



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA
FONDAZIONE STUDI UNIVERSITARI DI VICENZA



Dipartimento di Tecnica e Gestione dei Sistemi Industriali
Corso triennale di INGEGNERIA GESTIONALE

Tesi di Laurea

LA CHIRURGIA ROBOTICA

Relatore: Prof. Boschetti Giovanni

Laureanda: Tribbia Jessica

Matricola: 1218000

Anno Accademico 2021/2022

ABSTRACT

Una delle evoluzioni più significative in campo medico è rappresentata dalla chirurgia robotica che consente al chirurgo di non operare direttamente sul paziente bensì manovrando a distanza un robot, dotato di braccia in grado di usare i consueti strumenti chirurgici, con evidenti benefici per il grado di precisione operativa che queste macchine, sempre più sofisticate, sono in grado di assicurare.

La chirurgia robotica, nata nel 1999 quando venne realizzato il primo sistema chirurgico robotizzato, denominato “da Vinci”, ha avuto successivamente un’evoluzione continua sia in ambito hardware che software, anche grazie alla ricerca effettuata dalla NASA per un utilizzo di queste tecnologie per scopi militari in funzione di una loro applicazione in ambito chirurgico.

Alle evoluzioni del robot “da Vinci”, che è stato più volte perfezionato fino all’ultima versione XI del 2014, si stanno affiancando altre macchine che tendono sempre più a ridurre l’importanza dell’abilità del medico con funzioni di autonomia operativa della macchina sempre più spinte, riducendo sempre più le possibilità di errore umano nell’intervento. E’ il caso del prototipo STAR che, attraverso un sistema 3D in grado di riconoscere e differenziare le strutture anatomiche, è in grado di preventivare la strategia chirurgica e di eseguirla autonomamente con altissima precisione, come pure del robot KUKA denominato CARLO che consente, nel campo della chirurgia ossea ed in modalità autonoma, l’ablazione laser a freddo per mantenere intatto e vitale il tessuto osseo in prossimità delle superfici di taglio laser.

Ultimi studi hanno portato alla realizzazione del robot chirurgo Hifusk che usa gli ultrasuoni al posto dello strumento, adattandosi ai movimenti indotti dal respiro del paziente.

Anche nel campo della radiochirurgia la robotica sta avendo sempre più un’importanza strategica: due strumenti acceleratori di radiazioni denominati Gammaknife e Cyberknife costituiscono una valida alternativa alla chirurgia nei tumori localizzati o già trattati con radioterapia tradizionale, operando in modalità del tutto non invasive e in day-hospital.

Un contributo significativo all’evoluzione della robotica chirurgica sarà dato dall’avvento della tecnologia di trasmissione 5G che permetterà di operare a distanza, anche in ambienti ostili all’uomo.

Sommario

INTRODUZIONE	1
CAPITOLO 1 La chirurgia robotica	3
1. Definizione.....	3
2. Cenni storici.....	3
3. Ambiti di utilizzo	4
4. Vantaggi	4
CAPITOLO 2 I sistemi per la chirurgia robotica	5
1. Il primo sistema: il robot DA VINCI.....	5
1.1. Componentistica	6
1.2. Efficacia.....	7
1.3. Diffusione	8
2. La chirurgia robotica autonoma: il prototipo STAR	8
2.1. Il prototipo “STAR”	9
3. L’ablazione laser guidata da robot: il robot KUKA “CARLO”	10
3.1. L’azienda leader KUKA.....	10
3.2. Technical characteristics	12
3.3. Ablazione laser guidata da robot: il futuro della chirurgia	13
4. La combinazione tra robotica e ultrasuoni: il robot HIFUSK	14
CAPITOLO 3 La robotica in radiochirurgia.....	16
1. La radiochirurgia stereotassica: il Gammaknife.....	16
2. Il Cyberknife.....	17
3. Differenze fra Gammaknife e il Cyberknife.....	19
CAPITOLO 4 5G al servizio della robotica nella cura dell’uomo a distanza	21
1. La tecnologia wireless 5G di quinta generazione	21
2. Esempi concreti di interventi chirurgici a distanza	22
SITOGRAFIA:.....	24

INTRODUZIONE

La chirurgia (dal greco, cheiros: mano e ergon: lavoro) è un ramo della medicina dove si manipola fisicamente la struttura del corpo a fine diagnostico, preventivo o curativo e la sua applicazione risale fin dai primi tempi dell'umanità.

Mano a mano che l'uomo imparava a produrre utensili e strumenti per le sue necessità quotidiane o di difesa dai pericoli ambientali, ha anche utilizzato il proprio ingegno per sviluppare tecniche chirurgiche sempre più sofisticate.

I ritrovamenti archeologici ci offrono spesso incredibili testimonianze di operazioni chirurgiche eseguite con incredibile efficacia fin dai tempi dell'antichità, alcune delle quali solamente ipotizzabili quanto a strumentazione o materiali usati per giungere a ridare funzionalità all'organismo umano.

Ciò che ha sempre caratterizzato l'efficacia degli interventi, a prescindere dalla strumentazione disponibile è stata principalmente la capacità personale del medico chirurgo, attraverso il suo bagaglio di intelligenza, esperienza, ingegno e capacità manuale di giungere al miglior risultato per il paziente.

L'avvento della robotica in ambito chirurgico è riuscito, oltre che a consentire il perfezionamento della strumentazione disponibile, ad abbattere delle barriere che solo fino a qualche decennio fa potevano sembrare insormontabili.

La prima di queste barriere, l'eliminare il rischio dovuto ad errori di manipolazione durante l'intervento, è stata superata con l'avvento del primo robot, il "da VINCI" che ha sfruttato la principale caratteristica dei robot nell'uso industriale: eseguire metodicamente e con precisione per un tempo determinato movimenti precisi nel tempo e nello spazio: il chirurgo guida i bracci meccanici da una consolle e la macchina esegue movimenti con una precisione e con possibilità di rotazione degli arti impossibili per un essere umano.

La seconda barriera che sta per essere abbattuta è quella di poter elaborare preventivamente la strategia chirurgica eseguibile poi autonomamente e con altissima precisione dalla macchina. Il prototipo di robot STAR ha già eseguito prove di robotica chirurgica autonoma su animali con altissima efficacia.

Anche la possibilità di mantenere intatto e vitale il tessuto osseo in prossimità delle superfici di taglio laser nella chirurgia ossea, finora impossibile, ha trovato la sua soluzione nel robot CARLO che, unendo laser e robot, opera sotto forma di nuova chirurgia ossea "a freddo" con una macchina di ridotte dimensioni, costruita per essere usata in collaborazione diretta tra uomo e macchina.

Un gruppo universitario italiano ha costruito un prototipo di robot chirurgico denominato HIFUSK che usa gli ultrasuoni al posto della strumentazione, adattandosi ai movimenti

indotti dal respiro del paziente; in tal modo, adattando e compensando il movimento dell'organo bersaglio con il robot, si consente di evitare incisione, anestesia, sterilizzazione e ricovero in ospedale.

La robotica è poi entrata anche nel campo della radiochirurgia dove l'acceleratore di radiazioni Cyberknife ha consentito di superare problematiche e disagi tipici del trattamento con la tradizionale radioterapia, operando in modalità non invasiva e in day-hospital.

