

SERVIZIO SANITARIO REGIONALE
EMILIA-ROMAGNA
Azienda Ospedaliera di Reggio Emilia

CORSO (TC-) PET - RADIOTERAPIA: METODICHE A CONFRONTO NELLA REALTA' DELL'AZIENDA

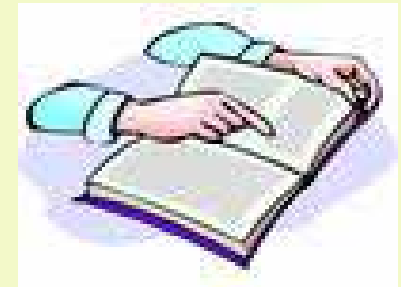


TEORIA E FUNZIONAMENTO DI UN CICLOTRONE IN AMBITO OSPEDALIERO

RELATORE : Elisa Grassi,
Servizio di Fisica Sanitaria ASMN

ARGOMENTI DELLA DISCUSSIONE

- La scelta del ciclotrone: dati tecnici e schema di funzionamento
- La realizzazione del progetto: suddivisione dei locali
- Un impianto sicuro
- Predisposizione dei locali
 - sistema antincendio
 - sistema di rilevazione gas
 - sistema di rilevazione radioattività ambientale
- Rilievi radioprotezionistici



PERCHÉ UN CICLOTRONE ? - 1

- **Nasce dall'esigenza di produrre radiofarmaci per la PET già installata:**
 - l'acquisto di radiofarmaci ha un costo elevato
 - la loro provenienza era estera
 - la quantità di radioattività in arrivo può essere soggetta alle condizioni contingenti del trasporto
 - possibile uso di radioisotopi a breve emivita

PERCHÉ UN CICLOTRONE ? - 2



**Ciclotrone
GE MINiTrace**



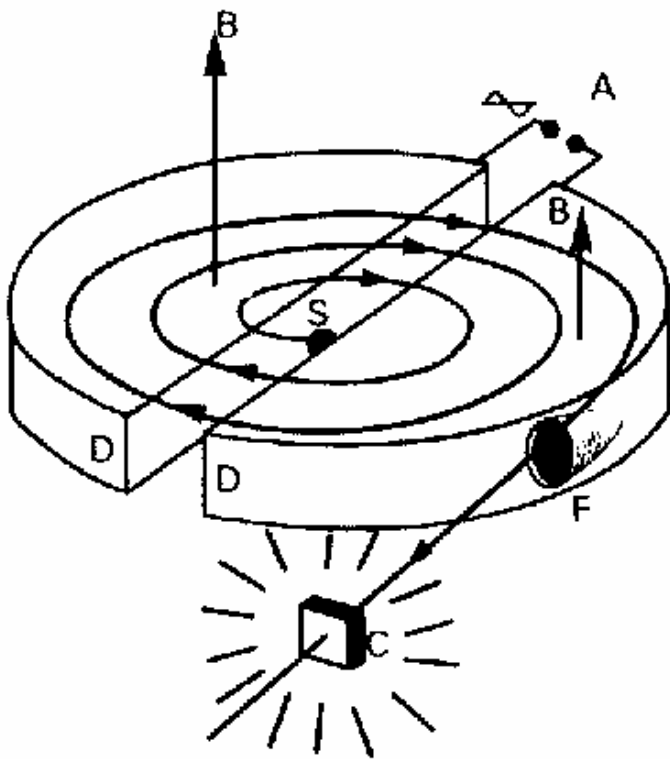
**Cella di sintesi
Radiofarmacia**



**Tomografo
Medicina Nucleare**

IL CICLOTRONE -1

Protoni, deuteroni, nuclei ^3He , ^4He ,



D = elettrodi acceleratori cavi

S = sorgente di ioni al centro della macchina

B= campo magnetico perpendicolare alla traiettoria delle particelle

F= sistema di estrazione del fascio

C= collisione contro un bersaglio

Dalla legge di Lorentz:

$$F = \frac{mv^2}{r} = qvB \rightarrow m\omega = qB \rightarrow \omega = \frac{qB}{m}$$

LA SCELTA - 1

Sono stati seguiti i seguenti criteri:

- impiego facile e sicuro in ambiente ospedaliero
- dimensioni contenute
- elevate garanzie di sicurezza radioprotezionistica
- costo ridotto

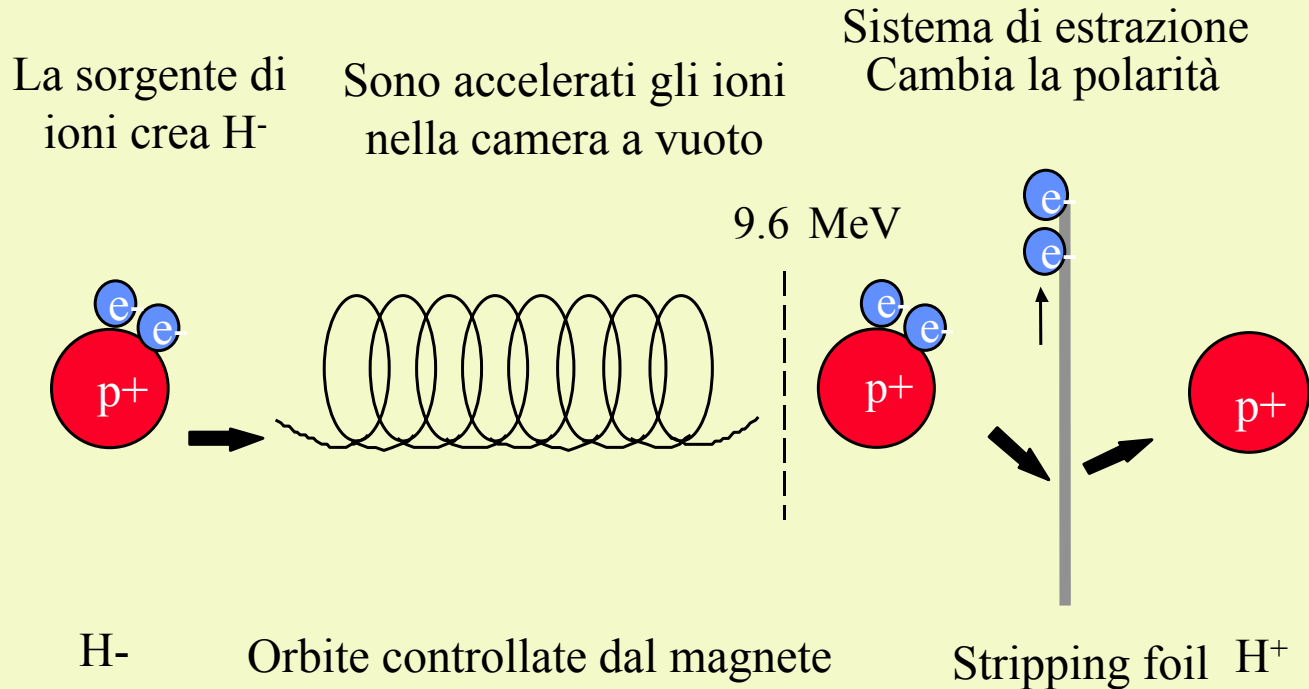
IL CICLOTRONE GE MINItace - 1

Particelle accelerate: ioni H^-
In uscita: protoni da 9.6MeV
Corrente di fascio estratta massima: 50 μ A

Orientazione verticale
Autoschermatura
Fino a 5 porte di uscita (ora presenti :1)

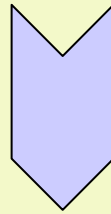
Campo magnetico medio all'estrazione: 1.66T
Diametro dei poli: 70cm
Peso totale: 50 tonnellate
Peso dei poli (avvolgimenti inclusi): 10 tonnellate

IL CICLOTRONE GE MINiTrace – 2

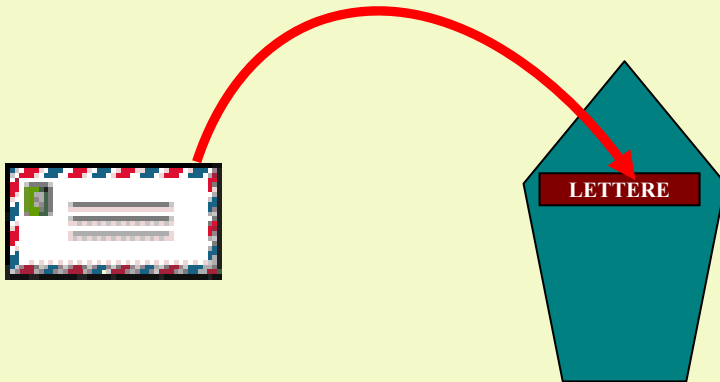
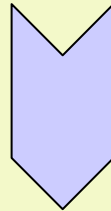


IL CICLOTRONE GE MINIttrace – 3

Le particelle accelerate sono mantenute in una limitata regione dello spazio, in modo da evitare il loro “sparpagliamento”.

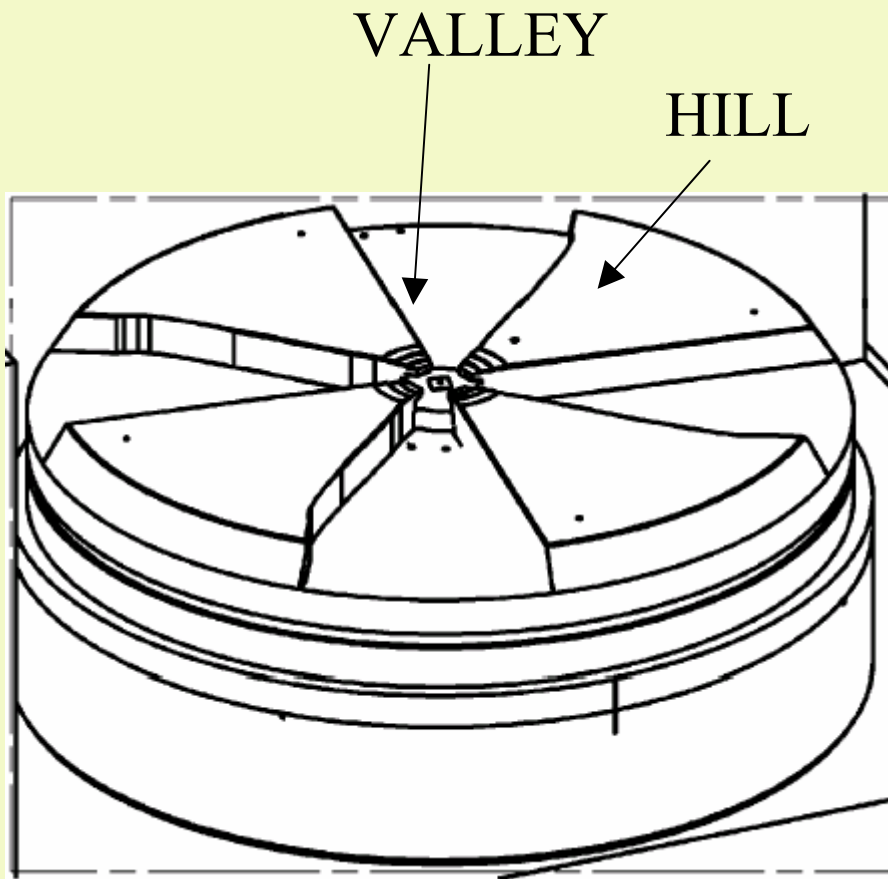


Solo se seguono il percorso corretto non si disperdono contro le pareti dell'acceleratore.



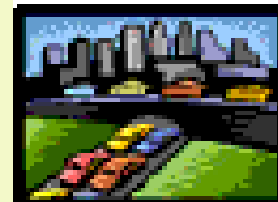
BERSAGLIO DI ACQUA
ARRICCHITA IN O-18

POLI MAGNETICI- 1



Gradiente radiale di
campo magnetico

Gradiente azimutale
di campo magnetico



POLI MAGNETICI- 2

PERCHE' SAGOMARE I POLI MAGNETICI?



Come un sistema di lenti ottiche permette di avere un “pennello” di luce...

