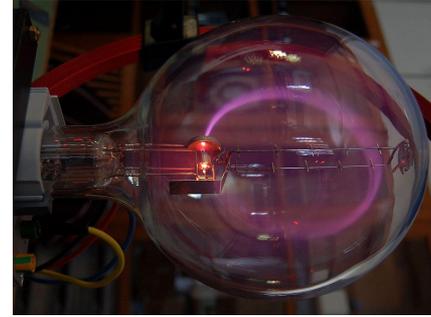


***PARTICELLE
FANTASTICHE E
COME UTILIZZARLE***



A. Embriaco

Con il termine **RADIAZIONE** si descrivono fenomeni molto diversi fra loro:

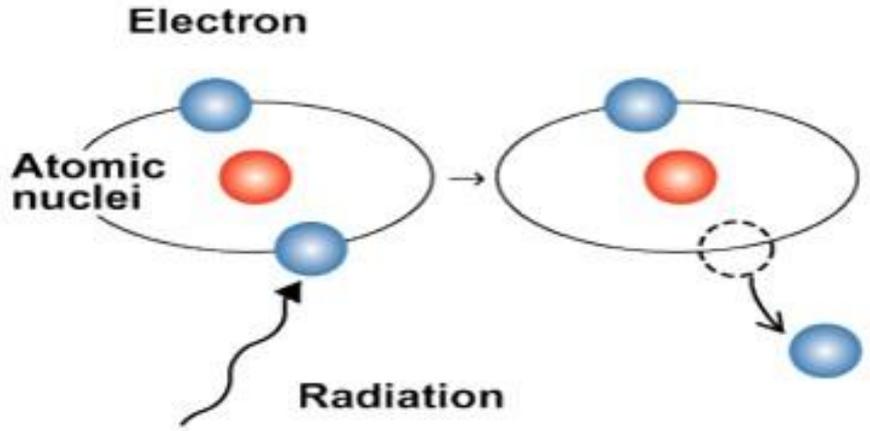


... tutti rappresentano un **trasporto di energia** nello spazio!

Questa energia viene ceduta quando la radiazione **interagisce** con la materia (assorbimento).

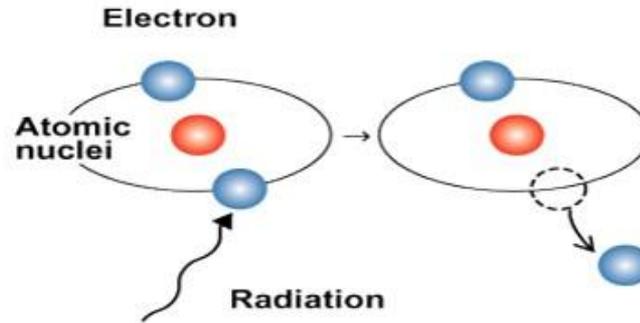
IONIZZAZIONE

La **IONIZZAZIONE** è il processo tramite cui un atomo/molecola acquisisce una carica elettrica (negativa o positiva) tramite l'**assorbimento** o la **perdita di elettroni**, divenendo così uno **IONE**.



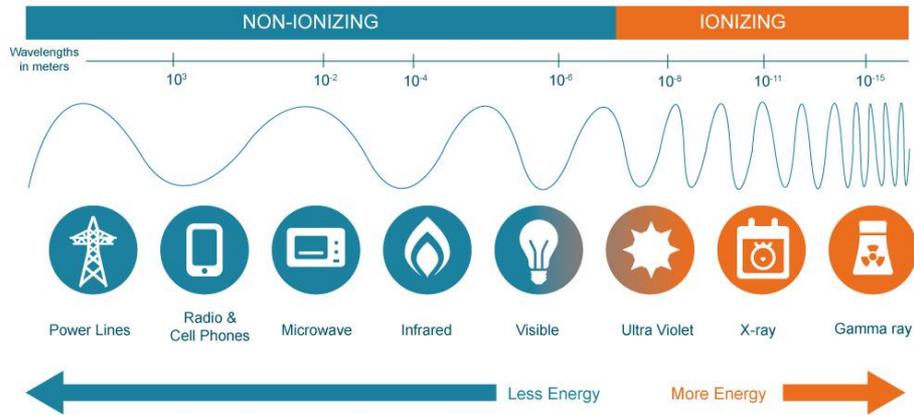
RADIAZIONI IONIZZANTI

Una **radiazione è ionizzante** se l'energia che trasporta è maggiore dell'energia di legame dell'elettrone nell'atomo/molecola con cui la radiazione interagisce

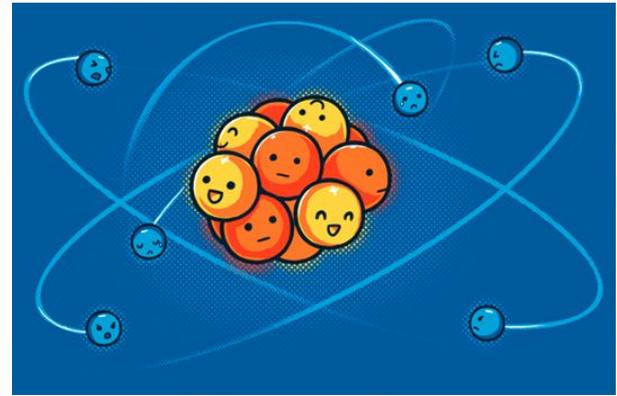


La radiazione è in grado di strappare l'elettrone all'atomo/molecola che diventa così uno **IONE** (positivo).

QUALI SONO LE RADIAZIONI IONIZZANTI



Spettro Elettromagnetico
fotoni



i componenti degli atomi
(elettroni, protoni, neutroni)
e ovviamente gli ioni...

COME PERDE ENERGIA UNA RADIAZIONE IONIZZANTE ?



COME PERDE ENERGIA UNA RADIAZIONE IONIZZANTE ?



DIPENDE DAL TIPO DI RADIAZIONE

PARTICELLE CARICHE

Radiazioni ionizzanti **CARICHE**
(elettroni, protoni, nuclei, ioni, ...):

- interazioni continue;
- ciascuna R.I. perde una piccola frazione dell'energia totale;
- l'interazione è DIRETTA con le particelle cariche del mezzo attraversato

PARTICELLE CARICHE

Radiazioni ionizzanti **CARICHE**
(elettroni, protoni, nuclei, ioni, ...):

- interazioni continue;
- ciascuna R.I. perde una piccola frazione dell'energia totale;
- l'interazione è DIRETTA con le particelle cariche del mezzo attraversato

$$-\frac{dE}{dx} = K z^2 \frac{Z}{A} \frac{1}{\beta^2} \left[\frac{1}{2} \ln \frac{2m_e c^2 \beta^2 \gamma^2 T_{max}}{I^2} - \beta^2 - \frac{\delta(\beta\gamma)}{2} \right]$$

ze Charge of incident particle
 Z Atomic number of absorber
 A Atomic mass of absorber