Ed infine l'ultima barriera, la necessità di vicinanza fisica fra chirurgo e paziente, è stata abbattuta con l'avvento della nuova tecnologia wireless 5G che consente un trasferimento di dati di potenzialità e sicurezza tali da permettere di comandare a distanza una macchina. Così qualsiasi specialista può permettere l'esecuzione di un delicato o urgente intervento anche dall'altra parte del pianeta magari interfacciandosi in equipe con altri specialisti.

Quali le prossime frontiere da superare? Sicuramente nei laboratori sparsi nel mondo la ricerca di tecnologie sempre più avanzate da sfruttare per la cura dell'essere umano non si fermerà mai e qualche altro limite che ora sembra invalicabile sarà superato.

Quello che è certo è che i risultati ottenuti in pochi anni con l'applicazione della robotica in ambito chirurgico hanno dato veramente la sensazione che non vi sia oggettivamente limite alla soluzione di ogni problema.

CAPITOLO 1

La chirurgia robotica

1. Definizione

Con chirurgia robotica si definisce la pratica medica che permette ad un operatore di eseguire operazioni chirurgiche tramite un robot in grado di eseguire manovre comandate. (1)

Nella chirurgia robotica, infatti, il chirurgo non opera direttamente sul paziente con le proprie mani ma manovrando un robot a distanza, seduto a una console computerizzata posta all'interno della sala operatoria.

Il sistema computerizzato trasmette istantaneamente il movimento delle mani alle braccia robotiche alle quali vengono fissati i vari strumenti chirurgici sofisticati quali pinze, forbici e dissectori.

Questa tecnologia di intervento rappresenta un approccio tecnologicamente avanzato che comporta notevoli benefici in tutte le fasi pre-intra-post operatorie, sia per il paziente e sia dal punto di vista clinico.

La chirurgia robotica tramite i sistemi robotici permette, rispetto alle tecniche tradizionali, un gesto chirurgico ben più preciso, minor sanguinamento, minori rischi di infezione post-operatoria e tempi di degenza e recupero inferiori.

2. Cenni storici

La chirurgia robotica, come del resto la medicina in generale, è strettamente legata allo sviluppo tecnologico e ne segue lo sviluppo nel tempo.

Nel XIV secolo sono state fondamentali, per lo sviluppo e l'evoluzione della chirurgia, le innovazioni legate all'introduzione di adeguate tecniche di anestesia e del concetto di una corretta antisepsi, che hanno consentito di ampliare il ventaglio degli interventi chirurgici e di diminuirne i tassi di mortalità postoperatoria. (1)

Il XX secolo invece, soprattutto negli ultimi decenni, è stato caratterizzato dall'introduzione e dalla progressiva diffusione della chirurgia minimamente invasiva.

Per il primo sistema di chirurgia robotica davvero utilizzabile in sala operatoria si è dovuto attendere il 1999, quando la Intuitive Surgical Inc., fondata in California nel 1995, introdusse sul mercato il primo e unico sistema chirurgico robotizzato, denominato da Vinci®, in onore dello scienziato italiano che già nel 1400 immaginò una macchina automatica azionata da carrucole e fili. (1)

La sempre più incalzante "rivoluzione informatica", sia in ambito hardware che software, che caratterizza molti aspetti della nostra vita quotidiana e professionale riverbera infatti anche sul progresso della moderna medicina con la diffusione della "chirurgia robotica",

con l'obiettivo di raffinare sempre più gli interventi chirurgici, migliorandone i risultati e riducendone l'invasività.

L'evoluzione della moderna chirurgia robotica è però legata strettamente agli studi dell'ente aerospaziale americano (NASA) in associazione al ministero della difesa degli Stati Uniti. Pensato principalmente per scopi militari, il progetto iniziale era quello di consentire ad un chirurgo, lontano dal campo di azione, di operare per via teletrasmissa, in una sala operatoria prossima al campo di battaglia, trasmettendo i suoi movimenti ad un sistema di bracci meccanici che venivano replicati fedelmente. (1)



I brevetti di queste sperimentazioni vennero poi acquisiti da due società private che li svilupparono ulteriormente in funzione di una loro applicazione in ambito chirurgico.

3. Ambiti di utilizzo

La prima applicazione chirurgica di una tecnologia robotica risale al 1985, in campo neurochirurgico, con la realizzazione di un dispositivo TAC guidato per l'esecuzione con precisione estrema di biopsie cerebrali, mentre il primo robot in campo urologico è stato sperimentato nel 1988. Il sistema, chiamato PROBOT, era stato progettato per ottimizzare l'intervento di resezione endoscopica di prostata (TURP) per il trattamento della Iperplasia Prostatica Benigna. Veniva eseguita una ricostruzione tridimensionale della prostata, il chirurgo valutava l'estensione del tessuto da asportare e il robot calcolava le traiettorie di resezione. (1)

E' nell'anno 2000 la FDA rilascia la prima autorizzazione all'uso di un sistema robotico (sistema per la chirurgia robotica Robot da Vinci®) in chirurgia generale. Negli anni a seguire, ne viene approvato l'utilizzo anche in chirurgia toracica, cardiaca, vascolare, urologica, ginecologica e otorinolaringoiatrica.

4. Vantaggi

I vantaggi della chirurgia robot-assistita sono:

- Piccole incisioni con riduzione del traumatismo tissutale
- Minore sanguinamento e minore necessità di trasfusioni
- Riduzione della degenza e del dolore post-operatorio
- Riduzione dei tempi di recupero
- Più rapida ripresa nello svolgimento delle attività quotidiane
- Maggiore facilità nell'esecuzione delle manovre chirurgiche complesse
- Maggiore sicurezza per il paziente. (2)

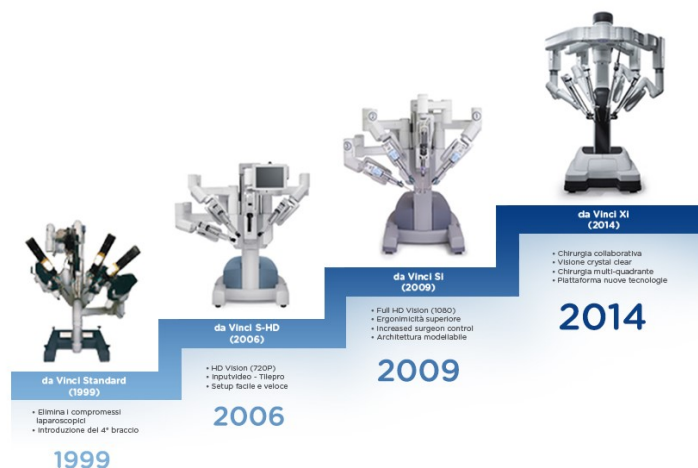
CAPITOLO 2

I sistemi per la chirurgia robotica

1. Il primo sistema: il robot DA VINCI

Il primo sistema robotico da Vinci® (IS1200, detto Standard) fu introdotto sul mercato nel 1998 e in Italia nel 1999, distribuito da ab Medica, mentre nel 2006 è stato prodotto il sistema da Vinci® S (IS2000). La versione da Vinci® SI HD (IS3000) è stata introdotta sul mercato internazionale e nazionale nel 2009. (1)

Successivamente, nell'anno 2014, è stata introdotta sul mercato la versione Xi che, rispetto alla precedente



versione Si, si caratterizza dallo schema di lavoro opposto.

