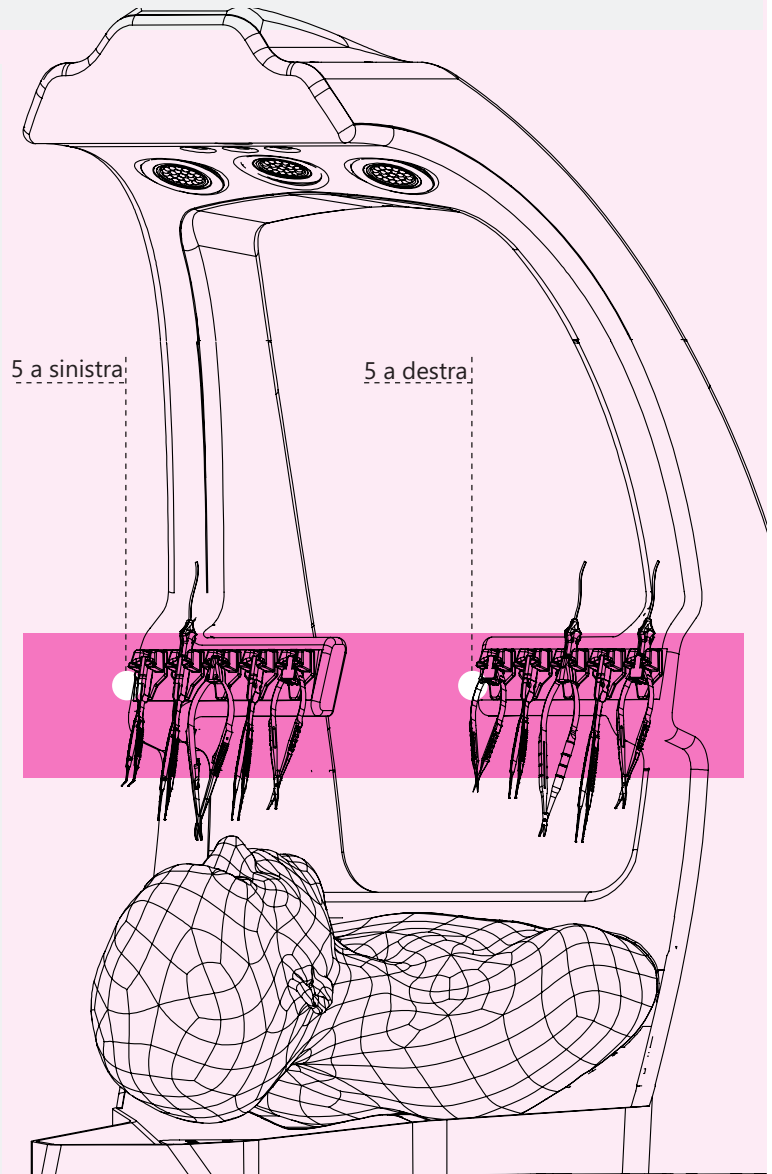
Posizionamento manichino

Dopo aver realizzato degli user test con di prototipi realizzati all'interno del laboratorio, ho avuto la possibilità di individuare quale fosse la soluzione migliore per progettare il simulatore. La posizione del manichino definisce il punto da cui partire per relazionare tutti gli altri componenti. La direzione della testa deve essere rivolta verso il chirurgo, infatti per gli interventi agli occhi, l'approccio al paziente non è frontale, ma si opera guardando i piedi del paziente. L'idea è quella di ricreare le condizioni di sala operatoria, dove la direzione del corpo e l'altezza del lettino sono fissi, mentre in caso di necessità, il chirurgo potrà muoversi attorno alla faccia tramite una speciale seduta. Il manichino conterrà dell'elettronica e un sistema di ricircolo fluidi. Dovrà quindi essere sempre possibile accedere alla parte elettronica e di gestione dei fluidi in caso di assistenza. Per questo motivo la parte finale del manichino ed il retro dello stand, dove sono posizionate le apparecchiature elettroniche rimangono costantemente in comunicazione.



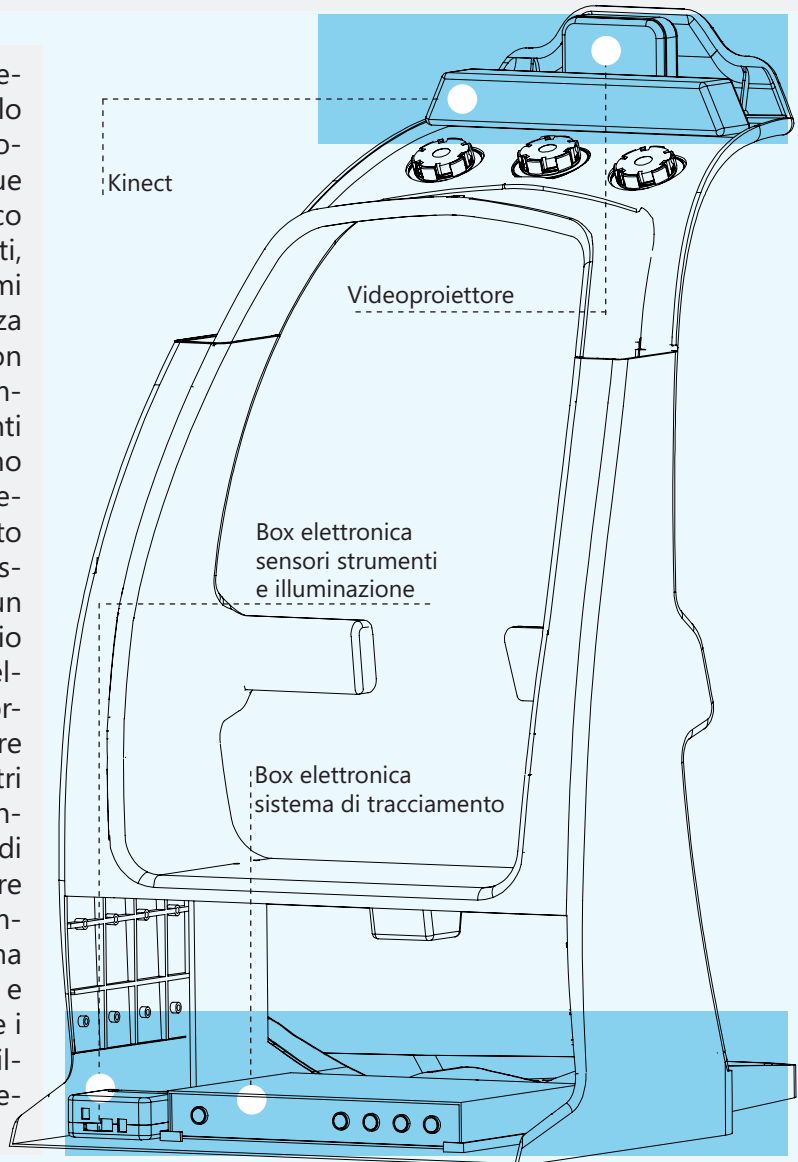
Posizionamento strumenti

La posizione degli strumenti nello spazio, in relazione agli altri componenti del simulatore è stato soggetto a numerose prove con chirurghi e grazie ai loro feedback ho scelto di seguire la seguente soluzione progettuale. Gli strumenti in fase inattiva sono divisi in due gruppi, da 5 ciascuno. Un gruppo è posizionato sulla sinistra guardando il manichino e l'altro alla sua destra. La divisione è stata fatta tenendo conto che il chirurgo non opera quasi mai frontalmente al paziente ma è sempre spostato verso le spalle, quindi in questa posizione cambiare strumento è più agile, ed a seconda della mano principale del chirurgo o se l'occhio operato sia il destro o il sinistro, l'usabilità risulta molto buona. L'altezza e l'angolazione è stata scelta per risultare il più velocemente identificabile possibile nello spazio quando il chirurgo passa dalla fase di intervento a quella di cambio strumento. Tre sono i cavi che saranno collegati agli strumenti ed usciranno dalla base dello stand. La posizione del porta strumenti non deve intralciare le luci, le immagini proiettate ed il campo di ripresa del kinect.



