



Sviluppo di tecnologie per il vuoto e progettazione di acceleratori di particelle, studi di scienza dei materiali

Andrea Liedl

(INFN-LNF, Frascati, Rome, Italy)

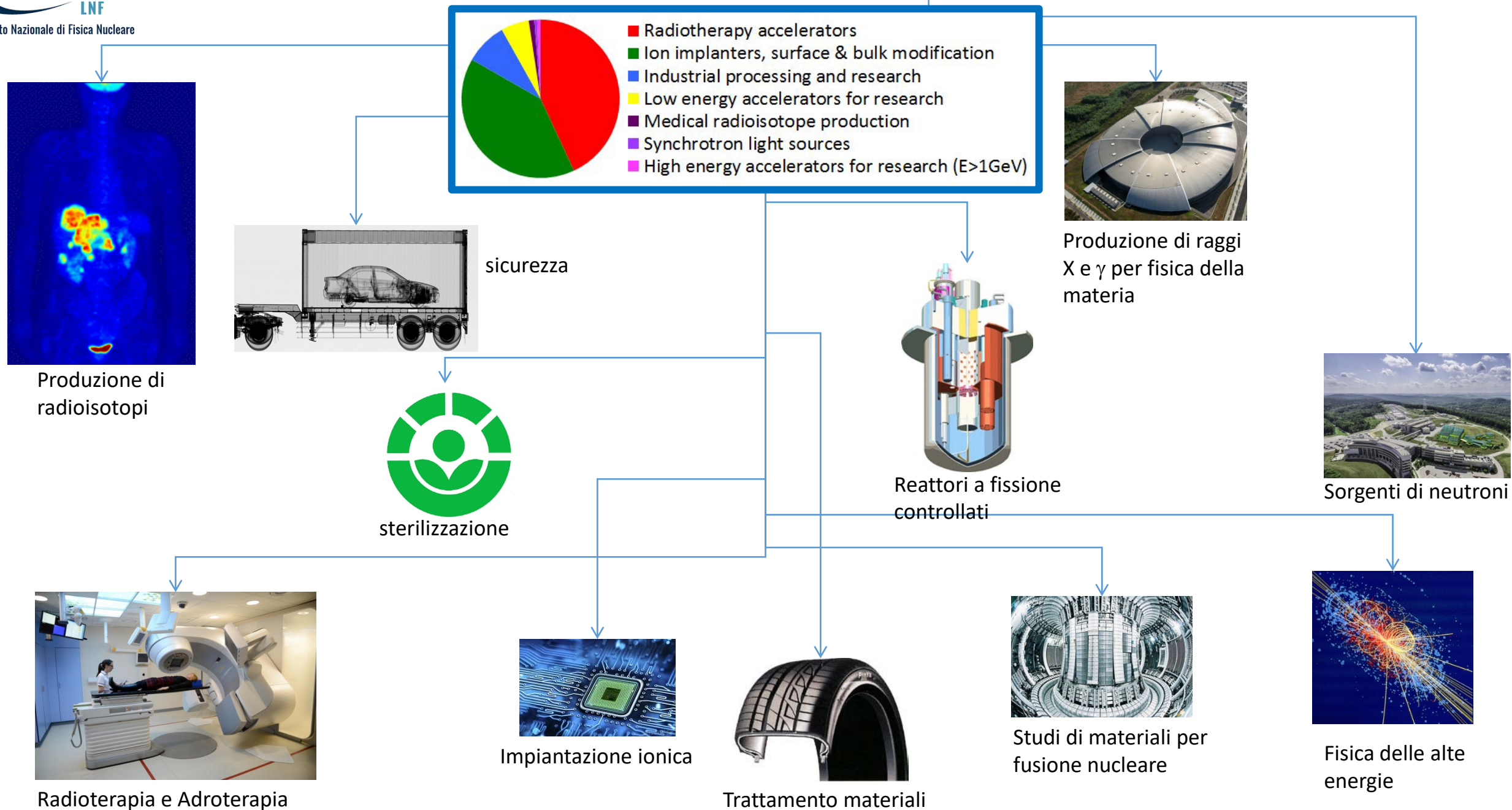
Slides courtesy of David Alesini

(INFN-LNF, Frascati, Rome, Italy)

OUTLINE

- 1) **ACCELERATORI DI PARTICELLE**
- 2) **VUOTO E ULTRA ALTO VUOTO (UHV)**
- 3) **PERCHÉ ABBIAMO BISOGNO DI UHV IN ACCELERATORI DI PARTICELLE:**
- 4) **SISTEMI DA VUOTO (POMPAGGIO, MISURE DI VUOTO, CARATTERIZZAZIONE)**
- 5) **TECNOLOGIE E MATERIALI PER ACCELERATORI DI PARTICELLE**
- 6) **RECENTI REALIZZAZIONI DI COMPONENTI DA VUOTO PER ACCELERATORI PRESSO LNF**
- 7) **NUOVI IMPIANTI PER MISURE DI VUOTO E BRASATURE ANCHE APERTI ALLE INDUSTRIE PRESSO I LNF: PROGETTO LATINO**

A COSA SERVONO GLI ACCELERATORI DI PARTICELLE?