K/A $4\pi N_A r_e^2 m_e c^2 / A$
 T_{max} max energy transfer to free electron
 I Mean excitation energy

equazione di Bethe-Block



Radiazioni ionizzanti **CARICHE**
(elettroni, protoni, nuclei, ioni, ...):

- interazioni continue;
- ciascuna R.I. perde una piccola frazione dell'energia totale;
- l'interazione è DIRETTA con le particelle cariche del mezzo attraversato

$$-dE/dx = 1/v^2$$

$$-\frac{dE}{dx} = K z^2 \frac{Z}{A} \frac{1}{\beta^2} \left[\frac{1}{2} \ln \frac{2m_e c^2 \beta^2 \gamma^2 T_{max}}{I^2} - \beta^2 - \frac{\delta(\beta\gamma)}{2} \right]$$

ze Charge of incident particle
 Z Atomic number of absorber
 A Atomic mass of absorber

K/A $4\pi N_A r_e^2 m_e c^2 / A$
 T_{max} max energy transfer to free electron
 I Mean excitation energy

equazione di Bethe-Block



Radiazioni ionizzanti NEUTRE

(fotoni, neutroni, ...):

- interazioni singole ed isolate;
- con possibilità di perdere tutta l'energia della R.I. nella singola interazione (assorbimento a singolo evento);
- in seguito a queste interazioni vengono messe in moto delle particelle cariche secondarie

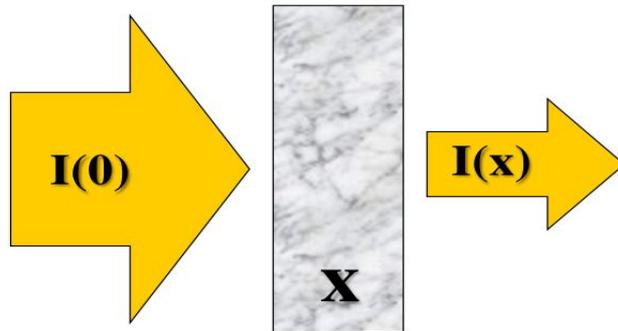
PARTICELLE NEUTRE

Radiazioni ionizzanti **NEUTRE**

(fotoni, neutroni, ...):

- interazioni singole ed isolate;
- con possibilità di perdere tutta l'energia della R.I. nella singola interazione (assorbimento a singolo evento);
- in seguito a queste interazioni vengono messe in moto delle particelle cariche secondarie

in maniera "complicata", diciamo che...



attenuazione esponenziale negativa

$$I(x) = I(0) \exp(-x\eta)$$

η = coefficiente di attenuazione lineare
probabilità di interazione del fotone per
lunghezza di percorso

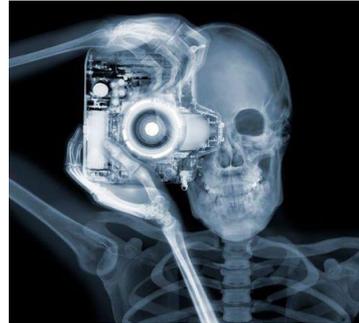


PARTICELLE NEUTRE

Radiazioni ionizzanti **NEUTRE**
(fotoni, neutroni, ...):

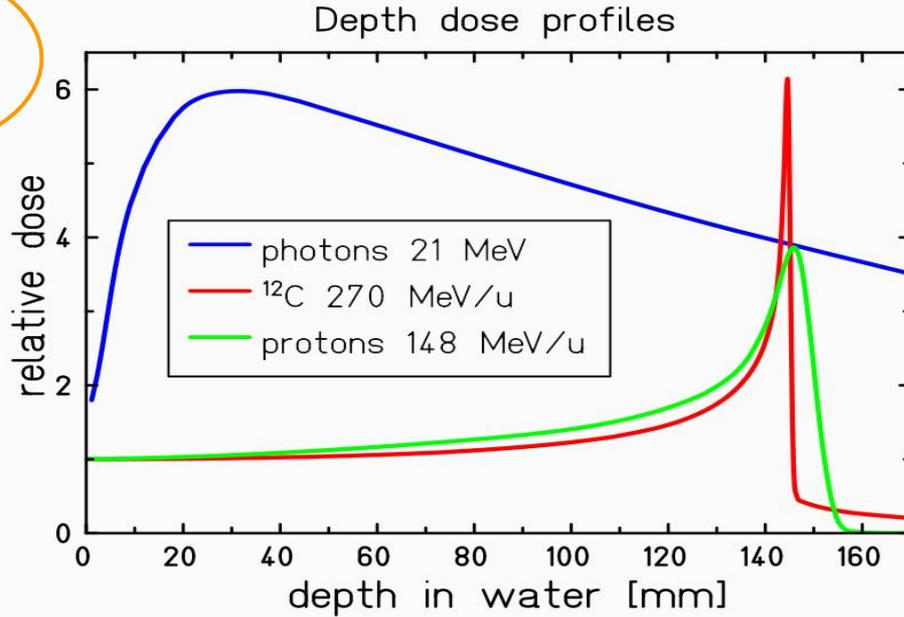
- interazioni singole ed isolate;
- con possibilità di perdere tutta l'energia della R.I. nella singola interazione (assorbimento a singolo evento);
- in seguito a queste interazioni vengono messe in moto delle particelle cariche

Per capirlo con un colpo d'occhio



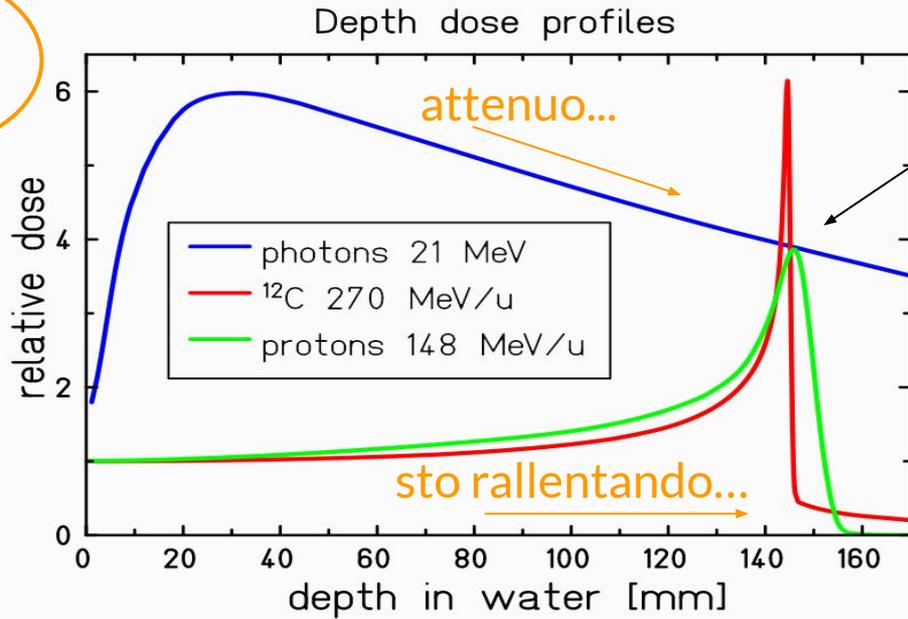
COME PERDE ENERGIA UNA RADIAZIONE IONIZZANTE ?