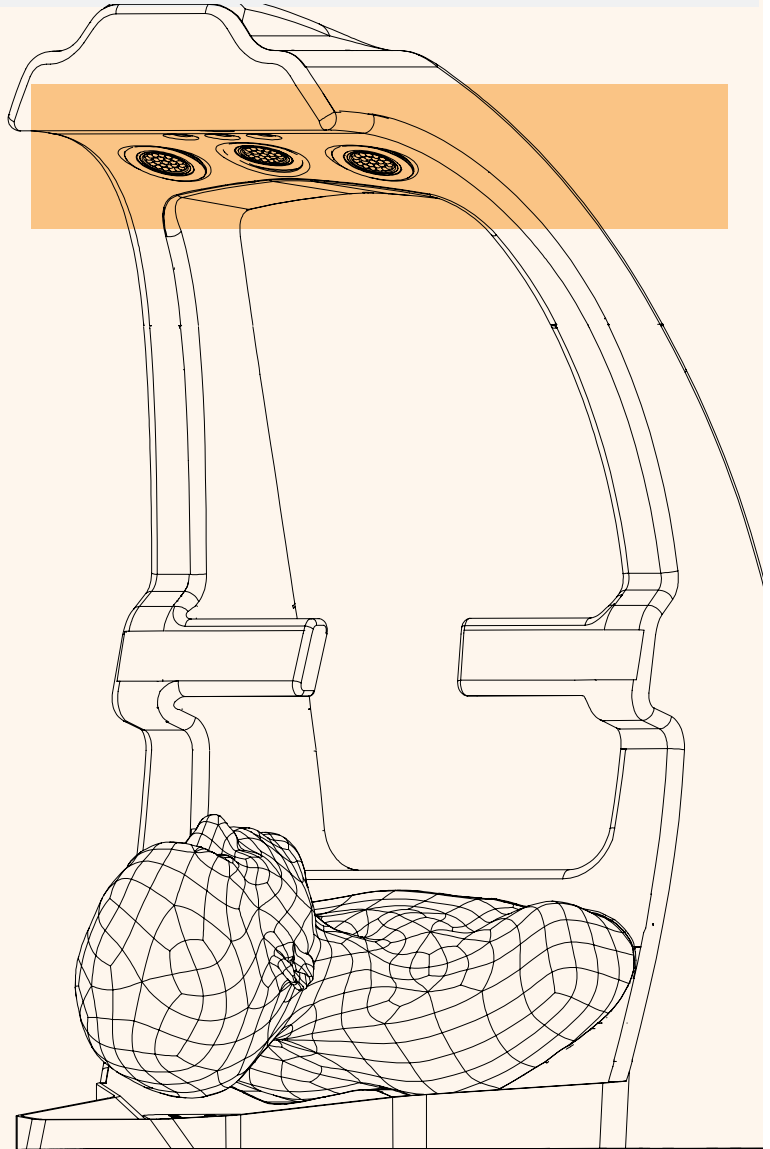
Posizionamento elettronica

Le componenti elettroniche che devono essere presenti all'interno dello stand al fine di un corretto funzionamento sono raggruppabili in due posizioni. Nelle scocche che difiniscono cima dello stand saranno assemblati, il proiettore, il kinect e le luci. I primi due devono stare alla stessa altezza ed i più vicino possibile. Le luci non devono interferire con gli altri componenti. Avendo dei componenti elettronici a quella altezza possiamo trascurare la loro influenza sul sistema di tracciamento, ma ho dovuto progettare tutta la procedura di assemblaggio al fine di permettere un facile montaggio e che il passaggio dei cavi fosse fluido all'interno delle scocche e dei sistemi di raccordo. I cavi andranno in parte ad altre schede posizionate alla base ed altri usciranno per collegarsi direttamente al PC. Come unica via di uscita di cavi ci sarà un passaggio posteriore alla base. L'elettronica di base comprende il box che gestisce il sistema di tracciamento, antenna e sensori e la scheda elettronica che acquisisce i dati dagli estensimetri e gestisce l'illuminazione. Tutti i box si collegheranno ad alimentazione e pc.



Posizionamento sistema illuminazione

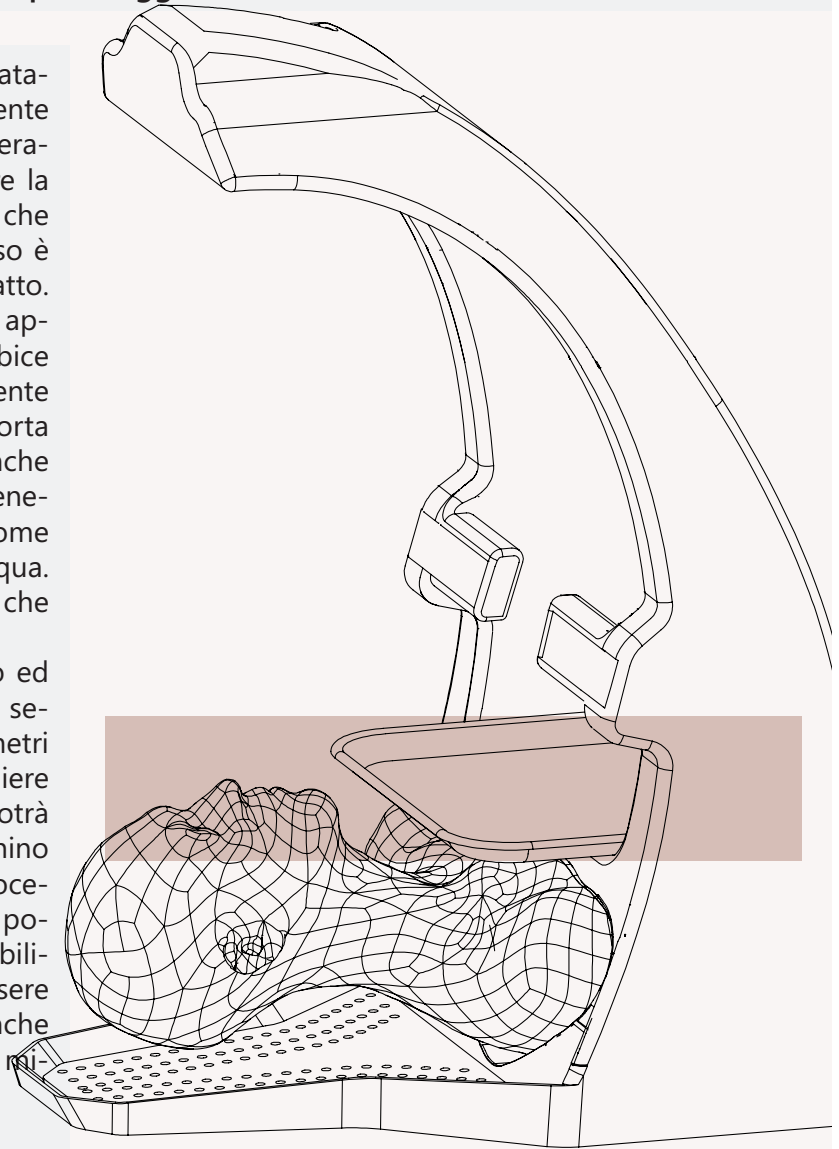
L'illuminazione ha un ruolo fondamentale per questo tipo di simulazione. In sala operatoria vengono usate specifiche lampade, ma le condizioni al contorno sono differenti. Il simulatore sarà sempre in luoghi illuminati e la presenza delle luci serve ad implementare la nitidezza del campo di intervento ed eliminare il più possibile le ombre del chirurgo sugli occhi. Il campo di illuminazione deve essere sufficientemente esteso per eliminare le ombre in varie direzioni, quindi ho deciso di posizzarle a circa 90 cm dal viso del manichino. La direzione dei raggi uscenti dalle lampade led è fissa sul volto del manichino. L'intensità luminosa potrà essere variata attraverso pc. La tipologia di illuminazione è a led, visto che queste lampade hanno la stessa temperatura di colore richiesta negli interventi chirurgici. Le luci si spegneranno automaticamente quando verrà usato il microscopio per non creare ombre eccessive. Il microscopio infatti ha un proprio sistema di illuminazione. Questa determinata posizione deve anche evitare di creare ombra derivata dal vassoio e dai porta strumenti.



Posizionamento vassoio porta oggetti

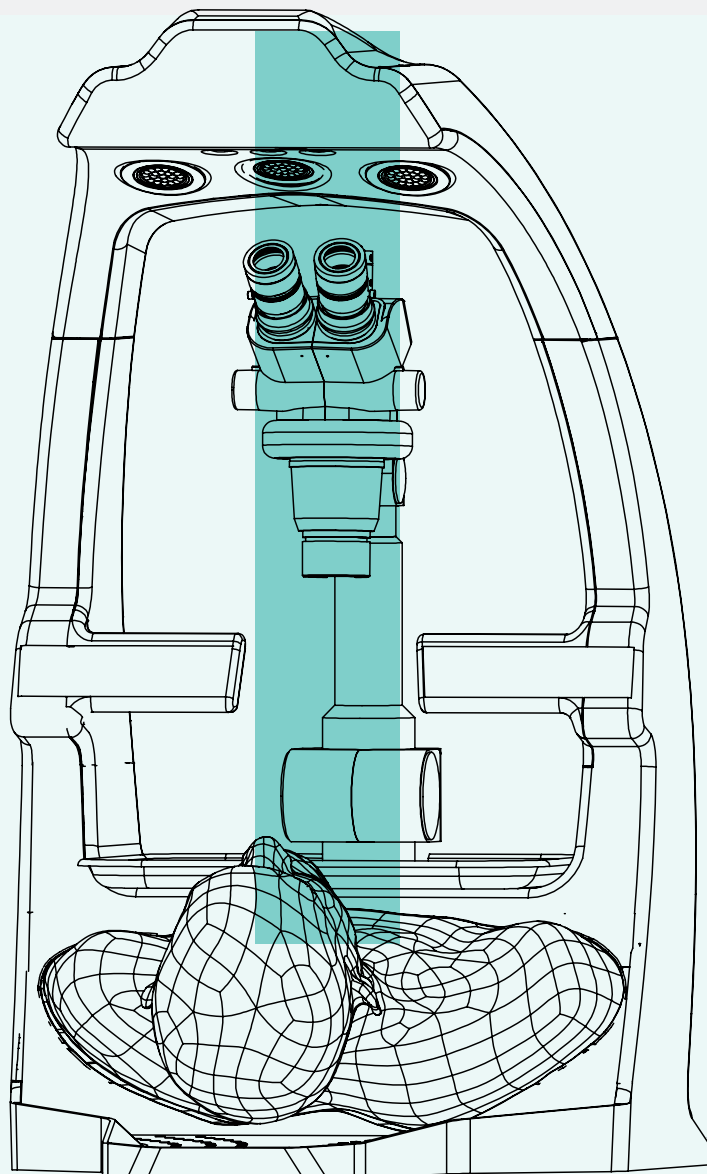
Il simulatore deve poter essere usato sia con il supporto di un assistente sia dal singolo utente. In sala operatoria il chirurgo è solito restituire la strumentazione all'assistenza che se ne prende cura. In questo caso è stato necessario ripensare tale atto. Infatti ora il chirurgo può anche appoggiare comodamente una forbice o un pinza che usa frequentemente senza dovere riposizionarla nel porta strumenti. Il vassoio permette anche di riporre il necessario per mantenere pulito il campo operatorio, come garze, spugne e o anche dell'acqua. Inoltre servirà da base per i fili che saranno usati in fase di sutura.

