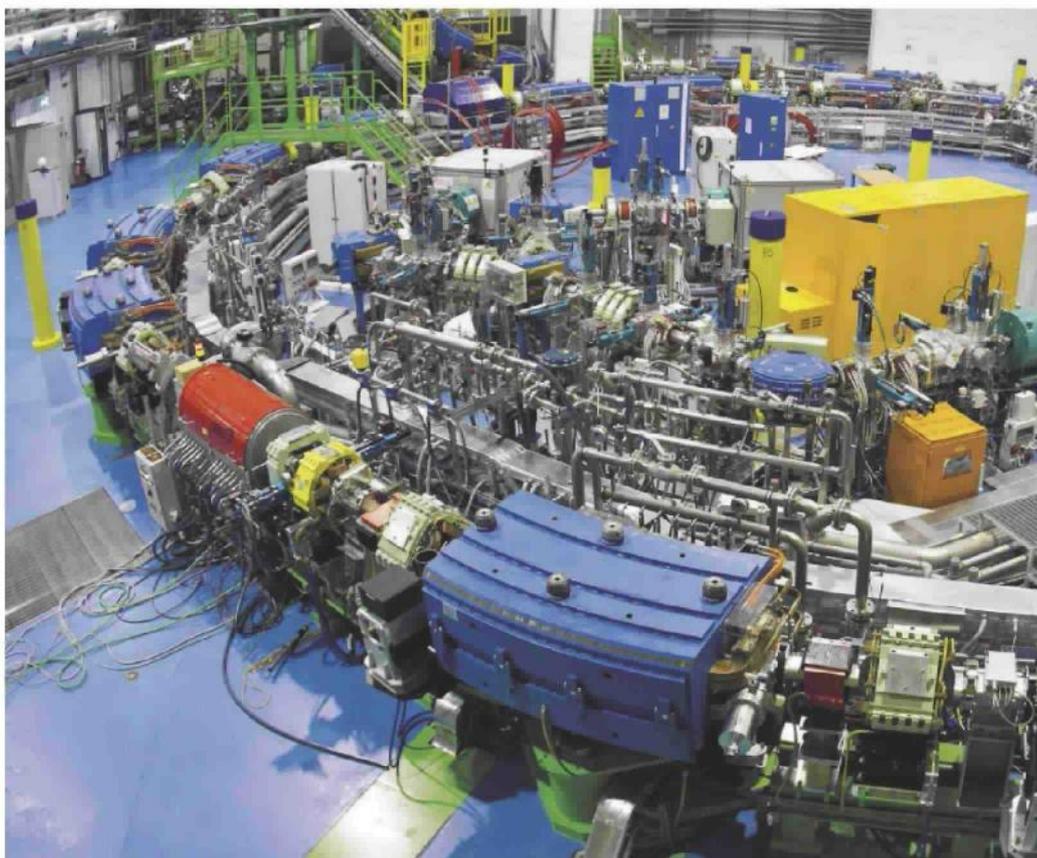


APPLICAZIONI

A cura della redazione

La robotica a supporto

I ROBOT INDUSTRIALI, GRAZIE ALLA LORO CAPACITÀ DI ESECUZIONE DI COMPITI DIVERSI CON PRECISIONE E RIPETIBILITÀ, INTEGRANDOSI CON SOFISTICATI SISTEMI E ATTREZZATURE MEDICALI POSSONO ELEVARE LA QUALITÀ E L'EFFICACIA DI PROCEDURE E TRATTAMENTI.



La sede di Pavia del **CNAO** è stata concepita in funzione del sincrotrone, un macchinario di 25 metri di diametro e 80 metri di circonferenza: i fasci di particelle qui prodotti sono trasferiti, dopo ripetute accelerazioni, nelle sale di trattamento.

robot, a partire dai primi sistemi realizzati negli anni '50, dall'iniziale comparto industriale si sono diffusi nel tempo in molteplici contesti applicativi, permettendo di realizzare soluzioni non solo innovative ma anche rivoluzionarie. Un esempio emblematico è quello della sanità, dove è in continua espansione l'utilizzo di "medical robots", dizione che in genere l'immaginario collettivo associa a sistemi ideati per eseguire, o supportare, interventi chirurgici anche complessi. Ma al di là di queste esasperate specializzazioni costruttive e funzionali, anche robot concepiti per applicazioni industriali possono concorrere a risolvere criticità ottimizzando specifiche procedure. E' il caso dei robot Mitsubishi Electric utilizzati dal **CNAO**, Centro Nazionale di Adroterapia Oncologica, per il trattamento dei tumori radioresistenti e inoperabili grazie all'utilizzo di protoni e ioni carbonio.