...FOCALIZZAZIONE DEL FASCIO DI PARTICELLE

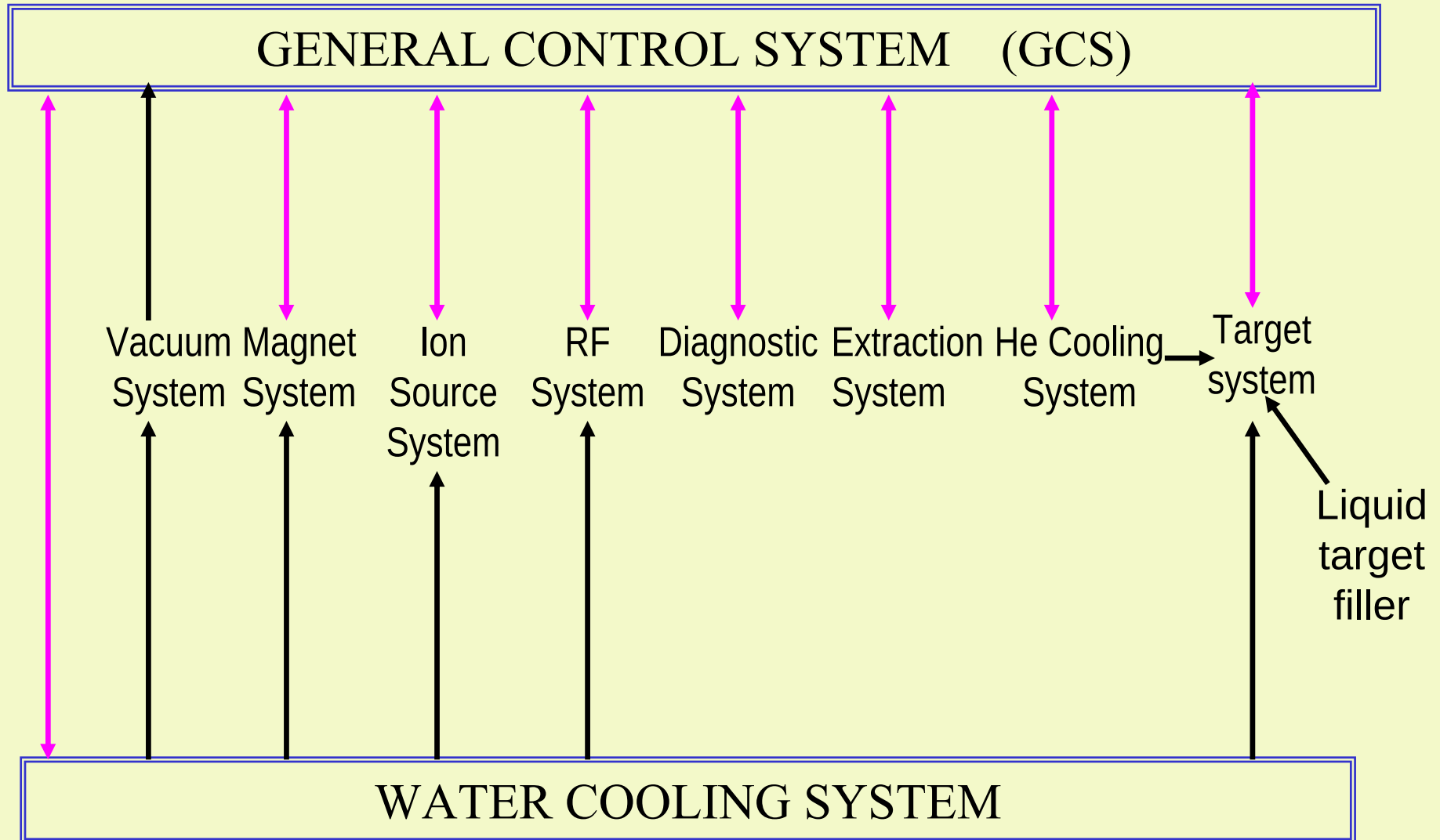
...le facce dei poli magnetici di un acceleratore sono sagomate e costituiscono il sistema di lenti *magnetiche* necessario per non disperdere le particelle e per produrre un

fascio di particelle ben focalizzato.

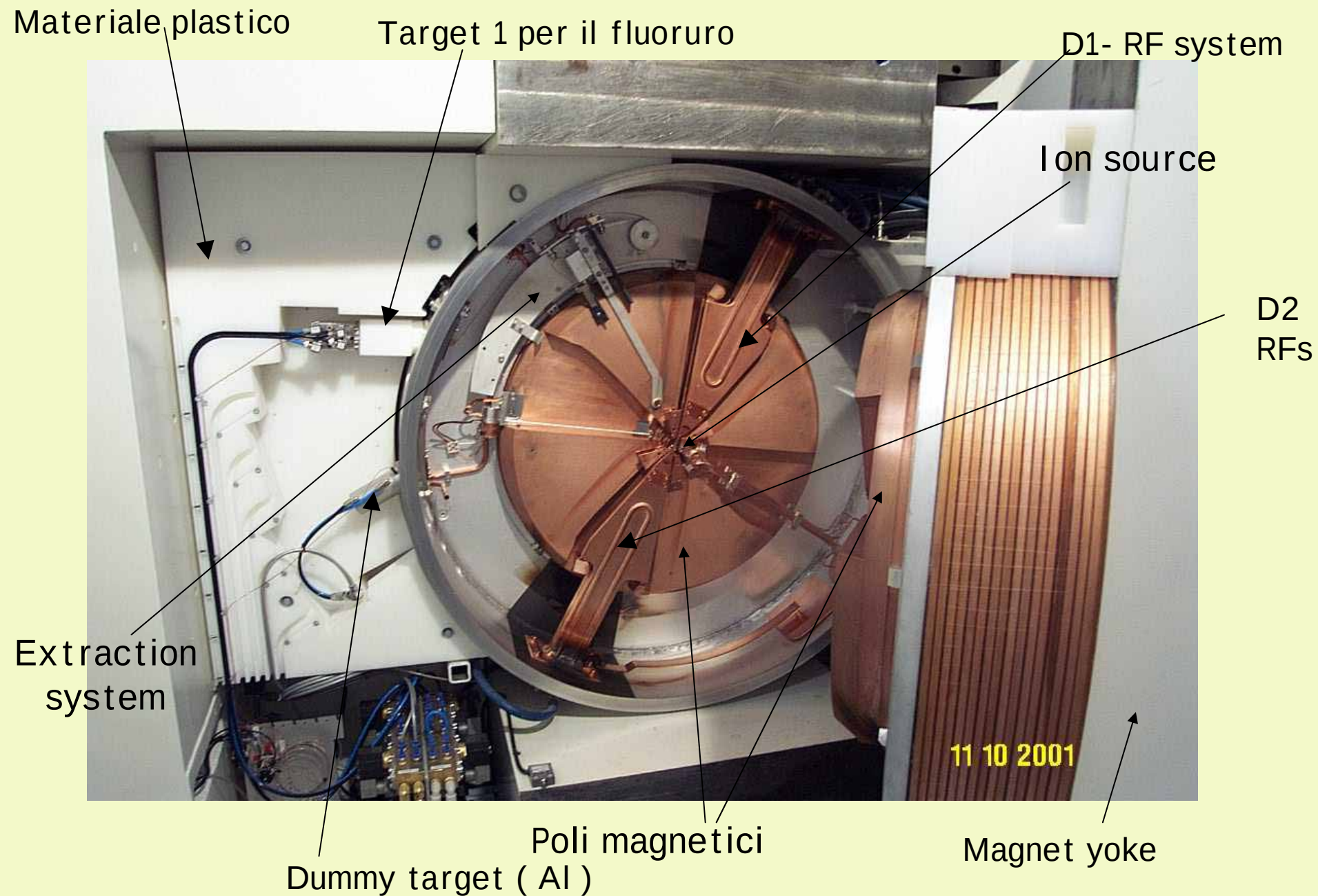
Gradienti spaziali di campo magnetico

Alternanza di settori a campo forte e a campo debole

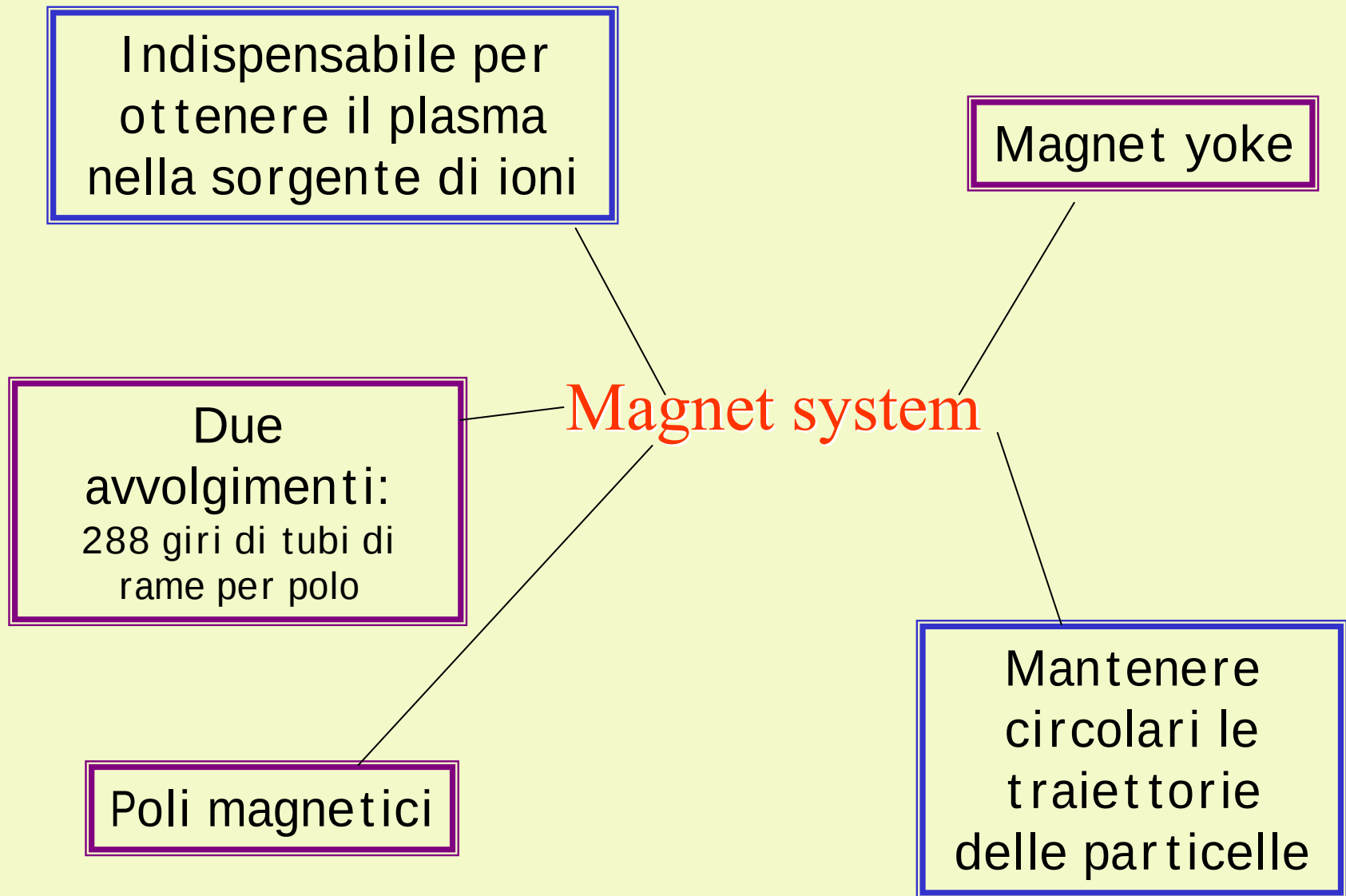
SOTTOSISTEMI DEL MINTrace - 1



SOTTOSISTEMI DEL MINItace - 2



SOTTOSISTEMI DEL MINITrace – 3



SOTTOSISTEMI DEL MINItace - 4

Materiale plastico

Target 1 per il fluoruro

D1- RF system

Ion source

D2
RFs

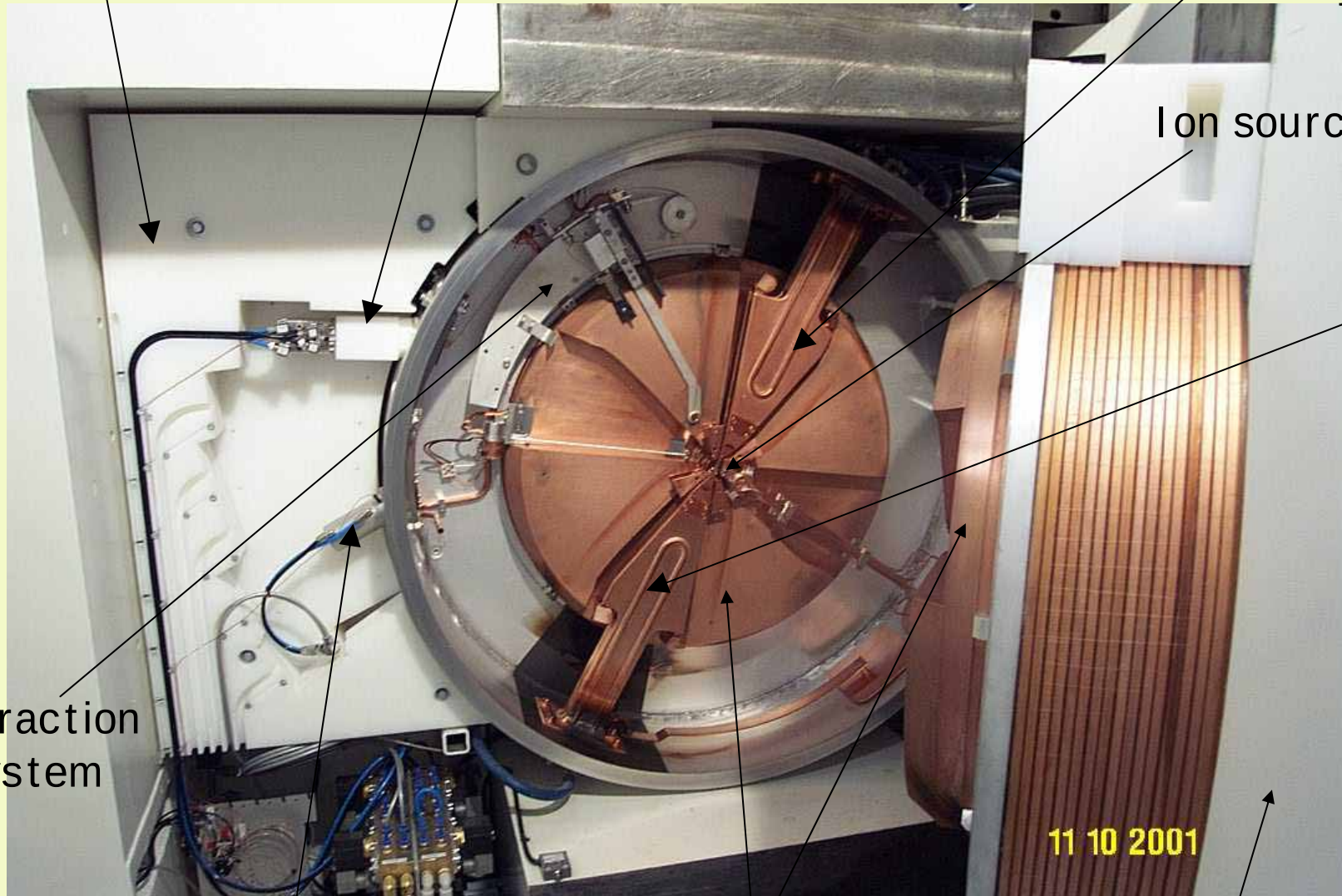
Extraction
system

11 10 2001

Poli magnetici

Magnet yoke

Dummy target (Al)