I bracci scendono dall'alto e la loro posizione è impostata da un computer secondo schemi anatomici scelti dal chirurgo, in relazione ai diversi interventi. Il lavoro in parallelo dei bracci riduce il conflitto tra strumenti e permette loro di muoversi anche in direzioni opposte al verso consueto di operatività. Questa innovazione permette di operare su diversi siti anatomici anche opposti (addome superiore ed inferiore) con un'unica posizione del robot. Altra interessante caratteristica è il nuovo sistema di movimentazione dei bracci "Grab and Move", che permette di movimentarli con netta riduzione dei tempi operatori. A queste innovazioni si aggiunge il fatto che il nuovo Xi è dotato di tutti gli optional a disposizione dell'Si, tra cui la visione in fluorescenza, le suturatrici robotiche e altri strumenti di emostasi. (2)

Quali sono le caratteristiche del da Vinci Single Site

La piattaforma Single Site consente di eseguire gli interventi attraverso un'unica incisione a livello dell'ombelico. I risultati sono equivalenti a quelli della chirurgia laparoscopica, ma con risultato estetico decisamente migliore e riduzione del dolore post-operatorio. Una particolare applicazione è la colecistemia robotica Single Site: attraverso un'unica incisione a livello dell'ombelico, viene introdotto nell'addome tutto lo strumentario chirurgico necessario all'intervento che, grazie all'evidenziazione delle vie biliari, viene eseguito in sempre maggiore sicurezza. (2)

1.1. Componentistica

Il sistema robotico è formato da tre componenti principali:

- console chirurgica: è posizionata esternamente al campo sterile. Attraverso la console il chirurgo opera per mezzo di due manipolatori (simili a joystick) e di pedali che guidano la strumentazione, e osserva il campo operatorio tramite il monitor dell'endoscopio 3D. Il robot replica i gesti eseguiti dal chirurgo alla console, ma permette di operare con maggiore precisione grazie alla soppressione del tremore naturale delle mani e alla possibilità di scalare (demoltiplicare) i movimenti. Inoltre la visione ingrandita e tridimensionale del campo operatorio permette al chirurgo di distinguere le strutture anatomiche più piccole, difficilmente visibili ad occhio nudo.
- carrello paziente: sostiene le braccia del robot, che materialmente eseguono l'operazione. Sui bracci dei robot sono installati gli strumenti Endowrist, dotati di un polso in grado di compiere una rotazione di quasi 360°. Gli strumenti sono progettati con sette gradi di movimento, un raggio di gran lunga superiore rispetto a quello del polso umano.
- carrello visione: contiene l'unità centrale di elaborazione e un sistema video ad alta definizione (Full HD). Il campo operatorio viene catturato dall'endoscopio e ritrasmesso alla testa della videocamera stereo ad alta definizione, progettata per disporre di un campo visivo di 60°. Unitamente agli endoscopi Intuitive Surgical, il sistema di visione consente di ingrandire l'area chirurgica di 6-10 volte.



Il sistema, effettuando in autonomia più di un milione di controlli di sicurezza al secondo, offre la massima sicurezza e affidabilità durante il funzionamento. Feed-back audio video mantengono informati chirurghi e personale di sala operatoria sullo stato del sistema e sullo stato di salute del paziente.

Un ampio schermo touchscreen con la possibilità di tracciare disegni a mano libera sulla proiezione del campo operatorio agevola la comunicazione all'interno dell'équipe. (2)

1.2. Efficacia

Sviluppato sul concetto della "Immersive Intuitive Interface", è l'unico sistema robotico che:

- traduce i movimenti del chirurgo in modo intuitivo, consentendo un controllo completo della fibra ottica e dello strumentario, evitando i complessi movimenti laparoscopici;
- permette una reale visione tridimensionale del campo operatorio: il chirurgo viene letteralmente "immerso", senza ausilio di occhiali o altre apparecchiature, così da valutare al meglio i piani di dissezione anatomici e "vivere" l'intervento chirurgico quasi dall'interno del corpo del paziente.

Il sistema robotico da Vinci® XI, inoltre:

- consente una visione 3D con ingrandimento fino a 10 volte, assicurando una chiarezza e precisione dei dettagli nettamente superiore alla tecnica laparoscopica;
- elimina il tremore fisiologico delle mani del chirurgo o di movimenti involontari;
- possiede quattro bracci robotici, interscambiabili, montati su un'unica colonna;
- è compatibile con le altre tecnologie normalmente presenti nelle sale operatorie di tutto il mondo;
- è dotato di un sistema di posizionamento tramite laser che permette di ottimizzare il posizionamento delle braccia in base al tipo di intervento selezionato e alla posizione dei trocar, per ridurre i tempi di preparazione e i tempi operatori;
- utilizza strumenti con diametro da 8 mm a un massimo di 12 mm, chiamati Endowrist poichè consentono libertà di movimento su 7 assi (a differenza dei 4 gradi degli strumenti di laparoscopia convenzionale) e una rotazione di quasi 360°;
- consente una chirurgia multiquadrante, ovvero di effettuare interventi più complessi agendo su organi posizionati in diversi quadranti anatomici, senza la necessità di prevedere spostamenti del paziente o del robot;
- possiede una seconda console che permette a due chirurghi di collaborare durante la procedura, così da aumentare l'efficienza nella formazione e nella supervisione e ridurre la curva di apprendimento;
- consente una fase di formazione ottimale: attraverso il simulatore virtuale, corsi di formazione e master in Italia e all'estero, l'operatore migliora l'apprendimento nell'utilizzo del sistema da Vinci. (1)

1.3. Diffusione

A ottobre 2018, sono oltre 4600 le piattaforme da Vinci distribuite nel mondo. Dopo gli Stati Uniti, in cui sono presenti oltre 3.010 sistemi robotici, l'Europa rappresenta il secondo mercato con 799 installazioni. In Italia, in particolare sono 122 i sistemi da Vinci distribuiti sul territorio.

Dal 2010 la presenza di robot da Vinci installati presso le strutture ospedaliere italiane è cresciuta di oltre il 70%.

Nel 2017 sono stati effettuati più di 875.000 interventi robotici in tutto il mondo, con un incremento del 16% rispetto al 2016. In Italia, nello stesso anno si sono effettuati 17.462 interventi con il robot da Vinci, con un incremento del 14% rispetto al 2016.

Dal 2006 i pazienti operati in Italia con il da Vinci sono oltre 91.500, con il coinvolgimento negli anni di un sempre maggior numero di chirurghi e di specialità. (1)

Questi dati confermano come l'utilizzo di queste nuove tecniche chirurgiche assistite sia destinato a sostituire sempre più le tecniche manuali tradizionali in ambito operatorio

2. La chirurgia robotica autonoma: il prototipo STAR

Come abbiamo visto la chirurgia robotica ha radicalmente modificato le modalità di effettuazione degli interventi chirurgici ed ha comportato enormi vantaggi pre-intra e post operatori. La chirurgia robotica però, si basa ancora principalmente sull'abilità del medico, sulle sue capacità manuali e sull'esperienza maturata, che influenza il risultato dell'operazione.