Il contesto sanitario

Il **CNAO**, fondazione privata senza scopo di lucro con sede a Pavia e istituita dal Ministero della Salute nel 2001, è l'unico centro italiano, e uno dei sei nel mondo, in grado

di effettuare l'adroterapia sia con protoni che con ioni carbonio, un trattamento avanzato utilizzato soprattutto per le forme di tumori radioresistenti e inoperabili. L'adroterapia, a differenza della radioterapia convenzionale che utilizza prevalentemente raggi X ed elettroni, permette di colpire il tumore con fasci di protoni e ioni di carbonio, particelle più potenti ed efficaci nel distruggere le cellule del tumore; inoltre vengono colpite in modo mirato solo le cellule tumorali, a differenza della radioterapia convenzionale che irradia anche i tessuti sani circostanti il tumore. Il **CNAO** utilizza un sincrotrone, complesso acceleratore di particelle di 25 metri di diametro e 80 metri di circonferenza, che scompone gli atomi e dirige i fasci di particelle sui tessuti tumorali. A oggi sono più di 1700 i pazienti trattati. "Ad agosto 2016 abbiamo iniziato a trattare pazienti affetti da melanoma oculare con protonterapia la cui indicazione clinica è universalmente riconosciuta. Ad eccezione dei casi in cui l'estensione del tumore supera determinati volumi, la radioterapia con protoni può evitare l'enucleazione dell'occhio. E' ormai noto che i risultati di controllo locale di ma-

dell'adroterapia

I robot Mitsubishi Electric dell'applicazione CNAO



Il robot antropomorfo, utilizzato da CNAO per la TAC, è compatto e leggero e può essere integrato con facilità in un'ampia gamma di sistemi di automazione; la sua flessibilità e l'ampio range di movimenti ne consente l'uso in applicazioni con spazi limitati. Tra le caratteristiche principali: 6 gradi di libertà; payload 2Kg; bracci di due diverse lunghezze, 504mm

e 649mm; peso 19/21 Kg; elevata flessibilità; montaggio a pavimento, soffitto o parete. Sulla sedia di trattamento è stato integrato il robot con modulo di sicurezza Melfa Safe Plus. Questo robot della serie Melfa F è stato concepito per applicazioni innovative e compatte, come nel caso CNAO; caratteristiche quali il controllo diretto tramite I/O locali permettono

al robot di interagire direttamente con sensori e attuatori, semplificando la realizzazione del sistema complessivo. Un nuovo design innovativo consente massima flessibilità nell'espandere lo spazio di lavoro. Tra i dati tecnici, 6 gradi di libertà, protezione IP67, payload di 4Kg, intervalli estesi di manutenzione, montaggio a pavimento, soffitto o parete.



Il CNAO è l'unico centro italiano a effettuare l'adroterapia con protoni e ioni carbonio, trattamento avanzato per le forme di tumori radioresistenti e inoperabili. In figura un dettaglio di una sala di trattamento.

lattia tra le due procedure sono sovrapponibili", ci dice la Dott.ssa Fiore, medico radioterapista CNAO, che segue i trattamenti del melanoma oculare presso il centro. "Il trattamento con erogazione del fascio di protoni dura 3 minuti, per un ciclo di 4 sedute, e ciascuna impegna il paziente per circa mezz'ora". Il CNAO, a differenza di altri centri che eseguono protonterapia oculare con disponibilità di una linea dedicata, non ha una linea dedicata all'occhio: nelle sue tre sale di trattamento transitano 50 pazienti al giorno, e l'anno scorso, su circa 500 pazienti, sono stati più di 40 quelli trattati per melanoma oculare, per cui, per ottimizzare le risorse, si è deciso di non specializzare una sala ma di adattare la struttura dedicata ai trattamenti generali alle particolari esigenze dell'occhio. "Si arriva all'applicazione dei robot Mitsubishi Electric per questa nostra peculiarità", precisa il Prof. Guido Baroni, Coordinatore dell'Unità di Bio-ingegneria del CNAO, "considerando anche che la nostra macchina genera un fascio a scansione attiva, quindi un po' diverso da come viene usato in altri centri. In particolare il trattamento va effettuato definendo una direzione

ne dello sguardo che il paziente deve mantenere durante l'erogazione del fascio, diversa da paziente a paziente, dipendendo dal quadrante in cui vi è la lesione".

