

Lucia Valli

**Sistema di realtà aumentata per
la valorizzazione del controllo
qualità manuale nel processo di
sterilizzazione dei kit chirurgici**

*A mio babbo,
per avermi insegnato che nella vita non esiste alcun ostacolo
che non si possa superare con forza e determinazione.*

*Spero che da lassù tu possa essere sempre orgoglioso della
tua bambina.*

Indice

Abstract / 8

L'ARTE DELLA MEMORIA / 10

- 1.1 Che cos'è la memoria?
- 1.2 Le origini delle mnemotecniche
 - 1.2.1 La leggenda di Simonide
 - 1.2.2 L'arte della memoria in Grecia
 - 1.2.2.1 *I Sofisti, Platone e Aristotele*
 - 1.2.2.2 *Metrodoro di Scepsi*
 - 1.2.3 Le principali fonti latine
 - 1.2.3.1 *Ad Herennium*
 - 1.2.3.2 *Cicerone, De oratore e De inventione*
 - 1.2.3.3 *Quintiliano, De institutione oratoria*
- 1.3 L'arte della memoria nel Medioevo
- 1.4 Umanesimo e arte della memoria
 - 1.4.1 Pietro Tomai, Phoenix artificiosa memoria
 - 1.4.2 Johannes Romberch e Cosimo Rosselli
 - 1.4.2.1 *Johannes Romberch, Congestiorum artificiosae memoriae*
 - 1.4.2.2 *Cosimo Rosselli, Thesaurus artificiosae memoriae*
- 1.5 L'arte della memoria e Rinascimento
 - 1.5.1 Il teatro di Giulio Camillo
 - 1.5.2 Ars Combinatoria e Raimondo Lullo
 - 1.5.3 Giordano Bruno
 - 1.5.4 Pietro Ramo
- 1.6 I presupposti della mnemotecnica moderna
 - 1.6.1 Gregor Von Feinagle
 - 1.6.2 La stenografia della memoria
- 1.7 Le mnemotecniche moderne
- 1.8 Conclusioni

I SISTEMI DI ORDINE / 30

- 2.1 I sistemi di ordine nella storia
 - 2.1.1 Sistemi di ordine nell'antichità
 - 2.1.1.1 *I Sumeri*
 - 2.1.1.2 *Gli antichi Egizi*
 - 2.1.1.3 *Fenici e Greci: la nascita dell'alfabeto*

- 2.1.2 Medioevo
- 2.1.3 Rinascimento
- 2.1.4 Età moderna
- 2.2 Tipologie di sistemi di ordine
 - 2.2.1 Sistemi di catalogazione
 - 2.2.2 Sistemi di archiviazione
 - 2.2.3 Altri sistemi di ordine
- 2.3 Conclusioni

I SISTEMI COMPLESSI / 40

- 3.1 Definizioni
- 3.2 Dentro la complessità del reale
 - 3.2.1 Complesso e complicato
 - 3.2.2 Complessità e semplicità
- 3.3 Conclusioni

EXTENDED REALITY / 50

- 4.1 Cosa si intende per Extended Reality
- 4.2 Continuum Reale-Virtuale
 - 4.2.1 Realtà Aumentata (AR)
 - 4.2.1.1 *Unità di visualizzazione*
 - 4.2.1.2 *I sistemi di tracking*
 - 4.2.1.3 *Unità di elaborazione*
 - 4.2.2 Realtà Virtuale (VR)
 - 4.2.2.1 *Architettura*
 - 4.2.2.2 *Le periferiche di output*
 - 4.2.2.3 *Le periferiche di input*
 - 4.2.2.4 *I dispositivi*
 - 4.2.3 Realtà Mista (MR)

STATO DELL'ARTE DELL'INDUSTRIA MANUFATTURIERA / 66

- 5.1 Industria 4.0 e Smart Factory
- 5.2 La realtà estesa nelle industrie
 - 5.2.1 Controllo qualità nelle imprese
 - 5.2.2 Quality 4.0
 - 5.2.3 Utilizzo della realtà estesa per il controllo qualità
- 5.3 Prospettive future: Industria 5.0

ANALISI DEL PROCESSO DI STERILIZZAZIONE DEI KIT CHIRURGICI / 78

- 6.1 Introduzione
- 6.2 Le fasi del processo
 - 6.2.1 Accettazione e raccolta
 - 6.2.2 Decontaminazione
 - 6.2.3 Lavaggio
 - 6.2.3.1 *Lavaggio manuale*
 - 6.2.3.2 *Lavaggio meccanico*
 - 6.2.4 Risciacquo e asciugatura
 - 6.2.5 Controllo e manutenzione strumentario
 - 6.2.6 Confezionamento
 - 6.2.6.1 *Confezionamento in carta medical grade*
 - 6.2.6.2 *Confezionamento in buste di carta Kraft e film polimerico*
 - 6.2.6.3 *Confezionamento in container*
 - 6.2.7 Sterilizzazione
 - 6.2.7.1 *Controlli fisici*
 - 6.2.7.2 *Controlli chimici*
 - 6.2.7.3 *Controlli biologici*
 - 6.2.8 Stoccaggio dei kit sterili

SVILUPPO DEL PROTOCOLLO OPERATIVO / 98

- 7.1 Definizione delle parole chiave
- 7.2 Ricerca processi di produzione simili
 - 7.2.1 Settore automotive
 - 7.2.2 Industria farmaceutica
 - 7.2.3 Industria orologiera
 - 7.2.4 Produzione schede elettroniche
 - 7.2.5 Produzione di dispositivi medici
 - 7.2.6 Filiera dei prodotti ortofrutticoli
- 7.3 Definizione del protocollo operativo
- 7.4 Risultati attesi

SVILUPPO DEL PROGETTO / 114

- 8.1 Architettura
 - 8.1.1 Scelta del visore
 - 8.1.1.1 *Hacking del Magic Leap 2*
 - 8.1.2 Il ruolo del tablet

- 8.1.3 Riprogettazione della postazione da lavoro
- 8.2 Struttura dell'esperienza
- 8.3 Sviluppo dell'interfaccia
 - 8.3.1 Nozioni teoriche e best practises
 - 8.3.2 Tipografia e layout schermate Magic Leap 2
 - 8.3.3 Sviluppo dell'interfaccia

Conclusioni / 148

Bibliografia / 150

Sitografia / 155

Abstract

Storicamente, le rivoluzioni industriali hanno rappresentato per i paesi interessati un periodo di importanti cambiamenti economici, sociali e politici, accompagnati da grandi scoperte tecnico-scientifiche che hanno rivoluzionato in maniera permanente i processi produttivi. Ad oggi ci troviamo in quella che viene definita l'ultima frontiera delle rivoluzioni industriali, ovvero l'industria 4.0, un momento della nostra storia caratterizzato dalla crescente volontà da parte delle imprese di rendere la produzione più efficiente, introducendo un'automazione sempre più spinta e totalizzante grazie all'utilizzo di nuove tecnologie. Il rapido avanzamento tecnologico, tuttavia, porta con sé importanti interrogativi circa il ruolo dell'uomo nelle operazioni industriali. In questo nuovo panorama, infatti, la capacità unica del pensiero umano viene considerata come un mezzo al servizio della tecnologia, piuttosto che un fine. L'obiettivo del presente elaborato di tesi è quello di proporre un protocollo operativo generale, applicato poi nello specifico al processo di confezionamento dei kit chirurgici, con lo scopo di aumentare la produttività e l'efficienza delle operazioni manuali nelle imprese, in particolar modo quelle che riguardano il controllo qualità, mediante la valorizzazione dell'intervento umano e l'integrazione di tecnologie innovative come la realtà estesa come ausilio al personale.

Il primo capitolo della tesi ripercorre la storia delle mnemotecniche dalle origini fino ai giorni nostri e stabilisce il punto di partenza per dimostrare come la memoria rappresenti una dote unica e irripetibile nelle macchine e alla base di tutte le capacità umane, dall'apprendimento al ragionamento e creazione.

Il secondo e il terzo capitolo, invece, sono dedicati ad illustrare cosa sono i sistemi di ordine e i sistemi complessi. Lo scopo è quello di fornire una nuova prospettiva per comprendere al meglio la complessità che ci circonda e di mostrare l'importanza di saperla affrontare in modo ordinato e razionale.

Il quarto capitolo è interamente dedicato a fornire una spiegazione quanto più esaustiva e completa possibile del concetto di realtà estesa e della sua importanza per le imprese. Verranno poi approfondite singolarmente le tecnologie che la compongono in termini di caratteristiche, architetture necessarie e dispositivi.

Il quinto capitolo della tesi è suddiviso in quattro parti principali. La prima parte fornisce una panoramica su quella che è la definizione di Industria 4.0 e i motivi per cui oggi le imprese scelgono di automatizzare sempre di più i propri processi. La seconda parte si concentra invece su una delle tecnologie abilitanti l'Industria 4.0 e motore del progetto di tesi, ovvero la realtà estesa, offrendo una visione generale di quello che è il suo utilizzo attuale nelle imprese. A questo

proposito, la terza parte illustra come viene svolto il controllo qualità nelle aziende e i motivi per cui la realtà estesa non viene sfruttata come si dovrebbe in questo ambito. Infine, l'ultima parte offre una prospettiva futura delle nuove imprese, l'Industria 5.0, volta a superare le limitazioni della precedente riportando nuovamente l'uomo e il suo benessere al centro dell'attenzione.

Il sesto capitolo entra nel vivo del progetto e illustra nel dettaglio l'intero processo di sterilizzazione dei kit chirurgici, ponendo l'accento anche su quelle che sono le maggiori difficoltà e criticità del processo.

Il settimo capitolo è dedicato allo sviluppo del protocollo operativo che ha come scopo quello di creare una metodologia unica di progetto per risolvere problemi comuni a più processi. Si è partiti quindi stabilendo le caratteristiche generali del processo di sterilizzazione dei kit chirurgici per poi ricercare le stesse in altri ambiti ed elaborare una linea guida comune a tutti i processi.

Infine, l'ottavo capitolo della tesi descrive lo sviluppo vero e proprio del progetto nel contesto del confezionamento dei kit chirurgici. A partire dalle linee guida esposte nel capitolo precedente e dopo aver definito chiaramente gli obiettivi progettuali, si procederà alla loro implementazione approfondendo diversi elementi che compongono il progetto come la scelta dell'architettura, la scelta dell'hardware necessario e la progettazione delle interfacce, il tutto tenendo sempre in considerazione l'ergonomia e il confort dell'operatore.

Capitolo 1

L'arte della memoria

Dall'antichità fino ai giorni nostri

Con il termine mnemotecnica si fa riferimento a tutti quegli espedienti adoperati per memorizzare più facilmente concetti e informazioni difficili da ricordare. [61] Le mnemotecniche trovano la loro origine nell'antichità classica, epoca in cui, a causa di una scarsa alfabetizzazione del popolo, l'intera conoscenza e tradizione culturale veniva tramandata oralmente dagli oratori. A questo proposito, si era reso necessario lo studio di tecniche e di strumenti che rendevano queste figure capaci di ricordare e recitare lunghi discorsi precedentemente preparati a memoria con estrema sicurezza e precisione. Nel corso dei secoli, l'arte della memoria fu soggetta a diversi cambi di paradigma sia per quanto riguarda la sua funzione, sia nelle modalità con cui questa venne applicata nella pratica. Nonostante l'eterogeneità di definizioni e di forme applicative, ciò che è comune a tutte le epoche è la volontà di sfruttare e aumentare la capacità naturale della memoria umana. [62]

1.1 Che cos'è la memoria?

Prima di approfondire tutto ciò che riguarda il mondo delle mnemotecniche è necessario comprendere al meglio cosa intendiamo per memoria.

«La memoria è il tesoro ed il custode di tutte le cose»

Questa citazione di Cicerone riassume in modo esaustivo la definizione che possiamo attribuire alla memoria, ovvero quella funzione propria dell'essere umano in grado di creare un deposito di informazioni a cui ci si può accingere in qualunque momento. [63] La memoria può essere quindi vista come un'entità che svolge principalmente due funzioni: per fare un paragone molto semplice, essa conserva informazioni come se fosse una biblioteca e al tempo stesso cerca attivamente tra i propri ricordi come un bibliotecario lo fa con i libri.

Possiamo individuare tre diverse tipologie di memoria, che si differenziano per il periodo di conservazione dell'informazione acquisita: [1]

- **Memoria a breve termine:** trattiene i dati acquisiti per un periodo di tempo compreso fra pochi secondi e due settimane circa.
- **Memoria a medio termine:** conserva le informazioni acquisite per un periodo compreso tra le due settimane e un anno.
- **Memoria a lungo termine:** i dati possono rimanere a disposizione per tutta la vita.

Un'informazione si va a collocare in un tipo di memoria piuttosto che in un'altra in funzione della frequenza con cui essa viene utilizzata. Un'informazione nuova, infatti, viene immediatamente immagazzinata nella memoria a breve

termine ed è destinata ad essere dimenticata qualora non venisse più ripresa o ripetuta. Tuttavia, se questa nuova informazione viene ripresa ed utilizzata più consapevolmente, essa si può trasferire nella memoria a medio termine e, se utilizzata ripetutamente, può essere trasferita nella memoria a lungo termine. La memorizzazione a lungo termine coinvolge una vasta area cerebrale e processi biochimici diversi rispetto a quelli a breve e medio termine e permette di ricordare informazioni anche per tutta la vita.

Compito delle mnemotecniche è quello di creare condizioni che consentono al cervello di memorizzare direttamente l'informazione nella memoria a lungo termine, saltando le prime fasi di memorizzazione a breve e medio termine.

I paragrafi successivi descrivono come le tecniche di memorizzazione si sono evolute dai Greci fino ai giorni nostri sia nelle modalità che nello scopo applicativo.

1.2 Le origini delle mnemotecniche

1.2.1 La leggenda di Simonide

Con il culto della dea Mnemosine, madre delle muse che proteggono l'arte e la storia, i Greci si applicarono allo studio di una tecnica (arte della memoria) per perfezionare questo suo dono tanto utile quanto sfuggente.

È nel "De oratore" che Cicerone racconta la leggenda di Simonide di Ceo, ovvero colui che inventò il primo metodo di mnemotecnica, il cosiddetto metodo dei loci, dal latino "luoghi": Simonide, sfuggito miracolosamente al crollo di una sala in cui si trovava a banchettare con altri invitati, seppe identificare i corpi dei vari commensali, resi irriconoscibili dalle ferite, ricordandosi del posto che occupavano a tavola.

«Egli [Simonide], pertanto, a quanti esercitino questa facoltà dello spirito, consiglia di fissare nel cervello dei luoghi e di disporvi quindi le immagini delle cose che vogliono ricordare. Con questo sistema l'ordine dei luoghi conserverà l'ordine delle idee, le immagini delle cose richiameranno le cose stesse, i luoghi fungeranno da tavolette per scriverci sopra e le immagini serviranno da lettere con cui scrivere»

Simonide suggerisce quindi un metodo per rafforzare la memoria naturale con una sorta di memoria artificiale. Questo nuovo approccio consiste nel codificare tramite immagini vivide gli elementi che si devono imparare e collocare ognuna di esse in un luogo preciso secondo un itinerario ben noto e mentalmente rappresentato. Per ricordare tutti gli elementi nell'ordine, basterà ripercorrere mentalmente il tragitto e scoprire l'immagine che è stata precedentemente collocata in ogni luogo. [2]

1.2.2 L'arte della memoria in Grecia

1.2.2.1 I sofisti, Platone e Aristotele

«Grande e bella invenzione è la memoria, sempre utile sia al sapere che al vivere» (Yates, 1993)

Con questa affermazione si apre il *Dialexis*, un antico frammento datato attorno al 400 a.C. che riporta l'antico insegnamento della scuola sofista riguardo la trattazione della memoria. È significativo sottolineare come per la prima volta in questo trattato risulti presente una formula volta a ricordare non solamente le cose, ma anche le parole, facendo così da precursore per quelle che saranno le *images agentes* della mnemotecnica più matura. La tecnica suggerita dai sofisti consiste infatti nel costruire nella mente figure di persone o di dei che per associazione possano richiamare alla memoria le cose da ricordare.

Se da un lato i sofisti consideravano la memoria artificiale come un mero strumento per implementare l'efficacia della retorica di un oratore, Platone si oppose aspramente a questa ideologia considerando la memoria l'attività fondamentale per la conoscenza del bene. Egli sosteneva l'esistenza di una conoscenza virtuale, testimone della realtà, che l'anima conosceva prima di assumere una forma materiale sulla Terra: ogni evocazione, quindi, non era altro che una reminiscenza, ovvero il ricordo di ciò che abbiamo appreso in un'altra vita precedente dell'anima e la memoria si articola in quel perenne sforzo volto a ricordare le supreme realtà. È chiaro quindi il punto di vista di Platone sulla retorica quale arte per raccontare la verità delle idee e non come arte dissacrante di persuasione praticata dai sofisti.

All'opposto di questo concetto platonico di una memoria-conoscenza proveniente da Dio che ispirò numerosi autori mistici del Rinascimento, si schierò il brillante successore di Platone, Aristotele, che con le sue ideologie costruì la base per la scolastica del Medioevo. Nel *De anima* egli affronta il tema della memoria e del ricordo, illustrando come queste ultime in realtà si basino su delle immagini derivanti da sensazioni impresse come un sigillo su ceralacca. [3]

1.2.2.2 Metrodoro di Scepsi

Proseguendo con la trattazione di personaggi dell'antichità che hanno fornito un loro contributo sulla formulazione di mnemotecniche, ci si imbatte in Metrodoro di Scepsi e nel suo sistema di memoria basato sulle immagini dello zodiaco. Il giurista romano Quintiliano riferì che Metrodoro di Scepsi avrebbe trovato per il suo sistema di memoria «trecentosessanta luoghi nei dodici segni per cui procede il sole» e asserisce «vanità e millanteria di un uomo orgoglioso di una memoria più forte per arte che per natura». [4] Metrodoro, quindi, sfruttava per la

sua arte l'insito ordine dello zodiaco come disposizione predefinita per agevolare le operazioni di identificazione dei luoghi in cui fare operare le figure agenti.

1.2.3 Le principali fonti latine

Le principali fonti latine per l'arte della memoria sono da attribuirsi al De oratore di Cicerone, agli anonimi Ad Herennium IV e l'Institutio oratoria di Quintiliano.

1.2.3.1 Ad Herennium

Ad Herennium è considerata l'opera più completa ed esaustiva per la conoscenza dell'arte della memoria in quanto l'autore, per la sua scrittura, attinse direttamente sia da fonti greche che latine. In quest'opera si possono distinguere due diverse specie di memoria, una naturale ed innata (le attitudini) ed una artificiale da potenziare. Quest'ultima è a sua volta suddivisa in memoria per i luoghi e memoria per le immagini. Per ricordare i luoghi (loci), l'autore afferma che questi sarebbero dovuti essere oggetto di un attento studio: egli, infatti, sostiene che questi rappresentano le fondamenta su cui viene basato l'intero apparato da ricordare e suggerisce la costruzione di luoghi chiaramente distinguibili l'uno dall'altro, di modeste dimensioni, né troppo illuminati né troppo bui e disposti in una maniera ordinata. Per quanto riguarda le immagini, anche il loro utilizzo seguiva delle regole ben definite. Le imagines erano di due tipi: per le cose (memoria rerum) e per le parole (memoria verborum). Nel primo caso si formavano immagini per fissare nella memoria argomenti e concetti, mentre la seconda costruisce immagini per ricordare ogni singola parola che rivestiva i concetti. Tuttavia, la regola alla base per la costruzione di luoghi e immagini veramente efficaci era quella di formare nella mente immagini particolarmente brutte o affascinanti, capaci di suscitare forti emozioni e di rimanere bene impresse nella memoria. [2] È quindi il coinvolgimento emotivo il vero valore aggiunto alla base di questo metodo: soltanto immagini insolite e attive nelle loro azioni ecciteranno il più possibile i nostri sentimenti e rimarranno impresse più a lungo nella memoria.

1.2.3.2 Cicerone, De oratore e De inventione

Completato nel 55 a.C., il De oratore è un piccolo trattato di ars memorativa nel quale, dopo aver riferito l'episodio di Simonide di Ceo, Cicerone riporta i medesimi insegnamenti di Ad Herennium per quanto riguarda i loci e le figurae, ribadendo nuovamente l'importanza dell'ordine con cui vengono costruiti i loci e con cui vengono caratterizzate le immagini. Ciò che tuttavia ebbe un'incredibile importanza per lo sviluppo della mnemotecnica nella scolastica latina è da

ricercare nelle pagine del De inventione, uno scritto risalente al all'85 a.C. che tratta in particolare dell'invenzione, ovvero della prima delle cinque parti della retorica. Verso la fine dell'opera, Cicerone distinse la virtù in quattro parti, ossia "prudenza", "giustizia", "fortezza" e "temperanza" e a sua volta la "prudenza" venne ulteriormente divisa in "memoria", "intelligenza" e "preveggenza". [5]

È chiaro quindi il cambio di paradigma nella considerazione della memoria che da pratico strumento tecnico a supporto dell'oratoria, si trasformò con Cicerone in un'arte dal carattere fortemente etico-morale.

1.2.3.3 Quintiliano, De institutione oratoria

Scritto un secolo dopo il De oratore di Cicerone, il De institutione oratoria di Quintiliano sancì un profondo cambiamento nella società romana per quanto riguarda la considerazione dell'ars memoria fino a quel momento, arrivando a contraddire in maniera decisa il pensiero di Cicerone e a dubitare dell'efficacia del metodo dei loci tradizionale. [3] Quintiliano espose nel suo testo una tecnica per la formazione dei loci, che, tuttavia, lo distingue dai suoi predecessori per la modalità con cui percorrere questi luoghi nel momento in cui si necessita riportarli alla memoria. Egli infatti scrive:

«Si scelgono luoghi il più possibile spaziosi, caratterizzati dalla massima varietà, ad esempio un grande palazzo diviso in molte stanze. Si fissa con cura nell'animo tutto ciò che in esso vi è di notevole, in modo che la riflessione possa ripercorrerne tutte le parti senza esitazioni e tentennamenti. Questa è la prima cosa da curare, non avendo esitazioni davanti agli oggetti: perché un ricordo destinato a sostenerne un altro deve essere più che sicuro. Poi si sigla con un segno che ha funzione di richiamo ciò che si è scritto o fissato col pensiero. Il segno può essere tratto dalla cosa nel suo insieme, come la navigazione e l'arte militare, o può agganciarsi ad una sola parola: perché basta il richiamo di una parola a riportarci ciò che ci sta sfuggendo dalla mente. Segno della navigazione potrebbe essere, ad esempio, un'ancora; e dell'arte militare un'arma qualsiasi. Ed ecco come si distribuiscono i segni: il primo lo si assegna, diciamo, al vestibolo, il secondo all'atrio, poi si fa il giro degli impluvia e, ordinatamente, si affidano non solo alle camere da letto e alle sale, ma anche alle statue e ad altri oggetti del genere. Fatto questo, quando si deve rievocare il ricordo, si passano in rassegna questi luoghi a partire dal primo, e da ciascuno si richiede la restituzione di ciò che gli si è affidato, secondo quello che suggerisce l'immagine

ivi collocata. Così, per quanto numerose siano le cose di cui si deve avere memoria, esse sono legate l'una all'altra come in un balletto, e non si può sbagliare, come succede quando si collega ciò che segue a ciò che precede secondo l'apprendimento mnemonico naturale. Ciò che ho detto per un palazzo, si può fare anche con edifici pubblici, una lunga strada, il perimetro della città, dei quadri. Oppure si possono senz'altro inventare immagini di questo genere.»

Questa citazione sottolinea la diffidenza di Quintiliano nei confronti delle "images agentes" tanto utilizzate dai suoi predecessori, ovvero quei quadri animati che per omofonia riportavano a certe parole, preferendo al contrario un allenamento della memoria naturale mediante l'interpretazione delle immagini attraverso note stenografiche (segni).

1.3 L'arte della memoria nel Medioevo

Il continuo susseguirsi di sanguinose battaglie volte alla distruzione da parte dei barbari ai danni dell'Impero romano, portarono ad una profonda disgregazione della cultura e l'insieme delle regole sulla retorica e l'intero sapere greco-romano parvero svenire nel nulla, a meno di alcune testimonianze parzialmente trascritte dagli amanuensi e rimaste accessibili a pochi eletti all'interno di monasteri e biblioteche. [3] Soltanto con la riorganizzazione feudale, la cultura fu in grado di riaffiorare in università e scuole: vengono infatti ritrovati manoscritti di Aristotele e l'Ad Herennium fondamentali per lo sviluppo del pensiero della Scolastica, che vede come protagonisti Alberto Magno e Tommaso d'Acquino. Il forte pensiero razionalista unito alle idee teologiche portò ad un ridimensionamento del concetto della memoria, ora considerata parte della virtù della prudenza che emana da Dio per mezzo della quale si è in grado di ottenere la salvezza oltremondana.

Gli insegnamenti di Alberto Magno e Tommaso d'Acquino, tuttavia, mostrarono la loro debolezza nel momento della loro messa in pratica: agli occhi dei fedeli, infatti, questi scritti non erano altro che definizioni troppo astratte e filosofiche difficili da assimilare. Per fronteggiare questa difficoltà, iniziò a diffondersi la figura del frate-predicatore che, supportato da nuove Summae meno complesse, riusciva a predicare e fissare più facilmente nella mente degli ascoltatori quegli articoli di fede e quel retto comportamento morale dettato da vizi e virtù tanto predicati dalla dottrina della Scolastica. Un chiaro esempio di questa volontà di semplificare le regole mnemotecniche di Alberto Magno e Tommaso d'Acquino è da ritrovarsi negli scritti di Giovanni da San Gimignano, in particolare nel "Summa

de exemplis de similitudinibus rerum". In questo testo, infatti, egli descrive tantissimi elenchi di esempi e similitudini con lo scopo di avvicinare all'arte della memoria i fedeli e non solo: l'altra grande novità di questo testo riguarda il fatto di essere scritta interamente in volgare, il che fa pensare che l'arte della memoria non fosse considerata più una sola pratica per oratori e fedeli ma che si stesse diffondendo anche tra i laici come esercizio devozionale per evitare i vizi che conducevano all'inferno. [5]

1.4 Umanesimo e arte della memoria

L'avvento dell'Umanesimo sancì un profondo cambiamento del clima culturale dell'epoca: grazie alla maggiore circolazione di testi classici stampati, infatti, si giunse ad una migliore comprensione della civiltà del mondo antico e alla possibilità di approfondire le conoscenze dell'arte della memoria giunte fino a quel momento. Una volta studiato e metabolizzato il sapere antico, i nuovi protagonisti dell'Umanesimo rivalutarono le tematiche di fondo della dottrina scolastica e i testi della retorica classica, arrivando a riconsiderare l'uso pratico della retorica considerata ora come un'arte di mnemotecnica laica applicabile ai più svariati campi delle scienze e delle lettere e non più come un'arte etica e dal profondo senso morale, come accadeva nel Medioevo.

In generale, ciò che lega e distingue i testi dell'Umanesimo dai trattati precedenti è l'idea di semplificare la complessa costruzione di immagini e luoghi tipica dei secoli precedenti sfruttando la sistematicità della loro composizione. Il loro scopo era quindi quello di rendere fruibile l'arte della memoria ad un pubblico più vasto, diffondendo delle regole già codificate e più accessibili da tutti. Un esempio che testimonia questo cambiamento sono cosiddetti "alfabeti visivi", ovvero delle tabelle composte da figure associate a tutte le lettere dell'alfabeto che si basano sulla corrispondenza tra lettere da memorizzare e le iniziali delle immagini da collocare, oppure sulla somiglianza visiva tra forma della lettera e forma dell'oggetto ad essa associato. [6]

1.4.1 Pietro Tomai, Phoenix seu artificiosa memoria

Phoenix seu artificiosa memoria fu un vero e proprio caso letterario dell'Umanesimo. Del tutto svincolato da ogni aspirazione etica e provvidenziale, questo scritto nasce con lo scopo di diffondere l'arte della mnemotecnica nel mondo laico, nello specifico per essere utilizzato nella vita quotidiana a fini professionali. In questo testo Pietro Tomai illustra le regole fondamentali per la costruzione delle "images agentes", mediante le quali si è in grado di memorizzare singole lettere, sillabe e parole e addirittura i casi latini delle parole utilizzate nel discorso. Per fare ciò, egli utilizza gli alfabeti visivi ma in modo assai

più funzionale. Per quanto riguarda le lettere dell'alfabeto, l'autore suggerisce di collocare nei loci immagini di donne (figure sensuali che rimangono impresse nella memoria meglio di altre) il cui nome inizia con la stessa lettera da ricordare. La regola per ricordare le sillabe prevede invece di collocare due persone le cui iniziali corrispondono alle lettere della sillaba nello stesso locus, facendo attenzione a porre nella parte sinistra del luogo la lettera che viene prima nella sillaba, così da sottostare ad un preciso ordine ed evitare confusioni. Se il testo da ricordare è in latino, per ricordare i casi di questa lingua sarà necessario relazionare un oggetto alla figura umana che rappresenta l'immagine e farlo interagire con la parte del corpo che corrisponde al caso latino da ricordare. Il Phoenix si conclude con un sistema originale per ricordare non più lettere ma bensì numeri. Esso consiste nel rappresentare tutti i numeri mediante sedici immagini che vengono quindi combinate per riprodurre un numero nello specifico. Prima di tutto si preparano dieci immagini per le decine (10,20.. fino a 100), poi altre cinque immagini per le unità da 1 a 6, rappresentate grazie alle dita della mano destra unite per associazione a persone o ad oggetti. Per i numeri dal 6 al 9 si usa la medesima simbologia con la differenza che le azioni verranno svolte con la mano sinistra.

1.4.2 Johannes Romberch e Cosimo Rosselli

I trattati pubblicati tra il XV e il XVI secolo non apportarono significativi cambiamenti a quanto già proposto da Pietro Tomai nel Phoenix, se non per l'utilizzo di "alfabeti visivi" già preconfezionati dalla A alla Z che si basano sulla coincidenza tra lettera da ricordare e iniziale dell'immagine collocata oppure sulla somiglianza visiva tra forma della lettera e forma dell'oggetto collocato. È evidente quindi il cambio di paradigma che si assiste nelle nuove imagines agentes rispetto a quelle proposte nell'Ad Herennium: se prima queste figure erano frutto della personale inventiva dell'artista della memoria, la nuova sistematicità di questi elenchi già pensati di figure porta alla perdita di questo legame affettivo tra persona e le proprie personalissime rappresentazioni. I due autori più importanti che si inserirono in questo periodo storico basato su di una mnemotecnica disomogenea fatta di un insieme di regole provenienti da diversi saperi (Quintiliano, ars notoria, Rinascimento, Scolastica) furono Johannes Romberch e Cosimo Rosselli.

1.4.2.1 Johannes Romberch, *Congestiorum artificiosae memoriae*

Considerando il fatto che l'arte della memoria dovesse essere applicata a diversi ambiti della cultura, Johannes Romberch nel suo scritto propone per la costruzioni dei luoghi tre diversi sistemi operativi adattabili ad ogni esigenza: il

primo sistema, adattabile in campo devozionale, presenta una costruzione dei loci basata sulle raffigurazioni del Paradiso, Purgatorio ed Inferno, il secondo ad uso dei predicatori era invece un sistema costruito tramite i segni zodiacali, utili a dare un ordine razionale ai luoghi e, infine, l'autore andò incontro alle esigenze del mondo laico attraverso le solite regole di fissare delle immagini in luoghi reali come chiese, palazzi o abazie. Come già anticipato, Romberch propone lunghi elenchi e tabelle costruite per similitudine formale e fonetica tra lettere ed immagini.

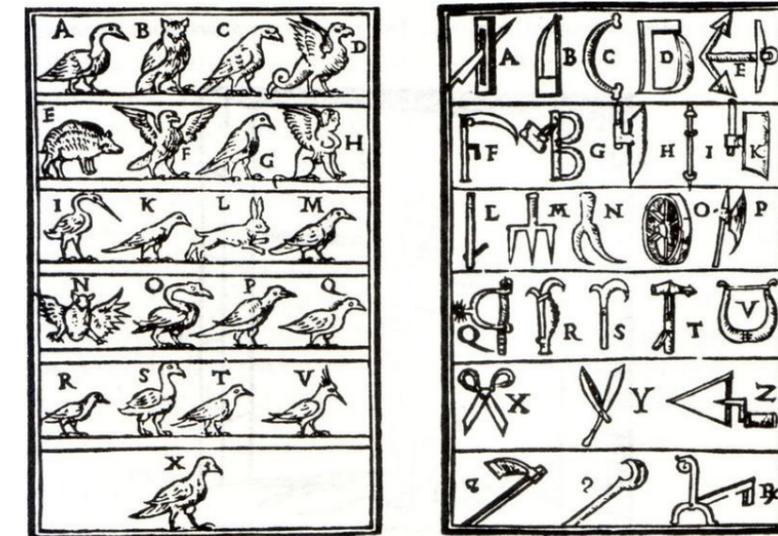


Figura 1.1
Esempi di alfabeti visivi

Questo metodo risulta particolarmente efficace quanto complesso, soprattutto quando si vogliono memorizzare non solo le figure ma anche tesi astratte come quelli metafisici.

1.4.2.2 Cosimo Rosselli, *Thesaurus artificiosae memoriae*

Cosimo Rosselli nel suo testo non propone nuovi concetti e si muove con la stessa logica di Romberch. Ciò che lo contraddistingue è la costruzione di un sistema di memoria basato su luoghi che rimandano all'Inferno, Purgatorio e Paradiso che diventano dei veri e propri luoghi di memoria artificiale in cui l'autore inserisce dei versi mnemonici per aiutare il lettore a ricordare con più facilità. Così come si presentava nel XVI secolo, l'arte della memoria stava attraversando un momento particolarmente difficile. In primis, essa non riusciva più a reggere il confronto con i grandi sistemi mnemonici del passato poiché, con l'introduzione del libro a stampa, si sancì una più facile abbondanza e reperibilità di questi nuovi testi di mnemotecnica ben diversa dalla rarità ed esclusività che caratterizzava le opere del passato. A ciò si aggiunse la forte ostilità dei filologi umanisti nei confronti di questa nuova arte della memoria che, a loro parere, non era altro che un

residuo barbaro del Medioevo da cancellare. Nonostante queste difficoltà, l'arte della memoria poté rifiorire con una forma diversa grazie al nuovo movimento neoplatonico che, nutrito da forti interessi ermetici, contribuì alla diffusione dell'ars combinatoria.

1.5 Arte della memoria e Rinascimento

1.5.1 Il teatro di Giulio Camillo

Giulio Camillo è uno scrittore e filosofo italiano del XVI secolo, il quale indirizzò gran parte dei suoi studi verso un unico immenso progetto, quello del “teatro della memoria”.

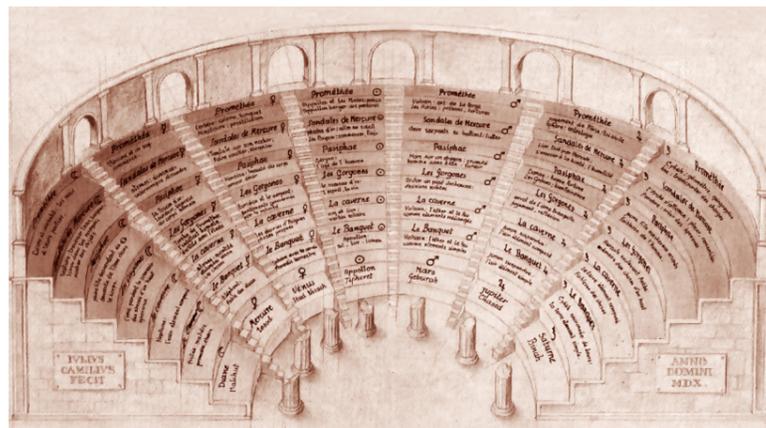


Figura 1.2
Teatro della memoria

Egli concepì infatti l'idea di un teatro destinato ad immagazzinare tutta la conoscenza universale organizzata secondo specifici schemi di memoria associativa. Costruito secondo un'impostazione classica vitruviana, il teatro presentava sette ordini orizzontali (gradi) solcati da sette corsie (colonne) e, grazie a ciò, sarebbe stato possibile incasellare l'intero sapere all'interno di questa griglia di 49 caselle ognuna delle quali veniva identificata da una figura proveniente da miti, arti figurative o imprese cavalleresche. [64]

1.5.2 Ars Combinatoria e Raimondo Lullo

Un'altra tipologia d'arte mnemonica, nata nel Medioevo e sopravvissuta per tutto il Rinascimento, fu quella di Raimondo Lullo. Nel 1272 egli visse un'esperienza mistica sul monte Rada, nell'isola di Maiorca, durante la quale contemplò gli attributi divini e concepì l'idea di costruire un'arte universale basata su questi attributi. A seguito di questa esperienza scrisse la sua “Ars Magna”, una logica universale in grado di dimostrare la verità partendo da elementi semplici e combinandoli in modo matematico.

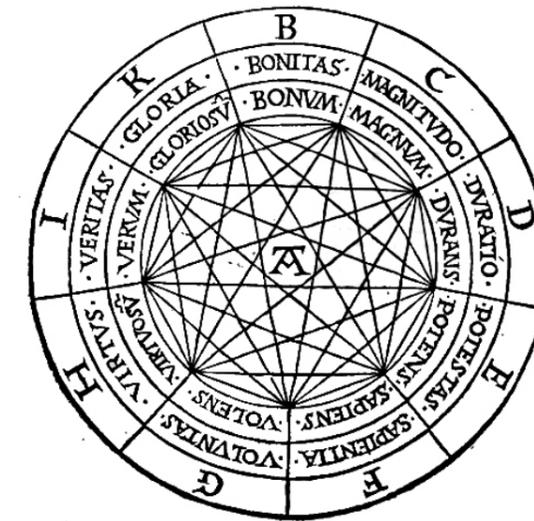


Figura 1.3
Ruote lulliane utilizzate per decifrare l'intero sapere universale

L'Ars Magna è riassunta graficamente in una serie di cerchi concentrici in cui ad ogni anello corrispondeva una funzione ben precisa. Nell'anello più esterno sono raffigurate nove lettere, dalla B alla K, e rappresentano i principi assoluti, chiamati Dignità divine. Nel cerchio interno al primo Lullo colloca i nove attributi dell'essere: Bontà, Grandezza, Perseveranza, Potere, Conoscenza, Desiderio, Virtù, Verità, Gloria. Il terzo cerchio contiene gli stessi attributi considerati in maniera concreta (Buono, Grande, Perseverante...). I cerchi lulliani formavano, girando, svariate combinazioni possibili di proposizioni che rappresentavano la realtà profonda delle cose. [7]

Sebbene questo pensiero combinatorio potesse essere utilizzato come tecnica per la memorizzazione di nozioni base, lo scopo ultimo di Lullo era quello di:

«Arrivare a una enciclopedia totale, a un sapere universale... Cioè a una “clavis” universale, cioè una “chiave” universale, che mi permetta di accedere a qualunque sapere nella sua totalità.» (Rossi, 2017)

1.5.3 Giordano Bruno

Nel 1582 Giordano Bruno pubblicò un trattato di mnemotecnica dedicato al re di Francia Enrico III comunemente conosciuto con il nome di “De umbris idearum”. L'opera è composta da due testi: De umbris idearum (Le ombre delle idee) e Ars memoriae (Arte della memoria). Da quest'opera emerge quello che è il pensiero di Giordano Bruno sull'arte della memoria, ovvero uno strumento mediante il quale costruire la realtà: secondo lui, infatti, la fantasia e l'intelletto di ciascun individuo fungono da un vero e proprio laboratorio di immagini visive e idee che vengono poi concatenate tra di loro secondo criteri definiti, trasformando così il caos della memoria in un ordine consona alle strutture della realtà.

Nel "De umbris idearum" Giordano Bruno spiega la sua dottrina. Nella sua visione, l'universo è un corpo unico dotato di un preciso ordine nella sua struttura. Il fondamento di quest'ordine è Dio, l'idea eterna, mentre le nostre idee non solo altro che ombre di essa. La mente umana ha quindi in sé non idee ma piuttosto le ombre delle idee ed è necessario ricorrere ad un metodo conoscitivo che colga la complessità del reale: tale mezzo si basa sull'arte della memoria, che ha il compito di chiarificare la realtà delle cose, resa complessa dalla molteplicità di immagini presenti.