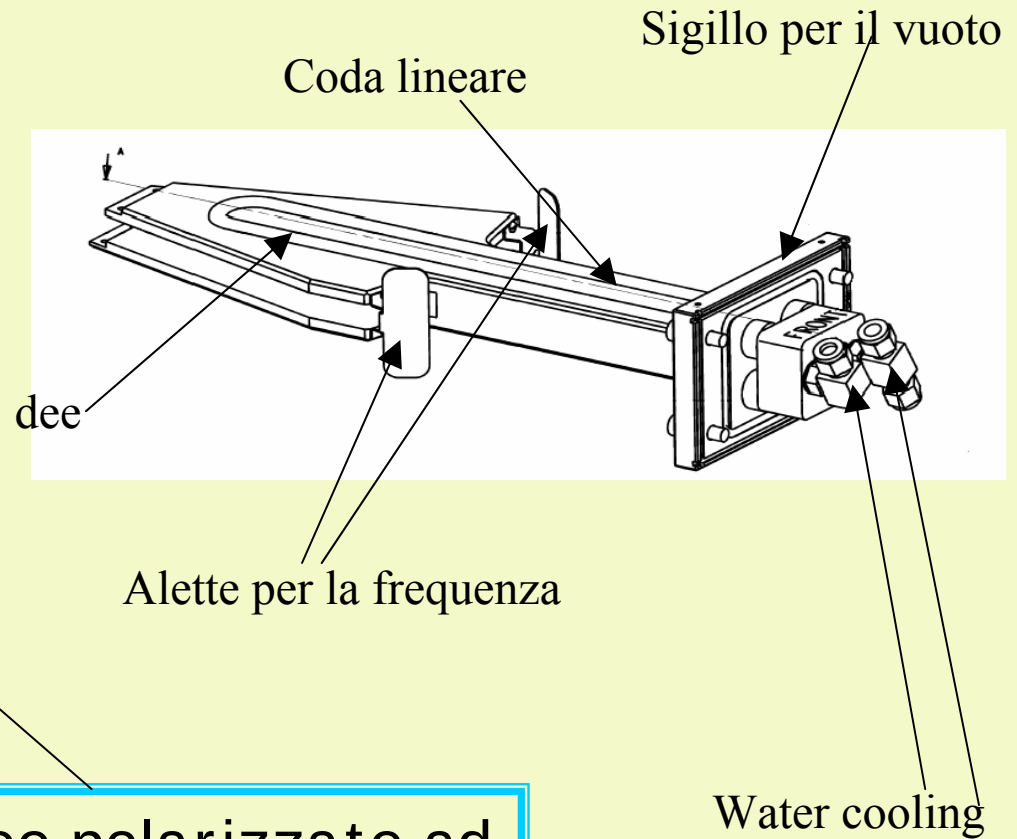
SOTTOSISTEMI DEL MINItace – 5

Estrae gli ioni
dalla sorgente

RF System

Accelera gli ioni

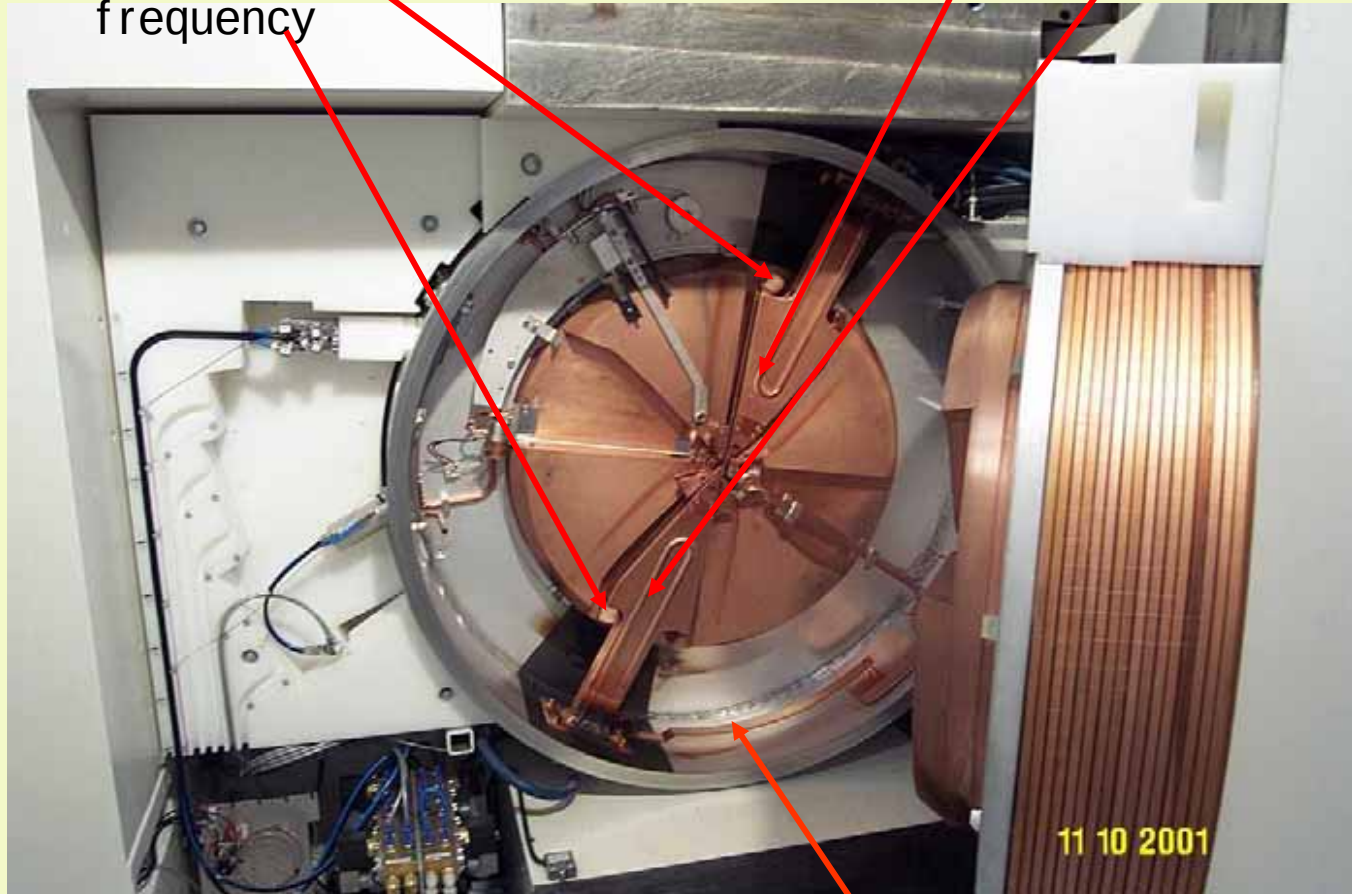
Due Dee polarizzate ad
alta frequenza



SOTTOSISTEMI DEL MINItace – 6

Alette-Fine tuning RF
frequency

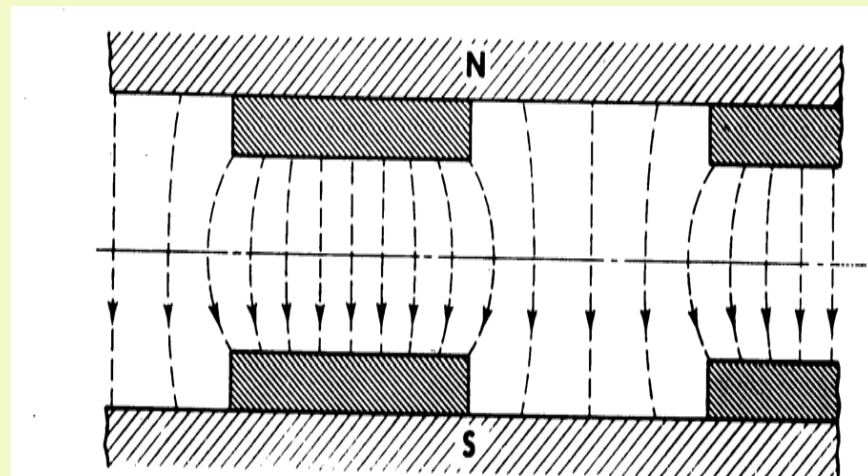
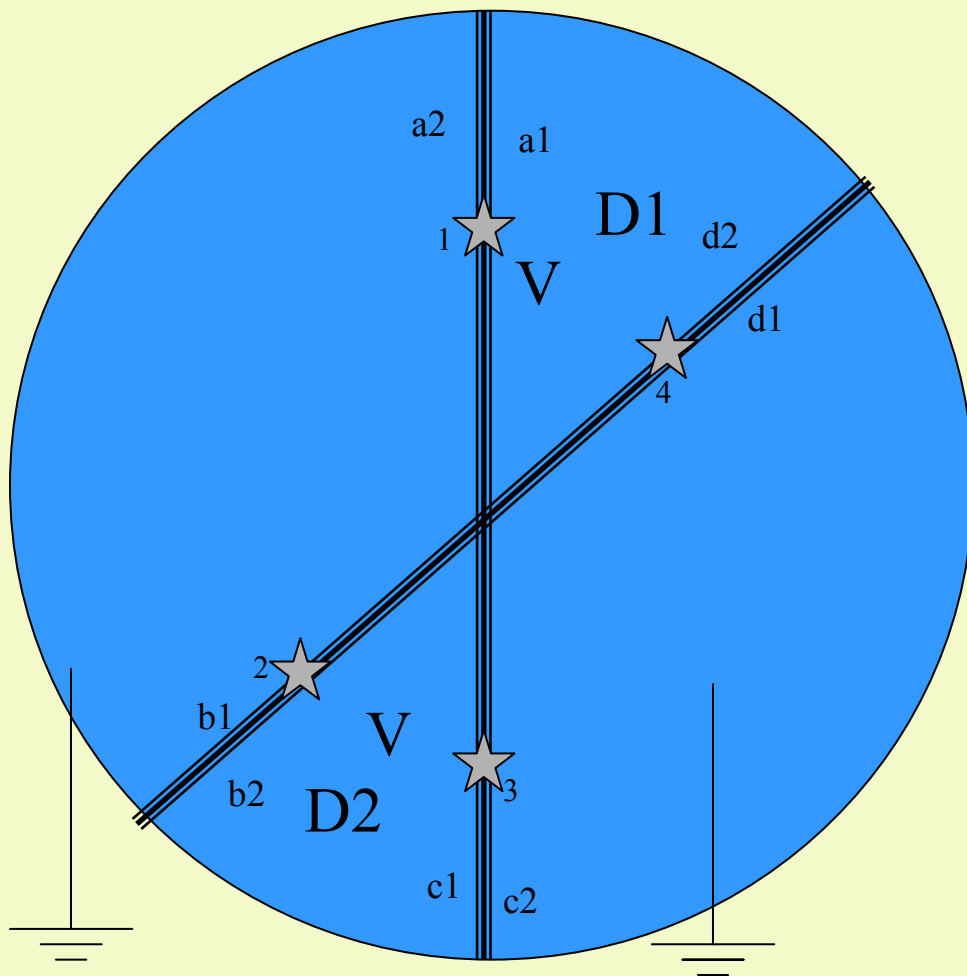
D-Placche di accelerazione



Alimentazione della RF

DEES	2
ANGOLO DI APERTURA DELLE DEES	34°
TENSIONE efficace DELLE DEES	25 kV
FREQUENZA	101 $\pm$ 0.5 MHz

ACCELERAZIONE DELLE PARTICELLE – 1



ACCELERAZIONE DELLE PARTICELLE – 2

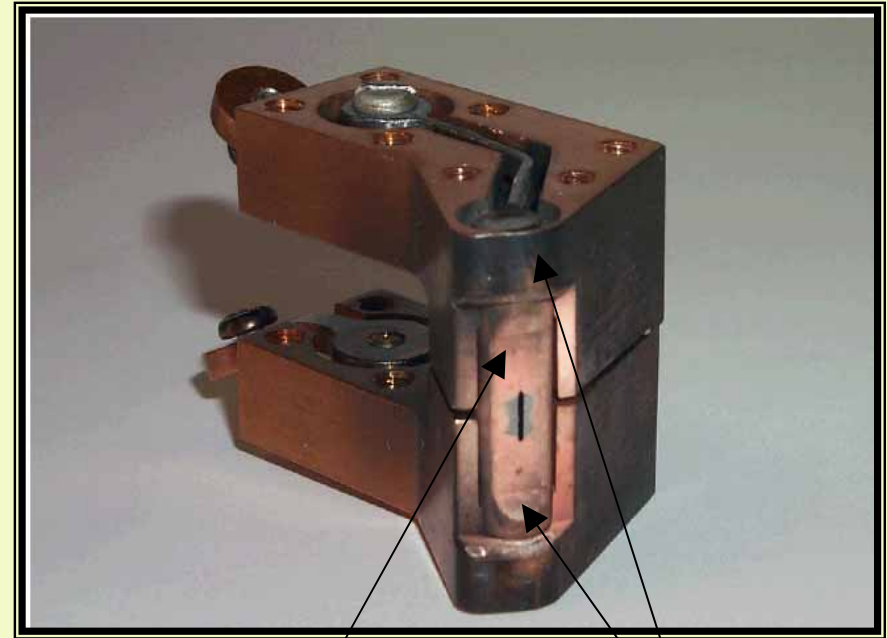
Raggio orbita più esterna (senza effetti relativistici)	27cm
Velocità sull'orbita più esterna	$\approx 4.3 \cdot 10^7$ m/sec
Frequenza delle particelle	25 MHz
N° giri prima dell'estrazione per incrementi di 25keV per kick	≈ 95