Alcuni dettagli sulla procedura

I trattamenti oculari riguardano volumi molto ridotti e lesioni non solo molto piccole, con diametri che possono andare da pochi millimetri a un centimetro, ma anche abbastanza superficiali, di 2-3 cm massimo di profondità. Il globo oculare può essere assimilato a una sfera leggermente schiacciata con diametro di circa 25mm, e in questo piccolo volume vi sono organi critici radiosensibili, quali per esempio il nervo ottico e il cristallino, distanti tra loro solo qualche millimetro, e per risparmiare queste strutture si deve collimare il fascio solo sul target; da questo la necessità che il paziente fissi lo sguardo in una certa direzione. Il trattamento non viene eseguito in anestesia, perché sarebbe troppo invasivo, e si chiede la collaborazione del paziente che nei tre minuti di terapia deve guardare nella direzione definita nella fase preliminare di pianificazione. "Il sistema",

APPLICAZIONI

come descrive il Dott. Mario Ciocca, Responsabile dell'Unità di Fisica Medica, "prevede una luce di fissazione su cui il paziente deve fissare lo sguardo durante le diverse fasi di pianificazione, verifica e trattamento vero e proprio, oltre a un monitoraggio in tempo reale tramite tracking ottico per verificare che il paziente guardi veramente in quella direzione". Il sistema integra una doppia telecamera che inquadra la regione dell'occhio, vincolato al sistema di posizionamento del paziente. Inizialmente si procede a una modellizzazione dell'occhio tramite TAC, preceduta da un intervento chirurgico con cui si inseriscono nell'occhio 4 o 5 piccole clip in tantalio radiopache attorno al target, permettendone un'individuazione estremamente precisa come posizione e forma.

"Per questa fase", prosegue Ciocca, "Ci avvaliamo di due riferimenti, l'Oculistica degli Ospedali Galliera di Genova con cui abbiamo sviluppato la metodica, e l'Oculistica Oncologica dell'Istituto Nazionale dei Tumori di Milano con cui abbiamo recentemente avviato una collaborazione". Nella prima TAC lo sguardo è rivolto verso una posizione di riferimento, lo "sguardo a zero", con il paziente che guarda esattamente dritto, e con il sistema che inquadra l'occhio vincolato al lettino della TAC. Per questo posizionamento prima si utilizzavano dei braccetti meccanici passivi realizzati per ogni paziente, da cui una preparazione lunga e laboriosa mentre oggi il posizionamento è effettuato tramite il braccio del robot a cui il sistema è rigidamente col-

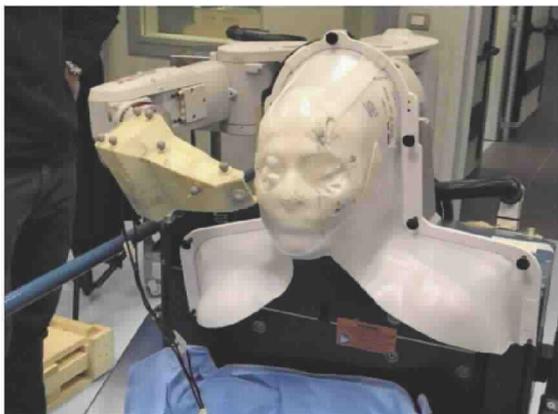
I robot di Mitsubishi Electric hanno velocizzato la procedura, rendendola riproducibile senza interventi manuali, migliorando la qualità del trattamento, misurabile appunto in termini di riproducibilità.



Oltre alla disponibilità di un modulo di sicurezza, è fondamentale per CNAO la garanzia che raggiunta una posizione e tolta potenza il braccio del robot rimanga fermo nella posizione impostata, e questa stabilità è stata trovata nei robot Mitsubishi Electric.

legato. Le informazioni della prima TAC sono trasferite a un software dedicato ai trattamenti oculari, che, fornendo un modello dell'occhio con l'esatta posizione del target rispetto agli organi critici per quello specifico paziente, consente di definire la posizione ottimale per il trattamento. Segue una seconda TAC, questa volta con lo sguardo del paziente nella direzione ottimale, con il braccio robotico che permette un posizionamento assolutamente perfetto del sistema di fissazione. Dopo una verifica in sala di trattamento, ma senza erogazione della dose, dove un secondo robot, agganciato alla sedia di trattamento, viene programmato a portare il sistema di fissazione nella posizione precedentemente pianificata, seguono le sedute di trattamento sulla base di una completa definizione di geometrie e parametri fisici. Non si può però escludere una deviazione dello sguardo del paziente, per stanchezza o altri motivi, e qui intervengono dei controlli in tempo reale. "La posizione del tumore rispetto al fascio di protoni", sottolinea Ciocca, "deve essere quella identificata come ottimale. Il paziente, immobilizzato con una maschera termoplastica realizzata su misura, garantisce una certa riproducibilità, ma non basta. In sala di trattamento due rilevatori a raggi X permettono di localizzare il tumore e di monitorare la posizione del paziente al momento del trattamento. Nella sala controllo tramite un monitor che riceve le immagini dalle telecamere del tracker ottico, fissiamo la posizione dell'iride e della pupilla nella posizione di riferimento. Acquisiamo l'immagine a raggi X ogni 30 secondi circa, correggendo lo sguardo del paziente o la posizione della sedia di trattamento". Dato che non si può pretendere che un paziente guardi fisso in posizione per i tre minuti della seduta, il fascio è interrotto ogni 20 secondi per far riposare lo sguardo, e se si verifica sul monitor che il paziente devia dalla posizione prevista, l'irraggiamento è interrotto.