Il secondo testo, "Ars memoriae" è di carattere pratico e ha lo scopo di illustrare il sistema mnemonico secondo la visione del filosofo.

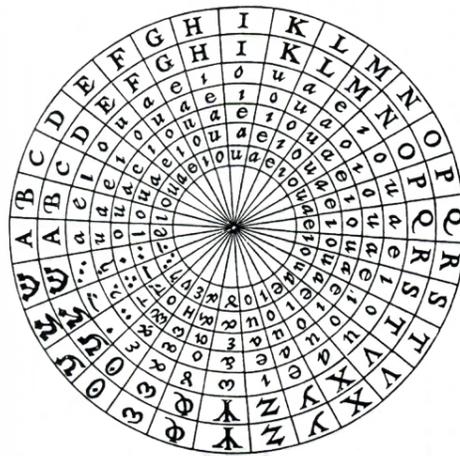


Figura 1.4
Sistema di ruote di
Giordano Bruno

Questo sistema è formato da una serie di ruote mnemoniche, ciascuna delle quali è composta da trenta simboli (ventitre lettere dell'alfabeto latino, quattro dell'alfabeto greco e tre dell'ebraico). Ad ogni ruota corrisponde una serie di immagini: un personaggio (prima ruota), un'azione (seconda ruota), un modo d'essere/aggettivo (terza ruota), un oggetto o un animale (quarta ruota), un quadro generale di relazioni (quinta ruota). Girando, queste ruote formano diverse combinazioni di immagini così che ogni sequenza di parole o lettere sia associata ad una scena: memorizzando la scena e conoscendo il sistema di codifica sarà possibile ricordare più sequenze.

Giordano Bruno differenzia all'interno della sua opera due diverse prassi: La prima prassi è un'introduzione esemplificativa alla seconda prassi e viene utilizzata per memorizzare una sequenza di lettere. Il filosofo utilizza come attori delle immagini molto conosciute a quel tempo tratte dal libro "Le metamorfosi di Ovidio". Il personaggio rappresentativo della lettera A è Licaone che nell'opera banchetta.

A = Licaone (personaggio)

A = banchetta (azione)

Rappresentativo della lettera B è invece Deucalione che lancia pietre.

B = Deucalione (personaggio)

B = lancia pietre (azione)

Per quanto riguarda la lettera C abbiamo invece:

C = Apollo

C = con il pitone

Immaginando quindi di mantenere fissa la ruota degli attori e far muovere invece quella delle azioni, otterremo diverse possibili combinazioni di attori che compie una qualsiasi delle trenta azioni precedentemente descritte.

Ad esempio:

AB = Licaone lancia le pietre

CA = Apollo che banchetta

Aggiungendo anche la terza ruota delle insegne possiamo avere:

AAA = Licaone a banchetto con una catena

TRE = Giasone col cavallo con una bisaccia

La seconda prassi è utilizzata per ricordare termini completi e il suo funzionamento è simile a quello della prima prassi con la differenza che ogni immagine è associata ad una sillaba di due lettere (una lettera e una delle cinque vocali) e non più ad una sola lettera.

Per ogni lettera devono esserci quindi 5 attori, uno per ogni vocale associata, per un totale di 150 personaggi. Per la seconda prassi Giordano Bruno utilizza immagini provenienti dall'opera "De Rerum Inventoribus" di Polidoro Virgilio, che tratta di inventori raggruppati per gruppi tematici correlati con le loro azioni ed invenzioni. Con un sistema di cinque ruote si hanno in tutto 750 sillabe a cui sono associabili 750 immagini. [65]

1.5.4 Pietro Ramo

Tormentata da numerosi conflitti religiosi e politici e per fronteggiare il complotto dei cattolici, Elisabetta I provoca la separazione totale tra Chiesa anglicana e Chiesa romana. Così facendo, la religione di Stato divenne quella calvinista, nota per la sua lotta contro lusso, ricchezze e libertà di costumi e sarà proprio questa la causa della censura delle images agentes come venivano intese per esempio nella Rethorica ad Herennium (immagini stimolanti per la memoria spesso sanguinolente o di natura sessuale). È in questo contesto che si inserisce la figura di Pietro Ramo: accantonando l'utilizzo dei loci, delle images agentes e delle ruote magiche come strumenti di mnemotecnica, egli escogitò un nuovo metodo dialettico per individuare gli aspetti generali di un

argomento e da questi far discendere "ad albero" gli argomenti più specifici. Ciò che contraddistinse Pietro Ramo, quindi, fu proprio la sua volontà di fondare un sistema di mnemotecnica non più basato sulla memoria artificiale delle immagini, ma bensì sull'apprendimento a memoria di idee organizzate armoniosamente. [2]

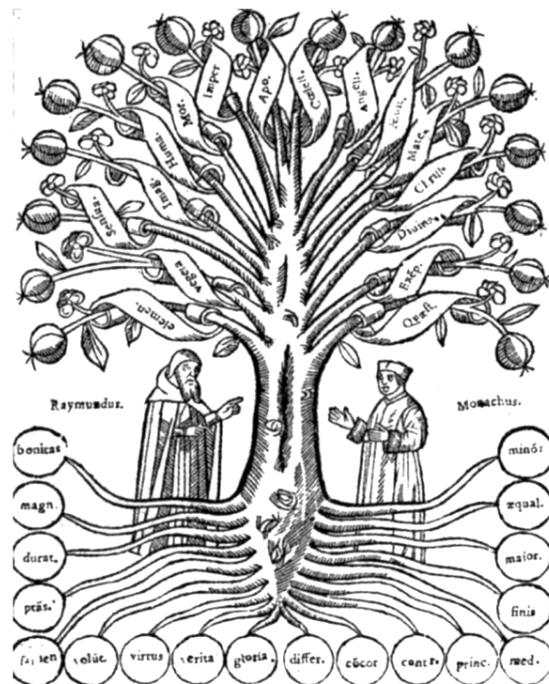


Figura 1.5
Esempio di classificazione ad albero

1.6 I presupposti della mnemotecnica moderna

Nel corso del XIX secolo si va profilando una nuova figura di esperto di mnemotecnica: si tratta di un professionista, il mnemonista, il quale trae profitto dai propri insegnamenti che impartisce ad un vasto pubblico (non necessariamente colto) e che, per questo motivo, si trova costretto a ridimensionare i contenuti dei propri metodi così che siano accessibili e fruibili da tutti. Da qui nascono quindi pubblicazioni di testi market-oriented: i testi saranno più schematici, meno filosofici, alcuni saranno tascabili e presenteranno illustrazioni accattivanti. In generale, la disciplina della mnemotecnica va ora ad orientarsi verso una applicazione a diverse discipline scolastiche piuttosto che a grandi sistemi enciclopedici come accadeva per i testi del passato. [8]

1.6.1 Gregor Von Feinaigle

Primo fra tutti a svolgere questo tipo di insegnamenti fu Gregor von Feinaigle, un monaco di origine tedesca e professore di mnemotecnica. Per comprendere

il suo sistema di memoria è necessario rifarsi agli scritti dei suoi discepoli i quali pubblicarono i loro appunti presi durante le conferenze di Feinaigle. Il trattato più significativo in questo caso è quello pubblicato da Thoma Naudin nel 1800 con il titolo "The New Art of Memory".

Il sistema di memoria di Gregor von Feinaigle consiste in una serie di tecniche che si vanno poi ad articolare in un unico grande sistema:

- **Codice cifra/immagine:** viene realizzato un collegamento tra i primi cento numeri con immagini o con collegamenti fonetici o semantici.
- **Tabella di richiamo:** l'autore riprende il concetto di codice alfanumerico di Winckelman (associa i primi dieci numeri alla somiglianza che hanno con le consonanti dell'alfabeto) e lo utilizza per creare una lista di cento parole chiave partendo dal codice alfanumerico che codifica i primi cento numeri.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
T	N	M	R	L	D	C	V	P	S
TH			RH			K	B	PH	Z
						G	H	F	X
						Q			
						CH			

0 = sei
1 = té
2 = neo
3 = amo
4 = oro
...
10 = tazza
11 = tatto
...
34 = mare
99 = papa

Figura 1.6
Tabella di richiamo basata sul codice alfanumerico

Questa tecnica utilizza due tappe di apprendimento: in primo luogo si deve studiare a memoria la tabella di richiamo (come se fosse un alfabeto) e in seguito apprendere ogni parola della lista da memorizzare in collegamento con le parole chiave. In questo modo, le parole chiave permettono di ricordare la parola a cui è associata e soprattutto la sua posizione numerica.

Esempio: ho una lista di parole e al 34° posto vi è la parola gatto. Possiamo quindi recarci alla 34esima parola della lista di parole chiave che è "mare" e immaginare nella mia mente un gatto in riva al mare. [2]

1.6.2 La stenografia della memoria

Aimé Paris, professore di musica nato nel 1798, è uno degli inventori del metodo della stenografia, che consente di fissare velocemente un discorso mediante l'uso di segni (suoni consonantici) e di segni correttivi (vocali).

Ciò che lo contraddistingue è l'uso del codice consonantico per il codice alfanumerico. Perfeziona il codice alfanumerico di Feinaigle facendo corrispondere alle cifre non consonanti simili visivamente, ma bensì gruppi consonantici collegati secondo regole fonologiche. [2]



1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
S	T	N	M	R	L	CH	K	F	P
Z	D	GN				J	GU	V	B

Figura 1.7
Esempio di stenografia della memoria

1.7 Le mnemotecniche moderne

Le mnemotecniche moderne, pur basandosi sui medesimi principi di quelle tradizionali, sono state adattate per soddisfare in modo ottimale le esigenze contemporanee. Da strumento a supporto degli oratori o per comprendere la realtà delle cose, ad oggi la memoria è concepita come una capacità naturale dell'uomo da potenziale al fine di conservare informazioni importanti a lungo termine. Le mnemotecniche moderne vengono utilizzate in svariati ambiti, come nello studio per aumentare l'efficacia della memorizzazione delle informazioni, nella formazione professionale per imparare nozioni tecniche, nei giochi o nella vita quotidiana per ricordare determinati nomi o svolgere delle azioni (es. lista della spesa).

Tra le principali tecniche di memoria odierne possiamo citare: [66]

- **Peg System:** molto simile all'antico metodo dei loci, questa tecnica consiste nell'associare a ciascun elemento da memorizzare un oggetto immaginario, creando così un legame visivo tra i due. Viene spesso utilizzata per memorizzare elenchi di parole o numeri.
- **Mappa mentale:** utilizzata soprattutto per organizzare le idee o per memorizzare informazioni complesse, questa tecnica prevede la creazione di diagrammi in cui vengono rappresentati visivamente le relazioni che ci sono tra diverse idee o informazioni.

— **Paradosso azione vivido:** questa tecnica di memorizzazione si basa sul principio che la nostra mente lavora per immagini e mira a rendere l'informazione da ricordare più efficace, stimolando emozioni vivide nell'inconscio.

— **Conversione fonetica:** il metodo consiste nell'utilizzare una parola o un suono simile a quello della parola da ricordare.

1.8 Conclusioni

Le tecniche di memorizzazione sono state oggetto di grande interesse da parte di studiosi e non lungo tutto il corso dei secoli. Nonostante i diversi sviluppi che la definizione e l'applicazione della memoria hanno subito nel tempo, essa è sempre stata considerata di fondamentale importanza per l'essere umano, poiché rappresenta una straordinaria capacità che può essere utilizzata in molteplici ambiti della vita quotidiana. È evidente che le tecniche di memorizzazione moderne risentono dell'influenza di quelle antiche e che molte di esse siano ancora ad oggi in uso, tuttavia è importante specificare che non tutte le tecniche sono adatte per ogni individuo e che è necessario un impegno costante e una pratica regolare per utilizzarle al meglio e ottenere i migliori risultati.

Età greca	Sofisti	Costruire nella mente immagini di persone o dei che rimandano ai concetti da ricordare con lo scopo di migliorare la retorica degli oratori.
	Metrodoro di Scepsi	Sfruttare l'ordine dello zodiaco come disposizione predefinita per l'identificazione dei luoghi in cui fare operare le figure agenti.
Età romana	Simonide di Ceo	Codifica tramite immagini degli elementi che si devono imparare e collocare ognuna di esse in un luogo secondo un itinerario ben noto e mentalmente rappresentato.
	Anonimo (Ad Herennium)	Coinvolgimento emotivo per imprimere nella memoria cose e parole: la regola alla base era quella di formare nella mente immagini capaci di suscitare forti emozioni.
	Quintiliano	Ciascun elemento da ricordare viene inserito all'interno di un luogo ben preciso e associato a note stenografiche (segni).
Medioevo	Giovanni da San Gimignano	Semplificare le definizioni astratte della Scolastica con elenchi di esempi e similitudini in volgare per fissare nella memoria dei fedeli gli articoli di fede e il retto comportamento da seguire.
Umanesimo	Pietro Tomai	Uso di alfabeti visivi "preconfezionati" in cui le lettere dell'alfabeto vengono associate a figure in base alla loro somiglianza visiva o uguaglianza della loro lettera iniziale.
	Cosimo Rosselli	Sistema di memoria basato su luoghi che rimandano all'Inferno, Purgatorio e Paradiso in cui inserire dei versi mnemonici per ricordarli con più facilità.
Rinascimento	Raimondo Lullo	Creazione dei cerchi lulliani formati da diverse ruote che formano, girando, svariate combinazioni possibili di proposizioni che rappresentavano la vera realtà delle cose.
	Giordano Bruno	Realizzazione di ruote mnemoniche che, girando, formano diverse combinazioni di immagini così che ogni sequenza di parole o lettere sia associata ad una scena: memorizzando la scena e conoscendo il sistema di codifica sarà possibile ricordare più sequenze.
	Pietro Ramo	Sistema di mnemotecnica basato sull'apprendimento a memoria di idee organizzate dagli argomenti più generali a quelli più specifici

Risorgimento	Aimé Paris	Sistema di mnemotecnica basato sul metodo della stenografia, che consente di fissare velocemente un discorso mediante l'uso di segni (suoni consonantici) e di segni correttivi (vocali).
Età contemporanea		Peg System: simile all'antico metodo dei loci, questa tecnica consiste nell'associare a ciascun elemento da memorizzare un oggetto immaginario, creando così un legame visivo tra i due.
		Mappa mentale: utilizzata soprattutto per organizzare le idee o per memorizzare informazioni complesse, questa tecnica prevede la creazione di diagrammi in cui vengono rappresentati visivamente le relazioni che ci sono tra diverse idee o informazioni.
		Paradosso azione vivido: questa tecnica di memorizzazione si basa sul principio che la nostra mente lavora per immagini e mira a rendere l'informazione da ricordare più efficace, stimolando emozioni vivide nell'inconscio.
		Conversione fonetica: il metodo consiste nell'utilizzare una parola o un suono simile a quello della parola da ricordare.

Capitolo 2

I sistemi di ordine

Evoluzioni nella storia e tipologie

ordine s. m. [lat. *ordo ordinis*]. – *Disposizione regolare di più cose collocate, le une rispetto alle altre, secondo un criterio organico e ragionato, rispondente a fini di praticità, di opportunità, di armonia. (ordine in Vocabolario - Treccani)*

Come suggerisce la definizione, i sistemi di ordine riguardano l'insieme di tutte quelle metodologie atte ad organizzare e classificare informazioni o oggetti in modo ordinato e coerente al fine di renderli più facilmente accessibili e comprensibili.

2.1 I sistemi di ordine nella storia

I sistemi di ordine hanno avuto un ruolo centrale lungo il corso dei secoli, evolvendosi nel tempo per rispondere alle esigenze specifiche di ogni popolo per quanto riguarda l'organizzazione e la gestione di informazioni e di oggetti. Sarà tuttavia l'avvento della scrittura a rappresentare un cambiamento significativo in questi sistemi, poiché permise di sostituire i segni e i simboli utilizzati fino a quel momento per organizzare le informazioni con parole scritte, rendendo possibile la conservazione permanente delle informazioni e la nascita dei sistemi di ordine e classificazione attuali.

Per riassumere quello che è stato il cambiamento dei sistemi di organizzazione nella storia, possiamo individuare quattro macro periodi chiave: antichità, Medioevo, Rinascimento, età moderna.

2.1.1 Sistemi di ordine nell'antichità

Nell'antichità, i sistemi di ordine erano basati sull'utilizzo di simboli, geroglifici e caratteri scritti a mano per registrare informazioni. [67]

2.1.1.1 I Sumeri

I primi esempi provengono dalla scrittura cuneiforme inventata dai Sumeri nella seconda metà del IV millennio a.C. per far fronte ad una crescente complessità amministrativa dovuta dalla formazione di nuove società di agricoltori che richiesero, come conseguenza, lo sviluppo di un sistema efficace di organizzazione: questa proto-scrittura era composta infatti da segni di natura commerciale per rappresentare le merci riportati su delle tavolette di argilla.

La scrittura dei Sumeri attraversò quattro diverse fasi: nella sua prima fase (3400-3200 a.C.) la scrittura è pittografica e utilizzava i disegni per riprodurre esattamente l'oggetto di riferimento. Nella seconda fase (2800 a.C.) i pittogrammi venivano utilizzati anche per rappresentare concetti affini all'immagine rappresentata,

prendendo il nome di ideogrammi. Nella fase finale (2700-2600 a.C.) i pittogrammi venivano usati sia per rappresentare un oggetto, sia per rappresentare un suono ad esso associato, diventando quindi fonogrammi. Nel tempo questi segni si sono evoluti diventando più stilizzati ed astratti e rappresentano quello che gli studiosi oggi definiscono come cunei. In quest'ultima fase, quindi, i cunei permisero di rendere la scrittura più pratica e veloce ma al tempo stesso più complessa da comprendere: questa nuova tipologia di scrittura, infatti, aveva 2000 segni a disposizione per definire concetti anche molto astratti.

				résu, testa
				qātu, mano
				sinutu rondinella
				ésu, orzo
				ilu, dio (raffig- urato da un astro)
				šálu, fuoco
				amélu, uomo
				inu, occhio
				aláku, andare (contrassegnato da un piede)
				izzu, furioso (testa di belva)
				šábu, maiale

Figura 2.1
Schema evolutivo della
scrittura cuneiforme

2.1.1.2 Gli antichi Egizi

I geroglifici si svilupparono intorno al 3200 a.C. e, a differenza della scrittura dei Sumeri, questi sembrano non aver avuto una fase iniziale di proto-scrittura. Utilizzati per oltre 3000 anni fino all'epoca tolemaica, i geroglifici egizi possedevano una valenza sacra ed erano quindi riservati alle iscrizioni monumentarie e alla scrittura di testi religiosi. Essi sono composti da 750 segni suddivisi in: pittogrammi; determinativi, ovvero segni che non venivano pronunciati ma servivano per indicare l'ambito di riferimento della parola; segni fonetici ai quali era associato un valore consonantico.



Figura 2.2
Geroglifici egizi

2.1.1.3 Fenici e Greci: la nascita dell'alfabeto

L'innovazione più significativa nello sviluppo della scrittura è stata l'invenzione dell'alfabeto, che trova una sua prima collocazione nella seconda metà del primo millennio a.C. nelle città fenicie. Privato da ogni significato pittografico e ideografico, questo rivoluzionario alfabeto era in grado di rappresentare ogni consonante del parlato con un simbolo e non includeva le vocali.



Figura 2.3
Alfabeto fenicio

Per far fronte a questa mancanza, attorno all'IX secolo l'alfabeto fenicio venne acquisito dai Greci che lo integrarono alla propria tradizione di scrittura introducendo segni per rappresentare le vocali e dando così origine al sistema di comunicazione utilizzato ancora oggi.

2.1.2 Medioevo

Nel Medioevo i sistemi di ordine erano principalmente basati sulla scrittura a mano su pergamena da parte di monaci copisti, unici responsabili e conservatori della conoscenza e della cultura. I sistemi di scrittura adottati per la stesura di questi manoscritti erano il gotico, il più diffuso e utilizzato per la stesura di testi religiosi e liturgici e il minuscolo, meno elaborato e decorativo utilizzato invece per la stesura di testi quotidiani come lettere e documenti amministrativi. [68] Al fine di conservare, catalogare e diffondere al meglio questi manoscritti, i monaci del Medioevo svilupparono diverse metodologie di classificazione di testi e fonti. Nel "De proprietatibus rerum", Bartolomeo Anglico illustra un sistema di classificazione dei testi basato su una gerarchia di discipline e di fonti. Egli ritiene che la fonte più autorevole sia la Scrittura, poiché contiene la rivelazione divina, seguita dalla tradizione che si basa sulla trasmissione orale e scritta dei vari insegnamenti e infine dalla ragione, considerata la fonte meno attendibile poiché influenzata dall'imprevedibilità dell'intelletto umano. [9]

Un altro sistema di ordine ampiamente diffuso era quello del Trivio e Quadrivio, concetto su cui si basa Isidoro di Siviglia in "De ordine rerum". Inserito all'interno

dell'ambito dell'educazione, questa metodologia prevedeva la classificazione dell'intera conoscenza in base alle sette arti liberali: grammatica, retorica, dialettica (Trivio) e aritmetica, geometria, musica e astronomia (Quadrivio). Lo scopo era quello di facilitare l'apprendimento e la comprensione di queste materie. Inoltre, Isidoro riteneva essenziale la comprensione del trivio e del quadrivio al fine di formare una mente completa e ben istruita. [69]

In generale, nel Medioevo i sistemi di ordine e classificazione si basavano sui manoscritti redatti dai monaci, che per scopi di organizzazione e comprensione venivano raggruppati in base a categorie concettuali o alla gerarchia delle fonti utilizzate.

2.1.3 Rinascimento

La nascita della stampa a caratteri mobili in Europa ad opera del tipografo tedesco Johannes Gutenberg sancì un profondo cambiamento nei sistemi di ordine rispetto al Medioevo. Come già anticipato, il Medioevo era caratterizzato da una produzione libraia ad opera di soli monaci amanuensi di professione, che rendeva la diffusione della cultura molto lenta e soprattutto elitaria. Verso la metà del XV secolo, con l'avvento della stampa a caratteri mobili, cominciò una graduale diffusione di libri stampati che raggiunse il suo culmine nel momento in cui si iniziò a riprendere in considerazione la rilettura della tradizione letteraria antica. L'aumento della produzione di libri stampati comportò l'esigenza di gestire e conservare tali risorse. Ciò portò alla nascita di grandi biblioteche e allo sviluppo di metodi di classificazione e catalogazione più sofisticati al fine di agevolare la navigazione e la consultazione delle collezioni. Per esempio, uno dei primi esempi risale alla Biblioteca Medicea Laurenziana di Firenze in cui i libri venivano catalogati in base al formato e alla lingua, alla Biblioteca San Lorenzo a Firenze dove utilizzavano un sistema di classificazione per formato (libri in folio, in quarto e così via) e, più avanti, a sistemi più complessi come quelli utilizzati nella Biblioteca Palatina di Parma che combinava elementi di classificazione per materie e per autore. [70] Il Rinascimento quindi era caratterizzato da un ordinamento per lo più alfabetico e sulla classificazione per materia: soltanto con il passare degli anni i sistemi di ordine e catalogazione divennero più sofisticati e complessi per far fronte alle nuove tecnologie emergenti.

2.1.4 Età moderna

A partire dagli anni '80, la rivoluzione digitale acquisì un ruolo centrale nella vita sociale ed economica di tutto il mondo, sancendo un importante cambiamento a livello di sistemi organizzativi.

Furono tre gli elementi principali che costituirono questa rivoluzione:

- La figura del **computer**, ovvero una potente macchina di calcolo che unisce al codice combinatorio tecnologie ad alta capacità evolutiva (CPU e semiconduttori) con una prospettiva di continua crescita delle prestazioni tecnologiche negli anni.
- Lo sviluppo di nuove capacità di **trasferimento ed elaborazione di dati** per una maggiore flessibilità delle prestazioni.
- La nascita di **nuovi programmi** che sfruttano la potenza di calcolo per l'elaborazione di dati.

La coesistenza di questi tre elementi ha reso possibile la digitalizzazione dei dati, portando allo sviluppo di nuovi sistemi di ordine più sofisticati e completi come, ad esempio, i server. L'avvento dell'informatica e quindi della digitalizzazione ha permesso di sostituire i sistemi di ordine tradizionali basati su supporti fisici (come carta e schedari) con sistemi di ordine basati su sistemi digitali: i vantaggi di questo cambiamento sono molteplici e si possono brevemente ricondurre ad una maggiore flessibilità, una maggiore capacità di archiviazione, una maggiore protezione e sicurezza dei dati e un accesso più rapido e semplice ai dati. Inoltre, con la nascita di Internet, del cloud computing e dell'intelligenza artificiale le tecniche di ordine si sono ulteriormente evolute offrendo la possibilità di accedere ad un'enorme quantità di dati in modo rapido, di archiviare e gestire i dati in modo che siano accessibili ovunque e non siano legati ad un luogo fisico ed infine di classificare in modo automatico grandi quantità di dati. [10]

2.2 Tipologie di sistemi di ordine

Come anticipato, l'obiettivo principale dei sistemi di ordine esistenti è quello di rendere facilmente accessibili informazioni, materiali e risorse tramite una loro organizzazione sistematica. A tal proposito, lungo il corso della storia si sono sviluppati diversi metodi di ordine che si differenziano per semplicità, campo di applicazione, tecnologie utilizzate e finalità.

I sistemi di ordine più concreti al giorno d'oggi riguardano i sistemi di catalogazione e di archiviazione, affiancati da altri sistemi di classificazione applicabili a casi più generali.

2.2.1 Sistemi di catalogazione

La catalogazione è uno strumento che ha lo scopo di raccogliere informazioni presenti in una collezione (come libri, film, documenti, immagini e così via) e ordinarli in elenchi ben strutturati, i cataloghi, secondo criteri rigorosi. Essi possono essere in forma tangibile, come un catalogo a schede, o in forma

elettronica, come un catalogo pubblico di accesso online (OPAC). L'attività di catalogazione può essere suddivisa in catalogazione descrittiva, semantica e analitica: [11]

- **Catalogazione descrittiva:** la catalogazione descrittiva fornisce all'utente una descrizione dettagliata di un documento con informazioni ritrovabili in gran parte all'interno del documento stesso, come titolo, autore, edizione, editore, data di pubblicazione, genere e così via. Lo scopo è quello di facilitare la consultazione e il recupero delle caratteristiche di qualsiasi documento presente in una collezione.
- **Catalogazione semantica:** la catalogazione semantica ha il compito di organizzare diverse informazioni in base al loro significato e la relazione che vi è tra di essi, raggruppandole facilmente in dei gruppi. A partire da appositi indici, si è quindi in grado di risalire a documenti anche senza conoscere alcun titolo.
- **Catalogazione analitica:** la catalogazione analitica (o spoglio) è quell'attività che si occupa del recupero di informazioni significative dai documenti catalogati, ottenendo delle schede apposite per questo tipo di dati specifici.

I sistemi di catalogazione possono essere applicati in svariati ambiti. Tuttavia, il loro contesto di utilizzo principale è quello della biblioteca, luogo in cui i documenti devono essere organizzati al meglio in modo tale da essere facilmente accessibili sia dai bibliotecari sia dagli utenti stressati.

2.2.2 Sistemi di archiviazione

L'archiviazione è un'attività volta a conservare ed organizzare documenti, solitamente a lungo termine, al fine di preservarne la sicurezza e un loro facile reperimento. I sistemi di archiviazione sono presenti quindi in tutti quegli ambiti che necessitano di una gestione notevole di documenti, come possono essere enti governativi, imprese, istituti di ricerca, biblioteche o musei. Se il concetto di archiviazione risulta chiaro ed univoco, quello di archivio possiede un duplice significato: esso riguarda sia il luogo in cui vengono conservati i documenti sia l'insieme dei documenti da conservare. Per una corretta gestione documentale, è essenziale adottare un criterio di archiviazione efficiente che permetta di organizzare in modo ordinato i dati e di recuperarli facilmente al momento del bisogno.

I documenti possono essere archiviati secondo diverse metodologie: [12]

- **Ordine cronologico:** secondo tale criterio i documenti vengono archiviati in ordine cronologico seguendo la data che ha più valore per l'attività che

ospita l'archivio (generalmente la data di ricezione). Il più grande limite di questo sistema riguarda l'eccessiva rigidità di archiviazione che richiede: una ricerca secondo ordine cronologico risulta tanto più semplice quanto più si conosca con precisione la data del documento che si sta ricercando.

- **Ordine alfabetico:** secondo tale criterio i documenti vengono archiviati in base all'ordine alfabetico dei titoli o dei nomi. Sicuramente questo criterio risulta essere molto diffuso in applicazioni pratiche come in studi professionali o nella vita quotidiana, in cui i documenti da archiviare sono strettamente correlati a nominativi. Tuttavia, questo sistema mostra la sua debolezza nei casi generali come enti amministrativi e bancari.
- **Ordine per categorie, materie o argomenti:** secondo tale criterio i documenti sono classificati per argomento o tipologia per poi essere archiviati in ordine cronologico o alfabetico all'interno della stessa categoria. La strutturazione propria di questo criterio ha permesso una sua ampia diffusione all'interno di piccole/medie aziende, ma se da un lato si va a creare una struttura di sotto archivi più facili da gestire, dall'altro si favorisce la dispersione dei documenti in quanto non si va più a considerare l'ordine con cui essi sono stati ricevuti.
- **Ordine per codifica:** secondo tale criterio a ciascun documento viene assegnato un codice univoco numerico o alfanumerico per poi utilizzare quest'ultimo come strumento di ricerca all'interno dell'archivio.

Quanto appena spiegato può essere applicato sia ad un sistema di archiviazione tradizionale, sia ad un sistema di archiviazione digitale. La differenza principale tra le due forme di archiviazione sta nella tipologia di supporto su cui sono organizzati i documenti: nel sistema tradizionale i documenti vengono conservati su supporti fisici come carta o nastri magnetici, mentre nel sistema digitale su supporti digitali come dischi rigidi, server o cloud. Entrambi possiedono i loro vantaggi e svantaggi e l'adozione di un sistema tradizionale o digitale dipende da fattori come l'informatizzazione dell'attività che ospita l'archivio, dai suoi spazi o dalle risorse economiche disponibili che può investire per l'archiviazione.

2.2.3 Altri sistemi di ordine

Più in generale, i sistemi di ordine possono essere applicabili ad ogni aspetto della vita quotidiana quale modalità per organizzare efficientemente informazioni, oggetti, luoghi, attività e così via.

Qui di seguito vengono riportati alcuni esempi di sistemi di ordine calati nella realtà di tutti i giorni:

- **Ordine alfabetico:** largamente diffuso e utilizzato per ordinare libri, contatti telefonici nella rubrica, o file sul computer.
- **Ordine cronologico:** utilizzato per organizzare la casella elettronica, per tenere traccia delle proprie attività giornaliere, per registrare le spese effettuate o per creare album fotografici in cui i ricordi vengono disposti in base alla data di avvenimento/creazione.
- **Ordine per categoria o argomento:** utilizzato per ordinare oggetti o informazioni in categorie affini, come ad esempio i capi all'interno di un armadio, gli oggetti all'interno di una dispensa, i documenti sul proprio computer o gli attrezzi da lavoro in garage.
- **Ordine per priorità:** utilizzato per ordinare attività o organizzare oggetti in base alla loro importanza/urgenza come nel caso delle to-do list in cui le attività più urgenti da svolgere sono collocate in cima alla lista, nell'organizzazione della spesa dove i prodotti più essenziali o che si esauriscono prima vengono acquistati per primi, nelle scadenze di pagamento o nelle attività da svolgere in un progetto, dove quelle che hanno un maggior impatto vengono realizzate per prime.
- **Ordine per colore, materiale, dimensione:** utilizzato per ordinare vestiti, prodotti, giochi e così via.
- **Ordine geografico:** utilizzato per organizzare luoghi in base alla loro posizione geografica.
- **Ordine per processi di lavoro:** utilizzato per suddividere le attività da svolgere al fine del corretto completamento di un progetto aziendale.

2.3 Conclusioni

L'organizzazione e la gestione di informazioni e oggetti sono sempre stati una priorità fondamentale per l'essere umano che, fin dal 4000 a.C. con la cultura sumera, cercava nuovi metodi per affrontare la crescente civilizzazione. Sin da subito, la scrittura tramite simboli ebbe un grande successo fra le civiltà quale tecnica innovativa per far fronte a questa nuova complessità. Ben presto, tuttavia, emersero i limiti di queste metodologie che facevano per lo più riferimento a sistemi di organizzazione elitari e poco comprensibili dall'intero popolo. Fu proprio la scoperta dell'alfabeto da parte dei Fenici a sancire un primo sistema di ordine nella storia dell'uomo, dal carattere universale e facilmente adattabile a tutti concetti possibili immaginabili. Grazie all'alfabeto e più in generale alla scrittura fu possibile una più efficiente veicolazione della cultura

che, attraverso la diffusione della stampa a caratteri mobili, raggiunse il culmine della sua diffusione. Da qui si ebbe la necessità di ricercare nuovi metodi per l'organizzazione dell'intero sapere: nacque la cultura della biblioteconomia e dell'archivistica basata sull'ordine dei dati su dei supporti fisici (come per esempio i cataloghi) che ben presto però vennero sostituiti da supporti digitali con la nascita dei primi computer e di internet. Oggigiorno esistono diversi sistemi di ordine, digitali o fisici, che differiscono per modalità di organizzazione, scopo e contesto in cui vengono applicati. In generale, queste tecniche si sono evolute nel corso dei secoli sfruttando le tecnologie disponibili e le esigenze della società e la scelta di adottare un sistema di ordine piuttosto che un altro dipende dai bisogni specifici dell'utente.

Sistemi di ordine	Funzionamento
Catalogazione	Raccogliere informazioni presenti in una collezione e ordinarli in elenchi ben strutturati secondo criteri rigorosi.
Archiviazione	Gestire e conservare numerosi documenti per un periodo prolungato al fine di preservarne la sicurezza e un loro facile reperimento.
Ordine alfabetico	Ordinare oggetti come libri, contatti telefonici o file sul computer in base all'iniziale del loro nome.
Ordine cronologico	Organizzare la casella elettronica, le attività da svolgere nella giornata o per creare album fotografici seguendo una linea temporale precisa.
Ordine per argomento	Ordinare oggetti, dati ed informazioni in base a categorie affini.
Ordine per priorità	Ordinare attività o organizzare oggetti in base alla loro importanza/urgenza.

Capitolo 3

I sistemi complessi

Dentro la complessità del reale

«When I hear the word “complexity”, I don’t exactly reach for my hammer, but I suspect my eyes narrow. It has the dangerous allure of an incantation, threatening to acquire the same blithe explanatory role that “adaptation” once did in biology.» (Ball, 2004)

La complessità è un concetto tanto affascinante quanto misterioso che permea ogni aspetto del nostro mondo moderno. Philip Ball, scrittore e divulgatore scientifico, afferma nei suoi studi che non esiste una definizione univoca e universalmente accettata di complessità o di sistemi complessi e che l'uso improprio e l'abuso di tale termine abbia generato un clima di incomprensione e di allarme riguardo la sua vera natura. La complessità è parte inevitabile del mondo che ci circonda e, in quanto tale, dobbiamo imparare ad accettarla e gestirla. Solamente questo comportamento ci spinge ad accettare la complessità come una risorsa anziché un ostacolo.

3.1 Definizioni

Per definire al meglio il concetto di complessità, potrebbe essere opportuno iniziare a riflettere sul significato del termine a partire dalla sua etimologia. Il termine “complessità” deriva dal latino “complexus”, participio passato del verbo “complecti”, con il significato di “avvolgere” e “abbracciare”, che nel tardo latino si costruisce su “plectere”, ovvero “intrecciare” (Castiglioni, Mariotti, 1966). L'immagine dell'abbraccio suggerisce l'idea che un'entità complessa sia costituita da almeno due componenti, così intimamente legati tra di loro che non possono essere separate senza alterare la struttura complessiva dell'oggetto. Definire univocamente la complessità è un'operazione non del tutto banale: esistono, tuttavia, cinque proprietà che consentono di comprendere e sciogliere l'intreccio di questo termine così complesso anche nei suoi molteplici significati.

[13]

— **Interazione:** I sistemi complessi sono sistemi dinamici costituiti da una moltitudine di componenti che tipicamente interagiscono fra di loro e l'ambiente circostante. Queste interazioni hanno come effetto la nascita di nuove informazioni che non possono essere spiegate dalle proprietà dei singoli componenti del sistema, ma solo attraverso l'analisi delle relazioni tra di essi. La vera sfida risulta quindi comprendere le connessioni tra le parti e capire come queste generano l'intero sistema. Un esempio di sistema complesso è il cervello umano, costituito da miliardi di neuroni interconnessi che rendono sfidante la comprensione del funzionamento globale della mente umana.

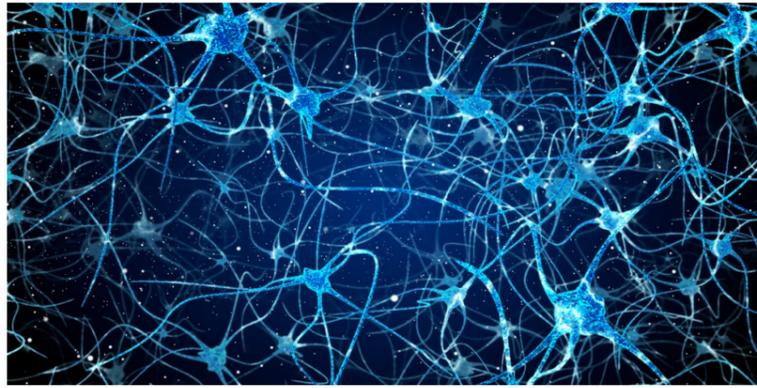


Figura 3.1
Miliardi di neuroni che interagiscono con il cervello umano

— **Comportamento emergente:** “il tutto è più della somma delle sue parti”. In poche semplici parole, questo proverbio riassume una delle caratteristiche fondamentali che appartengono ai sistemi complessi e stabilisce una differenza significativa rispetto ai sistemi semplici. Se in questi ultimi le proprietà macroscopiche del sistema derivano dalla somma delle proprietà microscopiche delle parti, nei sistemi complessi ciò non è possibile a causa del fenomeno noto come “emergenza”: le interazioni tra i componenti generano, infatti, informazioni e comportamenti collettivi delle parti non del tutto banali a scale più grandi.

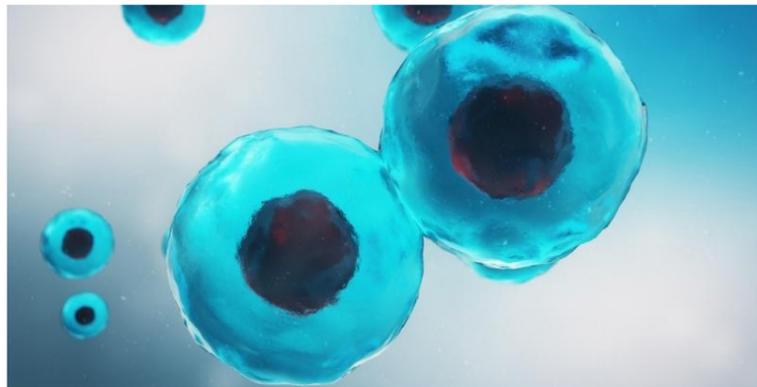


Figura 3.2
Cellule che formano un organismo vivente

— **Dinamica:** I sistemi complessi possono essere esaminati anche dal punto di vista del cambiamento del loro stato nel corso del tempo. In generale, siamo in grado di stabilire che i sistemi complessi tendono a cambiare il loro stato in modo dinamico, manifestando comportamenti che sono imprevedibili a lungo termine. Uno stato è descritto infatti da delle variabili che cambiano nel tempo a seconda che il sistema passi da uno stato ad un altro e la velocità con cui questo cambiamento accade non è affatto lineare: ciò significa che piccole variazioni degli stati possono portare ad una piccola perturbazione del sistema o cambiare completamente il suo comportamento.



Figura 3.3
Tempo che cambia in modo imprevedibile

— **Comportamento collettivo:** Le interazioni tra le varie parti di un sistema complesso possono spesso portare ad una auto-organizzazione dello stesso dove il controllo del sistema non è dato da una singola entità ma, piuttosto, viene distribuito tra le varie componenti che lo costituiscono. Questo fenomeno può generare configurazioni e comportamenti collettivi non banali, dando origine a modelli di interazione nuovi e sofisticati. In tale contesto, l'evoluzione e la maturazione del sistema portano all'emergere di un'organizzazione più strutturata e complessa, con la comparsa di connessioni e relazioni che possono sfuggire ad una semplice analisi lineare.



