

ALMA MATER STUDIORUM · UNIVERSITÀ DI
BOLOGNA

SCUOLA DI SCIENZE

Corso di Laurea in Ingegneria e Scienze Informatiche

**Ospedale 4.0:
Sfide dell'IoT in ambito
intra-ospedaliero**

Relatore:

Prof. Alessandro Ricci

Co-Relatore:

Dott.ssa Sara Montagna

Presentata da:

Lorenzo Chiana

**III Sessione di Laurea
Anno Accademico 2016/2017**

Indice

Introduzione	i
1 Industria 4.0	1
1.1 Concetto di Industria 4.0	1
1.2 Pervasive computing & Internet of Things	2
1.2.1 Sensoristica	3
1.2.2 Sistemi Ciberfisici	11
1.2.3 Robotica	14
1.3 Big Data	15
1.3.1 Cloud computing	16
1.3.2 Cognitive computing	17
1.4 Realtà aumentata	18
2 Ospedale 4.0	21
2.1 Panoramica sull'ospedale odierno	21
2.2 Sfide ospedaliere	23
2.3 Concetto di Ospedale 4.0	25
2.4 Pervasive Computing & Internet of Things	28
2.4.1 Sensoristica	30
2.5 Robotica	35
2.6 Nanotecnologia	36
2.7 Realtà Aumentata & Realtà Virtuale	38
2.7.1 Chirurgia	38
2.7.2 Formazione	39

2.8	Gestione ed elaborazione dati	40
2.8.1	Diagnostica per immagini	42
2.9	Sicurezza e Privacy	44
2.9.1	Requisiti di sicurezza	44
2.9.2	Sfide	45
3	Tecnologia e dispositivi presenti sul mercato	49
3.1	Sulla via di Ospedale 4.0	49
3.1.1	Westchester Medical Center University Hospital	49
3.1.2	Augusta University Medical Center	50
3.2	Sensoristica biometrica e monitor	51
3.2.1	Dräger	51
3.2.2	Philips	53
3.2.3	Medtronic	53
3.2.4	GE Healthcare	54
3.3	Imaging diagnostico	55
3.3.1	Philips	55
3.3.2	Samsung	56
3.3.3	Medtronic	57
3.3.4	GE Healthcare	58
3.3.5	Siemens Healthineers	58
3.4	Robot	59
3.4.1	Intuitive Surgical - da Vinci	59
3.5	Intelligenza artificiale	61
3.5.1	IBM - Watson	61
3.5.2	Google - AlphaGo & DeepMind Health	62
3.6	Realtà aumentata	63
3.6.1	Google Glass	63
3.6.2	Mappatura emodinamica	64
3.7	Realtà virtuale	66
3.7.1	Oculus Rift	66

INDICE **3**

Conclusioni **68**

Bibliografia e sitografia **69**

Elenco delle figure

1	Rivoluzioni industriali	i
1.1	Architettura di un sistema ciberfisico	13
1.2	Esempio di utilizzo di robot in ambito industriale.	15
2.1	Schema Ospedale 4.0	27
2.2	Esempio di utilizzo di robot in chirurgia.	36
2.3	Esempio di imaging cerebrale.	43
3.1	Esempio d'utilizzo del robot da Vinci.	61
3.2	Google Glass.	64
3.3	Eempio di mappatura emodinamica.	65
3.4	Oculus Rift.	66

Introduzione

Oggi nei paesi maggiormente sviluppati, dove la terza rivoluzione industriale è già avvenuta, si sta assistendo a un quarto passaggio: la cosiddetta quarta rivoluzione industriale. Su questa si basa il nuovo concetto di Industria 4.0, con la quale si punta sulla creazione di aziende, prodotti e servizi intelligenti grazie all'integrazione di nuove tecnologie con i processi industriali, che rendono la nuova industria un ambiente interconnesso e intelligente.

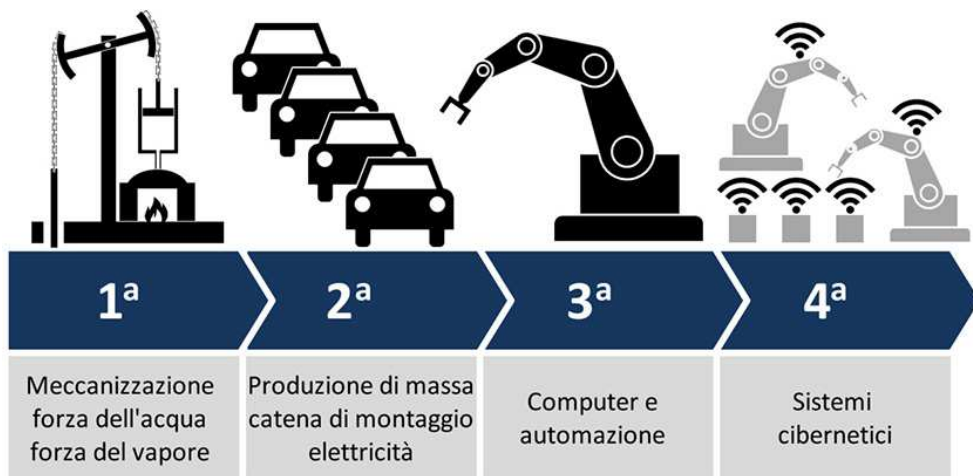


Figura 1: Rivoluzioni industriali

In questo documento si andrà ad analizzare quelle che sono le tecnologie più importanti introdotte dall'Industria 4.0 come: Internet of Things con la parte di sensori applicati nell'industria, di sistemi ciberfisici, di robotica,

e della parte di connessione di rete che permette a tutte queste “cose” di comunicare e scambiarsi informazioni di ogni tipo creando un intero sistema interconnesso; Big Data con tutta la parte di acquisizione, archiviazione, gestione e analisi dei dati provenienti dai vari dispositivi interconnessi; infine, la parte di realtà aumentata e il supporto che offre ai vari processi industriali.

Successivamente, a seguito di una panoramica sullo stato attuale degli ospedali, verrà proposta una nuova concezione di ospedale modellato a partire dalle esigenze dei pazienti e a quelle lavorative del personale medico, dalla tecnologia e dai processi di erogazione delle prestazioni sanitarie, cliniche e chirurgiche. Sarà analizzato come l’Internet of Things, la robotica e le nuove tecniche per la gestione e l’analisi dei dati possono cambiare il modo di vedere e di interagire con l’ambiente ospedaliero: dal monitoraggio del paziente all’assistenza sanitaria, dal processo decisionale a quello di formazione a supporto del personale medico, fino ad arrivare nei vari ambienti della medicina come la chirurgia, dando una visione di un luogo dove migliaia di dispositivi collegati in rete comunicano tra loro. Dispositivi che possono essere: apparati legati alla diagnostica, dispositivi indossabili come sensori biomedici o occhiali per la realtà aumentata, o attrezzature per la sala operatoria. Inoltre verrà fornito un quadro di tutte le sfide e le criticità da intraprendere e risolvere per il passaggio dall’odierno ospedale alla sua nuova concezione: l’Ospedale 4.0.

Infine, sarà proposta una panoramica sulle tecnologie attualmente disponibili che le grandi compagnie tecnologiche come Philips, Samsung, Dräger, Medtronic, Google, IBM e molte altre portano sul mercato sanitario, fornendo così una “fotografia” del mercato tecnologico sanitario attuale. Inoltre, a seguito di una riflessione su questa panoramica si andrà a individuare quale sia l’approccio più promettente per un cambiamento verso il concetto di Ospedale 4.0.

Capitolo 1

Industria 4.0

In questo capitolo verrà esposto il concetto di Industria 4.0 e le varie tecnologie abilitanti, con approfondimento e focalizzazione su ognuna di queste tecniche e la loro integrazione tra ambito industriale e concetto di *pervasive computing*.

1.1 Concetto di Industria 4.0

L'Industria 4.0 scaturisce dalla quarta rivoluzione industriale (*Figura 1*), ed è il processo che porterà l'attuale produzione industriale a diventare del tutto automatizzata e interconnessa. Lo sviluppo verso il concetto di Industria 4.0 ha attualmente un'influenza notevole su quella manifatturiera e si basa sulla creazione di aziende, prodotti e servizi intelligenti integrati in un sistema basato su Internet of Things (IoT). La combinazione tra software, sensori e tecnologie per la comunicazione ha un ruolo importante nel far sì che le varie "cose" (*sezione 1.2*) degli IoT generino informazioni utili e di valore ai processi di produzione [47]. L'ambito industriale sarà molto influenzato dalle nuove tecnologie digitali soprattutto nelle seguenti quattro direttrici di sviluppo [72, 48, 41]:

- Raccolta e gestione dati: si traduce in applicazione di sensori in ambito industriale utilizzati per il recupero di dati utili in seguito per la diagno-

stica o l'analisi. Questi sensori possono essere introdotti in macchinari o direttamente negli ambienti industriali. Big data, open data, Internet of Things, machine-to-machine e cloud computing offrono metodologie per la memorizzazione e la gestione di questi dati raccolti.

- **Analisi dati:** una volta raccolti i dati, bisogna ricavare il loro valore. Oggi le varie imprese utilizzano solo l'1% dei dati raccolti [18] e tecniche come il machine learning o il deep learning possono venire in aiuto per l'analisi e il ricavo del loro effettivo valore.
- **Interazione uomo-macchina:** comprende quelle modalità con cui l'uomo può interfacciarsi con la macchina come i linguaggi di programmazione, determinati strumenti e interfacce (HMI).
- **Passaggio dal digitale al "reale":** è un settore che si occupa per l'appunto del passaggio dal digitale al reale per razionalizzare i costi e ottimizzare le prestazioni e comprende: la manifattura additiva, la stampa 3D, la robotica, le comunicazioni, le interazioni machine-to-machine e le nuove tecnologie per immagazzinare e utilizzare l'energia in modo mirato e le applicazioni di realtà virtuale.

1.2 Pervasive computing & Internet of Things

Il Pervasive computing è la crescente tendenza di incorporare la capacità computazionale in oggetti di uso quotidiano per renderli in grado di comunicare e svolgere attività utili in modo efficace, riducendo al minimo la necessità dell'utente di interagire con i computer come dei computer. Nell'Industria 4.0 questo si traduce in macchine e in interi processi industriali connessi in rete, costantemente disponibili e un costante flusso di dati da gestire per la comunicazione tra i vari dispositivi. Questo è possibile grazie all'integrazione dell'Internet of Things in ambienti industriali.

Internet of Things (IoT) è definito come l'interconnessione in rete di dispositivi informatici incorporati in oggetti di uso quotidiano, consentendo

loro di inviare e ricevere dati, aumentando così l'ubiquità della rete Internet. Per “Things” (oggetti) si intendono diverse categorie quali: dispositivi integrati, sensoristica, apparecchiature, materiali e prodotti tangibili, macchinari, impianti o attrezzature. Ogni oggetto è identificato da un indirizzo IP oppure da particolari etichette RFID¹, trasmettitori iBeacon² o NFC³ [26] e l'interazione di questi oggetti tramite sistemi integrati, porta a una rete altamente distribuita di dispositivi che comunicano con altri dispositivi e con esseri umani. Queste reti possono presentare differenti tipologie di connessione: Uno a Uno, Uno a Molti e Molti a Molti [81]. La prima consiste nella capacità di un dispositivo di poter comunicare direttamente con un altro: si può dire che sia la funzionalità base e più semplice di un dispositivo IoT. La seconda presenta una trasmissione dati più su larga scala dove vi è un centro (Uno) che riceve dati e informazioni da più sensori o dispositivi (Molti), li elabora e, sulla base di queste informazioni, istruisce quei dispositivi. Infine l'ultima presenta milioni di dispositivi (Molti) che comunicano con altri milioni di dispositivi (Molti) generando una fitta rete di informazioni in grado di gestire in modo autonomo intere attività.

1.2.1 Sensoristica

Come accennato in precedenza i vari dispositivi integrati facenti parte di una rete IoT interagiscono con l'ambiente in cui sono situati attraverso sensori e attuatori. In questa sezione si concentrerà sulla parte di sensoristica presentando una definizione di sensore, le varie tecnologie abilitanti per l'integrazione in una rete IoT e, infine, una panoramica dei sensori più comuni in ambito Industria 4.0.

Un sensore è un trasduttore⁴ che permette la misurazione di un certo fenomeno fisico o la rilevazione di una quantità chimica fornendone una rap-

¹Sezione 1.2.1

²Sezione 1.2.1

³Sezione 1.2.1

⁴Un trasduttore è un dispositivo che trasforma una specifica grandezza fisica da misurare in un segnale elettrico.

presentazione in una scala o in un intervallo. I sensori possono misurare grandezze fisiche di due tipi [90, 91]:

1. grandezze continue, ovvero grandezze che possono assumere qualsiasi valore all'interno di un certo intervallo;
2. grandezze discrete, ovvero grandezze che si basano su eventi elementari che assumono valori distinti.

Inoltre, i sensori possono essere: analogici e digitali. Nel primo caso il valore in uscita varia con continuità in risposta alla variazione della grandezza fisica misurata, nel secondo caso, invece, il valore in uscita presenta un insieme discreto di valori [90].

I vari oggetti di una rete IoT possono essere collegati a essa in maniera wired (cablata) o wireless (senza fili). Un intero sistema basato sulla prima tipologia richiede l'installazione e la manutenzione regolare di costosi cavi per la comunicazione, portando la loro implementazione a livello industriale a costi elevati. Pertanto vi è la necessità di creare sistemi di automazione wireless che consentano risparmi significativi e ottimizzino la gestione dei sistemi industriali [46]. Di conseguenza di seguito verranno analizzati i vari standard e le varie tecnologie abilitanti per la comunicazione e l'identificazione wireless di dispositivi in una rete IoT.

Gli standard più utilizzati attualmente in ambito IoT sono [97, 24]:

- Bluetooth & BLE: è uno standard tecnico-industriale per la comunicazione in reti WPAN⁵ che permette lo scambio di informazioni tra dispositivi diversi attraverso una frequenza radio a corto raggio. L'obiettivo principale di questo standard è ottenere bassi consumi energetici e questo lo rende adatto all'uso per i dispositivi integrati. La rete formata da più dispositivi Bluetooth viene chiamata piconet, la quale si basa su architettura master-slave, e più piconet connesse tra loro formano una scatternet. I vari collegamenti che possono essere stabiliti fra i diversi

⁵WPAN (Wireless Personal Area Network) è una rete personale (PAN) che come mezzo trasmissivo utilizza le onde radio invece dei cavi.

dispositivi di queste reti sono di due tipi: orientati alla connessione e senza connessione. La prima richiede di stabilire una connessione tra i dispositivi prima di inviare i dati, la seconda non richiede alcuna connessione prima di inviare i dati. Lato sicurezza lo standard Bluetooth per autenticare i dispositivi e generare chiavi per la cifratura dei dati utilizza l'algoritmo SAFER+. Dalla nascita dello standard a oggi vi sono state apportate varie migliorie creando nel tempo diverse versioni: dalla 1.0 (1999) alla 5.0 (2016). La versione 4.0, detta anche Bluetooth Smart, introduce il BLE (Bluetooth Low Energy) che è un protocollo alternativo a quello classico pensato appositamente per gli IoT, consumando meno energia, facilitando la creazione di link di comunicazione tra i dispositivi e dando maggiore reattività. Esistono due implementazioni del Bluetooth Smart: single-mode, dove solo il BLE è implementato e il dual-mode, dove le funzionalità del BT Smart sono integrate con quelle del BT classico. L'ultima versione, la 5.0, offre ulteriori miglioramenti sul piano dell'IoT: a pari livelli di consumo permette di avere un'area di trasmissione quattro volte maggiore; riduce i tempi necessari per la ricezione e la trasmissione dei dati arrivando fino a 2Mbps in modalità di basso consumo; aumenta la capacità di trasferimento di otto volte rispetto alle versioni precedenti richiedendo minor tempo per il completamento dei task.

- Standard 802.15.4: è uno standard nato per regolamentare il livello fisico e il MAC per le reti in area personale a bassa velocità di trasferimento dati che si basa sulla comunicazione a basso consumo e a corto raggio. Infatti, il framework di base prevede una comunicazione entro i dieci metri con tasso di trasferimento di 250 kbit/s. Inoltre concerne comunicazione in tempo reale e comunicazioni sicure. La rete che si basa su questo standard utilizza due tipi di nodi: Full Function device (FFD), che funge da coordinatore della rete personale (PAN) e implementa un modello di comunicazione che gli permette di parlare con un qualsiasi altro nodo; Reduced Function Device (RFD), sono nodi a

ridotta complessità che possono comunicare solo con un FFD e rappresentano semplici dispositivi. Come ogni rete anche lo standard 802.15.4 presenta delle tipologie di rete e queste sono: star, peer-to-peer e cluster tree. Nelle prime due ogni nodo deve avere almeno un FFD che serve da coordinatore e nell'ultima un RFD può avere solo un FFD. In ottica IoT la tecnologia più utilizzata che si basa su questo standard è lo ZigBee che definisce una wireless mesh network⁶ economica e autogestita utilizzata principalmente per il controllo industriale e in reti di sensori. Vi sono tre tipi differenti di dispositivi ZigBee: ZigBee Coordinator (ZC), costituisce la radice della rete, può operare da ponte tra più reti e ce ne può essere solo uno di questi in una rete ZigBee; ZigBee Router (ZR), agisce come router intermedio passando i dati tra i vari dispositivi; ZigBee End Device (ZED), sono dispositivi che non possono trasmettere dati provenienti da altri dispositivi, possono solo dialogare con il nodo padre che può essere un ZC o un ZR e, dato che richiedono minor quantitativo di memoria, rappresentano i nodi più economici della rete. Gli ZigBee rispetto al Bluetooth hanno miglior efficienza, un raggio di comunicazione più ampio e riescono a creare reti peer-to-peer in maniera più semplice e agile. Pertanto rappresentano una soluzione migliore per l'IoT, tuttavia è comunque meno utilizzata a livello consumer.