Dose
 $D = E/m$



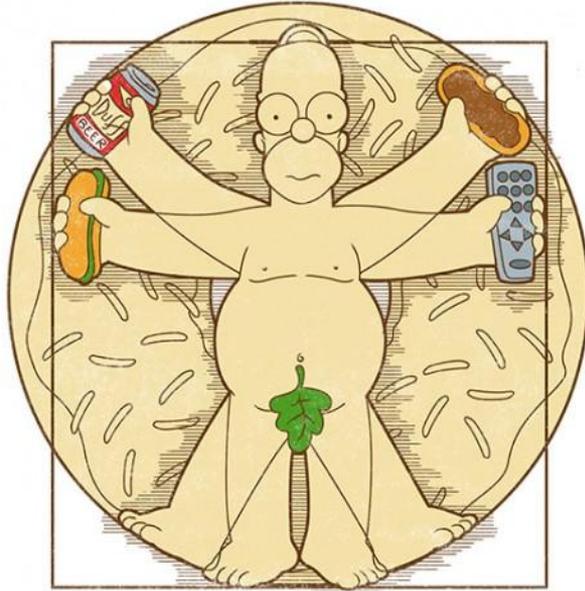
COME PERDE ENERGIA UNA RADIAZIONE IONIZZANTE ?

Dose
 $D = E/m$

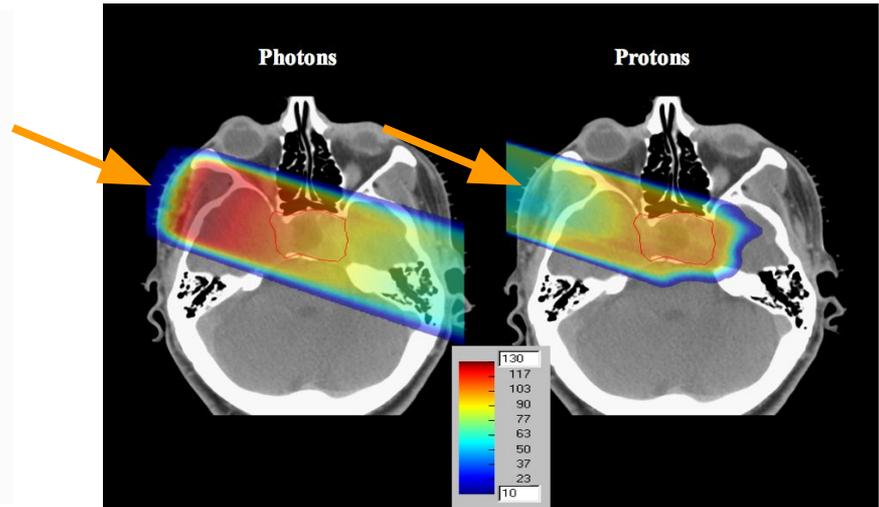
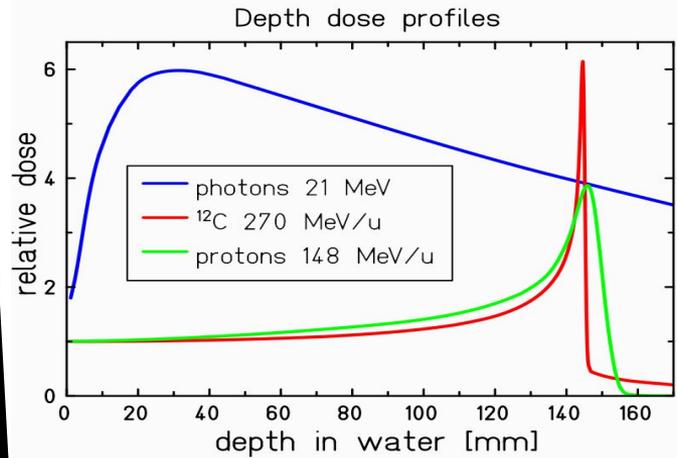


$$-dE/dx \approx 1/v^2$$

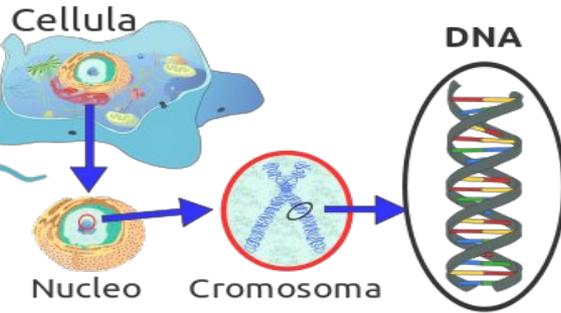
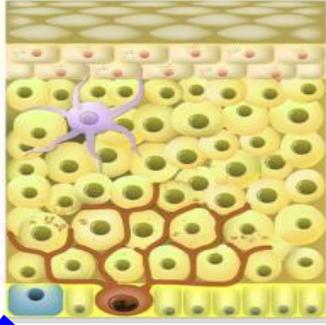
E SE LA MATERIA IN QUESTIONE FOSSE IL CORPO UMANO?