Figura 3.4
Schemi di disposizione degli stormi di storni

— **Adattamento:** I sistemi complessi si distinguono per la loro innata natura di sistemi attivi. Ciò significa che essi tendono a reagire proattivamente ai mutevoli cambiamenti dell'ambiente in cui vengono inseriti, adattandosi in modo dinamico e responsivo. Tale adattamento può manifestarsi in svariate modalità, ciascuna delle quali contribuisce al mantenimento o alla crescita della complessità innata del sistema. Per esempio, può accadere attraverso l'apprendimento, la condivisione di informazioni all'interno di un contesto sociale o mediante la variazione genetica e la selezione naturale.



Figura 3.5
Vita terrestre sopravvissuta
a numerosi eventi critici in
miliardi di anni

Un sistema si definisce complesso qualora sia costituito da più parti distinte e strettamente connesse tra di loro e per la cui spiegazione è necessario individuare le diverse connessioni tra le componenti che lo costituiscono, spesso soggette a cambiamenti dinamici nel tempo. In aggiunta al loro dinamismo, la tendenza dei sistemi complessi ad auto-organizzarsi per adattarsi ai cambiamenti nell'ambiente in cui sono inseriti rende particolarmente difficile l'analisi delle singole parti del complexus senza distruggerne l'integrità. Questo, tuttavia, non deve rappresentare un ostacolo per chi desidera comprendere la complessità: nonostante le difficoltà, infatti, è sempre possibile scorgere una struttura di ordine sottostante.

3.2 Dentro la complessità del reale

Al giorno d'oggi la parola d'ordine è complessità. Essa, infatti, sembrerebbe essere presente dappertutto: basti pensare a tutte quelle volte che ci siamo soffermati fin troppo tempo davanti ad un telecomando pieno di pulsanti nel tentativo di cercare quello che corrisponde ad una funzionalità banale. Oppure, le ore passate a sfogliare un lungo manuale d'istruzioni pieno di informazioni irrilevanti alla ricerca di quelle poche righe davvero interessanti per il nostro scopo. La complessità è quindi parte integrante e fondamentale del mondo che ci circonda e, nonostante gli sforzi per ridurla, è necessario non lasciarci intimorire e arrivare a comprendere i suoi principi per essere in grado di gestirla.

3.2.1 Complesso e complicato

Una prima importante distinzione da tenere a mente è quella tra complesso e complicato. Sebbene a prima vista possano sembrare sinonimi, questi due termini nascondono due significati profondamente diversi da non confondere. Donald Norman afferma che complesso descrive lo stato del mondo, mentre complicato lo stato psicologico di una persona nel tentativo di capire e interagire

con qualcosa nel mondo. La causa principale dell'esistenza di sistemi complicati è quindi da ricondursi ad una cattiva progettazione, non alla complessità: questa, quando è inevitabile e rispecchia la complessità del mondo, è comprensibile e sta a noi impegnarci per impararla. [14] Un'altra definizione è quella proposta da Hervé Serieux attraverso il seguente esempio: egli afferma che un Boeing 747 è complicato, mentre un piatto di spaghetti è complesso. Per costruire un aereo sono necessarie migliaia di parti il cui assemblaggio richiede una certa abilità e diverse competenze. Tutto il processo, però, risulta analizzabile e scomponibile e si è sempre in grado di riprodurre esattamente lo stesso processo affinché l'aereo voli. Al contrario, un piatto di spaghetti è complesso. Quando si affonda la forchetta nel piatto, è molto difficile prevedere quanta pasta si raccoglie e che forma avrà quella rimasta nel piatto. Inoltre, per quanto ci si possa allenare ad eseguire la stessa rotazione del polso, sarà praticamente impossibile ottenere lo stesso risultato in termini di forma e quantità. Il mondo del complicato risulta quindi prevedibile, gestibile e controllabile, mentre quello del complesso è debolmente prevedibile, mai completamente controllabile e, soprattutto, irripetibile. [15] La sfida è duplice: da un lato è necessario esplorare i principi della complessità e arrivare a gestirla per far emergere gli aspetti più semplici, dall'altro lato combattere ogni inutile e superflua complicazione.

3.2.2 Complessità e semplicità

Semplicità non è il contrario di complessità, piuttosto sono due elementi strettamente collegati tra di loro. Senza la complessità, infatti, non esisterebbe la semplicità e viceversa, in quanto entrambi sono necessari per creare equilibrio nella realtà che ci circonda. Nonostante le persone richiedano a gran voce semplicità, a volte, inconsapevolmente, si ritrovano a cercare la complessità anche quando non è necessaria. Questo è dovuto al fatto che un certo grado di complessità è gradevole: se le cose sono troppo semplici appaiono infatti noiose e prive di interesse. Il designer statunitense John Maeda si unisce alla ricerca della semplicità esponendo dieci principi generali ai quali potremmo affidarci per rendere semplice quello che a prima vista può apparire complesso. La complessità viene quindi esplorata non come un problema, ma piuttosto come un'opportunità da sfruttare: soltanto guardando alla complessità da un punto di vista diverso è possibile abbracciare la sua natura caotica ed imprevedibile e trovare modi creativi per lavorare con essa invece di cercare di evitarla o semplificarla troppo. [16] Non sempre una semplificazione eccessiva della complessità rappresenta il modo migliore per gestirla. Questa posizione contrasta con la filosofia del francescano Guglielmo di Ockham, noto per la sua massima «entia non sunt multiplicanda praeter necessitatem» (non si devono

moltiplicare le entità oltre il necessario), che suggeriva di tagliare con il rasoio la complessità, ovvero scegliere la spiegazione più semplice possibile e di analizzare e progettare nel modo più semplice possibile. Il biochimico Malcolm Dixon si schierò contro questa ideologia affermando che «Dio non sempre si rade con il rasoio di Ockham», andando a sottolineare che non sempre si è in grado di ridurre in modo così netto la complessità e che le soluzioni più efficaci derivano dall'analisi e comprensione della complessità stessa. La complessità può rappresentare una minaccia per il valore e sovraccaricare la realtà, ma al contempo crea ricchezza e varietà. D'altra parte, la semplicità trasmette serenità e rapidità, ma se portata all'eccesso può condurre alla banalità. [15] In un mondo in cui la complessità sembra essere inevitabile, la vera sfida consiste nel trovare un modo per comprendere e gestire la sua ricchezza e semplificarla il giusto senza perdere la sua vera essenza.

3.3 Conclusioni

Come suggerisce la sua etimologia, un sistema complesso è caratterizzato da componenti strettamente intrecciate e interconnesse tra di loro, dalla difficile comprensione e gestione. Sebbene semplificare la complessità possa apparire come l'approccio più intuitivo e veloce, complessità e semplicità sono in realtà due concetti complementari. Per chiarire questo dualismo, Italo Calvino, in "Le città invisibili", illustra come semplicità e complessità siano la faccia della stessa medaglia attraverso la scacchiera del Gran Kan. [17]

«Tornando dalla sua ultima missione Marco Polo trovò il Kan che lo attendeva seduto davanti a una scacchiera. Con un gesto lo invitò a sedersi di fronte a lui e a descrivergli col solo aiuto degli scacchi le città che aveva visitato.

Il veneziano non si perse d'animo. Gli scacchi del Gran Kan erano grandi pezzi d'avorio levigato: disponendo sulla scacchiera torri incombenti e cavalli ombrosi, addensando sciami di pedine, tracciando viali dritti o obliqui come l'incedere della regina, Marco ricreava le prospettive e gli spazi di città bianche e nere nelle notti di luna.

Al contemplarne questi paesaggi essenziali, Kublai rifletteva sull'ordine invisibile che regge le città, sulle regole cui risponde il loro sorgere e prender forma e prosperare e adattarsi alle stagioni e intristire e cadere in rovina. Alle volte gli sembrava d'essere sul punto di scoprire un sistema coerente e armonioso che sottostava alle infinite difformità e disarmonie, ma nessun

modello reggeva il confronto con quello del gioco degli scacchi. Forse, anziché scervellarsi a evocare col magro ausilio dei pezzi d'avorio visioni comunque destinate all'oblio, bastava giocare una partita secondo le regole, e contemplare ogni successivo stato della scacchiera come una delle innumerevoli forme che il sistema delle forme mette insieme e distrugge. Ormai Kublai Kan non aveva più bisogno di mandare Marco Polo in spedizioni lontane: lo tratteneva a giocare interminabili partite a scacchi. La conoscenza dell'impero era nascosta nel disegno tracciato dai salti spigolosi del cavallo, dai varchi diagonali che s'aprono alle incursioni dell'alfiere, dal passo strascicato e guardingo del re e dell'umile pedone, dalle alternative inesorabili d'ogni partita.

Il Gran Kan cercava d'immedesimarsi nel gioco: ma adesso era il perché del gioco a sfuggirgli. Il fine d'ogni partita è una vincita o una perdita: ma di cosa? Qual era la vera posta? Allo scacco matto, sotto il piede del re sbalzato via dalla mano del vincitore, resta un quadrato nero o bianco. A forza di scorporare le sue conquiste per ridurle all'essenza, Kublai era arrivato all'operazione estrema: la conquista definitiva, di cui i multiformi tesori dell'impero non erano che involucri illusori, si riduceva a un tassello di legno piallato: il nulla...

Allora Marco Polo parlò: La tua scacchiera, sire, è un intarsio di due legni: ebano e acero. Il tassello sul quale si fissa il tuo sguardo illuminato fu tagliato in uno strato del tronco che crebbe in un anno di siccità: vedi come si dispongono le fibre? Qui si scorge un nodo appena accennato: una gemma tentò di spuntare in un giorno di primavera precoce, ma la brina della notte l'obbligò a desistere. [...]

Ecco un poro più grosso: forse è stato il nido d'una larva; non d'un tarlo, perché appena nato avrebbe continuato a scavare, ma d'un bruco che rosicchiò le foglie e fu la causa per cui l'albero fu scelto per essere abbattuto... Questo margine fu inciso dall'ebanista con la sgorbia perché aderisse al quadrato vicino, più sporgente... La quantità di cose che si potevano leggere in un pezzetto di legno liscio e vuoto sommergeva Kublai; già Polo era venuto a parlare dei boschi d'ebano, delle zattere di tronchi che discendono i fiumi, degli approdi, delle donne alle finestre...» (Calvino, 2004).

Durante il dialogo tra Kublai e Marco Polo emergono due diversi approcci che meritano di essere presi in considerazione. Per primo, Kublai rimane smarrito dal gioco e non riesce a cogliere l'essenza complessa e variegata della scacchiera che ha davanti a se, limitando la sua descrizione a tasselli bianchi o neri privi di alcun significato. Al contrario, Marco Polo arricchisce la semplicità di un tassello di legno attraverso molteplici descrizioni che introducono varietà e complessità. Per concludere, il messaggio che vuole trasmettere questo capitolo è la volontà di ricercare un approccio complementare alla complessità, semplificando dove necessario e valorizzando il vario e il mutevole.

Capitolo 4

Extended Reality

Tecnologie e differenze

4.1 Cosa si intende per Extended Reality

Con Realtà Estesa (o XR, dall'inglese eXtended Reality), si fa riferimento ad un termine generico che combina le esperienze di Realtà Virtuale (VR), Realtà Aumentata (AR) e Realtà Mista (MR) al fine di creare esperienze immersive e coinvolgenti in cui gli utenti sono in grado di interagire con un mondo virtuale o virtualmente aumentato. La X nell'acronimo di Extended Reality non significa solo "esteso", ma può essere interpretata come una variabile che rappresenta tutte quelle tecnologie future che saranno incorporate sotto questo termine ombrello. [18]

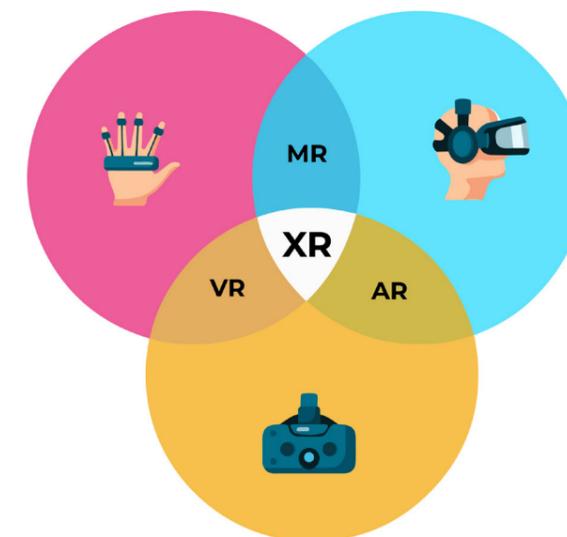


Figura 4.1
Rappresentazione delle
tecnologie della realtà
estesa

Inizialmente considerate come tecnologie di nicchia, negli ultimi anni i sistemi di realtà aumentata, realtà virtuale e realtà mista hanno sperimentato una crescente adozione in numerose industrie e settori. Questa tendenza è sostenuta da numerosi fattori, tra cui la creazione di piattaforme XR più performanti, un aumento generale di conoscenza ed esperienza e una maggiore competenza nello sviluppo di queste tecnologie e nell'affrontare le sfide tecniche associate. La pandemia di COVID-19 ha inoltre accelerato il processo di adozione di queste tecnologie, suscitando un aumento generale della fiducia delle persone nel progresso tecnologico. [71] Ciò ha permesso una maggiore comprensione dell'importanza di queste tecnologie e, di conseguenza, una loro più rapida diffusione. Uno studio di Jabil Circuit Inc. ha dimostrato come la realtà estesa abbia un forte impatto sia sui consumatori che sulle aziende, analizzando quelli che sono i settori maggiormente interessati. Guardando la panoramica generale degli ambiti proposti, si può notare come l'area più interessata dalle tecnologie XR lato consumatori sia quella dell'industria creativa del gioco seguita da quella del cinema e della televisione. Spostandosi poi sul lato delle imprese, il grande

potenziale offerto da queste tecnologie ha portato alla loro diffusione in una moltitudine di settori, suscitando un particolare interesse per l'ambito medico e per l'industria manifatturiera. [72]

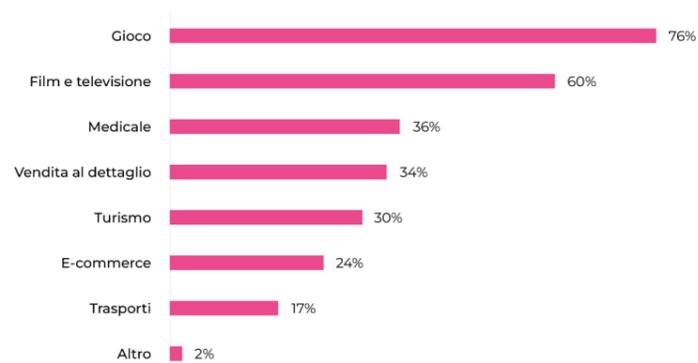


Figura 4.2
Settori maggiormente interessati nelle tecnologie XR lato consumer

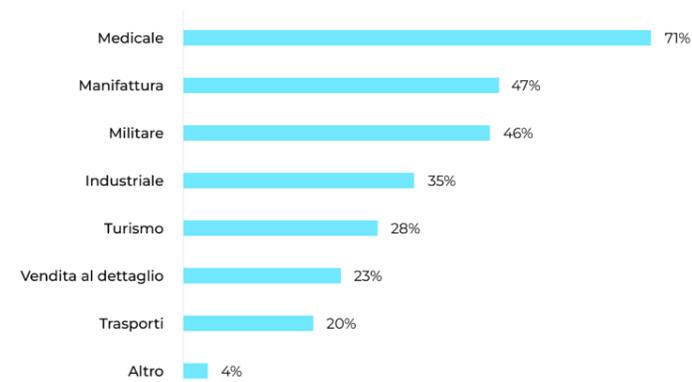


Figura 4.3
Settori maggiormente interessati nelle tecnologie XR lato business

4.2 Continuum Reale-Virtuale

Al fine di comprendere come le tecnologie XR si comportino nella transizione da un ambiente reale a uno virtuale, è importante distinguere le diverse tipologie di tali tecnologie. Il Continuum Reale-Virtuale di Milgram fornisce un approccio utile ad identificare e classificare queste tecnologie basandosi sul loro grado di immersione nell'ambiente virtuale. [19]

Rifacendosi al seguente diagramma, all'estrema sinistra si trova l'ambiente reale, ovvero un ambiente interamente costituito da elementi reali che l'utente percepisce attraverso i cinque sensi e con i quali egli è in grado di interagire direttamente. All'estremo opposto si trova invece l'ambiente virtuale, ovvero uno spazio realizzato esclusivamente da soli oggetti virtuali e intangibili, generati attraverso modelli e simulazioni visibili grazie a dispositivi come monitor o visori. La realtà mista è quindi un termine generico che propone una sovrapposizione di realtà virtuale e realtà aumentata, in cui le persone che utilizzano tale tecnologia percepiscono gli oggetti virtuali come se facessero parte del mondo

reale tangibile. Tra realtà e realtà mista vi è la cosiddetta realtà aumentata, dove reale e virtuale coesistono, ma dove la realtà è predominante ed è arricchita da elementi virtuali aggiuntivi. Proseguendo a destra lungo lo spettro, si percepisce un aumento progressivo dei dati virtuali rispetto a quelli reali che mano a mano si ritrovano ad essere sempre meno. Nella virtualità aumentata (AV) vi è una coesistenza di dati reali e virtuali ma, al contrario della realtà aumentata, i dati virtuali sono nettamente maggiori rispetto a quelli reali, che fungono ora da elementi che incrementano un ambiente interamente costruito digitalmente.



Figura 4.4
Continuum Reale-Virtuale di Milgram

4.2.1 Realtà aumentata (AR)

Con Realtà Aumentata si definiscono tutte quelle tecnologie che operano una sovrapposizione in real time di dati digitali generati al computer (oggetti 2D/3D, testo e immagini) al mondo reale che circonda l'utente. [20] In altre parole, la percezione dello spazio fisico viene aumentata con immagini provenienti dallo spazio virtuale, in modo tale che via una coesione tra ambiente reale e virtuale e che l'utente possa muoversi liberamente nella scena e interagire con essa. Il concetto di sovrapposizione e georeferenziazione degli oggetti virtuali è noto con il nome di "registrazione" [21]: i dati digitali devono infatti essere registrati nello spazio (gli oggetti digitali sono allineati con gli oggetti reali) e nel tempo (non devono esserci ritardi) in funzione con ciò che rappresentano nel mondo reale. Nel caso in cui questi requisiti non vengano soddisfatti, l'esperienza di realtà aumentata è destinata a fallire in quanto non conforme con la realtà. Possiamo quindi identificare due attività fondamentali per il corretto funzionamento di un'applicazione di realtà aumentata:

- L'applicazione deve essere in grado di riconoscere il mondo fisico in cui viene utilizzata e comprendere il mondo virtuale che dovrà essere integrato.
- L'applicazione deve essere in grado di sincronizzare il mondo fisico e virtuale in maniera allineata e senza latenze.

La realtà aumentata richiede la presenza di specifici componenti hardware che comprendono un'unità di visualizzazione, diversi sistemi di tracking e infine l'unità di elaborazione. Le loro funzionalità sono state riassunte nella tabella seguente e saranno oggetto di approfondimento nei paragrafi successivi.

Componente	Definizione
Unità di visualizzazione	Display utilizzati per combinare il mondo reale con il mondo virtuale.
Sistemi di tracking	Sensori che monitorano la posizione e l'orientamento dell'utente per una corretta registrazione.
Unità di elaborazione	Diverse tecnologie che permettono un'interazione dell'utente real time e tridimensionale.

4.2.1.1 Unità di visualizzazione

Con unità di visualizzazione si fa riferimento all'insieme di dispositivi (display) mediante i quali l'utente è in grado di visualizzare la scena in realtà aumentata. Esistono diverse tipologie di display per la realtà aumentata che si differenziano in funzione della distanza relativa tra l'osservatore e la scena. [22]

— **Head-Mounted Displays (HMD):** dispositivi che proiettano le immagini sulla retina dell'utente attraverso un sistema di lenti. Come suggerisce il nome, questi display consistono in degli schermi "montati" sulla testa dell'utente al fine di rendere la visualizzazione della scena coerente con il suo punto di vista. Alcuni esempi di HMD sono i celebri Google Glass, ovvero degli occhiali dotati di una particolare fotocamera e un display sopra l'occhio destro o i Magic Leap 2.



Figura 4.5
Da sinistra: Google Glass,
Magic Leap 2

— **Hand-held displays:** questi dispositivi utilizzano piccoli sistemi computerizzati con uno schermo che l'utilizzatore può tenere in mano, permettendo quindi l'implementazione della realtà aumentata su dispositivi portatili. Ad oggi esistono tre classi di hand helded display in commercio: smartphones, palmari e tablet. Nonostante i numerosi vantaggi apportati da questi dispositivi (ad esempio il loro utilizzo intuitivo e semplice), essi

sono accompagnati da alcuni svantaggi, tra cui il più importante riguarda la dimensione limitata dello schermo per la visualizzazione della scena.



Figura 4.6
Smartphone utilizzato
come Hand-helded display

— **Spatial displays (SAR):** Gli spatial displays per la realtà aumentata consistono in strumenti fisici sui quali vengono proiettati immagini aumentate. I principali svantaggi di questi dispositivi includono la necessità di disporre di superfici reali per proiettare gli oggetti virtuali che molto spesso sono sensibili alle condizioni di illuminazione dell'ambiente in cui sono inseriti.



Figura 4.7
Esempio di Spatial
display in un negozio
d'abbigliamento

Nell'ambito dei sistemi indossabili, possiamo individuare tre tecniche di visualizzazione aumentata del mondo reale: [23] [24]

— **Optical see-through (OST):** questa tecnica prevede l'impiego di lenti semitrasparenti che svolgono due principali funzioni: da un lato, esse permettono il passaggio della luce proveniente dall'ambiente circostante, consentendo all'utente di visualizzare gli oggetti reali, mentre, dall'altro lato, riflettono la luce proveniente da un micro display, creando la possibilità di proiettare oggetti virtuali all'interno della scena reale. Questa sinergia tra elementi reali e virtuali genera un effetto visivo di grande realismo, in cui gli oggetti digitali sembrano coesistere fisicamente nell'ambiente circostante, offrendo all'utente un'esperienza visiva altamente immersiva e naturale. Nonostante gli evidenti vantaggi di questo approccio, esso presenta alcune importanti limitazioni. Prima fra tutte è rappresentata dalla difficoltà di effettuare una corretta registrazione degli oggetti virtuali nella realtà: l'assenza di tale allineamento potrebbe portare ad una discrepanza

tra la scena reale e quella virtuale, compromettendo l'effetto di realismo desiderato. Inoltre, l'utilizzo di dispositivi OST risulta problematico in ambienti con elevata luminosità a causa della capacità limitata delle lenti di bloccare la luce esterna.



Figura 4.8
Schema funzionamento
Optical See-Through

- **Video see-through (VST):** rappresenta una tecnica di visualizzazione che sfrutta la presenza di camere montate esternamente al visore per catturare l'immagine dell'ambiente fisico circostante, per poi restituire al display l'immagine della scena combinata con gli oggetti virtuali. Così facendo, l'utente non osserva più direttamente il mondo reale con i propri occhi, ma bensì attraverso le immagini proiettate dalle camere esterne. Questo meccanismo offre una prospettiva unica di visualizzazione, ma al tempo stesso introduce alcune criticità. Poiché la realtà deve essere interamente ricostruita, l'utilizzo del VST richiede una grande quantità di elaborazione in tempo reale che può portare a ritardi nell'acquisizione, elaborazione e trasmissione delle immagini, rendendo l'interazione tra l'utente e il mondo reale poco naturale.

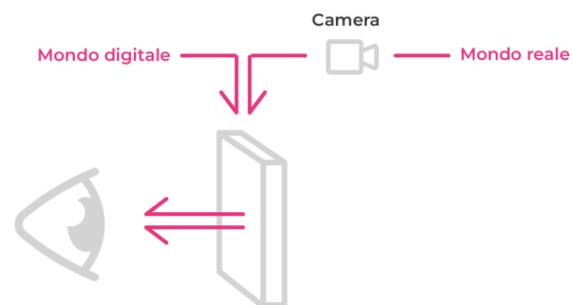


Figura 4.9
Schema funzionamento
Video See-Through

- **Projective:** questa tecnica si basa sulla proiezione di informazioni virtuali direttamente sulla superficie degli oggetti fisici coinvolti. Uno dei punti di forza di questa tecnologia è la sua capacità di generare un'esperienza di realtà aumentata altamente immersiva e coinvolgente, grazie alla riproduzione di immagini di alta qualità su ampie superfici. Tuttavia è importante riconoscere anche una grande limitazione di questa tecnologia, che consiste nella necessità di disporre di una superficie adeguata su cui

proiettare le immagini e nella possibile compromissione delle stesse in presenza di ambienti poco luminosi o di superfici irregolari o curve.



Figura 4.10
Esempio di funzionamento
tecnologia Projective

4.2.1.2 I sistemi di tracking

Come già anticipato, uno dei requisiti fondamentali per la creazione di un'esperienza di realtà aumentata è la corretta registrazione tra immagini reali e contenuti virtuali. Tuttavia, una delle maggiori difficoltà che si riscontra nell'ambito delle applicazioni di realtà aumentata consiste nel calcolo in real-time del punto di vista dell'utente. [25] Questo obiettivo può essere raggiunto grazie ad un accurato tracciamento dei movimenti dell'utente all'interno dell'ambiente, utilizzando appositi sistemi di Motion Tracking.

I sistemi di Motion Tracking 3D possono essere classificati in base alla tecnologia utilizzata per la misurazione: meccanici, elettromagnetici, acustici, inerziali e ottici. [24] [26]

- **Sistemi meccanici:** sono sistemi che sfruttano sensori e componenti meccanici per misurare i movimenti dell'utente. Ne sono un esempio i giunti posti in corrispondenza delle articolazioni, che consentono il calcolo delle rotazioni e dei movimenti di chi lo indossa. Questi sistemi sono stati utilizzati soprattutto nei primi anni della realtà aumentata, per poi essere sostituiti da sistemi più avanzati a causa della loro scomodità e tendenza all'usura.

- **Sistemi elettromagnetici:** sono sistemi che utilizzano un campo magnetico generato da un emettitore posizionato nell'ambiente per rilevare la posizione e l'orientamento di uno o più ricevitori dotati di sensori magnetici. Il principale vantaggio consiste nella ridotta dimensione dei ricevitori che li rende comodi e poco ingombranti da indossare. Tuttavia, questi tipi di dispositivi sono molto sensibili alle interferenze elettromagnetiche di apparecchi elettronici nelle vicinanze, in grado di deformare il campo elettrico e compromettere quindi la precisione della misura.

- **Sistemi acustici:** sono sistemi che determinano la posizione e il movimento

dell'utente mediante l'utilizzo di onde sonore. Essi sfruttano quindi segnali sonori emessi da un emettitore e raccolti poi da microfoni, i quali determinano la posizione della persona grazie alla misura del tempo impiegato dal suono per compiere l'intero percorso. Sebbene siano dispositivi economici e di facile reperibilità, la loro precisione è sensibile alle condizioni ambientali e alla presenza di possibili interferenze con rumori esterni.

— **Sistemi inerziali:** questi sistemi sfruttano la combinazione tra accelerometri e giroscopi al fine di rilevare il movimento e l'orientamento degli oggetti o delle persone. Nello specifico, gli accelerometri rilevano le accelerazioni lineari, mentre i giroscopi le variazioni di rotazione attorno agli assi e i dati generati vengono poi elaborati da algoritmi di tracciamento inerziale.

— **Sistemi ottici:** sistemi costituiti da sorgenti luminose disposte sull'oggetto da tracciare e da telecamere che ne rilevano l'esatta posizione. Sono sistemi caratterizzati da un'estrema accuratezza, ma anche da una notevole complessità e costo.

I sistemi di tracciamento appena descritti sono basati sulla trasmissione e intercettazione di segnali tra un emettitore e un ricevitore. Con lo sviluppo di nuovi approcci "image-based", si è giunti ad un cambio radicale del concetto di tracking dell'utente, che ora si basa sul riconoscimento di speciali figure, detti marker. In generale, essi fungono da un punto di riferimento che, una volta inquadrati da una camera, restituiscono contenuti di realtà aumentata. Il vantaggio più grande di questa nuova soluzione consiste nel costo irrisorio della stampa dei marker su carta. Tuttavia, un marker possiede dei vincoli ben precisi: esso deve essere quadrato e con delle proporzioni definite, i bordi esterni devono essere delineati e privi di interruzioni e l'immagine interna al marker deve essere asimmetrica al fine di non risultare ambigua per la camera.

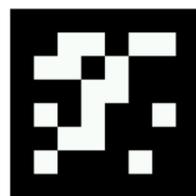


Figura 4.11
Esempio di un marker

Nonostante la semplicità d'utilizzo e il notevole abbattimento dei costi, questa soluzione possiede alcune limitazioni:

- Il tracciamento è possibile solo quando il marker risulta inquadrato dalla camera.
- Il flusso video della camera deve essere privo di rumori che altrimenti

andrebbero ad impattare sul rilevamento dei marker.

- Sono richiesti almeno 30 fps (frame per secondo) per un tracciamento della camera privo di interruzioni.

Alcune di queste limitazioni possono essere superate attraverso un approccio multimarker, che prevede l'utilizzo di diversi marker distribuiti sull'oggetto o sull'ambiente circostante da tracciare. Oltre a facilitare in generale il tracciamento, la presenza di più marker consente una maggiore precisione in quanto vi sono più punti di riferimento per l'analisi del movimento dell'utente. In più, se il sistema commette un errore di tracciamento su un marker, la presenza di altri marker può aiutare a compensare l'errore.

Tutte le tecnologie appena messe in evidenza presentano i loro vantaggi e svantaggi. A questo proposito, negli anni sono stati studiati sistemi ibridi volti a sfruttare i benefici dei diversi approcci. Per evitare gli errori di tracciamento, si sta pensando all'utilizzo integrato di un sistema multimarker based insieme a giroscopi ed accelerometri che calcolano e prevedono gli spostamenti dell'utente. Un altro sistema che ha acquisito sempre più fiducia è la soluzione cosiddetta markerless. Ci sono infatti delle circostanze per cui la presenza fisica di un marker potrebbe creare dei problemi, come ad esempio per questioni di estetica. Per risolvere tali problematiche è possibile quindi utilizzare soluzioni senza marker, che sono accompagnati necessariamente da un aumento della complessità nel riconoscimento degli oggetti. Al momento, uno dei risultati più noti sul mercato è quello di Microsoft Kinect, in cui delle speciali depth-camera riconoscono e tracciano i movimenti dell'utente.

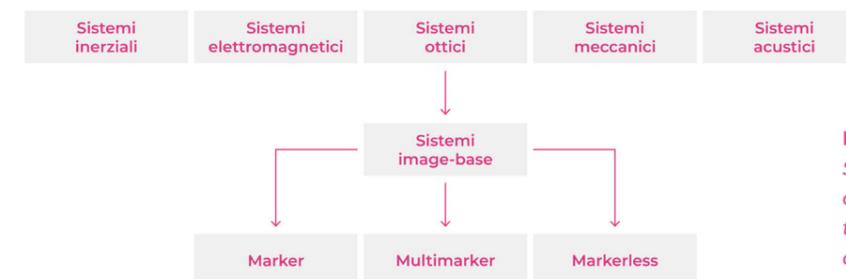


Figura 4.12
Schema riassuntivo dei principali sistemi di tracking per la realtà aumentata

4.2.1.3 Unità di elaborazione

L'unità di elaborazione rappresenta il cuore di qualsiasi sistema di realtà aumentata e ha lo scopo di coordinare e analizzare gli input provenienti dai diversi sensori (come ad esempio camera, giroscopi, accelerometri...) per poi generare gli elementi di realtà aumentata visualizzati dall'utente sul dispositivo di visualizzazione. Questa unità può possedere diversi livelli di complessità a seconda della funzione e del device in cui vengono inseriti. In generale, deve

essere in grado di processare una grande quantità di dati in tempo reale al fine di garantire un'esperienza fluida e reattiva. Ciò richiede una notevole potenza di calcolo, che può essere gestita da processori dedicati, come i processori grafici (GPU) o i processori ad elevata potenza di elaborazione (CPU). In più, l'unità di elaborazione è portata a comunicare con tutti gli altri dispositivi di realtà aumentata e integrare i vari input provenienti da questi ultimi al fine di generare una rappresentazione della realtà aumentata coerente.

4.2.2 Realtà virtuale (VR)

La realtà virtuale fa sì che «diverse interazioni cognitive siano possibili in un mondo digitale artificiale, immergendo così gli utenti in mondi immaginari.» (Fuchs et al., 2011). Si tratta quindi di una tecnologia che permette di creare un ambiente esclusivamente digitale che ricrea la realtà in modo non tangibile, veicolandola in real time all'utente attraverso dispositivi indossabili (Head Mounted Display, guanti e auricolari) al fine di garantire una completa immersione nell'ambiente virtuale. [18]

Immersione e interattività sono due concetti chiave utili a descrivere la tecnologia della realtà virtuale. Con immersione si intende quella caratteristica propria degli ambienti virtuali in grado di coinvolgere gli utenti in modo tale che possano entrare completamente nella scena con tutti i sensi, partecipando alle azioni generate dal computer e modificandole a proprio piacimento. L'interattività, invece, non è altro che la capacità dell'ambiente virtuale di registrare i feedback provenienti dagli utenti e rispondere alle loro azioni in modo immediato ed efficace. [27]

4.2.2.1 Architettura

La realtà virtuale necessita di un'architettura specifica ed è composta dalle seguenti caratteristiche: [28]

- Un campo visivo dai 100 ai 110 gradi.
- Un frame rate (frequenza di immagini proiettate al secondo) compreso tra un minimo di 60fps ed un massimo di 120fps così da creare una visione continua delle immagini ed evitare quindi discrepanze tra i movimenti della testa dell'utente e l'immagine visualizzata.
- Un giroscopio che, insieme ad un accelerometro ed ad un magnetometro, consente il cosiddetto "Head Tracking", ovvero quella funzione che permette di spostare l'immagine in base ai movimenti del capo lungo i quattro punti cardinali.

Tutto ciò è stato sviluppato al fine di creare un'esperienza immersiva per l'utente, che può interagire e vivere all'interno dello spazio virtuale. Due componenti fondamentali si uniscono per preservare questa immersione: un sistema audio multicanale e l'eye tracking. Il sistema audio multicanale è un elemento essenziale in quanto consente di riprodurre suoni provenienti da tutte le direzioni permettendo il cosiddetto effetto doppler (la sorgente sonora si muove rispetto all'ascoltatore) e creando quindi un'esperienza sonora simile a quella che si verificherebbe nella realtà. Inoltre, l'eye tracking (tracciamento oculare) migliora l'interazione dell'utente con l'ambiente virtuale attraverso un sistema di puntamento ad infrarossi che consente di leggere il movimento oculare. [29]

4.2.2.2 Le periferiche di output

Esistono diverse tipologie di periferiche di output che si distinguono in base al tipo di canale sensoriale stimolato: si possono avere infatti output visivi, uditivi, tattili e olfattivi. Senza dubbio, la stimolazione del canale visivo è dominante negli attuali sistemi di realtà virtuale, in quanto la vista rappresenta la funzione sensoriale sulla quale si basa gran parte delle nostre azioni ed è anche l'organo di senso maggiormente rappresentato a livello cerebrale.

Le principali configurazioni di periferiche visive utilizzate nella realtà virtuale sono: [28]

- **Realtà virtuale desktop:** utilizza come input e output dispositivi propri dei computer convenzionali, come tastiera, mouse e monitor. Solitamente, è composta anche da un visore autonomo che offre un'esperienza di realtà virtuale mediante l'utilizzo di uno smartphone o di una cardboard.
- **Head-Mounted Display (HMD):** rappresentano le periferiche visive d'uso più comune e consistono in dei visori che possiedono al loro interno due pannelli LCD o OLED fissati all'altezza dell'occhio dell'utente. Questi sono in grado di escludere dal campo visivo il mondo fisico e sono omnidirezionali, ovvero consentono di orientare lo sguardo in tutte le direzioni.
- **Cave Automatic Virtual Environment (CAVE):** prevede l'utilizzo di grandi schermi di proiezione che fungono da pareti e da pavimento di una stanza, all'interno della quale l'utente è in grado di muoversi liberamente. Su questi schermi vengono proiettate due immagini sovrapposte e sfalsate per creare un effetto stereoscopico e l'utente indossa degli occhiali speciali (shutter-glasses) che occludono alternativamente la vista dell'occhio destro e sinistro per sincronizzarsi con la frequenza di aggiornamento delle immagini proiettate.

Altre tipologie di periferiche tipiche degli ambienti virtuali sono le periferiche uditive e aptiche. Le prime vengono utilizzate per creare un'esperienza sonora tridimensionale e per creare effetti di surround, mentre le seconde sono utilizzate per far percepire sensazioni tattili all'utente: per far sì che questo avvenga, l'utente indossa dispositivi più o meno complessi come guanti o esoscheletri.

4.2.2.3 Le periferiche di input

Le periferiche di input sono progettate per garantire un'interazione dell'utente con l'ambiente virtuale il più coinvolgente e intuitivo possibile.

Si possono identificare tre livelli diversi di interazione, ognuno dei quali richiede l'utilizzo di periferiche di input specifiche. [30]

- **Navigazione (walk-through):** è il livello più semplice di interazione e prevede che l'utente possa muoversi all'interno dell'ambiente in modo semplice e naturale. Per questo tipo di interazione sono necessarie periferiche di input semplici, come per esempio un mouse, un joystick o sensori di tracciamento della testa.
- **Spostamento di oggetti virtuali:** rappresenta un livello intermedio di interazione. Per la sua effettiva realizzazione, il software deve essere in grado di calcolare con esattezza le relazioni spaziali delle strutture geometriche presenti nella scena come ad esempio la distanza tra baricentri o la collisione delle superfici esterne degli oggetti. In questo caso, l'input consiste nell'utilizzo di un sistema di tracciamento del movimento delle mani dell'utente (hand tracking) che fa coincidere un puntatore virtuale con la mano reale al fine di calcolare le collisioni che avvengono tra la mano virtuale e gli oggetti dell'ambiente e rendere quindi possibile lo spostamento di questi ultimi.
- **Manipolazione di oggetti virtuali:** è sicuramente il livello di interazione più complesso, in quanto richiede l'utilizzo in simultanea di dispositivi di tracciamento della testa e della mano da aggiungere a sensori per le dita che registrano i movimenti di prensione.

Recentemente, si è assistito ad una notevole evoluzione nel campo delle interfacce indossabili, tra cui spicca l'innovativa "tuta virtuale" sviluppata da Teslasuit. [73] L'obiettivo di queste nuove generazioni di interfacce è quello di rendere ancora più realistiche e immersive le esperienze di realtà virtuale e realtà aumentata. La tuta Teslasuit si pone quindi all'avanguardia in questo panorama in quanto prevede l'integrazione di un sistema aptico, di un sistema di tracciamento dei movimenti dell'utente e infine di sistemi biometrici che

monitorano i dati vitali consentendo un'analisi avanzata dei dati sulla salute e sulle prestazioni dell'utente.



Figura 4.13
Tuta virtuale di Teslasuit

4.2.2.4 I dispositivi

Esistono diverse tipologie di dispositivi per la realtà virtuale che differiscono per costo e prestazione. Di seguito, vengono riportati degli esempi di hardware di diversa fascia di prezzo:

- **Google Cardboard (15-25 €):** visore low cost costituito principalmente da cartone piegato, due lenti di plastica biconvesse e uno slot per inserire lo smartphone. L'idea alla base del progetto è quella di promuovere l'interesse verso la realtà virtuale e renderla allo stesso tempo una tecnologia più accessibile in quanto sfrutta l'utilizzo di uno semplice smartphone che, mediante specifiche applicazioni, restituisce l'impressione di immagini tridimensionali.