Le tecnologie abilitanti e più utilizzate per la sensoristica in ambito IoT sono [97, 24]:

- RFID: Radio Frequency Identification, è una tecnologia per l'identificazione e il rilevamento a distanza di informazioni inerenti a oggetti tramite l'utilizzo di piccoli dispositivi elettronici, chiamati tag, e appositi apparati fissi, chiamati reader, che possono effettuare interrogazioni a distanza sui tag. In genere un tag contiene un codice identificativo univoco che contraddistingue l'oggetto su cui è montato e può essere

⁶Wireless mesh network è una rete a maglie implementata tramite una WLAN

passivo, attivo e BAP. Nel primo caso il tag non è alimentato ed è caratterizzato da un circuito che viene alimentato a distanza dalle onde radio del reader che ne vuole leggere o scrivere il contenuto. L'attivo, invece, presenta batterie proprie e trasmette il proprio contenuto informativo continuamente in broadcast. Il BAP (battery assisted passive) è un ibrido fra i due precedenti: funziona come l'attivo con la sola distinzione che invia le informazioni solo sollecitato da un RFID reader come il passivo e in più supporta maggiori distanze rispetto quest'ultimo.

- NFC: il Near Field Communication fornisce connettività senza fili a corto raggio con funzionamento simile al RFID con la differenza che permette una connessione bidirezionale, ovvero che se i due apparecchi NFC vengono accostati entro un raggio di 4 cm, viene creata una rete peer-to-peer che permette ai due dispositivi di inviare e ricevere informazioni.
- iBeacon: è un dispositivo basato sulla tecnologia BLE utilizzato per la localizzazione e l'identificazione wireless di dispositivi in ambienti interni. Il dispositivo è un trasmettitore che emette continuamente un segnale che contiene il proprio ID e che può essere rilevato da un qualsiasi dispositivo BLE. Ha un impatto notevole in ambito IoT sia industriale che casalingo (domotica) grazie anche alla sua caratteristica di risparmio energetico.
- Wi-Fi: è una tecnologia per WLAN basata sullo standard IEEE 802.11. La rete Wi-Fi è una rete di telecomunicazioni composta da dispositivi di ricetrasmisione radio chiamati *access point* il cui range di connettività si aggira intorno ai cento metri. Oggigiorno questa tecnologia è molto utilizzata in vari ambiti anche in quello IoT anche se per i dispositivi integrati *stand-alone* non è la tecnologia più consona da utilizzare per lo scambio di dati. Infatti, il Wi-Fi, rispetto a tecnologie che si basano su standard come Bluetooth o ZigBee, presenta consu-

mi rilevanti che rendono il suo uso inadatto su quei dispositivi che si basano sull'efficienza e il risparmio energetico.

Dopo la presentazione degli standard e la tecnologia abilitante, di seguito verranno presentati i sensori più diffusi in un'ottica IoT raggruppati per funzionalità:

1. Sensori di accelerazione: sono sensori impiegati per la misurazione dell'accelerazione utili in ambiti scientifici, aerospaziali, automobilistici, mobili, medici, ecc [4]. Si possono dividere in [5]: accelerometro estensimetrico, accelerometro piezoresistivo, accelerometro LVDT, accelerometro capacitivo, accelerometro piezoelettrico, accelerometro laser e gravimetro. Ognuno di questi si basa sulla rilevazione dell'inerzia di una massa quando viene sottoposta a un'accelerazione e tra loro si differenziano per il metodo di rilevazione e/o per la componentistica [4, 5].
2. Sensori ottici: sono sensori che solitamente vengono impiegati in dispositivi che trattano elettronicamente immagini. Negli ultimi anni questi sensori hanno avuto maggiore impiego nelle applicazioni mobili e nell'industria automobilistica [45].
 - Fotorivelatore o fotocellula: è un sensore in grado di rilevare la radiazione elettromagnetica e che riesce a fornire in uscita un segnale con una differenza di potenziale proporzionale all'intensità della radiazione rilevata in entrata [78].
 - Fotodiodo: è un particolare diodo in grado di riconoscere una determinata lunghezza d'onda elettromagnetica e di trasformarla in un segnale elettrico [79].
 - Fototransistor: è un transistor a giunzione bipolare con prestazioni simili al fotodiodo, ma con la differenza che il transistor ha una sensibilità maggiore alla luce e una risposta nel tempo meno rapida [33].

- Fotomoltiplicatore: è un rivelatore di luce elettronico molto sensibile nell'ultravioletto, in luce visibile e nell'infrarosso [80].
3. Sensori di temperatura: sono sensori impiegati per misurare la temperatura di gas, liquidi o solidi e hanno varie applicazioni scientifiche, mediche e anche industriali: dall'automazione all'industria alimentare. I più utilizzati sono:
- Termocoppia: è un sensore che si basa su un circuito costruito da conduttori o semiconduttori metallici in cui la differenza di temperatura genera elettricità [106].
 - Termistore o termoresistenza: è una resistenza che sfrutta la variabilità della resistenza elettrica di un materiale con la temperatura [105].
 - Termostato: è un componente costituito da un interruttore e un elemento sensibile alla variazione di temperatura. Quest'ultimo comanda l'interruttore facendogli cambiare stato (aperto o chiuso) in presenza di un cambio della condizione termica [107].
4. Sensori di movimento o sensori a infrarossi passivi: sono sensori che misurano i raggi infrarossi emessi dagli oggetti presenti nel suo campo visivo. Sono impiegati per il rilevamento di movimenti in un ambiente e spesso utilizzati in antifurti, sistemi di illuminazione automatizzati e, in ambito industriale, per il rilevamento del passaggio di oggetti in un percorso prestabilito [74].
5. Sensori di distanza: sono utilizzati sensori ottici in una combinazione di fotocellule e laser per in quei compiti industriali dove la misurazione della distanza risulta fondamentale come il posizionamento o il controllo millimetrico [88, 64].
6. Sensori di magnetismo: sono sensori utilizzati per la misurazione del campo magnetico tramite un ago di materiale magnetizzato che si orien-

ta verso il campo magnetico, rilevandone così la direzione. Questi sensori sono chiamati magnetometri e possono essere suddivisi in due categorie [60]: magnetometri scalari, i quali misurano il modulo del campo magnetico, e magnetometri vettoriali, che misurano la componente del campo magnetico lungo una particolare direzione dello spazio. I sensori di magnetismo hanno molte applicazioni come nei cardiofrequenzimetri, nel posizionamento dei sistemi d'arma, nei freni antibloccaggio, nelle previsioni del tempo tramite i cicli solari, nei sistemi di guida e molto altro [60].

7. Sensori di gas e flusso di liquidi: i sensori di gas sono dispositivi per la rilevazione della presenza di specifici gas all'interno di un ambiente. Possono essere classificati in base al loro principio di trasduzione in [89]: elettrochimici, catalitici, semiconduttore e ottici. Questi sensori trovano applicazione principalmente nei sistemi di sicurezza [89]. I sensori di flusso di liquidi, chiamati anche flussimetri o flussometri, sono sensori che misurano la portata, il volume o la massa di un fluido. Sono principalmente usati in sistemi di controllo dove è necessario tenere il flusso di un liquido a un valore specifico [63].
8. Sensori di orientamento: sono sensori che permettono misure di orientamento e di assetto in condizioni statiche o quasi statiche. I più utilizzati sono:
 - Giroscopio: è un sensore che utilizza la legge di conservazione del momento angolare per tenere il suo asse di rotazione in una direzione fissa e, di conseguenza, potersi orientare in base a quella [34].
 - Orizzonte artificiale: è detto anche girorizzonte, perché utilizza un principio simile al quello del giroscopio per permettere di conoscere l'assetto del dispositivo su cui è montato rispetto al suo asse longitudinale e al suo asse trasversale [10].

- Magnetometro: è utilizzato per trovare il nord magnetico e orientarsi di conseguenza simulando una bussola [60].

Questi sensori sono utilizzati principalmente in ambiti aeronautici, navali e in dispositivi mobili e indossabili come smartphone, smartwatch, smartband, ecc.

9. Sensori biometrici: sono sensori specializzati nel prelevare dati su specifici parametri vitali. Trovano applicazione sia nel mercato di massa, tramite sensori a basso costo e a bassa precisione, che in ambito ospedaliero con sensori di precisione e non invasivi. Tutto questo sarà spiegato meglio nel capitolo successivo dove vi è una sezione apposita relativa alla sensoristica sanitaria (*Sezione 2.4.1*).

1.2.2 Sistemi Ciberfisici

Nell'industria intelligente il prodotto, le risorse e i processi sono caratterizzati da sistemi ciberfisici (CPS). Questi fanno parte delle “cose” degli IoT e, per l'appunto, presentano una combinazione e un coordinamento elevato tra i componenti fisici e computazionali dei sistemi di produzione.

I sistemi ciberfisici vengono definiti come tecnologie di trasformazione per la gestione di sistemi interconnessi tra le sue risorse fisiche e capacità computazionali [1, 22]. Questo sistema abilita tre scenari sequenziali:

1. generazione e acquisizione dei dati;
2. computazione dei dati precedentemente acquisiti;
3. supporto al processo decisionale.

I CPS includono la presenza di oggetti interconnessi come sensori e macchine che, grazie a una connessione di rete, sono in grado di generare e produrre dati di vario genere e in gran quantità noti anche come big data (*Sezione 1.3*). In tale ambiente, i CPS possono essere sviluppati per la gestione dei Big Data grazie all'interazione di nuove tecnologie quali IoT, realtà aumentata,

machine learning o cloud computing per raggiungere l'obiettivo di macchine intelligenti, flessibili e autoadattive [1]. Ciò significa che il singolo componente fisico decentrato è in grado di supportare decisioni in maniera autonoma e di comunicarle direttamente agli altri componenti fisici portando gli interi sistemi ciberfisici a saper valutare autonomamente le varie situazioni operative e prendere differenti decisioni a riguardo. Introducendo e integrando i CPS con gli attuali processi industriali trasformerebbe le industrie odierne in industrie 4.0 con anche un potenziale economico significativo [1].

Le funzionalità dell'architettura di un sistema ciberfisico possono essere riassunte in 5 livelli (*Figura 1.1*) [1, 23]:

1. Smart connection level: capacità di gestire e acquisire dati resi disponibili in tempo reale grazie a sensori intelligenti e di trasferirli con specifici protocolli di comunicazione;
2. Data to information level: capacità di aggregare i dati e di convertirli in informazioni a valore aggiunto;
3. Cyber level: capacità di rappresentare in tempo reale il dominio reale in una realtà digitale;
4. Cognition level: capacità di identificare diversi scenari e di supportare un corretto processo decisionale;
5. Configuration level: capacità di fornire feedback alla realtà fisica da quella virtuale e di applicare le azioni correttive prese al livello precedente.

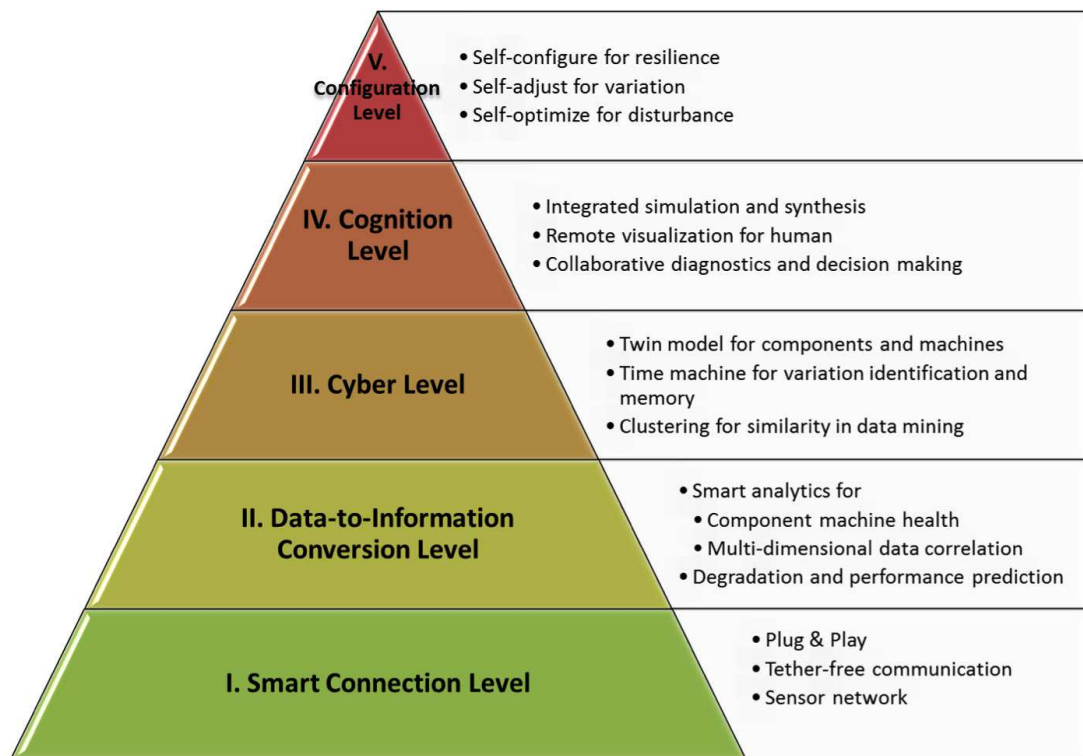


Figura 1.1: Architettura di un sistema ciberfisico

1.2.3 Robotica

Uno degli aspetti fondamentali dell'Industria 4.0 sono i processi produttivi basati sulla robotica, portando all'interno dell'industria robot in grado di completare attività in maniera intelligente con particolare attenzione sulla sicurezza, versatilità, flessibilità e collaborazione. Dal 2004 al 2014 nella sola Europa l'uso di robot multifunzionali integrati al processo produttivo industriale è quasi raddoppiato [49]. La robotica è definita come una branca della mecatronica che studia e sviluppa metodologie per far eseguire a un robot compiti specifici riproducendo in maniera automatica il lavoro umano. La sua integrazione negli spazi di lavoro umani diventa più economica e produttiva e apre molte possibili applicazioni nelle industrie, specialmente in settori come: produzione, logistica e gestione degli uffici [47]. Inoltre i robot possono essere controllati da remoto e, nel caso si verifichi un problema, è possibile interagire con la macchina o l'intero sistema in qualsiasi momento e in qualsiasi altro luogo in maniera tale da poter avere un impianto funzionante ventiquattro ore su ventiquattro [49]. I vantaggi che la robotica porta all'Industria 4.0 si possono suddividere in [47]:

- personalizzazione di massa: consente la produzione di prototipi e di piccoli lotti grazie alla capacità di configurare rapidamente le macchine per potersi adattare alle specifiche del cliente e alla produzione additiva;
- flessibilità e innovazione: il punto precedente porta maggiore flessibilità, la quale incoraggia anche l'innovazione dal momento che nuovi prodotti o prototipi possono essere realizzati rapidamente senza particolari costi legati ai ricondizionamenti o l'installazione di nuove linee di produzione;
- velocità di produzione: il tempo tra la progettazione di un prodotto e la sua consegna viene ridotto dai progetti digitali e dalla modellazione virtuale dei processi produttivi;

- continuità della produzione: integrando la robotica a tecniche di manutenzione predittiva le aziende possono evitare i vari guasti e avere una produzione costante tutta la giornata per ventiquattro ore e, di conseguenza, massimizzare la quantità produttiva.

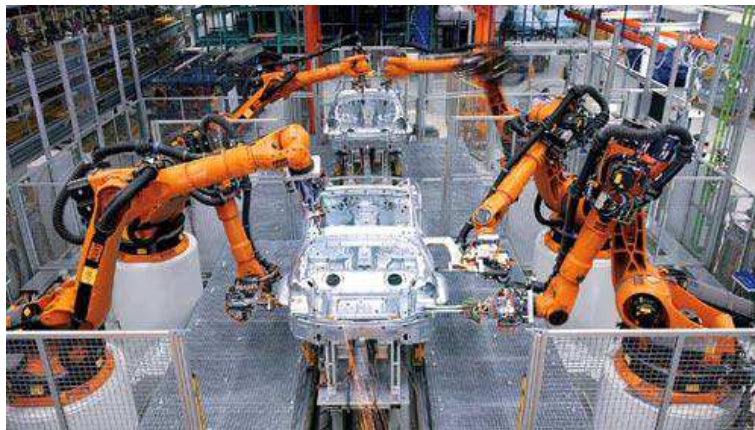


Figura 1.2: Esempio di utilizzo di robot in ambito industriale.

1.3 Big Data

Man mano che le industrie integreranno nei loro processi CPS e IoT, più queste produrranno quotidianamente una grossa mole di dati generati da centinaia o, addirittura, migliaia di questi apparati che devono essere archiviati ed elaborati in un contesto dove gli aspetti della sicurezza e della adeguatezza dell'hardware e del software utilizzati vanno presi nella massima considerazione. Con questo aumento delle dimensioni e della varietà dei dati aumenta anche il numero di potenziali risultati, rendendo necessario ottimizzare la generazione di ipotesi per aumentare il tasso e l'importanza delle scoperte prodotte dai dati [101].

Questa problematica rientra nell'ambito dei Big Data, termine con cui non ci si riferisce solo alla quantità di dati, ma soprattutto alla loro analisi [13].

L'analista Doug Laney, nel 2001, definì il concetto di Big Data basandosi su tre concetti: volume, velocità e varietà [13].

Similmente anche la TechAmerica⁷ definisce i Big Data:

“Big data is a term that describes large volumes of high velocity, complex and variable data that require advanced techniques and technologies to enable the capture, storage, distribution, management, and analysis of the information.” [27]

1.3.1 Cloud computing

L'Industria 4.0 richiede una visione olistica delle operazioni di produzione e, chiaramente, ciò può avvenire solo integrando i dati da diverse fonti. È quindi necessario salvare questi dati e analizzarli per comprendere appieno le prestazioni dei processi, la qualità dei prodotti e ottimizzare la catena di produzione e fornitura. L'analisi analitica aiuta anche a identificare le inefficienze basate su dati storici e a consentire l'esecuzione di azioni correttive o preventive [101]. Il cloud computing, oltre a proporre tecniche per l'archiviazione e la trasmissione di dati, offre anche le sopracitate tecniche di analisi, che si differenziano in due tipi [30, 101]:

- **Analisi offline:** utilizzando dei modelli di processi statistici molto sofisticati i dati raccolti dovranno essere memorizzati in dati strutturati, generalmente che risiedono in un database relazionale o in data warehouse, e in dati non strutturati;
- **Analisi dei dati in tempo reale:** alcune azioni devono essere attivate il più rapidamente possibile, anche prima che i dati vengano archiviati. Ciò richiede un'analisi dei dati in tempo reale utilizzando tecniche “inmemory” e l'elaborazione di eventi complessi.

⁷TechAmerica è una società che si occupa di tecnologia con sede negli USA.