La ricerca scientifica, quindi, si sta dirigendo verso la realizzazione di robot autonomi, in grado di operare autonomamente standardizzando la tecnica chirurgica attraverso appositi software autoapprendenti.

Queste tecniche ad oggi sperimentali si stanno dimostrando di maggiore efficacia e di maggiore sicurezza rispetto alla tecnica robotica tradizionale, tendendo ad annullare la possibilità di errore.

La "autonomia chirurgica robotica" è definita dalla norma ISO 8373: 2012: *"la capacità di eseguire artificialmente l'attività chirurgica voluta senza l'intervento umano attraverso fasi di pianificazione, insegnamento e monitoraggio dei risultati assistite da un computer"*

Quindi è necessario realizzare un modello anatomico personalizzato preoperatorio da applicare durante l'intervento chirurgico. In tal modo il robot è in grado di eseguire con estrema precisione i compiti assegnati sotto la supervisione del chirurgo. Gli interventi eseguiti sperimentalmente sono stati prevalentemente sui tessuti molli dei maiali. In fase intraoperatoria il robot ha avuto difficoltà a riconoscere tessuti a differente elasticità determinati dal cambio di piani chirurgici o di consistenza del tessuto come avviene ad esempio dopo cauterizzazione. (3)

2.1. Il prototipo “STAR”

Il prototipo utilizzato è lo STAR (Smart Tissue Autonomous Robot) approvato dalla FDA Americana che utilizza il rivoluzionario sistema Plenoptic ovvero un sistema 3D in grado di riconoscere e differenziare le strutture anatomiche grazie ad un sistema ad attività fluorescente nel vicino infrarosso (NIRF) che permette di ottenere in fase preoperatoria un’imaging tridimensionale ingrandita ad alta definizione sulla quale è possibile elaborare la strategia chirurgica. In tal modo il robot è in grado, grazie ad un apposito algoritmo elaborato dal computer di eseguire autonomamente e con altissima precisione interventi chirurgici.(3)

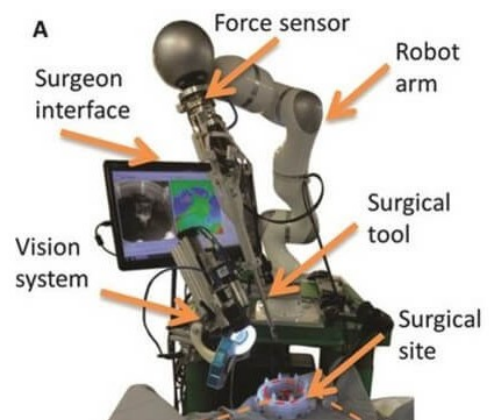
Alex Krieger, l’ingegnere meccanico che ha guidato il lavoro, ha dichiarato:

«Il robot chirurgo ha eseguito la procedura su quattro animali e ha prodotto risultati significativamente migliori rispetto ai suoi colleghi umani»

Il compito, interamente delegato all’automa, era complesso: la riconnessione di due estremità di intestino. La chirurgia dei tessuti molli presenta più difficoltà per i robot, l’alto tasso di imprevedibilità rende necessario adattarsi rapidamente e gestire ostacoli imprevisti. Il collegamento di due lembi di un intestino è uno dei passaggi più delicati nella chirurgia gastrointestinale. In questo tipo di interventi è richiesta una precisione elevatissima. (4)

Lo STAR è un robot intelligente dotato di braccia ad otto gradi di libertà (DOF) con strumenti chirurgici intercambiabili collegato con un “sensore di forza” che permette di eseguire movimenti di precisione sub-millimetrici applicando trazioni sui tessuti impercettibili. Le immagini elaborate al computer sono traslate su di una scacchiera dotata di un sistema di tracciamento visivo 3D elaborando in tal modo la strategia

chirurgica che il robot andrà ad eseguire successivamente consentendo al chirurgo di supervisionare l’operato ed intervenire in caso di necessità.



E' stata confrontata la sutura su intestino di suino eseguita distintamente da 7 chirurghi esperti in suture OPEN, laparoscopiche, Robot assistite con piattaforma Da Vinci e robot assistite con piattaforma STAR. Il sistema STAR è sempre stato in grado di esercitare una trazione con conseguente deformazione del tessuto al passaggio dei punti significativamente più bassa rispetto alle altre tecniche. Grazie a calcoli ottenuti dalla misurazione dello spessore e dalla circonferenza del lume intestinale lo STAR è stato in grado di calcolare ed applicare la giusta spaziatura equidistante fra un passaggio e l'altro dell'ago garantendo una maggiore tenuta dell'anastomosi. Infatti, al termine della sutura si misurava la pressione di cedimento della sutura che è risultata significativamente più alta nella anastomosi eseguita con il sistema STAR anche se con tempi di esecuzione maggiori.



(3)

I ricercatori ritengono però che i risultati di STAR siano in continuo miglioramento e che i robot possano intervenire in futuro anche nella cura dei tumori eliminando la necessità di chirurghi, che monitoreranno semplicemente la procedura.

3. L'ablazione laser guidata da robot: il robot KUKA "CARLO"

3.1. L'azienda leader KUKA

Un contributo significativo alla robotica in campo medico è senz'altro individuabile nei macchinari prodotti dalla ditta KUKA che offre una gamma di soluzioni ottimali per prodotti medicali robotizzati.

Si tratta di una gamma di prodotti specifici che soddisfano svariate applicazioni mediche e che vanno dai robot leggeri della serie LBR Med, collaborativo ed a alta sensibilità, fino a robot per carichi pesanti con portata da 50 a 300 kg.

Secondo Axel Weber, vicepresidente di KUKA Medical Robotics, KUKA è *".... l'unica azienda produttrice di robot che, con la serie LBR Med, soddisfa gli standard previsti per i costruttori di prodotti medicali e l'unica azienda che ha un team interno specializzato in robotica medica."* (5).

Questi robot trovano impiego in vari campi, dalla diagnostica alla chirurgia, passando per la terapia:

- Applicazioni speciali di riabilitazione
- Chirurgia mini-invasiva
- Radioterapia intraoperatoria
- Migliore diagnosi del tumore al seno

- Chirurgia ossea e trattamento osseo senza contatto
- Chirurgia ortopedica
- Sistemi per angiografia e sala operatoria ibrida
- Chirurgia estetica

La gestione di questa serie di robot è affidata al sistema operativo KUKA Sunrise.OS Med, ottimizzato per la robotica medica, che assicura una facile programmazione delle applicazioni mediche.

KUKA Sunrise.OS Med è il sistema operativo per il LBR Med e, insieme a KUKA Sunrise.Workbench Med e KUKA Sunrise.WoV Med inclusi, offre tutte le funzioni necessarie per la programmazione e la configurazione di complesse applicazioni di robot medicali. La programmazione ad oggetti con Java permette inoltre un rapido sviluppo di applicazioni. E tutto questo certificato per le esigenze dei produttori di dispositivi medici.