Figura 4.14
Google Cardboard

- **Oculus Quest 2 (350-450 €):** visore di realtà virtuale indipendente sviluppato da Meta e dotato di uno schermo ad alta risoluzione, sensori di tracciamento dei movimenti e controller touch altamente responsivi che lo rendono uno tra i tanti dispositivi all'avanguardia sul mercato. L'Oculus Quest 2 offre infatti un'esperienza di realtà virtuale di alta qualità e, poichè non necessita

di essere collegato ad un PC o altri dispositivi esterni per funzionare, risulta incredibilmente comodo ed accessibile.



Figura 4.15
Oculus Quest 2

— **HTC Vive Pro (800 €):** visore di realtà virtuale di fascia alta progettato per l'utilizzo con un PC e in grado di offrire un'esperienza di realtà virtuale nitida e intuitiva, mediante l'utilizzo di due schermi OLED ad alta risoluzione e di controlli wireless. L'HTC Vive Pro utilizza inoltre delle stazioni base esterne che forniscono una precisa localizzazione spaziale dell'utente, consentendo loro di muoversi liberamente all'interno del mondo virtuale.



Figura 4.16
HTC Vive Pro

4.2.3 Realtà mista (MR)

La realtà mista (o Mixed Reality) è una tecnologia ibrida che combina realtà aumentata e realtà virtuale con lo scopo di creare un nuovo ambiente in cui i contenuti digitali coesistono ed interagiscono in tempo reale con l'ambiente fisico. A differenza di quanto detto per la realtà aumentata, i sistemi di realtà mista non si limitano a sovrapporre le immagini digitali su un display, ma bensì possiedono la capacità di riconoscere, leggere e comprendere lo spazio dove vengono utilizzati modificandosi di conseguenza per interagire con esso. [3]

Nel mercato sono presenti alcuni device che permettono di usufruire di questa tecnologia. Il più famoso tra tutti è il Microsoft HoloLens, un visore che permette all'utente di visualizzare ed interagire con gli oggetti digitali, perfettamente integrati nell'ambiente in cui sono inseriti. Il dispositivo è composto da un headset con display a doppia lente, telecamere, microfoni e sofisticati sensori che predispongono un sistema di mappatura dell'ambiente

circostante. Grazie a questa mappatura, Microsoft HoloLens offre la possibilità di sovrapporre ologrammi tridimensionali alla realtà fisica, consentendo agli utenti di visualizzare e interagire con oggetti digitali in modo sorprendentemente realistico e immersivo.



Figura 4.17
Microsoft HoloLens

Progettato per applicazioni professionali, il Varjo XR-3 è considerato uno dei visori per mixed reality più avanzati presenti nel mercato. Il dispositivo possiede un'innovativa tecnologia di visualizzazione, in grado di offrire all'utente un'esperienza di altissima fedeltà e una qualità visiva dei dati digitali estremamente dettagliati. In più, dispone di un tracciamento oculare e un sistema di rilevamento dei movimenti della testa ad elevata precisione che garantiscono interazioni più naturali e una resa grafica più fluida anche durante i movimenti rapidi. Queste caratteristiche all'avanguardia si riflettono anche sul prezzo di vendita che si aggira sui 6500€, rendendolo un visore di fascia molto elevata.



Figura 4.18
Varjo XR-3

Capitolo 5

Stato dell'arte dell'industria manifatturiera

Industria 4.0 e prospettive future

5.1 Industria 4.0 e Smart Factory

Le tecnologie immersive rappresentano un campo in rapida evoluzione e con un vasto potenziale applicativo in tantissimi settori diversi. Ampiamente diffuse nel mercato consumer soprattutto nell'ambito dell'entertainment, queste tecnologie hanno attirato l'attenzione delle imprese che hanno cominciato ad esplorarne le molteplici potenzialità. La realtà estesa, infatti, è uno dei pilastri del programma Industria 4.0, il cui scopo è quello di introdurre nelle imprese industriali e manifatturiere una serie di tecnologie avanzate in grado di aumentare la loro competitività ed efficienza. Le 9 tecnologie abilitanti alla base della trasformazione digitale dell'industria e promosse dal programma Industria 4.0 sono: Internet of Things, cloud computing, sistemi integrati, simulazioni, additive manufacturing, robot automatizzati, big data, realtà estesa e cybersecurity. [32]



Figura 5.1
Tecnologie abilitanti dell'Industria 4.0

Si intuisce quindi come la promozione di politiche a lungo termine per digitalizzare il settore manifatturiero sia alla base della trasformazione delle aziende in "smart factories": la fabbrica si presenterà come un ambiente sempre più tecnologico ed interconnesso, consentendo una più agile ed efficiente produzione rispetto alle modalità tradizionali. [33] Le opportunità derivanti dall'impiego di queste nuove tecnologie non si limitano solo al miglioramento delle condizioni di lavoro mediante il supporto agli operatori durante le attività lavorative, ma riguardano soprattutto l'aumento della produttività.

Tra i principali vantaggi possiamo citare: [74]

— **Efficienza:** le tecnologie abilitanti dell'industria 4.0 consentono alle imprese

di ottimizzare i processi aziendali, riducendo i costi e i tempi di produzione. Si apre quindi la possibilità di realizzare un prodotto altamente personalizzato al prezzo di un prodotto di largo consumo e di raggiungere un'agilità tale da arrivare prima sul mercato e garantirsi il vantaggio competitivo.

- **Flessibilità:** le tecnologie abilitanti permettono alle imprese di adattarsi più rapidamente ai vari cambiamenti che può subire il mercato, con la conseguenza di una maggiore efficacia nei confronti dei consumatori.
- **Personalizzazione:** grazie all'adozione delle tecnologie abilitanti dell'industria 4.0 le imprese sono in grado di offrire ai clienti prodotti e servizi personalizzati.
- **Aumento della qualità:** il monitoraggio e il controllo in tempo reale dei dati consente alle aziende di implementare la qualità dei loro prodotti e servizi, di ridurre in modo significativo possibili errori e di agire tempestivamente in caso si manifestassero dei problemi.
- **Controllo della qualità:** la smart factory prevede procedure di controllo qualità molto più affidabili ed efficienti rispetto alle modalità tradizionale. Ciò si traduce in un più elevato standard delle performance dei prodotti e ad una maggiore soddisfazione del cliente finale.

È importante evidenziare che l'implementazione di una smart factory non è un'operazione banale e che la disponibilità e l'introduzione di nuove tecnologie abilitanti non rappresenta una condizione sufficiente per definire un'azienda come tale. L'impiego di queste tecnologie deve essere accompagnato necessariamente da un cambiamento nell'ecosistema aziendale: oltre a doversi dotare di un'infrastruttura costosa, le imprese devono introdurre nuovi modelli di lavoro collaborativi lungo tutta la catena del valore e acquisire nuove competenze specifiche che riguardano i vari ambiti della produzione. [34]

5.2 La realtà estesa nelle industrie

Come anticipato, la realtà estesa è una delle tecnologie abilitanti dell'Industria 4.0 che sta emergendo come una soluzione altamente promettente per il miglioramento delle attività produttive. Introdotta con lo scopo di ottimizzare i processi produttivi esistenti, le tecnologie della realtà estesa hanno dimostrato una notevole efficacia in diverse fasi della produzione. [75]

Tra le applicazioni più consolidate all'interno delle imprese possiamo citare:

- **Progettazione e prototipazione:** la realtà estesa rappresenta un importante strumento che consente alle imprese di svolgere attività di progettazione e

prototipazione del prodotto o servizio in modo veloce e a costi ridotti. Essa, infatti, può essere utilizzata per interagire con i digital twin (ovvero la replica digitale di un sistema fisico), consentendo ai progettisti di esplorare in modo interattivo il prodotto o il processo e di individuare in maniera tempestiva problemi o miglioramenti necessari. Inoltre, grazie a queste tecnologie si è in grado di eseguire test e simulazioni sul modello virtuale prima della sua produzione effettiva, abbattendo i costi di una prototipazione fisica tradizionale. La Ford Motor Company nel 2006 ha lanciato il Ford Immersive Vehicle Environment (FiVE) Lab, ovvero un dipartimento dedicato all'utilizzo della realtà virtuale per la progettazione, prototipazione e produzione dei loro prodotti e servizi. Il FiVE permette la prototipazione e la verifica del prodotto all'interno di un ambiente virtuale ad alta definizione in cui i progettisti possono collaborare in tempo reale ed interagire con il prototipo e l'ambiente al fine di analizzare la progettazione interna ed esterna del veicolo e verificarne la qualità degli elementi. [35]



Figura 5.2
Sessione di utilizzo del sistema di prototipazione al Ford Immersion Lab

- **Assemblaggio, manutenzione e riparazione:** per quanto riguarda le operazioni di assemblaggio, manutenzione e riparazione, la realtà estesa offre valide soluzioni per aumentare l'efficienza e la produttività aggiungendo informazioni utili a ciò che gli operatori osservano nel mondo reale. Fornisce quindi assistenza sul campo a tecnici, lavoratori nelle catene di assemblaggio e altri soggetti mettendo a loro disposizione informazioni digitali ad hoc per le mansioni specifiche che devono svolgere. Negli ultimi anni l'azienda Boeing ha implementato l'utilizzo dei Google Glass per le configurazioni di cablaggio dei suoi aerei al fine di ridurre i tempi e il numero degli interventi necessari. Prima dell'utilizzo della realtà aumentata, i tecnici dovevano visualizzare i cavi e i sistemi elettrici su un computer per poi confrontarli con le parti interne dell'aereo. Oltre ad essere un'operazione molto lunga, essa costringeva gli addetti ad un costante movimento dell'occhio dal piano di lavoro al computer, portandoli a distrazioni ed interruzioni continue. Grazie alla partnership con Upskill, l'azienda ha implementato la tecnologia

AR per caricare direttamente nel dispositivo le istruzioni di assemblaggio, supportate da funzioni avanzate come la possibilità di utilizzare comandi vocali, la visualizzazione in tempo reale dei dati aggiornati e la possibilità di vedere video "how-to" in caso di necessità. [36]



Figura 5.3
Tecnico della Boeing che
identifica il numero corretto
del cavo mediante la AR

— **Formazione del personale:** la formazione dei dipendenti è una componente fondamentale per il successo delle attività aziendali ed è volta non solo a ridurre i rischi e le responsabilità ai cui gli operatori sono esposti, ma soprattutto a soddisfare le richieste di conformità e migliorare il rendimento e la produttività richieste dalle varie mansioni. Alcune imprese, tuttavia, prevedono un processo formativo difficile e costoso, motivo per cui l'utilizzo di sistemi di realtà estesa consentono agli operatori di praticare l'attività di apprendimento in modo efficace, sicuro ed economico. Inoltre, la formazione in ambienti virtuali offre la possibilità di fare cose non possibili nel mondo reale (come ad esempio esplorare parti di macchinari altrimenti invisibili dall'esterno) e di riprodurre attività pressoché infinite, verificando e correggendo le azioni in tempo reale. L'azienda tedesca Siemens ha sviluppato SIMIT VR, una soluzione di formazione mediante realtà virtuale che permette agli operatori di apprendere e avere una maggiore comprensione di impianti industriali, operazioni complesse e processi di produzione, evitando di interrompere la produzione effettiva e riducendo il rischio di danni alle attrezzature. [76]



Figura 5.4
Training del personale
mediante SIMIT VR

5.2.1 Controllo qualità nelle imprese

Il controllo qualità è un processo di fondamentale importanza all'interno delle imprese manifatturiere e viene definito come l'insieme delle attività da eseguire al fine di assicurare che i prodotti e i servizi possiedano le caratteristiche attese dal cliente o dalle normative. [77] In particolare, l'Organizzazione internazionale per la standardizzazione (ISO) ha sviluppato una serie di linee guida, le ISO 9000:2000, che hanno il compito di definire quali sono i requisiti fondamentali che le aziende devono seguire al fine di realizzare un sistema di gestione della qualità efficiente ed efficace. [78] Possedere un regime di qualità non solo protegge le aziende da eventuali sanzioni in caso di mancata conformità alle normative, ma permette soprattutto di garantire la massima soddisfazione dei clienti, i quali si sentiranno più sicuri nell'affidarsi ad un'azienda con standard certificati di qualità. Inoltre, il controllo qualità aiuta l'impresa a individuare eventuali problemi nei processi produttivi, favorendo un continuo miglioramento e di conseguenza aumentando la loro efficienza e competitività sul mercato. Il controllo qualità si riferisce, in generale, alle tre diverse fasi del processo produttivo: fase preliminare (i controlli, per esempio, vengono effettuati sulle materie prime in ingresso), durante il processo produttivo (come i controlli eseguiti sui semilavorati) e nella fase di collaudo (i controlli vengono condotti sul prodotto finito). [77]

Tra gli approcci e metodi più utilizzati nelle industrie manifatturiere per il controllo qualità possiamo citare: [37]

— **Controllo Statistico del Processo (SQC):** è un metodo di controllo qualità che si concentra sull'analisi di dati statistici per implementare la qualità dei prodotti nei processi ripetitivi. Nello specifico, può essere utilizzato per identificare tendenze e deviazioni dallo standard e rilevare eventuali difetti o anomalie. Il SQC viene effettuato mediante le carte di controllo, ovvero uno strumento che analizza graficamente quanto il medesimo processo risulti stabile e con un andamento prevedibile. Monitorando continuamente il processo, l'azienda è in grado di prevenire che gli articoli difettosi vengano elaborati nella fase successiva e prendere provvedimenti correttivi ogni qualvolta il processo sia fuori controllo, ovvero quando il suo andamento esce dai limiti fissati.

— **Six-Sigma:** è uno strumento statistico volto a garantire prodotti privi di difetti (propone una percentuale di errore del 0,00034%) attraverso il miglioramento continuo del processo produttivo. Si compone di un insieme di tecniche che vengono applicate in un ciclo continuo noto come DMAIC (Definire, Misurare, Analizzare, Migliorare, Controllare). Questo ciclo consiste nel definire il problema, misurare le prestazioni del processo, analizzare le

cause del problema, migliorare il processo eliminando le cause dei problemi e controllando le variabili e infine controllare il processo per garantire un processo di qualità a lungo termine.

- **Acceptance sampling:** riguarda una misura statistica che consente ad un'azienda di determinare la qualità di un lotto di prodotti selezionandone un numero specifico per eseguire i test. La qualità del campione sarà paragonata al livello di qualità per l'intero gruppo di prodotti.
- **Verifica della conformità:** Quest'ultima metodologia, a differenza delle precedenti, non esegue un controllo statistico, ma bensì verifica che i prodotti rispettino gli standard e i requisiti prefissati mediante ispezioni visive, test e misurazioni.

Le tecnologie utilizzate per l'attuazione di queste metodologie sono molteplici e variano in base al settore di appartenenza dell'impresa. Facendo riferimento al controllo qualità eseguito durante il processo produttivo e a prodotto ultimato, le pratiche più basilari e meno costose attuate dalle aziende prevedono la verifica dei risultati ottenuti mediante controlli visivi, test funzionali e analisi dei dati raccolti mediante sistemi informatici integrati.

5.2.2 Quality 4.0

In un'ottica di smart factory e di digitalizzazione delle operazioni manuali per le attività di controllo qualità, le imprese sono chiamate a confrontarsi con quella che Dan Jacob chiama Qualità 4.0. Questo nuovo paradigma riscrive i metodi e le tecniche tradizionali del controllo qualità, proponendo un miglioramento degli stessi mediante l'integrazione delle tecnologie abilitanti dell'Industria 4.0. [38] Più nel dettaglio, la differenza tra Qualità 4.0 e controllo qualità tradizionale consiste nel passaggio dalla misurazione manuale, registrazione dei risultati su grafici e ricalibrazione continua del processo di produzione, ad attività completamente automatizzate. [79] I principali vantaggi che ne derivano riguardano non solo una gestione della qualità più efficace ed efficiente, ma anche un aumento della quota di mercato, la capacità di effettuare innovazioni più spinte e un maggiore riconoscimento del marchio aziendale. [80]

Tra le tecnologie più rilevanti per l'implementazione della Qualità 4.0 possiamo menzionare:

- **Big Data Analytics e Sistemi Ciberfisici (CPS):** la combinazione di queste due tecnologie permette alle aziende una più efficiente comprensione dei dati. Per sistema ciberfisico si fa riferimento ad un sistema interconnesso di dispositivi fisici e virtuali volto a monitorare e controllare i processi. [39] Come

conseguenza, questi sistemi producono un'enorme quantità di dati in real time che devono essere necessariamente raccolti, elaborati ed analizzati grazie all'utilizzo di tecnologie di Big Data Analytics, al fine di ottenere informazioni utili per il miglioramento e l'ottimizzazione della produttività. Ad esempio, i Big Data Analytics svolgono un ruolo chiave nel rilevamento preventivo dei guasti durante il processo di produzione. [40]

- **Internet of Things (IoT):** come suggerisce il nome, l'Internet of Things (Internet delle cose) prevede la perfetta interconnessione tra mondo fisico e mondo virtuale mediante l'utilizzo di piccoli dispositivi elettronici installati in oggetti fisici e collegati alla rete. [41] L'integrazione di questi oggetti "intelligenti" a macchine industriali o impianti di produzione, permetterebbe loro di scambiarsi autonomamente informazioni, eseguire azioni e controllarsi in maniera indipendente da ogni controllo umano sulla base della comprensione dei dati emessi. [42]
- **Intelligenza Artificiale e Computer Vision:** uno strumento molto diffuso nelle imprese per il controllo qualità consiste nella tecnologia della Computer Vision, detta anche visione artificiale. Questa, associata all'intelligenza artificiale e più nello specifico al machine learning, permette di ricavare svariate informazioni da input visivi, [81] consentendo la totale automazione di attività di ispezione visiva di prodotti. Le telecamere acquisiscono immagini in tempo reale del prodotto da controllare, che vengono poi analizzate da software e paragonate con delle immagini di riferimento predefinite al fine di verificarne la giusta corrispondenza. Così facendo, la visione artificiale basata sull'intelligenza artificiale renderebbe totalmente automatizzati vari processi di produzione precedentemente eseguiti manualmente e visivamente dall'uomo. [43]
- **Realtà estesa:** le tecnologie di realtà aumentata e realtà mista possono essere sfruttate dalle imprese per facilitare il processo di ispezione sovrapponendo informazioni digitali sull'ambiente di lavoro.

5.2.3 Utilizzo della realtà estesa per il controllo qualità

Come già anticipato, la realtà estesa ha suscitato un grande interesse da parte di svariati contesti industriali, dimostrando così il suo grande potenziale in diverse applicazioni. Il seguente grafico mostra come la maggior parte dei sistemi che sfruttano la tecnologia della realtà estesa siano focalizzati perlopiù sulle attività di assemblaggio (41%), seguito dalla manutenzione (33%), logistica (12%) e, in parte minore, dal controllo qualità (9%). [44]

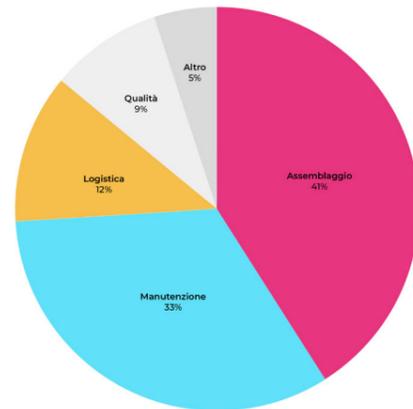


Figura 5.5
Analisi dei diversi campi di
applicazione della realtà
estesa in ambito industriale

Nonostante i numerosi benefici che un controllo qualità svolto mediante realtà estesa potrebbe apportare ai contesti industriali, come ad esempio il miglioramento delle prestazioni dei controlli qualità e l'automatizzazione delle decisioni degli operatori [45], ad oggi si contano pochi esempi di implementazione di tale tecnologia nelle imprese. Ciò è dovuto in parte alla scarsa conoscenza delle potenzialità di queste nuove tecnologie, ma anche alla necessità da parte delle aziende di investire in infrastrutture costose e in formazione di personale qualificato.

Un esempio di implementazione della realtà estesa per controllo qualità è quello sviluppato da Porsche. Di recente, la casa automobilistica tedesca ha inaugurato "Inno-Space", ovvero un'area dedicata all'innovazione e volta a promuovere nuovi approcci per il quality management. Assieme alla start-up GTV, Porsche ha implementato l'utilizzo della realtà aumentata a supporto dei processi di controllo qualità, nello specifico nei test che valutano il "look & feel" delle vetture. Si tratta, quindi, dello sviluppo di un'applicazione per tablet al cui interno è presente un database che include tutti i CAD del veicolo e informazioni sui mezzi di giunzione. Dopo aver inquadrato con la telecamera del tablet il componente di interesse, verrà sovrapposta all'immagine reale il CAD digitale, al fine di individuare con precisione e velocità eventuali difetti o aree di giunzione che non soddisfano lo standard prefissato. [82]

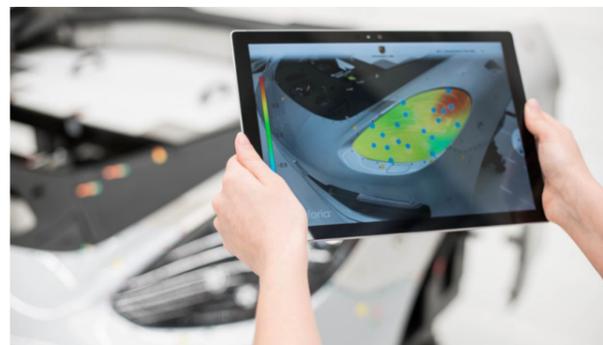


Figura 5.6
Sovrapposizione dei CAD
digitali della vettura
all'immagine reale per la
verifica di difetti

Ad oggi, il mondo industriale sta attraversando una significativa trasformazione nei propri processi produttivi che stanno diventando sempre più automatizzati e meno dipendenti dal lavoro manuale. In questo contesto, anche il controllo qualità si sta adeguando a tale cambiamento, grazie soprattutto all'adozione delle tecnologie avanzate alla base della politica di Qualità 4.0 (illustrate in precedenza) al fine di garantire standard qualitativi sempre più elevati. Un esempio di questa nuova realtà è rappresentato dalle fabbriche al buio, ovvero aziende che affidano i loro processi interamente a macchine indipendenti ed automatizzate, in cui la componente umana è praticamente inesistente. [83]

Se questo modello funziona perfettamente in quei cicli produttivi caratterizzati da un alto grado di ripetitività e minima personalizzazione del prodotto, esistono d'altra parte numerosi scenari del manifatturiero nei quali sono ancora necessarie capacità cognitive tipiche degli esseri umani. Essendo il controllo qualità una fase cruciale nel processo di sviluppo prodotto in settori dall'impronta più artigianale, è impensabile per un'azienda di quel tipo affidare l'intero controllo a macchine o sensori. Inoltre, queste attività richiedono spesso un'esperienza specifica e una serie di conoscenze tecniche difficili da insegnare ad una macchina. Dall'altra parte, svolgere manualmente le medesime attività di controllo risulterebbe altrettanto inefficiente per un'azienda in termini di tempi, produttività e per via dell'alta probabilità di commettere i cosiddetti "errori umani". In più, appare evidente che gli esseri umani da soli non sono in grado di elaborare rapidamente grandi volumi di informazioni e che, data la complessità delle operazioni di controllo qualità, eventuali distrazioni, affaticamenti o la mancanza di una formazione adeguata possa comprometterne l'efficacia. [46] Appare dunque chiaro che la risposta più efficace per un'adeguata ottimizzazione del processo di controllo qualità sia quella di valorizzare la capacità cognitiva e decisionale tipicamente umana, affiancandola e non sostituendola all'intelligenza di tecnologie avanzate. [84]

5.3 Prospettive future: Industria 5.0

Secondo i dati pubblicati dall'Osservatorio Transizione Industria 4.0 del Politecnico di Milano, ad oggi si sta verificando un importante incremento nel trend della digital transformation, specialmente per quanto riguarda l'adozione da parte delle imprese delle tecnologie distintive delle Smart Factory. [85]

Sebbene i presupposti dell'Industria 4.0 fossero principalmente focalizzati sull'ottimizzazione della produzione e sull'aumento dell'efficienza e della flessibilità aziendale, nel tempo è emerso che un approccio esclusivamente orientato al profitto che trascura il benessere e l'importanza degli operatori non è più sostenibile. A questo proposito, la Commissione Europea ha presentato

un documento chiamato "Industry 5.0: verso un'industria europea sostenibile, human-centric e resiliente" che ha lo scopo di delineare i pilastri e i paradigmi di quella che viene considerata una nuova fase evolutiva dell'industria. [47] L'Industria 5.0 propone quindi di spostare il focus da un sistema produttivo guidato dall'efficienza e dall'automazione dei processi ad un approccio completamente incentrato sull'uomo, in cui la tecnologia deve essere al servizio delle persone e non viceversa. Nello specifico, il documento presenta tre fattori che dovranno guidare le industrie del futuro: sostenibilità, centralità degli esseri umani e resilienza.

Il tema della sostenibilità viene affrontato secondo tre diverse dimensioni: sostenibilità ambientale, sociale ed economica. Dal punto di vista ambientale, le nuove industrie dovranno adottare pratiche e tecnologie che favoriscano la riduzione del loro impatto sull'ambiente grazie alla promozione di politiche di efficienza energetica, di gestione responsabile delle risorse naturali e di promozione dell'economia circolare. Per quanto riguarda l'aspetto sociale, la sostenibilità mette in primo piano il benessere dei lavoratori e la promozione di condizioni di lavoro eque e sicure, raggiungibili mediante la tutela dei diritti dei lavoratori, la garanzia di salari equi, la valorizzazione delle diversità e il sostegno alla formazione delle competenze individuali. Infine, sul fronte economico le nuove industrie saranno spinte a diversificare le proprie fonti di approvvigionamento, promuovendo modelli di business sostenibili e affrontando con sicurezza i cambiamenti che caratterizzano il mercato odierno.

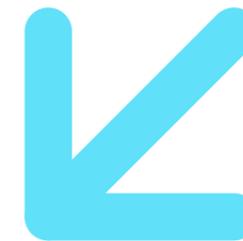
In questa nuova visione delle industrie, uno dei valori che dovrà necessariamente guidare la produzione è rappresentato dal benessere dei lavoratori. Questo approccio human-centric riconosce quindi l'importanza della creatività umana nei processi e la valorizza: una produzione automatizzata, da sola, esegue esclusivamente le attività che gli vengono imposte. Al contrario, una collaborazione sinergica tra macchine e umani è in grado di elevare i processi produttivi al loro massimo potenziale, utilizzando i robot per svolgere quelle attività fisicamente impegnative e ripetitive e il contributo umano per apportare un valore aggiunto ai prodotti.

Infine, il concetto di resilienza si basa sulla diversificazione e sulla flessibilità delle attività produttive. Le imprese sono portate, quindi, a doversi adattare e ad affrontare proattivamente le mutevoli condizioni del mercato, anticipando le potenziali minacce e creando un ambiente di lavoro collaborativo e pronto a prendere decisioni.

Sostenibilità



Human-center



Resilienza



Figura 5.7
Schema delle parole chiave
dell'Industria 5.0

Capitolo 6

Analisi del processo di sterilizzazione dei kit chirurgici

Fasi e tipologie

Nel presente elaborato di tesi ho voluto porre la mia attenzione sulla valorizzazione del lavoro manuale nel processo di sterilizzazione dei kit chirurgici, di fondamentale importanza per garantire la totale sicurezza durante lo svolgimento di operazioni chirurgiche e di procedure meno invasive a contatto diretto con i pazienti. Caratterizzato da un iter particolarmente lungo e complesso, il processo di sterilizzazione richiede che gli operatori siano adeguatamente formati in tutti gli aspetti delle attività che devono svolgere al fine di eseguire correttamente tutte le procedure e garantire l'opportuna manutenzione dei macchinari. Lo scopo di questo processo è quello di assicurare agli ospedali la massima qualità dei prodotti sterilizzati per prevenire possibili infezioni fatali per i pazienti. Il controllo qualità di ogni fase del processo svolge quindi un ruolo di fondamentale importanza al fine di eliminare il rischio di commettere errori che comprometterebbero la sterilizzazione finale del prodotto. Ad oggi, nelle aziende di sterilizzazione di strumentario chirurgico il controllo qualità viene eseguito manualmente attraverso l'analisi di dati riportati sui macchinari o ispezioni visive del prodotto: l'elevata complessità delle varie operazioni, pertanto, può portare gli operatori ad essere soggetti a distrazioni e affaticamenti, aumentando così il rischio di compiere errori. Come anticipato, affidare l'intero processo di controllo qualità a delle macchine risulterebbe inefficiente, soprattutto in processi come la sterilizzazione di kit chirurgici che richiedono il susseguirsi di innumerevoli operazioni svolte da operatori altamente qualificati e non delegabili quindi ad una macchina. Appare dunque chiaro come la realtà estesa, in combinazione con altre tecnologie abilitanti la Qualità 4.0, possano valorizzare il lavoro manuale degli operatori, aumentando l'efficienza delle loro operazioni e riducendo al tempo stesso il rischio di commettere errori. Nello specifico, la realtà estesa permetterebbe agli operatori di mantenere la concentrazione durante tutto il processo fornendo loro feedback visivi in tempo reale qualora fosse necessario e di essere guidati step by step nello svolgimento di operazioni complesse, mediante la sovrapposizione di informazioni digitali alla visione del mondo reale. Così facendo, oltre a garantire un controllo qualità efficiente, la realtà estesa rappresenterebbe un valido aiuto per il passaggio di conoscenza a operatori che necessitano una formazione completa riguardo all'intero processo di sterilizzazione.

6.1 Introduzione

Nonostante i grandi progressi della medicina compiuti nel corso degli anni per assistere i pazienti in condizioni critiche e per prevenire e controllare le infezioni all'interno dell'ambiente ospedaliero, queste, ancora oggi, rappresentano un

serio pericolo soprattutto per quei pazienti che si sottopongono ad interventi diagnostici e/o chirurgici invasivi. Le procedure che richiedono il contatto diretto tra il paziente e un presidio medico chirurgico rappresentano, infatti, un importante fattore di rischio per la trasmissione di infezioni. È importante sottolineare che la principale causa del contagio è da attribuirsi all'inquinamento dell'ambiente operatorio, in particolare all'utilizzo di materiali sanitari non opportunamente sterilizzati o disinfettati. [48] La sterilizzazione, pertanto, rappresenta uno dei momenti più importanti per la prevenzione e il controllo delle infezioni e per questo motivo richiede una notevole competenza e responsabilità da parte del personale sanitario coinvolto. Per sterilizzazione si intende qualsiasi processo, fisico o chimico che, attraverso metodologie ripetibili, standardizzabili e documentabili, hanno come obiettivo la distruzione di tutte le forme di vita microbica e altri agenti biologici. La norma UNI EN 556-1:2002 stabilisce che un prodotto può essere definito sterile quando si ha la probabilità che non sia sterile un prodotto su un milione di prodotti sterilizzati. [49] Se in passato le attività di sterilizzazione erano collocate solo all'interno dei presidi operatori ospedalieri in quanto rappresentavano i maggiori fruitori, ad oggi questi processi vengono centralizzati in strutture più idonee a garantire maggiori livelli di sicurezza e standardizzazione dei processi. Trasferire il processo di sterilizzazione al di fuori della sala operatoria, infatti, consente non solo di avere un maggior rendimento da parte degli operatori, ma porta anche ad un'ottimizzazione dei tempi e al miglioramento della qualità dell'assistenza in sala operatoria.

6.2 Le fasi del processo

Le norme vigenti descrivono il processo di sterilizzazione come «speciale, in quanto il risultato non può essere interamente verificato da una successiva ispezione e da prove sul prodotto» (UNI EN554,1996). Appare dunque evidente che l'unica garanzia che attesti una corretta sterilizzazione risulti essere l'esecuzione scrupolosa di tutte le attività che compongono il processo, definite in protocolli operativi standard qui di seguito riportati: [49] [50] [51] [52]

1. Accettazione e raccolta
2. Decontaminazione
3. Lavaggio
4. Risciacquo e asciugatura
5. Controllo e manutenzione strumentario
6. Confezionamento
7. Sterilizzazione
8. Stoccaggio kit sterili

Il processo di sterilizzazione non è da intendersi quindi come il solo atto di esposizione del materiale chirurgico all'agente sterilizzante, ma bensì come un insieme di fasi consequenziali che partono dalle attività di raccolta, decontaminazione e pulizia del materiale, di fondamentale importanza per la rimozione di residui organici altrimenti da ostacolo per l'efficacia della sterilizzazione.

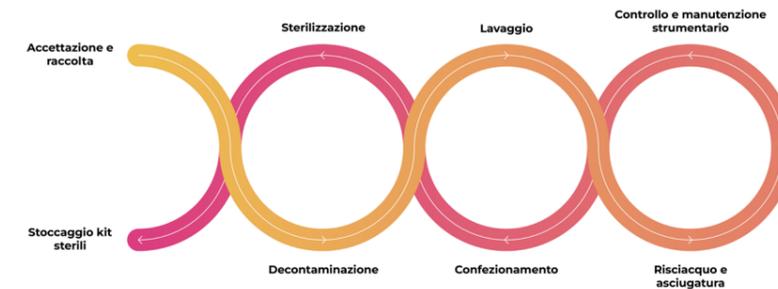


Figura 6.1
Fasi del processo di sterilizzazione dei kit chirurgici

6.2.1 Accettazione e raccolta

La prima fase del processo consiste nell'accettazione da parte della centrale del materiale sporco ricevuto. L'operatore, grazie all'utilizzo di lettori barcode, esegue la scansione in sequenza di tutte le etichette apposte al materiale ricevuto. Una volta eseguita l'accettazione dello sporco di kit/imbustati, essi devono essere associati univocamente ad una griglia che fungerà da riferimento fino alla fase di confezionamento. terminate queste due operazioni, avviene la raccolta vera e propria dei materiali contaminati o parzialmente contaminati che, una volta inseriti in appositi contenitori muniti di manici laterali e di una griglia estraibile, vengono trasportati nella zona dove viene eseguita la decontaminazione. È importante sottolineare che le operazioni di raccolta dello strumentario chirurgico devono avvenire quanto più presto possibile dopo il loro utilizzo, al fine di evitare che le sostanze organiche risultino difficili da rimuovere.



Figura 6.2
Armadi per la raccolta del materiale contaminato

6.2.2 Decontaminazione

Prima di procedere con il lavaggio e la manipolazione dello strumentario, è fondamentale che questi ultimi vengano sottoposti alla cosiddetta fase di decontaminazione. Tale procedura rappresenta una misura di sicurezza di vitale importanza in quanto contribuisce alla protezione degli operatori coinvolti nel processo di sterilizzazione, trasporto e lavaggio del materiale utilizzato dalle infezioni di HIV. La decontaminazione avviene mediante l'immersione dei materiali in soluzioni chimiche appositamente formulate per il materiale da trattare e può essere eseguita manualmente da operatori specializzati o attraverso apparecchiature specifiche.

In caso di decontaminazione manuale l'operatore deve eseguire le seguenti attività:

- L'operatore di centrale indossa i dispositivi di protezione individuale.
- Durante la cosiddetta fase di allestimento, l'operatore deve preparare la soluzione disinfettante all'interno di una vasca idonea, seguendo quanto scritto nella scheda tecnica del produttore.
- L'operatore immerge completamente i materiali da trattare all'interno del recipiente. La durata della fase di immersione dipende dalle caratteristiche della soluzione impiegata.
- Una volta terminato il tempo di immersione, il contenitore con i materiali decontaminati viene estratto ed è pronto per la successiva fase di lavaggio.
- L'operatore deve poi smaltire la soluzione decontaminante secondo le indicazioni delle normative.

Nella caso della decontaminazione automatica, invece, il contenitore con il materiale da trattare viene inserito all'interno di un lavastrumenti volto a garantire una pulizia profonda ed efficace in maniera del tutto automatizzata. Al fine di garantire la corretta esecuzione del processo, l'operatore deve seguire alcune accortezze: prima di tutto egli deve evitare di sovraccaricare i cestelli portastrumenti in quanto un'eccessiva densità di materiali all'interno del cestello potrebbe ostacolare il corretto flusso della soluzione decontaminante, compromettendo l'efficacia del processo. In secondo luogo, deve procedere ad aprire eventuali strumenti articolati per far sì che la soluzione chimica penetri correttamente in tutte le parti dello strumento. Una volta completato il programma di disinfezione nel lavastrumenti, il cestello viene trasportato alla fase successiva del processo.

Alcuni dei fattori che possono condizionare l'efficacia della procedura di

decontaminazione riguardano la concentrazione della soluzione, l'immersione non completa del materiale e la difficoltà di contatto tra soluzione e materiale.



Figura 6.3
Macchine per la decontaminazione automatica

6.2.3 Lavaggio

Dopo essere stati decontaminati, i materiali vengono sottoposti ad una rigorosa procedura di lavaggio, che ha lo scopo di rimuovere i residui di sostanze organiche ed inorganiche. La qualità del lavaggio è un fattore di fondamentale importanza, perché proprio da questa dipende la sicurezza e l'efficacia della sterilizzazione. Tali operazioni vengono svolte in un'area dedicata delimitata fisicamente dalle altre aree produttive di centrale e possono essere effettuate mediante un metodo manuale o meccanico.

Prima di essere portati al lavaggio, l'operatore utilizza l'apposito sistema informatico di tracciabilità per effettuare l'accettazione dei dispositivi medici che verranno visualizzati per tipologia e quantità, consentendo a tutte le postazioni di visualizzare quanto dovrà essere processato. A questo punto, gli strumenti vengono presi in carico per poi essere suddivisi per tipologia di lavaggio in apposite griglie e disassemblati qualora lo strumentario presenti cremagliere, parti dentate, zigrinature, snodi o superfici cave che possono potenzialmente trattenere residui organici.

6.2.3.1 Lavaggio manuale

Il lavaggio manuale viene eseguito qualora non si disponga di macchine automatizzate o in caso di strumenti fragili o difficili da pulire. La procedura per la pulizia manuale prevede lo svolgimento delle seguenti operazioni:

- L'operatore prepara la vaschetta con il quantitativo di acqua necessario, procedendo poi ad aggiungere la dose prevista di detergente avendo cura

di rispettare le specifiche normative riguardanti la concentrazione e la temperatura.

- Lo strumentario viene poi posizionato su delle griglie identificate per reparto.
- L'operatore immerge la griglia nella vaschetta riempita precedentemente, lasciando agire il detergente per alcuni minuti.
- La soluzione detergente deve essere sostituita tutte le volte che si presenta visibilmente sporca.
- Una volta terminato il periodo di immersione, gli strumenti devono essere opportunamente spazzolati per rimuovere eventuali residui che non sono stati eliminati dal detergente. Possono essere inoltre utilizzati accessori come scovolini o pistole ad aria compressa per pulire al meglio materiali con cavità o lumi ristretti.

Poiché non tutti gli strumenti possono essere sottoposti ad un lavaggio manuale, in questa fase è importante monitorare continuamente se un dispositivo medico viene erroneamente sottoposto ad un processo di lavaggio non adatto.



Figura 6.4
Operatore alle prese con la pulizia manuale degli strumenti

6.2.3.2 Lavaggio meccanico

Il lavaggio meccanico prevede l'impiego di sistemi automatici per la detersione degli strumenti sanitari e il suo utilizzo viene preferito al metodo manuale in quanto riduce statisticamente la possibilità di infortuni degli operatori e permette il controllo di tutte le variabili del processo. Tra le tipologie più comuni di macchine per il lavaggio meccanico possiamo citare le macchine automatiche (lavastumenti termo-disinfettanti) o ad ultrasuoni.

Le macchine lavastumenti termo-disinfettanti costituiscono una valida alternativa per il lavaggio di una vasta gamma di materiali e garantiscono

una rimozione dello sporco uniforme grazie all'utilizzo di una concentrazione di soluzione detergente costante. Le lavastumenti utilizzano programmi di lavaggio standardizzati in base ai materiali da trattare e, a seguito dell'azione di detersione, viene associato un processo di disinfezione termica o chimica. Per garantire la corretta esecuzione del processo, gli operatori sono tenuti a caricare in modo opportuno gli strumenti in modo che non si sovrappongono gli uni con gli altri e disassemblare quegli strumenti che presentano più componenti da pulire, qualora non sia stato già fatto in precedenza. Inoltre, è fondamentale verificare la temperatura e la pressione dell'acqua utilizzata, il corretto dosaggio del detergente e il tempo del processo.