La posizione è ad altezza mento ed inizia poco dopo il mento e si estende per una trentina di centimetri in profondità in modo di accogliere parecchio materiale. Il vassoio potrà slittare fino alle spalle del manichino per poter permettere anche la procedura di cricotiroidotomia. La sua posizione non dovrà intralciare l'usabilità del microscopio, anzi dovrà essere complementare ed accessibile anche durante procedure che usano il microscopio chirurgico.



Posizionamento microscopio

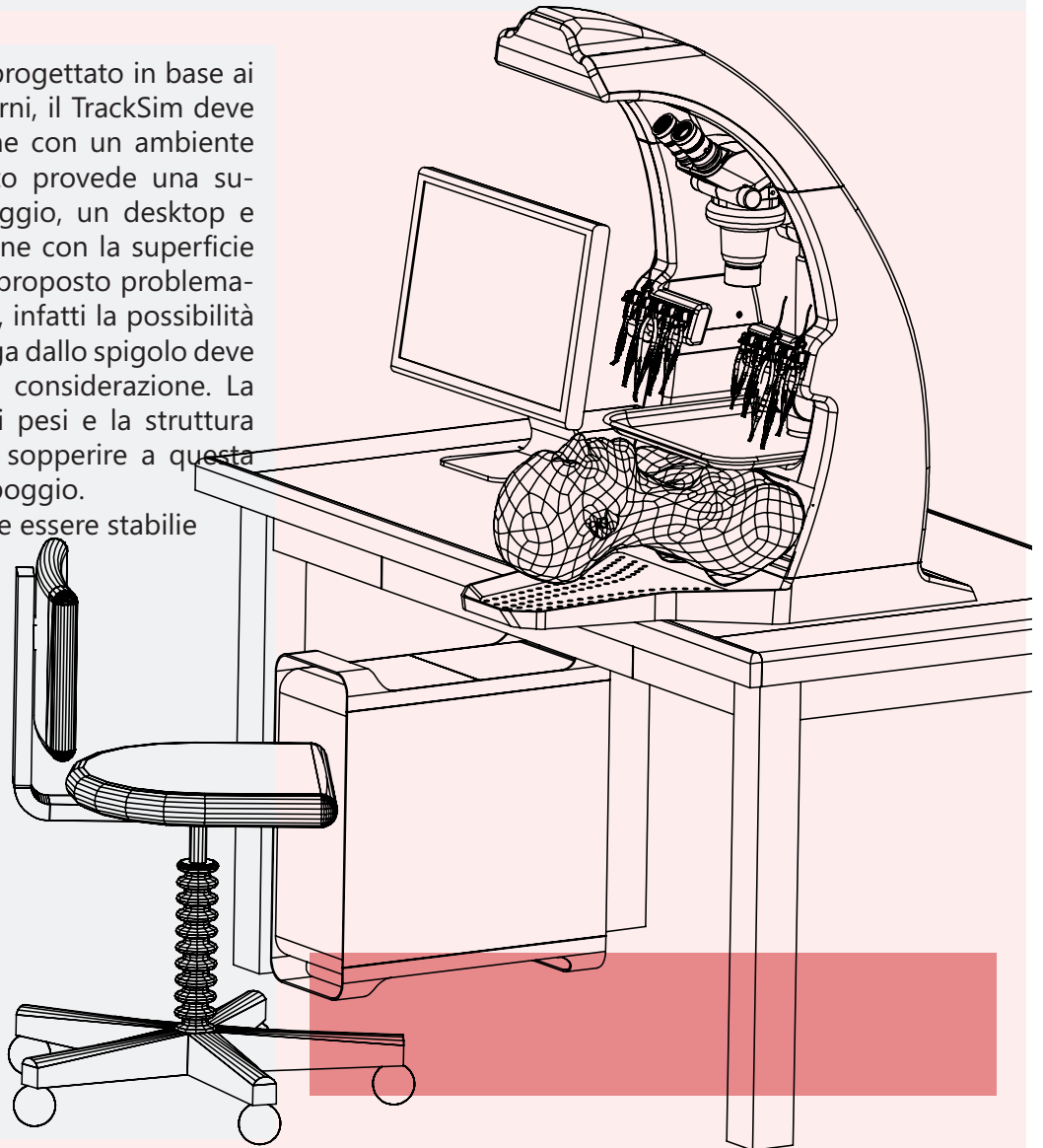
Il microscopio chirurgico a realtà aumentata dovrà essere parte integrata con lo stand. Questa scelta è stata fatta partendo dal fatto che il microscopio stesso è stato riprogettato in alcune sue componenti esclusivamente per funzionare in modo ottimale all'interno del sistema TrackSim. Scelta questa via progettuale, le problematiche maggiore da superare è stato il suo posizionamento. Deve essere utilizzabile e rimovibile in modo agile e preciso. L'obiettivo deve essere tra i 5 e 10 centimetri dall'occhio. Questa distanza rimarrà fissa, ovvero il braccio che sostiene il microscopio è a distanza prestabilita, l'utente potrà ruotare il braccio una volta in posizione orizzontale a seconda di quale occhio deve operare. Dopo di che potrà aggiustare la messa a fuoco a mano. Solitamente i microscopio chirurgici hanno una messa a fuoco a pedale, ma ne nostro caso non possiamo fornirla a causa del disturbo al campo magnetico che creerebbe il motrino elettrico nel microscopio. Il microscopio non deve intralciare il sistema di illuminazione in fase di riposo ed fissato in modo che non vibri



Posizionamento tavolo di lavoro

Oltre ad essere progettato in base ai componenti interni, il TrackSim deve relazionarsi anche con un ambiente di lavoro. Questo prevede una superficie di appoggio, un desktop e un pc. La relazione con la superficie di appoggio ha proposto problematiche progettuali, infatti la possibilità che la testa sporga dallo spigolo deve essere tenuta in considerazione. La distribuzione dei pesi e la struttura meccanica deve sopperire a questa mancanza di appoggio.

Il simulatore deve essere stabile anche in questa situazione.



Come è fatto il TrackSim?

Assieme base

- Base
- Supporti alluminio della base
- Supporto manichino-base
- Ala sinistra
- Ala destra
- Scocche strumenti chirurgici
- Antenna e porta vassoio

Assieme testa

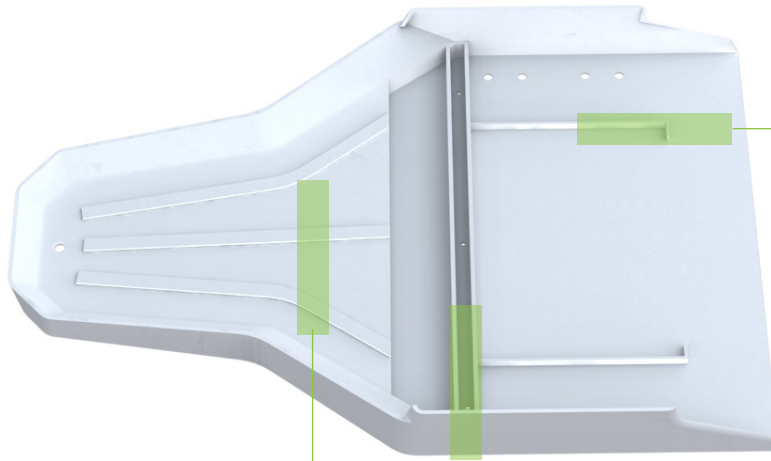
- Castello elettronica di testa
- Videoproiettore
- Scocca testa inferiore
- Kinect
- Illuminazione
- Scocca testa superiore
- Scocca chiusura testa
- Raccordo testa-ali stand

Strumenti

- Braccio posizione microscopio
- Microscopio
- Elettronica di base
- Holder strumenti
- Strumenti chirurgici
- Manichino
- Piatto di scolo

TrackSim
assemblato

■ Base



Incastro per elettronica di base

Materiale:

Poliammide rinforzata
40% fibra di vetro

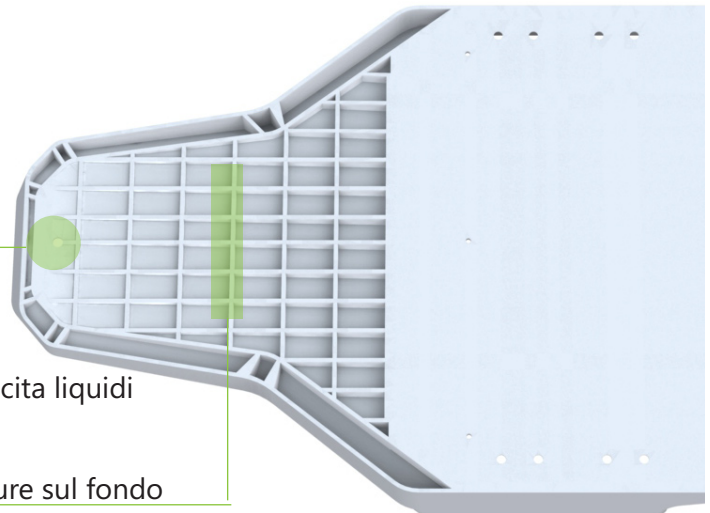
Tecnologie di produzione:

Stampaggio ad iniezione

Nervatura ed appoggio
lastra di scolo

Incastro per supporto manichino

Il componente sul quale tutto il simulatore viene assemblato è la base. Contiene gli incastri per fissare il supporto del manichino, i supporti in alluminio sui quali verranno poi fissate le ali laterali e le componenti elettroniche di base. Essendo una parte strutturale dovrà avere elevata rigidità e per questo avrà delle nervature fitte. All'estremità iniziale è posizionato il foro di uscita degli eventuali liquidi che verranno espulsi dal manichino