(5)

Un significativo vantaggio è dato dalla cooperazione sicura tra robot e personale medico. Speciali opzioni di sicurezza permettono di monitorare la velocità, le forze che agiscono sul braccio del robot e le posizioni del braccio del robot nell'area di lavoro, nonché le coppie misurate. Precisi parametri di sicurezza possono essere memorizzati dal produttore di dispositivi medici per fermare automaticamente il robot in situazioni di emergenza, attivare i freni o innescare una reazione definita dal robot. Nel caso di operazioni che coinvolgono la

collaborazione robot-uomo, questo può garantire la sicurezza del personale medico e dei pazienti. (5)

Nell'uso di robot per carichi pesanti, con portata compresa tra 50 e 500 kg, viene associata la presenza di robot portapazienti che sono i robot



medici che spostano i pazienti. Ad esempio possono essere impiegati per posizionare i pazienti al fine di sottoporli alla terapia a particelle o per l'ippoterapia robotizzata.

L'ARTIS pheno di Siemens fa invece parte dei sistemi per la movimentazione di attrezzature mediche pesanti: esso sposta un sistema radiologico ad arco a C attorno al paziente, permettendo la realizzazione di riprese in 3D simili alla TC direttamente in sala operatoria. (5)

KUKA produce anche robot, la serie KR QUANTEC, per la radioterapia, che, grazie alla loro speciale meccanica e alla rigidità elevata, sono pensati per le mansioni che richiedono massima precisione.

3.2. Technical characteristics

The LBR Med bundles all robot capabilities that are particularly required in medical technology like:

- **PRECISION:** The LBR Med requires no additional devices for calibration or highly precise work. Thanks to its integrated mastering sensors, it calibrates itself fully autonomously and achieves an outstanding repeatability from $\pm 0.1\text{mm}$ to $\pm 0.15\text{ mm}$
- **FLEXIBILITY:** The LBR Med is designed as a robot that can be deployed universally. It can be integrated seamlessly into a wide range of different applications. The required interfaces come as standard in large numbers, as the robot is based on the LBR iiwa that has proven its worth in Industrie 4.0 settings. The LBR Med is easy to integrate into applications using the most commonly-used programming language JAVA and the readily comprehensible KUKA robot library. It can thus be used “out of the box” for product development in medical technology
- **SAFETY:** The LBR Med sets standards with its safety structures. Its safety-rated hardware and software processes the relevant data. Functions covered by the equipment include encoder signals, force/torque sensors, safety circuit, single fault safety, safety-rated interfaces and configurable safety events – in short: everything that predestines it for medical technology
- **SENSITIVITY:** The LBR Med has redundant, integrated torque sensors. It can detect forces applied externally and react according to the freely programmable system responses you have specified. Benefit from its haptic capabilities for manual guidance, teleoperation with haptic support or gravity compensation. Use the LBR Med to apply predefined forces during a motion or as a compliant robot that responds adaptively to process forces. Furthermore, the integrated sensors are also used for safe collision detection, thereby enabling humanrobot collaboration (HRC).
- LBR Med multitools can be applied in different applications like:
- **ORTHOPEDIC SURGERY:** Thanks to its stable design, construction and stiffness, the LBR Med is suitable for bone surgery. Open-source libraries facilitate the fast development of prototypes and the integration of navigation cameras.



- **ULTRASOUND DIAGNOSTICS:** Sensitive technology and safe human-robot collaboration are the domain of the LBR Med. Thanks to the integrated sensors, it can react to its surroundings both interactively with the physician and via telemanipulation.
- **MINIMALLY INVASIVE SURGERY:** The highly developed controller enables precise operation with a trocar kinematic system. The user can freely select whether to use the application automatically, interactively or via a telemanipulator.
- The LBR Med are a revolutionary robot thanks to its structure:
- **MEDIA FLANGE INSIDE ELECTRICAL MED:** Connections for power supply, I/Os or EtherNet are available for customerspecific tools on the flange via the media flange inside electrical Med.
- **KUKA SUNRISE CABINET MED:** this new technology unites safety control, robot control, logic control and process control of the entire system. Its interfaces, scalability, performance and openness mean that there are virtually limitless automation possibilities. In the future, it will also be possible to control multiple lightweight robots with a single controller. (6)



3.3. Ablazione laser guidata da robot: il futuro della chirurgia

Un particolare utilizzo dei robot KUKA LBR Med è stato implementato dall'azienda svizzera AOT AG che, nell'ambito di ricerche in materia di ingegneria medica, ha ideato un sistema laser robotizzato per la chirurgia ossea: l'ablazione laser a freddo guidata da robot.

Il nuovo macchinario ha preso il nome di CARLO, acronimo di Cold Ablation, Robot-guided Laser Ostetome.

Finora non esisteva alcuna soluzione per mantenere intatto e vitale il tessuto osseo in prossimità delle superfici di taglio laser. CARLO unisce laser e robot per la chirurgia ossea sotto forma della nuova chirurgia ossea "a freddo" con un robot tattile piccolo e leggero, costruito per la collaborazione diretta tra uomo e macchina. Il sistema viene integrato da un complesso software e hardware in 3D di pianificazione, navigazione e

controllo. Esso si inserisce alla perfezione nella sala operatoria, lavora autonomamente, ma lascia in qualsiasi momento al chirurgo il pieno controllo sull'intervento. (7)

Ma come lavora CARLO? Il chirurgo esegue, sulla base dei dati di un esame CT, la pianificazione pre-operativa e in questo modo alimenta il sistema di navigazione di CARLO. Una app intuitiva guida il chirurgo e il personale tecnico, passo dopo passo, attraverso l'inizializzazione di CARLO. Il robot effettua, quindi, l'intervento autonomamente. Se qualcosa non va come previsto, basta che il medico tocchi il robot leggermente e il sistema si arresta immediatamente. "Il LBR Med è dotato di una serie completa di sensori sensibilissimi. È più veloce che fermare un assistente" afferma il prof. Hans-Florian Zeilhofer. "Il robot passa quindi in una posizione di attesa e, non appena si ha l'okay, l'intervento prosegue precisamente da questa posizione". (7)

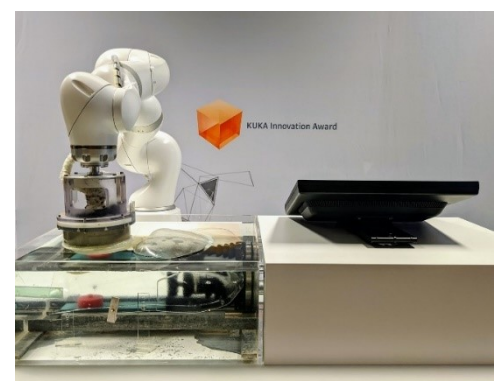
4. La combinazione tra robotica e ultrasuoni: il robot HIFUSK

Novità assoluta in materia di innovazione in ambito di robotica chirurgica è il robot chirurgo Hifusk (High Intensity Focused Ultrasound Surgery based on Kuka robot) usa gli ultrasuoni al posto dello strumento, adattandosi ai movimenti indotti dal respiro del paziente. Il progetto è stato presentato dall'Istituto di BioRobotica della Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa ed ha vinto il "Kuka Innovation Award 2020 – Medical Robotics Challenge", assegnato nell'ambito della competizione internazionale di robotica medica organizzata da Kuka, azienda leader nella produzione di robot industriali e collaborativi. La tecnica a ultrasuoni focalizzati è una delle più promettenti per il trattamento di varie patologie che colpiscono gli organi interni.