Il lavaggio ad ultrasuoni, invece, è un trattamento a sostegno del lavaggio manuale o del lavaggio con macchine lavastumenti ed è impiegato qualora siano presenti sostanze organiche solidificate sugli strumenti. Tipicamente, viene utilizzato per tutti quei dispositivi medici delicati o che presentano articolazioni e zigrinature, dove si accumula più facilmente lo sporco ostinato. Il lavaggio ad ultrasuoni si basa su un principio fisico chiamato "cavitazione ultrasonica", che consiste nella rimozione dello sporco mediante cavità o bolle di gas generate da onde ultrasoniche all'interno di un liquido che, una volta implose, creano un'energia d'urto contro la superficie dell'oggetto da pulire. Anche in questo caso, gli strumenti vanno immersi nella soluzione e smontati quando necessario, disponendoli sul cestello in modo tale da non avere zone d'ombra ed è necessario che gli operatori verifichino la corretta concentrazione della soluzione, della temperatura dell'acqua, della frequenza degli ultrasuoni e del tempo di contatto.



Figura 6.5
Lavastumenti termo-disinfettanti

L'utilizzo di macchine automatizzate permette agli operatori di controllare in modo più efficace le varie fasi del processo, di intervenire velocemente in caso di segnalazioni di anomalie e di poter consultare più facilmente i dati raccolti.

6.2.4 Risciacquo e asciugatura

A seguito delle procedure di lavaggio manuale o automatico, gli strumenti vengono risciacquati per eliminare eventuali residui del detergente per poi venire asciugati mediante pistole ad aria compressa, forni ad aria calda o panni di carta monouso. Terminata questa fase, il capo reparto controlla il corretto avvenimento del lavaggio mediante la lettura attenta dei parametri esposti sui macchinari e, in caso affermativo, manda tutte le griglie alla successiva fase del confezionamento.



Figura 6.6
Strumenti lavati e già suddivisi per griglie identificative numerate

6.2.5 Controllo e manutenzione strumentario

A ciascun operatore vengono assegnate dal cestello del lavaggio le griglie che costituiscono il kit da confezionare secondo il numero indicato dal sistema informatico. Queste griglie vengono poi posizionate accanto al container o alle buste che li conterranno in modo da organizzare i carrelli da lavoro.



Figura 6.7
Appoggio delle griglie sui container di riferimento

Prima del confezionamento e della sterilizzazione, lo strumentario viene sottoposto ad un accurato controllo visivo, funzionale e quantitativo al fine di valutarne l'idoneità in termini di pulizia, integrità e funzionalità.

- Il **controllo visivo** ha lo scopo di individuare l'eventuale presenza di residui di sporco, di acqua o di ruggine. In tal caso, i materiali che presentano ruggine vengono trattati con prodotti specifici prima del successivo confezionamento, quelli ancora sporchi vengono riportati al lavaggio, mentre quelli che presentano acqua vengono asciugati con aria compressa.
- Il **controllo funzionale** consente di verificare l'idoneità all'uso degli strumenti e, in caso di non idoneità, prevedere una manutenzione straordinaria a seconda della difettosità riscontrata. Gli interventi di manutenzione straordinaria prevedono l'utilizzo di apposite sostanze lubrificanti sugli snodi, nelle filettature e sulle superfici di scorrimento al fine di prevenire la corrosione da sfregamento dei metalli.
- Il **controllo quantitativo** ha lo scopo di verificare la corrispondenza in numero e in tipologia dello strumentario rispetto alla lista di composizione (check-list).



Figura 6.8
Operatore durante il controllo manuale degli strumenti

6.2.6 Confezionamento

Superata la fase di controllo, lo strumentario viene preparato e confezionato all'interno di un ambiente dedicato diverso da quello in cui si esegue il lavaggio. Esistono diversi metodi di confezionamento che dipendono dalla successiva procedura di sterilizzazione adottata e dalla tipologia di dispositivo medico da trattare. Tuttavia, la caratteristica fondamentale del confezionamento è che deve permettere la penetrazione dell'agente sterilizzante, garantire la conservazione della sterilità e ridurre il rischio di contaminazione del contenuto dopo l'apertura.

Tra i principali materiali e sistemi di imballaggio si possono citare i materiali di imballaggio monouso, quali la carta medical grade e le buste e i rotoli in accoppiato carta Kraft e i sistemi di imballaggio poliuso, ovvero i container.

Per quanto riguarda le effettive procedure di confezionamento, esse prevedono lo svolgimento di diverse attività in base alla tipologia del confezionamento da eseguire e al materiale da utilizzare.

6.2.6.1 Confezionamento in carta medical grade

Questa tipologia di confezionamento è destinata alla sterilizzazione mediante vapore e Ossido di Etilene ed è utilizzato principalmente per il confezionamento di teleria e set di strumenti chirurgici contenuti in griglia. Il confezionamento mediante carta medical grade è sicuramente uno dei più delicati e per questo motivo prevede l'utilizzo di un doppio strato di carta e la protezione dei materiali appuntiti e taglienti. È importante che i fogli utilizzati siano provvisti di indicatore chimico che attesti la corretta sterilizzazione e che il loro formato sia adeguato alle dimensioni degli oggetti da porre al loro interno.

La procedura prevede di:

- Verificare la quantità delle griglie numerate che compongono il kit da confezionare.
- Prelevare dal carrello della lavastrumenti il numero di griglie indicate.
- Comporre il kit seguendo la lista di composizione e l'indicazione sui raggruppamenti, proteggendo gli strumenti delicati mediante dei salvapunte.
- Spuntare sul sistema informatico gli strumenti che hanno superato con successo i controlli visivi, di integrità e di funzionalità.
- Disporre in maniera ordinata gli strumenti raggruppati all'interno della griglia, consultando l'eventuale foto della disposizione dello strumentario reperibile dal supporto informatico.
- Disporre la carta medical grade sul piano da lavoro in modo che non presenti rientranze o piegature.
- Posizionare la griglia con gli strumenti al centro del foglio e applicare all'interno del pacco l'indicatore del processo e la check list.
- Chiudere il pacco secondo la tecnica di confezionamento più idonea al materiale presente al suo interno in modo tale che la sua apertura non comprometta la sterilità del contenuto.

- Ultimare la confezione applicando due strisce di nastro indicatore che hanno il duplice scopo di sigillare il pacco e fungere da controllo visivo dell'avvenuta sterilizzazione e un'etichetta per l'identificazione e la tracciabilità con i seguenti dati: data di sterilizzazione, data di scadenza, codice dell'operatore responsabile del processo, numero dell'autoclave utilizzata e tipologia del contenuto.
- Terminato il confezionamento, è necessario verificare visivamente gli indicatori di qualità del processo che includono l'integrità della confezione, l'assenza di macchie, umidità o sporco sulla confezione e l'esattezza dei dati riportati sulle etichette.



Figura 6.9
Confezionamento dello
strumentario all'interno
della carta medical grade

6.2.6.2 Confezionamento in buste di carta Kraft e film polimerico

Questo sistema di confezionamento è destinato alla sterilizzazione mediante vapore e Ossido di Etilene e viene utilizzato per il confezionamento di materiali singoli o di piccoli set, come quelli per la medicazione. Rappresenta il metodo più rapido di confezionamento e, come quello spiegato in precedenza, prevede la protezione delle punte di strumenti acuminati e l'utilizzo di materiale in misura adeguata alle dimensioni dei dispositivi medici da inserire al loro interno. La procedura prevede di:

- Verificare la quantità delle griglie numerate che compongono il kit da confezionare.
- Prelevare dal carrello della lavastrumenti il numero di griglie indicate e posizzionarle nella postazione dedicata alle buste.
- Verificare che la busta da utilizzare non sia danneggiata.

- Proteggere le parti taglienti dei dispositivi e inserirli all'interno delle buste, prestando particolare attenzione a rivolgere la parte della presa verso l'apertura della busta per facilitarne l'estrazione ed evitare la contaminazione dello strumento.
- Termosaldare la busta creando un cordone continuo di almeno 8 mm.
- Come nelle confezioni con carta medica, all'esterno della confezione vanno applicati indicatori di processo e un'etichetta per l'identificazione e la tracciabilità del pacco.



Figura 6.10
Confezionamento dello
strumentario in una busta
di accoppiato carta e
polimero

6.2.6.3 Confezionamento in container

I container sono recipienti metallici destinati al contenimento di ferri chirurgici e biancheria in set mono-paziente e sono realizzati in un materiale rigido che li rende adatti alla sterilizzazione mediante vapore. Essi possiedono dimensioni variabili in base alla quantità di materiale che devono contenere e sono dotati di guarnizioni tra il coperchio e il fondo che garantiscono una chiusura ermetica. Il confezionamento mediante container rappresenta sicuramente il sistema di confezionamento più lungo e complesso: rispetto ai materiali precedentemente illustrati, infatti, i container sono in grado di ospitare al loro interno kit chirurgici composti fino a 200 strumenti, i quali devono essere accuratamente organizzati e suddivisi in diverse sottocategorie e posizionati dentro il container secondo una disposizione prestabilita. Questa fase richiede una notevole abilità da parte degli operatori, che devono essere in grado di riconoscere ciascun strumento e comprendere la loro collocazione all'interno del container. Inoltre, poiché questi ultimi sono progettati per essere riutilizzabili, è fondamentale sottoporli a rigorosi controlli di integrità e di pulizia ad ogni ciclo di confezionamento e a controlli di manutenzione programmata a cadenza regolare.



Figura 6.11
Postazione di
confezionamento

Guardando più nel dettaglio la procedura di confezionamento dei kit mediante container, l'operatore deve:

- Selezionare il kit di strumentario da confezionare e verificare la quantità delle griglie numerate che compongono il kit in container.
- Prelevare dal carrello della lavastrumenti il numero di griglie indicate e prendere il container relativo al kit da confezionare.
- Controllare l'efficienza e l'integrità del container (coperchio, spingi filtri, guarnizioni), assicurandosi che non vi siano ammaccature, abrasioni o deformazioni e che le targhette di riconoscimento siano ben visibili.
- Successivamente, procedere alla pulizia del container e di tutti gli elementi che lo compongono, sostituendo poi i filtri monouso.
- Terminata la fase di preparazione del container, attraverso gli appositi sistemi informatici selezionare il kit e visualizzare la distinta base che indica codici, descrizioni e quantità di tutti gli strumenti che lo compongono.

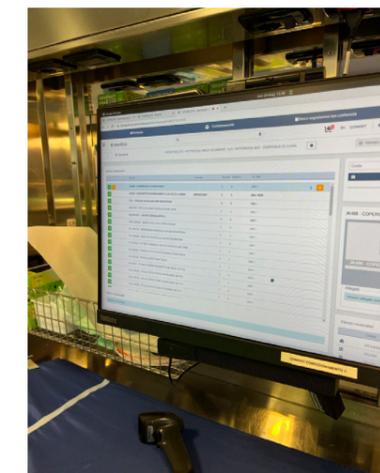


Figura 6.12
Visione della distinta base
del kit

- Iniziare la preparazione del kit seguendo la lista di composizione e l'indicazione dei vari raggruppamenti.

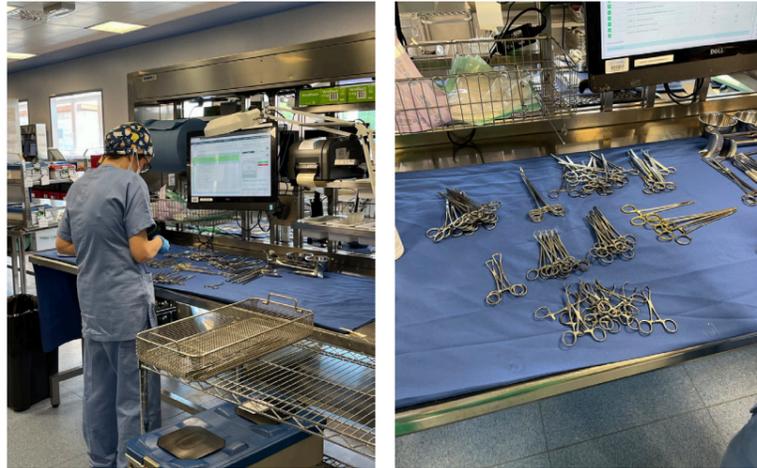


Figura 6.13
Raggruppamento degli strumenti sul tavolo da lavoro

- Spuntare sul sistema informatico gli strumenti che hanno superato con successo i controlli visivi, di integrità e di funzionalità.

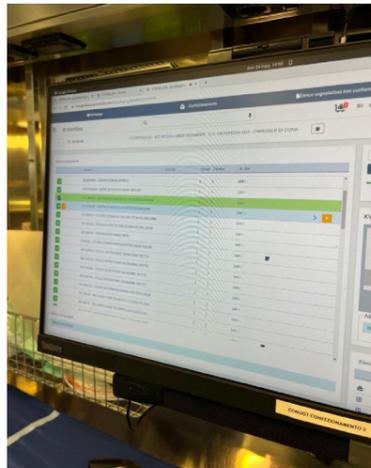


Figura 6.14
Spunta della checklist

- Effettuare man mano le foto dei raggruppamenti di strumentario eseguiti mediante la fotocamera per motivi di sicurezza in caso di chiamata alla non conformità del kit confezionato.
- Rivestire l'interno del container con un telo TNT al fine di permettere la manipolazione del contenuto in condizione di asepsi.
- Seguire la sequenza di raggruppamento e porre gli strumenti all'interno del kit, consultando l'eventuale foto della disposizione dello strumentario dal sistema informatico.
- Fermare poi i lembi del TNT con un nastro adesivo indicatore del processo e

chiudere il coperchio del container facendo attenzione che i lembi del telo non ostacolino la chiusura.

- Inserire all'interno delle confezioni da sterilizzare un indicatore di sterilità specifico per il tipo di agente sterilizzante utilizzato, mentre all'esterno pone un indicatore di processo che consente di classificare la confezione come sterilizzata e un'etichetta per l'identificazione e la tracciabilità con i seguenti dati: data di sterilizzazione, data di scadenza, codice dell'operatore responsabile del processo, numero dell'autoclave utilizzata e tipologia del contenuto.



Figura 6.15
Kit confezionati provvisti di sigillo con indicatore di processo ed etichetta identificativa

6.2.7 Sterilizzazione

La sterilizzazione è la fase principale dell'intero processo ed è volta a garantire l'ottenimento dell'asetticità assoluta con il massimo riguardo nei confronti dell'oggetto da sterilizzare. Anche in questa fase, l'operatore deve utilizzare l'apposito sistema informatico di tracciabilità per registrare la sterilizzazione dei dispositivi medici.

Esistono tre tipologie di sterilizzazione che si differenziano per l'agente sterilizzante utilizzato: sterilizzazione a vapore, sterilizzazione ad ossido di etilene e sterilizzazione con soluzioni di acido paracetico.

- **Sterilizzazione a vapore saturo:** è l'agente sterilizzante più impiegato in quanto rappresenta un'alternativa sicura, rapida, economica e soprattutto non inquinante. La sterilizzazione a vapore è adatta per la sterilizzazione dello strumentario chirurgico e materiale tessile e si ottiene mediante l'azione combinata di tre elementi (pressione, temperatura e tempo) garantite da apparecchiature specifiche chiamate autoclavi. Il loro funzionamento si basa sulla rimozione dell'aria contenuta nella camera di sterilizzazione mediante

l'aiuto del vapore e di una pompa di aspirazione. Lo strumentario viene quindi a contatto con il vapore allo stato puro che agisce sui microrganismi presenti sulla loro superficie.

- **Sterilizzazione ad ossido di etilene:** in questo caso l'agente sterilizzante è un gas, l'ossido di etilene, caratterizzato da un'elevata attività antimicrobica. Il trattamento è analogo a quello illustrato precedentemente, con l'unica differenza che al posto del vapore viene impiegato l'ossido di etilene. Ciò che limita l'utilizzo di questo sistema di sterilizzazione riguarda l'elevato costo ma soprattutto la tossicità del gas utilizzato, che impone specifici trattamenti di aerazione al fine di non arrecare danni all'organismo umano e l'impiego di personale altamente qualificato e in possesso di una patente per la manipolazione di gas tossici.
- **Sterilizzazione con soluzioni di acido peracetico:** rappresenta una sterilizzazione a circuito chiuso indicata per dispositivi mininvasivi (es. endoscopi) che si basa sull'immersione del materiale in una soluzione di acido peracetico ad una temperatura attorno ai 40-50°. Come nel caso precedente, anche l'acido peracetico può presentare tossicità per gli operatori esposti e per questo motivo il trattamento avviene mediante un'apparecchiatura a circuito chiuso atta a prevenire contaminazioni dell'ambiente di lavoro.



Figura 6.16
Autoclave per la
sterilizzazione con relativo
scontrino dei parametri del
processo

Al fine di accertare l'effettivo raggiungimento della sterilizzazione è necessario mettere in atto sistemi di controllo basati su metodi fisici, chimici e biologici.

6.2.7.1 Controlli fisici

Vengono effettuati mediante l'utilizzo di strumenti di misurazione (registratori, grafici, manometri) installati sui macchinari e permettono di controllare per tutta la durata del ciclo di sterilizzazione i parametri fondamentali, quindi il tempo, la

temperatura, la pressione e il vuoto.

Qui di seguito vengono esposti i tre principali cicli di convalida che gli operatori sono tenuti ad eseguire giornalmente o settimanalmente nelle autoclavi a vapore:

- **Ciclo di riscaldamento:** è un test da eseguire sul macchinario ogni mattina prima del suo avvio o qualora l'autoclave rimanga ferma per 4-6 ore e ha lo scopo di assicurare il corretto funzionamento del riscaldamento della macchina.
- **Test del vuoto:** il test del vuoto va anch'esso eseguito giornalmente a seguito del ciclo di riscaldamento e consiste nella creazione del vuoto nella camera dell'autoclave al fine di verificare che non vi siano infiltrazioni d'aria che possano compromettere la sterilizzazione.
- **Test Bowie-Dick:** rappresenta una verifica giornaliera da eseguire dopo il test di riscaldamento e il test del vuoto e che ha lo scopo di testare l'efficacia della penetrazione del vapore, utilizzando un pacco di prova standardizzato e mono uso.

6.2.7.2 Controlli chimici

I controlli chimici sfruttano le proprietà di alcune sostanze di reagire ad uno stimolo fisico (in questo caso tempo, temperatura, pressione e umidità) e di modificare il proprio aspetto di conseguenza.

Gli indicatori chimici si suddividono in:

- **Indicatori di processo:** consistono in nastri indicatori o etichette posti all'esterno di ogni contenitore al fine di distinguere quale materiale sia stato processato o meno.
- **Indicatori di sterilizzazione:** consistono in strisce contenenti inchiostri che variano il loro colore in funzione dei parametri di sterilizzazione. Essi vengono posizionati all'interno dei contenitori e dichiarano l'avvenuta sterilizzazione del materiale.

6.2.7.3 Controlli biologici

I controlli biologici avvengono a cadenza settimanale e consistono nell'utilizzo di preparati batterici innocui per testare l'efficacia del processo di sterilizzazione. Tale procedura serve infatti a garantire che gli agenti patogeni o microrganismi indesiderati vengano adeguatamente eliminati durante il processo di sterilizzazione al fine di assicurare un prodotto sicuro e sterile.

	Procedura	Frequenza	Azione
Controlli fisici	Ciclo di riscaldamento	Giornaliera	Esecuzione e registrazione
	Test del vuoto	Giornaliera	Esecuzione e registrazione
	Test Bowie-Dick	Giornaliera	Esecuzione e registrazione
	Parametri fisici	Ad ogni ciclo	Verifica visiva
Controlli chimici	Indicatore di processo	Ogni kit	Verifica visiva
	Indicatore di sterilità	Ogni kit	Verifica visiva
Controlli biologici	Prova biologica	Annualmente	Esecuzione e registrazione

6.2.8 Stoccaggio dei kit sterili

Lo stoccaggio dei kit sterilizzati rappresenta una fase molto importante dell'intero processo, poiché è proprio da questa che dipende il corretto mantenimento della sterilità nel corso del tempo. A seguito dello scarico dei kit dalle autoclavi, è essenziale che essi vengano conservati in appositi armadietti chiusi all'interno di un ambiente opportunamente pulito e mantenuto in condizioni di umidità e temperatura controllati. Così facendo, si garantisce che i kit appena sterilizzati non vengano contaminati da agenti esterni e che siano pronti per l'uso quando necessario.

L'operatore che effettua lo stoccaggio del materiale dovrà, nel riporre il materiale, verificare che:

- L'indicatore di sterilizzazione visibile sulla parte esterna di ciascuna confezione sia virato completamente e in maniera uniforme nella colorazione prevista, attestando così l'avvenuta sterilizzazione del kit.

Materiale di confezionamento	Prima	Dopo
Nastri indicatori		
Buste carta Kraft/polimero		
Buste carta		
Etichette container		

- Le confezioni in carta e in busta siano integre e prive di macchie, i cordoni di saldatura siano stati effettuati correttamente e i container siano ben sigillati.
- Le confezioni non presentino al loro interno tracce di acqua o condensa.
- Le etichette poste sulle confezioni sterili siano ben leggibili e integre.
- Il materiale sterile sia riposto negli armadi in modo tale che vengano utilizzati prima quelli con la data di sterilizzazione meno recente.

L'ultimo punto è importante al fine di gestire al meglio le scadenze dei kit sterilizzati. Ciascuna tipologia confezionamento, infatti, possiede una garanzia della sterilità diversa: in condizioni di stoccaggio ottimali, la carta medical grade garantisce 30 giorni di sterilità, le buste e i rotoli in carta Kraft e polimero 60 giorni mentre infine i container 30 giorni.

Capitolo 7

Sviluppo del protocollo operativo

Nuovi scenari di efficienza per le imprese

La decisione di sviluppare un protocollo operativo nel contesto del progetto di tesi nasce dalla volontà di creare una metodologia di lavoro universale che possa adattarsi efficacemente a procedure caratterizzate da operazioni di processo simili tra di loro. L'obiettivo è quello di fornire un progetto standardizzato e strutturato che possa risolvere con la stessa dinamica problematiche comuni a più processi, ottimizzandone l'efficienza e facilitando lo scambio di conoscenze tra procedure simili. A partire dall'analisi del processo di sterilizzazione dei kit chirurgici illustrato nel capitolo precedente, verranno individuate delle operazioni di processo chiave che costituiranno il punto di partenza per la ricerca di fasi analoghe in altri ambiti industriali. Una volta identificati processi simili tra di loro, verranno esaminate in modo approfondito le problematiche relative alle operazioni svolte in tali fasi, con lo scopo di proporre uno sviluppo di progetto che miri alla risoluzione di tali questioni.

7.1 Definizione delle parole chiave

Come già descritto in precedenza, il processo di sterilizzazione dei kit chirurgici è articolato in una serie di fasi consequenziali che hanno come scopo quello di ottenere uno strumentario sterile e idoneo ad un utilizzo sicuro a contatto con i pazienti. Tra le diverse fasi coinvolte, il confezionamento rappresenta sicuramente l'attività più lunga e complessa da gestire: gli operatori, infatti, oltre a dover riconoscere ogni strumento, devono essere in grado di collocarli all'interno delle griglie del container secondo precise disposizioni che dipendono dalla destinazione finale del kit. Inoltre, la complessità delle operazioni dipende anche dalla numerosità degli strumenti con cui gli operatori devono interfacciarsi nel confezionamento e nel controllo qualità di ogni singolo kit.

Dovendo descrivere in parole chiave gli aspetti fondamentali che caratterizzano questa fase, essi si potrebbero distinguere in:

- Catalogazione e organizzazione di oggetti e componenti
- Controllo qualità manuale del processo o di una sua parte
- Grande mole di oggetti da processare
- Presenza di una check-list di riferimento per lo svolgimento delle operazioni

7.2 Ricerca processi di produzione simili

I seguenti paragrafi andranno ad illustrare più nel dettaglio una serie di processi di produzione caratterizzati dalla presenza dei quattro fattori chiave appena menzionati.

7.2.1 Settore automotive

Il settore dell'automotive è un ramo dell'industria manifatturiera dedicato alla progettazione e produzione di veicoli a motore. Nonostante i numerosi cambiamenti a livello normativo e commerciale avvenuti nel corso degli ultimi anni, l'industria automobilistica rappresenta sicuramente uno dei settori più influenti nel mercato Italiano e mondiale. Basti pensare che a livello globale il settore dell'automotive vale circa 2,86 trilioni di dollari statunitensi [53] mentre in Italia, nel 2022, la spesa per l'acquisto e l'esercizio degli autoveicoli è stata di oltre 207,3 miliardi di euro, pari al 10,9% del PIL. [54] Uno dei fattori che contribuisce in modo significativo al successo dell'industria automobilistica è rappresentato dall'elevata produttività che caratterizza gran parte delle aziende produttrici, favorita negli ultimi anni dall'introduzione di pratiche sempre più digitali ed automatizzate. Si stima infatti che nel mondo, ogni secondo, due automobili escono dalla linea produttiva e sono pronte per essere messe in circolazione. Ciò significa che ogni ora vengono prodotte 7200 unità. Oltre ad essere caratterizzata da un'elevata produttività, la produzione di automobili richiede un importante livello di complessità tecnica: ogni singolo veicolo è composto da circa 30000 pezzi distinti, rendendo necessaria una meticolosa pianificazione della produzione e una scrupolosa attenzione alla qualità per soddisfare le esigenze dei clienti e mantenere una produzione sostenibile nel tempo.



Figura 7.1
Tecnici durante le
operazioni di assemblaggio
di un'automobile

Per quanto riguarda la produzione dei veicoli, essa ha inizio con una fase di progettazione e pianificazione della vettura sulla base delle esigenze e degli optional richiesti dal cliente. Una volta stabilita la distinta base di tutti i componenti necessari per la realizzazione del veicolo, ciascuno di essi viene identificato con un ID univoco per poi essere organizzato e catalogato al fine di garantire il suo corretto posizionamento all'interno della vettura durante la fase di assemblaggio, evitando qualsiasi tipo di errore. A questo punto viene generata la sonata, che consiste nella prenotazione della linea di montaggio sulla base delle

specifiche tecniche del veicolo. L'auto può così cominciare ad essere prodotta e durante tutta la catena di montaggio l'automobile viene sottoposta a continui test funzionali condotti da macchine o da esperti che verificano la qualità dell'assemblaggio ed eventuali scostamenti rispetto agli standard previsti. Sebbene gran parte delle case automobilistiche stiano adottando misure che mirano ad un'automazione dei processi e del controllo qualità, l'intervento umano è ancora ritenuto essenziale: l'esperienza e la competenza di personale qualificato consente infatti di individuare difetti che potrebbero sfuggire a sistemi di controllo automatizzati e di intervenire velocemente in situazioni impreviste o complesse. Qualora il veicolo superasse i controlli di qualità, esso verrà preparato per la consegna al cliente finale.

I medesimi processi, seppur con minime differenze, valgono anche per il settore aerospaziale e motociclistico.

7.2.2 Industria farmaceutica

Il processo di produzione dei farmaci è un settore chiave nell'industria sanitaria ed è di fondamentale importanza per garantire ai pazienti farmaci sicuri ed efficaci. Le operazioni di produzione devono rispettare, infatti, una serie di norme e linee guida, le così dette Good Manufacturing Practices o GMP, per assicurare prodotti conformi agli standard di qualità richiesti.

Il processo può essere suddiviso in quattro fasi distinte: formulazione del farmaco, produzione, controllo qualità e confezionamento ed etichettatura. [55] Il processo di formulazione del farmaco ha inizio con la fase di ricerca e sviluppo, che vede esperti e scienziati del settore impegnati nello sviluppo di nuovi farmaci per soddisfare le esigenze di medici e pazienti e per stare al passo con gli ultimi avanzamenti scientifici. Una volta ottenuta la formulazione del farmaco, si procede alla produzione su larga scala: al fine di garantire standard elevati di qualità e un maggior controllo del processo di produzione, in questa fase viene implementato l'utilizzo di check-list. Così facendo, l'azienda rispetta le normative di processo, assicurandosi che le quantità e i tempi di lavoro del farmaco siano adeguati. Le operazioni di produzione del farmaco sono perlopiù manuali e coinvolgono attività come il miscelamento della giusta quantità di materie prime per raggiungere la formulazione prevista e il trasferimento del materiale tra diversi macchinari fino ad ottenere il prodotto finito. È importante sottolineare che tali operazioni sono svolte manualmente poiché sono soggette a rigide regolamentazioni che ne limitano la completa automatizzazione. Ciò significa che gli operatori rivestono un ruolo attivo e indispensabile nella produzione, in quanto devono attenersi scrupolosamente al protocollo e alle ispezioni visive di qualità per minimizzare il più possibile eventuali errori umani

nonostante la grande quantità di materiale da dover gestire autonomamente. Una volta ottenuto il prodotto finito, vengono effettuati rigorosi test qualitativi per accertare la conformità del farmaco rispetto alla formulazione di partenza e quindi la sua sicurezza ed efficacia per l'uso previsto. Qualora il prodotto farmaceutico abbia superato con successo tutti controlli, esso viene mandato alla fase di confezionamento dove viene assemblato in blister, flaconi o altri sistemi di erogazione. Avviene poi il secondo importante controllo di qualità, in cui si va a verificare l'integrità del blister e del packaging secondario. Nella maggior parte delle imprese questo processo viene svolto da macchine automatizzate in cui l'uomo ha un ruolo marginale nella supervisione per questioni di velocità ed efficienza di processo.



Figura 7.2
Operatore durante
l'ispezione visiva dei
farmaci

7.2.3 Industria orologiera

L'industria orologiera rappresenta il settore che si occupa della progettazione, produzione e commercializzazione di orologi. Nata verso la metà del XVI secolo a Ginevra in risposta al divieto imposto da Calvino di indossare gioielli, l'industria orologiera rappresenta da allora il fiore all'occhiello dell'economia svizzera, occupando il terzo posto nella statistica delle loro esportazioni. [86] La produzione di orologi è un'attività che unisce l'arte dell'orologeria tradizionale all'innovazione, dove si richiedono competenze altamente specializzate per la lavorazione di materiali preziosi e una manualità unica per l'assemblaggio dei componenti e per il rigoroso controllo qualità. È chiaro come la presenza dell'uomo nella produzione di questi artefatti rappresenti un aspetto imprescindibile e irrinunciabile: la lavorazione e l'assemblaggio dei componenti, infatti, richiedono una precisione e una sensibilità tale che solo la destrezza manuale può assicurare.

La prima fase del processo consiste nella progettazione dell'orologio da parte di ingegneri e designer che, a partire dai requisiti estetici richiesti dal cliente,

propongono uno studio sui dettagli funzionali dei meccanismi e della fattibilità tecnica ed estetica. Una volta che il progetto ha ottenuto l'approvazione, si procede alla realizzazione di tutti i componenti necessari per dar vita all'orologio. In questa fase la precisione gioca un ruolo di fondamentale importanza poiché anche la più piccola variazione nelle dimensioni di un componente potrebbe compromettere la funzionalità e l'integrità dell'orologio finito. Pertanto, ciascun componente viene sottoposto a rigorosi controlli di qualità che ne attestino la conformità rispetto agli standard prefissati. Superati i controlli, i componenti vengono ordinati all'interno di un kit in base alla loro funzione nell'assemblaggio e poi consegnati all'orologiaio. Un orologio meccanico semplice contiene all'incirca 180 componenti mentre gli orologi più complessi anche fino ai 700. È in questa fase che entra in gioco la manualità dell'orologiaio che oltre a dover gestire una grande quantità di componenti, spesso di piccolissime dimensioni, deve essere in grado di saperli posizionare con precisione all'interno dell'orologio e svolgere allo stesso tempo un rigoroso controllo della qualità.



Figura 7.3
Orologiaio durante
l'assemblaggio di un
orologio

7.2.4 Produzione schede elettroniche

Il processo di produzione delle schede elettroniche è il procedimento attraverso il quale vengono fabbricate le schede elettroniche, anche conosciute come PCB o Printed Circuit Board, presenti all'interno di tutti i dispositivi elettronici che ci circondano. Questo si rivela essere un processo di estrema importanza nell'attuale panorama socio-tecnologico, caratterizzato da un ruolo pervasivo dei dispositivi elettronici nelle nostre vite: sia a livello personale che lavorativo, infatti, siamo continuamente immersi in un ambiente in cui gli strumenti tecnologici sono diventati indispensabili e senza i quali non riusciamo più a vivere. Tutto ciò genera effetti immediati sul continuo aumento della domanda di dispositivi più compatti, leggeri ed efficienti che siano in grado di coniugare prestazioni avanzate ad una riduzione delle dimensioni delle schede elettroniche. [56]

La prima fase del processo prevede la progettazione della scheda elettronica da parte di un team di ingegneri specializzati, i quali, sulla base delle specifiche tecniche definite dal cliente, elaborano lo schema del circuito mediante software CAD e definiscono in una distinta base una lista di tutti i componenti elettronici necessari per la successiva fase dell'assemblaggio. Questi componenti vengono poi inseriti all'interno di un layout digitale che definisce la loro posizione esatta sulla scheda elettronica nel modo più efficiente possibile, tenendo in considerazione fattori come la dimensione, l'interferenza elettromagnetica e il percorso compiuto dai segnali. Successivamente, si procede alla fase vera e propria di assemblaggio dei componenti che consiste nel montaggio di questi ultimi sul circuito stampato e alla loro saldatura sulla scheda: queste operazioni possono essere svolte manualmente o mediante l'ausilio di macchine automatizzate a seconda delle dimensioni del lotto produttivo e dalla presenza o meno di componenti delicati e sensibili. Terminata la fase di saldatura, il personale qualificato procede al collaudo e alle ispezioni visive della scheda, volte a verificare la qualità del batch produttivo e la corrispondenza con quanto definito nei software di programmazione a monte del processo. Nonostante il trend stia procedendo verso un'automazione sempre più spinta del controllo qualità dovuta alla crescente complessità delle schede elettroniche di ultima generazione, la presenza della supervisione umana risulta ancora di fondamentale importanza lungo tutto il processo di produzione. Sebbene l'automazione abbia indubbiamente contribuito al miglioramento dell'efficienza e della velocità delle ispezioni, esistono ancora alcuni aspetti che richiedono l'intervento umano per essere valutati adeguatamente. Ad esempio, i test funzionali complessi richiedono competenze specifiche e un'approfondita conoscenza delle specifiche di progetto, mentre la valutazione delle prestazioni di un circuito potrebbe prevedere la manipolazione di parametri e l'analisi delle risposte ad eventuali anomalie, un compito che solo la manualità dell'uomo può svolgere in maniera accurata.

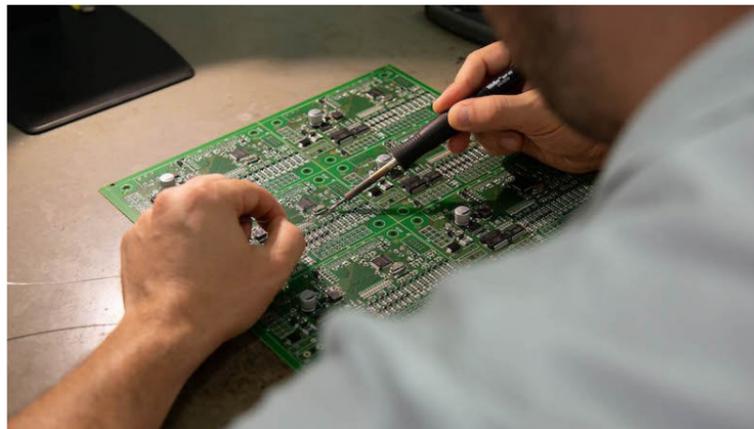


Figura 7.4
Saldatura manuale di
componenti sulla scheda
elettronica

7.2.5 Produzione di dispositivi medici

Al giorno d'oggi, i dispositivi medici costituiscono un settore in rapida espansione grazie agli enormi progressi ottenuti attraverso l'impiego di nuovi materiali e tecnologie che hanno contribuito a ricercare soluzioni innovative. La norma ISO 13845 definisce i dispositivi medici come «un qualsiasi strumento, apparecchio, impianto, sostanza o altro prodotto, utilizzato da solo o in combinazione e destinato dal fabbricante ad essere impiegato nell'uomo a scopo di diagnosi, prevenzione, controllo, terapia o attenuazione di una malattia»

Sebbene il processo di produzione possa subire alcune variazioni a seconda del dispositivo medico che si vuole ottenere, è possibile comunque stabilire una serie di operazioni generali che accomunano la realizzazione di tutti i dispositivi.

[57] Il processo ha inizio con una prima importante fase di progettazione del design e di tutte le funzionalità specifiche che il nuovo apparecchio medico dovrà possedere: mediante l'utilizzo di software CAD dedicati, un team composto da ingegneri e da designer avrà il compito di creare una serie di modelli virtuali dettagliati con lo scopo di testare le proprietà critiche del prodotto e realizzare successivamente un prototipo funzionante stampato in 3D. I prototipi svolgono, infatti, un ruolo cruciale nello sviluppo dei dispositivi medici poiché consentono ai progettisti di verificarne la forma e le funzionalità prima di procedere con l'effettiva produzione e di ricevere immediatamente feedback importanti per il miglioramento del prodotto stesso con un minor dispendio di tempo e di risorse. Una volta completato il progetto del dispositivo medico e tutte le fasi di test e di ottimizzazione del prototipo, quest'ultimo deve ottenere l'approvazione regolatoria da parte di autorità esterne competenti come la Food and Drug Administration (FDA) negli Stati Uniti o l'agenzia regolatoria europea (EMA). Dopo aver ottenuto l'approvazione da parte degli enti certificati, il processo può proseguire con l'acquisto dei materiali necessari per la successiva fase di produzione, tenendo conto della lista di componenti richiesti e degli standard di qualità e di sicurezza che questi ultimi devono necessariamente soddisfare. I componenti vengono poi fabbricati utilizzando la tecnica di lavorazione più idonea al processo in termini di personalizzazione del prodotto e di materiali da processare. Tra le metodologie di lavorazione più utilizzate in ambito di dispositivi medici si possono citare la lavorazione meccanica, la fusione e la stampa 3D. Una volta che tutti i componenti necessari sono stati prodotti, a ciascuno di essi viene assegnato un codice identificativo univoco che include informazioni dettagliate come nome e numero di serie, utile per gli operatori che in qualunque istante della catena di produzione sono in grado di identificarli con precisione. È poi compito di tecnici specializzati procedere all'assemblaggio del dispositivo medico: questa fase richiede infatti un'abilità manuale e una precisione

estremamente elevata, soprattutto nel caso di dispositivi complessi come le protesi, dove le richieste di personalizzazione al paziente e la complessità delle forme richiedono un intervento esclusivamente umano e una rigorosa ispezione visiva in itinere. Terminato l'assemblaggio, tutti i dispositivi vengono sottoposti ad ulteriori test e controlli con lo scopo di verificare la corretta funzionalità, la loro resistenza e la conformità alle specifiche tecniche o alle esigenze specifiche del paziente. Qualora questi controlli venissero superati con successo, i dispositivi medici vengono imballati e successivamente spediti al cliente finale.