1.3.2 Cognitive computing

Un altro aspetto fondamentale per il passaggio all'Industria 4.0 è la produzione cognitiva o “cognitive manufacturing”. Questa utilizza appieno i dati attraverso sistemi, apparecchiature e processi per ricavare informazioni utili sull'intera catena di valori: passando dalla progettazione alla produzione, fino al supporto.

Le grandi moli di dati raccolti dai vari dispositivi possono essere utilizzate tramite tecniche di data mining o machine learning per estrapolarne informazioni utili al processo produttivo. I concetti di data mining e machine learning sono simili perché entrambi hanno come obiettivo quello di estrapolare informazioni utili dai dati, ma differiscono in quanto col primo approccio le informazioni vengono utilizzate dall'uomo per apportare migliorie a determinate operazioni, col machine learning, invece, le informazioni vengono direttamente utilizzate dalle macchine per auto migliorarsi.

Grazie a quest'ultimo approccio i vari oggetti che compongono una rete IoT possono diventare intelligenti non solo perché possono scambiarsi informazioni sul luogo circostante, ma anche perché sono in grado di imparare da tali informazioni senza l'intervento umano.

Basandosi sull'IoT e utilizzando l'analisi combinata con la tecnologia cognitiva, la produzione cognitiva guida i principali miglioramenti della produttività in termini di qualità, efficienza e affidabilità dell'ambiente di fabbricazione. L'IBM⁸ ha individuato tre modalità su come la tecnologia cognitiva può trasformare l'industria [19]:

1. Risorse e apparecchiature intelligenti: riuscire a far rilevare autonomamente i problemi alle macchine tramite l'utilizzo congiunto di sensori, analisi e cognitive computing al fine di ridurre i tempi morti e ottimizzare le prestazioni;

⁸IBM è un'azienda statunitense, tra le maggiori al mondo nel settore informatico: produce e commercializza hardware e software e servizi informatici, offre infrastrutture, servizi di hosting, servizi di cloud computing e consulenza.

2. Processi e operazioni cognitive: utilizzo dei dati provenienti da flussi di lavoro, contesto, processo e ambiente per analizzarli e trarne informazioni utili per migliorare la qualità delle operazioni e prendere decisioni;
3. Risorse e ottimizzazione più intelligenti: utilizzo di informazioni estrapolate da varie forme dati provenienti da individui, posizioni e usi per ottimizzare e migliorare le risorse.

1.4 Realtà aumentata

Con la società che si sta sempre più muovendo verso il concetto di Industria 4.0, è in aumento un numero crescente di compiti e procedure con un componente digitale in luoghi di lavoro che si basano sul lavoro manuale. Mentre l'area di ricerca dell'IoT si concentra sulla combinazione di oggetti fisici con la loro controparte digitale, si pone la questione di come l'interfaccia per i lavoratori umani debba essere progettata dagli ambienti dell'Industria 4.0.

La realtà aumentata (AR) può essere usata per creare un'interfaccia tra i lavoratori e i prodotti digitali in scenari di lavoro interattivi: grazie al cosiddetto *“overlay”* il sistema è in grado di riconoscere l'oggetto inquadrato e attiva un nuovo livello di comunicazione che si va a sovrapporre e a integrare perfettamente alla realtà, potenziando la qualità di dati di dettaglio in relazione all'oggetto all'interno dell'inquadratura [101, 12].

I possibili casi di impiego industriale sono tanti e si parla di un supporto su molteplici attività che si svolgono all'interno degli stabilimenti [12].

I potenziali scenari di utilizzo sono [12, 56]:

- Produzione: ogni processo produttivo che richieda delle procedure da seguire passo dopo passo come l'installazione, l'assemblaggio o il cambio attrezzature su macchine utensili può trarre beneficio dall'introduzione della realtà aumentata.

- **Manutenzione e assistenza remota:** qualunque sia il tipo di manutenzione, se preventiva, correttiva o predittiva, richiederà l'impiego di risorse umane e finanziarie per evitare il cosiddetto "fermo macchina" e garantire la continuità delle operazioni. La realtà aumentata, in questo caso, è efficace sia nel ridurre i tempi di esecuzione che nel minimizzare l'errore umano. Inoltre, può anche essere impiegata nell'inviare statistiche rilevanti ai dirigenti della manutenzione.
- **Formazione:** l'impiego della realtà aumentata nei processi di addestramento personale può essere molto efficace per quelle aziende che possiedono un gran numero di tecnici da formare e, magari, anche dislocati in aree geografiche diverse e lontane fra loro. I benefici se ne traggono sia sul nuovo personale da formare che sui tecnici da preparare su nuove operazioni.
- **Controllo qualità:** è possibile verificare se il prodotto industriale rispetti o meno gli standard di produzione grazie all'integrazione dell'AR nei processi di controllo qualità.
- **Sicurezza:** la strumentazione per la gestione dei rischi e della sicurezza degli operatori e dei beni all'interno delle aziende sono resi disponibili dalla realtà aumentata.
- **Design e visualizzazione:** la realtà aumentata può fornire gli strumenti in grado di migliorare il design, la prototipazione e la visualizzazione in fase di progettazione.
- **Logistica:** l'efficienza nella gestione di magazzini possono essere migliorate introducendo l'utilizzo di strumenti di realtà aumentata nei processi di logistica dell'azienda.

Capitolo 2

Ospedale 4.0

In questo capitolo verrà esposta una panoramica dell'ospedale odierno e le sfide relative al passaggio da questo ad un Ospedale 4.0. Verranno presentate, inoltre, tutte le tecnologie abilitanti a questo nuovo concetto di ospedale.

2.1 Panoramica sull'ospedale odierno

Per poter procedere con il concetto di Ospedale 4.0 e capire appieno l'effettivo progresso che ne comporta, in questa sezione vi sarà esposta una panoramica dell'ospedale odierno.

L'attuale ambiente medico presenta l'esigenza di disporre un sistema di gestione dei dati sanitari che non sono sempre solo stringhe o numeri ma anche, ad esempio, immagini [77, 55]. Per questo motivo gli ospedali presentano sistemi informativi appositi che verranno mostrati di seguito.

- Hospital Information System (HIS): insieme integrato di strumenti informatici usati in ambito sanitario che si concentra sui bisogni amministrativi e clinici di un ospedale [55]. Di solito è progettato per gestire: anagrafica centrale, archivio dei referti, sistema di gestione dei pazienti, rendiconto e analisi dei costi [55]. Inoltre, un HIS deve essere in grado di gestire e integrare le cartelle elettroniche dei pazienti, dette anche EHR (Electronic Health Record).

- Laboratory Information System (LIS): sistema informatico utilizzato in ambito medico per gestire sia le richieste dei pazienti che processare e memorizzare le informazioni prodotte dai macchinari dei laboratori di analisi [55]. Di base un LIS gestisce: accettazione del paziente, gestione delle prestazioni, dati processati, reportistica ed estrapolazione dati [55]. Un LIS, a seconda del suo livello di integrazione con gli altri sistemi informatici dell'ospedale, può presentare altre funzioni più avanzate come lo scambio di informazioni con [55]: Hospital Information System, Radiological Information System o Electronic Health Record.
- Radiological Information System (RIS): è il sistema centrale per la gestione elettronica dei reparti di *imaging*¹. Le principali funzioni dei RIS sono legate alla gestione del flusso dei dati del paziente e alla gestione del “processo di refertazione”² [55].
- Picture Archiving and Communications System (PACS): è un sistema dedicato all'archiviazione, trasmissione, visualizzazione e stampa delle immagini diagnostiche digitali. È composto da un archivio e da stazioni di visualizzazione e refertazione, il tutto è collegato in rete con le modalità di acquisizione delle immagini [55].

Molti di questi sistemi, come già accennato, hanno a che fare con le cartelle elettroniche dei pazienti, dette anche Electronic Health Record o EHR, che sono una collezione delle informazioni sulla salute dei singoli individui in formato digitale che possono contenere: dati demografici, storia medica, cure e allergie, stato immunitario, risultati di test di laboratorio, immagini radiologiche, segnali vitali, statistiche personali e informazioni di fatturazione [29].

¹Sezione 2.8.1

²Processo che parte dal primo approccio del paziente alla struttura fino ad arrivare alla chiusura amministrativa delle attività effettuate, e prevede le seguenti fasi: prenotazione, accettazione, agende di sala, esecuzione, consumo e magazzino, refertazione e trascrizione, firma e stampa, consegna, ricerche e statistiche e, infine, rendiconti.

L'attuale situazione ospedaliera incorpora soluzioni per il monitoraggio e la diagnostica indipendenti e poco integrate con altre tecnologie. Questi sistemi tradizionali tengono traccia di diverse misurazioni biologiche come l'ECG³, la saturazione arteriosa dell'ossigeno o la pressione arteriosa utilizzando dei sensori dedicati, i quali sono cablati con dei server di misurazione come monitor posti vicino alla postazione del paziente [77].

Inoltre, una prerogativa dei sistemi informatici ospedalieri è l'utilizzo di standard clinici e i più utilizzati sono:

- DICOM definisce i criteri per comunicare, visualizzare, archiviare e stampare informazioni di tipo biomedico come le immagini radiologiche [55].
- HL7 definisce i criteri per il trasferimento di dati clinici e amministrativi tra applicazioni software utilizzate in ambito sanitario [37].
- HIPAA è nata come legge federale statunitense emanata con l'intento di riformare il settore sanitario riducendone i costi, semplificando i processi amministrativi e migliorando la privacy e sicurezza delle informazioni del paziente [36]. Oggi si utilizza la conformità dello standard HIPAA per proteggere la privacy e la sicurezza dei dati sensibili dei pazienti [36].

2.2 Sfide ospedaliere

L'ambiente ospedaliero e il lavoro del personale specializzato propongono diverse sfide per l'integrazione con sistemi pervasivi che possono essere raggruppate in [77]:

- Mobilità: la maggior parte del personale ospedaliero è sempre in movimento per svolgere il proprio lavoro quotidiano e per accedere ai dati

³ECG, o elettrocardiogramma, riproduce graficamente l'attività del cuore durante il suo funzionamento.

sanitari dei loro vari pazienti. Il personale non possiede una scrivania propria e di solito la maggior parte delle informazioni di cui hanno bisogno non sono concentrate in un solo luogo, ma distribuite in luoghi diversi e su supporti diversi come: lavagne, computer o raccoglitori che si trovano in stanze, laboratori, aree comuni e uffici. Quindi l'impiego di computer desktop o portatili non sembra né l'opzione più efficiente né quella più comoda per accedere alle informazioni in un ambito ospedaliero.

- **Collaborazione e coordinazione:** l'ambiente ospedaliero è composto da più figure professionali che spesso e volentieri si devono occupare dello stesso paziente o, più semplicemente, interagire tra di loro per acquisire informazioni utili. Pertanto la condivisione di queste informazioni è fondamentale per la cooperazione e la collaborazione e non sempre avviene in maniera esplicita come, ad esempio, attraverso l'analisi di esami e di referti medici del paziente da parte dei medici. Di conseguenza la documentazione sanitaria del paziente è centrale per la comunicazione implicita tra il personale medico. Le tecnologie dovranno sia permettere di far interagire direttamente o indirettamente le varie figure mediche che si occupano dello stesso caso che fornire al personale autorizzato tutti i documenti sanitari inerenti al caso.
- **Eterogeneità dei dispositivi:** l'ospedale, soprattutto un futuro Ospedale 4.0, porta ad avere diversi dispositivi che dovranno interfacciarsi con un database centrale o con altri dispositivi. Questi non sempre sono omogenei e bisogna progettare applicazioni e servizi che possano essere utilizzati su tutte queste apparecchiature. Inoltre, in un'ottica 4.0, questi dispositivi eterogenei devono poter interfacciarsi e comunicare tra loro.
- **Monitoraggio dei pazienti:** oggi i sistemi di monitoraggio dei pazienti offrono valutazioni dei parametri vitali continue o intermittenti in tempo reale. Si ha l'esigenza di rendere il sistema meno ingombrante

possibile per il paziente in modo da far diventare il monitoraggio molto più mobile. Inoltre, in un'ottica 4.0, l'intero sistema deve poter rendere i dati raccolti disponibili da remoto ai vari medici.

- Rapidità del cambio di contesto: il lavoro ospedaliero comporta molte interruzioni e cambio di attività e spesso il contesto e le risorse associati a ciascun caso sono specifici per ciascun paziente e molte volte questi vengono trattati anche contemporaneamente in parallelo. Il sistema quindi deve permettere al medico di poter accedere ai dati medici di ogni paziente e di poter interrompere l'attività che sta facendo e poterla riprendere in qualsiasi momento e su qualsiasi altro dispositivo.
- Integrazione tra il digitale e il fisico: l'oggetto principale del lavoro clinico è il paziente che è difficile da riprodurre in formato digitale. Gli esseri umani possono essere rappresentati digitalmente come immagini radiologiche, cartelle cliniche o informazioni percentuali di base. La manipolazione di queste informazioni digitali non cura il paziente e il lavoro clinico di base si trova nel mondo fisico che include la persona e oggetti come farmaci e test. La maggior parte degli attuali sistemi informativi sanitari ignorano questa componente fisica e sono usati come registri di informazioni digitali.

2.3 Concetto di Ospedale 4.0

L'Ospedale 4.0 introduce un nuovo modo di concepire l'ospedale dove l'architettura, il processo di consegna delle cure sanitarie, l'assistenza sanitaria, il monitoraggio medico, le sale di attesa e gli orari cambiano radicalmente per adattarsi e servire con successo pazienti e medici. Il contesto ospedaliero ormai è un flusso continuo di persone e di dati, dove sempre più discipline operano per personalizzare le soluzioni di cura. I pazienti saranno in grado di scaricare i propri dati sanitari dai vari dispositivi indossabili e sensori anche prima di consultare il medico, le loro cartelle cliniche e gli archivi saranno

digitalizzati e tutte queste informazioni saranno salvate nel cloud in maniera sicura ed efficiente [100]. L'ospedale viene visto non più come "edificio", ma piuttosto come "insieme di processi e tecnologie" che dall'edificio si diramano pervadendolo sul territorio diventando una sorta di fulcro, dove vi convergono diverse discipline, tecnologie di ogni genere e flussi di dati provenienti da una intricata rete di processi e relazioni. L'edificio rimarrà preposto alle unità di emergenza e alle sale operatorie, mentre l'assistenza sarà spostata in un ambiente domestico. Questo tipo di assistenza domiciliare offre un servizio di controllo e supporto remoto ai pazienti che soffrono di patologie croniche o che sono in fase postoperatoria o, più semplicemente, prevenzione di determinate patologie tramite sensori biomedici e una connessione costante a un medico.

Questa nuova tipologia di ospedale è un posto modellato a partire da quattro fattori [100]:

1. esigenze del paziente;
2. esigenze lavorative del personale medico;
3. tecnologia;
4. processi di produzione ed erogazione delle prestazioni sanitarie, cliniche o chirurgiche.

Inoltre sarà il luogo dove migliaia di dispositivi sono collegati in rete e comunicano tra di loro: dai sensori ai dispositivi medici, dagli apparati più o meno complessi legati alla diagnostica alle attrezzature in sala operatoria, sino ad arrivare in reparto e a bordo letto del paziente.

L'Ospedale 4.0 potrà beneficiare delle tendenze tecnologiche attuali come: occhiali per realtà aumentata (*Sezione 2.7*), proiezioni di immagini in realtà virtuale (*Sezione 2.7*), stampanti 3D, computer cognitivi (*Sezione 2.8*) o robot medici (*Sezione 2.5*) che possono rendere le cure meno costose e più efficienti. I vari dispositivi e sensori comunicheranno via wireless con altri

dispositivi dove i dati rilevati verranno inviati alla sede fisica dell'ospedale e utilizzati dal personale addetto che si occuperà delle diagnosi e terapie da remoto. Tecniche di cognitive computing organizzeranno la logistica minimizzando i tempi di attesa o dirigeranno le varie persone sul dove e sul quando andare analizzando semplicemente la loro documentazione. Sarà il posto dove la medicina, l'informatica, l'ingegneria clinica, il design e l'architettura ospedaliera trovano finalmente un punto di incontro. Da parte di chi progetta queste soluzioni tecniche vi è richiesta massima attenzione riguardo la sostenibilità delle soluzioni, la sicurezza e le modalità di comunicazione. Di seguito verrà riportata uno schema dell'Ospedale 4.0 con descrizione.

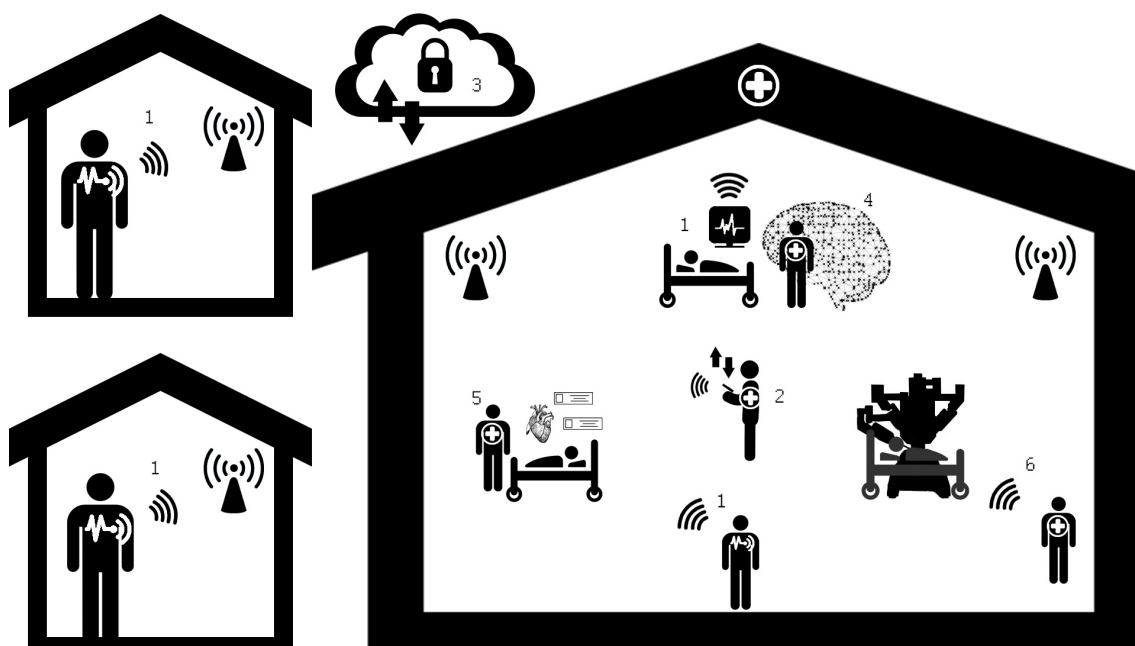


Figura 2.1: Schema Ospedale 4.0

Punto 1 monitoraggio tramite sensori; punto 2 accesso remoto da parte del personale medico ai dati medici; punto 3 tecniche di cloud computing per l'archiviazione dei dati; punto 4 intelligenza artificiale a supporto del processo decisionale; punto 5 realtà aumentata; punto 6 ausilio di robot in ambito chirurgico.