La piattaforma robotica Hifusk, sviluppata sulla base del manipolatore robotico Kuka Med Lbr robot, permette di effettuare l'intervento chirurgico senza interrompere il respiro fisiologico del paziente, tracciando e compensando il movimento dell'organo bersaglio con il robot. La tecnologia è stata validata con test di laboratorio e presto potrà essere sperimentata (8).

HIFUSK 2.0 porta il paziente al centro del design della piattaforma ottimizzando le misure di sicurezza disponibili durante il trattamento.

Ciò si traduce in un monitoraggio costante delle forze di interazione tra dispositivo terapeutico e paziente, nonché in una valutazione quantitativa del loro accoppiamento acustico mediante l'elaborazione in tempo reale dei dati ecografici



grezzi. HIFUSK 2.0 sfrutta anche il controllo robotico e il machine learning per garantire la compensazione di eventuali movimenti del bersaglio terapeutico. (9)

La combinazione tra robotica e ultrasuoni focalizzati si traduce in un trattamento chirurgico preciso e non invasivo: grazie, infatti, alla nuova piattaforma Hifusk, sviluppata a partire dal manipolatore robotico Kuka Med Lbr robot, l'intervento chirurgico può essere effettuato senza interrompere il respiro fisiologico del paziente, ma tracciando e compensando il movimento dell'organo bersaglio con il robot. (10)

Questa tecnica è già stata validata con test di laboratorio e sarà successivamente sperimentata in modelli animali prima della sperimentazione finale sull'essere umano.

Tra le tecniche chirurgiche finora disponibili, questa a ultrasuoni focalizzati ha tutte le caratteristiche per risultare il trattamento ideale per molte patologie che colpiscono gli organi interni. Non c'è incisione, anestesia, sterilizzazione e ricovero in ospedale. Caratteristiche fondamentali che hanno permesso al progetto di mettersi in luce nella competizione internazionale. (10)

CAPITOLO 3

La robotica in radiochirurgia

1. La radiochirurgia stereotassica: il Gammaknife

Il termine radiochirurgia risale alla fine degli anni 50 e fu coniato da Lars Leksell, un gigante della neurochirurgia del Karolinska di Stoccolma. Leksell sviluppò una tecnica chiamata “radiochirurgia stereotassica”. Egli inventò un’attrezzatura, ancora oggi in uso, che utilizza una fonte radiante di cobalto 60. Le radiazioni prodotte da questa fonte radiante (raggi gamma) sono focalizzate su di un punto attraverso una serie di collimatori posti sulla superficie di una semisfera.

La Gammaknife, così venne denominata da Leksell, funziona attraverso l’apertura della fonte radiante, i raggi gamma prodotti attraversano la semisfera passando dalle aperture dei collimatori, fori di diametro variabile disposti sulla sua superficie. Così focalizzati, i raggi gamma convergono su di un unico punto, rappresentato dal centro



della semisfera. Questo punto prende il nome di isocentro. Leksell accoppiò questo apparato a un sistema stereotassico. Tale sistema consiste in un “casco”, come viene comunemente denominato, un sistema di riferimento esterno sul quale sono disegnate delle coordinate cartesiane che viene fissato rigidamente al cranio mediante quattro viti.

Questo sistema di riferimento fa sì che ogni punto all’interno del cranio del paziente possa essere identificato da specifiche coordinate spaziali (x,y,z). E’ possibile, in tal modo, far ricadere l’isocentro su di uno specifico



punto o una serie di punti identificati dalle coordinate spaziali x,y,z. Il valore di tali coordinate sarà definito attraverso una risonanza magnetica effettuata in “condizioni stereotassiche”, ovvero con il casco fissato al capo del paziente. Le radiazioni dirette all’isocentro si incontrano generando delle “sfere” di radiazioni di intensità e volume variabili. La dose viene quindi conformata, cioè adattata alla forma del tumore attraverso l’uso di multipli isocentri di differente volume.

La radiochirurgia stereotassica si è rivelata una tecnica efficace per il trattamento di numerose patologie neurochirurgiche in ambito neuro-oncologico, neurovascolare e funzionale con molte centinaia di migliaia di pazienti trattati negli ultimi 30 anni.

2. Il Cyberknife

All'inizio degli anni 90, un giovane e promettente neurochirurgo di Stanford, John Adler, si avvicinò alla radiochirurgia stereotassica e decise di trascorrere un periodo di formazione a Stoccolma presso la neurochirurgia del Karolinska Institute, dove la radiochirurgia stereotassica oltre che essere nata, si era affermata. John è un visionario e coltiva il sogno di rendere la radiochirurgia stereotassica una tecnica ancora meno invasiva eliminando il casco o "frame" stereotassico. Le circostanze gli furono particolarmente favorevoli: al suo ingegno si aggiunse il fatto di lavorare a Stanford con la Silicon Valley e la conseguente

possibilità di collaborare con i migliori esperti di scienze applicate al mondo a solo pochi chilometri di distanza. Nasce così, nella seconda metà degli anni 90, la Cyberknife un sistema per radiochirurgia stereotassica "frame-less" ovvero guidata dalle immagini e non più da coordinate spaziali ottenute fissando rigidamente dei



riferimenti esterni sul capo del paziente. Ma c'è molto di più di questo!

Ciò che John Adler riuscì a realizzare non fu, come molti ancora oggi ritengono, sostituire un sistema d'immobilizzazione rigido, il casco, con uno meno rigido, cioè una maschera in materiale termoplastico. Egli, infatti, sviluppò, partendo dal nulla, un sistema di "image-guidance" in grado di verificare in maniera costante la posizione del paziente durante tutta la durata del trattamento. Tale sistema fu accoppiato a un robot che consente di correggere la direzione del fascio di radiazioni qualora il paziente si trovasse in una posizione diversa rispetto a quella di partenza.

Quindi la Cyberknife è costituita da due componenti fondamentali:

1. un sistema di image-guidance, costituito da due fonti radiogene posizionate sul tetto e due rivelatori al silicio amorfo posti sul pavimento.

2. Un acceleratore lineare o LINAC che genera raggi X montato su di un braccio robotico. Questo braccio robotico è, a sua volta, accoppiato a un secondo braccio sul quale è posto il letto sul quale giace il paziente.



In tal modo la posizione del paziente viene verificata prima del rilascio di ogni fascio di radiazioni e corretta attraverso i movimenti dei due bracci robotici. È possibile, in tal

modo, avere una precisione che è notevolmente inferiore al millimetro e del tutto paragonabile a quella dei sistemi “frame-based”, dei sistemi cioè che utilizzano un casco stereotassico.