SOTTOSISTEMI DEL MINITRACE – 7

Genera gli ioni da accelerare

Ion Source System

Escono ioni H^-



anodo

catodo

Posizionata al
centro del
ciclotrone

SOTTOSISTEMI DEL MINITrace - 8

Materiale plastico

Target 1 per il fluoruro

D1- RF system

Ion source

D2
RFs

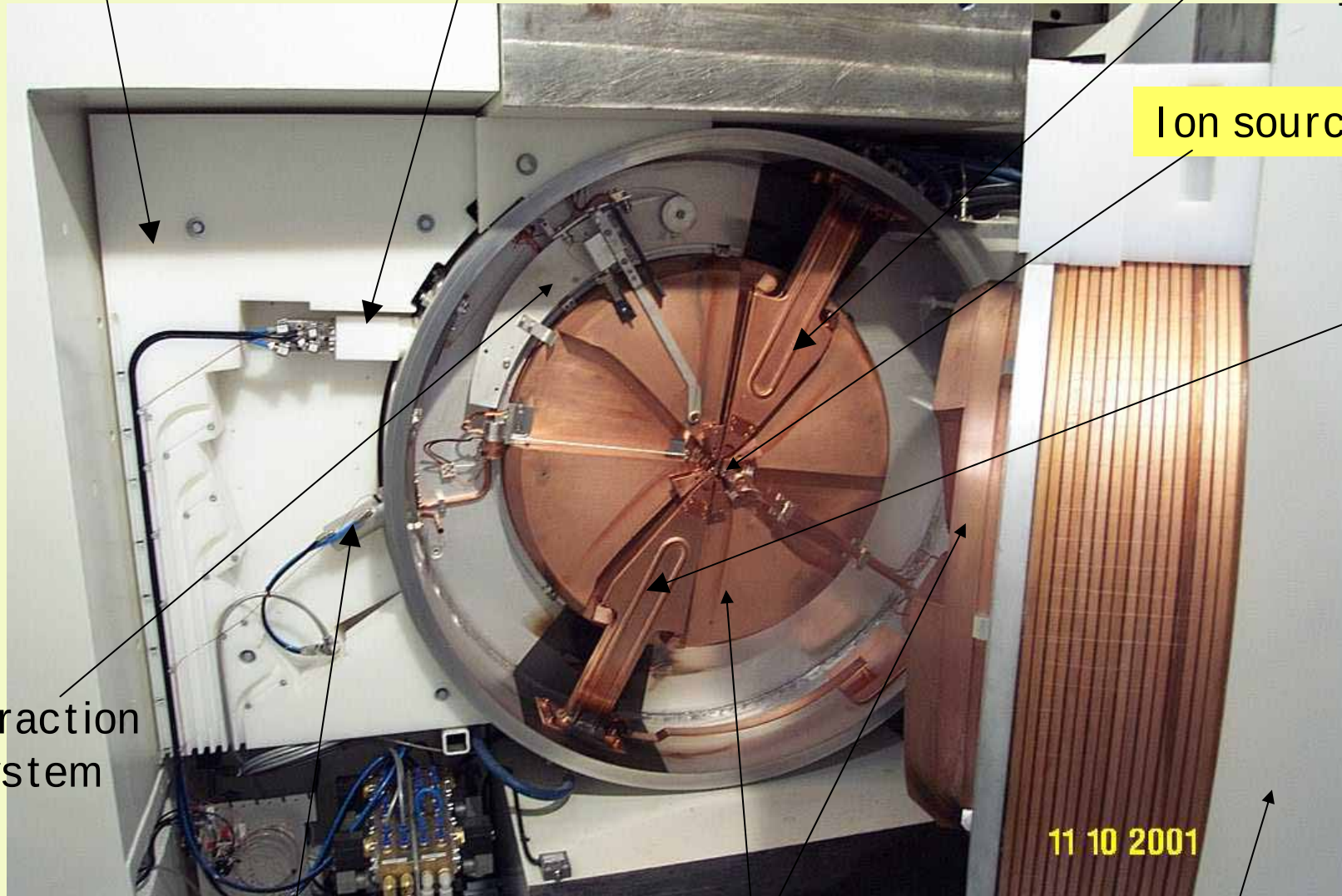
Extraction
system

11 10 2001

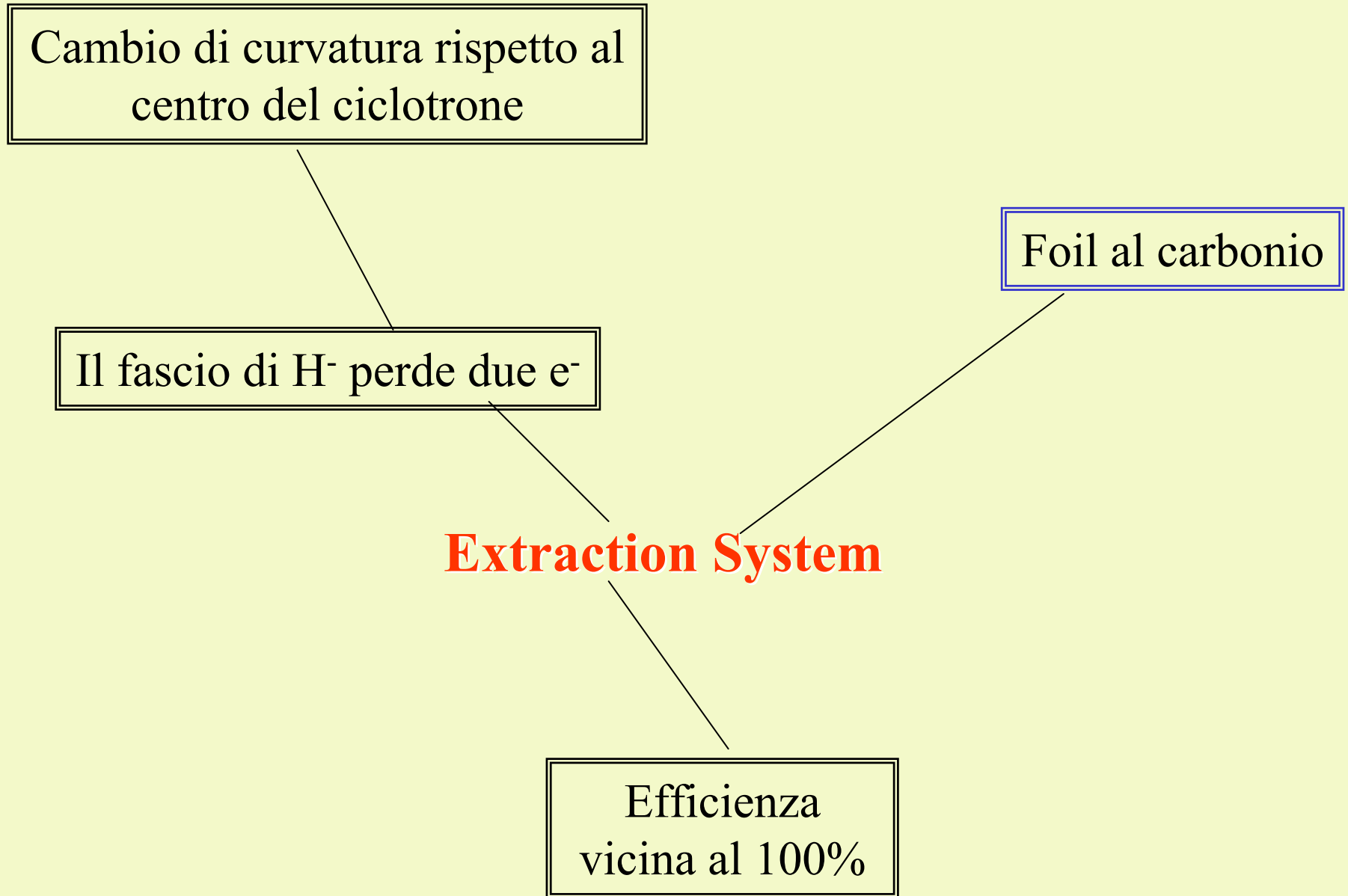
Dummy target (Al)

Poli magnetici

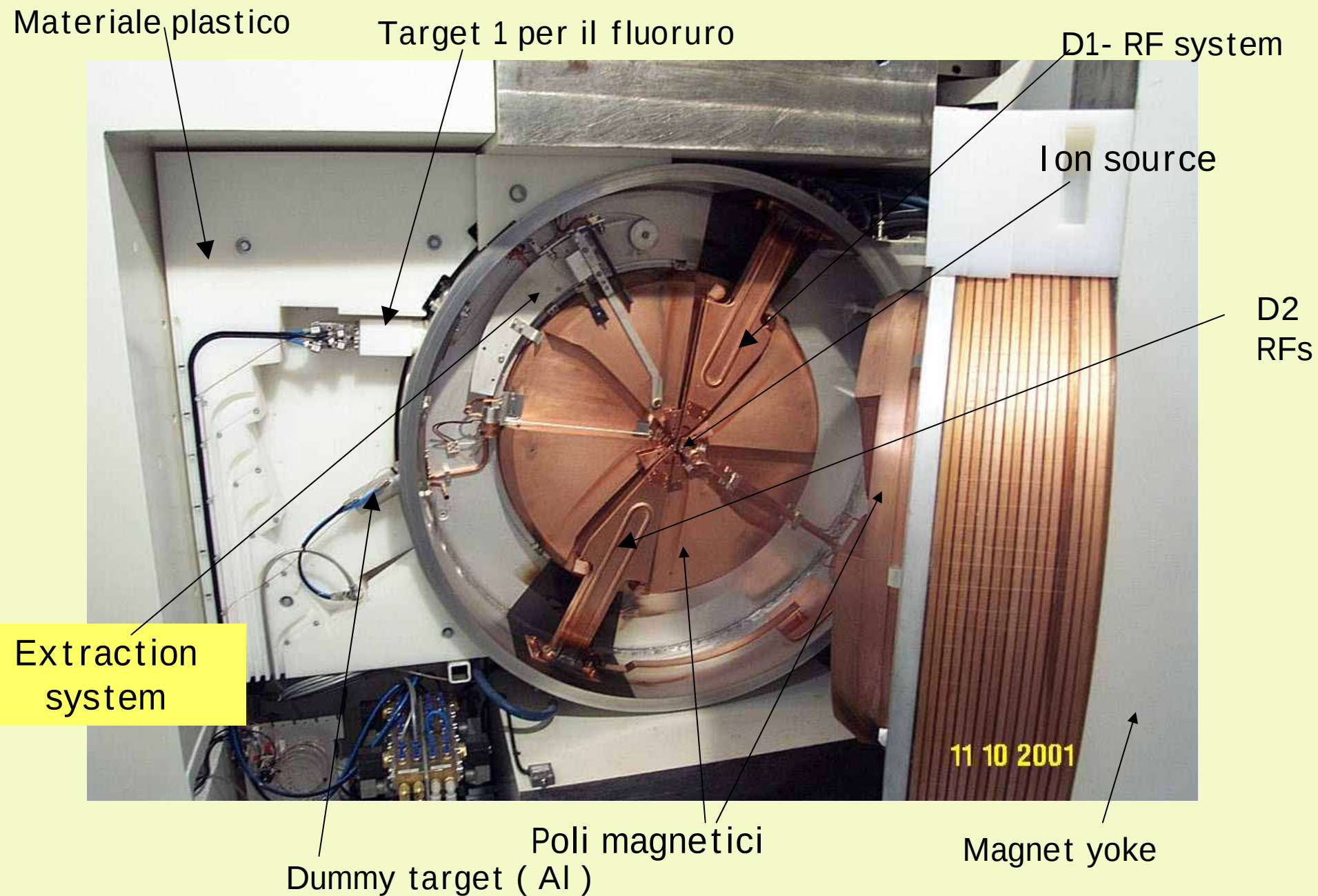
Magnet yoke

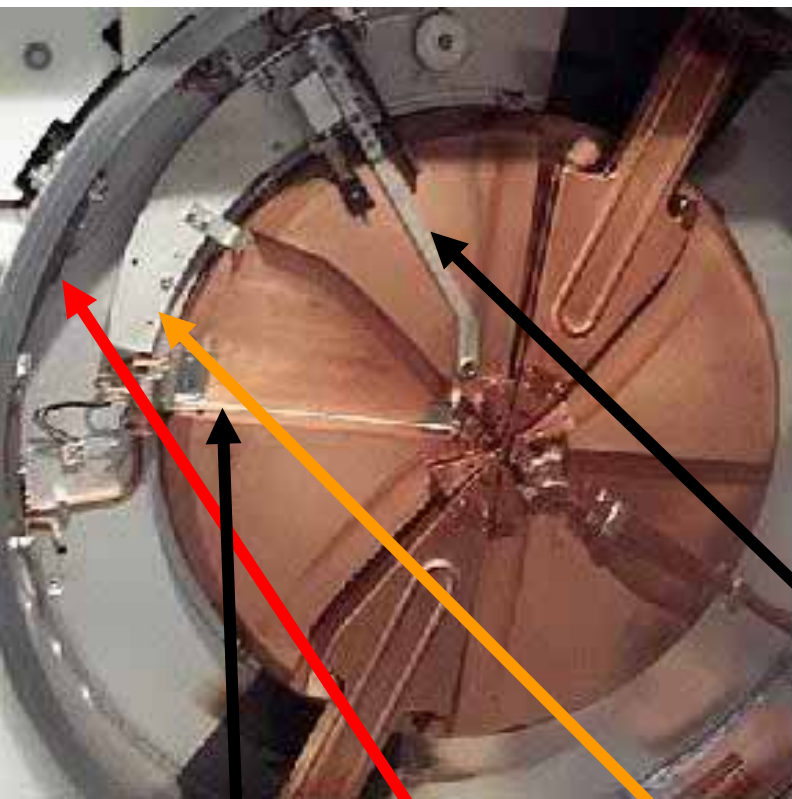


SOTTOSISTEMI DEL MINITRACE – 10



SOTTOSISTEMI DEL MINItace - 11





Diagnostic system

Controllo della
corrente di fascio in
diverse posizioni
all'interno della
macchina