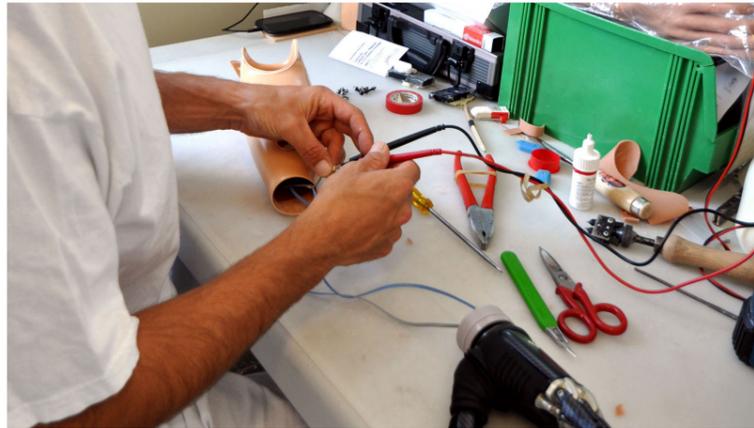


Figura 7.5
Tecnico durante
l'assemblaggio di una
protesi

7.2.6 Filiera dei prodotti ortofrutticoli

La filiera dei prodotti ortofrutticoli rappresenta l'insieme di tutte le fasi che caratterizzano il processo di produzione di frutta e verdura, a partire dalla loro raccolta fino alla distribuzione ai clienti finali. Il settore dell'ortofrutta in Italia vanta oltre 300.000 aziende distribuite in tutto il territorio per un valore di mercato di circa 15 miliardi di euro: è chiaro quindi come questo settore rappresenti un'eccellenza del Made in Italy, con un impatto significativo sull'economia e sul territorio. [58]

Nonostante il processo di lavorazione differisca per ciascuna tipologia di frutta e verdura, è comunque possibile individuare una serie di operazioni generali che le accomunano. La filiera produttiva ha inizio con la fase di raccolta della materia prima: questa rappresenta una delle fasi più importanti del processo poichè la freschezza e la qualità della frutta e degli ortaggi dipendono dalla scelta del momento più opportuno per la raccolta. Successivamente, tutti i prodotti raccolti vengono trasportati al centro di lavorazione più vicino dove viene effettuata una prima ispezione visiva della qualità dei frutti e ortaggi in arrivo, con lo scopo di individuare quei prodotti che non soddisfano gli standard di qualità richiesti dal mercato e che quindi non possono procedere alle lavorazioni successive. I prodotti che risultano idonei, invece, vengono sottoposti

al processo di mondatura: nello specifico, in questa fase si vanno a privare dal frutto o dall'ortaggio tutte quelle parti che non sono commestibili come ad esempio parti danneggiate, bucce o radici. Tutto ciò può essere svolto in maniera manuale dal personale che sta lavorando il prodotto situato su banconi o su nastri trasportatori oppure per mezzo di sistemi e macchinari completamente automatizzati. Dopo aver portato a termine la fase di mondatura, la frutta e la verdura viene accuratamente lavata e spazzolata dagli operatori al fine di rimuovere tutto lo sporco ed eventuali residui di pesticidi presenti sulla loro superficie per poi venire classificati ed organizzati in base a determinati fattori quali dimensione, forma, colore e integrità. Questa specifica suddivisione è volta a garantire che solo i prodotti di alta qualità vengano selezionati per il consumo e la commercializzazione, mentre quelli che possiedono una qualità inferiore vengono destinati a scopi diversi come la lavorazione per prodotti trasformati o la rivendita ad un prezzo inferiore. Una volta organizzati, i prodotti ortofrutticoli vengono tagliati e sottoposti ad un trattamento termico qualora il prodotto finito lo richiedesse per poi essere trasportati fino all'area di confezionamento, dove vengono confezionati in contenitori appropriati al fine di garantire la qualità e la freschezza per tutta la sua vita commerciale. I prodotti confezionati vengono quindi etichettati ed immagazzinati in attesa di essere distribuiti ai clienti finali. È importante sottolineare che il processo di produzione di frutta e verdura è caratterizzato da un'elevata quantità di prodotti da lavorare e che, per questo motivo, tutte le operazioni vengono eseguite in modo meticoloso e sistematico seguendo delle apposite check-list. Queste rappresentano uno strumento essenziale per garantire la conformità ai rigorosi requisiti di qualità e di sicurezza, oltre che facilitare la tracciabilità del processo e consentire il controllo accurato di eventuali anomalie.



Figura 7.6
Ispezioni visive sulla
materia prima in arrivo

	Catalogazione e organizzazione	Controllo qualità manuale	Grande mole di oggetti	Presenza di checklist
Settore automotive	Ciascun componente è identificato da un ID univoco e viene catalogato in base alla sua posizione all'interno del veicolo.	Vengono effettuate ispezioni visive sul veicolo per individuare eventuali scostamenti dagli standard di qualità previsti.	Ciascuna automobile è composta da circa 30000 pezzi distinti da assemblare.	Dopo la fase di progettazione, si crea una distinta base di tutti i componenti necessari alla realizzazione del veicolo.
Industria farmaceutica	Ogni farmaco richiede una formulazione specifica con materie prime che devono essere accuratamente dosate prima della produzione.	La produzione comporta una serie di attività manuali che richiedono un rigoroso controllo in ogni fase per garantire gli standard di qualità stabiliti.	Durante la fase di produzione e di confezionamento gli operatori devono gestire una grande quantità di materie prime da combinare e poi di prodotti finiti da confezionare.	Durante la produzione vengono utilizzate delle check-list per controllare che ogni operazione sia svolta in modo conforme alle normative.
Industria orologiera	Dopo essere stati prodotti, i componenti dell'orologio vengono organizzati in un kit in base alla loro funzione e poi consegnati all'orologiaio per l'assemblaggio.	Il controllo qualità è un processo manuale eseguito da esperti sia per i componenti appena prodotti sia durante l'assemblaggio dell'orologio.	Durante la fase di assemblaggio, l'orologiaio deve gestire dai 180 componenti, nel caso di orologi meccanici semplici, fino ai 700, nel caso di orologi più complessi.	Dopo la progettazione, si realizza la distinta base di tutti i componenti che sono necessari per la realizzazione di un orologio.
Schede elettroniche	I componenti elettronici vengono organizzati in un layout digitale per determinare la loro corretta posizione sulla scheda in base a parametri fondamentali.	Nel controllo qualità l'intervento umano rimane essenziale per eseguire test complessi e per valutare e regolare i parametri di processo.	L'assemblaggio e la saldatura delle schede richiede un'estrema manualità per via delle molteplici componenti da applicare che sono spesso di dimensioni piccolissime.	In base alle esigenze dei clienti, si progetta lo schema della scheda e si descrive in una checklist tutti i componenti necessari all'assemblaggio.

Dispositivi medici	I componenti sono identificati con un codice univoco che contiene nome, numero di serie, specifiche e altre informazioni per il monitoraggio in produzione.	La necessaria personalizzazione e la complessità dei dispositivi medici richiedono interventi umani e ispezioni visive rigorose durante l'assemblaggio.	Dispositivi più complessi come le protesi richiedono grandi abilità manuali per l'assemblaggio preciso di numerose componenti.	Terminata la fase di prototipazione si definiscono i componenti necessari per la produzione, considerando gli standard di sicurezza e qualità richiesti.
Industria farmaceutica	I prodotti ortofrutticoli vengono suddivisi in gruppi omogenei basati su dimensioni, forme e colori per variare le distribuzioni in base alla qualità.	L'operatore esegue controlli visivi all'inizio e durante la lavorazione per rilevare problemi nel prodotto e, se necessario, interrompe o modifica il processo in corso.	La grande quantità di prodotti da trattare è dovuta alla produzione su larga scala per il mercato nazionale e non e alla varietà richiesta dai consumatori.	Le check-list vengono adoperate lungo tutto il processo di produzione di frutta e verdura per controllare le operazioni, l'etichettatura e le condizioni di stoccaggio.

7.3 Definizione del protocollo operativo

L'obiettivo principale nello sviluppo del protocollo operativo è quello di valorizzare il lavoro manuale nei processi di produzione in cui l'intervento umano rimane ancora essenziale. Si mira quindi a garantire che la tecnologia sia al servizio dell'utente, invertendo il paradigma sempre più affermato delle nuove smart factories dove è previsto invece il contrario. La scelta di adottare la realtà aumentata come tecnologia di ausilio al personale è finalizzata ad offrire notevoli vantaggi sia all'azienda ma soprattutto all'operatore stesso. Da un lato, l'impresa beneficia di processi di produzione più snelli ed efficienti dovuti all'ottimizzazione delle operazioni e alla riduzione di eventuali errori umani. Dall'altro lato, l'operatore sperimenta significativi miglioramenti nella sua attività lavorativa, aumentando la velocità e l'efficienza delle operazioni grazie all'accesso immediato a informazioni e istruzioni e riducendo il carico cognitivo attraverso la semplificazione di attività complesse e una gestione più controllata della mole degli oggetti da processare. Garantendo un maggior benessere all'operatore, si promuove un ambiente lavorativo più sereno e di qualità, con una conseguenza diretta sulla produttività e sull'immagine aziendale.

Due delle principali problematiche correlate alla gestione e al controllo qualità manuali di oggetti, riguarda da un lato l'alta probabilità di commettere errori

umani durante lo svolgimento di attività complesse e dall'altro una più lenta esecuzione delle operazioni. Poiché i processi appena esposti sono caratterizzati dalla gestione da parte degli operatori di una grande mole di oggetti in entrata e dallo successivo svolgimento di operazioni di assemblaggio e di ispezioni visive piuttosto complesse, un intervento esclusivamente umano potrebbe portare ad inesattezze ed errori di valutazione durante i controlli qualità e a possibili errori nell'ordine o nella corretta installazione dei vari componenti durante la fase di assemblaggio. È importante, dunque, considerare l'impatto del carico cognitivo a cui sono sottoposti gli operatori sulle prestazioni e sulla qualità del loro lavoro: affrontare una serie di compiti impegnativi che richiedono un'elevata concentrazione e attenzione ai dettagli e, al tempo stesso, dover gestire un gran numero di oggetti, può causare un sovraccarico cognitivo per l'operatore che limita la sua capacità di attenzione e di prendere decisioni lucide, portando necessariamente ad un aumento della possibilità di commettere errori e di rallentare le operazioni. A questo proposito, la realtà aumentata sarebbe in grado di offrire un supporto concreto all'operatore lungo tutte le fasi del processo, valorizzando il suo lavoro e non sostituendolo. Grazie alla visione in tempo reale delle istruzioni operative e al supporto nell'identificazione degli oggetti in entrata, gli operatori possono concentrarsi maggiormente sull'esecuzione corretta delle operazioni e sul controllo qualità, gestendo al meglio il carico cognitivo per poter affrontare un turno lavorativo con maggiore serenità ed efficienza. Un altro aspetto significativo da tenere in considerazione per lo sviluppo del protocollo operativo, riguarda la volontà di non annullare il lavoro mnemonico del personale: l'obiettivo è quello di mantenere un equilibrio tra l'utilizzo della tecnologia come supporto e la capacità mnemonica umana, consentendo agli operatori di sfruttare appieno le risorse della realtà aumentata senza però perdere la capacità di pensiero critico e l'esperienza accumulata.

Passando dunque a quello che potrebbe essere un workflow di operazioni adattabili a tutti i processi, possiamo identificare tre attività chiave da tenere in considerazione:

- Una prima fase comune a tutti i processi è quella dell'**accettazione e dell'identificazione dei componenti**: qui la realtà aumentata può fornire un supporto concreto all'operatore in tutte quelle attività che coinvolgono la presa in carico di una grande mole di oggetti e la loro successiva identificazione. Quest'ultima può avvenire mediante la lettura di un barcode o di un codice identificativo, dove presente, oppure mediante algoritmi di apprendimento automatico integrati nel visore per realtà aumentata. In questo modo, l'operatore è in grado di comprendere rapidamente con quali componenti sta interagendo e ottenere quindi informazioni visive

immediate riguardanti dettagli aggiuntivi sull'oggetto, come per esempio istruzioni, etichette o dati tecnici. Inoltre, l'identificazione degli oggetti mediante realtà aumentata può favorire e migliorare la formazione di nuovi operatori che possono, in questo modo, essere guidati più rapidamente all'apprendimento di nuovi componenti e delle informazioni tecniche ad essi correlate.

- Una volta identificati, i componenti devono essere **catalogati ed organizzati** in funzione della loro destinazione finale nella fase di assemblaggio o confezionamento. In questo caso, la realtà aumentata fornisce un importante supporto all'operatore, a cui viene suggerita la corretta organizzazione dei tanti componenti in entrata e gli step di assemblaggio da seguire mediante la proiezione nel suo campo visivo di informazioni e istruzioni operative digitali. L'interfaccia della realtà aumentata, quindi, provvederà in primo luogo a suggerire all'operatore un layout virtuale in cui posizionare i vari elementi in funzione del loro ruolo all'interno del prodotto finito, per poi guidare, qualora necessario, il corretto assemblaggio di tali componenti, intervenendo per segnalare eventuali posizionamenti scorretti o la mancanza di elementi. Prendendo come esempio concreto il processo di produzione di veicoli, prima della fase di assemblaggio è sempre necessario che tutti i componenti vengano organizzati in base al loro posizionamento all'interno della vettura. Grazie alla realtà aumentata, quindi, il tecnico potrà visualizzare davanti a sé uno schema digitale che gli permetterà mediante diversi colori o variazioni di luminosità di organizzare correttamente nello spazio ciascun componente, evitando di commettere errori di distrazione per via della grande quantità di oggetti da organizzare e velocizzando inoltre l'intero processo. Successivamente, il tecnico verrà guidato anche nella fase di assemblaggio, in cui i componenti precedentemente organizzati dovranno essere assemblati nel telaio della vettura seguendo tutti gli step suggeriti dall'interfaccia della realtà aumentata. Così come questo principio è stato applicato al processo di produzione delle vetture, esso si può estendere efficacemente anche a tutti gli altri contesti industriali. La realtà aumentata, infatti, rappresenta una tecnologia estremamente versatile che si adatta a qualunque contesto produttivo semplicemente modificando la configurazione e l'addestramento del sistema in funzione delle esigenze specifiche di ciascun processo. Ciò che si richiede è, pertanto, di fornire al visore un layout organizzativo e un procedimento di assemblaggio specifico del processo, così che esso sia in grado di riconoscere e interagire con gli elementi di ogni contesto e fornire indicazioni personalizzate. Sebbene la realtà aumentata venga utilizzata per guidare gli operatori al corretto

svolgimento delle attività lavorative, è fondamentale che si continui ad incentivare lo sviluppo delle loro capacità mnemoniche. Attraverso lo sviluppo di training specifici, è possibile incoraggiare l'operatore a memorizzare le informazioni e le procedure chiave del loro lavoro, così che la realtà aumentata venga utilizzata come uno strumento di conferma e monitoraggio delle operazioni piuttosto che come una direttiva da seguire passivamente.

- Le **checklist** rappresentano uno strumento di fondamentale importanza all'interno delle imprese in quanto permettono di coordinare efficacemente tutte le fasi processo e di ottenere un prodotto di qualità e conforme alle normative di riferimento. Esse nascono come un elenco organizzato e sistematico di elementi, azioni o punti chiave che gli operatori sono tenuti a seguire attentamente per completare con successo una determinata attività e per fronteggiare dimenticanze o errori che potrebbero inficiare sulla qualità del prodotto finito. Pur essendo fondamentali per una gestione efficace di tutti i processi lavorativi, spesso le checklist rappresentano un impedimento per i lavoratori: questo dipende dal fatto che, sia che esse siano sottoforma di fogli stampati che di elenchi digitali da spuntare, le checklist inducono costantemente l'operatore a distogliere l'attenzione dai componenti che stanno processando per controllare e barrare di volta in volta gli elementi dalla lista. Per affrontare questa problematica, si può adottare una soluzione che integri l'utilizzo della realtà aumentata con un tablet dedicato alla compilazione automatica della checklist. In questo modo, il campo visivo dell'operatore non viene sovraccaricato da informazioni digitali, che rimangono invece visualizzabili in un tablet che si aggiorna in automatico ogni qualvolta che la realtà aumentata identifica gli oggetti che si stanno processando o l'operazione che si sta svolgendo. Ciò consente un flusso di lavoro più snello ed efficiente con una drastica riduzione di eventuali distrazioni, senza però rinunciare alla possibilità di consultare il tablet in caso di ulteriori controlli o di dubbi in merito a ciò che si sta processando. In più, attraverso l'utilizzo di notifiche si richiamerebbe l'attenzione dell'operatore solo quando necessario, riducendo al minimo le interruzioni superflue. Nei contesti operativi che prevedono l'utilizzo di un tavolo da lavoro, il tablet potrebbe essere equipaggiato con un braccio meccanico così che l'operatore possa personalizzare la sua postazione per ottimizzare il comfort durante lo svolgimento delle sue attività. Inoltre, questa configurazione permetterebbe di sganciare il tablet dal braccio meccanico qualora l'operatore volesse posizionarlo comodamente dove più opportuno.

Attività chiave	Svolgimento mediante AR
Accettazione e identificazione dei componenti	Identificazione dei componenti mediante la lettura del barcode/codice iD oppure mediante algoritmi di apprendimento automatico integrati nel visore
Catalogazione e organizzazione dei componenti	Proiezione nel campo visivo dell'operatore di informazioni e istruzioni digitali per guidarlo nelle operazioni lavorative o nell'apprendimento della mansione
Compilazione checklist di processo	Compilazione automatizzata delle check-list di processo e segnalazione all'operatore di eventuali scostamenti rispetto alle direttive previste

7.4 Risultati attesi

L'implementazione del protocollo operativo appena sviluppato, basato sulla collaborazione sinergica tra la realtà aumentata e il lavoro manuale, offre alle imprese un nuovo scenario di opportunità per l'aumento della produttività e per l'ottimizzazione delle attività lavorative, in particolar modo il controllo qualità, il tutto migliorando in modo significativo il benessere dei lavoratori. Favorendo un ambiente di lavoro sano e stimolante in cui il benessere dell'operatore è la priorità e dove la tecnologia non è dominante, ma piuttosto di supporto, si è in grado di aumentare la motivazione e il senso di appartenenza dei lavoratori, consentendo loro di essere più soddisfatti e di concentrarsi al meglio sulle attività da svolgere, producendo quindi risultati di qualità superiore. Inoltre, mettere in primo piano la salute dei propri dipendenti contribuisce a creare una reputazione aziendale positiva e aumentare, di conseguenza, la fiducia dei clienti nella qualità dei prodotti offerti. Il progetto promuove quindi un approccio olistico alla gestione dell'innovazione, dove il successo aziendale va di pari passo alla valorizzazione delle risorse umane e l'integrazione di tecnologie innovative non va a sovrastare il lavoro dell'uomo, ma al contrario lo risalta.

Capitolo 8

Sviluppo del progetto

Architettura e interfacce

A partire dalle linee guida generali elaborate precedentemente, si procederà in questo capitolo con lo sviluppo dell'architettura del progetto e dell'interfaccia del visore di realtà aumentata e tablet, prendendo in considerazione come processo di partenza quello del confezionamento dei kit chirurgici. La seguente tabella riassume quelli che sono gli obiettivi del progetto delineando tutti i requisiti necessari a soddisfarli che verranno ulteriormente approfonditi ed elaborati nei paragrafi successivi.

Obiettivi	<ul style="list-style-type: none"> Garantire un controllo qualità efficiente ed efficace Valorizzare il lavoro manuale senza sovrastarlo con la tecnologia Ottimizzare i processi Garantire il benessere degli operatori riducendo carico cognitivo Giusto equilibrio tra tecnologia e capacità mnemonica
Requisiti	<ul style="list-style-type: none"> Comfort dell'operatore sia per quanto riguarda la sua postazione di lavoro che per lo svolgimento delle sue attività Sviluppo di un'interfaccia di realtà aumentata di facile usabilità che sia da supporto per l'operatore per uno svolgimento veloce ed efficace delle sue operazioni

8.1 Architettura

Al fine di raggiungere tutti gli obiettivi appena citati per poi procedere con lo sviluppo di un'interfaccia di realtà aumentata davvero efficace, si rende necessaria la formulazione di un'architettura di progetto adeguatamente strutturata, in grado di integrare elementi progettuali diversi tra di loro in un sistema completo ed efficiente. La prima questione importante da risolvere riguarda la scelta dell'hardware specifico per la visualizzazione dell'interfaccia di realtà aumentata. Considerando che l'attività di confezionamento dei kit chirurgici prevede già ad oggi l'impiego di un tablet per il monitoraggio e la gestione delle operazioni, occorre riflettere sulla possibilità di utilizzare quest'ultimo per la visualizzazione di tutti i dati virtuali o, in alternativa, di adottare un visore dedicato a soddisfare tale scopo. Poiché le operazioni di confezionamento richiedono un'attenta organizzazione e disposizione degli strumenti chirurgici lungo tutta la superficie operativa oltre che a continui movimenti da parte dell'operatore finalizzati al prelievo e la verifica degli strumenti stessi, il solo

utilizzo del tablet potrebbe risultare scomodo per gestire e seguire tutti i movimenti dell'operatore. Al contrario, l'utilizzo del tablet associato ad un visore per la realtà aumentata consentirebbe all'operatore di visualizzare in modo agevole i dati digitali indipendentemente dai vari movimenti effettuati e di utilizzare il tablet come uno strumento ausiliario per attività complementari. È importante quindi comprendere come questi due dispositivi lavoreranno in perfetta sincronia e, soprattutto, individuare per ciascuno di essi le caratteristiche e le funzionalità specifiche. Una seconda tematica da affrontare, invece, riguarda le problematiche relative al comfort e al benessere fisico dell'operatore. A tal proposito, è fondamentale una riprogettazione della postazione di lavoro con lo scopo di renderla ergonomica e personalizzabile in funzione esigenze e necessità dell'operatore.

8.1.1 Scelta del visore

Dal momento in cui il progetto richiede la presenza di un visore destinato ad un utilizzo prolungato per un massimo di un turno lavorativo di 8 ore, è essenziale assicurarsi che questo dispositivo sia leggero, confortevole e dotato di una batteria sufficientemente duratura. Considerando tutte le diverse tipologie di visori presenti sul mercato, gli smart glasses rappresentano sicuramente quelli che più si prestano per un uso prolungato nel tempo per via della loro forma e dimensioni ridotte rispetto ai visori tradizionali. Facendo una prima selezione di tutti gli smart glasses esistenti ed escludendo quelli che richiedono un collegamento fisico al computer o allo smartphone per funzionare e quelli privi di fotocamere, sono stati individuati i tre modelli più performanti e consolidati sul mercato: Magic Leap 2, Vuzix Blade 2 e i Moverio BT-300.

La seguente tabella riassume le specifiche tecniche di ciascun modello in termini di peso, audio, sensoristica, durata della batteria, risoluzione per occhio e campo visivo.

	Magic Leap 2	Vuzix Blade 2	Moverio BT-300
Peso	135 grammi	90 grammi	69 grammi
Audio	Altoparlanti stereo integrati Microfoni	Altoparlanti stereo integrati Microfoni con cancellazione del rumore	Il dispositivo non ha gli altoparlanti integrati

Risoluzione	1440 x 1770px	480 x 480px	1280 x 720px
Batteria	3,5 ore	2 ore	6 ore
Campo visivo	70°	20°	23°
Sensori	3 telecamere FoV Telecamera di profondità Telecamera RGB Sensore di luce ambientale 4 telecamere per il tracciamento oculare Tracciamento dei gesti	Telecamera autofocus 8-megapixel Touchpad per l'interazione con l'interfaccia	Fotocamera 5 milioni di pixel Touchpad per l'interazione con l'interfaccia

Sulla base di queste informazioni, è stata poi condotta un'analisi top-flop con lo scopo di individuare per ciascun modello le specifiche tecniche più o meno performanti ed elaborare, quindi, una scelta del dispositivo da utilizzare più razionale e strutturata. Per ciascuno modello di smart glasses, le specifiche di prodotto che mostrano prestazioni superiori sono state contrassegnate con il termine "Alto", mentre quelle che presentano prestazioni peggiori sono state indicate con "Basso". La differenza tra i punti di forza (Top) e le criticità (Flop) di ogni modello di smart glasses è rappresentato dal delta: i modelli con un delta più elevato, ovvero quelli che presentano più caratteristiche positive rispetto a quelle negative, sono stati identificati come i dispositivi migliori in termini di specifiche tecniche.

La seguente tabella espone, quindi, i risultati ottenuti da ciascun dispositivo in

relazione alle loro prestazioni e il delta finale, derivante dalla differenza tra le prestazioni migliori e quelle meno convincenti.

	Magic Leap 2	Vuzix Blade 2	Moverio BT-300
Peso	Basso	Alto	Alto
Audio	Alto	Alto	Basso
Risoluzione	Alto	Basso	Basso
Batteria	Basso	Basso	Alto
Campo visivo	Alto	Basso	Basso
Sensori	Alto	Basso	Basso
TOP	4	2	2
FLOP	2	4	4
DELTA	2	-2	-2

Con un delta pari a 2, i Magic Leap 2 si classificano come gli occhiali per realtà aumentata più adatti per lo sviluppo del progetto.

8.1.1.1 Hacking del Magic Leap 2

A partire dalle specifiche tecniche del Magic Leap 2 valutate come le meno performanti nella precedente analisi Top-Flop, in questo paragrafo si procederà al cosiddetto hacking del visore. Con questo termine, si fa riferimento ad una serie di operazioni e scelte progettuali volte ad implementare un qualunque dispositivo per realtà aumentata, potenziandone le prestazioni e migliorando quelli che prima venivano considerati come punti di debolezza. Dall'analisi Top-Flop è emerso che le due principali criticità del Magic Leap 2 sono rappresentate dal suo peso e dalla scarsa durata della batteria. Sebbene il peso dei Magic Leap 2 sia stato valutato come una criticità, è importante sottolineare che quest'ultimo è stato messo a confronto con due modelli di occhiali per realtà aumentata caratterizzati da una sensoristica molto ridotta che li rende più leggeri. Il fatto di possedere sensori così avanzati in un peso di soli 135g, infatti, rende i Magic Leap 2 dei dispositivi estremamente efficaci in quanto combinano tecnologie presenti nei visori più consolidati sul mercato, ma con un peso notevolmente inferiore rispetto a questi ultimi, che possono raggiungere anche

i 566g nel caso dei celebri HoloLens 2 di Microsoft. La durata della batteria, al contrario, rappresenta una caratteristica che richiede una maggiore attenzione progettuale in un'ottica di un suo miglioramento. I Magic Leap 2 prevedono una durata di 3,5 ore per un uso continuo e un tempo di ricarica completa di 3 ore. Considerando che tipicamente un turno lavorativo prevede lo svolgimento di 4 ore nella mattina e 4 nel pomeriggio con una pausa pranzo di un'ora/un'ora e mezza e pause più brevi nell'arco della giornata, è fondamentale prevedere dei miglioramenti progettuali al fine di garantire un'adeguata copertura della batteria per l'intera giornata lavorativa. Sicuramente, può essere utile prevedere nella postazione di lavoro una stazione dedicata per la ricarica degli occhiali, in cui gli operatori, prima di allontanarsi per la pausa, possono riporre il Magic Leap 2 a loro assegnato. Considerando inoltre il trend portato avanti da Apple con il Vision Pro, anche in questo caso si può prevedere la progettazione specifica di un powerbank esterno da collegare al dispositivo durante le ore di lavoro che sia pratico e comodo da indossare e che riduca il peso del visore stesso esternalizzandone la batteria.

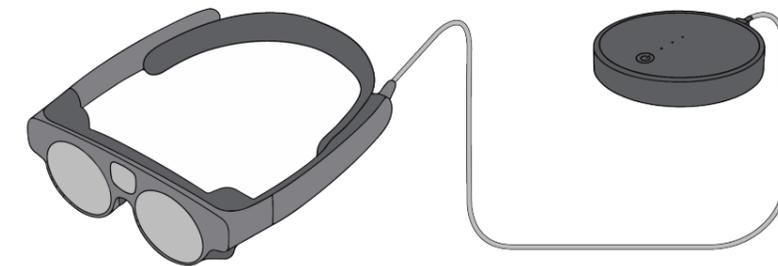


Figura 8.1
Rappresentazione del
Magic Leap 2 e del
powerbank

Dotato di un design discreto e compatto, il powerbank offre notevoli vantaggi all'utente in termini di portabilità e prestazioni. Con una capacità di 15.000 Mah e una potenza di 45 watt, il dispositivo è in grado di alimentare il Magic Leap 2 per l'intero turno lavorativo senza la necessità di ricariche frequenti, il che lo rende particolarmente adatto per le operazioni di confezionamento dei kit chirurgici. Nonostante la sua potenza il powerbank pesa appena 200 grammi, rendendolo confortevole durante le attività lavorative. Il powerbank presenta inoltre una porta USB-C che consente di collegarlo al Magic Leap 2 o a una presa a muro per una ricarica pratica e veloce. Sulla parte anteriore, il dispositivo possiede un pulsante di accensione e di spegnimento e cinque LED che forniscono all'operatore un feedback immediato sul livello di carica residua. La parte posteriore, invece, è stata progettata per essere il più ergonomica possibile e presenta una clip e due agganci per una fascia tracolla. Questa caratteristica consente all'utente di poter scegliere come indossare il powerbank in base alle proprie esigenze, rendendo l'esperienza lavorativa più pratica e personalizzabile.



Figura 8.2
Parte anteriore del
powerbank



Figura 8.3
Dettaglio del retro del
powerbank

Come si può notare dall'immagine successiva, il powerbank offre due diverse opzioni di utilizzo. Esso può essere agganciato mediante la clip a tasche o direttamente alla divisa oppure può essere indossato a tracolla semplicemente agganciando la fascia negli appositi fori. Una volta collegato mediante cavo al Magic Leap 2, basterà premere il pulsante per accendere il dispositivo e visualizzare lo stato della batteria direttamente mediante i cinque led luminosi presenti sulla parte frontale.

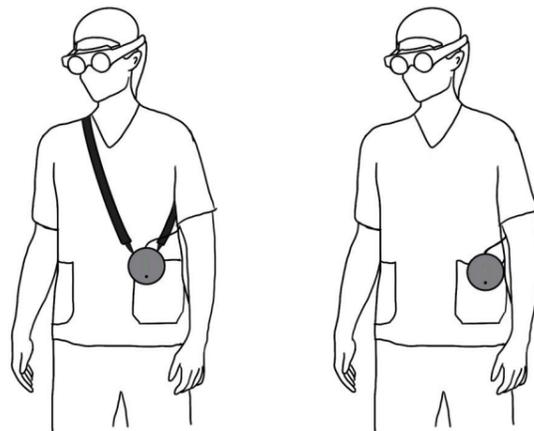


Figura 8.4
Diverse configurazioni di
utilizzo

8.1.2 Il ruolo del tablet

La postazione di lavoro attuale prevede l'utilizzo da parte dell'operatore di un tablet dedicato alla gestione dei kit da confezionare e all'organizzazione degli strumenti necessari per il loro completamento. Come già anticipato, l'obiettivo principale del progetto è quello di migliorare notevolmente l'efficienza delle operazioni e l'esperienza lavorativa complessiva dell'operatore. Per raggiungere questi obiettivi, il progetto mira ad integrare l'uso del Magic Leap 2 per la visualizzazione di dati virtuali con l'utilizzo del tablet, il quale sarà principalmente dedicato alla gestione dei kit in ingresso e alla consultazione della distinta base. La volontà di mantenere nella nuova configurazione la presenza del tablet è motivata principalmente dalla necessità di esternalizzare dal visore informazioni relative al confezionamento dei kit chirurgici che altrimenti avrebbero sovraccaricato la vista dell'operatore e per rendere, quindi, l'intero processo più snello e semplice da gestire. Se prima il tablet era posizionato in maniera statica di fronte all'operatore portando quest'ultimo a compiere continui movimenti del capo tra gli strumenti da organizzare e il monitor stesso, il nuovo approccio mira ad implementare l'usabilità del tablet consentendo a chi lo sta adoperando di posizionarlo liberamente in base al proprio comfort. Per questo motivo, come verrà approfondito nel paragrafo successivo, nella nuova postazione di lavoro il tablet sarà dotato di un braccio snodabile che garantirà all'operatore un utilizzo più personalizzato e adattabile alle proprie esigenze lavorative. Un'altra importante caratteristica del tablet consiste nell'integrazione alle sue funzioni classiche la funzione di lente di ingrandimento. Questa scelta nasce con l'intento di eliminare l'utilizzo di una lente dedicata e di poter sfruttare un solo dispositivo per svolgere entrambe i compiti, agevolando l'operatore e liberando la postazione di lavoro. Tablet e Magic Leap 2, pertanto, lavoreranno in stretta sincronia per migliorare la qualità delle prestazioni e sostenere il personale nell'esecuzione più precisa delle attività lavorative.

8.1.3 Riprogettazione della postazione da lavoro

Come anticipato, il confezionamento dei kit chirurgici riveste un ruolo di fondamentale importanza nel contesto ospedaliero, poiché, grazie a questa attività, viene garantita la sicurezza dei pazienti durante gli interventi chirurgici, assicurando che tutti gli strumenti e i materiali necessari siano adeguatamente preparati e sterilizzati. L'intero processo di confezionamento avviene all'interno di postazioni da lavoro dedicate assegnate a ciascun operatore. I disegni seguenti illustrano gli elementi caratteristici di ogni postazione e i relativi dimensionamenti: essa comprende un grande tavolo metallico a cui è agganciata sul lato una lente di ingrandimento con braccio meccanico e una parete verticale di fronte al tavolo

su cui sono fissate delle mensole per riporre etichette varie e l'etichettatrice ed uno schermo fisso in posizione verticale.

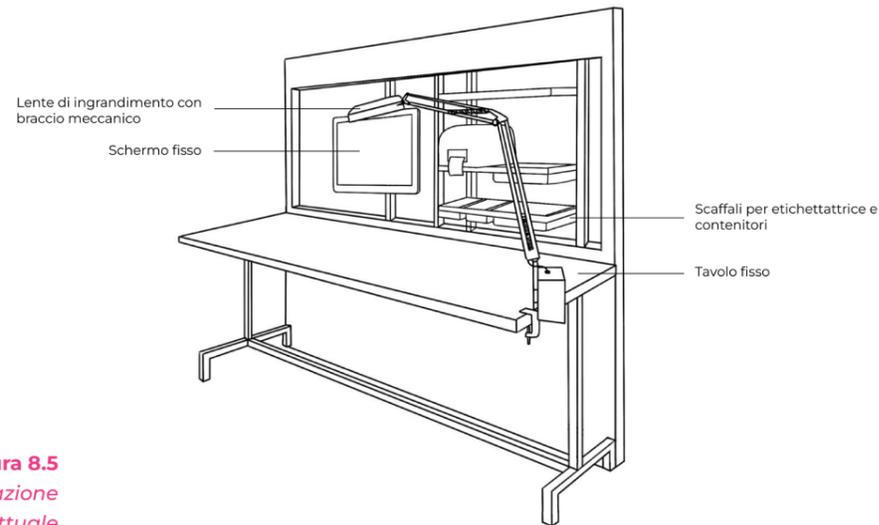


Figura 8.5
Caratteristiche postazione da lavoro attuale

Qui di seguito viene invece riportato il dimensionamento del tavolo da lavoro con le unità di misure espresse in centimetri.

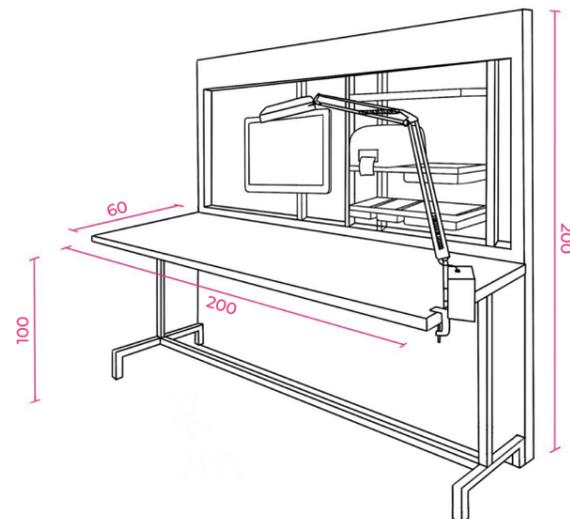


Figura 8.6
Dimensionamento postazione da lavoro attuale

A seguito di diversi sopralluoghi e interviste effettuate agli operatori, sono emersi alcuni aspetti riguardanti la postazione da lavoro che influenzano in modo diretto l'efficienza delle operazioni e il comfort degli operatori coinvolti nella fase di confezionamento dei kit chirurgici. Le maggiori criticità riscontrate riguardano la lunghezza e la conformazione del tavolo, la scarsa praticità ed ergonomia dello schermo fisso e la mancanza di adattabilità delle postazioni alle specifiche esigenze fisiche di ciascun utente. Dall'analisi sul campo e dall'osservazione di un turno lavorativo tipico degli operatori addetti al confezionamento dei

kit chirurgici, è emerso come la lunghezza del tavolo di due metri renda più complesso il raggiungimento degli strumenti all'interno della cesta e dei materiali necessari al confezionamento, rallentando così le operazioni dell'utente che deve effettuare spostamenti maggiori per organizzare un singolo kit. Per far fronte a questa problematica, infatti, gli operatori tendono ad utilizzare solo una parte del tavolo lasciando libera da strumenti e materiali la parte finale inutilizzata. Inoltre, la presenza di uno schermo non regolabile posizionato di fronte all'operatore, costringe quest'ultimo a compiere durante tutto il turno lavorativo un costante movimento del capo tra lo strumento e lo schermo per aggiornare di volta in volta la checklist del kit da confezionare. Questo movimento ripetitivo provoca un notevole affaticamento visivo nel corso delle ore con un conseguente calo della concentrazione che si ripercuote necessariamente sulla qualità del lavoro. L'ultima criticità, invece, riguarda la mancata attenzione nei confronti dell'ergonomia del tavolo stesso: ciascun individuo, infatti, presenta caratteristiche fisiche e preferenze lavorative differenti che si riflettono sull'uso che fanno del tavolo da lavoro.

Progettare postazioni da lavoro ergonomiche e personalizzabili che si adattano alle esigenze fisiche dell'operatore e che sono pensate per ridurre al minimo necessario spostamenti superflui, non solo contribuisce al miglioramento del benessere dei lavoratori, ma incide positivamente sulla produttività generale che viene incentivata da un lavoro più snello e da spostamenti molto più efficienti. In questo paragrafo si vuole quindi proporre una nuova idea di postazione da lavoro, dove essa non rappresenta uno strumento passivo su cui poter lavorare, ma che piuttosto si configura come un elemento attivo in grado di adattarsi in modo dinamico ai bisogni dell'operatore, favorendo così l'ottimizzazione delle operazioni e un maggior valore aggiunto per il lavoratore. La figura seguente illustra gli elementi caratteristici della nuova postazione da lavoro.

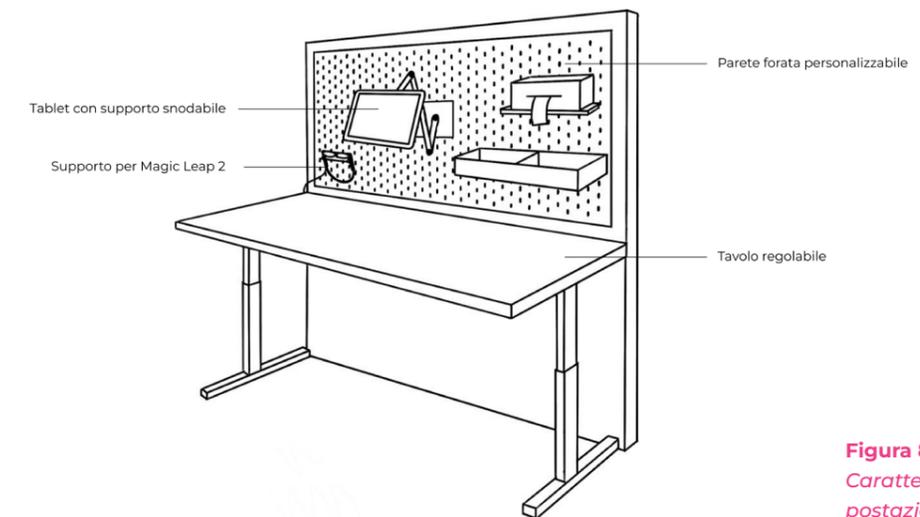


Figura 8.7
Caratteristiche nuova postazione da lavoro

Anche in questo caso viene invece riportato il dimensionamento del nuovo tavolo da lavoro con le unità di misure espresse in centimetri.

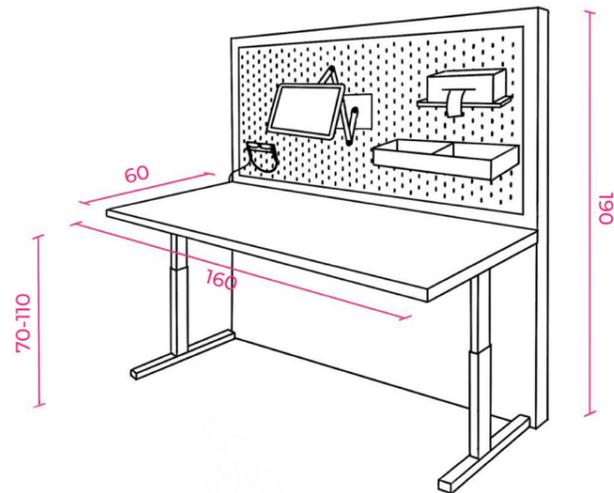


Figura 8.8
Dimensionamento nuova postazione da lavoro

La progettazione di una nuova postazione da lavoro rappresenta un elemento chiave di questo elaborato e ha come obiettivo quello di ottimizzare gli spostamenti dell'operatore e gli spazi adibiti all'organizzazione degli strumenti e dei materiali. Tutto ciò garantisce una flessibilità significativa per l'utente, il quale, tramite questo nuovo design, è in grado di personalizzare i propri spazi in base alle proprie esigenze specifiche.