L'assenza del casco ha generato una serie di benefici che all'inizio non erano stati neanche previsti. Mentre con i sistemi “frame-based” la procedura deve essere svolta tutta in un'unica giornata, con i sistemi “frame-less” è possibile acquisire le immagini (TAC e RM) in giorni differenti rispetto a quelli del trattamento con la possibilità di avere molto più tempo per raggiungere un piano di trattamento ottimale.

Ma il beneficio più evidente è quello di poter erogare la dose di radiazione in più frazioni mantenendo una precisione tipica dei sistemi stereotassici. Per lesioni di volume maggiore o adiacenti a strutture molto radiosensibili come le vie ottiche o il tronco encefalico, è possibile utilizzare un trattamento in un numero limitato di frazioni consentendo alle strutture sane, ma molto sensibili alle radiazioni, di recuperare e riparare l'eventuale danno radioindotto tra una frazione e la successiva.

I dati disponibili in letteratura hanno dimostrato come sia possibile trattare efficacemente, in tal modo, lesioni che non sarebbe possibile trattare con radiocirurgia in singola frazione, quali ad esempio i meningiomi delle vie ottiche.

Il fatto di non richiedere un sistema di fissazione rigida, ma di utilizzare le immagini per controllare la posizione del paziente spinse John Adler e i suoi collaboratori della Accuray a provare a utilizzare questa tecnica al di fuori del cranio. I risultati furono straordinari: il sistema di image-guidance può identificare le variazioni di posizione delle vertebre seguendole durante il trattamento e il robot può correggere conseguentemente la direzione dei fasci di radiazioni. Inoltre, posizionando per via percutanea dei semi d'oro all'interno di un tumore localizzato ad esempio nella prostata o nel fegato o nel polmone (eventualmente questa procedura può essere effettuata in sede di biopsia) è possibile, per la prima volta, utilizzare la precisione e l'efficacia di una tecnica radiocirurgica per trattare tumori al di fuori del capo.

Lo sviluppo di un sistema di image-guidance molto sofisticato ha, di fatto, cambiato la storia della radioterapia. Oggi la maggioranza delle apparecchiature per radioterapia sono dotate di un sistema di image-guidance che consente di effettuare il trattamento ad elevata conformalità, cioè con una minima dispersione della dose al di fuori del tumore. Questa tecnica consente di ridurre il numero di sessioni utilizzate nella radioterapia, abitualmente da 25 a 30, avvicinandosi al trattamento radiocirurgico effettuato in 1-5 frazioni con maggior efficacia e minore rischio di effetti collaterali associati all'irradiazione dei tessuti sani.

Questa vera rivoluzione sta cambiando radicalmente le basi della moderna radioterapia rendendola una terapia molto più efficace e molto meno tossica che nel passato. Oggi

Elekta e Accuray le compagnie fondate rispettivamente da Lars Leksell e John Adler sono le prime due nella produzione di apparecchiature per radioterapia a testimoniare il contributo di questi due neurochirurghi alla medicina moderna. (11)

Il limite principale di questa tecnica è rappresentato dalle dimensioni del tumore: lesioni maggiori di 2,5 – 3 cm non possono essere trattate con radiochirurgia. (12)

3. Differenze fra Gammaknife e il Cyberknife

La radiochirurgia, quindi, viene eseguita mediante due strumenti acceleratori di radiazioni denominati Gammaknife e Cyberknife.

Questi strumenti sono una valida alternativa alla chirurgia soprattutto in due circostanze:

- nei pazienti con tumore localizzato ma non operabile per l'infiltrazione della malattia agli organi adiacenti
- nei pazienti con recidiva di malattia in sedi precedentemente irradiate con radioterapia tradizionale.

Il sistema è del tutto non invasivo e può essere effettuato in day-hospital o su base puramente ambulatoriale e vengono pertanto eliminati i lunghi tempi di ospedalizzazione tipici della chirurgia.

Il primo ad essere stato inventato è il Gammaknife mentre il Cyberknife è stato la sua evoluzione.

Notevoli sono i vantaggi applicativi del Cyberknife rispetto al Gammaknife:

- il gamma knife può trattare solo la zona del cranio (lesioni encefaliche e della colonna) mentre il Cyberknife, data la sua mobilità (6 gradi di libertà e circa 1200 posizioni diverse), può trattare anche lesioni polmonari, addominali, pelviche e ossee.
- il gamma knife, per l'immobilizzazione del paziente, utilizza degli elmetti che vengono fissati al cranio del paziente (in anestesia locale). Il cyber knife, invece, utilizza delle maschere termoplastiche che vengono adattate sulla superficie cutanea della zona da trattare. Ciò comporta il fatto che con il gamma knife, a differenza del Cyberknife, il trattamento non può essere frazionato
- il Cyberknife è l'unico sistema al mondo che permette trattamenti con un'accuratezza di 1.5 mm su lesioni che si muovono con il respiro.
- Il Cyberknife non utilizza sorgenti di radiazioni con sostanze radioattive; con il gamma knife viene invece utilizzata come sorgente di radiazioni il cobalto radioattivo
- Con il Gammaknife è possibile trattare solo lesioni encefaliche

Il Cyberknife si differenzia sensibilmente da tutti gli altri macchinari utilizzati per la radioterapia convenzionale per la quantità e la precisione con cui vengono distribuite le radiazioni.

Questo è reso possibile grazie a due caratteristiche:

- Precisione: Il Cyberknife è costituito da un acceleratore lineare compatto montato sopra un braccio robotico che è in grado di occupare 130 posizioni nello spazio. In ciascuna posizione può essere orientato in 12 modi diversi così da emettere circa 1500 fasci con diametro minimo di 5 mm e massimo di 6 cm.
- Accuratezza: Il dispositivo è in grado di seguire e compensare il movimento del paziente e del tumore durante la seduta. Questo grazie all'acquisizione di immagini durante tutta la durata della terapia. Le immagini vengono continuamente sovrapposte con le immagini del piano di cura in modo da garantire un'accuratezza di posizionamento superiore alla radioterapia convenzionale.

La precisione e l'accuratezza consentono di erogare alte dosi di radiazioni concentrate nell'area del tumore in poche sedute (solitamente da 1 a 5). (13)

Cyberknife è il primo sistema di radiochirurgia che consente di monitorare e di compensare i movimenti del paziente e del tumore durante tutta la durata dell'intervento radiochirurgico, senza la necessità di utilizzare sistemi di immobilizzazione invasivi e pertanto senza richiedere l'ospedalizzazione del paziente. (14)

CAPITOLO 4

5G al servizio della robotica nella cura dell'uomo a distanza

1. La tecnologia wireless 5G di quinta generazione

Uno degli usi più attesi e significativi del 5G nella robotica sarà la medicina e in particolare la chirurgia a distanza.

L'evoluzione della robotica ha avuto origine dalla risposta a un bisogno dell'uomo di macchine utili che lo aiutassero nel lavoro fisico. È per questo che il primo ambito di applicazione è stato il settore industriale. Successivamente, grazie ai progressi tecnologici, i robot sono usciti dalle fabbriche diffondendosi in vari contesti e per finalità diverse. Parliamo dei robot di servizio che operano in ambienti ostili all'uomo, come lo spazio, gli ambienti sottomarini, utilizzati per compiti pericolosi come i robot artificieri o in operazioni di soccorso. Il più recente approdo è nell'ambito della medicina, in particolare, la chirurgia, la riabilitazione, l'assistenza sociale e sanitaria.