RADIAZIONI CONTRO IL CANCRO



EFFETTI BIOLOGICI DELLE RADIAZIONI

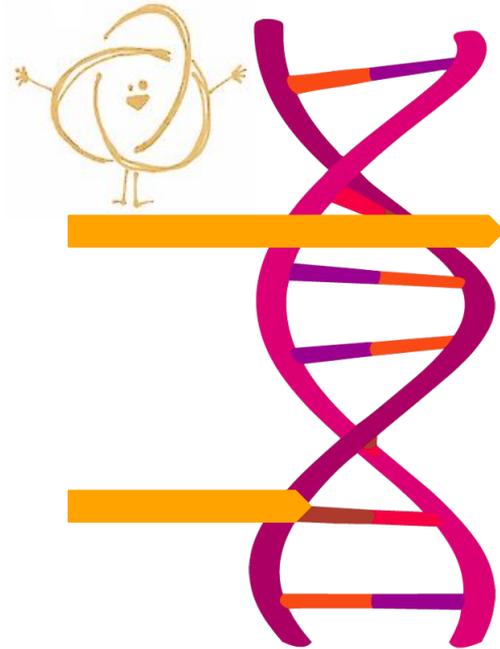


EFFETTI BIOLOGICI DELLE RADIAZIONI

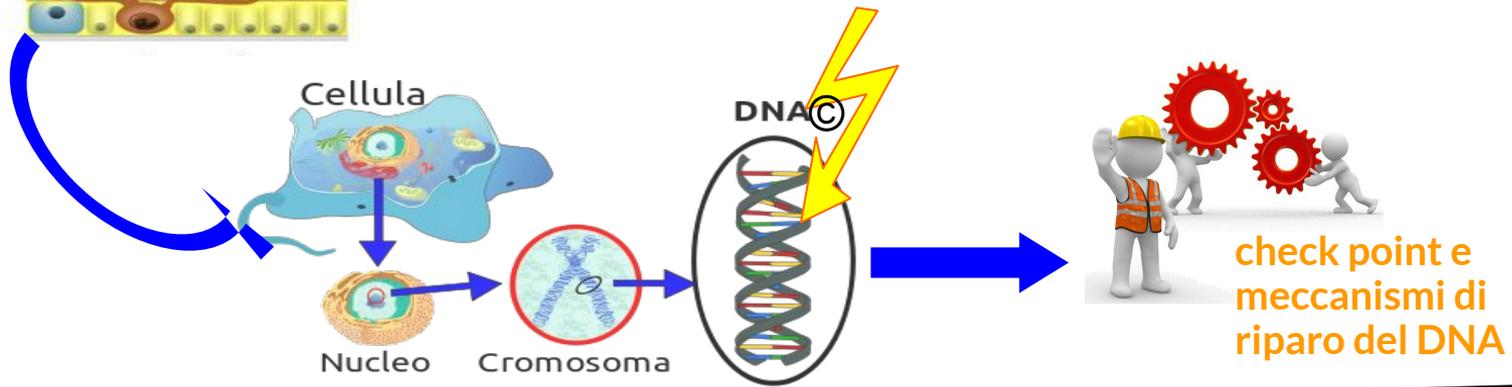
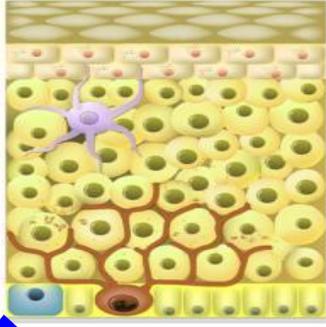
Le radiazioni possono produrre una **rottura dell'elica del DNA**.

- × Rottura singola
- × Rottura doppia

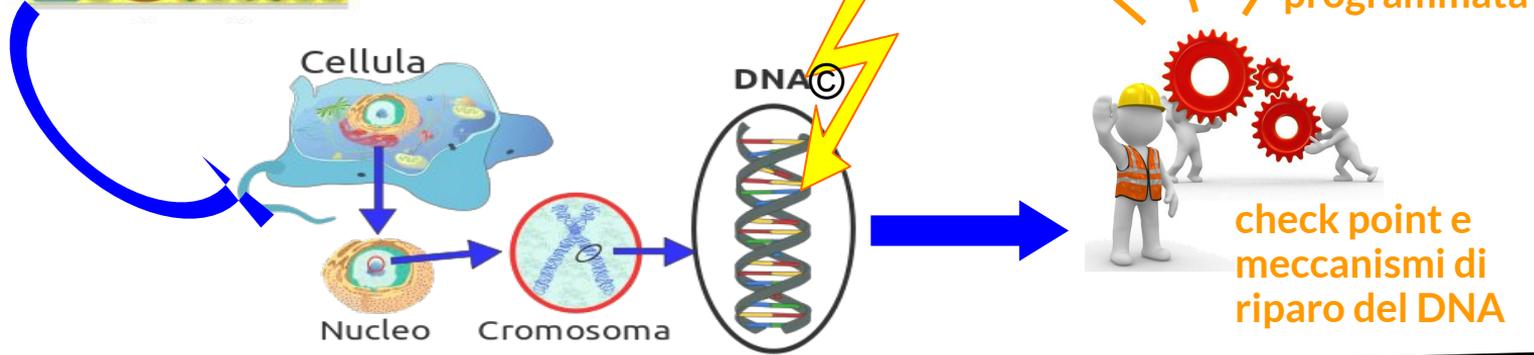
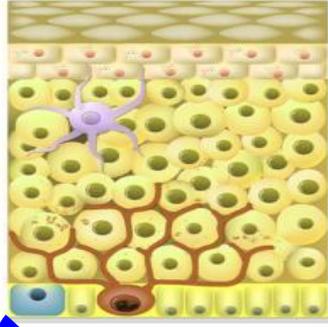
Questi danni possono far in modo che la cellula perda la sua capacità di riprodursi e in molti casi segue la morte della stessa.