La decisione di ridurre la lunghezza del tavolo da lavoro è stata guidata da un approccio strategico volto a ridurre al minimo gli spostamenti non necessari da parte dell'operatore per raggiungere oggetti e superfici distanti. Questa decisione consente lui di focalizzare la propria attività in uno spazio adeguatamente progettato secondo la sua ergonomia e la mole di oggetti da processare. In questo caso, considerare il campo di presa è di fondamentale importanza per la progettazione ergonomica di un tavolo da lavoro. Nel corso della progettazione del tavolo da lavoro, è stata attribuita una particolare rilevanza all'analisi del campo di presa dell'operatore al fine di evitargli sollecitazioni inutili. Possiamo distinguere il campo di presa in tre aree diverse: [87]

— **Campo di presa ottimale:** per campo di presa ottimale ci si riferisce a quell'area attorno all'operatore in cui egli è più comodo a raggiungere e manipolare oggetti e strumenti. In questa zona sarebbe preferibile posizionare gli strumenti maggiormente utilizzati.

— **Campo di presa massimo:** il campo di presa massimo si estende oltre il campo di presa ottimale ed è l'area più ampia in cui l'operatore può raggiungere gli oggetti e gli strumenti con una sola mano, sebbene con uno sforzo leggermente maggiore rispetto al campo di presa ottimale. In

quest'area si possono quindi posizionare strumenti e materiali occasionali.

— **Spazio di lavoro:** rappresenta l'area posta all'interno del campo visivo davanti all'operatore in cui si svolge l'intero processo.

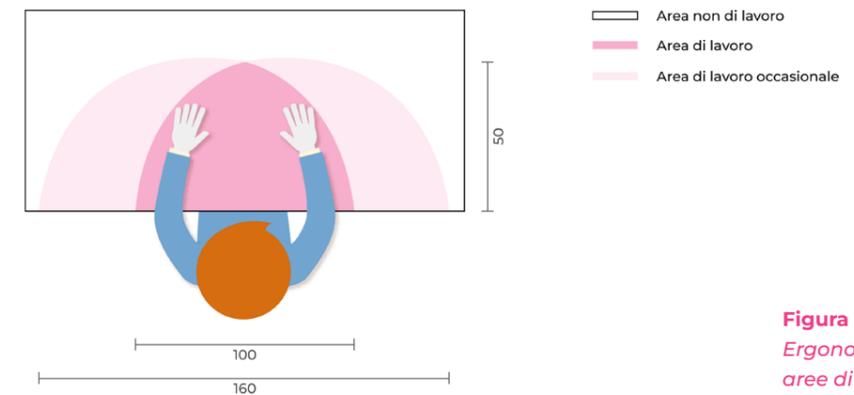


Figura 8.9
Ergonomia delle diverse aree di lavoro

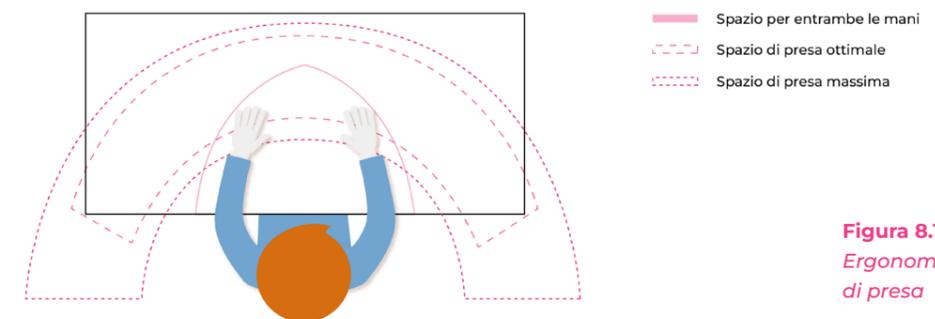


Figura 8.10
Ergonomia dei diversi spazi di presa

L'altezza del tavolo regolabile, inoltre, offre numerosi vantaggi in contesti lavorativi come il confezionamento dei kit chirurgici dove gli operatori trascorrono molte ore nella stessa posizione. Oltre a consentire a questi ultimi di poter impostare un'altezza ottimale in funzione della loro altezza e delle preferenze lavorative, un tavolo regolabile può aiutare ad evitare posture scomode e forzate che, a lungo andare, causano tensioni e dolori muscolari, garantendo agli operatori un lavoro efficiente e senza affaticamenti superflui. La nuova postazione da lavoro consente inoltre di eliminare l'utilizzo della lente di ingrandimento mediante l'impiego di un tablet che, tra le sue funzionalità, svolge la medesima operazione. Questa soluzione permette di liberare ulteriore spazio sulla superficie del tavolo, contribuendo a creare un ambiente di lavoro otticamente più pulito ed organizzato. La lente di ingrandimento integrata direttamente nel tablet, infatti, consente all'operatore di visualizzare dettagli e particolari degli strumenti chirurgici senza dover ricorrere a strumenti aggiuntivi che occuperebbero spazio

sulla superficie di lavoro. Alla base del tavolo è collocata, invece, una parete verticale modulabile in cui gli operatori possono organizzare e posizionare materiali e strumenti a loro piacimento attraverso specifici ganci presenti sul retro di tali accessori. Questo permette loro di poter personalizzare e adattare la postazione di lavoro in base alle loro specifiche preferenze e di modificare facilmente la disposizione degli accessori qualora si rendesse necessario. Poiché ai fini di questo progetto è necessario l'utilizzo di occhiali per la realtà aumentata e di un powerbank, la parete modulare presenta un apposito accessorio che consente agli operatori di posizionare comodamente il visore e la batteria esterna in uno spazio a loro dedicato per ricaricarli quando terminano il turno lavorativo o si allontanano per una pausa. Inoltre, al fine di rendere il più efficienti possibili le operazioni di confezionamento dei kit chirurgici, è stata prevista al di sotto del tavolo in corrispondenza dell'area di lavoro del personale una piastra con delle celle di carico ad alta precisione. Questa soluzione permette di monitorare costantemente il processo di confezionamento e di notificare l'operatore qualora venisse a mancare uno strumento del kit sulla base del peso di ciascuno di essi. Anche l'illuminazione rappresenta un importante fattore da prendere in considerazione per una buona progettazione del tavolo da lavoro. Come suggerisce l'immagine sottostante, la luce è montata a soffitto in posizione centrale rispetto alla superficie da lavoro per garantire una diffusione uniforme lungo tutto il tavolo ed evitare zone d'ombra nette e punti di luce intensa che potrebbero compromettere la visibilità degli oggetti. Per una corretta illuminazione dell'ambiente, è importante la scelta dell'intensità luminosa della luce: per lavori di precisione e di dettaglio come il montaggio di piccole parti o il controllo qualità di strumenti, sono necessari infatti 1000-1500 lux per ridurre l'affaticamento e aumentare la concentrazione e la prestazione dell'operatore. È necessario, inoltre, considerare l'ingombro del tablet che, una volta portato davanti a se per le fasi di ispezione visiva sullo strumento, deve essere lontano dalla fonte luminosa per non creare fastidi visivi all'operatore che ne fa uso.

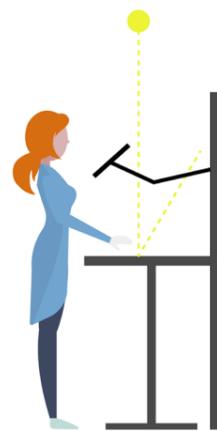


Figura 8.11
Illuminazione dell'ambiente

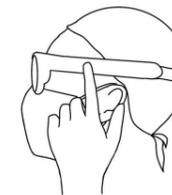
8.2 Struttura dell'esperienza

Una volta stabilita l'architettura necessaria allo sviluppo del progetto, si è proceduto a delineare nello specifico le modalità con cui l'operatore incaricato al confezionamento dei kit chirurgici interagisce con tutti gli elementi del progetto lungo tutte le fasi del turno lavorativo. A tal proposito, è stata elaborata una User Journey con lo scopo di fornire una panoramica grafica e descrittiva delle dinamiche previste dal progetto e dell'interazione prevista tra l'utente e l'hardware tecnologico.

Inizio del turno lavorativo



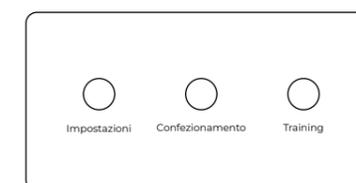
L'operatore indossa il
Magic Leap 2



L'operatore accende il
Magic Leap 2 premendo
il pulsante sul lato
dell'occhiale



L'operatore effettua il
login sulla piattaforma sia
dal Magic Leap 2 che dal
tablet



Terminato l'accesso,
all'operatore appare la
schermata principale

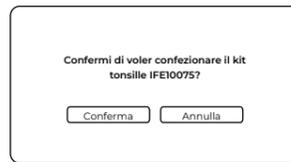
Accettazione del kit

Griglia	Barcode	Reparto	Articolo
FE1437	IFEI0075	Pediatria	Kit tonsille

Dopo aver selezionato il confezionamento, appare sul tablet una lista dei kit da processare



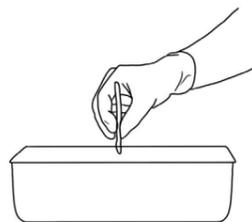
L'operatore spunta la casella corrispondente al kit da confezionare che prende in incarico



Sul Magic Leap 2 appare un messaggio di conferma del confezionamento

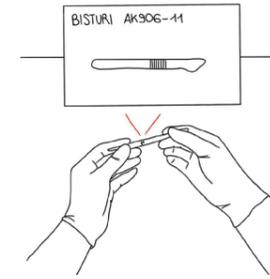
IFEI0075 - Kit tonsille (Pediatria)			
Articolo	Stato	Effettivo	
GF568 - Pinza	Da controllare	0/2	☐
AK90611 - Bisturi	Da controllare	0/1	☐

Confermato il kit da confezionare, sul tablet si apre una lista di tutti gli strumenti che lo compongono



L'operatore dispone vicino a se le griglie del kit e da queste preleva casualmente uno strumento

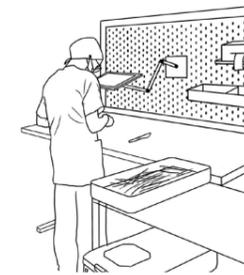
Controllo degli strumenti



Le fotocamere integrate agli occhiali per la realtà aumentata leggono il datamarker sullo strumento e restituiscono all'operatore una sua fedele immagine

IFEI0075 - Kit tonsille (Pediatria)		
Articolo	Stato	Effettivo
GF568 - Pinza	Da controllare	0/2 ☐
AK90611 - Bisturi	In corso	0/1 ☐

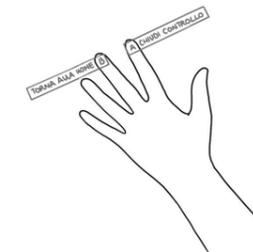
Identificato lo strumento, il tablet lo evidenzia e specifica che è in corso di controllo. Cliccando l'icona a destra è possibile aprire la fotocamera per lo zoom



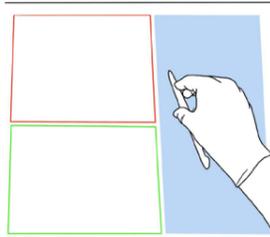
L'operatore può utilizzare il tablet per controllare meglio i dettagli dello strumento



Sul tablet si può regolare la luminosità e lo zoom del dispositivo



Chiudendo l'indice con il pollice si termina la fase di controllo dello strumento e si apre automaticamente quella di posizionamento



La realtà aumentata suggerisce il corretto posizionamento dello strumento mediante aree di colore visibili sul tavolo

IFEI0075 - Kit tonsille (Pediatria)		
Articolo	Stato	Effettivo
GF568 - Pinza	Controllato	2/2
AK90611 - Bisturi	Controllato	1/1

Mano a mano che l'operatore controlla gli strumenti, la checklist viene compilata in automatico

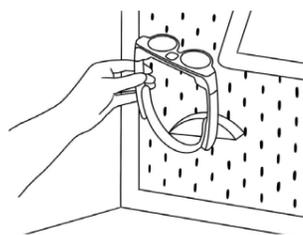
IFEI0075 - Kit tonsille (Pediatria)		
Articolo	Stato	Effettivo
GF568 - Pinza	Controllato	2/2
AK90611 - Bisturi	Controllato	1/1

Mancante Confeziona

Terminati gli strumenti, l'operatore può procedere al confezionamento o segnalare strumenti mancanti



L'operatore spegne il Magic Leap 2 premendo il pulsante sul lato dell'occhiale



L'operatore ripone il Magic Leap 2 nella postazione dedicata per ricaricarlo

8.3 Sviluppo dell'interfaccia

8.3.1 Nozioni teoriche e best practises

Poiché l'architettura del progetto prevede la presenza di un hardware tecnologico specifico composto da un tablet e un visore per realtà aumentata, è fondamentale prevedere per questi ultimi un'interfaccia grafica efficace e di facile usabilità. Se per il tablet la progettazione dell'interfaccia è rivolta perlopiù alla disposizione ottimale degli elementi che mirano a promuovere un'interazione fluida ed intuitiva mediante touch, per quanto riguarda la realtà aumentata occorre ragionare in modo più approfondito su tematiche come l'integrazione dei dati virtuali con l'ambiente attorno all'utente e le interazioni gestuali che quest'ultimo compie con l'interfaccia di realtà aumentata. In questo contesto, quindi, il focus si sposterà verso una progettazione che ha come obiettivo l'integrazione ottimale dell'utente all'interno dell'ambiente aumentato, cercando di armonizzare in modo naturale gli elementi virtuali con il contesto reale e tenendo in considerazione le nuove modalità di interazione gestuale. Dal momento in cui la realtà aumentata richiede un'immersione nello spazio tridimensionale, è fondamentale considerare l'ambiente circostante come una potenziale interfaccia per l'utente. Tuttavia, in questo scenario esistono diversi fattori umani che giocano un ruolo importante nel definire ciò che risulta confortevole ed ergonomico per l'utente. [59] [60] Primo elemento chiave nella progettazione di un'interfaccia di realtà aumentata è la distanza tra l'utente e le informazioni digitali. Tipicamente, l'occhio umano focalizza in maniera ottimale gli oggetti che si trovano ad una distanza che sta fra mezzo metro e venti metri: tutto ciò che è più vicino, quindi, farà incrociare gli occhi, mentre ciò che sarà troppo lontano tenderà ad essere sfocato. Questa sarà perciò la distanza ottimale da tenere in considerazione per il posizionamento degli elementi virtuali.



Figura 8.12
Distanza di visione ottimale

Per garantire un corretto posizionamento delle informazioni virtuali, inoltre, occorre valutare tutto ciò che riguarda l'ergonomia della visione umana. L'occhio umano possiede infatti un campo visivo che si estende fino a 60 gradi, il che significa che esso può percepire comodamente ciò che si trova all'interno di

un angolo di circa 30°-35° sia in verticale che in orizzontale, sia guardando da destra a sinistra che dall'alto in basso. Pertanto, nel processo di progettazione di interfacce per la realtà aumentata è fondamentale prevedere il posizionamento degli elementi grafici all'interno del campo visivo dell'utente, in modo tale che essi siano facilmente accessibili senza richiedere sforzi o movimenti eccessivi.



Figura 8.13
Area di movimento degli occhi confortevole

Grazie alla flessibilità del movimento del collo, l'utente è in grado di estendere il suo campo visivo a 120° senza dover coinvolgere il movimento del corpo. Questa zona, nota come visione periferica, rappresenta una regione visiva più ampia rispetto al campo visivo centrale e può essere sfruttata in modo strategico per il posizionamento di informazioni secondarie che non richiedono una visualizzazione continua o immediata come quelle principali ma che comunque sono accessibili quando necessario. Questo contribuisce a creare una gerarchia tra i dati presenti sulla scena evitando un sovraccollamento di informazioni nella visione centrale dell'utente.

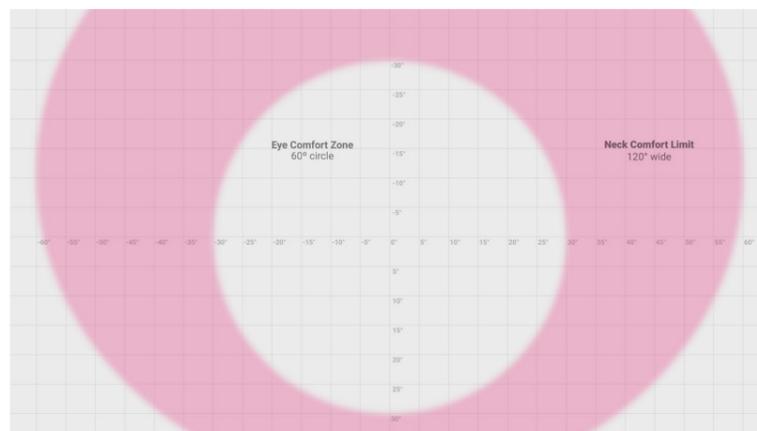


Figura 8.14
Campo visivo più ampio

Inoltre, è importante sottolineare che il capo tende ad inclinarsi naturalmente verso il basso di circa 10°-15° anche quando gli occhi guardano in alto. Questo aspetto fisiologico è rilevante poiché può influenzare il posizionamento ottimale

degli elementi virtuali all'interno dell'ambiente di realtà aumentata. Nella progettazione di interfacce di realtà aumentata, pertanto, si è tenuti a considerare questa inclinazione naturale della testa per evitare fastidi e discrepanze.

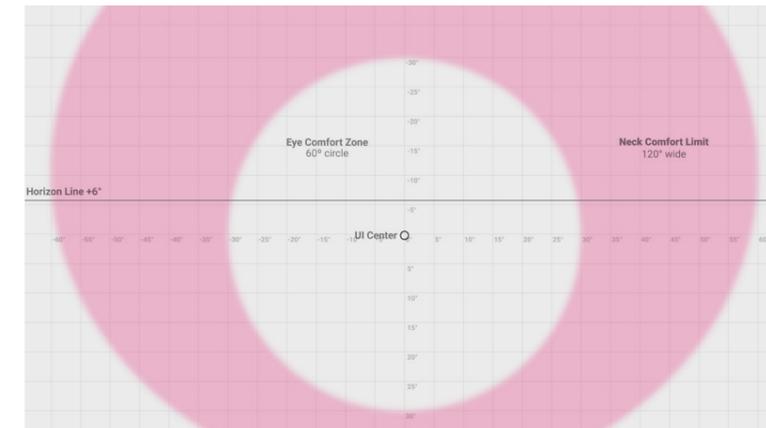


Figura 8.15
Inclinazione naturale del capo

Se prendiamo in considerazione l'intero spazio di lavoro a 360° che circonda l'utente, possiamo delineare e schematizzare le diverse aree di interesse che richiedono attenzione nella progettazione dell'interfaccia.

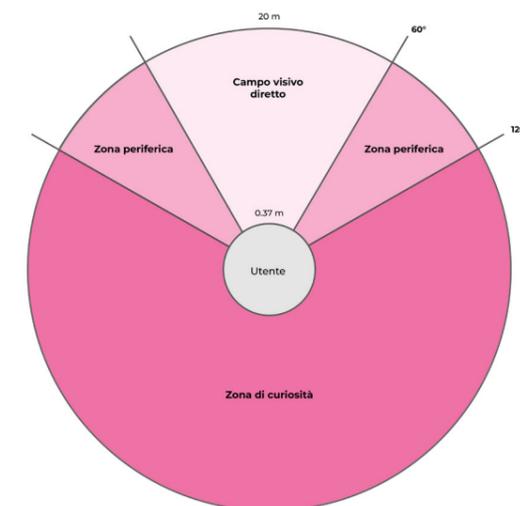


Figura 8.16
Aree di interesse

La realtà aumentata introduce una nuova modalità di interazione gestuale con gli elementi digitali, il che apre la strada a diverse considerazioni rilevanti per la progettazione, in particolare per quanto riguarda l'ampiezza massima del movimento delle braccia dell'utente. La lunghezza delle braccia, infatti, rappresenta un fattore importante da tenere a mente quando si progetta un'interazione con l'interfaccia grafica senza l'ausilio di controller esterni o comandi vocali. In generale, esse raggiungono comodamente una distanza che sta fra i 50 e i 70 cm dall'utente, spazio in cui dovranno essere posizionate le informazioni con cui quest'ultimo deve interagire fisicamente. Le aree di

interazione possono essere quindi suddivise in tre macro categorie: piano di interazione, zona intermedia e orizzonte di leggibilità.

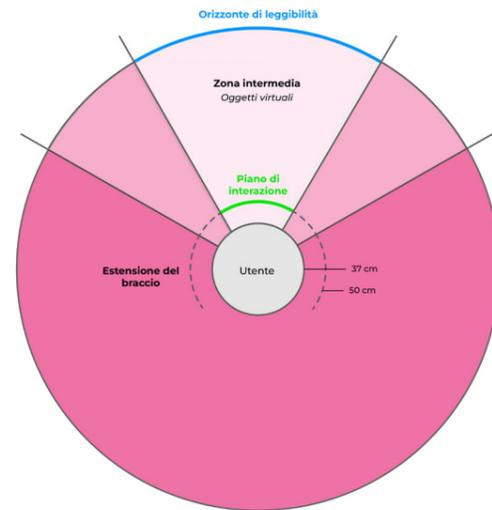


Figura 8.17
Aree di interazione

Il piano di interazione rappresenta la zona raggiungibile dal braccio dell'utente. È in questo spazio, quindi, che si dovrebbero posizionare le informazioni digitali che necessitano di un'interazione diretta e confortevole, come ad esempio pulsanti o icone interattive. La successiva area consiste nella zona intermedia ed è adibita ad accogliere gli oggetti virtuali che devono essere solamente visualizzati dall'utente. Ad esempio, qui troveremmo elementi grafici, immagini, testo informativo o altri contenuti che l'utente deve semplicemente osservare. L'ultima area rappresenta invece l'orizzonte di leggibilità, ovvero la massima distanza a cui l'occhio umano è in grado di focalizzare e leggere senza problemi.

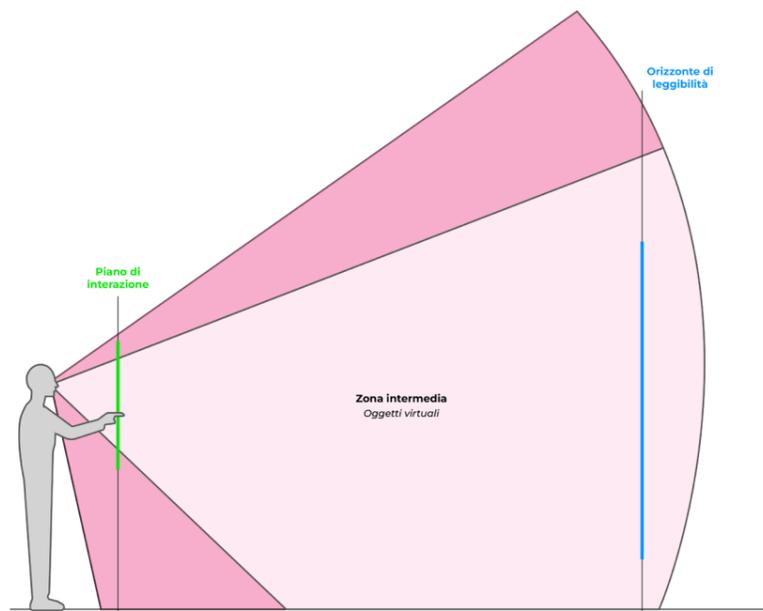


Figura 8.18
Dettaglio delle aree di interazione

Fino a questo momento sono state definite le basi teoriche riguardo al posizionamento ottimale delle interfacce grafiche di realtà aumentata in base alle diverse esigenze ergonomiche che devono soddisfare. Si procederà successivamente allo sviluppo nel dettaglio delle varie interfacce del tablet e del Magic Leap 2 applicando i principi appena approfonditi e seguendo l'iter proposto dalla User Journey.

8.3.2 Tipografia e layout schermate Magic Leap 2

Nella progettazione di un'interfaccia di realtà aumentata la scelta di un font di qualità riveste un ruolo essenziale nel garantire un'esperienza utente ottimale. Una corretta tipografia, infatti, aiuta le interfacce a comunicare al meglio le loro funzioni e permette di raggiungere un giusto equilibrio nella grafica, nella struttura e nella gerarchia delle stesse. Il manuale per gli sviluppatori diffuso dalla Magic Leap propone una lista di best practises per la corretta progettazione e implementazione della tipografia nelle interfacce aumentate: [88]

- **Grandezza del font:** per garantire una facile leggibilità del testo, è importante scegliere la giusta grandezza del font. Ad un metro e cinquanta la grandezza minima per una lettura confortevole è di 19px-22px mentre ad una distanza di 50 cm la grandezza ottimale è in media di 20 px. Qualora il testo dovesse essere troppo piccolo, infatti, ciò che si ottiene è una fusione delle lettere che porta a notevoli difficoltà all'utente nella lettura.
- **Peso del font:** nella progettazione delle interfacce grafiche è essenziale creare diversi livelli di gerarchia per orientare correttamente lo sguardo tra le diverse informazioni presenti. Ciò può essere ottenuto giocando con diverse grandezze del font o con il loro peso. Pesi come il Bold, Medium o Semibold, infatti, sono più impattanti a livello visivo di pesi come il Light o il Thin e possono essere utilizzati per evidenziare informazioni più importanti come titoli o CTA.
- **Leggibilità dei testi più lunghi:** è importante tenere in considerazione che caselle di testo troppo lunghe sono poco confortevoli alla lettura. Nel caso di un'interfaccia per realtà aumentata, infatti, si raccomanda di utilizzare un range compreso tra i 50 e i 60 caratteri per riga al fine di evitare un affaticamento visivo.
- **Spazialità:** caratteri 2D sono più leggibili di font estrusi tridimensionalmente.

Per quanto riguarda la scelta del font impiegato nelle interfacce del progetto di tesi, si è optato per mantenere il font originale utilizzato dalla Magic Leap per i propri dispositivi, ovvero il LominoUI. Secondo quanto scritto nel manuale

precedentemente citato, questo font è stato progettato per aumentare la leggibilità e per rendere confortevole agli utenti la lettura di informazioni digitali per un tempo prolungato. Esso prevede un'ampia varietà di pesi, permettendo l'utilizzo di diversi livelli gerarchici per l'organizzazione del layout generale dell'interfaccia. Inoltre, il font presenta una spaziatura generosa che lo rende leggibile anche a piccole dimensioni.



Figura 8.19
Tipografia Magic Leap 2

In merito alle grafiche delle interfacce, invece, esse sono state progettate con l'obiettivo di integrarsi con il mondo fisico in maniera naturale ed intuitiva, offrendo agli utenti la possibilità di interagire con le informazioni digitali in un modo che rispecchia il più possibile l'esperienza reale. Come anticipato, quando si progetta un'esperienza di realtà aumentata è importante assicurare all'utente un'interazione confortevole con i dati digitali. Ciò viene garantito sia dal corretto posizionamento delle interfacce ma anche da una serie di accorgimenti grafici applicabili alle interfacce stesse.

— **Sfondo semiopaco effetto vetro:** al fine di aumentare il senso di realismo delle interfacce è stato scelto come sfondo un materiale semiopaco effetto vetro. In questo modo, oltre ad essere visivamente accattivante, il materiale semiopaco consente alle interfacce di fondersi perfettamente con l'ambiente circostante e di adattarsi a qualsiasi condizione luminosa. Utilizzando questo materiale, quindi, le interfacce risulteranno leggere e parti integranti dell'ambiente in cui vengono inserite.

— **Angoli smussati:** al fine di targetizzare al meglio lo sguardo dell'utente, si è optato per la scelta di interfacce rettangolari che presentano angoli arrotondati poiché queste forme attirano naturalmente l'attenzione verso il centro.

— **Familiarità:** uno dei principali obiettivi del progetto consiste nel progettare un'interfaccia che sia il più familiare possibile. Ciò si traduce nella possibilità

di creare un qualcosa che gli utenti siano in grado di comprendere e di usare con semplicità in autonomia.

— **Human Centered:** le interfacce devono adattarsi alle esigenze specifiche dell'utente, il quale può avere la necessità di spostarle e scalarle in base alle proprie necessità lavorative.

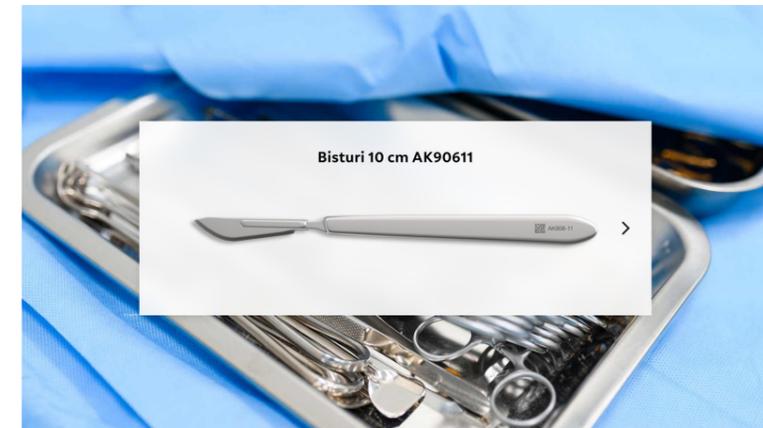


Figura 8.20
Interfaccia prima di avere applicato le regole progettuali

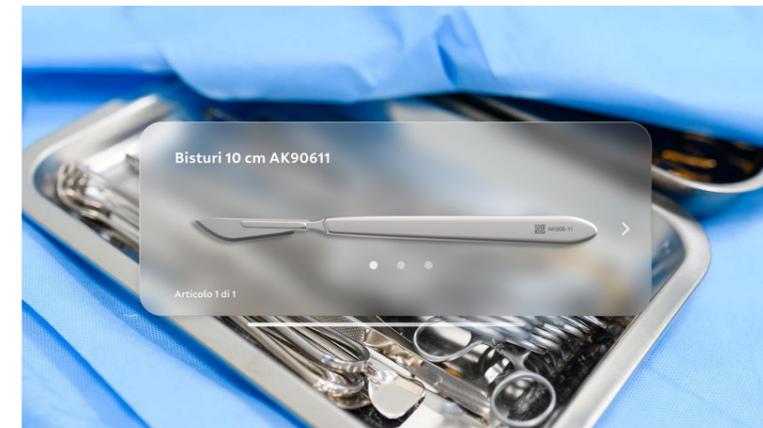


Figura 8.20
Interfaccia dopo aver applicato le regole progettuali

Come si può notare dalle precedenti immagini di confronto, tenendo a mente questi semplici principi si mira a progettare delle interfacce che, oltre ad essere visivamente accattivanti, siano pratiche e confortevoli da utilizzare lungo tutto il turno lavorativo.

8.3.3 Sviluppo dell'interfaccia

Definiti i criteri essenziali alla base della progettazione di un'interfaccia per realtà aumentata ergonomica e funzionale, si procederà in questo paragrafo al suo sviluppo effettivo. Verranno quindi definite le interfacce destinate sia al Magic Leap 2 che al tablet seguendo la sequenza di fasi illustrate precedentemente nella User Journey.

In generale, un turno lavorativo ha inizio con l'accesso da parte dell'operatore alla piattaforma dedicata al confezionamento dei kit chirurgici sia sul tablet che sul Magic Leap 2. Dopo aver acceso entrambi i dispositivi, quindi, l'utente andrà ad eseguire l'accesso nell'apposita schermata dedicata al login inserendo i propri dati personali quali il nome utente, la password, il numero della postazione da lavoro in cui si effettueranno le operazioni di confezionamento e infine il numero del badge. L'inserimento di questi dati consente, per ciascun kit, di risalire al nome dell'operatore che lo ha confezionato.

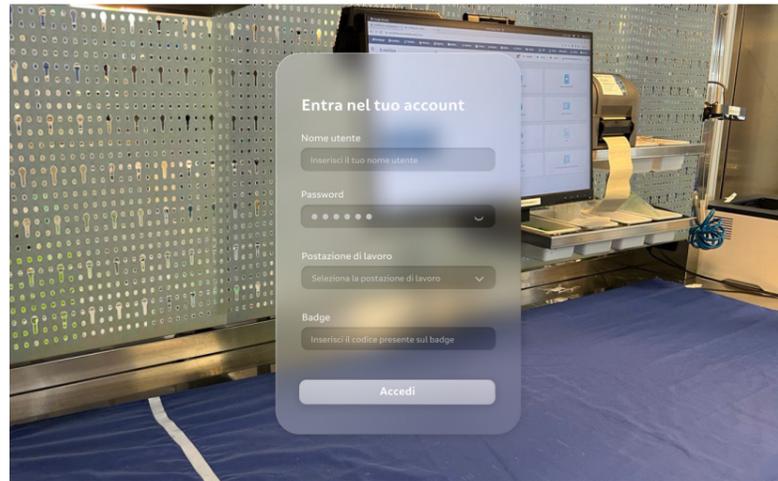


Figura 8.21
Schermata di accesso
Magic Leap 2

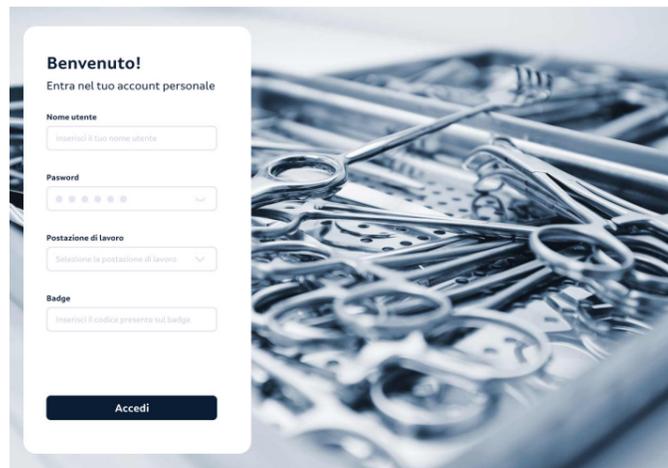


Figura 8.22
Schermata di accesso
tablet

Una volta effettuato l'accesso alla piattaforma, l'utente è indirizzato alla schermata principale, l'homepage, progettata in entrambi i dispositivi per semplificare la navigazione e fornire solo le informazioni essenziali, evitando così di sovraccaricare inutilmente l'interfaccia. Per quanto riguarda l'homepage del Magic Leap 2, nella parte superiore della schermata vengono evidenziate le informazioni chiave del dispositivo in utilizzo, tra cui lo stato di connessione Wi-Fi, il livello di carica residua e una sezione dedicata alla gestione dell'account

dell'operatore. La parte centrale della homepage è riservata alle tre funzionalità principali dell'applicativo: impostazioni, confezionamento e training. Le impostazioni consentono all'utente di configurare tutte quelle che sono le caratteristiche proprie del visore, come ad esempio la sua calibrazione, al fine di avere un'esperienza ottimale di realtà aumentata. La sezione centrale, ovvero la più importante ai fini del progetto, è dedicata al confezionamento ed è posizionata strategicamente al centro dell'interfaccia per essere visibile nell'immediato dall'utente e, una volta selezionata, consente di avviare la procedura di confezionamento dei kit chirurgici. L'ultima sezione è infine dedicata al training del personale e possiede due principali modalità di utilizzo pensate sia per chi possiede già una certa dimestichezza nelle operazioni di confezionamento dei kit chirurgici oppure per chi è totalmente inesperto. Nel primo caso, l'utente già preparato sulle basi di tali procedure può utilizzare questo spazio per esercitarsi nelle operazioni di confezionamento, potenziando la sua memoria nel riconoscimento degli strumenti e nel loro corretto posizionamento all'interno del kit. Dall'altra parte, per coloro che sono meno esperti, questa sezione rappresenta un valido strumento in quanto fornisce un ambiente di apprendimento interattivo che offre l'opportunità di acquisire tutte le competenze necessarie per eseguire tali operazioni in modo semplice ed efficace.

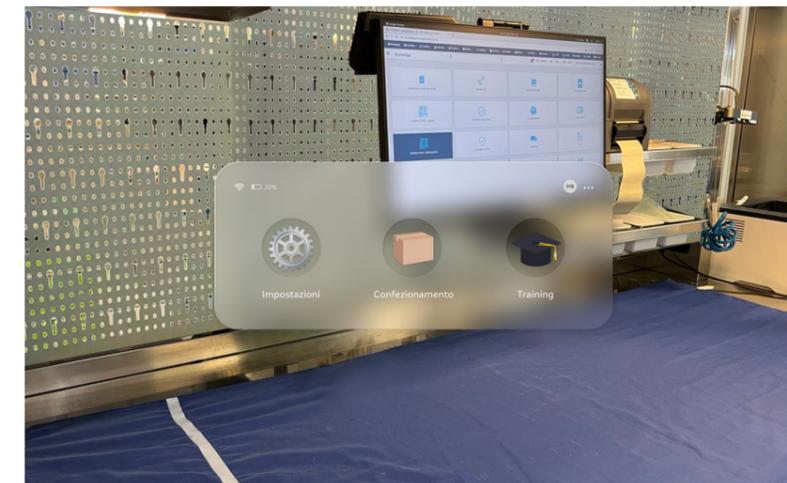


Figura 8.23
Homepage Magic Leap 2

A differenza del Magic Leap 2 che verrà adoperato esclusivamente nelle operazioni di confezionamento dei kit chirurgici, il tablet è un dispositivo essenziale utilizzato in tutte le fasi del processo per monitorare e gestire al meglio le attività. Proprio per questo motivo, la schermata principale presenta una lista organizzata in ordine cronologico di tutte le operazioni che si svolgono nel processo accompagnate ciascuna da un'icona che le rappresenta graficamente. Sta poi all'operatore incaricato allo compimento di una specifica

attività di andare a selezionare il riquadro corrispondente a quest'ultima. Come per l'interfaccia di realtà aumentata, anche in questo caso nella parte superiore della schermata è presente una barra contenente tutte le informazioni relative all'account dell'operatore e alle impostazioni generali riguardo le preferenze dell'applicazione.

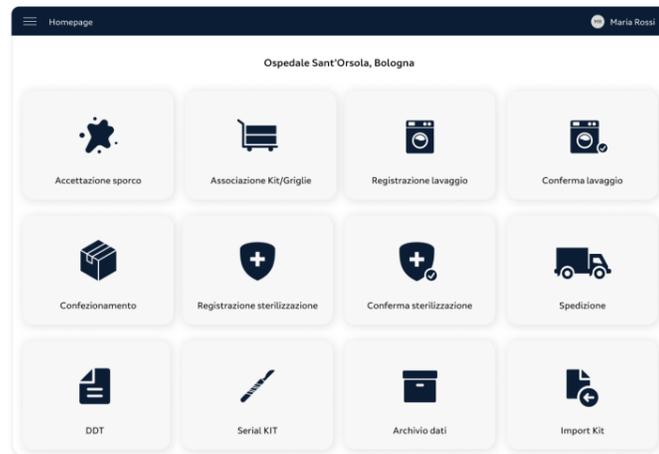


Figura 8.24
Homepage tablet

Selezionato dal tablet il riquadro corrispondente alle operazioni di confezionamento, all'utente apparirà una schermata che racchiude una lista di tutti i kit da confezionare. Come suggerisce la legenda disposta sopra la lista, tutti i kit sono ordinati in base alla loro urgenza: utilizzando diversi colori, infatti, l'operatore è in grado di individuare immediatamente cosa deve confezionare con maggiore priorità e cosa invece può trattare in un secondo momento. Il riquadro centrale è organizzato in modo tale da permettere all'utente di avere una vista più dettagliata dei kit, visualizzando per ciascuno tutte le griglie che lo compongono, il barcode univoco che ne garantisce l'identificazione precisa, il reparto di destinazione e il suo nome.

