



# Tecnica Ospedaliera



## MicroDefender®

*Indoor Protection from Pathogenic Microorganisms*

# PROVA DI EFFICACIA!



**Primi in Italia  
a intervenire  
contro il  
COVID-19**

**SISTEMA CERTIFICATO  
DI ALTA DISINFEZIONE**

[www.microdefender.it](http://www.microdefender.it)



Con il patrocinio di



**tecniche nuove  
healthcare**

TECNOLOGIE E MANAGEMENT PER LA SANITÀ

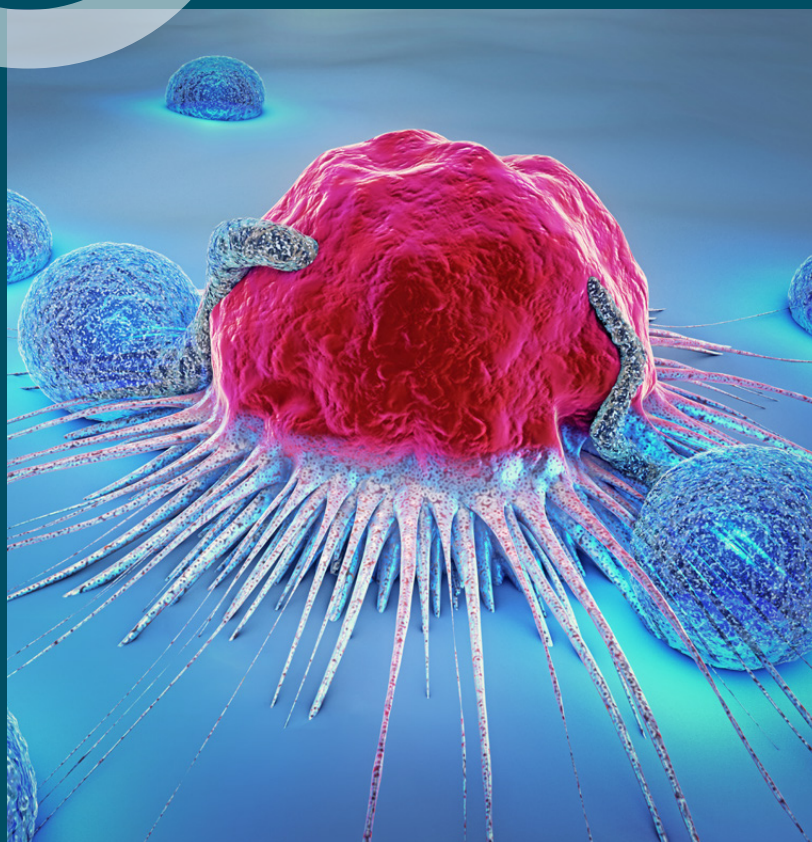
8

OTTO20



# Tecnica Ospedaliera

www.tecnicaospedaliera.it



■  
IL PIANO DI SVILUPPO DEL POLICLINICO  
SAN MARTINO DI GENOVA

■  
L'EMERGENCY HOSPITAL 19  
DI HUMANITAS

■  
RADIOMICA TRA PROSPETTIVE E CRITICITÀ

■  
SPECIALE ONCOLOGIA

Con il patrocinio di



01health.

SANITÀ DIGITALE



tecniche nuove  
healthcare



**In copertina:**  
Work In Progress  
via Rossino, 5  
20871 Vimercate (MB)  
tel. 0396080590  
www.microdefender.it

**3 DIREZIONE GENERALE**  
**Costi nascosti della catena trasfusionale**  
M. Crotti, S. Mandarà, A. Ostuni, V.M. Pinto

**8 Salute, scienza e industria per il futuro del Paese**  
a cura di Confindustria Dispositivi Medici

**10 La sanità del futuro? Sempre più sul territorio**  
Roberto Tognella

**14 PROGETTAZIONE**  
**Policlinico San Martino, Genova. Un piano per il futuro**  
Giuseppe La Franca

**20 Progettare camere d'isolamento**  
Armando Ferraioli

**26 PRONTO SOCCORSO**  
**Emergency Hospital per la lotta ai virus**  
Roberto Tognella

**30 Best Perfusion, protocollo per l'arresto cardiocircolatorio**  
Elisa Papa

**34 TERAPIA INTENSIVA**  
**L'analgosedazione in Terapia Intensiva**  
Giulia Agresti

**36 SPECIALE ONCOLOGIA**  
**Assistenza e cura tra partnership e medicina territoriale**  
Elena D'Alessandri

**38 L'umanizzazione delle cure in oncologia**  
Roberto Tognella

**40 Allestimento in chemioterapia, prevenzione del rischio e tecnologia**  
Roberto Carminati

**42 Adroterapia, azione selettiva contro i tumori**  
Armando Ferraioli

**48 ANGOLO LEGALE**  
**Centralità del risk management nella struttura sanitaria, profilo normativo**  
Alessandra Pirri