2.4 Pervasive Computing & Internet of Things

Le tecnologie mobili, pervasive e onnipresenti offrono soluzioni promettenti per documentare i progressi, diagnosticare le condizioni e trattare e gestire le cure del paziente con un approccio incentrato su di esso. Inoltre i progressi nel campo delle tecnologie indossabili e delle reti wireless composte da sensori stanno aprendo la strada per la nuova definizione di ospedale e sanità: passando dalla telemedicina all'integrazione di tecnologie mediche specializzate già esistenti con tecnologie pervasive. Diverse sono le innovazioni fornite da questi sistemi di nuova generazione [24]:

1. sviluppo di funzionalità di monitoraggio continuo per il paziente;
2. miglioramento dei flussi di lavoro e della produttività del personale medico nelle strutture;
3. maggiore connettività consentendo la comunicazione e lo scambio di dati ai pazienti, ai medici e agli operatori sanitari, ovunque e in qualsiasi momento, assegnando così alle comunicazioni pervasive un ruolo fondamentale nel sistema ospedaliero.

I principali domini applicativi di questa integrazione possono essere: il monitoraggio remoto del paziente, l'assistenza, in particolare quella per anziani, gli interventi di emergenza, l'ottimizzazione del flusso di lavoro e la localizzazione degli strumenti [24].

I tradizionali sistemi informativi basati su desktop non sono efficaci dato che il lavoro clinico degli operatori sanitari richiede una stretta collaborazione tra specialisti distribuiti nello spazio e nel tempo [76] dato che la maggior parte dei medici ha bisogno di spostarsi continuamente in strutture ospedaliere per accedere a persone, conoscenze e risorse [68]. Da ciò si può notare come le informazioni sono distribuite in luoghi diversi e non concentrate in un singolo luogo. Di conseguenza, l'ospedale si può considerare come uno spazio di informazioni ampio e complesso dove i medici devono navigare efficacemente per svolgere il proprio lavoro [76]. Citando Bardram:

“The [current] healthcare model needs to be transformed into a more distributed and highly responsive healthcare processing model, where locally available and distributed [tools] can help empower patients to manage their own health in the form of wellness management, preventive care and proactive intervention.”[75]

La sfida per il passaggio a un Ospedale 4.0 sta nel supporto di medici altamente mobili con ambienti di elaborazione pervasivi, sistemi di informazioni sensibili al contesto, sistemi di archiviazione e note e sistemi per la coordinazione e la collaborazione del personale medico [76]. L'intero sistema pervasivo fornirà ai medici l'accesso alle informazioni che stanno cercando da qualsiasi punto all'interno dell'ospedale attraverso una varietà di dispositivi eterogenei.

Data la sua natura ubiquitaria, l'Internet of Things, è la tecnologia più indicata per poter gestire e monitorare tutte le entità del sistema sanitario offrendo un approccio ben strutturato e di qualità per migliorare la salute e il benessere dei pazienti. Si prevede che i sistemi basati su questa tecnologia possano rimodellare il settore sanitario in termini di benefici sociali e di costi [53], come l'applicazione di queste tecnologie all'assistenza sanitaria. Così facendo è possibile migliorarne sia la qualità che i costi automatizzando le attività precedentemente svolte da personale umano [30].

Per creare un ecosistema completo, l'IoT, ha bisogno di essere integrato con i servizi cloud dove i sensori di una rete possono sincronizzare i dati in modo trasparente attraverso l'infrastruttura IoT [30]. Questi dati generati dai sensori collegati ai pazienti sono messi a disposizione di operatori sanitari, familiari e altri utenti autorizzati che danno loro la possibilità di controllare le varie statistiche vitali del soggetto da qualsiasi luogo e in qualsiasi momento. Va notato però che il cambio di paradigma verso sistemi sanitari onnipresenti genera nuove sfide causate dal soddisfare requisiti di sistema diversi, questi problemi verranno in seguito affrontati nella sezione 2.9.

2.4.1 Sensoristica

Opportunità importanti per l'IoT in ambito sanitario sono il monitoraggio e l'assistenza a distanza, grazie a tecnologie e protocolli per la comunicazione wireless come il Wi-Fi, Bluetooth, NFC, ZeegBee eccetera (*Sezione 1.2.1*) che sono entrati nell'uso comune [51]. Le caratteristiche tecniche dei vari dispositivi per il rilevamento di parametri vitali si sono evolute talmente velocemente da aver ridotto le proprie dimensioni e migliorato la propria efficienza energetica, per cui questi dispositivi sono diventati sempre più performanti e utilizzabili in contesti diversi. Il monitoraggio viene permesso dalle reti corporee, dette anche *Body Area Network*, che sono la combinazione dei dispositivi wireless con i vari sensori che prelevano dati fisiologici. I dispositivi fungono da *gateway* che raccolgono i dati provenienti dai sensori e poi, in un secondo momento, li trasmetterà al *back-end* della rete che li memorizza per un futuro utilizzo. I dati possono essere salvati con tecniche che ne garantiscono la privacy in server medici nazionali tramite tecnologia cloud e analizzati in seguito con tecniche di analisi dei big data [51]. I vari sensori, per il monitoraggio a distanza e non, possono essere impiegati per il prelievo di informazioni sul sangue, battiti cardiaci, temperatura corporea e molto altro [51, 94, 9].

Vi è una classificazione dei sensori utilizzati per l'acquisizione di dati corporei [77]:

- **Impiantabili:** richiedono una procedura ospedaliera per impiantarli all'interno del corpo del paziente;
- **Minimamente invasivi:** richiedono la penetrazione della pelle del paziente per funzionare correttamente;
- **Non invasivi:** richiedono solo l'applicazione sovracutanea.

Possono essere classificati anche come attivi o passivi: i primi richiedono una fonte energetica per funzionare gli altri no. Inoltre vi sono sensori in commercio destinati a un grande pubblico attraverso dispositivi indossabili e altri

destinati a un vero utilizzo in ambienti medici, perché molto più affidabili. Nella prima categoria rientrano principalmente [94, 9]:

- Sensore per la frequenza cardiaca: utilizza un metodo di misurazione ottica, nota anche come fotoplethysmografia, misura la variazione del volume sanguigno attraverso la distensione di arterie e arteriole nel tessuto sottocutaneo. Il battito cardiaco è la quantità di volte in cui il cuore batte al minuto (bpm) e può essere facilmente controllato in due aree del corpo: il polso e il collo. Applicando il sensore in una di queste due aree tramite dispositivi indossabili è possibile misurarne la frequenza cardiaca tramite l'emissione di un fascio di luce attraverso la pelle e rilevarne la luce restante tramite fotosensore. A ogni impulso la quantità di luce rilevata dal sensore si abbassa bruscamente e brevemente dato che l'aumento del volume sanguigno ne assorbe gran parte.
- Sensore per la temperatura: il sensore va indossato in varie zone del corpo e la temperatura corporea viene misurata sia con tecniche a contatto diretto che per via radiativa.
- Accelerometro: solitamente viene utilizzato per monitorare l'attività fisica quotidiana e contare i passi. L'accelerometro consiste in una massa all'interno di uno spazio e l'oscillazione dovuta al movimento dell'individuo che indossa il dispositivo dove è integrato questo sensore porta questa massa a muoversi all'interno del suddetto spazio. Poi il software pensa a contare i passi eliminando i falsi movimenti e armonizzando la lunghezza dei passi in base a parametri come altezza, peso ed età immessi dall'utente. Inoltre grazie alla combinazione di questa tecnica più quelle di monitoraggio dei battiti cardiaci precedentemente citati è possibile stimare la qualità del sonno dell'individuo.

Va ribadito che questa tipologia di sensori non possono essere utilizzati in campo medico, perché ancora troppo imprecisi e incompleti. Sono destinati più a un grande pubblico per un monitoraggio amatoriale spesso finalizzato

per applicazioni di fitness, e non a scopo puramente medico.

Di seguito un elenco dei sensori non invasivi progettati per l'effettivo utilizzo in ambito ospedaliero e il monitoraggio medico [77, 28, 100]:

- Sensore di temperatura: la temperatura corporea dipende molto dalla parte del corpo in cui avviene la misurazione. In certe situazioni mediche è molto importante misurare la temperatura corporea, perché un certo numero di malattie sono accompagnate da cambiamenti caratteristici della temperatura corporea. In più, al decorso di alcune malattie, si può tenere monitorato il paziente misurandone la temperatura corporea e constatare l'effettiva efficacia del trattamento. I sensori di temperatura sono sensori passivi e non invasivi che vanno applicati in apposite aree del corpo caratterizzati da una parte metallica dalla quale, una volta posizionata sulla pelle del paziente, avviene il campionamento dei dati termici.
- Sensore EMG: l'EMG o elettromiogramma è utilizzato per la diagnosi e l'identificazione di malattie neuromuscolari, per la chinesologia⁴ e per la ricerca di disturbi del controllo motorio. L'elettromiografia è una tecnica utilizzata per la misurazione dell'attività elettrica prodotta dai muscoli a riposo e durante una contrazione. Il sensore EMG utilizza l'elettromiografia per misurare l'attività elettrica filtrata e rettificata del muscolo su cui è posto e l'impiego di più sensori possono tener monitorata la condizione neuromuscolare del paziente.
- Sensore ECG: sensore ECG o sensore per l'elettrocardiogramma è molto utilizzato per la diagnosi di molte patologie cardiache, misura l'orientamento del cuore nella cavità toracica ed è utilizzato per la ricerca di evidenze di ipertrofia⁵ o danni alle varie parti del muscolo cardiaco. Molte patologie richiedono un continuo monitoraggio del battito cardiaco anche fino a ventiquattro ore e per questo viene applicato il

⁴Scienza che studia il movimento umano razionale attivo.

⁵Aumento eccessivo del volume di un tessuto o di un organo.

sensores al paziente per ottenere una registrazione continuata della condizione del proprio cuore senza dover restare in ospedale attaccato a una macchina. Il sensore presenta degli elettrodi che vengono posizionati sul petto del paziente per rilevare la frequenza cardiaca. La precisione dell'ECG dipende dalla condizione sottoposta al test: alcune condizioni cardiache non producono modifiche nell'ECG quindi il problema potrebbe non essere sempre visualizzato.

- Sensore del flusso d'aria: è un dispositivo utilizzato per la misurazione della frequenza respiratoria del paziente. Le variazioni anormali di questa frequenza sono indicatrici di grave instabilità fisiologica e in molti casi il tasso di respiratorio è uno dei primi indicatori di questa problematica. Il sensore è composto da una serie di poli che vanno posti nelle narici del paziente e da questi poli viene misurata la respirazione.
- Sensore GSR: GSR, abbreviazione di Galvanic Skin Response, è un metodo per misurare la conduttanza elettrica della pelle che varia a seconda del suo livello di umidità. La fluttuazione di conduttanza cutanea è la risposta fisiologica a uno stato di eccitazione fisica o emotiva quali stress o shock. Questo perché le ghiandole sudoripare sono controllate dal sistema nervoso orto-simpatico e momenti di forte emozione cambiano la resistenza elettrica della pelle. Il sensore GSR presenta due estremità che vanno indossate sulle dita della mano e misura la resistenza elettrica della pelle basata sul sudore prodotto dal corpo, quando la sudorazione aumenta la resistenza cutanea diminuisce.
- ABPM (monitoraggio ambulatoriale della pressione sanguigna): la pressione sanguigna è la pressione del sangue nelle arterie e viene registrata tramite due valori: pressione sistolica, ossia come batte il cuore, e pressione diastolica, ossia il rilassamento del cuore tra i vari battiti. Tenere monitorata la propria pressione anche a casa è molto importante per molte persone soprattutto quelle che soffrono di ipertensione. L'ipertensione, o pressione alta, può portare problemi come infarto, ictus o

malattie renali. Tenendo monitorato un paziente a intervalli regolari per un periodo di ventiquattro o quarantotto ore tramite un specifico dispositivo indossabile si può raccogliere un campione significativo di dati relativo alla pressione sanguigna del paziente durante una sua tipica giornata. Il dispositivo ABPM presenta un bracciale per la rilevazione della pressione sanguigna e va indossato attorno al braccio e fissato con il velcro. Il dispositivo è collegato a un monitor, indossato in genere sulla cintura, che registra la pressione a intervalli regolari.

- **Pulsiossimetro SpO₂:** il pulsiossimetro è un dispositivo che permette di misurare in maniera non invasiva la saturazione arteriosa di ossigeno⁶ dell'emoglobina. Il sensore pulsiossimetro è utile per valutare l'ossigenazione del sangue del soggetto e determinare l'efficacia o la necessità di ossigeno supplementare in ambienti e situazioni che ne potrebbero portare a uno stato instabile come: situazioni di terapia intensiva, operazioni o anche piloti in aerei non pressurizzati. Il sensore va applicato tramite una pinza all'ultima falange del dito del paziente o in alcuni casi particolari al lobo dell'orecchio.
- **Glucometro:** il glucometro è un dispositivo per determinare la concentrazione di glucosio nel sangue e tenere monitorato questo parametro è molto importante per pazienti che soffrono di diabete. Vi sono due tipologie di monitoraggio: uno attraverso l'estrazione di fluidi e l'altro attraverso la raccolta di liquidi interstiziali. Nel primo caso il sensore e il monitor vengono assemblati in un unico dispositivo indossabile, tipicamente posto attorno al polso, dove il glucosio viene indotto da una bassa carica di corrente elettrica, trascinato attraverso la pelle e accumulato in dischi di raccolta. Nel secondo caso il sensore e il monitor sono separati. Il sensore viene inserito sotto la pelle del paziente ed è collegato a un trasmettitore che viene fissato sopra la pelle con un adesivo. Il sensore è in grado di trasmettere tramite radio frequen-

⁶La saturazione dell'ossigeno è definita come la quantità di ossigeno disciolto nel sangue.

ze i valori glicemici prelevati a un monitor. Entrambi permettono un monitoraggio continuato nel tempo del paziente e slegato dall'edificio ospedaliero.

Come precedentemente anticipato questi sensori saranno collegati a uno o più *hub* che fungono da nodo intermedio per la raccolta dei dati. Questo *hub* in ambito medico è rappresentato da un monitor che è un'apparecchiatura medica utilizzata per visualizzare i parametri vitali prelevati dai diversi sensori applicati sul paziente. Oggigiorno gli ospedali che utilizzano già questi dispositivi per il monitoraggio del paziente scaricano i dati in loco, ad esempio nell'ambulatorio del medico. La visione 4.0 prevede che i dati raccolti possano essere inviati a un sistema di salvataggio cloud comodamente da casa del paziente durante il periodo di monitoraggio [100]. Questo richiede una comunicazione wireless tra il monitor e il punto di accesso alla rete Internet casalingo. Successivamente queste informazioni verranno analizzati da sistemi di analisi dati e poi dal personale medico per diversi scopi come trarne diagnosi mediche.

2.5 Robotica

L'utilizzo di robot in medicina non risale a molto, però negli ultimi anni vi è stato uno sviluppo tale, anche grazie a progetti come daVinci (*Sezione (3.4.1)*), che oggi è possibile controllare bracci robotici e altre funzionalità da remoto tramite un pannello di controllo e impiegarli per operazioni di chirurgia di precisione [100]. Questi robot non sono ancora completamente automatizzati e sono progettati per offrire un supporto all'attività chirurgica e migliorare le abilità del chirurgo portando in sala operatoria, ad esempio, un braccio meccanico completamente privo di tremolii involontari, dei quali una mano è affetta. A conferma di ciò vi è un'intervista [100] fatta dal dottor Bertalan Meskó al dottor Mohr dove si trae la conclusione che i robot chirurgici non andranno a sostituire la figura del chirurgo, ma ne miglioreranno le capacità dando alla figura medica destrezza, visione e guida di navigazione

che vanno al di là di ciò che l'essere umano è capace di fare da solo. Ciò consentirà a sempre più pazienti di accedere a interventi chirurgici minimamente invasivi anche grazie alla realizzazione di dispositivi di diametro inferiore al millimetro con robuste parti mobili, che permettono manipolazioni su micro-scala e abbastanza forti da interagire con i tessuti [100]. Inoltre, migliorando le capacità del chirurgo si riduce il tempo di ricovero dei pazienti abbattendo di conseguenza la necessità di ricorrere a trasfusioni e diminuendo l'incidenza di complicazioni [100].

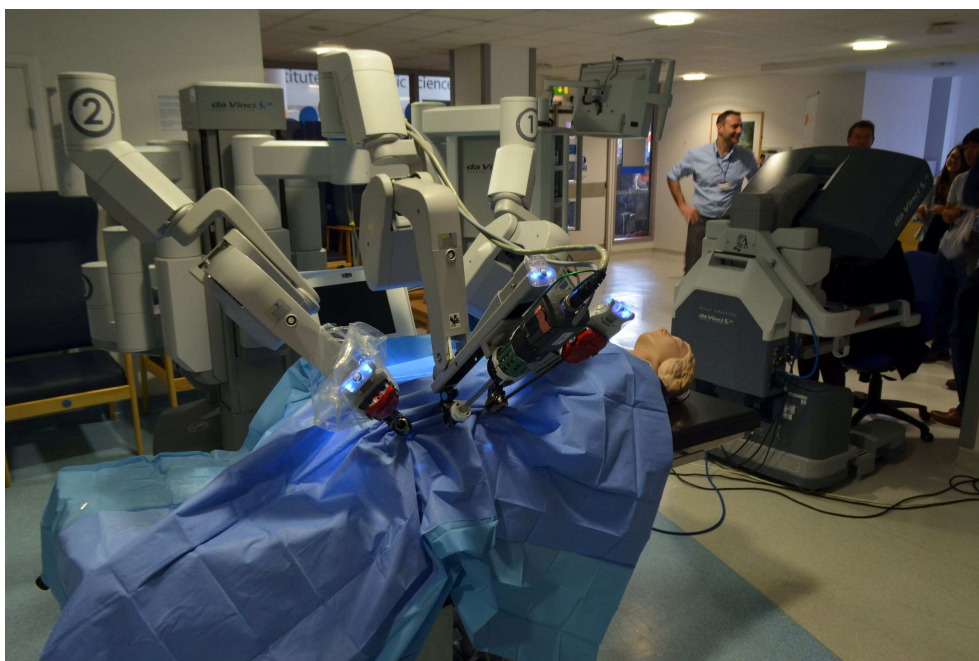


Figura 2.2: Esempio di utilizzo di robot in chirurgia.