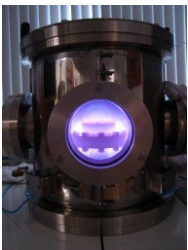
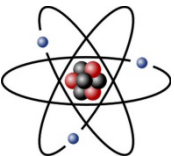
COME FUNZIONANO GLI ACCELERATORI DI PARTICELLE?

Un acceleratore di particelle può essere considerato come un **dispositivo che trasferisce energia a particelle cariche** (elettroni, protoni, ioni,...) attraverso **campi elettro-magnetici**.

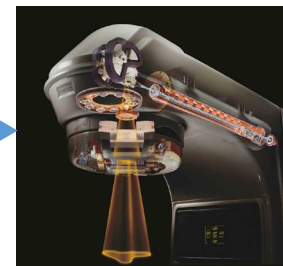
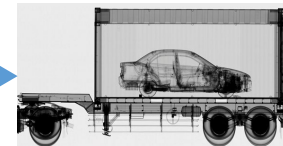
SORGENTE

ACCELERATORE

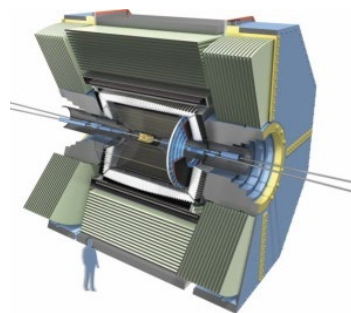
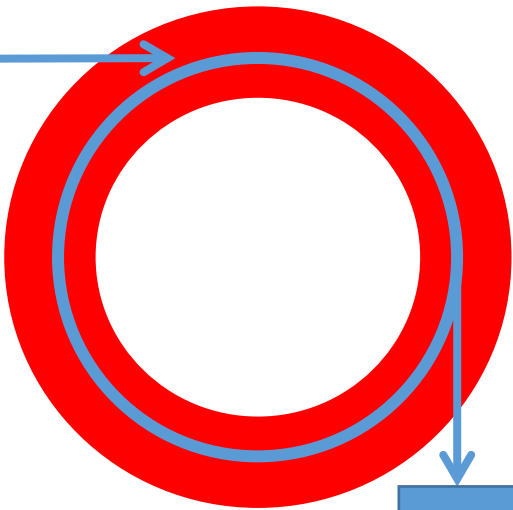
UTILIZZATORE