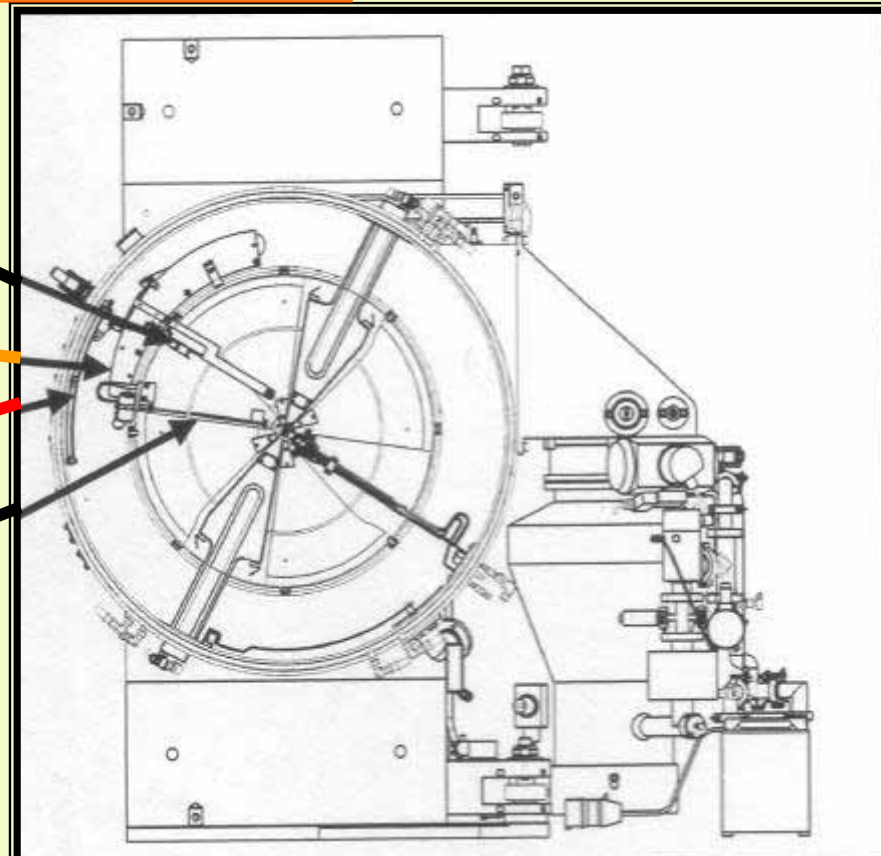
Controllo
della perdita
di ioni

Single
extraction

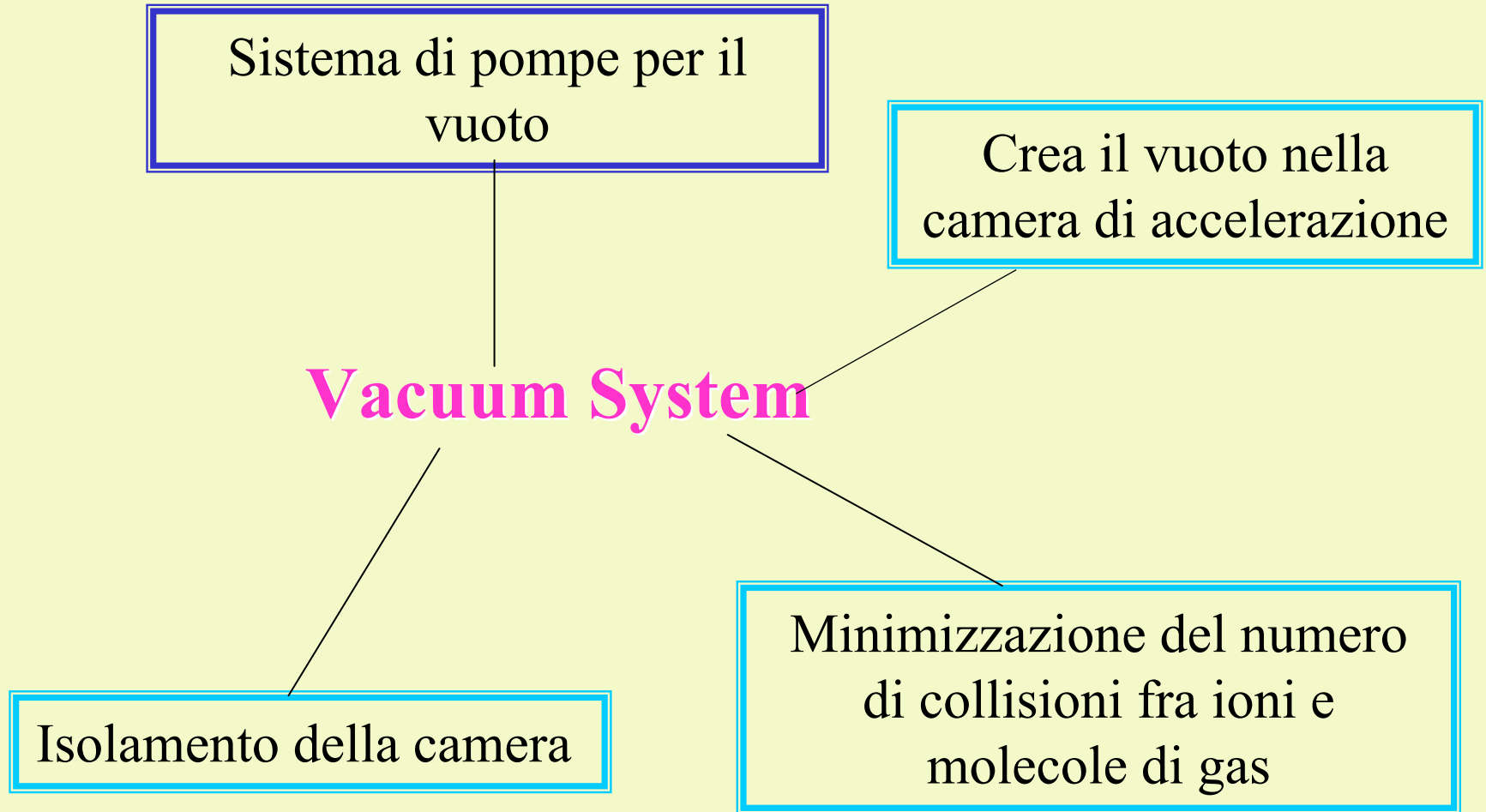
Dual extraction

Collimators

Probe assembly



SOTTOSISTEMI DEL MINItace – 12



SOTTOSISTEMI DEL MINItace – 13

Il target material
per produrre FDG
è liquido

Le particelle ad alta energia
colpiscono il target material
inducendo una reazione di
trasmutazione

Target

Sono sistemati all'interno
dell'autoschermatura

SOTTOSISTEMI DEL MINItace - 14

Materiale plastico

Target 1 per il fluoruro

D1- RF system

Ion source

D2
RFs

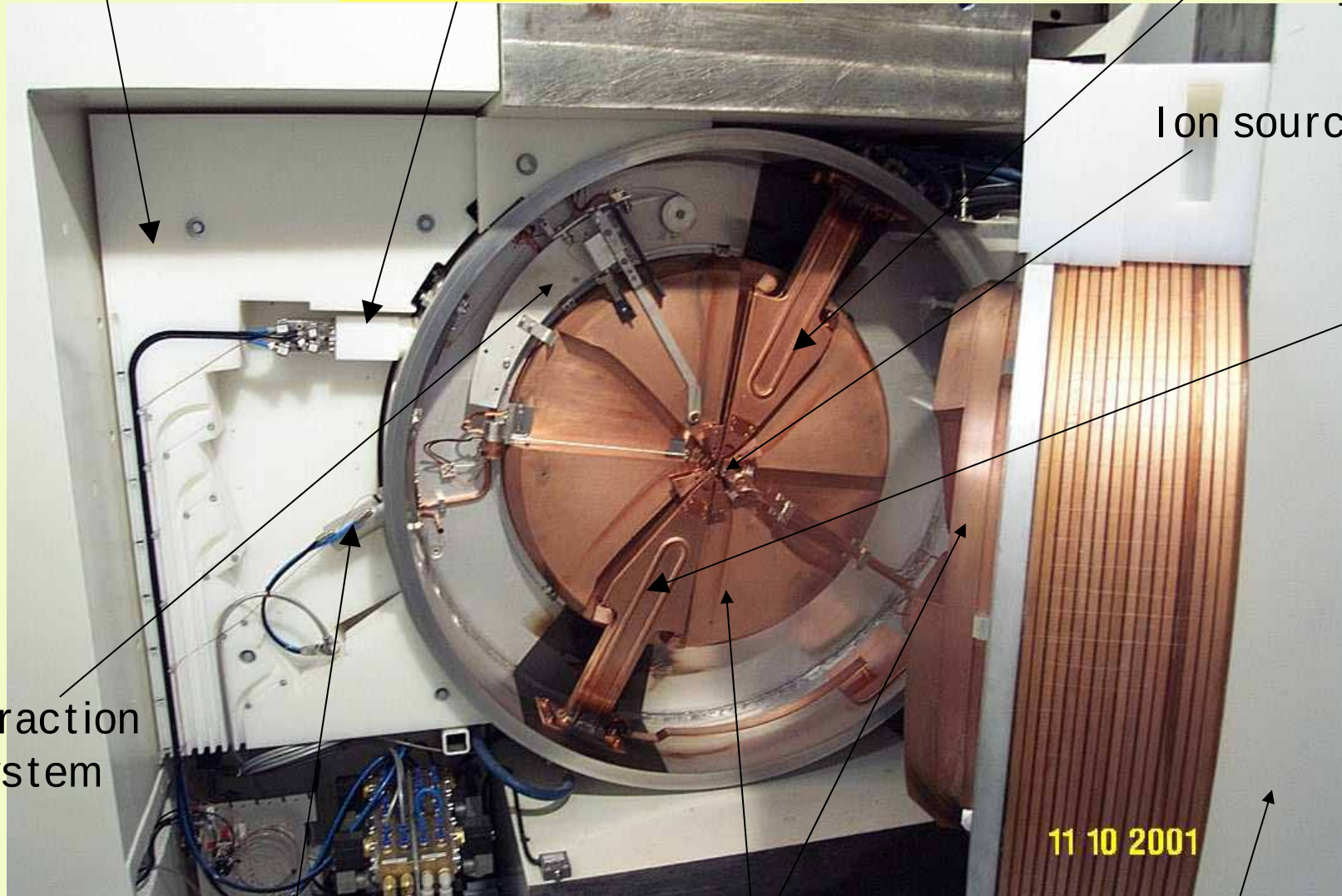
Extraction
system

11 10 2001

Poli magnetici

Magnet yoke

Dummy target (Al)