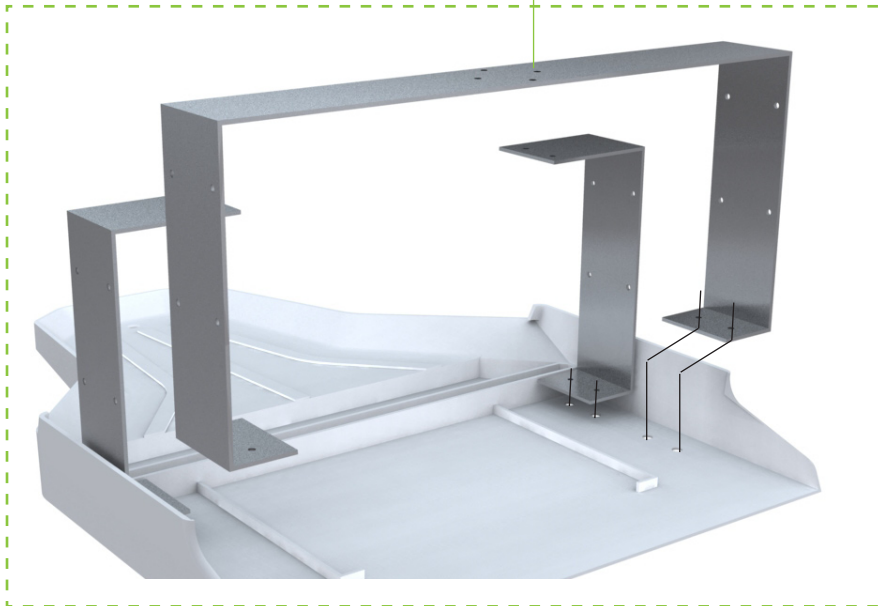
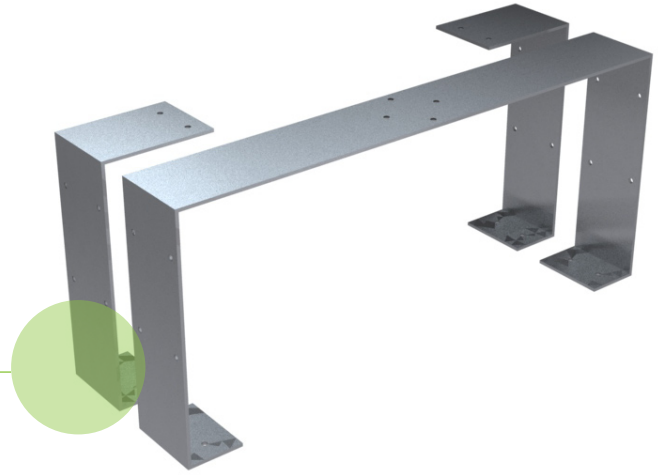


Foro uscita liquidi

Nervature sul fondo

Supporti alluminio della base

Alla base vengono avvitati dei supporti in alluminio, precedentemente forati. Il primo supporto collegherà la base sia alle ali laterali che al braccio che sostiene il microscopio. Mentre gli altri due supporti in alluminio, più corti, servono anche essi per collegare la base alle ali ma anche per fissare un'ulteriore scocca. Il materiale è stato scelto come compromesso tra le proprietà meccaniche, di lavorazione e per essere un metallo non ferromagnetico, vista la vicinanza all'antenna.



Materiale:

Alluminio

Tecnologie di produzione

Estrusione, foratura,
piegatura

Supporto manichino-base

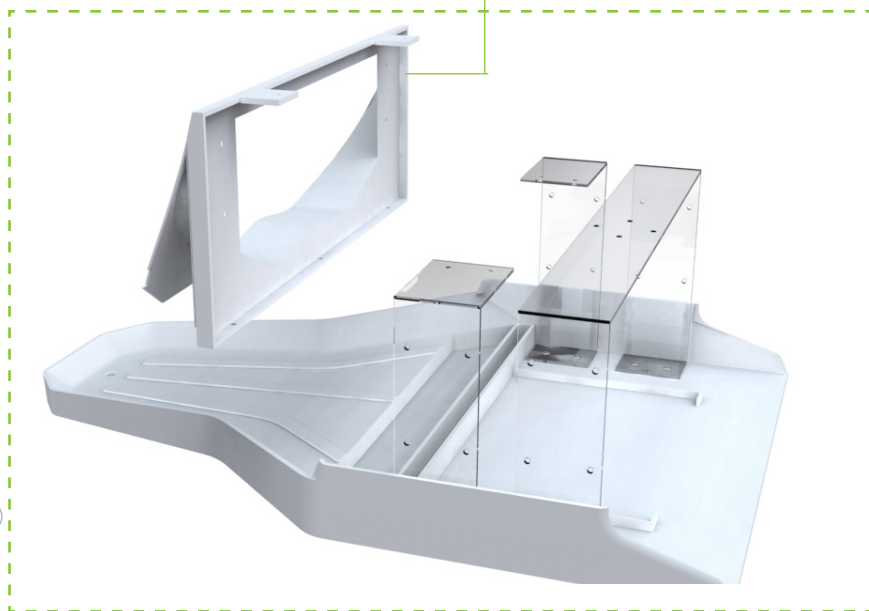
Questa scocca servirà per contenere il manichino e fissarlo al resto dello stand. Avrà dei fori filettati nella superficie inferiore e su quella superiore per permettere il collegamento con i supporti in alluminio con la base. Il centro della scocca è forato, questo favorirà il collegamento dei cavi e dei tubi che escono dal fondo del manichio con le schede elettroniche poste nel retro della base dello stand.

Connessione con supporti in alluminio

Fori per manichino



Fori filettati unione con base



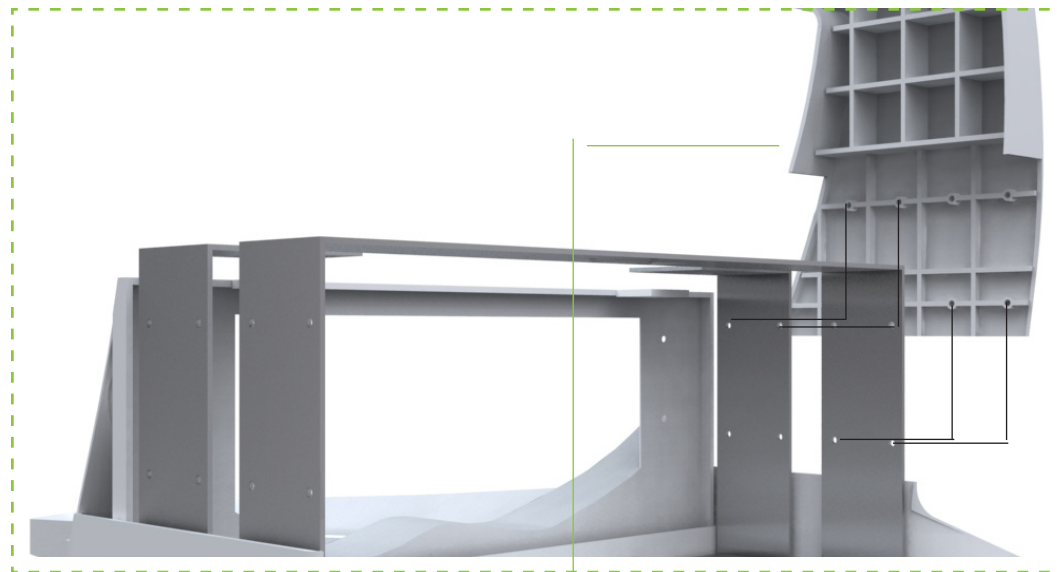
Materiale:

Poliammide rinforzata
40% fibra di vetro

Tecnologie di produzione

Stampaggio ad iniezione

Ali laterali stand



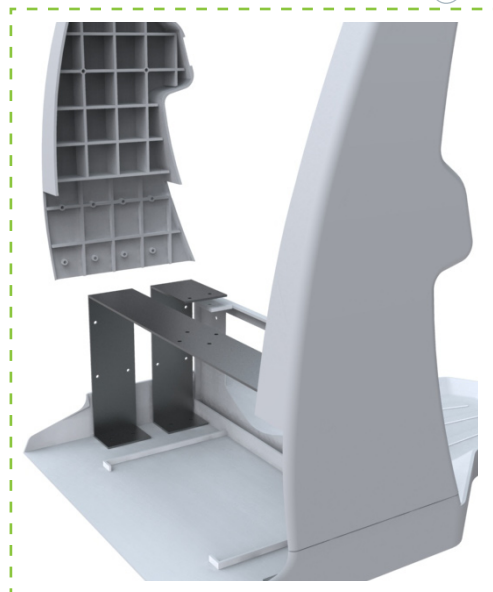
Materiale:

Poliammide rinforzata
40% fibra di vetro

Tecnologie di produzione

Stampaggio ad iniezione

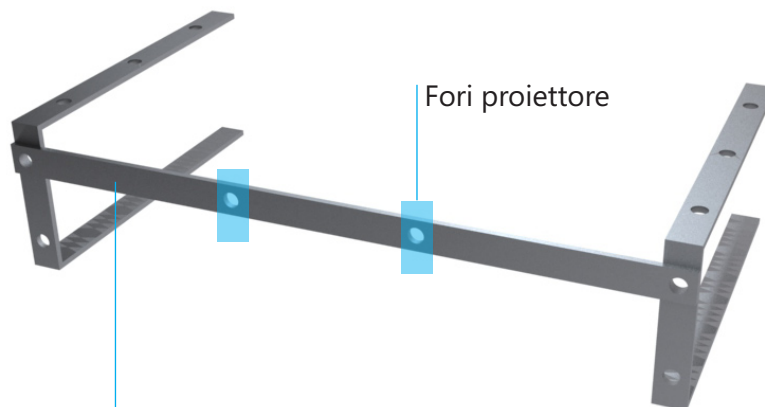
Le scocche laterali vengono assemblate avvitandole ai supporti in alluminio, esse sono rinforzate con nervature e permettono il passaggio dei cavi.