Campi Elettrici ⇒ **ACCELERAZIONE**
Campi Magnetici ⇒ **DEFLESSIONE**

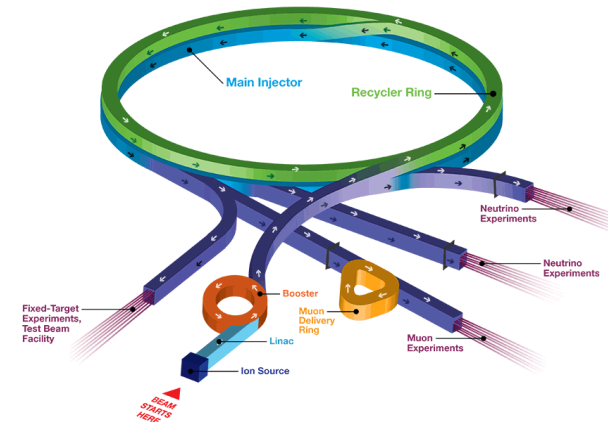


SORGENTE



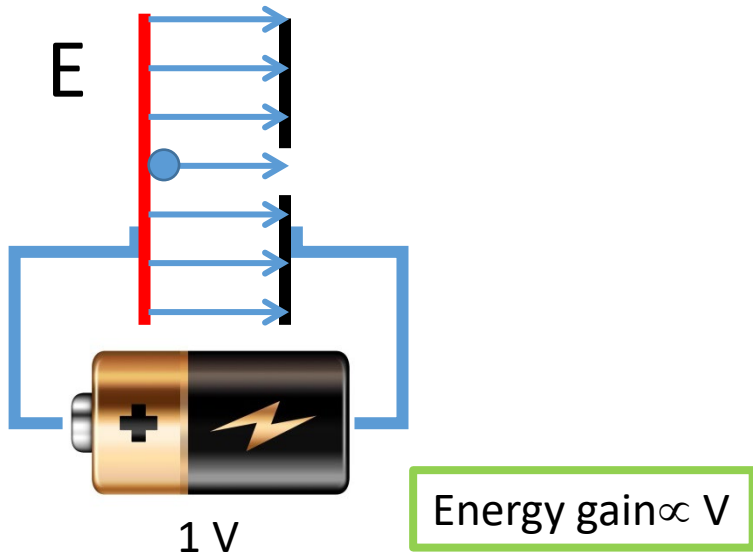
UTILIZZATORE

Fermilab Accelerator Complex

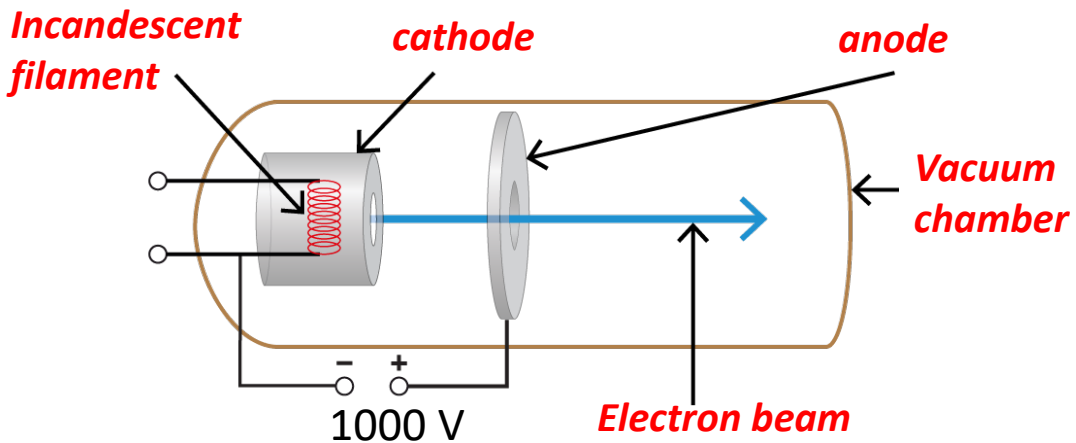


ACCELERAZIONE: CAMPI ELETTRICI

Particles are accelerated through **electric fields**

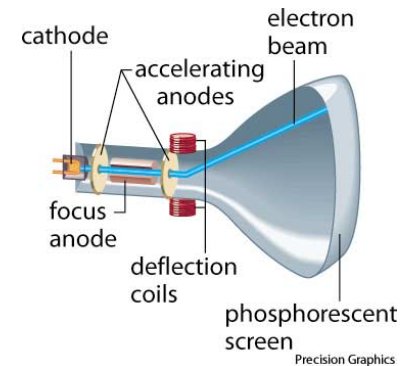


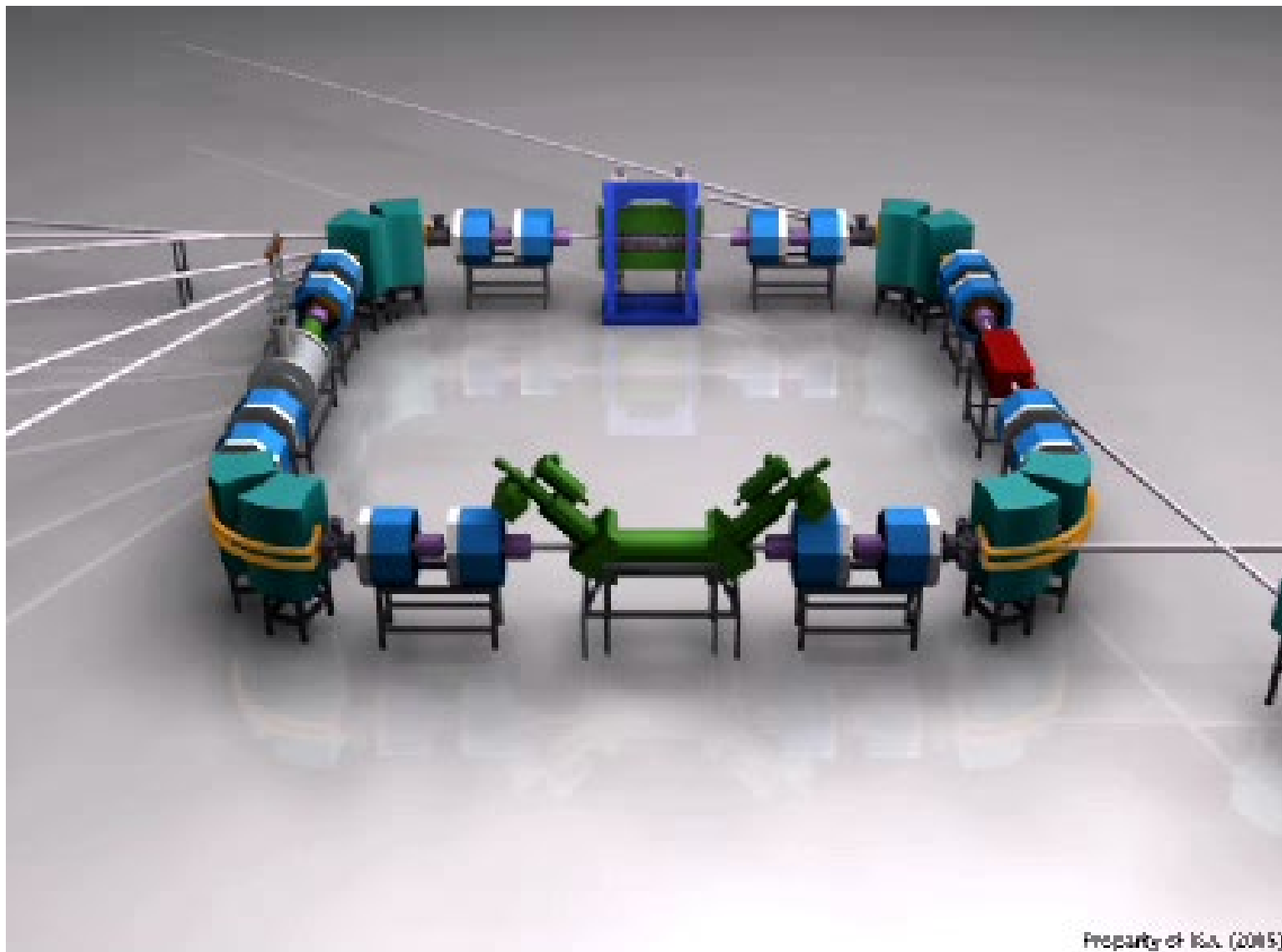