SOTTOSISTEMI DEL MINitrace – 15

Ricircolo
dell'acqua per il
raffreddamento del
contenitore del
bersaglio

Ricircolo dell'elio per il
raffreddamento del
contenitore del bersaglio

Camera di argento

Manutenzione del target
ogni 700 μ Ah

2-3 mesi dopo la
disinstallazione

In media 40 μ Sv dose
equivalente alle mani
del lavoratore

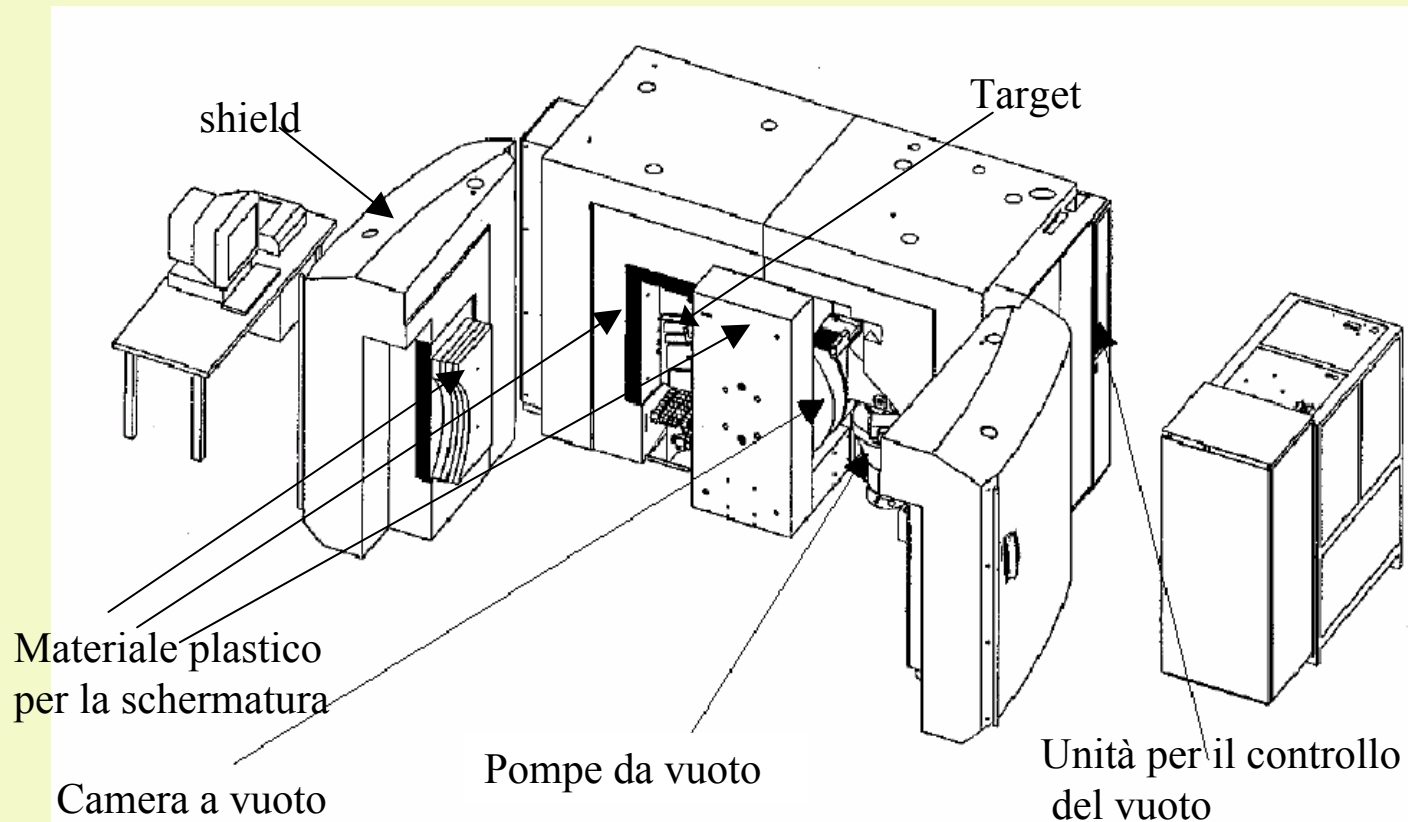
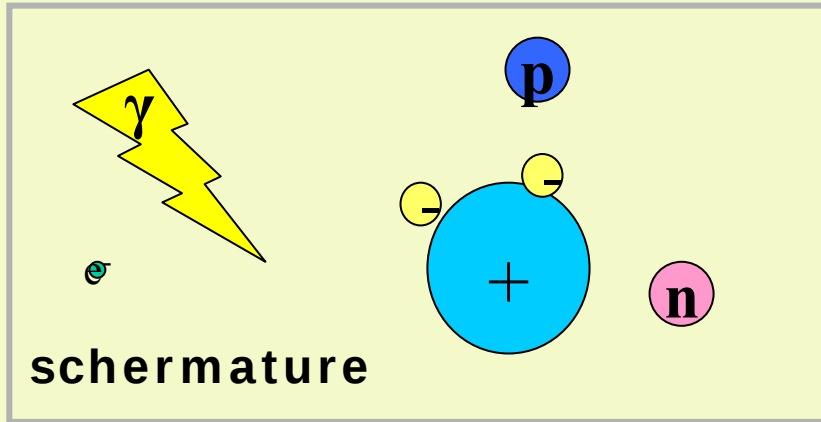
Max per lavoratori di CAT.A =
500mSv annui alle mani

	Specifiche della ditta	Produzione reale	Simulazione del bombardamento
Attività	(1000 $\pm$ 50) mCi/h	954mCi /h	1200mCi/h
Corrente di protoni	35 μ A	35 μ A (effettivi 33 μ A)	35 μ A

SOTTOSISTEMI DEL MINItace – 16

Autoschermatura costituita da:

- schermo di 10 cm di spessore (piombo) per il TARGET
- schermo di 20 cm di spessore (plastico con H) per il TARGET
- schermatura intrinseca di spessore variabile superiore a 60 cm (calcestruzzo borato)



CONTROL SYSTEM - 1



Comunicazione
via ethernet



The Master System

General Control System
(GCS)

Comunicazione
seriale



MINITRACE Service System
(MSS)

System status

Cyclotron

Ion Source current [mA]	625
Ion Source voltage [V]	450

Dee voltage [kV]	35.0
RF tuning	55.0

Magnet current [A]	135
--------------------	-----

Vacuum pressure [mbar]	1.7E-5
------------------------	--------

Target current [uA]	30	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
Collimator current [uA]		1.2	1.0			0.1	0.1
Foil current [uA]			33				0.1
Probe current [uA]	0.1						
Last Fill pressure [psi]	350	0.0	0.0	0.0	0.0		350
Target pressure [psi]	374	0.0	0.0	0.0	0.0		50
He cooling pressure [psi]	18						

18F-System

13N-System

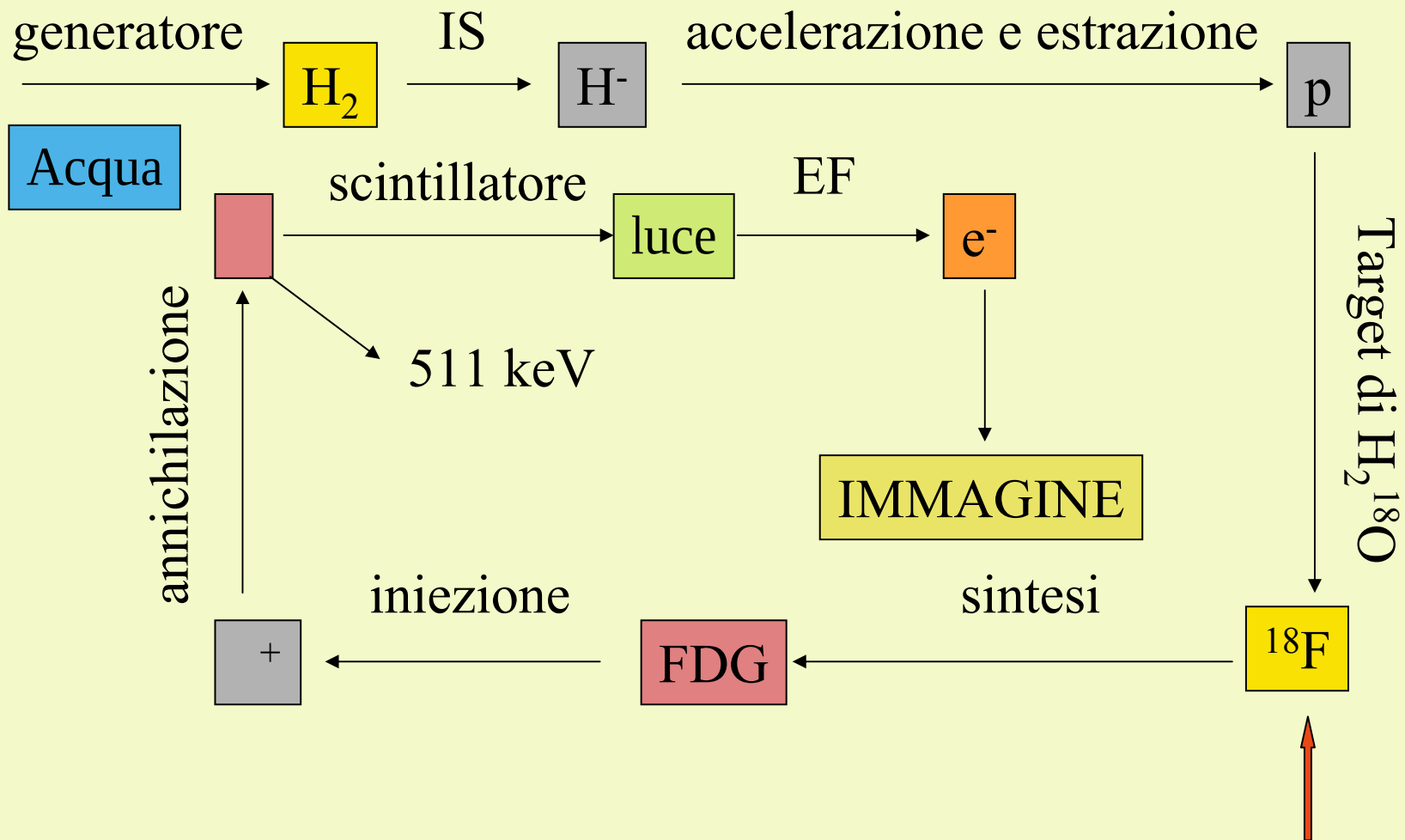
]