2.6 Nanotecnologia

L'utilizzo di nanotecnologie all'interno del nostro corpo per rilevare malattie, estirpare cellule danneggiate, prevenire infezioni o fornire farmaci può sembrare una visione troppo futuristica per vederle già in atto in un prossimo futuro, invece siamo più vicini a queste idee più di quanto si pensi. Infatti

secondo la ETP Nanomedicine (European Technology Platform for Nanomedicine) la nanomedicina ha già dei prodotti in studi clinici che coprono diverse categorie di malattie come quelle neurodegenerative, muscoloscheletriche e infiammatorie [103], e alcune di queste applicazioni sono già in fase di sperimentazione su animali e su esseri umani [100, 103]. La medicina tradizionale può essere cambiata attraverso l'introduzione di nanomotori sintetici all'interno delle cellule umane per lo studio della biologia cellulare o anche per il trattamento di malattie come il cancro, o di nanorobot all'interno del sangue con funzioni simili alle piastrine, ai globuli bianchi o ai globuli rossi [100, 103]. Altri esempi possono essere [100]:

- nanodispositivi che possono fornire farmaci, neurostimolatori o trasportare biomateriali intelligenti attraverso la barriera emato-encefalica per dirigere la rigenerazione centrale all'interno del sistema nervoso, utili per le malattie neurodegenerative;
- nanoparticelle programmabili che, se iniettate nel sangue, possono presentarsi utili alla chirurgia cercando e rimuovendo le cellule danneggiate;
- nanomateriali che, se iniettati nell'area di lesione del paziente, potrebbero aiutare alla riduzione del tempo di recupero mobilitando le cellule staminali.

Uno degli esperimenti più significativi in questo ambito fu eseguito nel 2014 da Ido Bachelet dell'università di Bar-Ilan in Israele, il quale è riuscito a inserire nanorobot basati sul DNA in uno scarafaggio e a far eseguire operazioni logiche su comando come il rilascio di una molecola memorizzata al suo interno [109, 110]. Ciò potrebbe portare questi nanorobot a essere in grado di eseguire programmi complessi compresi diagnosi o trattamenti. Sempre nel 2014 è stato creato il primo nanodispositivo a DNA in grado di sopravvivere alla difesa immunitaria e questo potrebbe dare opportunità alla creazione di nanorobot a DNA intelligenti che riescono a individuare tessuti cancerosi e produrre farmaci nella posizione desiderata [100].

In tutto ciò, però, non si fa cenno alla sicurezza e alle varie limitazioni che queste tecnologie soffrono. Infatti se all'inizio ho detto che l'impiego delle nanotecnologie in ambito medico è destinato a un futuro molto prossimo, c'è anche da dire che limitazioni e minacce legate alla sicurezza garantiranno alla nanomedicina un'incorporazione nelle nostre vite quotidiane molto lenta. Le limitazioni sono legate a vari problemi riguardanti la navigazione, la percezione dell'ambiente circostante, il movimento attraverso il corpo, la comunicazione tra nanorobot, il rilevamento dei problemi e la biocompatibilità con il corpo ospitante dei vari nanorobot [100]. Inoltre vi possono essere problemi legati alla sicurezza dato che è possibile hackerare anche i nanodispositivi diventando delle vere e proprie armi all'interno di noi [100].

2.7 Realtà Aumentata & Realtà Virtuale

In questa sezione verranno presentati gli usi della realtà aumentata e della realtà virtuale in ambito chirurgico e didattico.

2.7.1 Chirurgia

Uno dei grossi problemi in ambito chirurgico è legato al limitato campo visivo e alla scarsa percezione della profondità che le strumentazioni odierne in possesso agli ospedali offrono al chirurgo. La realtà aumentata può venire in aiuto con una visione in tempo reale della scena operatoria reale migliorata da suoni, video, grafici e altri dati di diverso genere. Più nello specifico il suo potenziale può essere espresso nella chirurgia mininvasiva⁷ (MIS), come la laparoscopia, la torascopia e l'endoscopia, grazie alle sue prestazioni computazionali e alla precisione nell'affrontare scene di MIS impegnative [54]. Mentre questa offre notevoli vantaggi rispetto alla chirurgia invasiva, impone anche grandi sfide sulle prestazioni dei chirurghi a causa dei problemi legati al campo visivo, al disallineamento mano-occhi e al disorientamento. Passando

⁷La chirurgia mininvasiva è un insieme di tecniche chirurgiche che operano attraverso piccole incisioni riducendo così al minimo il trauma legato all'intervento.

così dal tradizionale metodo di visualizzazione, dove il chirurgo guarda ciò che sta facendo su uno schermo, avendo di conseguenza un disallineamento mano-occhi, a un nuovo metodo, dove le nuove tecnologie AR permettono al professionista di guardare “attraverso” lo schermo [83].

In un prossimo futuro i supporti per l’AR possono essere impiegati anche in altri ambiti medici. Un algoritmo sviluppato dal MIT ha dimostrato come una normale fotocamera per cellulari può rilevare con precisione l’impulso vitale di una persona [100]. L’applicazione di una versione migliorata di questo algoritmo su un dispositivo AR potrebbe essere in grado di stabilire se un individuo che è collassato ha recuperato un impulso vitale o meno. I rapporti medico-paziente possono essere facilitati e migliorati con, ad esempio, l’utilizzo di codici QR nelle varie postazioni dei pazienti in modo tale che il medico riceva le informazioni rilevanti guardando semplicemente il codice attraverso il dispositivo AR [100].

Nonostante i recenti progressi nel rendere più potente e sempre più piccola la componentistica hardware dei dispositivi AR e nello sviluppo di algoritmi software basati sulla visione aumentata sempre più efficienti, molti problemi della AR nell’ambito medico rimangono irrisolti. Come, ad esempio, i cambiamenti dell’illuminazione del tessuto organico e nella loro deformazione danno una serie di sfide uniche che richiedono approcci innovativi [54, 116].

2.7.2 Formazione

La nuova modalità di visione della realtà aumentata permette agli studenti di chirurgia, soliti a imparare osservando da oltre le spalle del chirurgo, di vedere direttamente ciò che sta guardando il chirurgo che indossa il supporto per la realtà aumentata dato che il suo punto di vista può essere riprodotto o proiettato contemporaneamente su altre piattaforme o dispositivi [100].

Per quanto riguarda la realtà virtuale (VR) è stata utilizzata per decenni per la formazione e l’allenamento endoscopico dei nuovi chirurghi data la sua capacità di generare un’immagine immersiva e completamente artificiale con la possibilità di interazione in tempo reale con un ambiente virtuale [11].

Una delle prime piattaforme utilizzate per l'apprendimento basato sulla simulazione fu il Minimally Invasive Surgical Trainer-Virtual Reality (MIST-VR), oggi vi è la possibilità di integrarla con la tecnologia VR in 3D [11]. Questa integrazione supererebbe la fedeltà delle attuali tecnologie per l'apprendimento a distanza e video bidimensionali creando di un'esperienza quasi del tutto reale dal punto di vista dell'operatore fornendogli una visuale in prima persona della procedura eseguita [11].

2.8 Gestione ed elaborazione dati

Un intero sistema basato sull'IoT come l'Ospedale 4.0 presenta un enorme quantitativo di dispositivi collegati in rete che producono un'altrettanta mole di dati che devono essere memorizzati, gestiti e analizzati. I servizi di cloud computing offrono un'ampia interoperabilità e integrazione con il mondo IoT, permettendo il salvataggio e la gestione dei dati provenienti dai vari dispositivi. Inoltre questi servizi possono consentire l'accesso remoto alle applicazioni e ai dati via Internet utilizzando sistemi cablati e non, in qualsiasi momento e da qualsiasi luogo in cui ci sia la possibilità di avere accesso a Internet. Il vantaggio funzionale più grande che i vari servizi di cloud computing possono offrire è l'assistenza sanitaria, dato che offrono l'opportunità di estendere le capacità disponibili al personale dell'organizzazione sanitaria, al fine di implementare modi migliori di lavorare e offrire nuovi servizi ai pazienti [108].

Un sistema che si basa sullo scambio e trasmissione dei dati come questo ha bisogno di un'unità di elaborazione locale per il filtraggio dei dati, la compressione dei dati, la fusione dei dati e l'analisi dei dati [30]. Nella fase di filtraggio avviene una preelaborazione dei dati provenienti dai vari sensori andando a rimuovere alcuni rumori accumulati nei biosegnali come: oscillazioni di corrente alternata nella rete elettrica, interferenze elettromagnetiche da altri dispositivi elettrici e collegamento improprio dei sensori al corpo dei pazienti. Nonostante ci sia già un filtraggio leggero durante la

fase di raccolta dei dati, è necessario un secondo filtraggio più robusto lato cloud [30]. La seconda fase, quella di compressione, comporta la riduzione delle dimensioni dei dati e può essere senza perdita (lossless) o con perdita (lossy) dove quest'ultima è più adatta per quei sensori con risorse limitate quali durata batteria e capacità di elaborazione. Per tutti i sensori che monitorano parametri vitali i quali dati devono avere tutte le caratteristiche dei segnali osservabili con una precisione elevata, come l'EKG, è consigliato un approccio senza perdita [30]. La compressione comporta meno latenza delle comunicazioni, transazioni meno energivore e meno tempo per l'elaborazione dei dati. La fase di fusione consente la riduzione del volume dei dati integrando i dati di più sensori per produrre informazioni più coerenti, accurate e utili rispetto a quelle fornite da ogni singolo sensore [30]. Infine chiude il ciclo della gestione dei dati con la fase di analisi. Analisi che in un'ottica 4.0 dev'essere automatizzata con tecniche di apprendimento e big data e affiancata al personale sanitario per accompagnare il medico nel supporto decisionale [30, 108].

Grazie a progetti come Watson [114] e AlphaGo [38], negli ultimi anni si sono fatti grandi passi nell'intelligenza artificiale applicata all'ambito sanitario. IBM è riuscita ad addestrare Watson in medicina scientifica tramite libri e riviste di medicina, storie di pazienti e linee guida di trattamento. Watson riesce in pochi secondi a rivedere milioni di pagine di studi pertinenti, la storia del paziente e molto altro generando ipotesi per il trattamento del paziente, suggerendo opzioni con diversi livelli di sicurezza [114]. Come osservato dai funzionari di Wellpoint, il tasso di diagnosi corretta di Watson per il cancro del polmone è del 90%, rispetto al 50% per i medici umani [100, 114]. Google col progetto AlphaGo afferma di esser riuscita ad addestrare un sistema a prevedere l'esito positivo o negativo di un ricovero di un paziente tramite algoritmi di deep learning basandosi solamente sulla sua storia passata. Il suo sistema, a quanto dice Google, sarebbe in grado di individuare il rischio di un decesso con uno o due giorni di anticipo [38, 58].

Ogni giorno i pazienti soffrono di condizioni mediche che possono dege-

nerare fino alla morte, perché non ricevono i trattamenti giusti in maniera tempestiva. Oggi il personale medico non dispone di strumenti che possano velocizzare in modo significativo il processo decisionale. L'applicazione di queste tecniche di intelligenza artificiale sembrano essere ciò che la medicina cerca permettendo l'analisi di ogni risultato dei test e la determinazione del trattamento più giusto in tempi molto brevi, consentendo a un paziente che ha bisogno di cure mediche complesse o urgenti di entrare in contatto con lo specialista giusto immediatamente [100].

2.8.1 Diagnostica per immagini

La diagnostica per immagini o *imaging* è un processo che permette di osservare un'area di un organismo che altrimenti non sarebbe visibile dall'esterno e ha come obiettivo quello di classificare, partendo da un'immagine, la malattia in base alla sua gravità. Sono tecniche di imaging l'ecografia, l'ecografia dinamica, l'ecografia Doppler, l'ecografia con mezzo di contrasto, la radiografia, la stratigrafia, la tomografia computerizzata, l'imaging a risonanza magnetica, la fluoroscopia, la fluorangiografia, l'angiografia, la linfografia, la sialografia, la mammografia, la scintigrafia, la tomografia ad emissione di positroni e la tomografia ad emissione di fotone singolo. Nonostante l'apprendimento automatico abbia avuto una grossa crescita negli ultimi anni, queste sono state applicate all'imaging medico per decenni, in particolare nella diagnostica assistita da computer (CAD) e nella mappatura funzionale del cervello [59].

Grosso contributo del CAD è, ad esempio, nell'imaging mammario dove è riuscito a portare valore aggiuntivo alla diagnostica riducendone i costi. Infatti, avere due radiologi che leggono la stessa mammografia può portare a una sensibilità significativamente più alta nell'identificazione del tumore, ma ciò comporta anche costi e carichi di lavoro maggiori. Il CAD può sostituire questa seconda figura migliorando senza diminuire l'accuratezza diagnostica, ma a costi inferiori [59]. Il CAD permette il rilevamento assistito di potenziali lesioni e la diagnosi assistita, in cui il computer predice la probabilità

che una lesione sia maligna. Oggigiorno la diagnostica per immagini utilizza algoritmi numerici che emulano le prestazioni dell'osservatore umano, ma lo standard di riferimento prevede uno studio statistico che misura le varie prestazioni diagnostiche degli osservatori quando utilizzano un determinato set di immagini. L'uso di quest'ultimo approccio non è ancora stato adottato perché troppo costoso e complesso da implementare [59]. Tuttavia, l'applicazione delle nuove tecniche di machine learning può rendere possibile l'approccio sopracitato senza un eccessivo incremento di costi e complessità [59].

L'unione tra imaging e realtà aumentata (*Sezione 2.7*) permette una diagnostica per immagini differente da quella a cui siamo abituati oggi catturando e proiettando digitalmente l'informazione direttamente su una parte del corpo del paziente [100, 11]. Oggi sono già presenti prodotti come AccuVein o VeinViewer che permettono al medico di proiettare e visualizzare una mappa della vascolarizzazione direttamente sulla superficie della pelle del paziente [100, 11].

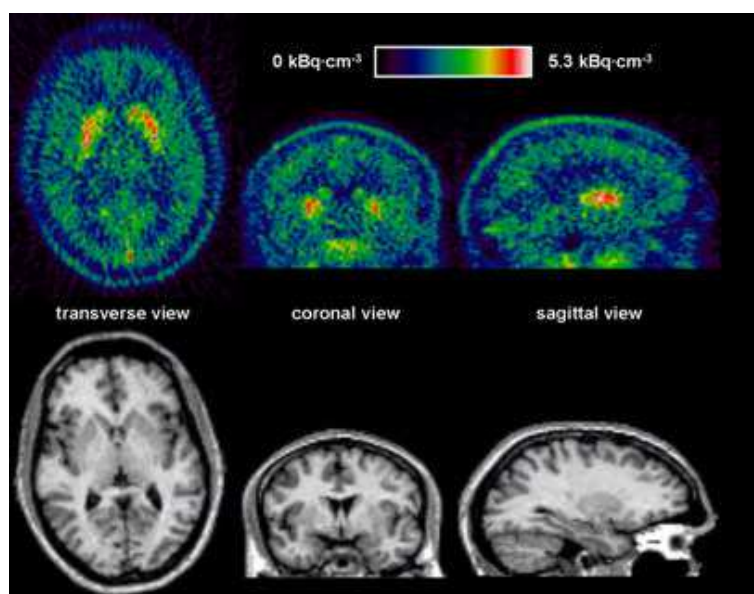


Figura 2.3: Esempio di imaging cerebrale.

2.9 Sicurezza e Privacy

Come già visto nelle sezioni precedenti il modello ospedaliero 4.0 prevede l'adozione dell'IoT che pervaderà l'intero ambiente tramite dispositivi integrati ai vari processi. Questi dispositivi e le varie applicazioni sanitarie si occuperanno di informazioni estremamente private come i dati sanitari dei pazienti. Inoltre, tali dispositivi saranno collegati alla rete interna dell'ospedale e alcuni di essi saranno pure interfacciati alla rete Internet per poter dare accesso alle informazioni in qualunque momento e in qualunque luogo alle persone autorizzate [3, 86]. Pertanto l'interno dominio sanitario IoT per le informazioni che contiene sarà un bersaglio appetibile da malintenzionati e potrà essere soggetto a molteplici attacchi informatici. È fondamentale quindi capire quali sono i requisiti di una rete IoT che deve avere in termini di sicurezza e quali sfide porta il loro utilizzo nella sicurezza.

2.9.1 Requisiti di sicurezza

I requisiti di sicurezza di un sistema sanitario basato sugli IoT sono molto simili agli scenari standard di comunicazione. Si possono pertanto suddividere nelle seguenti categorie [102, 15].

- **Riservatezza:** garantisce l'inaccessibilità delle informazioni mediche dei pazienti agli utenti non autorizzati.
- **Integrità:** garantisce l'inalterabilità dei dati sanitari dei pazienti.
- **Autenticazione:** consente a un dispositivo IoT di stabilire l'identità del nodo con cui sta comunicando.
- **Disponibilità:** garantisce la normale fruizione dei servizi sanitari che la rete IoT offre agli autorizzati anche sotto attacco.
- **Freschezza dei dati:** garantisce che i dati siano recenti e che nessun vecchio messaggio sia stato riprodotto.

- Non ripudio: garantisce che un nodo non può ripudiare la paternità di un messaggio già inviato.
- Autorizzazione: garantisce che solo i nodi autorizzati siano accessibili per servizi o risorse di rete.
- Capacità di recupero: come si può intuire si tratta della capacità di ritornare allo stato di normale attività a seguito di un'interruzione causata da un attacco o altri fattori. Non solo: garantisce anche, a seguito della compromissione di una parte della rete, la protezione dei dati, dei dispositivi e della restante rete non compromessa.
- Tolleranza degli errori: prevede che il sistema continui a fornire i servizi di sicurezza anche in presenza di guasti.
- Auto ripresa: quando un dispositivo all'interno della rete smette di funzionare gli altri dispositivi rimanenti devono rendere possibile un livello minimo di sicurezza.