La posizione del tumore rispetto al fascio di protoni deve essere quella identificata come ottimale: il paziente è immobilizzato con una maschera termoplastica su misura, ma non basta, e sono previsti dei sofisticati controlli in tempo.



Un dettaglio della sedia di trattamento su cui è stato integrato il robot antropomorfo Mitsubishi Electric.

I robot e l'automazione della procedura

I robot forniti da Mitsubishi Electric hanno sostituito la preparazione manuale per la terapia e velocizzato la procedura, rendendola riproducibile senza interventi manuali e migliorando la qualità del trattamento. Da aggiungere che il [CNAO](#) ha una certa confidenza con l'automazione, dovendo eseguire trattamenti con geometrie variabili da stabilire volta per volta per ogni paziente in ambienti che escludono la presenza di un operatore vicino al paziente durante la terapia: lettini robotici per posizionamento dei pazienti o sistemi di imaging sono un esempio di automazione presente in radioterapia. "Con i bracci passivi la procedura era manuale, guidata dal sistema di tracking ottico che in tempo reale fornisce gli scostamenti dei marcatori rispetto alla posizione di riferimento. Dando al controllore del robot gli scostamenti che il sistema ottico sta verificando rispetto a una posizione preliminare rozza e demandando al robot il compito di minimizzare questi scostamenti, le procedure extra cliniche di preparazione del trattamento vengono automatizzate. Inoltre, considerando che il trattamento si articola in 4 frazioni, si ha uno snellimento impagabile per ogni frazione richiamando la scheda software del paziente presente nel controllore del robot, senza operazioni manuali" riferisce il Dott. Ciocca. Dato il problema iniziale e stante la precedente esperienza sulla robotica, i tecnici del [CNAO](#) hanno subito compreso i vantaggi di una soluzione basata su un attuttore ripetibile, tra l'altro resa possibile dall'attuale maturità della tecnologia, e la soluzione è stata poi sviluppata insieme all'ing. Francesco Romanò (Milderd Sas), il System Integrator di Mitsubishi Electric che ha supportato il [CNAO](#) per l'applicazione. Tra i diversi aspetti che sono stati affrontati, quello della sicurezza ha comportato l'applicazione di un modulo di sicurezza ai robot che nascono per esigenze industriali, per restare all'interno della regolamentazione per la condivisione dello spazio di lavoro tra uomo e robot. In ogni caso il robot non viene movimentato con il paziente presente, ma portato nella sua prevista configurazione e poi viene tolta potenza prima che il paziente si sia sistemato: questa parte di safety non è quindi per il paziente ma per l'o-

peratore che sta predisponendo il set up della macchina. Oltre alla disponibilità di un modulo di sicurezza, era quindi fondamentale la garanzia che raggiunta una posizione e tolta potenza il braccio del robot rimanesse fermo nella posizione impostata, e questa stabilità è stata trovata nei dispositivi Mitsubishi Electric. Infine un cenno alla formazione del personale. "Fino a questo momento", illustra il Prof. Baroni, "operiamo noi ingegneri interni al [CNAO](#), gli stessi che hanno sviluppato l'applicazione insieme all'ing. Romanò, per cui non c'è stata ancora una specifica iniziativa. E' comunque prevista nelle prossime settimane una formazione interna ai tecnici di terapia sia dall' Ing. Romanò che da noi, sulla base di un manuale di procedure che verrà compilato"

Un plus per Mitsubishi Electric

Fondamentale per Mitsubishi Electric è stata la presenza nel progetto dell'ing. Francesco Romanò, il System Integrator che ha sviluppato in collaborazione con il team del Prof. Baroni tutto il software: un partner in grado di recepire la complessità del problema e aperto a una collaborazione duale, con competenze abbastanza uniche sul territorio nazionale. Il contesto del [CNAO](#) è indubbiamente difficile e il rapporto tra prestazioni da ottenere e regolamentazioni da seguire è molto rigido. Quindi un plus per l'azienda, come si è poi dimostrato in tutto l'iter di sviluppo dell'applicazione dove è stato integrato nella soluzione un workflow complicato. "Noi di [CNAO](#) da soli non ce l'avremmo fatta", commenta il Prof. Baroni, "e saremmo ancora ai bracci passivi". ■