Urgenza kit	Griglia	Barcode	Reparto	Articolo
Standard	FE0838, FE2840, FE...	IFE100040729	Chirurgia pediatrica	Kit Tonsille piccolo
Standard	FE8910, FE0755, FE...	IFE100078188	Chirurgia plastica	Kit Base 11
Urgente	FE2790, FE4433, FE...	IFE100041258	Audiologia	Kit Orecchio micro
Standard	FE0026, FE1982, FE...	IFE100041546	Chirurgia plastica	Kit Base 3
Standard	FE7291, FE1267, FE...	IFE100003742	Chirurgia plastica	Kit Coleman 2
Standard	FE9111, FE4900, FE...	IFE100027311	Chirurgia plastica	Kit Base 7
Standard	FE1836	IFE100043956	Neurochirurgia	Kit STR 1
Standard	FE9258, FE2870, FE...	IFE100046263	Ginecologia	Kit Laparotomia rosso
Standard	FE2916, FE0021	IFE100075881	Maxillo facciale	Kit Mandibola base
Standard	FE0746, FE1064, FE...	IFE100025267	Otorino	Kit Adenoide grande
Standard	FE0147, FE8274, FE...	IFE100025212	Neurochirurgia	Kit Stryker 1
Standard	FE0463, FE1028, FE...	IFE100030752	Neurochirurgia	Kit Base 3
Standard	FE2842, FE1330, FE...	IFE100031276	Ortopedia	Kit Piccoli-medi segmenti
Standard	FE0999, FE6565, FE...	IFE100035488	Maxillo facciale	Kit Mandibola traumatica

Figura 8.25
Lista di tutti i kit da confezionare

A questo punto, dopo aver selezionato anche dall'interfaccia di realtà aumentata l'icona corrispondente all'avvio del confezionamento, all'utente appariranno una serie di schermate che lo guidano ad un corretto inizio della procedura. La prima di queste schermate ha come obiettivo quello di invitare l'operatore ad utilizzare il tablet per selezionare il kit che desidera confezionare.

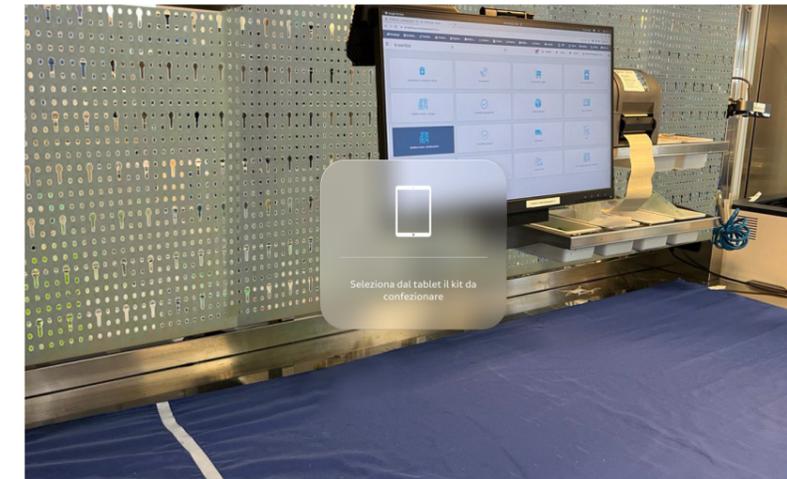


Figura 8.26
Notifica di selezione del kit da confezionare

Una volta che l'operatore ha selezionato il kit da confezionare in base alla sua priorità, egli viene guidato nel Magic Leap 2 ad una schermata di conferma del kit precedentemente selezionato. In questa fase l'operatore ha due opzioni a disposizione: egli può confermare la sua selezione, indicando che il kit scelto è pronto per essere confezionato, oppure può annullare la sua scelta e tornare direttamente alla lista completa dei kit da confezionare.

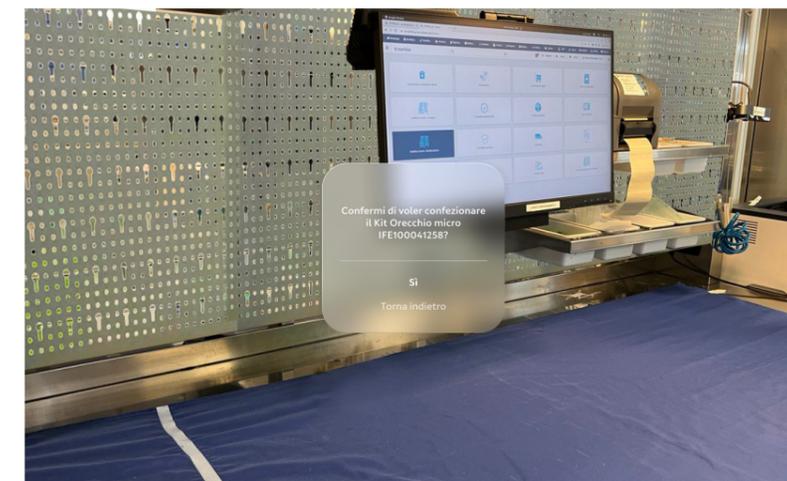


Figura 8.27
Conferma del kit selezionato dal tablet

Dopo aver confermato dal Magic Leap 2 il kit da preparare, verrà avviata la procedura di confezionamento vera e propria. Come suggerisce l'interfaccia, la procedura avrà inizio con il prelievo dal cestello del lavaggio del primo

strumento che verrà poi identificato dalla visione aumentata dell'occhiale per realtà aumentata.

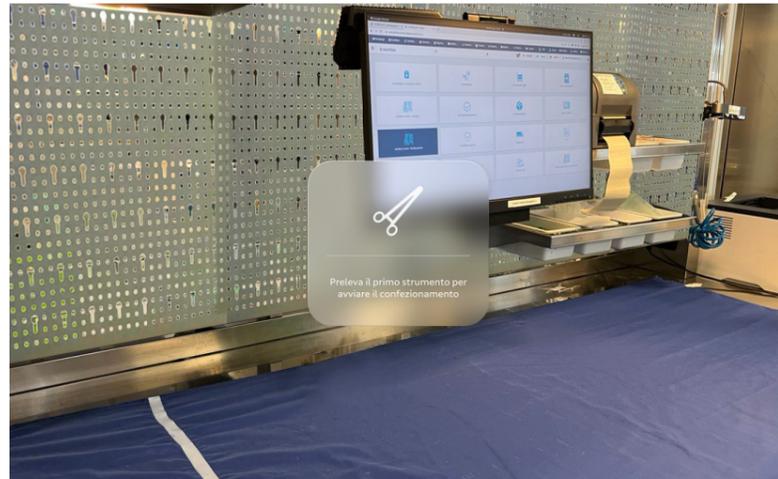


Figura 8.28
Avvio della procedura di confezionamento

Sul tablet verrà visualizzata una lista completa di tutti gli strumenti necessari al completamento del kit scelto in precedenza. Essi sono suddivisi per griglie e per ciascuno strumento si può verificare lo stato della fase di controllo (Da controllare, In corso, Controllato) e quanti ne sono stati controllati rispetto al totale. Inoltre, è possibile aprire la funzione di lente di ingrandimento inclusa nel tablet tramite l'apposita icona.

Articoli	Stato	Effettivo
Griglia FE2790		
SSB1-BL Tappetino richiudibile silicone		
OD02604 - Micro uncino 90° / 0.4 mm	Da controllare	0/1
OG035R - Uncino ovale	Da controllare	0/1
225204 - Micro uncino 90° angolato / 0.4 mm	Da controllare	0/1
225205 - Micro uncino 90° angolato / 0.5 mm	Da controllare	0/1
225406 - Uncino	Da controllare	0/1
3722061 - Punta house x finestra ovale angolata	Da controllare	0/1
225210 - Uncino 90° 1 mm x 16 cm	Da controllare	0/1
226604 - Perforatore 16 cm diam 0.4 mm	Da controllare	0/1
226605 - Perforatore 16 cm diam 0.5 mm	Da controllare	0/1
226606 - Perforatore 16 cm diam 0.6 mm	Da controllare	0/1
226607 - Perforatore fish 16 cm diam 0.7 mm	Da controllare	0/1
226540 - Calibro house strut, 4.0 mm	Da controllare	0/1

Figura 8.29
Lista di tutti gli strumenti che compongono il kit selezionato

La fase di controllo dello strumentario chirurgico inizia con l'identificazione da parte del Magic Leap 2 degli strumenti presenti all'interno del cestello del lavaggio. Per fare ciò, l'operatore deve portare ogni strumento prelevato dalle griglie sotto il campo visivo dell'occhiale di realtà aumentata per far sì che quest'ultimo sia in grado di leggerne il codice identificativo e/o il barcode. Una volta riconosciuto lo strumento, il dispositivo restituisce all'utente una schermata contenente tutte le informazioni necessarie per condurre in modo efficiente la

fase di controllo. Queste informazioni includono il nome dello strumento che si sta controllando, un'immagine di quest'ultimo in scala 1:1 e una dicitura che indica quanti strumenti della stessa tipologia sono stati controllati.

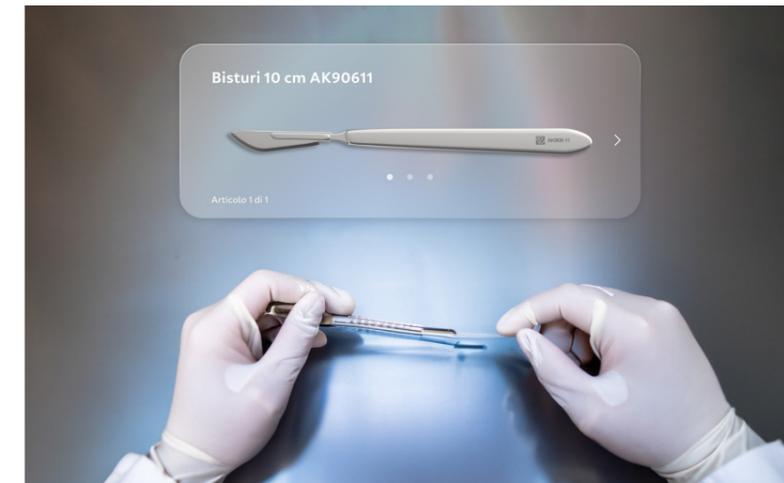


Figura 8.30
Schermata principale di controllo dello strumento

Questa schermata, inoltre, consente all'operatore di consultare diverse immagini dello stesso strumento tramite una semplice integrazione gestuale con le frecce direzionali posizionate accanto all'elemento principale. Dei semplici cerchi posizionati al di sotto delle immagini permettono invece di visualizzare il numero delle immagini totali di quello strumento e di sapere quale si sta guardando in quel preciso istante.

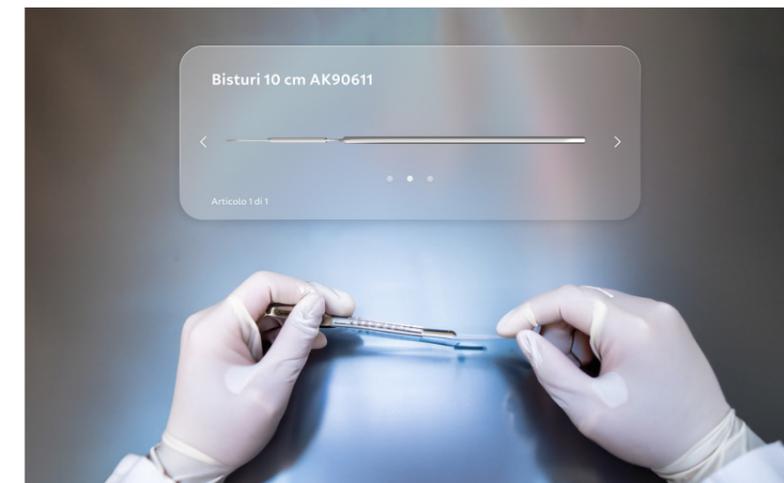


Figura 8.31
Controllo immagini successive

Al fine di ottimizzare l'esperienza di controllo degli strumenti e renderla il più ergonomica e personalizzabile possibile, sono state implementate due diverse funzionalità che permettono agli operatori di adattare l'interfaccia alle loro specifiche esigenze. Essi infatti hanno la possibilità di spostare, ingrandire e rimpicciolire la schermata in base alle loro esigenze specifiche semplicemente

avvicinando le dita nella parte inferiore della schermata o nei suoi angoli dove appariranno degli elementi grafici che indicano la possibilità di eseguire l'azione di spostamento o zoom dell'interfaccia.



Figura 8.32
Spostamento dell'interfaccia

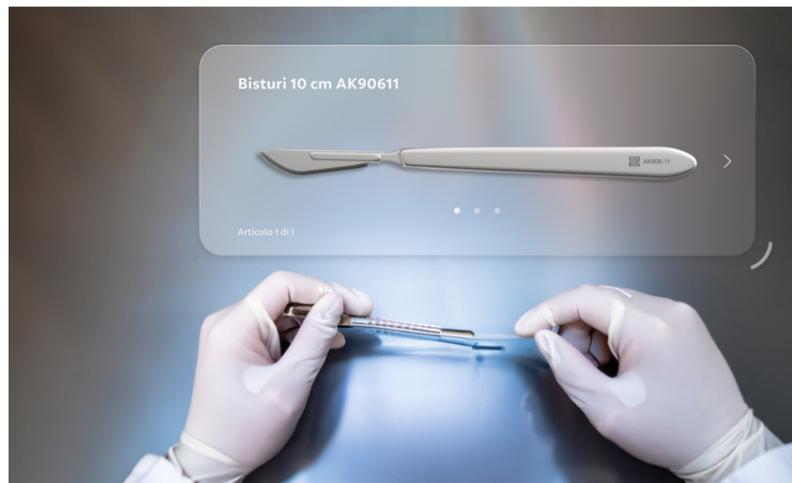


Figura 8.33
Zoom dell'interfaccia

Ogni volta che il Magic Leap 2 identifica lo strumento che l'operatore ha prelevato dal cestello, il tablet compila automaticamente e in tempo reale la check-list relativa al kit da confezionare. Durante questo processo, lo strumento attualmente sottoposto alla fase di controllo viene evidenziato con un colore più scuro, aiutando in questo modo l'operatore a visualizzarlo immediatamente tra il lungo elenco di strumenti. La compilazione automatica della check-list garantisce la massima concentrazione da parte dell'operatore che non deve continuamente distogliere lo sguardo dagli strumenti che sta esaminando per compilare la distinta base. Tuttavia, al tempo stesso egli ha la possibilità di consultare in qualunque momento il tablet in caso di dubbi o per maggiore sicurezza.

Articoli	Stato	Effettivo
SSB1-BL Tappetino richiudibile silicone		
185086 - Retratore 4 rebbi smusso 6 mm	Da controllare	0/1
213005 - Elevatore madre di fish, 5 mm x 17 cm	Da controllare	0/1
223501 - Elevatore beales 1.5 mm	Da controllare	0/1
233410 - Scollatore di babighian lung. 18 mm	Da controllare	0/1
MCO667 - Scollatore angolato cause tige mm 165	Da controllare	0/1
130402 - Scollatore goldman	Da controllare	0/1
MCO21635 - Specchietto zini mm 3.5 retto mm 165	Da controllare	0/1
AK90611 - Bisturi 10 cm	In corso	0/1
233422 - Scollatore di peerkins angolo 45	Da controllare	0/1
223300 - Bisturi a falce	Da controllare	0/1
OG110R - Coltello rotondo diam. 2 mm angolo 45	Da controllare	0/1
OA02203 - Coltello circolare rosen 45° / 0.1 mm	Da controllare	0/1
903313 - Elevator gimmick 1 x 12 mm typ, angolo 15	Da controllare	0/1

Figura 8.34
Compilazione automatica della check-list

Cliccando sull'icona a destra in corrispondenza dello strumento che si sta esaminando è possibile accedere alla funzione di zoom sui dettagli. Questa funzione permette di sfruttare a pieno la presenza del tablet, offrendo all'operatore la possibilità di controllare al meglio ciascun strumento qualora vi siano dettagli di dimensioni molto ridotte. Attraverso i due slider collocati nella parte superiore ed inferiore della schermata, l'utente ha il completo controllo sul grado di personalizzazione del livello di ingrandimento e di luminosità della luce, garantendo una regolazione specifica in base alle proprie esigenze lavorative.

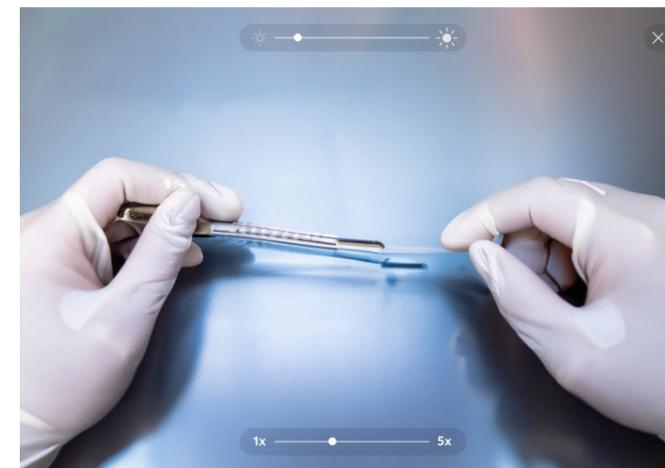


Figura 8.35
Funzione di zoom del tablet

Una volta terminate tutte le operazioni di controllo, l'operatore può accedere alla fase successiva di organizzazione dello strumentario chirurgico in gruppi ben precisi. Per fare ciò, è necessario aprire il palmo della mano e rivolgerlo verso il Magic Leap 2. A questo punto appariranno sul dito indice e medio due diverse opzioni: torna alla home e chiudi il controllo. A seconda della scelta desiderata, l'operatore chiuderà il dito indice o medio con il pollice per attivare la funzione corrispondente.



Figura 8.36
Gesture per aprire il menù
opzioni

Se si decide di concludere la fase di controllo, sul tavolo comparirà una guida visiva che indica il corretto posizionamento dello strumento attraverso l'uso di diversi colori e riempimenti. Per avviare il controllo di un nuovo strumento, sarà sufficiente prelevarne un altro dal cestello e la funzione di controllo verrà riattivata automaticamente.

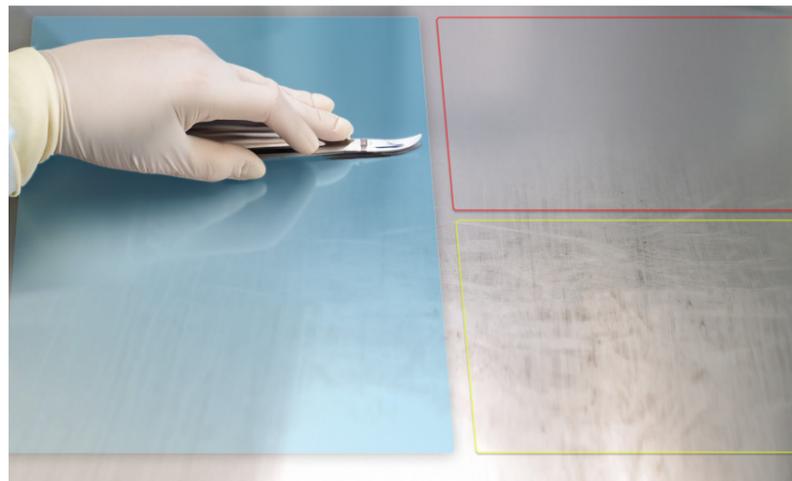


Figura 8.37
Posizionamento degli
strumenti

Dopo aver ripetuto la procedura appena descritta per tutti gli strumenti presenti all'interno delle griglie del lavaggio, il kit è pronto per essere confezionato all'interno del container ed essere poi spedito alla successiva fase di sterilizzazione. Terminati i controlli, il tablet mostra la lista di tutti gli strumenti che compongono il kit e che sono stati accuratamente esaminati dal personale dedicato. Qualora dovesse mancare uno strumento all'appello, l'applicativo notifica l'operatore il quale potrà denunciare l'assenza con il tasto "mancante". In caso contrario, lo stato di tutti gli strumenti sarà contrassegnato dalla scritta "controllato" e l'operatore può procedere allo stampaggio dell'etichetta e al confezionamento.

Articoli	Stato	Efficacia
5581-BL Tappetino richiudibile silicone		
185086 - Retratore 4 rebbi smusso 6 mm	Controllato	1/1
213005 - Elevatore madre di fish, 5 mm x 17 cm	Controllato	1/1
223501 - Elevatore beales 1.5 mm	Controllato	1/1
233410 - Scollatore di babighian lung. 18 mm	Controllato	1/1
MCO667 - Scollatore angolato cause tige mm 165	Controllato	1/1
130402 - Scollatore goldman	Controllato	1/1
MCO21635 - Specchietto zini mm 3.5 retto mm 165	Controllato	1/1
AK90611 - Bisturi 10 cm	Controllato	1/1
233422 - Scollatore di peerkins angolo 45	Controllato	1/1
223300 - Bisturi a falce	Controllato	1/1
OG110R - Coltello rotondo diam. 2 mm angolo 45	Controllato	1/1
OAO2203 - Coltello circolare rosen 45° / 0.1 mm	Controllato	1/1

Figura 8.38
Conclusione
confezionamento

Conclusioni

Il presente elaborato di tesi ha contribuito in modo significativo alla comprensione dell'impatto che la realtà estesa può avere sul processo di controllo qualità manuale all'interno delle imprese, in particolar modo nel processo di confezionamento dei kit chirurgici. Più nel dettaglio, il progetto vuole dimostrare come le tecnologie della realtà estesa possano rappresentare un valore aggiunto nei vari ambiti industriali, contribuendo ad una nuova evoluzione del rapporto uomo-tecnologia che vede l'essere umano nuovamente al centro delle operazioni.

Questo progetto si è soffermato principalmente sulla fase di progettazione delle interfacce del sistema di realtà aumentata e dell'esperienza finale dell'utente per quanto riguarda la fase di confezionamento del più complesso processo di sterilizzazione dei kit chirurgici. Occorrerebbe quindi approfondire la fase di prototipazione, ora limitata alla comprensione del funzionamento dell'intera esperienza, procedendo alla programmazione delle interfacce del Magic Leap 2 e del tablet seguite da test funzionali sul campo. Data la versatilità della realtà estesa e più in generale delle tecnologie immersive, risulterebbe altrettanto efficace trasportare le analisi compiute sulle operazioni di confezionamento dei kit chirurgici lungo tutta la catena del processo applicando la stessa procedura a diversi scenari. È proprio la flessibilità a giocare un ruolo chiave nell'intero progetto di tesi in quanto capace di consentire numerosi possibili sviluppi futuri. Quest'ultima, infatti, permetterebbe di trasferire il progetto anche in altri contesti industriali. Tale aspetto, ampiamente discusso nel capitolo dedicato allo sviluppo del protocollo operativo, si concretizzerebbe nella creazione non solo di una lista di operazioni comuni, ma anche di un modello di interfacce facilmente intercambiabili tra diversi ambiti al fine di ampliare ulteriormente l'universalità e l'efficacia comunicativa del progetto.

Bibliografia

- [1] Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1968). Human Memory: A Proposed System and Its Control Processes. In K. W. Spence, & J. T. Spence (Eds.), *The Psychology of Learning and Motivation: Advances in Research and Theory* (Vol. 2, pp. 89-195). New York: Academic Press. [http://dx.doi.org/10.1016/s0079-7421\(08\)60422-3](http://dx.doi.org/10.1016/s0079-7421(08)60422-3)
- [2] Lieury, A. (2013). *Una memoria d'elefante?*. Springer Milan. <https://doi.org/10.1007/978-88-470-5260-4>
- [3] Eggenter, M. (2013). *L'Arte della Memoria: da Simonide di Ceo al De Umbris Idearum di Giordano Bruno*. Lulu.com.
- [4] Tognon, G. (2017) *La storia dell'educazione nell'antichità oltre Marrou*. Editrice Morcelliana.
- [5] Manenti, di L. G., & Yates, F. A. (2012). Frances A. Yates e l'Arte della Memoria fra Classicità e Rinascimento. *Rivista internazionale di filosofia online*, VII n. 14.
- [6] Matteoli, M. (2008). Arte della memoria, mnemotecnica (Ars memoriae). *Bruniana & Campanelliana*, 14(1), 83-93. <http://www.jstor.org/stable/24335680>
- [7] Ferrucci, F. (2005). *L'arte della memoria di Giordano Bruno. Il trattato «De umbris idearum» rivisto dal noto esperto di scienza della memoria*. Anima Edizioni.
- [8] Castelli, P. (2009). L'arte della memoria tra il XVIII e il XX secolo. Alcuni episodi nell'evoluzione delle mnemotecniche moderne. *La Rivista di Engramma*, n. 70.
- [9] Ledda, G., Anglicus, B., Meier, C., Meyer, H., Van den Abeele, B., & Ventura, I. (2009). Review of *De proprietatibus rerum*, *Lettere Italiane*, 61(3), 460-466.
- [10] Pilati, A. (2008). La rivoluzione digitale. *Equilibri*, 2, 157-162. <https://doi.org/10.1406/27747>
- [11] Bertocci, E. (s.d.). *Il catalogo e la catalogazione*.
- [12] Zoboli, M. (2012). *Gli archivi cartacei dagli Assiri e Babilonesi ai giorni nostri*. Stampata dall'autore.
- [13] De Domenico, M., & Sayama, H. (2022). *Complexity Explained*. <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/TQGNW>

- [14] Norman, D. A. (2011). *Vivere con la complessità*. Pearson Italia.
- [15] Toni, A. F. D., & Zan, G. D. (2015). *Il dilemma della complessità*. Marsilio Editori.
- [16] Maeda, J. (2006). *Le leggi della semplicità*. Bruno Mondadori.
- [17] Calvino, I. (2004). *Le città invisibili*. Einaudi.
- [18] Palmas, F., & Klinker, G. (2020) Defining Extended Reality Training: A Long-Term Definition for All Industries. *2020 IEEE 20th International Conference on Advanced Learning Technologies*, 322-324. <https://doi.org/10.1109/ICALT49669.2020.00103>
- [19] Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A., & Kishino, F. (1995). Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. *Telematcher and Telepresence Technologies*, 2351, 282-292. <https://doi.org/10.1117/12.197321>
- [20] Billinghurst, M., Clark, A., & Lee, G. (2015). A Survey of Augmented Reality. *Foundations and Trends in Human-Computer Interaction*, 8(2-3), 73-272. <https://doi.org/10.1561/1100000049>
- [21] Anthes, C., Garcia-Hernandez, R. J., Wiedemann, M., & Kranzlmüller, D. (2016). State of the art of virtual reality technology. *2016 IEEE Aerospace Conference*, 1-19. <https://doi.org/10.1109/AERO.2016.7500674>
- [22] Azuma, R., Baillet, Y., Behringer, R., Feiner, S., Julier, S., & MacIntyre, B. (2001). Recent advances in augmented reality. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 21(6), 34-47. <https://doi.org/10.1109/38.963459>
- [23] Azuma, R. T. (1997). A Survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(4), 355-385. doi: <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.4.355>
- [24] Van Krevelen, D., & Poelman, R. (2010). A Survey of Augmented Reality Technologies, Applications and Limitations. *International Journal of Virtual Reality*, 9(2), 1-20. <https://doi.org/10.20870/IJVR.2010.9.2.2767>
- [25] Wang, X., & Dunston, P. S. (2007). Design, Strategies, and Issues towards an Augmented Reality-Based Construction Training Platform. *ITcon*, 12, 363-380. <http://www.itcon.org/2007/25>
- [26] Rabbi, I., & Ullah, S. (2013). A Survey on Augmented Reality Challenges and Tracking Authors. *Acta Graphica*, 24(1-2), 29-46. <https://hrcak.srce.hr/file/150828>
- [27] Zheng, J. M., Chan, K. W., & Gibson, I. (1998). Virtual reality. *IEEE Potentials*, 17(2), 20-23. <https://doi.org/10.1109/45.666641>

- [28] Gong, L. (2021). *Developing extended reality systems for the manufacturing industry*. Chalmers Tekniska Hogskola.
- [29] Biocca, F., & Levy, M. R. (1995). *Communication in the age of virtual reality*. Lawrence Erlbaum Associates. <https://doi.org/10.4324/9781410603128>
- [30] Terashima, N. (2001) *Intelligent Communication Systems*. Academic Press.
- [31] Costanza, E., Kunz, A., & Fjeld, M. (2009) Mixed Reality: A Survey. In D. Lalanne & J. Kohlas (Eds.), *Human Machine Interaction* (pp. 47-68). Springer-Verlag Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-00437-7_3
- [32] Calabro, M. (s.d.). Piano nazionale Industria 4.0.
- [33] Hozdic, E. (2015). Smart factory for Industry 4.0: a review. *International Journal of Modern Manufacturing Technologies*. 7(1), 28-35. https://modtech.ro/international-journal/vol7no12015/Hozdic_Elvis.pdf
- [34] Rossato, L., & Raco, F. (2017). Tecnologie virtuali per il concept design. La rappresentazione digitale del progetto di processi e prodotti. *MD Journal*, 4, 160-169.
- [35] Choudhry, A., Premchand, A. (2021). Digital Transformation Using Immersive Technologies in Manufacturing and Utilities. In: Favorskaya, M.N., Mekhilef, S., Pandey, R.K., Singh, N. (eds) *Innovations in Electrical and Electronic Engineering. Lecture Notes in Electrical Engineering*, vol 661. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-4692-1_33
- [36] Johnson, M. E. (2019). Smart technology: Tools to bridge the skill-gap and bring in new workers. *Aeronautics and Aerospace Open Access Journal*, 3(4), 155-158. <https://doi.org/10.15406/aaaj.2019.03.00094>
- [37] Mohamad, H., Jenal, R., & Genas, D. (2011). *Quality Control Implementation in Manufacturing Companies: Motivating Factors and Challenges*. InTech. doi: 10.5772/15997
- [38] Jacob, D. (2017). *Quality 4.0 Impact and Strategy Handbook: Getting Digitally Connected to Transform*. Quality Management.
- [39] Monostori, L., Kádár, B., Bauernhansl, T., Kondoh, S., Kumara, S., Reinhart, G., Sauer, O., Schuh, G., Sihn, W., & Ueda, K. (2016). Cyber-physical systems in manufacturing. *CIRP Annals*, 65(2), 621-641. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2016.06.005>
- [40] Kumar, A., Shankar, R., & Thakur, L. S. (2018). A big data driven sustainable manufacturing framework for condition-based maintenance prediction.

- Journal of computational science*, 27, 428-439. <https://doi.org/10.1016/j.jocs.2017.06.006>
- [41] Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The internet of things: A survey. *Computer networks*, 54(15), 2787-2805. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010>
- [42] Kagermann, H. (2014). Change through digitization-Value creation in the age of Industry 4.0. In *Management of permanent change* (pp. 23-45). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-05014-6_2
- [43] Sagodi, A., Schniertshauer, J., & van Giffen, B. (2022). Engineering AI-Enabled Computer Vision Systems: Lessons From Manufacturing. *IEEE Software*, 39(6), 51-57. <https://doi.org/10.1109/MS.2022.3189904>
- [44] Egger, J., & Masood, T. (2020). Augmented reality in support of intelligent manufacturing-a systematic literature review. *Computers & Industrial Engineering*, 140, 106195. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106195>
- [45] Radziwill, N. M. (2018). *Quality 4.0: Let's Get Digital-The many ways the fourth industrial revolution is reshaping the way we think about quality*. arXiv preprint arXiv:1810.07829.
- [46] Ho, P. T., Albajez, J. A., Santolaria, J., & Yagüe-Fabra, J. A. (2022). Study of Augmented Reality Based Manufacturing for Further Integration of Quality Control 4.0: A Systematic Literature Review. *Applied Sciences*, 12(4), 1961. <http://dx.doi.org/10.3390/app12041961>
- [47] Commissione europea, Direzione generale della Ricerca e dell'innovazione, Breque, M., De Nul, L., Petridis, A. (2021). *Industry 5.0: towards a sustainable, human-centric and resilient European industry*. Ufficio delle pubblicazioni dell'Unione europea. <https://data.europa.eu/doi/10.2777/308407>
- [48] Barbuti, S., Fara, G. M., & Giammarco, G. (2008). *Igiene e medicina preventiva*. Monduzzi Editoriale.
- [49] Istituto Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza del Lavoro. (2010). *Linee guida sull'attività di sterilizzazione quale protezione collettiva da agenti biologici per l'operatore nelle strutture sanitarie*.
- [50] Lombardi, A. (2007) *Linee guida sterilizzazione strumentario chirurgico e materiali d'uso*.
- [51] Rutala, W. A., & Weber, D. J. (2016). Disinfection and Sterilization in Health

Care Facilities: An Overview and Current Issues. *Infectious disease clinics of North America*, 30(3), 609–637. <https://doi.org/10.1016/j.idc.2016.04.002>

- [52] Tartaro, T., & Sarti, G. (1999). *Il processo di sterilizzazione*. Masson.
- [53] Carlier, M. (2022). *Global automotive manufacturing industry revenue between 2019 and 2022*. Statista.
- [54] Associazione Nazionale Filiera Industria Automobilistica. (2022). *L'industria autoveicolistica italiana nel 2022*.
- [55] Kleinebudde, P., Khinast, J., & Rantanen, J. (Eds.). (2017). *Continuous manufacturing of pharmaceuticals*. John Wiley & Sons.
- [56] Van Laarhoven, P. J., & Zijm, W. H. (1993). Production preparation and numerical control in PCB assembly. *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, 5(3), 187-207.
- [57] Ciurana, J. (2014). Designing, prototyping and manufacturing medical devices: an overview. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 27(10), 901-918.
- [58] Allianz Trade. (2023). *Il settore ortofrutta*.
- [59] Haller, M., Billingham, M., & Thomas, B. (Eds.). (2006). *Emerging technologies of augmented reality: Interfaces and design: Interfaces and design*. Igi Global.
- [60] O'Connell, K. (2016) *Designing for Mixed Reality*. O'Reilly Media.

Sitografia

- [61] *Mnemotecnica*. (2022, 1 giugno). Wikipedia. <https://it.wikipedia.org/w/index.php?title=Mnemotecnica&oldid=127697436>
- [62] *Storia delle mnemotecniche*. (s.d.). Le Mnemotecniche. https://www.itimarconinocera.org/sito/menu/progetti/PNL%20-%20IFS/sito_web%20cianza/storia.html
- [63] *Memòria*. (s.d.). Vocabolario Treccani. <https://www.treccani.it/vocabolario/memoria>
- [64] Ghezzi, T. (2018, 27 giugno). *Il teatro della memoria di Giulio Camillo*. Treccani. https://www.treccani.it/magazine/chiasmo/storia_e_filosofia/Memoria/teatro_della_memoria_sns.html
- [65] *Ars memoriae*. (2021, 17 giugno). Wikipedia. https://it.wikipedia.org/w/index.php?title=Ars_memoriae&oldid=121366552#Generalit%C3%A0
- [66] Puleggio, A., & Sostegni, S. (2017, 1 ottobre). *Metacognizione, metamemoria e mnemotecniche*. EXAGERE Rivista. <https://www.exagere.it/metacognizione-metamemoria-e-mnemotecniche/>
- [67] Gallo, E. (2022, 12 dicembre). *L'invenzione e l'evoluzione della scrittura: una delle più importanti scoperte della storia*. Geopop. <https://www.geopop.it/l'invenzione-e-levoluzione-della-scrittura-una-delle-piu-importanti-scoperte-della-storia/>
- [68] *La scrittura*. (2015, luglio 19). Vestioevo. <https://vestioevo.com/2015/07/19/la-scrittura/>
- [69] Saitta, G., & D'Ancona, P. (1929) *Arti liberali*. Enciclopedia Italiana. [https://www.treccani.it/enciclopedia/arti-liberali_\(Enciclopedia-Italiana\)](https://www.treccani.it/enciclopedia/arti-liberali_(Enciclopedia-Italiana))
- [70] Montecchi, G. (2001). *Il Rinascimento. La stampa e la diffusione del sapere scientifico*. Storia della Scienza. [https://www.treccani.it/enciclopedia/il-rinascimento-la-stampa-e-la-diffusione-del-sapere-scientifico_\(Storia-della-Scienza\)](https://www.treccani.it/enciclopedia/il-rinascimento-la-stampa-e-la-diffusione-del-sapere-scientifico_(Storia-della-Scienza))
- [71] Fade, L. (2019, 8 luglio). *Extended Reality (XR) Is The Hot Topic Of 2020 And Beyond: Here's Why*. Forbes. <https://www.forbes.com/sites/theyec/2019/07/08/extended-reality-xr-is-the-hot-topic-of-2020-and-beyond-heres-why/>
- [72] Scribani, J. (2019, 16 gennaio). *What is Extended Reality (XR)?*. Visual

Capitalist. <https://www.visualcapitalist.com/extended-reality-xr/>

- [73] Meet our Haptic VR Suit and Glove with Force Feedback. (2022, marzo 2). Teslasuit. <https://teslasuit.io/>
- [74] La Trofa, F. (2021, 25 novembre). *Smart Factory: Come funziona e cos'è la fabbrica intelligente*. UniverseIT. <https://universeit.blog/smart-factory/>
- [75] Porter, M. E., & Heppelmann, J. E. (2017, novembre 1). *Why Every Organization Needs an Augmented Reality Strategy*. Harvard Business Review. <https://hbr.org/2017/11/why-every-organization-needs-an-augmented-reality-strategy>
- [76] *SIMIT Simulation Framework V8.1 and SIMIT Virtual Controller V3.0 Released for Ordering and Delivery*. (2014, 17 dicembre). Siemens. <https://support.industry.siemens.com/cs/document/106448762/simit-simulation-framework-v8-1-and-simit-virtual-controller-v3-0-released-for-ordering-and-delivery?dti=0&lc=en-IT>
- [77] *Controllo qualità in azienda*. (2023). Procedure ISO 9001:2015. <https://www.procedure-qualita-iso-9001.it/strumenti-gestione-qualita/controllo-qualita-nelle-aziende/>
- [78] Laboris, R. A. (2019, luglio 31). *Controllo qualità: Che cos'è e a cosa serve*. Alma Laboris Business School. <https://www.almalaboris.com/organismo/blog-lavoro-alma-laboris/62-sistemi-di-gestione-integrati/1827-controllo-qualita.html>
- [79] Allock, A. (2019, 7 gennaio). *Nikon talks Quality 4.0*. Machinery. <https://www.machinery.co.uk/content/features/from-the-files-nikon-talks-quality-4-0-first-published-in-machinery-september-2018/>
- [80] Jacob, D. (2017, 26 luglio). *What is Quality 4.0?*. LNS Research. <https://blog.insresearch.com/quality40>
- [81] *What is Computer Vision?* (s.d.). IBM. <https://www.ibm.com/topics/computer-vision>
- [82] Monzini, V. (2018, 2 settembre). *Porsche utilizza l'Inno-Space per definire nuovi benchmark qualitativi*. Porsche. <https://www.porsche.com/italy/aboutporsche/pressreleases/pit/?id=2018-02-09&pool=italy>
- [83] Greco, C. (2022, 15 dicembre). *L'interazione uomo-macchina in fabbrica, nuove prospettive: Il punto di vista di Impresoft Group*. Innovation Post. <https://www.innovationpost.it/network/linterazione-uomo-macchina-in-fabbrica-nuove-prospettive-il-punto-di-vista-di-impresoft-group/>

- [84] Della Mura, M. T. (2020, 11 maggio). *XReality a supporto del miglioramento della produzione e del controllo qualità*. Industry 4 Business. <https://www.industry4business.it/connected-enterprise/connected-factory/xreality-a-supporto-del-miglioramento-della-produzione-e-del-controllo-qualita/>
- [85] *Industria 4.0 in Italia: Un mercato da oltre 4,5 miliardi €*. (2021, 12 ottobre). Osservatori.net. <https://www.osservatori.net/it/ricerche/comunicati-stampa/industria-4-0-italia>
- [86] *Industria orologiera*. (2017, 27 novembre). About Switzerland. <https://www.eda.admin.ch/aboutswitzerland/it/home/wirtschaft/taetigkeitsgebiete/uhrenindustrie.html>
- [87] Gatti, S. (2020, 9 settembre). *Banco da lavoro: come progettare una postazione in golden zone*. Utek Vision. <https://www.utekvision.com/it/blog/banco-da-lavoro-postazione-ergonomica.html>
- [88] *Developer Portal*. (s.d.). Magic Leap. <https://ml1-developer.magicleap.com/en-us/learn/guides/developer-portal>

Relatore: Michele Zannoni
Correlatore: Diego Pucci