**54 01 HEALTH**  
**Radiomica. Sviluppo, prospettive, criticità**  
Valentina Sirtori

**56 Un materiale che respira per sensori indossabili**  
Aurora Sala

**58 Diagnosi con l'intelligenza artificiale**  
Stefania Somaré

**60 CASE HISTORY**  
**Ospedale connesso? Il presente a portata di mano**  
Roberto Tognella

**62 DPI, Rinascimento fiorentino**  
Michele Cerruti

**64 NOTIZIARIO AIIC**  
a cura dell'Associazione Italiana Ingegneri Clinici

**68 APP SANITÀ**  
Stefania Somaré

**70 VETRINA**



14



26

# Adroterapia

## azione selettiva contro i tumori

L'adroterapia è una forma avanzata di radioterapia, impiegata nel trattamento di tumori non operabili e/o resistenti ad altri trattamenti radioterapici. A differenza della radioterapia tradizionale, l'adroterapia è in grado di espletare la sua azione in modo più selettivo, permettendo la distruzione mirata e localizzata delle cellule maligne, in particolare quando queste sono a livello di organi delicati e sensibili

**Armando Ferraioli** - bioingegnere, Studio di Ingegneria Medica e Clinica - Cava De' Tirreni (SA)

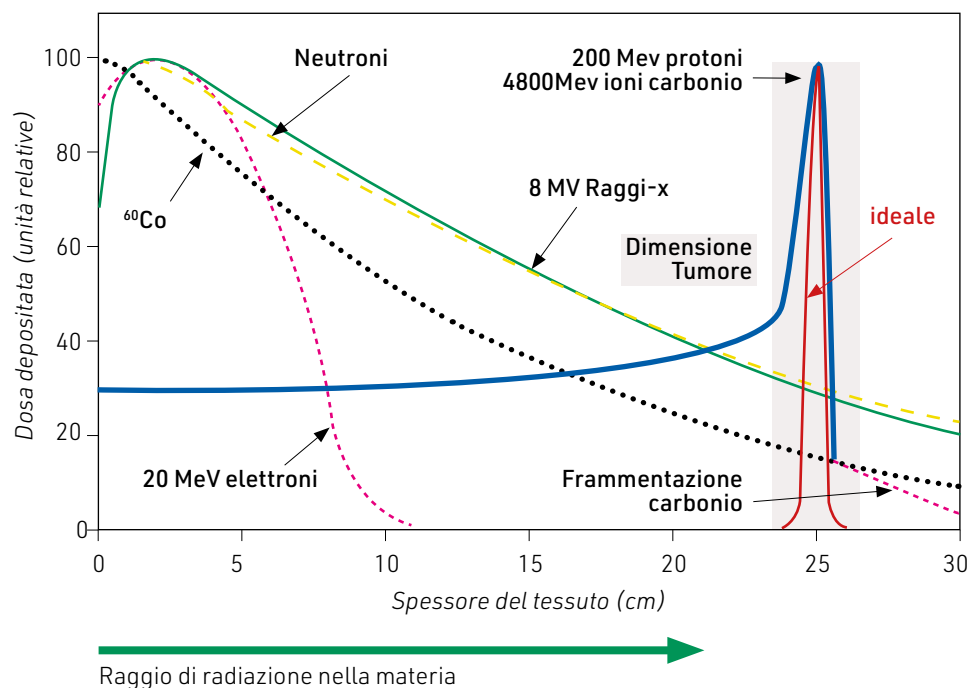
### KEYWORDS

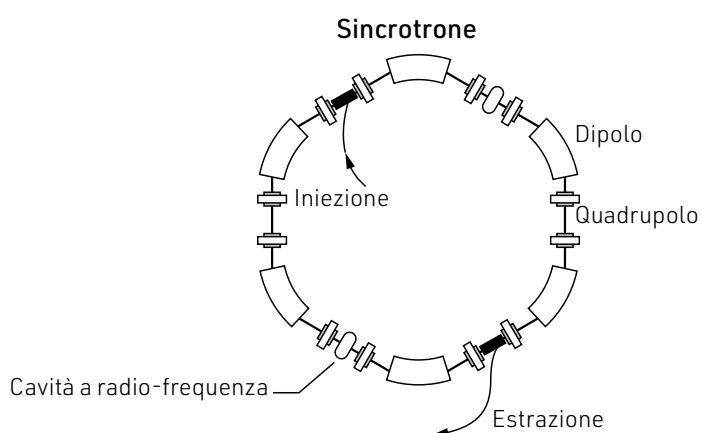
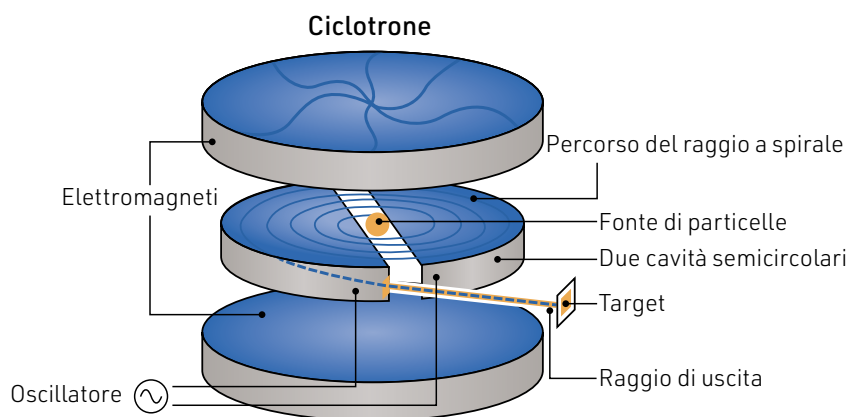
adroterapia, terapia con particelle, radioterapia

hadrontherapy, particle therapy, radiation therapy