--	--
--	--
--	--

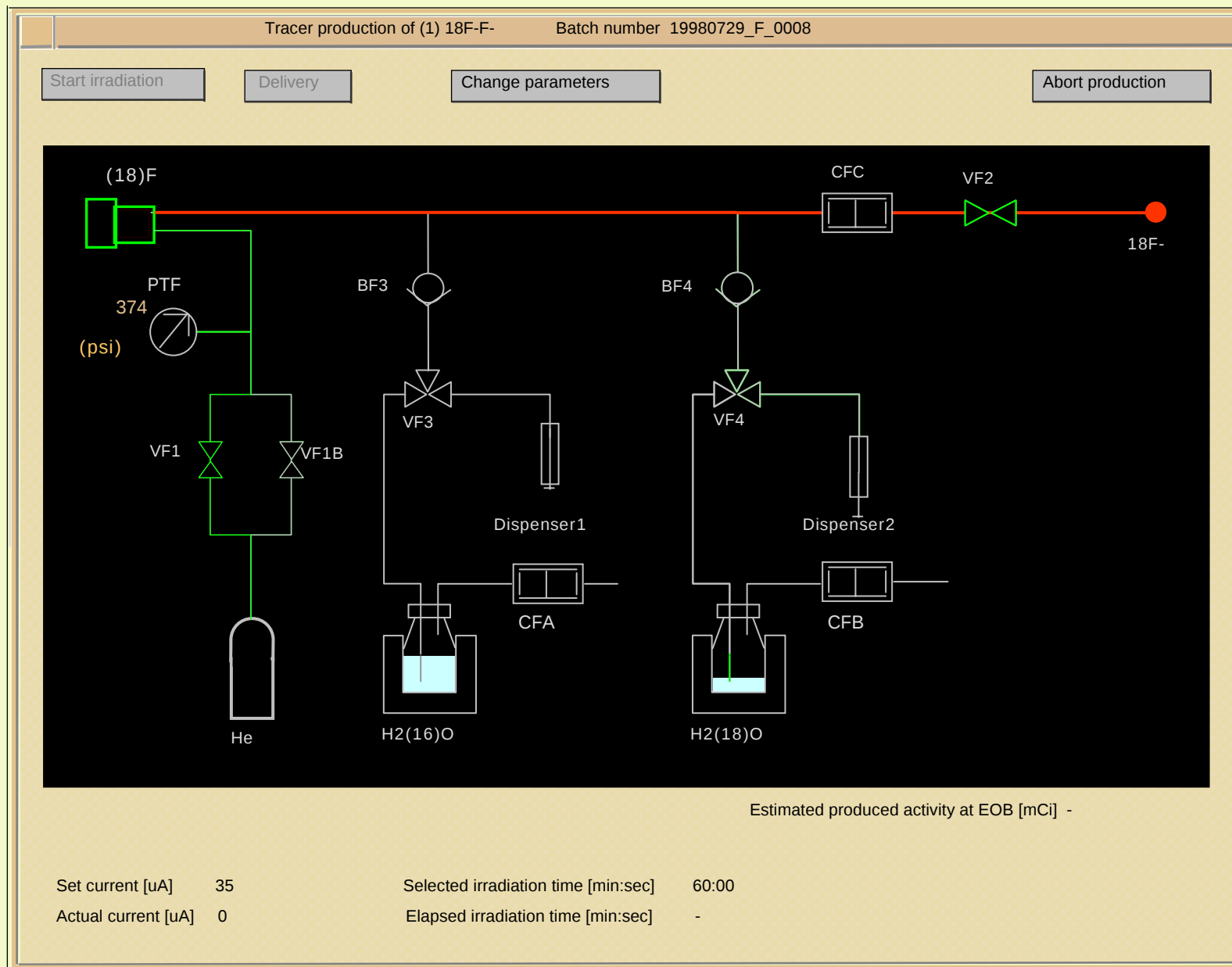
Water

--	--
--	--
--	--
--	--

FLOWCHART GENERALE - 1



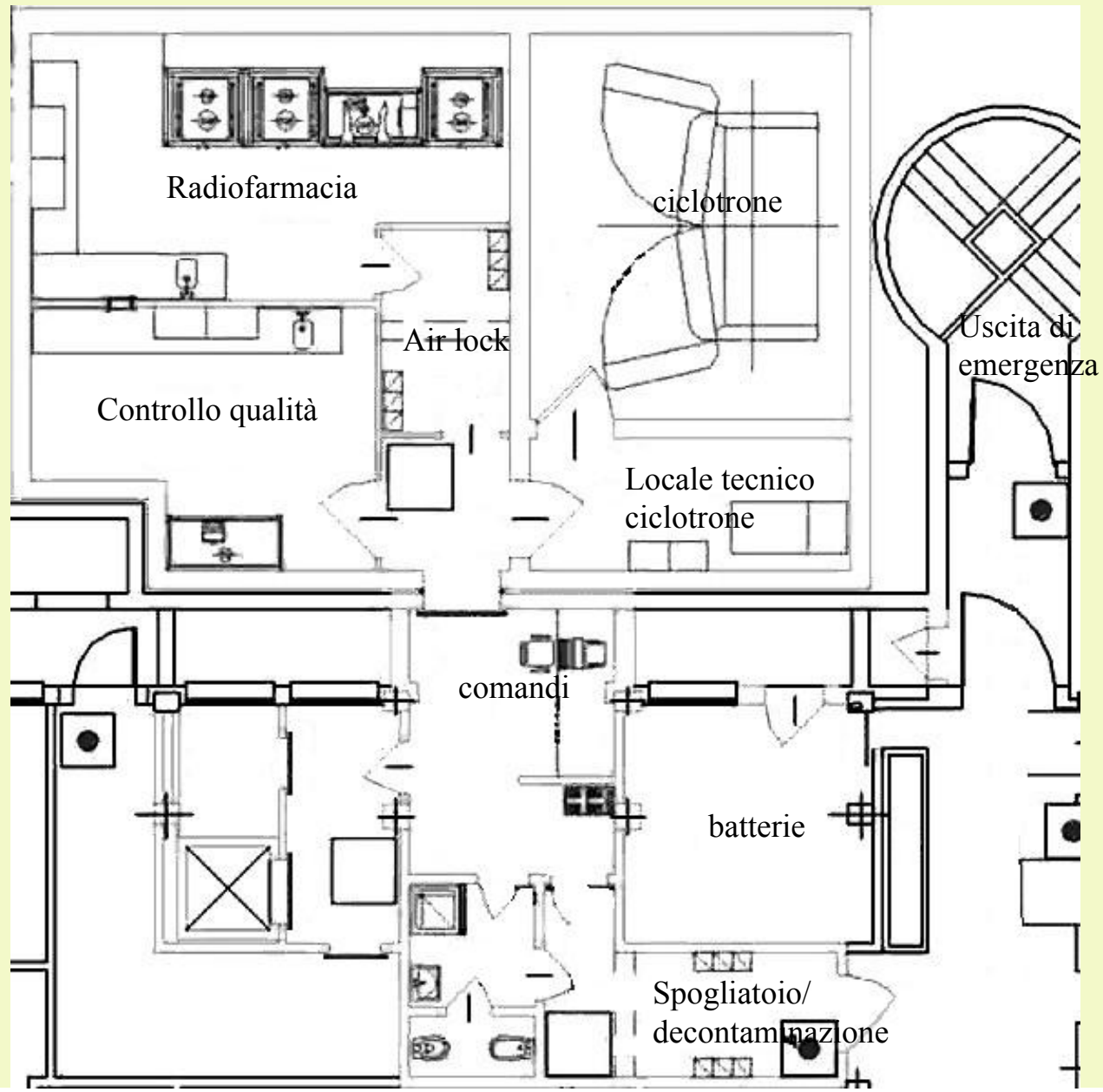
FLOWCHART GENERALE - 2



FLOWCHART GENERALE - 3

Suddivisione dei locali:

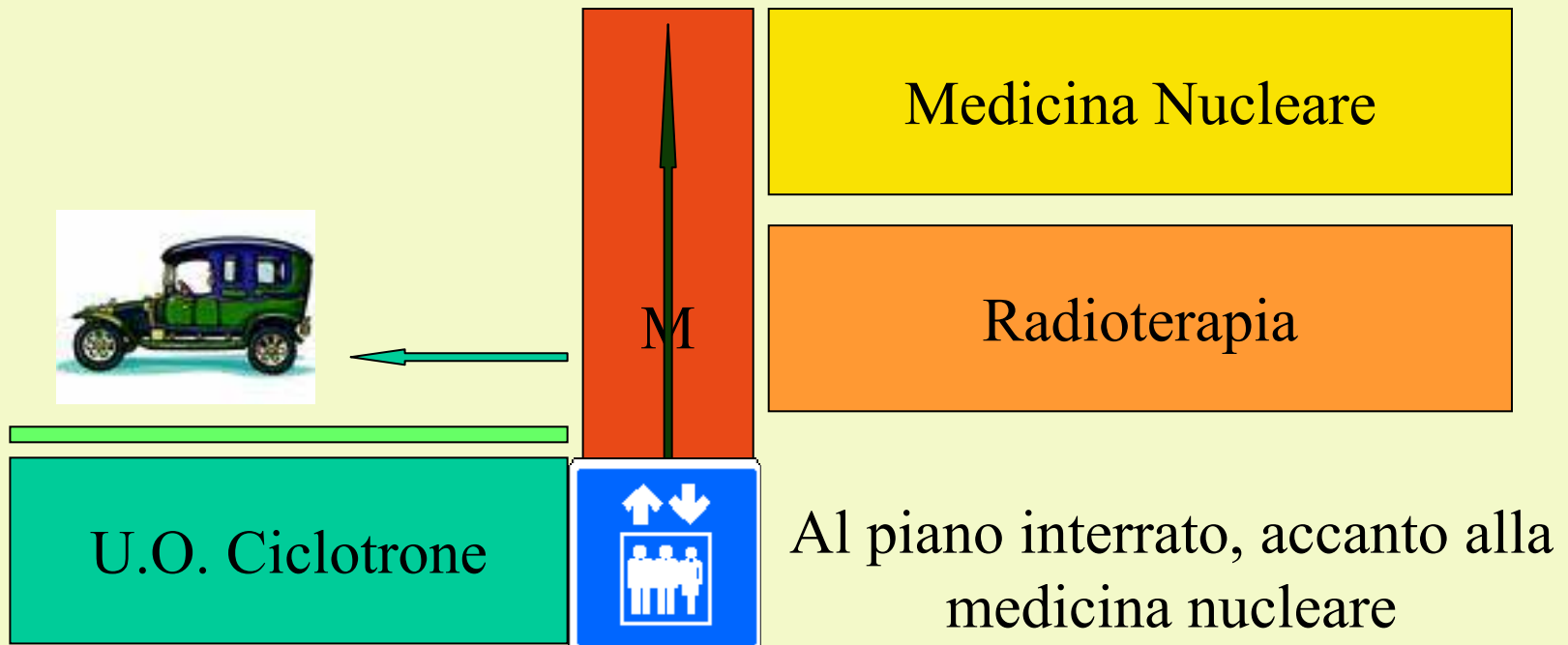
- area di accesso e circuito di decontaminazione
- sala comandi
- locale tecnico
- controlli qualità
- ciclotrone
- radiofarmacia
- air lock



FLOWCHART GENERALE - 4

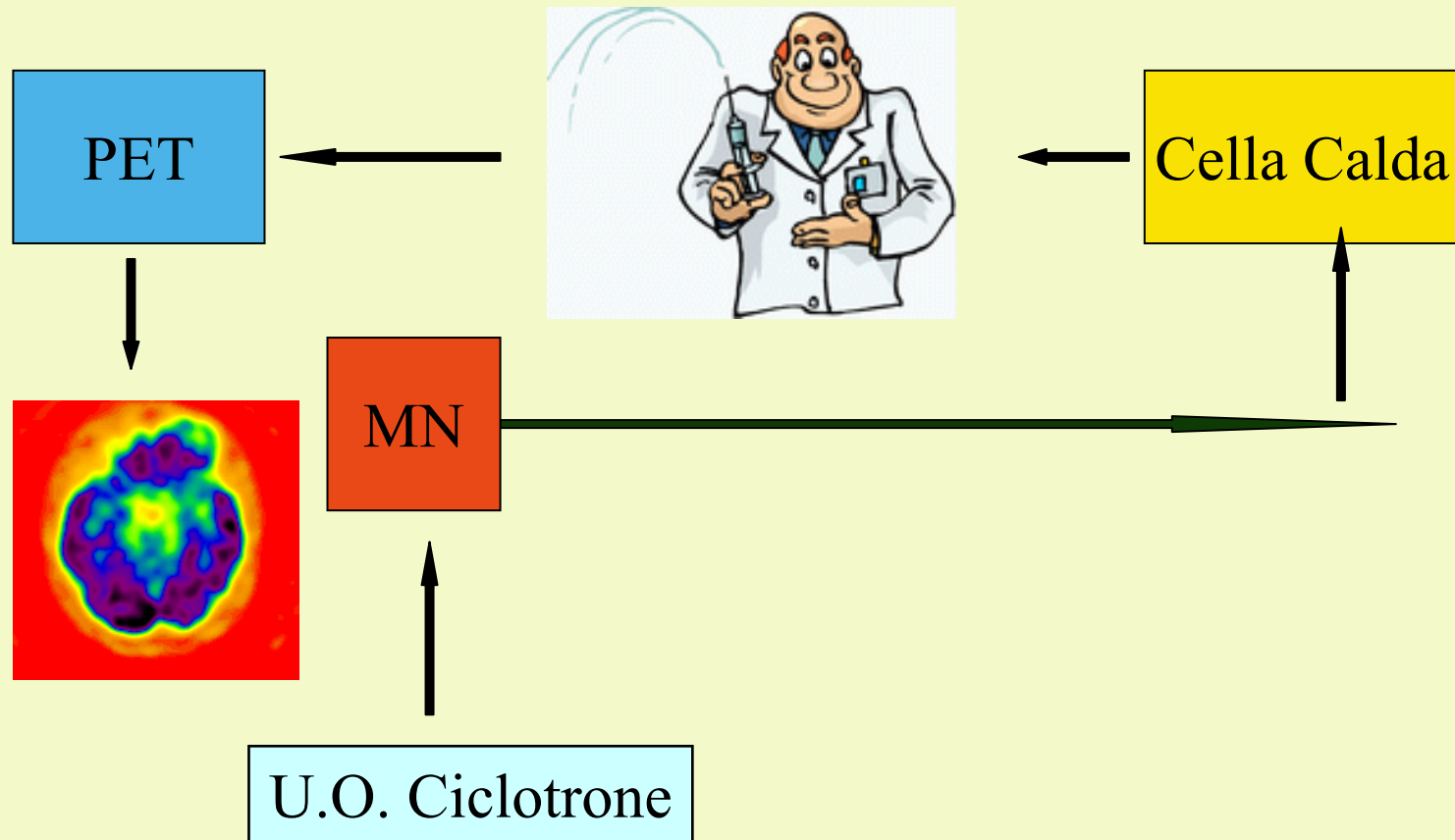


L'FDG viene trasportato al primo piano, in medicina nucleare per uso, oppure al piano terra per spedizione esterna



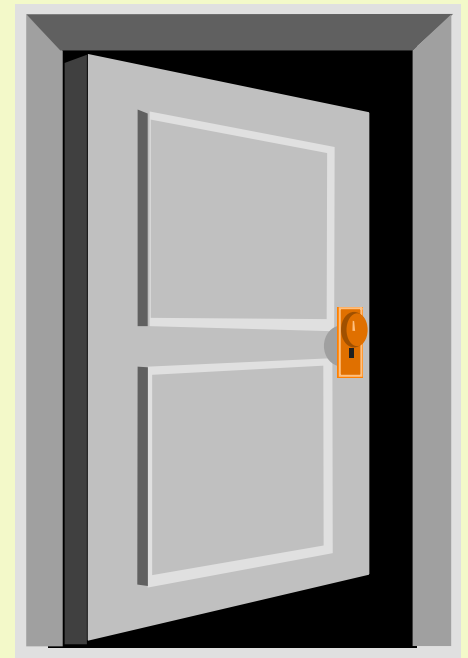
FLOWCHART GENERALE - 5

Movimentazione del radiofarmaco all'interno del reparto di MN



AREA DI ACCESSO

- gli spogliatoi del personale (caldo e freddo)
- circuito di decontaminazione: dotato di servizi, doccia, sistemi di decontaminazione
- antilocale con monitor mani-piedi-vesti



SALA COMANDI

- Locale ove risiedono gli operatori addetti al funzionamento del ciclotrone:
 - consolle di controllo
 - sistema di monitoraggio ambientale
 - allarme gas tossici
 - stato riempimento bombole
 - allarme antincendio
 - controllo sistema di ventilazione



LOCALE TECNICO

- armadio di controllo
- armadio della radiofrequenza
- quadri elettrici delle apparecchiature di servizio



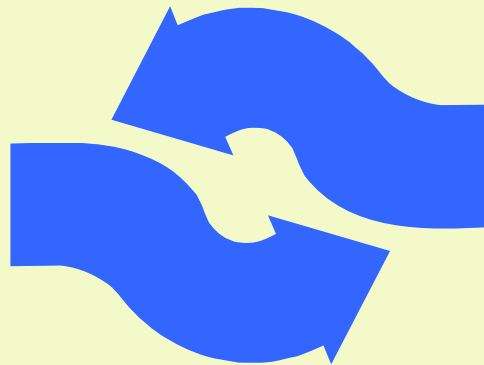
LOCALE CICLOTRONE

- Contiene:
 - la macchina acceleratrice
 - le pompe a vuoto
 - le strutture autoschermanti
- Oltre a:
 - un pozzetto schermato per la conservazione dei foil attivati (50 mm di Pb)
 - un piano di lavoro decontaminabile con pannello in vetro piombato (10 mm di Pb)



AIRLOCK

- Locale richiesto per assicurare un graduale passaggio tra aree poste a diversi regimi di pressione e di purezza dell'aria
- Contiene:
 - indumenti aggiuntivi (coprimaniche, sovrascarpe) indispensabili all'attività in locale Radiofarmacia



RADIOFARMACIA

- la cella contenente il modulo di sintesi
- la cella di frazionamento
- due banchi di lavoro:
 - HPLC
 - cappa a flusso laminare
- un frigorifero per la conservazione dei farmaci
- un armadio per solventi infiammabili
- un contenitore per rifiuti solidi radioattivi
- varia strumentazione da laboratorio



CONTROLLI QUALITÀ

- una cappa per radiochimica posta in corrispondenza di un banco di lavoro schermato
- il sistema a cromatografia su strato sottile (TLC)
- un osmometro
- il sistema di purezza dei precursori
- il sistema di spettrometria gamma