2.9.2 Sfide

I sopracitati requisiti di sicurezza spesso non sono garantiti dalle tradizionali tecniche di sicurezza, quindi sono necessarie nuove contromisure per affrontare le nuove sfide poste dall'IoT. Le sfide che i nuovi servizi sanitari IoT devono affrontare possono essere raggruppate in [102]:

- Limitazioni computazionali: i dispositivi IoT sono integrati con processori a bassa velocità e quindi non sono progettati per eseguire operazioni computazionali dispendiose. Pertanto, occorre una soluzione di sicurezza che massimizzi le prestazioni riducendo al minimo il consumo di risorse.
- Limitazione di memoria: la maggior parte dei dispositivi IoT non dispongono di una capacità di memoria adatta per eseguire complicati protocolli di sicurezza.

- Limitazioni energetiche: uno dei vincoli base degli IoT è il risparmio energetico dato che molti di questi dispositivi sono a sé stanti e non attaccati a fonti energetiche. Pertanto, entrano in modalità di risparmio energetico quando non è più necessario riportare la lettura del sensore rendendo problematica la ricerca di una soluzione di sicurezza che rispetti questi vincoli energetici.
- Mobilità: certi dispositivi sanitari sono mobili, ovvero devono seguire gli spostamenti del paziente, e allo stesso tempo prevedono di essere collegati alla rete Internet. Questi dispositivi indossabili pertanto cambiano continuamente rete e diverse reti hanno diverse configurazioni e impostazioni di sicurezza. Vi è l'esigenza dello sviluppo di un algoritmo di sicurezza conforme alla mobilità richiesta da questi dispositivi.
- Scalabilità: vi è la necessità di progettare uno schema di sicurezza altamente scalabile senza compromettere i requisiti di sicurezza dato dal numero crescente di dispositivi IoT connessi alla rete globale.
- Comunicazione: i dispositivi sanitari prevedono una vasta gamma di collegamenti wireless a reti locali e globali. Le caratteristiche di questi canali wireless rendono poco appropriate le soluzioni di sicurezza tradizionali che si basano su reti cablate. È pertanto necessario trovare protocolli di sicurezza completi che possano trattare allo stesso modo sia le caratteristiche dei canali cablati che wireless.
- Tipologia dinamica della rete: ogni dispositivo medico IoT può unirsi o staccarsi dalla rete in qualsiasi momento. Ciò rende la topologia della rete dinamica e la definizione di un relativo modello di sicurezza una sfida importante.
- Rete multiprotocollo: i dispositivi medici possono comunicare sia con altri dispositivi in una rete locale tramite protocollo proprietario che con i fornitori di servizi IoT in una rete IP. Ne comporta l'esigenza di concepire soluzioni di sicurezza per le comunicazioni multiprotocollo.

-
- Aggiornamenti di sicurezza dinamici: come ogni dispositivo connesso alla rete anche i dispositivi medici IoT possono soffrire nel tempo di potenziali vulnerabilità che dovranno essere sistemate tramite patch di sicurezza. L'obiettivo è quello di progettare un meccanismo per l'installazione dinamica di queste patch.
 - Telai resistenti a manomissioni fisiche: non è da sottovalutare la sicurezza fisica dei dispositivi medici: questi possono essere manomessi manualmente e successivamente possono essere modificati o sostituiti con nodi dannosi. Avere un'intelaiatura resistente a manomissioni ancora è difficile se non impossibile da attuare nella pratica.

Capitolo 3

Tecnologia e dispositivi presenti sul mercato

Il capitolo precedente si è concentrato su un quadro visionario di ospedale. In questo capitolo verrà presentata la tecnologia effettivamente presente sul mercato e che si potrebbe davvero trovare in un ospedale al passo coi tempi.

3.1 Sulla via di Ospedale 4.0

Il concetto di Ospedale 4.0 è relativamente recente e, ovviamente, non tutti gli ospedali ancora stanno effettuando gli investimenti necessari per effettuare questo passaggio. In questa sezione verranno mostrati alcuni degli ospedali che hanno collaborato con varie aziende leader nel campo tecnologico per rendere alcuni dei loro ambienti più “*smart*”.

3.1.1 Westchester Medical Center University Hospital

Il Westchester Medical Center University Hospital ha collaborato con Philips per migliorare le procedure e implementare dei cambiamenti a supporto della propria strategia a lungo termine concentrandosi sull’assistenza al paziente, sui miglioramenti operativi e sui ritorni economici [62]. I vari consulenti hanno prima raccolto dati riguardanti i pazienti e la struttura, poi

osservato il flusso di lavoro del personale analizzando anche l'organizzazione della struttura e infine eseguito colloqui con pazienti, medici e personale per stabilire il loro significato di "qualità" [62]. A seguito dell'analisi di queste informazioni i consulenti hanno individuato le aree più critiche su cui concentrarsi e le raccomandazioni, citando dal sito della Philips [62], includevano:

- nuove procedure di test prima del ricovero;
- procedimenti revisionati prima del cath lab;
- migliorie alla struttura;
- nuova tecnologia di programmazione;
- personale infermieristico più flessibile;
- risorse dedicate alla gestione degli approvvigionamenti e all'analisi dei dati;
- linee guida di programmazione.

L'applicazione delle precedenti raccomandazioni ha portato l'ospedale a ridurre il 20% dei tempi di attesa, a utilizzare di più i laboratori di emodinamica e di elettrofisiologia e a migliorare l'esperienza del paziente [62].

3.1.2 Augusta University Medical Center

L'Augusta University Medical Center ha avviato una partnership con Philips nel 2013 per la creazione e l'implementazione di un nuovo flusso di lavoro performante in un ambiente informatico complesso integrato all'ambito radiologico [32]. Si è passati da un sistema di visualizzazione eterogeneo a una nuova piattaforma che crea un accesso comune consentendo a molteplici utenti, attraverso la rete ospedaliera, di lavorare come se fossero uno solo [32]. Così facendo i radiologi dell'Augusta University Medical Center possono accedere agli esami dei loro pazienti, consultare le loro informazioni

cliniche e utilizzare funzioni di visualizzazione avanzata da qualsiasi sede clinica dell'ospedale e dalla propria abitazione [32]. Ciò ha portato ai seguenti risultati [32]:

- diminuzione del tempo trascorso tra esecuzione e refertazione dell'esame;
- aumento del volume procedurale del 17%;
- standardizzazione del flusso di lavoro radiologico;
- scalabilità del sistema;
- incremento della produttività;
- diminuzione dei fornitori.

3.2 Sensoristica biometrica e monitor

In questa sezione verranno riportati sensori biomedici e monitor che le grandi aziende del settore propongono.

3.2.1 Dräger

Dräger è un'azienda leader nei campi delle tecnologie medicali e della sicurezza. Offre un intero ecosistema per il monitoraggio sanitario di un paziente che la stessa azienda divide in cinque punti [67]:

1. Rete: propone una rete dove viene integrato il monitoraggio dei pazienti con l'infrastruttura preesistente dell'ospedale ottimizzando le soluzioni ospedaliere relative alla sicurezza, alla disponibilità e all'affidabilità. Propone, inoltre, l'ottimizzazione della qualità del servizio gestendo il traffico di rete per garantire alle informazioni critiche provenienti dai monitor dei pazienti una larghezza di banda adeguata.

2. Postazioni di lavoro: propone diverse postazioni di lavoro ottimizzate per l'aumento dell'efficienza clinica in diversi reparti. Ad esempio per la terapia intensiva integrano sistemi di ventilazione, stazioni di lavoro e applicazioni intelligenti per ottenere un quadro più completo dei dati del paziente.
3. Telemetria: offre soluzioni per il monitoraggio su tecnologia mobile con dispositivi che garantiscono il controllo in tempo reale in qualsiasi punto dell'ospedale coperto da una rete wireless.
4. Gestione dei dati: prodotti come Infinity Acute Care System, Infinity Omega, Infinity CentralStation e Infinity Symphony offrono la possibilità di accesso al personale medico ai vari dati sanitari del paziente. Infinity Acute Care System è un sistema di monitoraggio che consente di accedere ai dati essenziali direttamente dal posto letto. Infinity Omega aiuta il processo decisionale integrando i dati del paziente direttamente al posto letto. Infinity CentralStation consente di avere sempre a portata di mano le informazioni desiderate, utile per gli ambienti di terapia intensiva e subintensiva. Infine, Infinity Symphony permette l'accesso in remoto ai dati archiviati in Infinity CentralStation.
5. Trasporto del paziente: offre monitor al posto letto utilizzabili direttamente da lì in modo tale da evitare lo scollegamento e il ricollegamento dei cavi dei sensori del paziente. Ciò semplifica il trasporto del paziente.

Lato sensoristica la Dräger offre sensori come [7, 6]:

- Sensore di flusso: sensore non invasivo che si basa su comprovate tecniche di anemometria *“hot-wire”* fornendo misurazioni estremamente rapide e precise.
- IBP: è un sensore invasivo per la misurazione della pressione sanguigna misurata attraverso una linea arteriosa.

- Sensore di ossigeno: non è un sensore corporeo, ma viene messo in dispositivi di anestesia e respiratori per misurare la concentrazione inspiratoria di ossigeno.
- Pulsossimetro: sensore non invasivo per misurare la quantità di emoglobina legata nel sangue.
- Sensore per la pressione sanguigna: sensore non invasivo da indossare attorno al braccio per misurare la pressione sanguigna.
- Sensore di temperatura: sensore non invasivo per rilevare la temperatura corporea del paziente.
- Sensore ECG: sensore non invasivo da applicare in punti specifici del petto del paziente per monitorarne il battito cardiaco.

3.2.2 Philips

Philips, grande azienda olandese nel settore elettronico, propone soluzioni per il monitoraggio cardiaco tramite elettrocardiografi, sistemi di gestione degli ECG e, lato mobilità, il sistema di monitoraggio Holter [31]. Su quest'ultima soluzione voglio focalizzare l'attenzione date le sue caratteristiche. Holter DigiTrak XT è composto da un piccolo monitor con display integrato, un sensore per l'ECG e una clip per cinghia girevole, concepito per fornire comfort e maggiore mobilità al paziente che lo indossa [66]. Fornisce una registrazione continuata dell'elettrocardiogramma fino a sette giorni e permette di scaricare i dati registrati in meno di 90 secondi [66].

3.2.3 Medtronic

Medtronic è un'azienda statunitense leader nel mondo delle tecnologie biomediche. L'azienda propone diverse soluzioni per [82]:

- monitoraggio cardiaco continuo [87]: SEEQ è un sistema progettato per misurare, registrare e trasmettere periodicamente dati cardiaci ed

è composto da un sensore non invasivo senza fili e un trasmettitore. Il sensore è resistente all'acqua, possiede una batteria integrata che permette un'autonomia di circa sette giorni e ha la capacità di attivarsi automaticamente o, in alternativa, manualmente dal paziente. Il trasmettitore utilizza una connessione Bluetooth per ricevere i dati dal sensore e permette un monitoraggio continuo tramite rete cellulare trasmettendo automaticamente i dati ricevuti a un centro di monitoraggio Medtronic.

- Monitoraggio continuo del glucosio [117]: Personal CGM è un sistema composto da sensori di glucosio che ogni cinque minuti misurano i livelli di glucosio, e da un monitor portatile integrato a una pompa di insulina la quale fornisce quantità precise di insulina a seconda dei dati provenienti dal sensore.
- Monitoraggio dei nervi [69]: Medtronic offre monitor, elettrodi APS e sensori EMG che consentono di monitorare la funzione dei nervi durante le varie procedure chirurgiche.
- Monitoraggio della capnografia [16]: l'azienda offre sensori per il flusso d'aria integrati e monitor portatili per un monitoraggio continuo, non invasivo e in tempo reale dello stato respiratorio del paziente.

3.2.4 GE Healthcare

GE Healthcare è la divisione della General Electric che si occupa del settore medico. Per il monitoraggio dei vari parametri vitali propone una vasta gamma di monitor molti dei quali con funzionamento a distanza tramite comunicazioni wireless. I loro monitor offrono la possibilità di controllare le informazioni sul monitor, aggiornare il software, caricare i parametri, visualizzare ed esportare i log, visualizzare e modificare i parametri di manutenzione preventiva, attraverso una connessione Wi-Fi [65].

GE Healthcare propone anche soluzioni mobili per il monitoraggio del paziente con Carescape Mobile Viewers offrendo la possibilità di accedere da

remoto alle informazioni sanitarie del paziente quasi in tempo reale [17]. Questo prodotto offre ai medici differenti possibilità di accesso alle informazioni: tramite web, tramite smartphone o tramite un PDA [17]. Insieme ai monitor l'azienda propone i relativi sensori per l'acquisizione dei parametri vitali quali: sensore per l'ECG, sensore per la pressione sanguigna, pulsiossimetro e sensore di flusso d'aria.

GE Healthcare, inoltre, offre un sistema di telemetria wireless chiamato ApexPro, che supporta il monitoraggio centralizzato e decentralizzato. Permette l'individuazione di aritmie letali e assicura un rilevamento preciso dei pacemaker. ApexPro consiste in un sistema portatile con un sensore per l'elettrocardiogramma e, tramite un algoritmo clinico proprietario, è in grado di elaborare e analizzare in modo indipendente quattro deviazioni ECG simultanee [92]. Il sistema può essere collegato a un monitor via wireless creando una soluzione mobile di monitoraggio del paziente [92].

3.3 Imaging diagnostico

In questa sezione verranno esposte le varie tecnologie per l'imaging diagnostico presenti sul mercato proposte dalle maggiori compagnie tecnologiche internazionali.

3.3.1 Philips

Philips propone soluzioni per l'imaging molecolare ibrido e a basso dosaggio che incrementano la rilevabilità delle lesioni tramite tecnologie come "time-of-flight" (imaging PET), SPECT/TC ibrida, PET/RM total body e PET/TC digitale [57]. Queste tecnologie rendono possibili il monitoraggio accurato e lo studio delle patologie [57].

Inoltre, Philips fornisce una piattaforma di visualizzazione avanzata, chiamata IntelliSpace Portal, integrata con oltre settanta applicazioni cliniche e che consente modalità di lavoro più veloci ed efficienti e una maggiore sicurezza diagnostica [50].

3.3.2 Samsung

Il programma Samsung Healthcare punta molto sull'imaging diagnostico applicato a vari campi medici.

Come soluzione multidisciplinare¹ per l'acquisizione di immagini, Samsung propone due scanner CT: uno mobile a trentadue sezioni in grado di eseguire scansioni assiali, elicoidali e dinamiche [20] e uno portatile a otto sezioni [21]. Gli usi clinici della prima piattaforma prevedono la neurochirurgia cranica, la chirurgia del trauma e la radioterapia oncologica [20], invece per quella a otto sezioni gli usi previsti sono in terapia intensiva, in sala operatoria e in clinica [21]. Al loro interno è installato un software che permette la visualizzazione di immagini 2D, 3D e MPR [20, 21]. Inoltre lo scanner a trentadue sezioni presenta una funzionalità di comunicazione wireless che gli permette di integrarsi coi sistemi informativi ospedalieri e altre piattaforme tecnologiche presenti [20].

Infine Samsung presenta due prodotti di punta specifici per l'imaging ecografico: HS40 e RS80A with Prestige. Il primo prodotto presenta un filtro di riduzione rumore che garantisce una maggiore uniformità e definizione alle immagini 2D migliorando la nitidezza dei margini [40]. Tramite la funzione MultiVision, che unisce diversi piani di scansione, viene garantita all'immagine una risoluzione spaziale e un buon contrasto [40]. Presenta diversi strumenti di cura quali [40]:

- una tecnica che individua e converte la rigidità di masse solite presenti in tessuti in immagini a colori;
- una tecnica per l'imaging panoramico che consente di visualizzare ed esaminare una porzione di area più ampia;
- uno strumento la misura dello spessore medio-intimale delle pareti anteriori e posteriori della carotide per calcolare il rischio di patologie cardiache;

¹Per multidisciplinare si intende l'impiego della tecnologia in più dipartimenti sanitari, in questo caso ciò può avvenire grazie alla capacità mobile dello scanner CT.

- uno strumento che permette di visualizzare un'immagine "bull's eye" per valutare la cinetica parietale del ventricolo sinistro.

RS80A with Prestige presenta una tecnologia per migliorare la profondità e la nitidezza delle immagini. Tra le tecniche di imaging avanzato presenta [85]:

- tecniche per il calcolo del rapporto di deformazione tra due aree di interesse;
- tecniche per l'analisi standardizzata e la classificazione delle lesioni fornendo le loro caratteristiche e indicandone il loro livello di malignità;
- tecniche per tracciare in tempo reale nell'immagine ecografica la traiettoria dell'ago e del punto oggetto d'esame durante le procedure di intervento;
- tecniche per la misurazione del volume delle placche nelle arterie sulla base di dati 3D disponibili;
- tecniche per il rilevamento di anomalie funzionali dei vasi sanguigni.

3.3.3 Medtronic

Medtronic presenta dei sistemi per l'imaging chirurgico, neurochirurgico e di neuronavigazione.

Il primo sistema consente ai chirurghi di visualizzare l'anatomia della colonna vertebrale del paziente e tracciare la posizione dei propri strumenti chirurgici durante l'operazione e offre [95]:

- software di navigazione per ottimizzare i flussi di lavoro specifici per la chirurgia;
- una versione avanzata di diagnostica per immagini 3D intraoperatoria che fornisce una visualizzazione in 3D ad alta definizione.

Il sistema neurochirurgico e di neuronavigazione permette, invece, la visualizzazione dell'anatomia del cervello del paziente e, come nel caso precedente, consente di tracciare la propria strumentazione. Questo sistema offre [70]:

- opzioni di tracciamento elettromagnetico;
- visualizzazione avanzata di immagini 3D con risoluzione più elevata;
- una semplificazione della visualizzazione, dell'elaborazione e del *morphing* delle immagini tramite un'applicazione per la pianificazione chirurgica 2D e 3D.

3.3.4 GE Healthcare

GE Healthcare propone soluzioni di imaging chirurgico e di imaging molecolare. Per il primo caso offre soluzioni ottimizzate per le procedure urologiche, ortopediche, vascolari, di chirurgia generale e di terapia analogica con archi a C OEC [43]. Invece con l'imaging molecolare offre tecnologie innovative e incentrate sul miglioramento della quantificazione per aiutare i medici nella valutazione della risposta del paziente al trattamento che sta seguendo aprendo la possibilità di creare un trattamento personalizzato [44].