L'adroterapia o adroterapia è una tecnica oncologica che permette di curare il tumore con una forma di radioterapia a fasci esterni che sfrutta particelle pesanti cariche di protoni, neutroni o ioni positivi. Il suo nome deriva dagli adroni, particelle costituite da quark. L'adroterapia bersaglia il tumore con particelle ionizzanti che danneggiano il DNA delle cellule, causandone la morte (le cellule cancerogene sono vulnerabili a tali attacchi, per la loro ridotta capacità di riparare il DNA danneggiato). Le particelle cariche (in caso di adroterapia, di protoni e ioni di carbonio), penetrando nel corpo del paziente depositano poca energia nei tessuti superficiali e solo a una data profondità (che dipende dall'energia iniziale delle particelle) si ha il maggior rilascio di energia. Questo fenomeno si chiama picco di Bragg; l'adroterapia sfrutta questo rilascio selettivo di energia per colpire solo le cellule tumorali. Gli adroni permettono di irradiare i tumori in zone difficilmente operabili o vicini a tessuti sani. Variando l'energia delle particelle si rilascia energia alla profondità necessaria per colpire il tumore.

Hadrontherapy is today an established modality in cancer radiation therapy. It destroys radioresistant and inoperable cancer-cells by radiating them with a beam of particles. Conventional radiotherapy uses essentially x-rays, while hadrontherapy uses a hadron beam, including protons (protontherapy) and carbon ions (carbonotherapy). Hadrontherapy concentrates the radiation doses to the target volume (tumor volume) to obtain a significant destructive effect on cancer cells while having little impact on healthy cells present in the path of ions