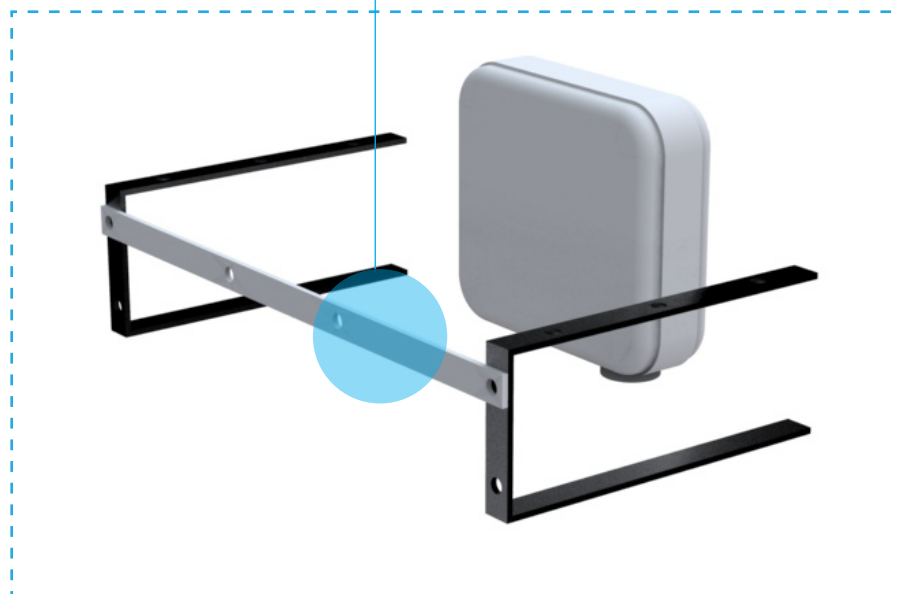
Castello elettronica di testa

L'assemblaggio della testa dello stand inizia con tre pezzi di acciaio forati ed fissati tramite viti.

Gli altri fori permetteranno di avere in un unico blocco il videoproiettore il kinect e le due scocche principali della testa.



Fori proiettore



Materiale:

Acciaio

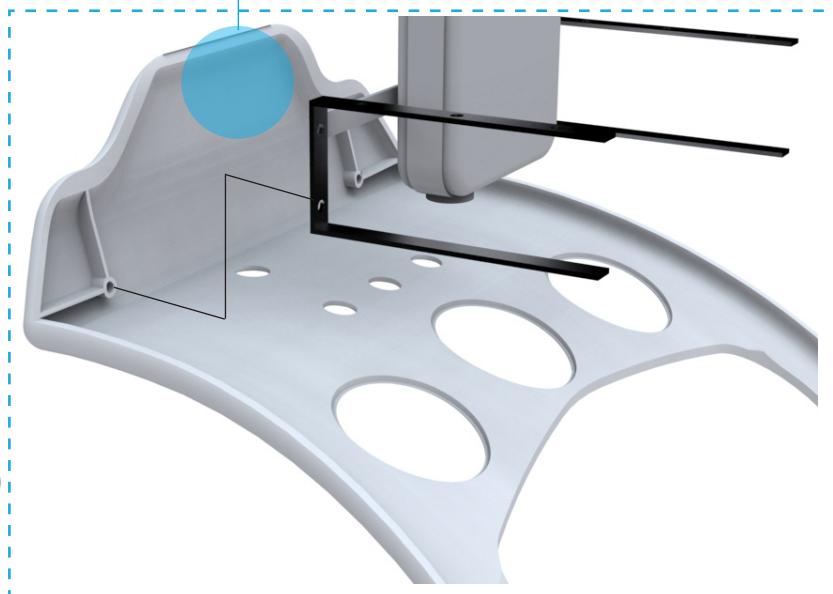
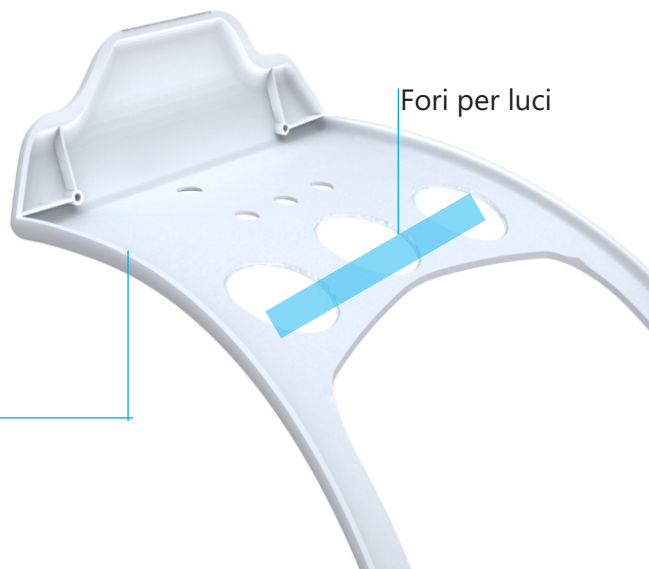
Tecnologie di produzione

Foratura, piegatura



■ Scocca testa inferiore

Al castello in acciaio possiamo ora avvitare la scocca inferiore della testa. Questa contiene i fori filettati per l'avvitamento ed altri accorgimenti progettuali che permetteranno l'assemblaggio delle luci al suo interno e poi di essere unito alla scocca superiore e poi di essere fissata con le ali laterali dello stand.



Materiale:

Poliammide rinforzata
40% fibra di vetro

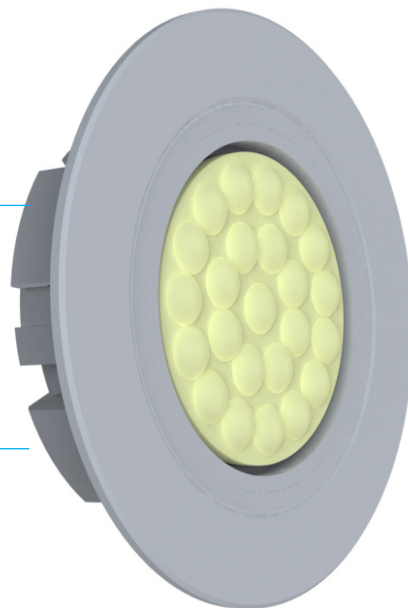
Tecnologie di produzione

Stampaggio ad iniezione
Stampo con carrello

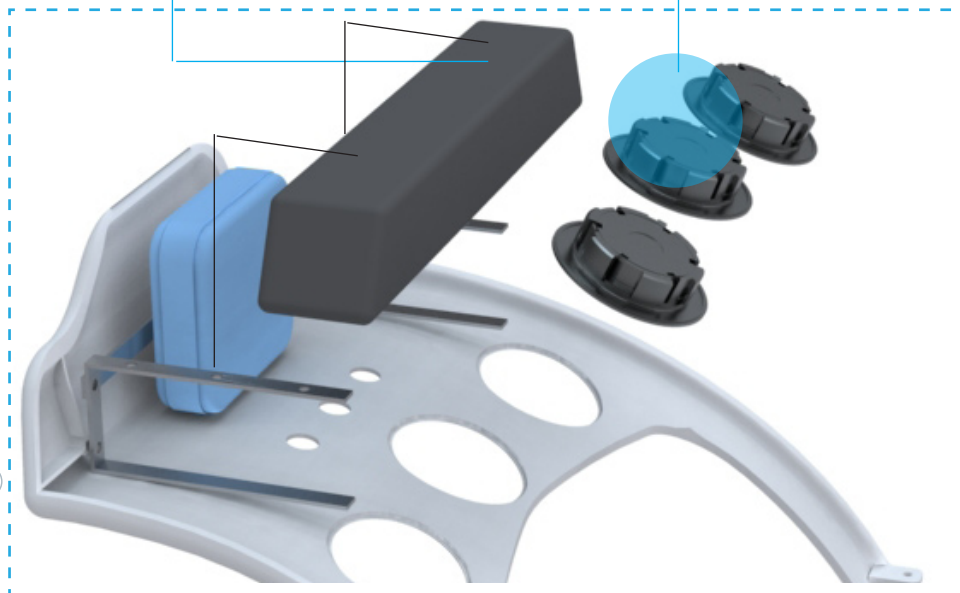
Kinect e illuminazione

Il kinect viene fissato dopo che il castello è posizionato con la scocca inferiore, questo per permettere un avvitamento agevole e favorire il passaggio dei cavi. Di conseguenza anche i tre faretto led vengono posizionati e fissati alla scocca inferiore. I cavi dei componenti vengono raggruppati e legati assieme in modo da fargli seguire il medesimo percorso in uscita.