EFFETTI BIOLOGICI DELLE RADIAZIONI



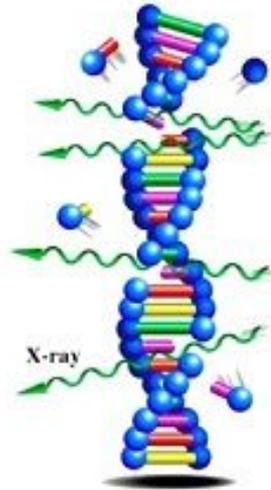
EFFETTI BIOLOGICI DELLE RADIAZIONI



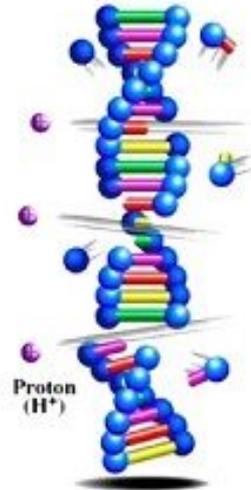
EFFETTI BIOLOGICI DELLE RADIAZIONI



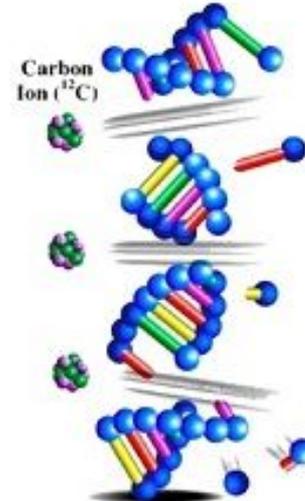
DNA



X-ray



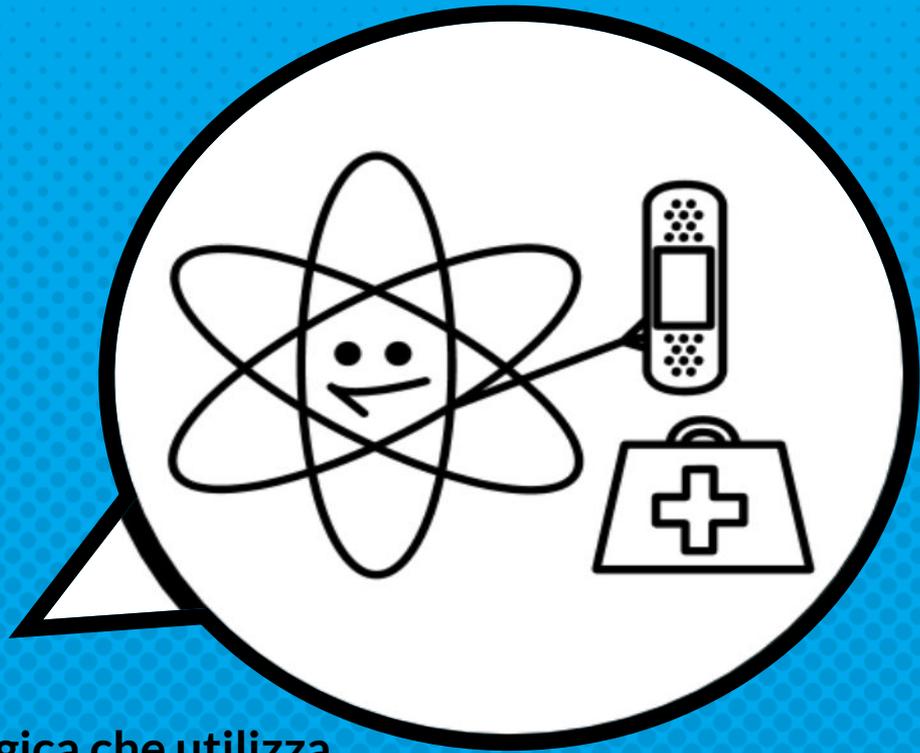
Proton beam



Carbon-ion beam

ADROTERAPIA

L'adroterapia è una tecnica oncologica che utilizza particelle cariche pesanti, chiamate adroni, come i protoni e gli ioni Carbonio



PERCHÉ USARE GLI ADRONI?



Quando una particella CARICA attraversa il tessuto rilascia inizialmente poca energia, la quale cresce sino a raggiungere un massimo alla fine del percorso: **picco di Bragg**.

PERCHÉ USARE GLI ADRONI?

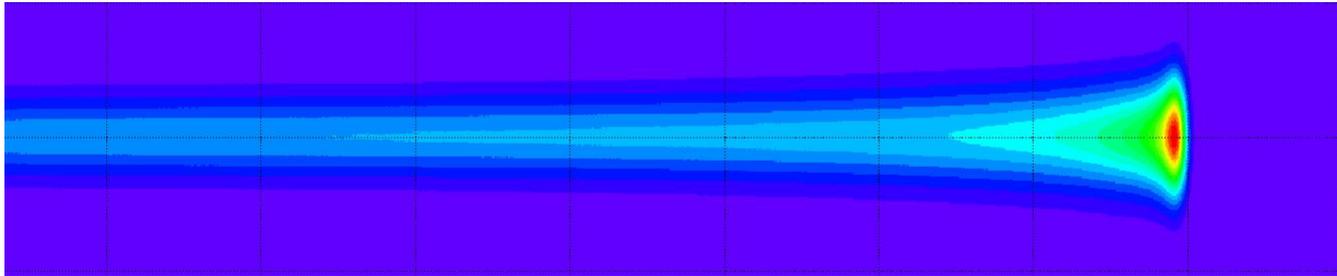


Quando una particella CARICA attraversa il tessuto rilascia inizialmente poca energia, la quale cresce sino a raggiungere un massimo alla fine del percorso: **picco di Bragg**.

Per il trattamento, si può impostare l'energia del fascio in modo che il picco di Bragg sia in corrispondenza del tessuto tumorale salvaguardando le cellule sane.

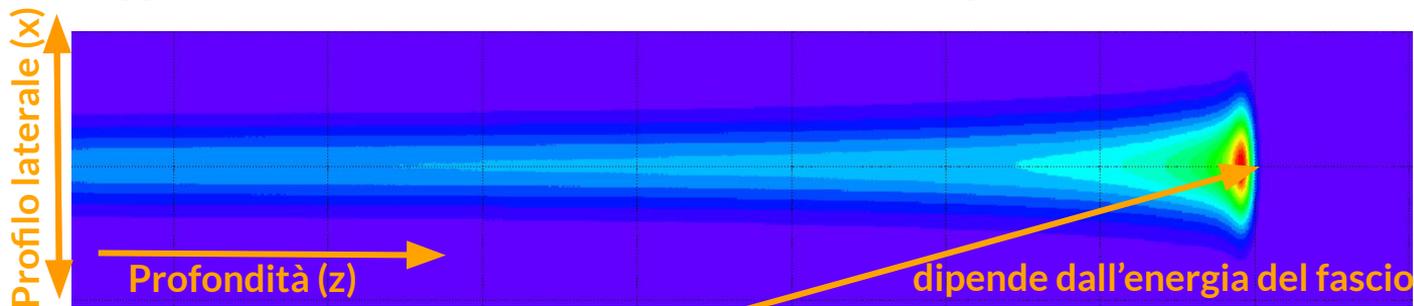
PERCHÉ USARE GLI ADRONI?

Per il trattamento, si può impostare l'energia del fascio in modo che il picco di Bragg sia in corrispondenza del tessuto tumorale salvaguardando le cellule sane.



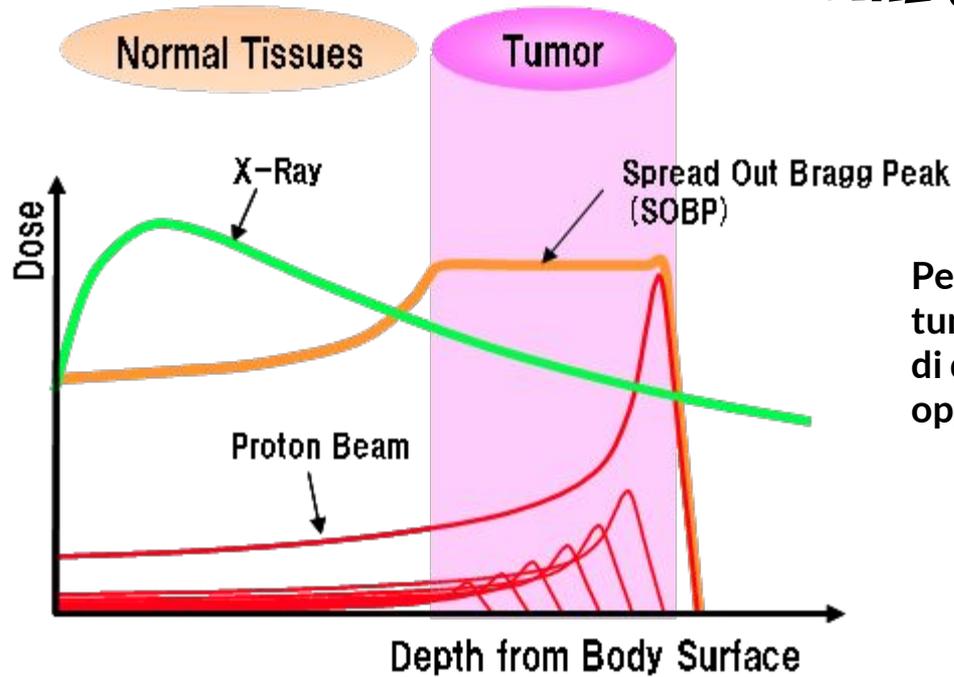
PERCHÉ USARE GLI ADRONI?