**Figura 2.**  
Rappresentazione schematica del funzionamento del ciclotrone e del sincrotrone

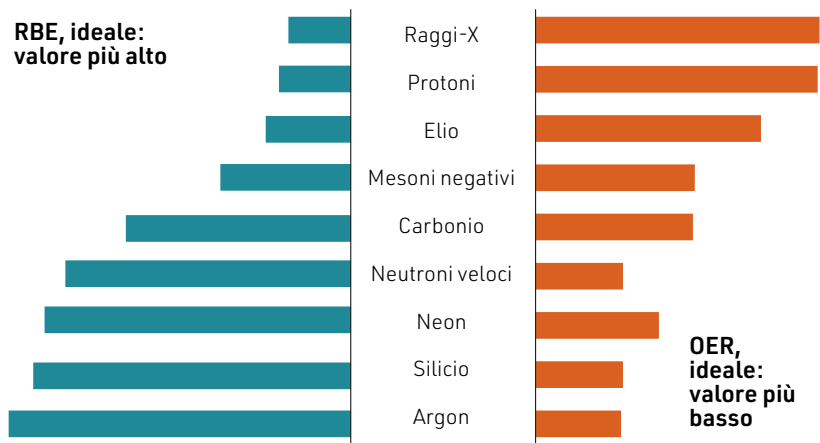
### Principi basilari

Come la radioterapia convenzionale, l'adroterapia si basa sulla distruzione delle cellule tumorali irradiandole con un fascio di particelle. Se la radioterapia convenzionale prevede l'uso di fotoni ad alta energia (raggi x), l'adroterapia sfrutta ioni carichi positivamente, in particolare ioni di idrogeno o "protoni" nella terapia protonica e ioni di carbonio nella terapia al carbonio. Costituiti da protoni e neutroni (particelle elementari appartenenti alla famiglia degli adroni), questi ioni sono accelerati in dispositivi (sincrotroni o ciclotroni) i cui diametri variano da pochi metri a 20 m e le velocità diventano a dir poco prodigiose, fino a raggiungere il 73% della velocità della luce, vale a dire circa 219.000 km/s e sono focalizzati in un raggio di meno di 1 mm di diametro. I raggi della terapia adronica sono più precisi dei raggi x e, in caso di uso degli ioni di carbonio, sembrano essere anche più efficaci. Gli ioni carichi forniscono la maggior parte della loro energia al tumore da trattare (picco di Bragg), garantendo che i danni siano arrecati al tessuto tumorale e non alle cellule sane adiacen-

ti. Grazie al caratteristico metodo di rilascio della dose trattante (picco di Bragg), le particelle cariche permettono di scaricare la loro energia in modo molto più mirato rispetto ai fotoni, riducendo al minimo la dose scaricata nei tessuti sani. Tuttavia, il trattamento con particelle cariche è più sensibile alle incertezze rispetto al trattamento con i fotoni, a causa del profilo di dose ripido. Le fonti di errore contemplano variazioni anatomiche (per esempio, movimento degli organi, regressione del tumore, perdita di peso), errori di configurazione del paziente ed errori di portata da incertezza delle unità CT Hounsfield (HU), conversione di HU in potere di arresto delle particelle e artefatti da ricostruzione. Tutto ciò può comportare sia un sotto-dosaggio per il tumore sia una dose indesiderata per i tessuti sani. A causa di queste incertezze, nelle cliniche con uso di terapie con particelle si impiegano in genere ampi margini di sicurezza nel trattamento del tumore e/o usando piani di trattamento conservativo probabilistici o fortemente ottimizzati. Tutto ciò potrebbe non essere ottimale per il paziente e compromettere gli effetti benefici della terapia con particelle cariche poiché gran parte della ricerca in tal senso è tesa allo sviluppo di nuovi metodi che consentano di verificare la gamma di particelle da usare nel paziente. I tipi di particelle e le energie usate nel mondo sono interazioni di protoni fino a 250 MeV e ioni di carbonio fino a circa 450 MeV/u, che penetrano cioè nel corpo umano fino a circa 40 cm. La figura 1 mostra i picchi di Bragg nell'uso di diverse energie (linee nere), mentre la somma di tutte le curve è chiamata Spread-Out Bragg Peak (SOBP, linea rossa) e rappresenta la dose totale depositata nel tessuto tumorale.

### Effetti delle radiazioni sulle cellule

Le radiazioni producono danni alle cellule tramite ionizzazione, rompendo i legami molecolari del materiale lungo il loro percorso. Le cellule sono formate da lunghe catene di proteine e alcune di queste molecole possono essere spezzate se sottoposte a radiazioni. Successivamente esse possono creare altri legami che, però, essendo diversi dai precedenti, vanno riparati perché non funzionanti. I danni causati dalla radiazione non causano la morte immediata delle cellule cancerose, che di solito sopravvivono almeno fino alla successiva fase di mitosi. In questa fase del ciclo riproduttivo, il danno può bloccare il processo e la cellula va in-



**Figura 3.**  
Confronto tra  
radiazioni in  
termini di RBE  
e OER

contro a "catastrofe mitotica". In un certo senso, si può dire che il danno al DNA non uccide la cellula ma può condannarla a morte o bloccarne la divisione. In alcuni tipi di cellule si può osservare l'apoptosi ossia la cellula attiva un meccanismo di autodistruzione quando percepisce difficoltà per la sua futura sopravvivenza. La radiazione può causare danni in modo diretto o indiretto ed è proprio questa differenza a rendere i protoni e soprattutto gli ioni di carbonio così efficaci nella lotta al cancro. L'effetto indiretto della radiazione sulle molecole è dovuto alla formazione di radicali liberi e al conseguente danno molecolare dato dall'interazione di questi ultimi con il DNA. Essendo il corpo umano formato per oltre il 70% da acqua, è probabile che la formazione di radicali liberi sia dovuta all'acqua. Essendo molto reattivi, i radicali possono migrare fino al nucleo delle cellule, danneggiando il DNA.