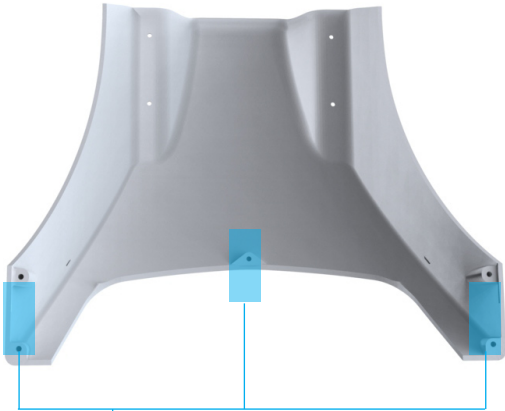
LED



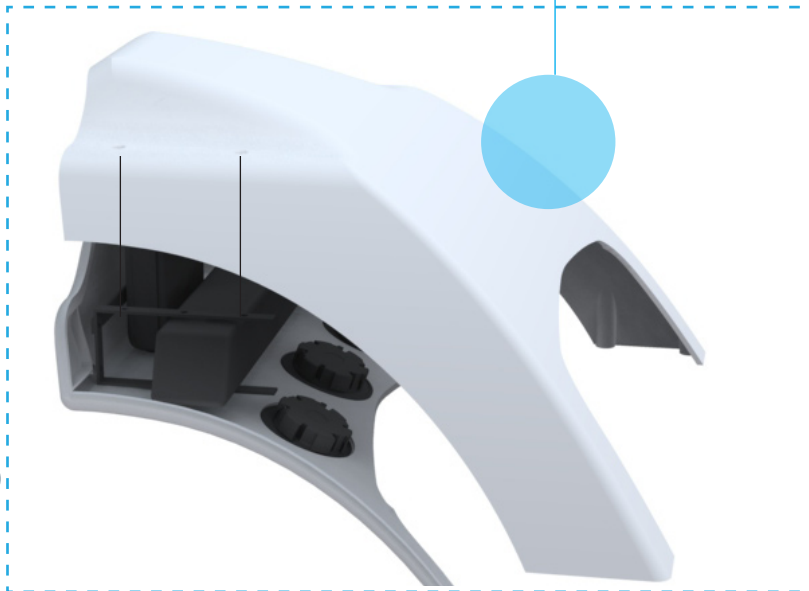
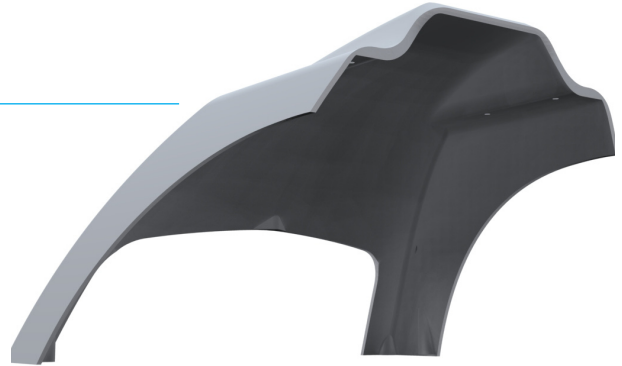
Kinect



■ Scocca testa inferiore



Fori filettati



Materiale:

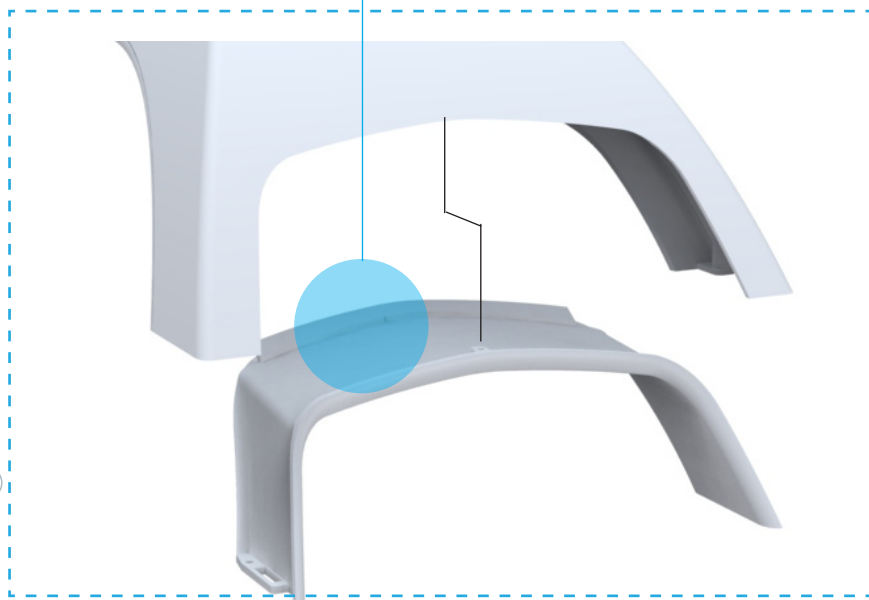
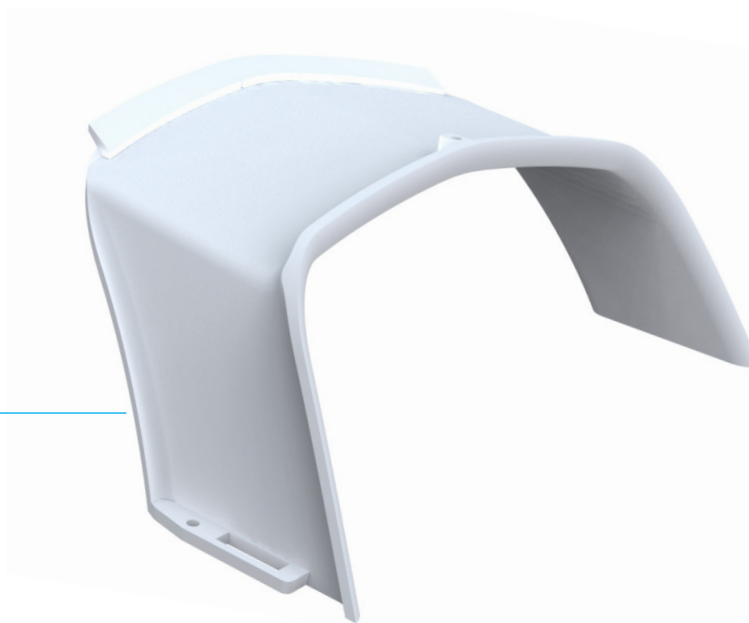
Poliammide rinforzata
40% fibra di vetro

Tecnologie di produzione

Stampaggio ad iniezione
Stampo con carrello

■ Scocca chiusura testa

La scocca superiore viene quindi fissata al castello con quattro viti. Quindi vengono fatti passare i cavi sul lato corto delle scocche e l'assieme viene chiuso una scocca di chiusura che si avvita direttamente alla scocca superiore.



Materiale:

Poliammide rinforzata
40% fibra di vetro

Tecnologie di produzione

Stampaggio ad iniezione

Raccordo testa-ali stand



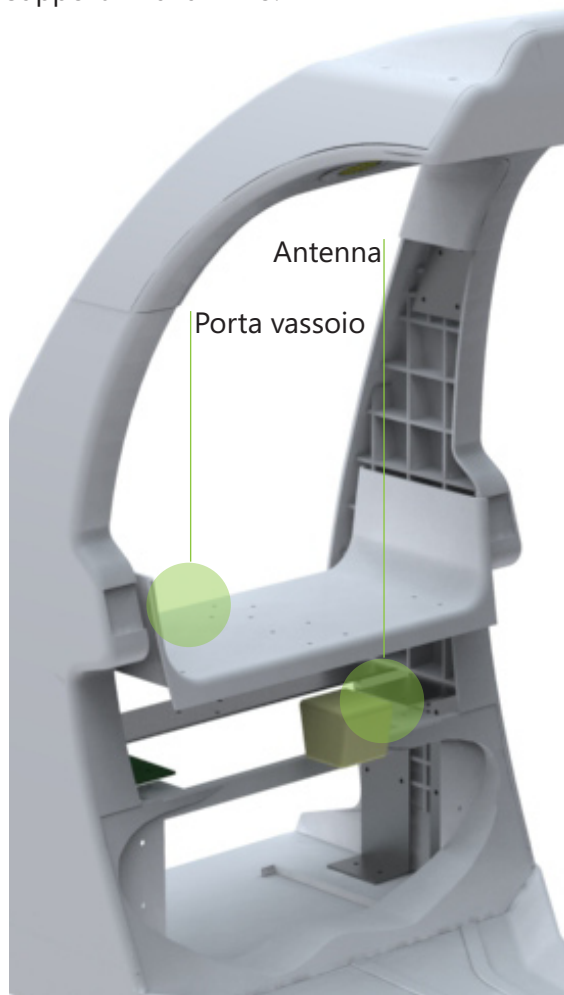
Grazia a due raccordi in acciaio possiamo ora chiudere l'assemblaggio dell'assieme di testa, in cui vengono unite tutte e tre le scocche.

Il raccordo è progettato per riservare dello spazio per passaggio dei cavi e per unire l'assieme di testa con le ali laterali precedentemente fissati alla base in tal modo i due assieme sono uniti e si possono collegare i cavi alle schede elettroniche alla base, al pc e all'alimentazione



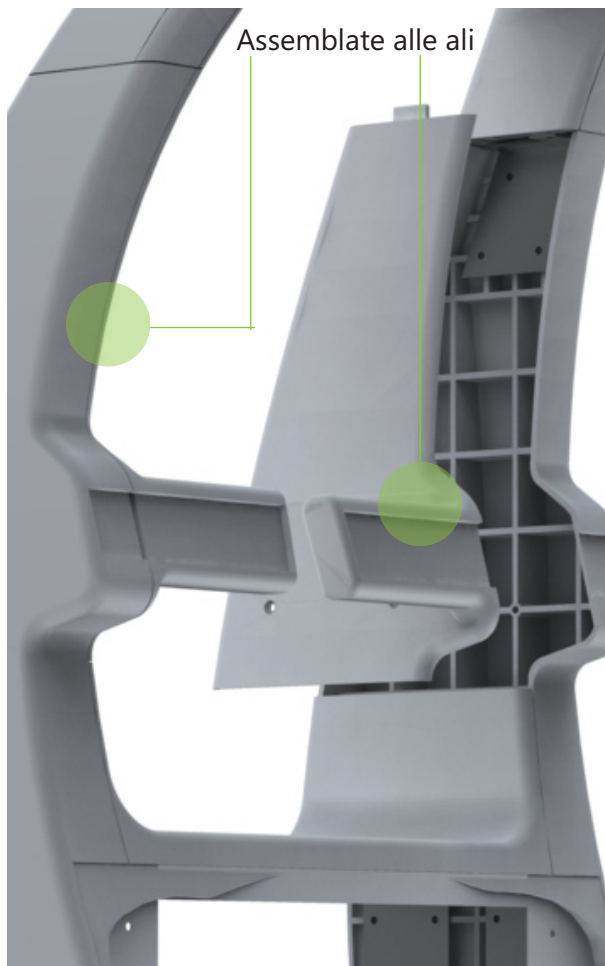
■ Antenna e porta vassoio

L'antenna viene avvitata alla scocca sfruttando i fori filettati al suo interno. Quindi la scocca viene fissata ai supporti in alluminio.