Per il trattamento, si può impostare l'energia del fascio in modo che il picco di Bragg sia in corrispondenza del tessuto tumorale salvaguardando le cellule sane.



Le particelle cariche hanno un **RANGE** profondità dopo la quale il deposito di energia è pressoché nullo.

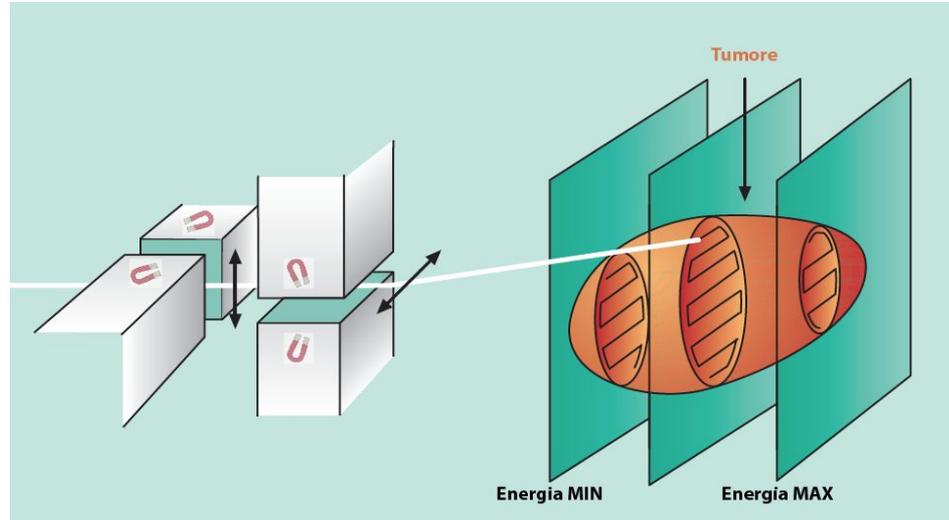
COME USARE GLI ADRONI?



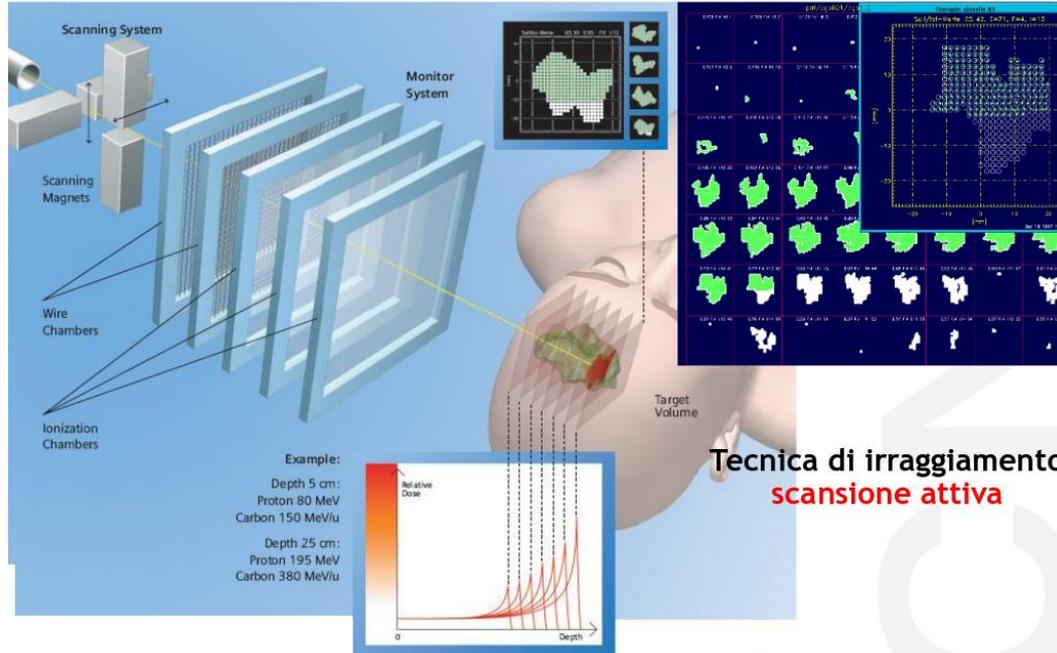
Per il trattare tutto il volume del tumore si utilizzano diversi fasci di diversa energia opportunamente pesati.

COME USARE GLI ADRONI?

Per il trattare tutto il volume del tumore vengono inoltre usati dei magneti di scansione che permettono di spostare il fascio lateralmente.



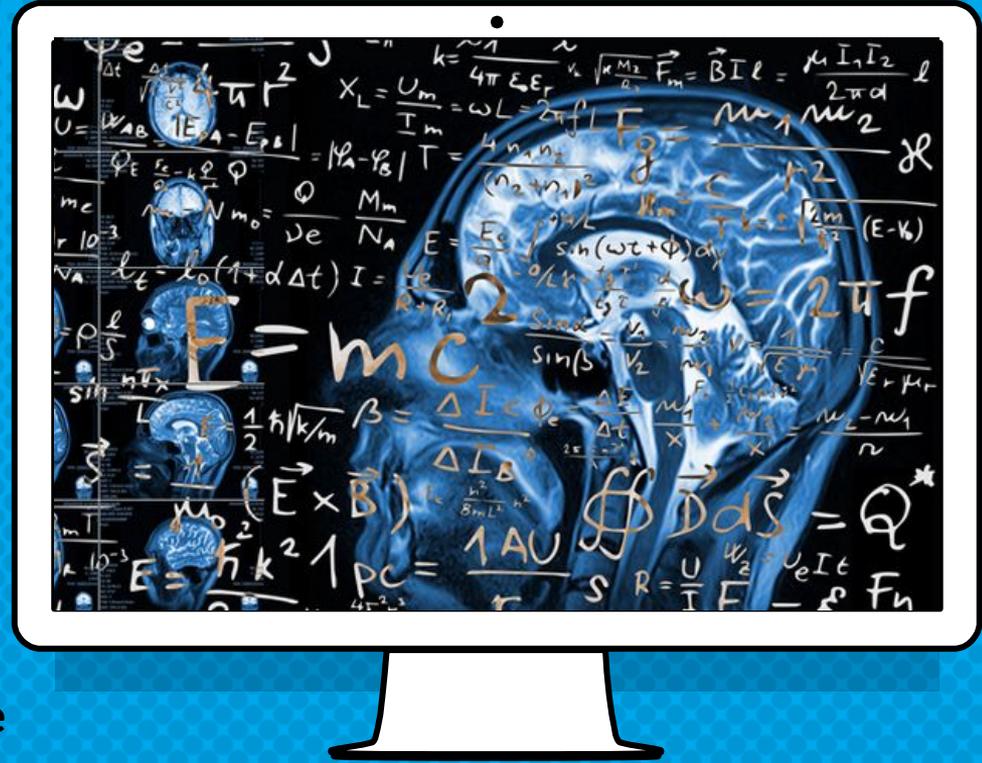
COME USARE GLI ADRONI?