### Frammentazione

Quando un fascio di particelle attraversa un mezzo non avvengono solo fenomeni elettromagnetici di ionizzazione o scattering con gli atomi che lo costituiscono: possono verificarsi interazioni con i nuclei degli stessi. Il bersaglio nucleare offre una sezione molto piccola rispetto al bersaglio atomico; le sezioni d'urto vanno come il quadrato dei raggi:

$$\sigma_{\text{atomico}} = 10^{-10} \text{ m}, \quad \sigma_{\text{nucleare}} = 10^{-15} \text{ m}$$

Protoni e ioni usati in adroterapia hanno energie di centinaia di MeV per nucleone, superiori alla barriera di Coulomb, possono quindi interagire fortemente con i nuclei bersaglio causandone la frammentazione e/o frammentandosi essi stessi (fatta eccezione per i protoni, che non possono essere frammentati nei tre quark di cui sono composti, saldamente legati tra loro dalla forza nucleare for-

te). Per questi fasci terapeutici il contributo energetico dei frammenti secondari prodotti diventa importante, soprattutto per una corretta pianificazione del trattamento. La produzione di frammenti con range e direzione diversi rispetto a quelli degli ioni primari non può essere ignorata nella pianificazione di un trattamento di adroterapia, poiché questi frammenti incidono sulla dose rilasciata ai tessuti sani nei pressi del volume tumorale, compromettendo l'efficacia della terapia. L'adroterapia è una tecnica ancora in sviluppo e manca una stima completa degli effetti nocivi causati dalla frammentazione nucleare tra le particelle del fascio terapeutico e il materiale biologico del paziente. Negli ultimi anni alcuni esperimenti sono stati dedicati alla misurazione della sezione d'urto della frammentazione nucleare per fasci di ioni di carbonio. Queste ricerche hanno ottenuto importanti dati sperimentali riguardanti solo i frammenti del fascio proiettile e solo per energie in un certo range. Una delle sfide sperimentali riguarda la rivelazione dei frammenti del bersaglio: derivati da nuclei a riposo, questi frammenti vengono emessi con velocità molto basse e si arrestano in spazi dell'ordine dei  $\mu\text{m}$ , con bassissima probabilità di raggiungere i rivelatori.

### Adroterapia oncologica

L'adroterapia bersaglia il tumore con particelle ionizzanti che danneggiano il DNA delle cellule dei tumori, causandone la morte; offre vantaggi potenziali rispetto alla terapia convenzionale in termini sia di precisione (consente di colpire il tumore in modo selettivo, rilasciando una dose minore ai tessuti sani circostanti, riducendo gli effetti collaterali) sia di maggiore efficacia biologica verso alcuni tipi di cellule tumorali radioresistenti, che non rispondono in modo ottimale alla radioterapia con raggi x. L'alta tecnologia del Centro Nazionale di Adroterapia Oncologica di Pavia (che usa protoni e ioni carbonio) è formata da un insieme di macchine acceleratrici e linee di trasporto di fasci di particelle. I fasci sono generati da sorgenti che producono ioni di carbonio e protoni. La macchina acceleratrice più importante è il sincrotrone, lungo 80 m e con diametro 25 m. Il fascio che colpisce le cellule tumorali si rinnova in modo simile a quello degli elettroni e agisce con una precisione di 200  $\mu\text{m}$ . Gli ioni di carbonio usati permettono di trattare tumori profondi non controllabili con raggi x o protoni. In Italia, si sperimenta il sistema di monitoraggio delle radiazioni in tempo reale, permettendo di osservare le modifiche morfologiche subite dalla massa

tumorale durante la terapia e, se necessario, rivedere e aggiornare il piano di trattamento per renderlo ancora più preciso.

## La tecnologia dell'adroterapia

Lo sviluppo tecnologico ha permesso un notevole incremento delle prestazioni dei ciclotroni, che si possono usare anche per gli ioni leggeri. Dati i costi elevati e la complessità di gestione di un impianto per accelerazione di ioni alle energie in questione, i primi studi di adroterapia si sono svolti in strutture nate per fini di ricerca di base in ambito fisico e solo successivamente sono state adottate per fini medici. Per il trattamento di adroterapia servono:

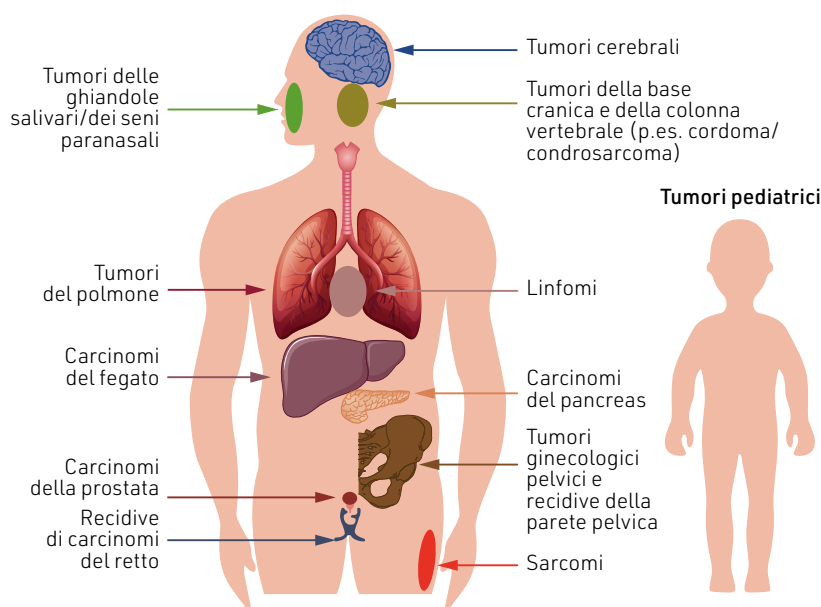
- acceleratore di protoni e/o di ioni che produce più fasci di particelle
- sistema di trasporto dei fasci nelle sale di trattamento
- sistema estremamente preciso di posizionamento del paziente
- piano tridimensionale di trattamento personalizzato ottenuto integrando le immagini diagnostiche (TC, RM, PET)
- sistema di somministrazione della dose interfacciato con acceleratore e monitoring del fascio
- sistema accurato di controllo del rilascio di energia (dose).

## Gli acceleratori

L'acceleratore deve garantire affidabilità e controllo del fascio. La scelta è tra un ciclotrone o un sincrotrone. La figura 2 mostra uno schema che ne descrive il funzionamento base. I ciclotroni sono macchine

relativamente compatte ritenute molto affidabili. Il loro funzionamento base è relativamente semplice: i protoni o gli ioni sono iniettati al centro della macchina, che consiste in due elettrodi cavi semicircolari (Dees) separati da un piccolo gap. Questi elettrodi sono connessi a un circuito ad alto voltaggio e frequenza che permette l'accelerazione delle particelle cariche soggette a un campo elettrico all'interno degli elettrodi, le particelle sono invece soggette solo alla forza magnetica, che permette loro di compiere traiettorie semicircolari via via crescenti ma di velocità angolare costante. Queste macchine consentono di ottenere un fascio estremamente stabile e regolabile in intensità, ma non variazioni di energia durante il funzionamento. Nei sincrotroni, cavità ad alta frequenza fungono da acceleratori per la particella, che a ogni rivoluzione aumenta la sua energia cinetica. Da questo meccanismo deriva il nome: è necessario, infatti, "sincronizzare" i campi elettrici e magnetici per mantenere l'orbita del fascio di particelle all'interno della struttura, composta anche da dipoli e quadrupoli magnetici che curvano e focalizzano il fascio. Caratteristica distintiva di questa tecnica di accelerazione è la possibilità di variazione dell'energia del fascio estratto, a seconda del campo magnetico applicato. Nei ciclotroni, invece, la variazione di energia si può ottenere solo a posteriori, inserendo attenuatori passivi tra la finestra di uscita dell'acceleratore e il bersaglio, lungo la linea di trasmissione. Un'altra importante differenza tra ciclotroni e sincrotroni è che se nei primi l'estrazione del fascio avviene in modo continuo, nei secondi si ha un fascio pulsato che permette all'utilizzatore la rapida variazione di energia, anche da un impulso all'altro, caso in cui sono richiesti un iniettore e un delicato sistema di estrazione del fascio, che comportano complessivamente una più complicata gestione rispetto ai ciclotroni. Ciononostante, la scelta del sincrotrone è stata adottata per tutti i centri di accelerazione di ioni per terapie attualmente in funzione e/o in costruzione. Allo stesso tempo, sono in corso sforzi per adattare l'uso di ciclotroni (molto diffuso in protonterapia), alla terapia con fasci di ioni. In sintesi, dopo essere stati accelerati e portati all'energia richiesta, i fasci vengono inviati alle sale di trattamento, dove il paziente, su un lettino e opportunamente posizionato, è pronto per la terapia.

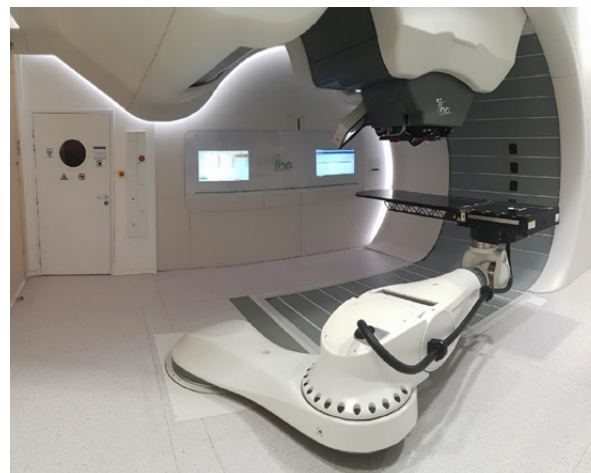
**Figura 4.**  
Rappresentazione dei possibili tumori curabili con l'adroterapia