3.3.5 Siemens Healthineers

Siemens Healthineers è uno dei quattro settori della Siemens AG la quale è una dei maggiori conglomerati d'Europa che si occupa di infrastrutture e città, industria, energia e sanità. Una delle specialità cliniche dell'azienda è l'imaging diagnostico relativo a [61]: angiografia, tomografia computerizzata, fluoroscopia, risonanza magnetica, mammografia, imaging molecolare, radiografia e macchine a ultrasuoni. La soluzione che l'azienda offre per la diagnostica per immagini si chiama *syngo.via* la quale ha tre punti di forza [96]:

- **Efficienza:** aiuta a risparmiare tempo accelerando il flusso di lavoro radiologico dando la possibilità di accesso e lettura in maniera rapida e semplice ai casi clinici.
- **Flessibilità:** offre la possibilità di personalizzazione dei suoi applicativi e dei suoi layout, e la possibilità di accesso alle immagini su dispositivi portatili.
- **Intelligenza:** riesce a preelaborare le immagini automaticamente, raccogliere i dati dei risultati e offrire una funzionalità di lettura quantitativa guidando il medico nel flusso lavorativo.

Il tutto viene proposto con una visualizzazione avanzata di immagini 2D e 3D ad alta risoluzione [96].

3.4 Robot

3.4.1 Intuitive Surgical - da Vinci

Da Vinci è un sistema robotico della Intuitive Surgical per la chirurgia mininvasiva che consente di effettuare operazioni complesse e delicate effettuando piccole incisioni grazie all'integrazione di una visione 3D e un sistema di comando intuitivo [84, 25, 98, 99].

Il robot è composto da quattro componenti [25, 99]:

1. **Console chirurgica:** è la parte del sistema dove il chirurgo controlla il robot e si trova posizionata all'esterno del campo sterile. Il chirurgo opera comodamente seduto sulla console e attraverso due manipolatori e dei pedali riesce a controllare l'endoscopio 3D e gli strumenti Endowrist. L'endoscopio 3D permette di visualizzare un'immagine 3D ad alta definizione del campo operatorio insieme ad altre immagini, come ecografo, ECG o altro, fornitogli da ingressi ausiliari. In questa console i movimenti vengono dimensionati in scala e vi è un controllo

per la riduzione del tremore fisiologico delle mani del chirurgo e per i movimenti involontari.

2. Carrello paziente: è, per l'appunto, la parte del sistema dove viene posizionato il paziente per l'operazione e si compone dalle tre alle quattro braccia meccaniche che eseguono i comandi che arrivano dalla console. Sulle braccia robotiche sono installati gli strumenti Endowrist e l'endoscopio 3D, che si muovono attorno a punti di rotazione fissi. Il sistema attuale possiede dei sistemi di sicurezza che impediscono qualsiasi movimento indipendente degli strumenti e delle braccia, di conseguenza richiede che ogni manovra chirurgica sia sotto controllo diretto del chirurgo.
3. Strumenti Endowrist: sono strumenti costruiti con sette gradi di movimento e ognuno di essi è progettato per un compito specifico come: serraggio, taglio, coagulazione, dissezione, sutura e manipolazione dei tessuti.
4. Sistema di visione: è dotato di un endoscopio 3D con un campo visivo di 60° che acquisisce immagini ad alta definizione e un'unità centrale per l'elaborazione delle immagini. Comprende, inoltre, di un monitor sul quale è possibile vedere l'operazione in tempo reale.

Da Vinci è controllato da remoto da un chirurgo che, attraverso la console, comanda le braccia meccaniche [84]. La tecnologia di questo robot permette di ridimensionare i movimenti della mano del chirurgo e di tradurli in movimenti estremamente precisi [99].

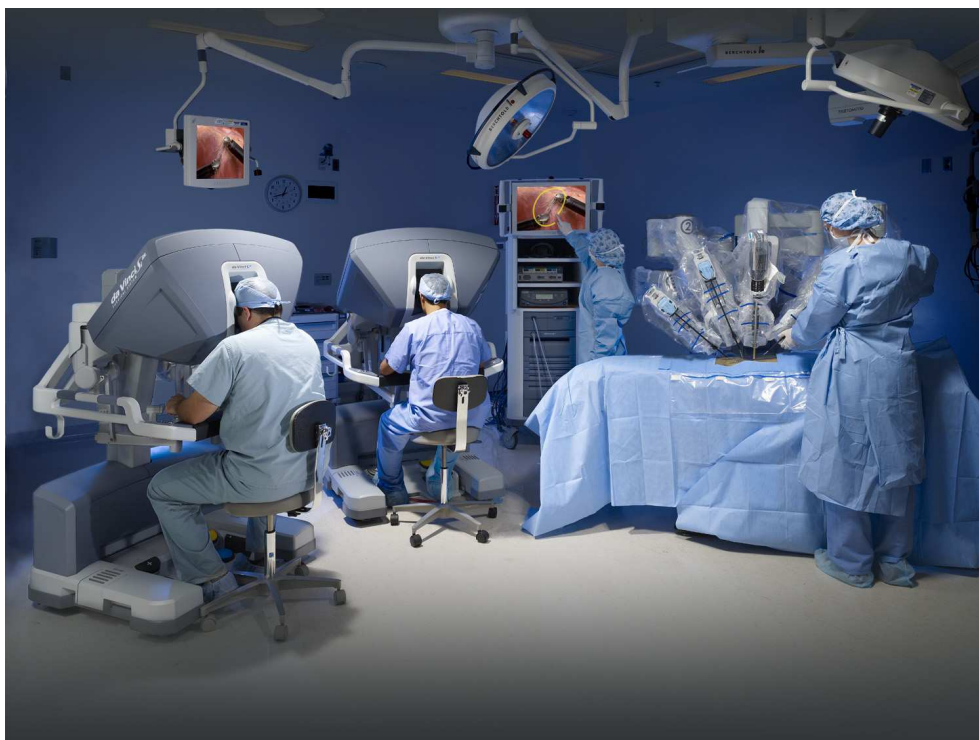


Figura 3.1: Esempio d'utilizzo del robot da Vinci.

3.5 Intelligenza artificiale

In questa sezione verranno presentate due tecnologie di intelligenza artificiale che hanno portato innovazione sia nel proprio ambito che in quello medico.

3.5.1 IBM - Watson

Watson è un sistema di intelligenza artificiale sviluppato da IBM in grado di rispondere a domande espresse in linguaggio naturale. Sono stati effettuati test applicando questa tecnologia in un ambiente ospedaliero per il supporto decisionale come nel caso del Memorial Sloan Kettering [115]. Il funzionamento del sistema è il seguente: Watson è in grado, a seguito di una domanda posta dove vengono specificati i sintomi e gli altri fattori correlati del pazien-

te, di elaborare l'informazione per identificarne le parti più importanti. In seguito, elaborando i dati sanitari del paziente, riesce a trovare i fatti più importanti della storia medica ed ereditaria, poi, esaminando i dati resi disponibili dalle sue fonti, formula un'ipotesi. Infine fornisce al medico una classifica di raccomandazioni individualizzate e classificate per importanza [100, 114]. Al Memorial Sloan Kettering l'utilizzo di Watson è stato applicato nel campo oncologico e a seguito di varie prove si è osservato che il tasso di diagnosi corretta di Watson per il cancro al polmone è stato del 90% rispetto al 50% per i medici umani [100, 115].

3.5.2 Google - AlphaGo & DeepMind Health

AlphaGo è un software sviluppato da Alphabet Inc. di Google DeepMind per studiare quanto le reti neurali profonde potessero essere applicabili al gioco del Go. Nell'ottobre del 2015 è stato il primo software in grado di sconfiggere un giocatore professionista di Go senza handicap su un goban 19x19 [104]. A differenza di Watson, gli algoritmi di AlphaGO sono più generici e possono essere la prova di un progresso verso un'intelligenza artificiale generale [8]. Nel 2016 Google DeepMind ha iniziato la collaborazione con il National Health Service (NHS) del Regno Unito creando il progetto DeepMind Health [38]. Furono così per la prima volta applicati gli algoritmi di AlphaGo ad ambienti ospedalieri per aiutare i medici con analisi più accurate e di conseguenza fornire ai pazienti trattamenti più veloci. Il progetto a oggi sta già dando i suoi frutti: l'impiego di questi algoritmi nel processo decisionale del NHS sta portando a risparmiare più di due ore al giorno [38] che possono essere impiegate per i casi più difficili. Inoltre l'azienda non trascura nemmeno il lato della sicurezza e della privacy implementando, a detta di Google DeepMind, un sistema di archiviazione sicuro e crittografato secondo gli standard più elevati [38]. I dati non sono e non saranno mai collegati a un account o servizi Google o utilizzati per scopi commerciali [38].

3.6 Realtà aumentata

In questa sezione verrà presentato cosa il mercato della realtà aumentata può offrire al mondo della medicina.

3.6.1 Google Glass

Google Glass è un programma di ricerca e sviluppo di Google Inc. avente come obiettivo lo sviluppo di un paio di occhiali dotati di realtà aumentata. Dal 2013 al 2016 Google fece partire negli Stati Uniti il progetto denominato “Explorer Edition” dove si rese accessibile il prototipo per fini civili [39]. Dal 2017 Google ha avviato il progetto “Enterprise Edition” nel quale l’azienda rende disponibile il proprio prodotto per le imprese [42]. Il nuovo modello, oltre ad avere caratteristiche hardware migliorate rispetto al prototipo della precedente edizione, si rivolge a quei professionisti che possono beneficiare nel lavorare a mani libere mantenendo nel proprio campo visivo una finestra di informazioni. La versione di Google Glass Enterprise Edition 2017 presenta una fotocamera da 5MP capace di registrare video a 720p, Wi-Fi da 2,4/5 GHz, Bluetooth Low Energy, 32 GB di memoria ROM e 2 GB di memoria RAM, batteria da 780 mAh, avente sensore capacitivo, barometro, magnetometro e componenti per il rilevamento delle gesture effettuate con gli occhi [42, 39].

L’ospedale Dignity Health, che ha integrato l’uso degli occhiali di Google nei loro processi medici, afferma che il loro utilizzo per effettuare attività amministrative ha ridotto il tempo impiegato dal 33% al 10%, mentre ha fatto raddoppiare la quantità di tempo relativa all’interazione coi pazienti [2]. Anche nell’ospedale Sutter Health ha riportato dati simili e citando il dottor Albert Chan riguardo i Google Glass:

“brought the joys of medicine back to my doctors.” [2]

Affermando che questo dispositivo ha permesso ai suoi medici di potersi concentrare di più sui pazienti e di meno sulla tecnologia.

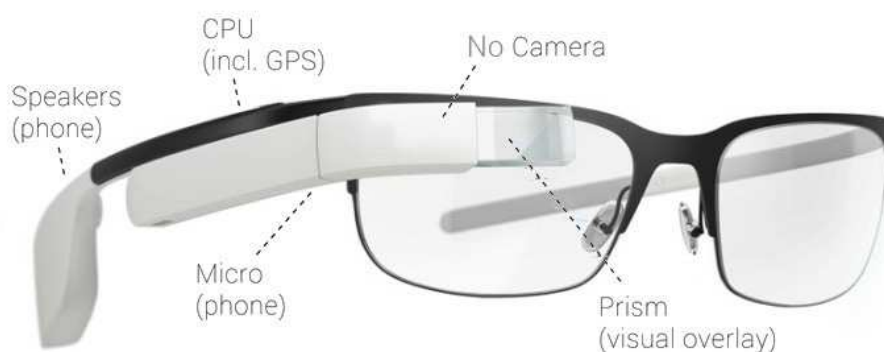


Figura 3.2: Google Glass.

3.6.2 Mappatura emodinamica

Sul mercato vi sono diversi dispositivi che, tramite la realtà aumentata, permettono di proiettare una mappa dell'apparato circolatorio direttamente su una parte del corpo del paziente. In questa sezione verranno presentati due prodotti aventi lo stesso principio di funzionamento, AccuVein e VeinViewer, che permettono la mappatura emodinamica. Entrambi aiutano a effettuare prelievi di sangue semplificando il compito di localizzazione del punto di posizionamento dell'ago proiettando una mappa delle vene periferiche sulla pelle [111, 112]. I dispositivi presentano un pulsante che, una volta premuto, fa emettere al dispositivo stesso un fascio di luce che va allineato sopra la linea centrale della vena e, per migliorare la qualità della proiezione, va regolata l'altezza e l'angolazione [111, 112]. È possibile visualizzare più venature o meno allontanando o avvicinando il dispositivo alla parte del corpo selezionata [111, 112] e, inoltre, è anche possibile in AccuVein utilizzare un supporto per lasciare allo specialista le mani libere [111]. Questi dispositivi per ora aiutano solo la localizzazione delle vene; la valutazione della vascolarizzazione e l'idoneità della vena per il prelievo non possono essere effettuate in modo automatizzato né da AccuVein né da VeinViewer, perciò per queste azioni vi è ancora bisogno di tecniche tradizionali [111, 112].

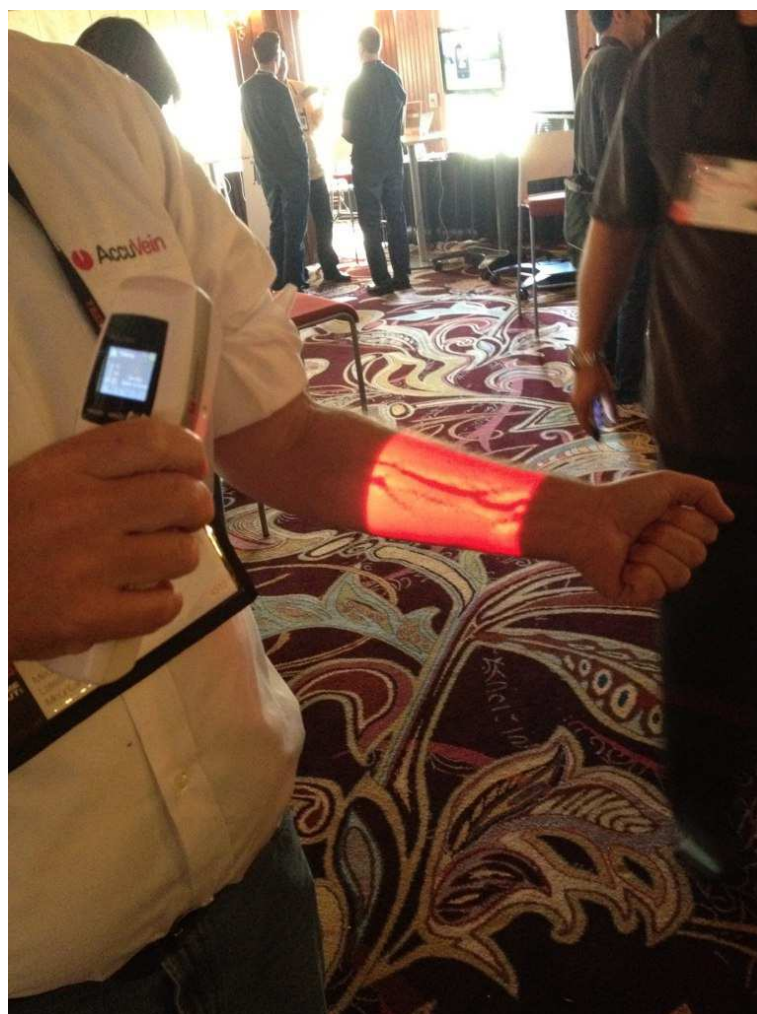


Figura 3.3: Esempio di mappatura emodinamica.

3.7 Realtà virtuale

3.7.1 Oculus Rift

Oculus Rift è un visore per realtà virtuale prodotto dalla Oculus che va indossato sul viso. È composto da uno schermo LCD di sette pollici con profondità di 24 bit per pixel abilitato alla stereoscopia 3D con campo di visione di oltre novanta gradi in orizzontale [71]. Lo sviluppo software per i visori della Oculus si basano su un SDK proprietario e gratuito chiamato, per l'appunto, Oculus SDK. Questo SDK è integrato con i più famosi motori grafici come Unity 5, Unreal Engine 4 e Cryengine, e riesce a gestire per conto dello sviluppatore diversi aspetti critici per la realizzazione di contenuti in realtà virtuale come la distorsione ottica o le tecniche avanzate di rendering [71]. L'Oculus in passato ha collaborato con il Children's Hospital di Los Angeles per costruire simulazioni di trauma pediatrico rari, ma ad alto rischio dove ogni singola decisione poteva determinare la vita o la morte del paziente simulato [113]. Queste simulazioni hanno consentito ai medici e agli studenti di fare pratica e apprendere in condizioni di lavori realistiche, portando all'ospedale una riduzione significativa di tempi e costi associati alla formazione su manichini [113].



Figura 3.4: Oculus Rift.

Conclusioni

Lo sviluppo di questa tesi ha permesso di mettere in evidenza il potenziale dell'Ospedale 4.0, ovvero un intero sistema sanitario basato sulle esigenze dei pazienti e del personale medico che ci lavora. Le nuove tecnologie legate a questo concetto possono supportare il sistema sanitario nel raggiungimento dei suoi due principali obiettivi:

1. assicurare un processo di cura sicuro e di qualità, riducendo al minimo i rischi e gli errori ad esso associati;
2. ridurre i costi, migliorando l'efficienza e l'organizzazione dei processi di cura del paziente.

In questa tesi si è visto, ad esempio, come la robotica e la realtà aumentata abbiano reso più preciso il lavoro del chirurgo donandogli maggiore destrezza e, di conseguenza, fornendo al paziente interventi meno invasivi; o come algoritmi di intelligenza artificiale applicati a un contesto ospedaliero abbiano portato benefici determinando il trattamento più giusto per i singoli casi in tempi nettamente più brevi rispetto al classico processo di analisi e allo stesso tempo aumentando il tasso di diagnosi corretta. Inoltre, si è visto come i processi di apprendimento automatico applicati alla diagnostica per immagini ne abbiano ridotti i costi senza diminuirne l'accuratezza.

Si è messo in evidenza anche come l'IoT migliori l'efficienza e l'organizzazione dei processi di cura aumentando la comunicazione e lo scambi di dati ai pazienti, ai medici e agli operatori sanitari, ovunque e in qualsiasi momento. Un esempio è il monitoraggio continuo del paziente tramite dei sensori

biomedici non invasivi costantemente connessi in rete che non limitano il movimento dell'individuo a cui sono applicati. Oppure tramite la creazione di un ambiente ad hoc e perfettamente funzionale per le esigenze mobili e di coordinazione dei professionisti sanitari che porta a un maggiore risparmio di tempo che, di conseguenza, può essere impiegato per concentrarsi maggiormente sul paziente. D'altro canto l'impiego e la gestione di dati personali come quelli medici portano alla luce criticità non da poco, come i vari aspetti legati alla privacy e sicurezza.