Cosa rappresenta il 5G per la robotica? — Il 5G è la quinta generazione di tecnologia wireless, circa 10 volte più veloce del 4G, con molta più larghezza di banda e connessioni più affidabili. Questo si traduce nella possibilità di trasmettere grandi quantità di dati senza ritardi; una vera e propria rivoluzione per la robotica e in generale per l'integrazione dell'intelligenza artificiale grazie al cloud computing, una inesauribile fonte di informazioni che può supportare da remoto i meccanismi di apprendimento. Il 5G aprirà la strada a una nuova generazione di robot controllati tramite comunicazione wireless e dotati allo stesso tempo di nuove risorse di elaborazione e archiviazione dei dati tramite cloud.

I robot che nel prossimo futuro opereranno in ambienti coabitati dagli esseri umani dovranno avere la capacità di interagire in maniera sicura con l'ambiente circostante, di prendere decisioni e reagire in maniera flessibile agli imprevisti. Per fare ciò il robot deve poter sondare l'ambiente e acquisire consapevolezza di ciò che lo circonda. Migliorare le capacità sensoriali e di elaborazione delle informazioni provenienti dall'esterno è fondamentale, mediante l'utilizzo di sensori come telecamere, microfoni, laser e sensori di contatto. Le tecniche di elaborazioni di immagini e del suono basate sull'apprendimento (deep learning), recente conquista della ricerca, hanno incrementato la necessità di disporre di risorse computazionali spinte. Anche se la capacità di calcolo e la miniaturizzazione dei processori è migliorata negli ultimi anni, non si può pensare di alloggiare in un robot tutta la capacità di calcolo necessaria. Poter connettere un robot tramite una connessione wireless con uno o più computer esterni rappresenta una

ricchezza enorme che può aprire le porte a una nuova generazione di robot con caratteristiche di autonomia, sicurezza e affidabilità che non hanno precedenti. Ciò premesso, affinché un robot funzioni correttamente è necessario che la connessione consenta di trasferire un elevato numero di dati al secondo e che il tempo impiegato per trasferire i dati sia sufficientemente piccolo. Le tecnologie attuali come il 4G non sono in grado di offrire performance adeguate e comportano il rischio di limitare l'ulteriore evoluzione dei robot e la loro diffusione nella società.

5G e robotica chirurgica — Uno degli usi più attesi e significativi del 5G nella robotica sarà la medicina e in particolare la chirurgia a distanza. Eliminando il ritardo nella trasmissione dei dati, i robot chirurgici, già ampiamente utilizzati oggi nelle sale operatorie degli ospedali più avanzati, potranno essere controllati dai migliori chirurghi per curare pazienti bisognosi anche dall'altra parte del mondo. Questo consentirebbe di salvare vite quando il tempo è breve e il trasporto impossibile, come per esempio un paziente colpito da ictus in una comunità rurale, o un bambino in un paese in guerra.

2. Esempi concreti di interventi chirurgici a distanza

Esistono già esempi concreti che testimoniano le enormi potenzialità del 5G nella robotica utilizzata per la chirurgia a distanza. Nel gennaio 2019 è stato effettuato il primo intervento chirurgico al mondo a distanza su un animale da laboratorio. Un medico nella provincia sud-orientale del Fujian, dal Fujian China Unicom Southeast Research Institute, ha rimosso il fegato di un animale da laboratorio del Mengchao Hepatobiliary Hospital a 50 km di distanza, controllando bracci chirurgici robotici su una connessione 5G. L'intera procedura ha richiesto circa 60 minuti e il ritardo di funzionamento è stato estremamente basso, al punto che le ferite chirurgiche erano pulite e non c'era traccia di sangue durante l'intero processo. Due mesi più tardi, un chirurgo cinese, il dottor Ling Zhipai, primario dell'ospedale PLAGH di Pechino, ha effettuato la prima operazione chirurgica a 3.000 km di distanza su un paziente affetto da Parkinson inserendo un impianto di stimolazione cerebrale profonda. Sempre nel 2019, anche in Italia sono stati effettuati i primi esperimenti. Il 28 novembre 2019, in occasione del 30° congresso internazionale di chirurgia dell'apparato digerente, è stato eseguito all'ospedale Santa Maria di Terni, in diretta live dal palco dell'Auditorium dell'Eur di Roma, il primo teleconsulto immersivo 4K di chirurgia a distanza sulla rete 5G di TIM. Il professor Giorgio Palazzini della III Clinica Chirurgica della Sapienza Università di Roma ha indossato visore e joystick e ha effettuato un intervento di laparoscopia interagendo a distanza con una delle sale operatorie dell'ospedale per un intervento laparoscopico di gastrectomia in presenza delle equipe chirurgiche coordinate dal professor Chang-Ming Huang dell'Università Fujian Medical di Fuzhou e dal professor Amilcare Parisi direttore della Chirurgia digestiva dell'ospedale di Terni. Grazie a tre telecamere installate nella

sala operatoria dell'ospedale di cui una a 360° ad altissima definizione 4K, e grazie alla telecamera laparoscopica, anch'essa connessa alla rete, è stato possibile osservare contemporaneamente l'intervento e i dati biometrici del paziente, avendo la possibilità di ingrandire e selezionare i dettagli. (15)

SITOGRAFIA:

- (1) <https://www.urologiaroboticadavinci.it/chirurgia-robotica/>
- (2) <https://www.humanitas.it/cure/robot-da-vinci/>
- (3) <https://www.medicitalia.it/blog/urologia/67111-la-chirurgia-robotica-autonoma-il-robot-star.html>
- (4) <https://masterx.iulm.it/news/robot-intervento-chirurgico/>
- (5) <https://www.kuka.com/it-it/settori/sanit%C3%A0/kuka-medical-robotics>
- (6) http://giecdn.blob.core.windows.net/fileuploads/file/tmd/kuka_lbr%20med_en.pdf
- (7) <https://www.kuka.com/it-it/settori/banca-dati-di-soluzioni/2019/02/aot-ag>
- (8) <https://tg24.sky.it/scienze/2020/11/19/robot-chirurgo-hifusk>
- (9) <https://www.insalutenews.it/in-salute/cancro-e-altre-patologie-hifusk-2-0-rivoluziona-il-trattamento-unendo-robotica-e-ultrasuoni-focalizzati/>
- (10) <https://makerfairerome.eu/it/il-kuka-innovation-awards-2020-al-santanna-di-pisa-tra-i-protagonisti-di-mfr2020/>
- (11) <http://www.sinch.it/news/parola-all-esperto-8/che-cos-la-radiochirurgia-cyberknife-104>
- (12) <https://www.artoi.it/cyberknife/>
- (13) <https://www.fraparentesi.org/trp-radioterapia-e-cyberknife/>
- (14) <https://www.cdi.it/visite-ed-esami/cyberknife/>
- (15) https://www.repubblica.it/economia/rapporti/mondo5g/aula-magna/2020/10/01/news/5g_al_servizio_della_robotica_nella_cura_dell_uomo-269099595/