**Figura 5.**  
Paziente  
sottoposto ad  
adroterapia

ni che fanno preferire i protoni agli ioni di carbonio sono il basso grado di rilascio di frammentanti (presenti solo nel target e quindi debolmente energetici), la relativa facilità di gestione e il minor costo. La scelta dell'uso degli ioni più pesanti è essenzialmente dovuta alla maggiore efficacia biologica. Un altro aspetto da considerare è una migliore sensibilità all'ossigenazione dei tessuti. Gli ioni subiscono un minor grado di scattering laterale e ciò si traduce (nella pratica clinica) in una maggiore conformità del deposito di dose. I protoni si preferiscono dal punto di vista economico e di facilità di gestione nella diretta applicazione clinica. La figura 3 mostra un confronto tra le diverse particelle. Per valori di RBE (Relative Biological Effectiveness - Efficacia Biologica Relativa) maggiori, l'efficacia biologica è migliore, mentre per bassi valori di OER (Oxygen Enhancement Ratio - Rapporto di Potenziamiento dell'Ossigeno) c'è minore resistenza delle zone ipossiche. La pianificazione del trattamento avviene attraverso il Treatment Planning System (TPS), strumento software che permette di pianificare il trattamento rispettando le prescrizioni dell'oncologo. L'immagine anatomica, ottenuta con un esame CT o MRI, è analizzata dal medico, che traccia il volume del tumore e le possibili aree a rischio. Dall'immagine anatomica, il TPS è in grado di calcolare l'energia necessaria da fornire ai protoni o agli ioni di carbonio. Essendo il tumore una massa di determinate dimensioni, il TPS valuta anche il numero di fasci da inviare, così da riavvilupparlo sia lateralmente sia in profondità. In particolare, si inviano fasci con diversa energia e quindi diversi picchi di Bragg in modo da ottenere un rilascio uniforme di energia su tutto il tumore (SOBP). Lateralmente, grazie a due magneti di scansione, il fascio viene spostato come un pennello lungo la sagoma del tumore.



### Immagini diagnostiche e posizionamento paziente

Nel contesto della radioterapia è fondamentale avere un'immagine del tumore da trattare per ottenere un'indicazione precisa su dove puntare il fascio radiante e sulle giuste dosi da somministrare. Da qui nasce l'uso della TAC (poi divenuta TC), della RM e della PET. A differenza delle prime due, la PET, più che fornire un'immagine della morfologia del tumore (la sua risoluzione è inferiore a quella delle altre tecniche di imaging), è in grado di fornire informazioni sulla fisiologia del tumore ovvero sulle attività delle cellule neoplastiche che, essendo in sviluppo incontrollato, sono estremamente attive quanto a consumo di energia.

Questa informazione è determinante nella somministrazione delle dosi di radiazione al paziente, che differiranno nel caso di uno sviluppo del volume tumorale rapido o lento. Attualmente sono abbastanza diffuse le PET/TC, apparecchiature che combinano la doppia informazione morfologica e funzionale dei due strumenti. Le unità di posizionamento e bloccaggio del paziente devono soddisfare requisiti elevati di precisione e permettere la riproducibilità della posizione del paziente. Un aspetto da non sottovalutare è anche il confort del paziente poiché una frazione di trattamento in genere dura 20 minuti circa. Il posizionamento deve essere quindi il più confortevole possibile, non causare dolore, fastidio o spiacevoli sensazioni, quali per esempio la claustrofobia. Un paziente confidente nella sicurezza del trattamento in posizione comoda sarà più rilassato rispetto a un paziente non immobilizzato che deve concentrarsi nel rimanere il più fermo possibile. È preferibile mettere il paziente in posizione supina conformando il fascio in modo da ottimizzare la concentrazio-



ne di dose a un certo angolo, ma per questo motivo è necessario costruire gantry rotanti, tipicamente di grosse dimensioni e costosi. Vanno prioritariamente considerate le condizioni individuali di ogni paziente: età, peso, stato generale di salute, capacità di collaborazione, sintomi di disagio. Questi sono solo alcuni dei fattori che lo staff medico è tenuto a valutare.