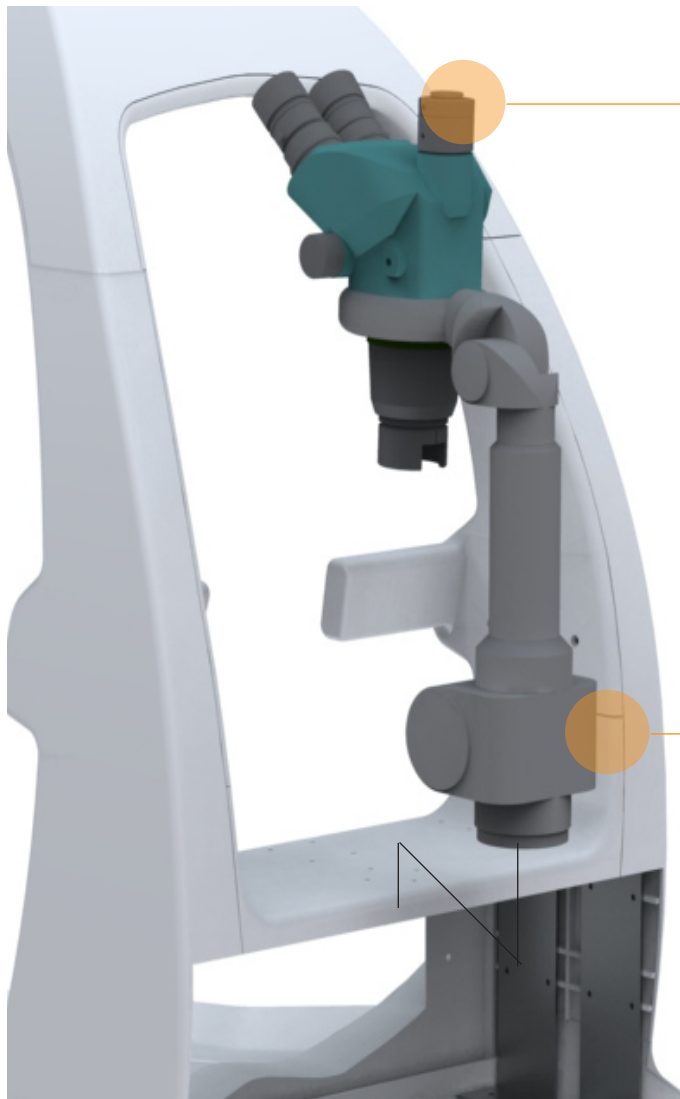


■ Scocche strumenti chirurgici

Sistemati i cavi possiamo ora chiudere le ali laterali con due scocche che hanno anche la sede per attaccare i porta strumenti.



Microscopio e braccio posizionamento



Il braccio viene avvitato tramite quattro viti al supporto in alluminio fissato alla base e alle scocche laterali. Questo conferirà stabilità meccanica al braccio quando in uso. Quindi possiamo inserire il microscopio con la relative modifiche al suo interno nell'apposita sede del braccio meccanico.

Microscopio

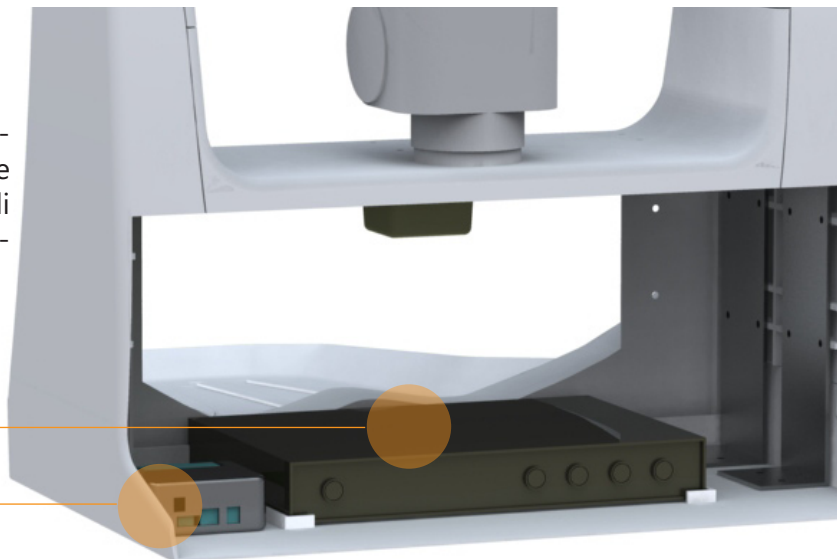
Braccio movimentazione
microscopio

■ Elettronica di base

Ora possiamo inserire l'elettronica per il sistema di tracciamento e l'acquisizione dati provenienti dagli strumenti. Queste poi verranno collegate all'alimentazione ed al pc.

TrackBox

Mindboard



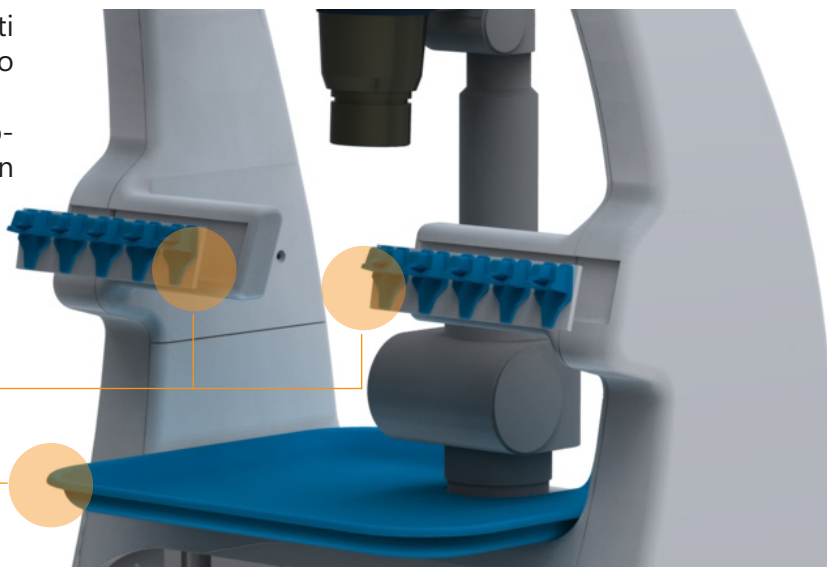
■ Holder strumenti

I dieci holder, precedentemente fissati a delle piastine di plastica vengono incollati allo stand.

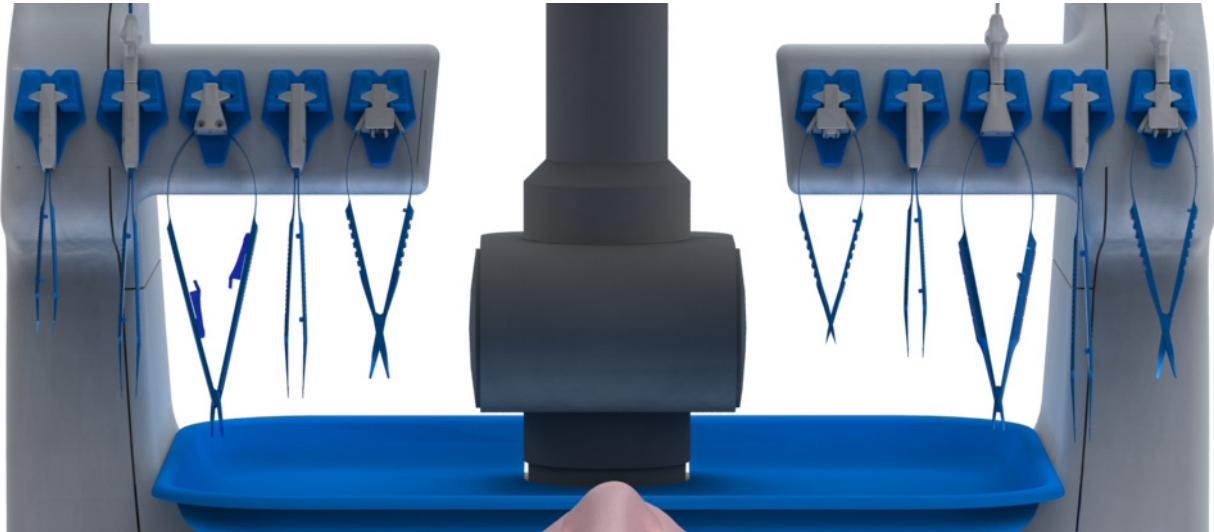
Il vassoio può ora essere posizionato, andando ad incastrare con il braccio porta microscopio