La ricerca per la creazione di questa tesi ha portato, inoltre, attenzione sull'attuale mercato sanitario e sulle grandi aziende tecnologiche per fare un punto della situazione odierna rispetto al concetto di Ospedale 4.0. Si è notato che molte di queste aziende ancora non si sbilanciano a proporre un intero set di prodotti per la creazione di un ambiente ospedaliero intelligente e interconnesso, ma si muovono a piccoli passi, fatta eccezione per Medtronic e Philips. Quest'ultima ha collaborato in passato con diversi ospedali con l'obiettivo di rendere alcuni dei loro reparti più intelligenti andando così verso un'ottica 4.0. Molte altre aziende leader preferiscono proporre una versione più aggiornata e al passo coi tempi di dispositivi classici come monitor o, come Samsung, proporre tecniche di *imaging* innovative applicate ai loro prodotti. Molto probabilmente l'attuale situazione è influenzata dal fatto che il concetto di Ospedale 4.0 è relativamente nuovo e molte delle criticità legate alla privacy e alla sicurezza non sono state ancora del tutto risolte.

Pertanto è solo questione di tempo prima che si trovino soluzioni a questi problemi e che le grandi aziende portino sul mercato una più vasta gamma di prodotti che permettano la creazione di un intero sistema sanitario interconnesso. Molto probabilmente il passaggio all'Ospedale 4.0 verrà dilazionato nel tempo innovando volta per volta, da parte degli attuali ospedali, un reparto differente, così come stanno facendo il Westchester Medical Center University Hospital e l'Augusta University Medical Center.

Bibliografia e sitografia

- [1] Jay Lee, Behrad Bagheri, Hung-An Kao, *A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems*, www.sciencedirect.com, 02/12/2014.
- [2] Jay Kothari, *A new chapter for Glass*, blog.x.company, 18/07/2017.
- [3] Kai Zhao, Lina Ge, *A Survey on the Internet of Things Security*, ieeexplore.ieee.org, 24/02/2014.
- [4] Wikipedia, *Accelerometer*, en.wikipedia.org.
- [5] Wikipedia, *Accelerometro*, it.wikipedia.org.
- [6] Dräger, *Accessories and Consumables for Intensive Care*, www.draeger.com.
- [7] Dräger, *Accessories and Consumables for Monitoring and IT*, www.draeger.com.
- [8] Australian Broadcasting Corporation, *AlphaGo: Google's artificial intelligence to take on world champion of ancient Chinese board game*, www.abc.net.au, 09/03/2016.
- [9] Taiyang Wu, Fan Wu, Jean-Michel Redouté, Mehmet Rasit Yuce, *An Autonomous Wireless Body Area Network Implementation Towards IoT Connected Healthcare Applications*, www.ieeexplore.ieee.org, 16/06/2017.

- [10] Wikipedia, *Attitude indicator*, en.wikipedia.org.
- [11] Wee Sim Khor, Benjamin Baker, Kavita Amin, Adrian Chan, Ketan Patel, Jason Wong, *Augmented and virtual reality in surgery-the digital surgical environment: applications, limitations and legal pitfalls*, www.ncbi.nlm.nih.gov, 24/11/2016.
- [12] Volker Paelke, *Augmented reality in the smart factory: Supporting workers in an industry 4.0. environment*, www.ieeexplore.ieee.org, 19/09/2014.
- [13] Amir Gandomi, Murtaza Haider, *Beyond the hype: Big data concepts, methods, and analytics*, www.sciencedirect.com, 03/12/2014.
- [14] Gartner Inc., *Big Data*, Gartner IT Glossary, www.gartner.com.
- [15] Prosanta Gope, Tzonelih Hwang, *BSN-Care: A Secure IoT-Based Modern Healthcare System Using Body Sensor Network*, www.ieeexplore.ieee.org, 01/03/2016.
- [16] Medtronic, *Capnography Monitoring*, www.medtronic.com.
- [17] GE Healthcare, *CARESCAPE Mobile Viewers*, www3.gehealthcare.it.
- [18] Luciana Maci - Economyup, *Che cos'è l'Industria 4.0 e perché è importante saperla affrontare*, www.economyup.it, 09/10/2017.
- [19] Jiani Zhang - IBM, *Cognitive manufacturing & Industry 4.0*, www.ibm.com, 17/03/2017.
- [20] Samsung, *CT mobile - BodyTom*, www.samsunghealthcare.com.
- [21] Samsung, *CT mobile - CareTom*, www.samsunghealthcare.com.
- [22] Edward A. Lee, *Cyber Physical Systems: Design Challenges*, www.ieeexplore.ieee.org, 07/03/2008.

-
- [23] Ragunathan Rajkumar, Insup Lee, Lui Sha, John Stankovic, *Cyber-Physical Systems: The Next Computing Revolution*, www.ieeexplore.ieee.org, 18/06/2010.
- [24] Franca Delmastro, *Computer Communications*, www.sciencedirect.com, 03/03/2012.
- [25] Ab Medica Spa, *da Vinci*, www.abmedica.it.
- [26] Alessandro Ricci, *Dai sistemi embedded ad Internet of Things*, Sistemi Embedded e IoT - modulo 4.1, Università di Bologna, www.unibo.it, 2017 - 2018.
- [27] TechAmerica Foundation's Federal Big Data Commission., *Demystifying big data: A practical guide to transforming the business of Government*, www.techamerica.org, 2012.
- [28] Cooking Hacks Electronics, *e-Health Sensor Platform V2.0 for Arduino and Raspberry Pi [Biometric / Medical Applications]*, www.cooking-hacks.com.
- [29] Wikipedia, *Electronic health record*, en.wikipedia.org.
- [30] Amir M.Rahmani, Tuan Nguyen Gia, Behailu Negash, Arman Anzpour, Iman Azimi, Mingzhe Jiang, Pasi Liljeberg, *Exploiting smart e-Health gateways at the edge of healthcare Internet-of-Things: A fog computing approach*, www.sciencedirect.com, 26/03/2016.
- [31] Philips S.p.A., *Flussi di lavoro ECG all'insegna dell'innovazione*, www.philips.it.
- [32] Philips S.p.A., *Flusso di lavoro radiologico integrato presso l'AU Health*, www.philips.it.
- [33] Wikipedia, *Fototransistor*, it.wikipedia.org.
- [34] Wikipedia, *Gyroscope*, en.wikipedia.org.

- [35] OCSE, *HEALTH AT A GLANCE 2017: OECD INDICATORS*, www.oecd.org, 2017.
- [36] HIPAA Training, *Health Insurance Portability and Accountability Act*, www.hipaatraining.com.
- [37] Wikipedia, *Health Level 7*, en.wikipedia.org.
- [38] Google DeepMind, *Helping clinicians get patients from test to treatment, faster*, deepmind.com, 27/02/2017.
- [39] Glass, *How Glass can help*, www.x.company/glass/.
- [40] Samsung, *HS40*, www.samsunghealthcare.com.
- [41] Gianluca Cristoforetti, Gianni Lodi, *Human Revolution: Quarta rivoluzione industriale e innovazione sociale*, www.books.google.it, 27/04/2017.
- [42] Lorenzo Longhitano - Wired, *I nuovi Google Glass (per le imprese) sono in vendita*, www.wired.it, 09/08/2017.
- [43] GE Healthcare, *Imaging chirurgico*, www3.gehealthcare.it.
- [44] GE Healthcare, *Imaging molecolare*, www3.gehealthcare.it.
- [45] elettronica-plus.it, *Industria dei sensori ottici: aspettative di crescita*, www.elettronica-plus.it, 09/02/2015.
- [46] Vehbi C. Gungor, Gerhard P. Hancke, *Industrial Wireless Sensor Networks: Challenges, Design Principles, and Technical Approaches*, www.ieeexplore.ieee.org, 27/02/2009.
- [47] Mohd Aiman Kamarul Bahrin, Mohd Fauzi Othman, Nor Hayati Nor Azli, Muhamad Farihin Talib, *INDUSTRY 4.0: A REVIEW ON INDUSTRIAL AUTOMATION AND ROBOTIC*, www.researchgate.net, 23/03/2016.

- [48] Roland Berger, *Industry 4.0 - The new industrial revolution - How Europe will succeed.*, www.iberglobal.com, 03/2014.
- [49] Roland Berger Strategy Consultants, *Industry 4.0, The New Industrial Revolution: How Europe Will Succeed.*, www.iberglobal.com, Marzo 2014.
- [50] Philips S.p.A., *IntelliSpace Portal - Soluzione di visualizzazione avanzata*, www.philips.it.
- [51] Yong-Yuan Deng, Chin-Ling Chen, Woei-Jiunn Tsaur, Yung-Wen Tang, Jung-Hsuan Chen, *Internet of Things (IoT) Based Design of a Secure and Lightweight Body Area Network (BAN) Healthcare System*, www.ncbi.nlm.nih.gov, 15/12/2017.
- [52] Muthuraman Thangaraj, Pichaiah Punitha Ponmalar, Subramanian Anuradha, *Internet Of Things (IOT) enabled smart autonomous hospital management system - A real world health care use case with the technology drivers*, www.ieeexplore.ieee.org, 12/12/2015.
- [53] D. Miorandi, S. Sicari, F. De Pellegrini, I. Chlamtac. *Internet of things: Vision, applications and research challenges*, www.sciencedirect.com, 25/02/2012.
- [54] Rohit Singla, Philip Edgcumbe, Philip Pratt, Christopher Nguan, Robert Rohling, *Intra-operative ultrasound-based augmented reality guidance for laparoscopic surgery*, www.ncbi.nlm.nih.gov, 28/07/2017
- [55] Donatella Gubiani, *Introduzione ai Sistemi Informativi e alle Basi di Dati in Ambiente Medico*, Tecniche di radiologia medica per immagini e radioterapia - Università degli Studi di Udine, www.uniud.it, 14/04/2011.
- [56] Mirko Ferrari, *La Realtà Aumentata nelle Fabbriche nell'era dell'industry 4.0*, www.arblog.inglobetechnologies.com, 29/07/2016.

- [57] Philips S.p.A., *L'imaging molecolare si trasforma*, www.philips.it.
- [58] Lorenzo Longhitano - La Stampa, *L'intelligenza artificiale di Google può prevedere l'esito dei ricoveri in ospedale*, www.lastampa.it, 03/02/2018.
- [59] Miles N. Wernick, Yongyi Yang, Jovan G. Brankov, Grigori Yourganov, Stephen C. Strother, *Machine Learning in Medical Imaging*, www.ieeexplore.ieee.org, 25/07/2010.
- [60] Wikipedia, *Magnetometer*, en.wikipedia.org.
- [61] Siemens, *Medical Imaging*, www.healthcare.siemens.it.
- [62] Philips S.p.A., *Migliorare le prestazioni dei processi clinici e l'esperienza complessiva del paziente*, www.philips.it.
- [63] Wikipedia, *Misuratore di portata*, it.wikipedia.org.
- [64] Tritecnica SPA, *Misuratori di distanza per l'automazione industriale*, www.tritecnica.it, 2010.
- [65] GE Healthcare, *Monitor paziente*, www3.gehealthcare.it.
- [66] Philips S.p.A., *Monitoraggio Holter Sistema Holter DigiTrak XT*, www.philips.it.
- [67] Dräger, *Monitoring and IT solutions that bring you closer to your patients*, www.draeger.com.
- [68] J.E. Bardram and C. Bossen, *Moving to get aHead: Local mobility and collaborative work*, link.springer.com, 2003.
- [69] Medtronic, *Nerve Monitoring Products*, www.medtronic.com.
- [70] Medtronic, *Neurosurgery Imaging and Surgical Navigation*, www.medtronic.com.
- [71] Wikipedia, *Oculus Rift*, en.wikipedia.org.

-
- [72] T. Stock, G. Seliger, *Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0*, www.sciencedirect.com, 19/02/2016.
- [73] OCSE, *Panorama de la santé 2017 - Les indicateurs de l'OCDE*, www.oecd-ilibrary.org, 2017.
- [74] Wikipedia, *Passive infrared sensor*, en.wikipedia.org.
- [75] A.K. Dey, D. Estrin, *Perspectives on pervasive health from some of the field's leading researchers*, IEEE pervasive Computing, vol. 11, pp. 4-7, 2011.
- [76] Monica Tentori, Gillian R. Hayes, Madhu Reddy, *Pervasive Computing for Hospital, Chronic, and Preventive Care*, www.nowpublishers.com, 05/07/2012.
- [77] Jakob E. Bardram, Alex Mihailidis, Dadong Wan, *Pervasive Computing in Healthcare*, CRC Press, 2007.
- [78] Wikipedia, *Photodetector*, en.wikipedia.org.
- [79] Wikipedia, *Photodiode*, en.wikipedia.org.
- [80] Wikipedia, *Photomultiplier*, en.wikipedia.org.
- [81] Russo Massimiliano, *Privacy, Internet delle cose, big data e intelligenza artificiale: ecco perché serve un nuovo contratto sociale*, www.wired.it, 07/04/2015.
- [82] Medtronic, *Products - Information for healthcare professionals*, www.medtronic.com.
- [83] Long Chen, Wen Tang, Nigel W. John, *Real-time geometry-aware augmented reality in minimally invasive surgery*, www.ncbi.nlm.nih.gov, 31/07/2017.
- [84] Humanitas, *Robot Da Vinci*, www.humanitas.it.

- [85] Samsung, *RS80A with Prestige*, www.samsunghealthcare.com.
- [86] Ahmad-Reza Sadeghi, Christian Wachsmann, Michael Waidner, *Security and privacy challenges in industrial Internet of Things*, ieeexplore.ieee.org, 27/09/2015.
- [87] Medtronic, *SEEQ - Mobile Cardiac Telemetry System*, www.medtronic.com.
- [88] Wikipedia, *Sensore*, it.wikipedia.org.
- [89] Wikipedia, *Sensori di gas*, it.wikipedia.org.
- [90] Alessandro Ricci, *Sensori e attuatori - panoramica*, Sistemi Embedded e IoT - modulo 1.3, Università di Bologna, www.unibo.it, 2017 - 2018.
- [91] Cristian Secchi, *Sensori e trasduttori*, Ingegneria e Tecnologie dei Sistemi di Controllo, Università degli studi di Modena e Reggio Emilia, www.unimore.it, 2008 - 2009.
- [92] GE Healthcare, *Sistema di telemetria ApexPro*, www3.gehealthcare.it.
- [93] Detlef Zuehlke, *SmartFactory-Towards a factory-of-things*, www.sciencedirect.com, 22/03/2010.
- [94] Shubaham Purri, Tanupriya Choudhury, Nirbhay Kashyap, *Specialization of IoT applications in health care industries*, www.ieeexplore.ieee.org, 25/03/2017.
- [95] Medtronic, *StealthStation Spine Surgery Imaging and Surgical Navigation*, www.medtronic.com.
- [96] Siemens, *syngo.via - Acquisizione di un quadro completo.*, www.healthcare.siemens.it.
- [97] Alessandro Ricci, *Tecnologie e Protocolli per la Comunicazione nei Sistemi Embedded*, Sistemi Embedded e IoT - modulo 4.2, Università di Bologna, www.unibo.it, 2017 - 2018.

- [98] da Vinci Surgery, *The da Vinci Surgical System*, www.davincisurgery.com.
- [99] Intuitive Surgical Inc., *The da Vinci Surgical System*, www.intuitivesurgical.com.
- [100] Bertalan Meskó, *The Guide to the Future of Medicine: Technology AND The Human Touch*, editore: Webicina Kft., 25/08/2014.
- [101] Francisco Almada-Lobo, *The Industry 4.0 revolution and the future of Manufacturing Execution Systems (MES)*, www.journals.fe.up.pt, 21/04/2015.
- [102] S. M. Riazul Islam, Daehan Kwak, MD. Humaun Kabir, Mahmud Hos-sain, Kyung-Sup Kwak, *The Internet of Things for Health Care: A Comprehensive Survey*, ieeexplore.ieee.org, 01/06/2015.
- [103] The European Technology Platform for Nanomedicine, *THE POTENTIAL OF NANOMEDICINE: Why is small different?*, www.etp-nanomedicine.eu.
- [104] Google DeepMind, *The story of AlphaGo so far*, www.deepmind.com.
- [105] Wikipedia, *Thermistor*, en.wikipedia.org.
- [106] Wikipedia, *Thermocouple*, en.wikipedia.org.
- [107] Wikipedia, *Thermostat*, en.wikipedia.org.
- [108] Bahar Farahani, Farshad Firouzi, Victor Chang, Mustafa Badaroglu, Nicholas Constant, Kunal Mankodiya, *Towards fog-driven IoT eHealth: Promises and challenges of IoT in medicine and healthcare*, www.sciencedirect.com, 25/05/2017.
- [109] Ellie Zolfagharifard, *Turning the cockroach into a 'ROBOT': Insect successfully injected with DNA nanobots that unravel to deliver drugs*, www.dailymail.co.uk, 10/04/2014.

- [110] Yaniv Amir, Eldad Ben-Ishay, Daniel Levner, Shmulik Ittah, Almogit Abu-Horowitz, Ido Bachelet, *Universal computing by DNA origami robots in a living animal*, www.nature.com, 06/04/2014.
- [111] AccuVein, *Vein Visualization For The Lab*, www.accuvein.com.
- [112] Christie Medical Holdings, *VeinViewer superior light based technology products*, www.christiemed.com.
- [113] Oculus VR, *VR's Healthcare Revolution: Transforming Medical Training*, www.oculus.com, 07/07/2017.
- [114] IBM, *Watson*, www.ibm.com, 2013 - 2018.
- [115] Memorial Sloan Kettering Cancer Center, *Watson Oncology*, www.mskcc.org.
- [116] Bert Arnrich, Cem Ersoy, Oscar Mayora, Anind Dey, Nadia Berthouze, Kai Kunze, *Wearable Therapy - Detecting Information from Wearables and Mobiles that are Relevant to Clinical and Self-directed Therapy*, www.ncbi.nlm.nih.gov, 06/12/2016.
- [117] Medtronic, *What is Personal CGM?*, www.professional.medtronicdiabetes.com.