Il fascio viene distribuito in (x,y) con l'uso di dipoli magnetici e in z cambiando l'energia delle particelle dall'acceleratore

TPS

La pianificazione del trattamento avviene attraverso il TPS (Treatment Planning System): software in grado di calcolare l'energia necessaria da fornire ai protoni o agli ioni Carbonio.



ENERGY



I fasci utilizzati in adroterapia devono essere accelerati fino ad ottenere l'energia voluta e per farlo vengono utilizzati acceleratori di particelle, molto simili a quelli sviluppati per le ricerche di fisica fondamentale.

ACCELERATORI



Macchine che utilizzano campi elettrici e magnetici per accelerare le particelle all'energia desiderata.

come accelero una particella carica?

$$F_{el} = qE$$

come curvo una particella carica?

$$F_L = q \mathbf{v} \times \mathbf{B}$$

ACCELERATORI

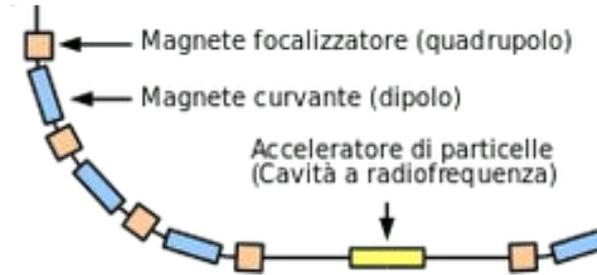
Macchine che utilizzano campi elettrici e magnetici per accelerare le particelle all'energia desiderata.

come accelero una particella carica?

$$F_{el} = qE$$

come curvo una particella carica?

$$F_L = q \mathbf{v} \times \mathbf{B}$$



ACCELERATORI

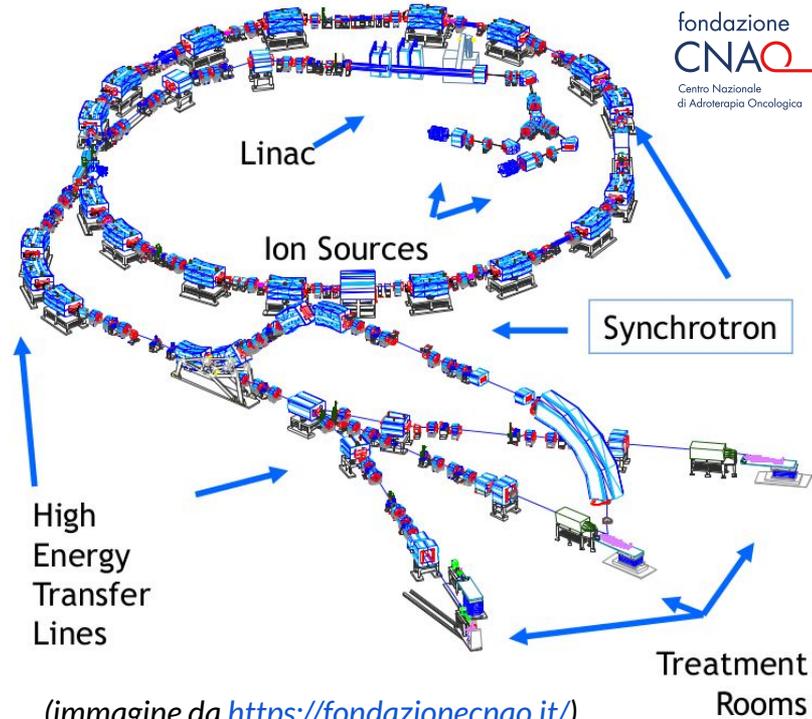
Macchine che utilizzano campi elettrici e magnetici per accelerare le particelle all'energia desiderata.

come accelero una particella carica?

$$F_{el} = qE$$

come curvo una particella carica?

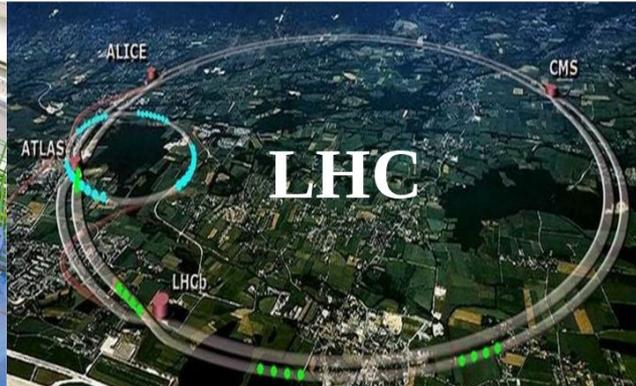
$$F_L = q \mathbf{v} \times \mathbf{B}$$



(immagine da <https://fondazionecnao.it/>)

ACCELERATORI PER ADROTERAPIA

fondazione **CNAO**
Centro Nazionale di Adroterapia Oncologica per il trattamento dei tumori



80 m	Circonferenza	27 Km
<200	Numero di magneti	>900
10^9	Particelle per bunch	10^{11}
(p) 60-200 MeV	Energia	10^5 volte maggiore

ADROTERAPIA NEL MONDO



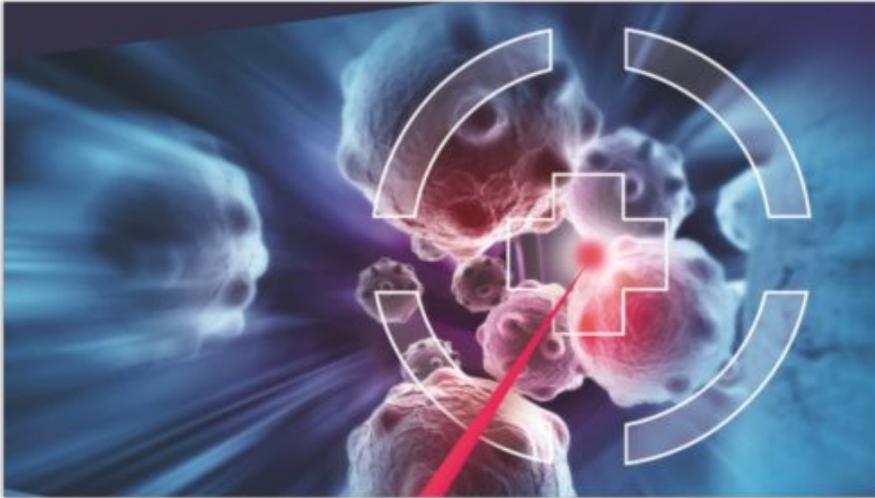
ADROTERAPIA IN ITALIA

Attualmente, in Italia sono presenti tre centri di Adroterapia:

- × CATANA - **protoni per melanomi oculari**
- × CNAO - **protoni e ioni Carbonio**
- × Centro di Protonterapia di Trento - **protoni**



VANTAGGI DELL' ADROTERAPIA



Utilizzata principalmente per tumori:

- profondi
- vicino a organi a rischio
- radioresistenti ---> ^{12}C
- re-irradiazioni
(tumori già trattati con i fotoni)
- nei pazienti pediatrici



TUMORI CEREBRALI - (*) GLIOBLASTOMI
CORDOMI E CONDROSARCOMI DELLA BASE CRANICA
MELANOMI OCULARI
TUMORI DEI SENI PARANASALI

TUMORI DELLE GHIANDOLE SALIVARI
MELANOMI MUCOSI DELLE ALTE VIE AERODIGESTIVE

(*) TUMORE DEL PANCREAS

TUMORE DEL FEGATO

(*) TUMORE DELLA PROSTATA
CORDOMI E CONDROSARCOMI SACRALI

RECIDIVE DEL TUMORE DEL RETTO

SARCOMI DELLE PARTI MOLLI

(*) STUDI CLINICI IN CORSO

SI VALUTANO PAZIENTI OLIGOMETASTATICI
AFFETTI DA PATOLOGIE RADIORESISTENTI
E RITRATTAMENTI DI PATOLOGIE GIÀ SOTTOPOSTE
A RADIOTERAPIA DA ALMENO 6 MESI

(immagine da <https://fondazionechnao.it/>)

TUMORI TRATTATI

L'adroterapia è particolarmente indicata per quei **tumori non trattabili chirurgicamente**.

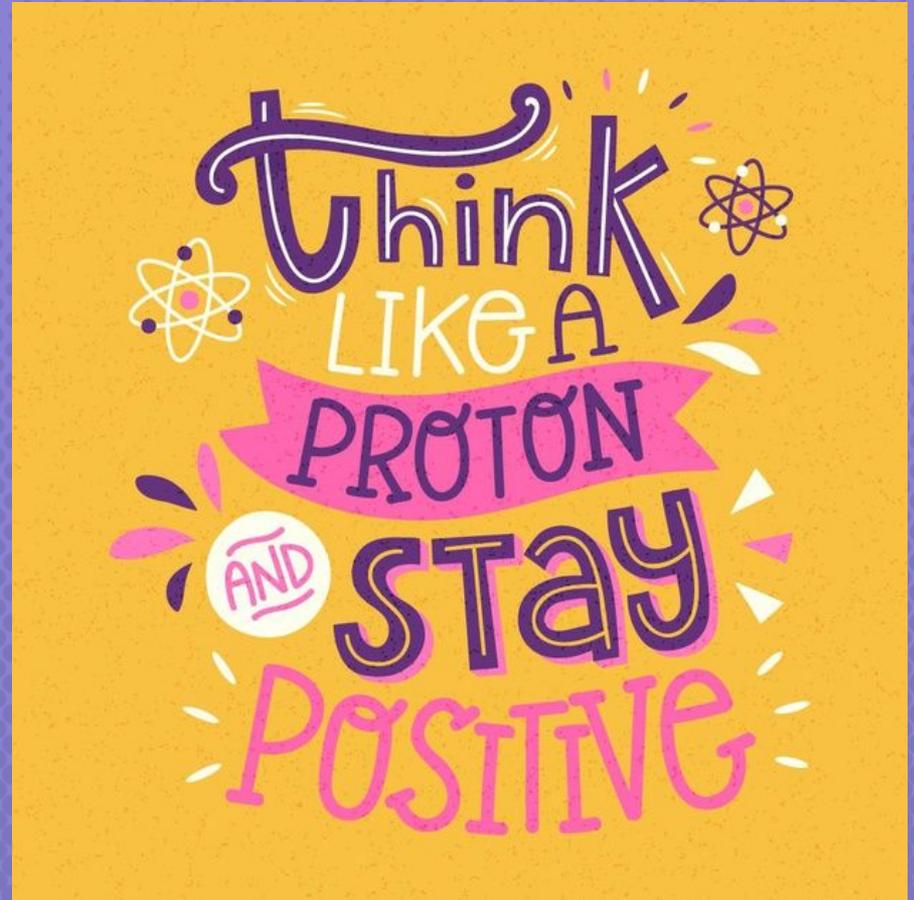
Le proprietà fisiche dei protoni e degli ioni Carbonio permettono di conformare la dose sul tumore con maggiore precisione salvaguardando i tessuti sani.

L'adroterapia è inoltre un'alternativa per **i tumori radioresistenti**, ossia tumori molto resistenti alle radiazioni.

**GRAZIE PER
L'ATTENZIONE**

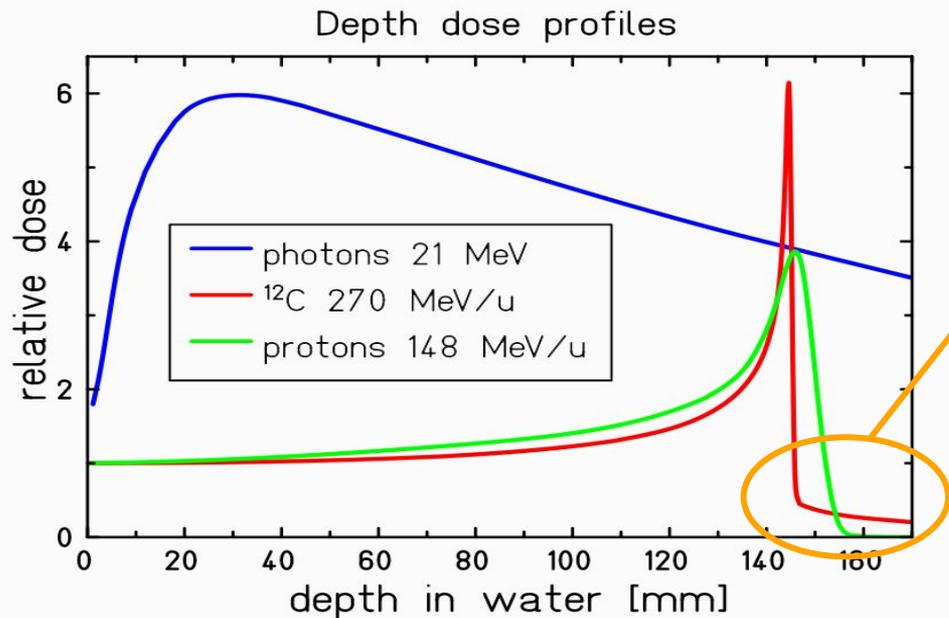


Alessia Embriaco
INFN PAVIA
alessia.embriaco@pv.infn.it



BACKUP SLIDES

PROTONI E ^{12}C



Il carbonio presenta una coda dovuta alla frammentazione del proiettile