## Tumori trattati

L'adroterapia è particolarmente indicata per tumori non trattabili chirurgicamente perché localizzati in sedi anatomiche altrimenti inaccessibili o inoperabili, in quanto la loro asportazione sarebbe invalidante per il paziente, se presenti in zone come cervello, cuore, occhio, testa, collo, prostata e midollo spinale. Con l'adroterapia, le proprietà fisiche di protoni e ioni di carbonio permettono di conformare la dose con maggiore precisione, risparmiando i tessuti sani circostanti. L'adroterapia è un'alternativa possibile per tumori in cui la radioterapia convenzionale non dà vantaggi significativi, come per esempio i tumori radioresistenti (molto resistenti alle radiazioni). Gli ioni di carbonio producono un maggior numero di rotture dell'elica del DNA e, di conseguenza, hanno un'azione più nociva sulle cellule tumorali. I tumori per cui l'adroterapia risulta particolarmente indicata sono riportati in figura 4.

Questa terapia è un'ottima alternativa per i tumori pediatrici, grazie alla riduzione della dose integrale, ovvero la quantità totale di energia depositata nell'organismo durante il trattamento, responsabile dell'aumento del rischio di un secondo tumore. Il risparmio di radiazioni che si riesce a ottenere con l'adroterapia è di vitale importanza nei bambini, i cui tessuti sono decisamente più sensibili agli effetti dannosi delle radiazioni.

Studi clinici specifici hanno inoltre dimostrato che la terapia con protoni riduce il rischio d'insorgenza di tumori secondari dovuti agli effetti collaterali a breve e lungo termine prodotti dalle radiazioni e questo la rende ulteriormente preziosa per il trattamento dei pazienti più giovani. La figura 5 mostra l'immagine di un paziente sottoposto a terapia adronica.

## Presenza di centri di adroterapia oncologica

In settembre 2019 erano in funzione 83 centri di terapia protonica (PBT), 13 strutture per la terapia con ioni di carbonio (CIRT) e oltre 40 centri in cor-

so di realizzazione. Per i prossimi anni ne sono stati pianificati più di 20. In Italia esistono 3 centri di protonterapia oncologica: il CNAO di Pavia, istituito nel 2001, il centro di Trento, operativo dal 2014, e il centro di Catania, attivo dal 2002 e specializzato nella cura dei tumori della regione oculare. In tutto il pianeta sono solo 6 i centri che erogano l'adroterapia con protoni e ioni di carbonio.

Il Centro Nazionale di Adroterapia Oncologica di Pavia (CNAO Fondazione) è il primo e unico centro di adroterapia al mondo a disporre di un sincrotrone per ioni multipli (protoni e ioni carbonio), nonché di un sincrotrone con gantry rotante dedicato ai protoni per le terapie oncologiche. Entro il 2023 il centro si doterà di un nuovo impianto per protoni con tecnologie di ultima generazione.

## Conclusioni

Per le peculiari caratteristiche fisiche di distribuzione dell'energia radiante nel corpo umano, i protoni possono essere un'alternativa in casi clinici selezionati. È d'uopo sottolineare che negli ultimi anni sono state sviluppate tecniche innovative e particolarmente mirate di radioterapia. Pertanto, la selezione dei pazienti per la terapia protonica deve avvenire solo dopo l'evidenza, da parte dello specialista di radioterapia, della reale superiorità d'efficacia (elevato rapporto cura/tossicità) dei protoni rispetto a quella offerta dalla migliore radioterapia fotonica Hi-Tech che utilizza raggi x di elevata energia.

Negli ultimi anni si è verificata un'evidente propensione ad aprirsi ad altre indicazioni, sempre nella speranza che una minore tossicità permetta una migliore tolleranza del trattamento. Purtroppo, a differenza di quanto accade con i farmaci, la ricerca clinica sulle tecnologie sanitarie soffre spesso di carenza di studi prospettici controllati e randomizzati di adeguate dimensioni e follow-up, utili a dimostrare i benefici aggiuntivi del trattamento rispetto alla pratica clinica.

L'autorizzazione al mercato dei dispositivi medici non richiede la presentazione di dati clinici che ne dimostrino l'efficacia comparativa, anche rispetto a un non trattamento. Il sistema regolatorio a oggi ne ha autorizzato la vendita e l'uso su pazienti che fruiscono di queste tecnologie anche in assenza di questi dati.

L'incertezza potrà essere risolta solo grazie a studi clinici randomizzati e controllati, attualmente in corso solo su pazienti con tumori localizzati in prossimità di organi a rischio.

**L'ADROTERAPIA È PARTICOLARMENTE INDICATA PER TUMORI NON TRATTABILI CHIRURGICAMENTE PERCHÉ LOCALIZZATI IN SEDI ANATOMICHE INACCESSIBILI O INOPERABILI, IN QUANTO LA LORO ASPORTAZIONE SAREBBE INVALIDANTE PER IL PAZIENTE**