Holder

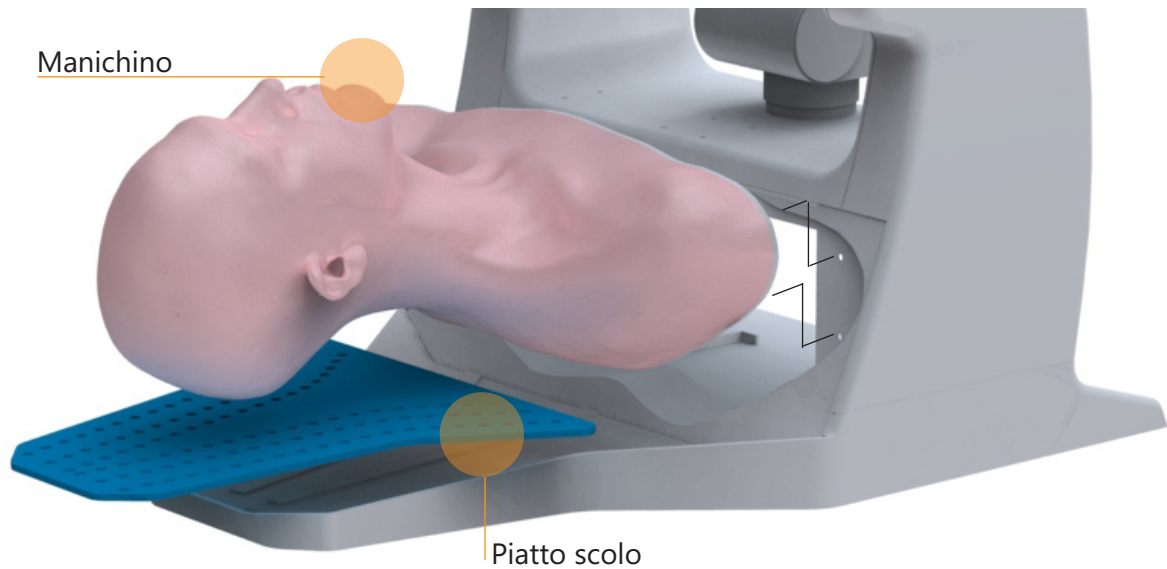
Vassoio



■ Strumenti chirurgici



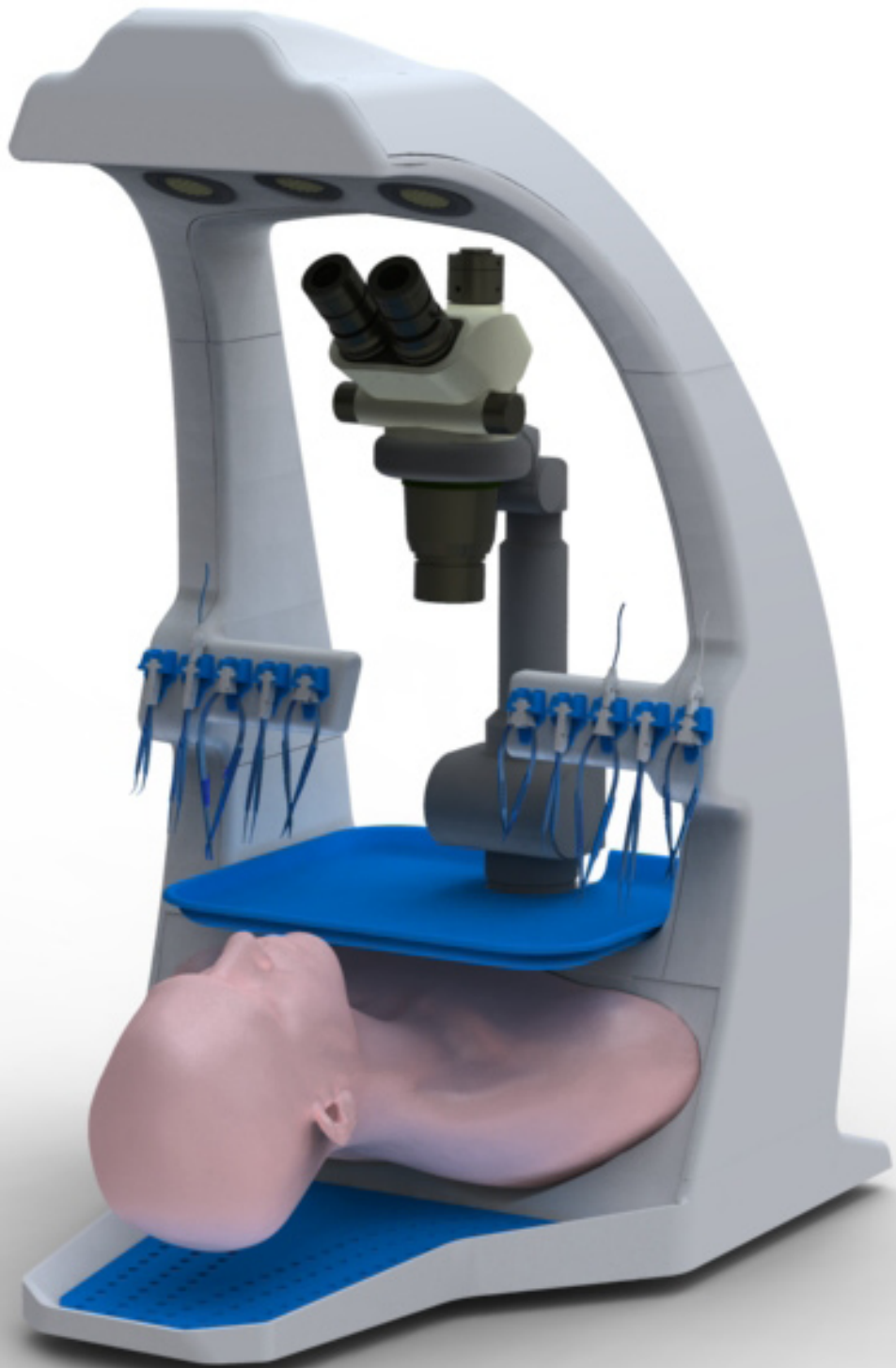
■ Manichino e piatto di scolo



Manichino

Piatto scolo

TrackSim
assemblato



BIBLIOGRAFIA

1_Butler FK. Tactical Combat Casualty Care: Update 2009. *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care*. 2010;69:1 (Supplement): S10-3.

2_Sohn VY, Miller JP, Koeller CA, Gibson SO, Azarow KS, Myers JB, et al. From the combat medic to the forward surgical team: The Madigan model for improving trauma readiness of brigade combat teams fighting the global war on terror. *Journal of Surgical Research*. 2007;138(1):25-31.

3_Eastridge BJ, Costanzo G, Jenkins D, Spott MA, Wade C, Greydanus D, Flaherty S, Rappold J, Dunne J, Holcomb JB, Blackbourne LH. "Impact of joint theater trauma system initiatives on battlefield injury outcomes," *American Journal of Surgery*, vol. 198(6):852-7, 2009.

4_Reed B, Hale RG, Gliddon M, Ericson M. "Maximising outcomes for maxillofacial injuries from improvised explosive devices by deployed health care personnel," *ADF Health*, vol. 9:36-42, June 2008.

5_Kohn LT, Corrigan JM, Donaldson MS (eds): *To Err Is Human: Building a Safer Health System*. Committee on Quality of Health Care in America, Institute of Medicine. Washington, DC: The National Academy Press, 2000.

6_BloomBS,EngelhartMD,FurstEJ,HillWH,KrathwohIDR.
Taxonomy of Educational Objectives: the Classification of Educational Goals. New York: David McKay Company, Inc.; 1956.

7_Ericsson KA, Krampe RT, Tesch-Romer C. The role of deliberate practice in the acquisition of expert performance. *Psychol Rev* 1993;100:363-406.

8_Newble DI. Learning styles and approaches: implications for medical education. *Med Educ* 1986;20:162-75.

9_Merriam SB, Caffarella RS. Learning in Adulthood. A Com- prehensive Guide. San Francisco: Josey- Bass Publishers; 1999.1

10_Rosser JC, Rosser LE, Savalgi RS. Skill acquisition and assessment for laparoscopic surgery. Arch Surg 1997;132:200–4.

11_Regehr G, Norman GR. Issues in cognitive psychology: implications for professional education. Acad Med 1996;71:988–1001.

12_Cotin SM, Stylopoulos N, Ottensmeyer MP, et al: Metrics for laparoscopic skills trainers: The weak- est link. In: Dohi T, Kikinis R (eds): Proceedings of the Fifth International Conference on Medical Ima- ge Computing and Computer Assisted Inter- ventions 2002, Part 1. Berlin, Germany: Springer Verlag, 2002, p. 35-43.1126

13_Dent J. Current trends and future implications in the devel- oping role of clinical skills centres. Med Teacher 2001;23:483–9.

14_Kneebone R, ApSimon D. Surgical skills training: simulation and multimedia combined. Med Educ 2001;35:909–15.

15_McCloy R, Stone R. Science, medicine and the future. Virtual reality in surgery. BMJ 2001;323:912–5.

16_Satava RM. Surgical education and surgical simulation. World J Surg 2001;25:1484–9.

17_Ben Abraham R, Stein M, Kluger Y, et al. The impact of Advanced Trauma Life Support Course on graduates with non-surgical medical background. Europ J Emerg Med. 1997;4:11–4.

18_Safar P. Ventilatory efficacy of mouth-to-mouth artificial resuscitation: Airway obstruction during manual and mouth-to-mouth artificial respirartion. JAMA. 1958;157:335–41.

19_Rosenthal E, Owen H. An assessment of small simulators used to teach basic airway management. *Anaesth Inten Care*.2004;32:87–92.

20_Poole G, Myers RT. Morbidity and mortality rates in major blunt trauma to the upper chest. *Ann Surg*. 1980;193:70–5.

21_Bellamy RF. History of surgery for penetrating chest trauma. *Chest Surg Clin N Am*. 2000;10:55–70.

22_Martin KR, Burton RL. The phacoemulsification learning curve: per- operative complications in the first 3000 cases of an experienced surgeon. *Eye* 2000;14:190 –195.4) LE TIPOLOGIE DI INTERVENTO