CLASSIFICAZIONE DELLE ZONE

- Norme relative ai laboratori (rischi di contaminazioni crescenti da A a D):
 - A: (diff. di 10-20 Pa) altri locali
 - B: (diff. di 30-60 Pa) locale ciclotrone e radiochimica
 - C: (diff. di 100 Pa) celle contenenti il modulo di sintesi
- Norme di **radioprotezione**:
 - zone controllate: laboratorio di radiochimica e ciclotrone
 - zone sorvegliate: sala comandi, zona di accesso, airlock, controlli qualità, locale tecnico e montacarichi

UN IMPIANTO SICURO

- Al fine di ottenere elevate garanzie di sicurezza, l'installazione ha previsto:
 - Sistema di ventilazione con mantenimento di regimi di pressioni preassegnate
 - Sistema di monitoraggio della radioattività ambientale
 - Sistema di rilevazione incendi
 - Sistema di rilevazione di gas



VENTILAZIONE

- E' stato creato un sistema di ventilazione al fine di:
 - contenere un'eventuale contaminazione dell'aria
 - mantenere un regime di purezza
- Filtrazione:
 - di scarico: filtri ad alta efficienza appropriati
 - di entrata: filtri per ridurre il carico di polvere
- Flusso dell'aria:
 - diretto dalle zone a minor contaminazione potenziale a quelle di maggior contaminazione potenziale

SISTEMA ANTINCENDIO

- In tutti i locali: impianto di rilevazione incendio che fa capo a una centralina in sala comandi che riferisce alla portineria, costituito da:
 - Rivelatori ottici di fumo
 - Pulsanti allarme incendio
- Segnalatori **ottici** e **acustici**
- In caso di allarme:
 - Blocco dei gas tecnici, produttore idrogeno e aria compressa
 - Arresto ventilazione ambiente
 - Chiusura serrande tagliafuoco



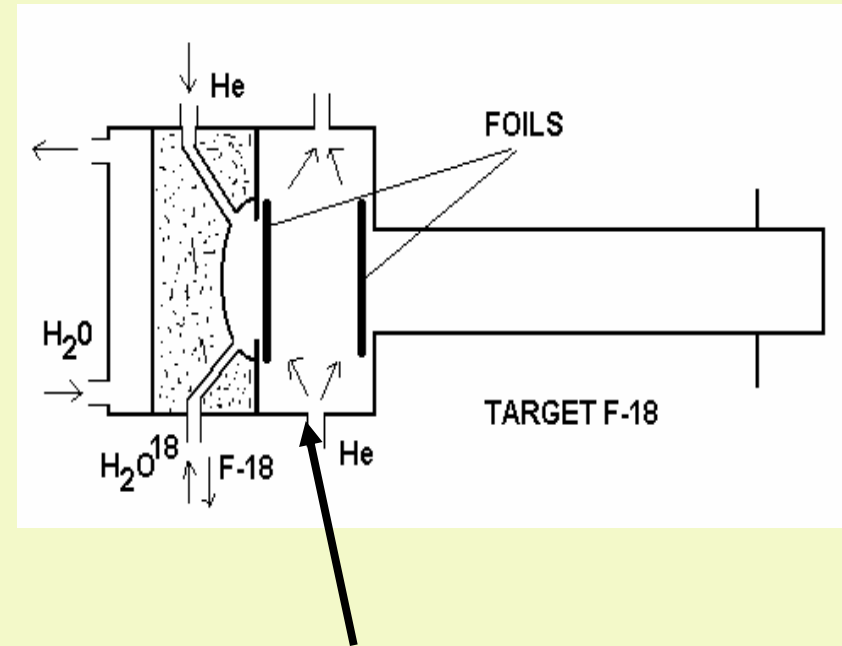
EROGAZIONE DEI GAS

- Nei locali: radiofarmacia, controllo qualità, ciclotrone
- Gas per:
 - Alimentazione sorgente di ioni (H_2)
 - Raffreddamento dei bersagli (He)
 - Alimentazione e trasporto dei bersagli (He)
 - Funzionamento del modulo di sintesi (azoto)
 - Controlli di qualità (argon metano)
- Derivano dal deposito bombole esterno



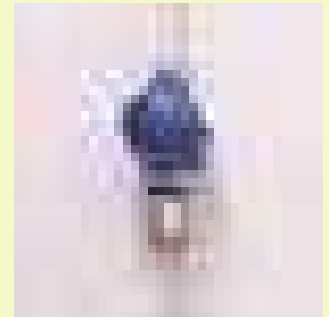
RAFFREDDAMENTO

- L'energia posseduta dal fascio di particelle cariche viene dissipata come calore
- Raffreddamento ad acqua e ad elio (1.3 bar: raffredda i due fogli di separazione)



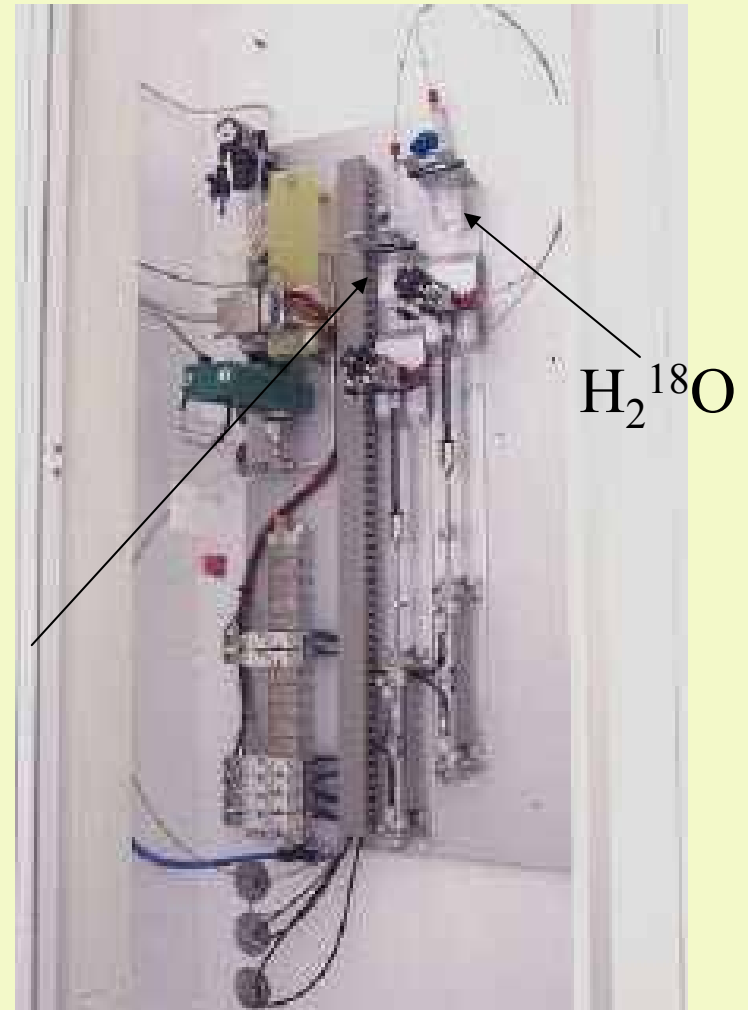
RILEVAZIONE GAS

- Rivelatori sensibili ai gas presenti in ogni dato ambiente
 - rivelatore percentuale di ossigeno in aria
 - rivelatore idrogeno
 - rivelatore metano
- Allarme ottico e acustico
 - Chiusura elettrovalvole gas e compressore per aria
 - Interruzione alimentazione elettrica al produttore di idrogeno



TRASPORTO

- Per movimentare le valvole e far fluire i liquidi nel target e dal target verso le celle del modulo di sintesi
- Viene usato elio a 5 bar H_2^{16}O



RADIOATTIVITÀ AMBIENTALE

- Radiazioni:
 - 9 coppie di sonde GM: 2 in ciclotrone, 7 in radiochimica (2 nel modulo di sintesi, 2 nel frazionamento, 1 nella cappa di manipolazione, 2 controllo ambientale), 2 nei controlli di qualità
- Radioattività in aria:
 - Beacker di **Marinelli** (NaI (Tl)); prelievo tramite pompa da: ciclotrone, radiochimica, condotto di espulsione
- Rivelatori gestiti da un PC:
 - Acquisizione in tempo reale
 - Associazione alla postazione di misura e al momento dell'acquisizione



ORDINI DI GRANDEZZA

- Il rate di equivalente di dose del fondo ambientale è: 0.10 Sv/h
- Per legge il limite di dose per le persone del pubblico è di 1 mSv in un anno
- Il limite di dose per i lavoratori esposti di categoria A è 20 mSv
- La dose per una radiografia al torace è: 0.07 mSv
- Per 10 mCi di FDG iniettato, la dose efficace è di 10 mSv



FASE DI BOMBARDAMENTO: MISURE DI FOTONI E NEUTRONI

- **FOTONI** → Livello di intensità massimo ad altezza di 1 m:
 - zona del target, 30uA su H_2^{18}O , misura a contatto della macchina;
 - pari a 7.2 Sv/h.
- **NEUTRONI** → livello di intensità massima ad altezza 1m:
 - 30uA su H_2^{18}O , misura a contatto con la superficie esterna della macchina;
 - Pari a 38uSv/h sulla parete sinistra (media sulla parete: 15uSvh)

FASE DI SINTESI DEL FARMACO



Misure di emissione
fotonica a contatto con
la cella di sintesi (max:
3 Sv/h)

Misure di emissione
fotonica a 50 cm di
distanza dalla cella di
sintesi (max 0.6 Sv/h
a 50 cm di altezza)

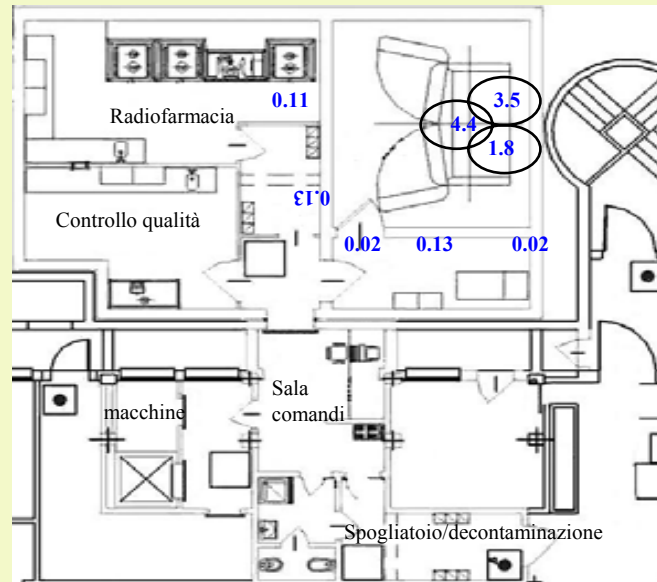
DOSE AL PERSONALE

- Il personale coinvolto nelle diverse attività relative all'impianto è classificato esposto di categoria A
- Rilievi di dose efficace al corpo intero e alle estremità di operatori dell'U.O. ciclotrone.

Figura professionale	Dose efficace anno 2001	Dose efficace anno 2002	Dose efficace anno 2003	Dose equivalente alle estremità anno 2001	Dose equivalente alle estremità anno 2002	Dose equivalente alle estremità anno 2003
	Sv	Sv	Sv	Sv	Sv	Sv
Radiochimico	-	352	143	-	3618	23095
TSRM	1856	1178	1652	16176	30600	9098
Fisico	173	417	257	629	553	138
Perito Fisico	852	670	296	1025	260	137

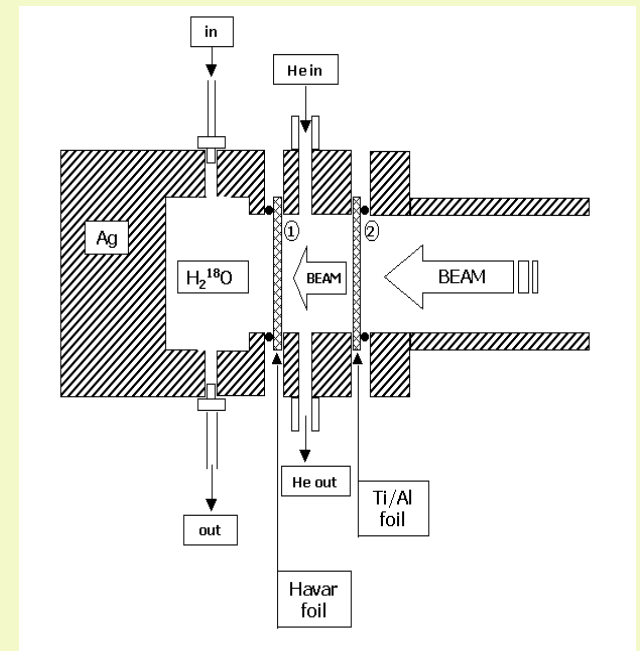
DOSE ALLA POPOLAZIONE

- Mappatura valori di intensità di dose locali adiacenti al ciclotrone in fase di bombardamento
- Non si verifica alcuna esposizione esterna del pubblico a campi γ o neutronici.



MASSIMO INCIDENTE IPOTIZZABILE

- Rottura del target:
 - il sistema di pompe preleva il materiale radioattivo e lo deposita nella camera di accelerazione
 - la radioattività resta confinata in luogo schermato



CONCLUSIONE

- Secondo i rilievi effettuati e nel normale esercizio della macchina acceleratrice si evince che né per la popolazione né per i lavoratori esposti vengono superati i limiti di dose equivalente e dose efficace previsti dalla vigente legislazione (D.L.vo 241/00 allegato IV)
- L'impianto così progettato è dunque sicuro e funzionale per l'ambito ospedaliero.

Grazie per l'attenzione !