$10^9 - 10^{10}$ V



100-200 V

10^5 V





Property of IFA. (2015)

<http://www.isa.au.dk/animations/animations.asp>

COSA E' IL VUOTO?

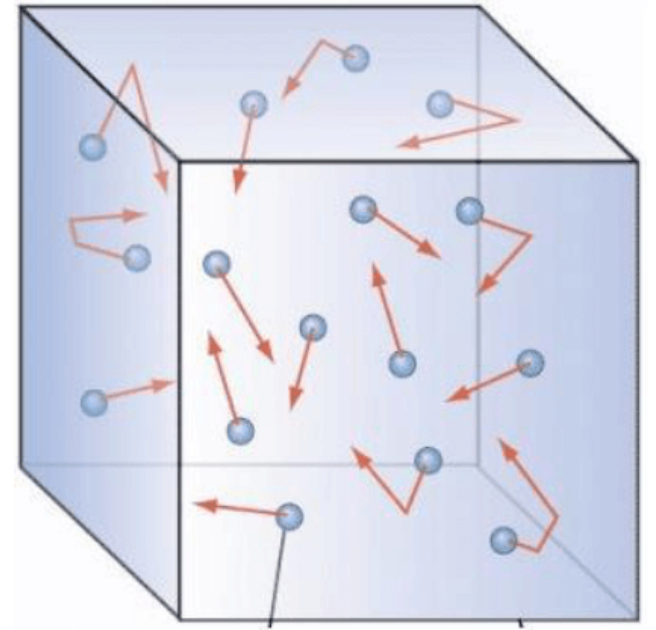
⇒ Si definisce Vuoto la **situazione fisica in cui la pressione è inferiore a quella atmosferica** ($\approx 1 \text{ atm} \approx 10^5 \text{ Pa} \approx 10^3 \text{ mbar} \approx 760 \text{ Torr}$)

⇒ Il vuoto (più o meno spinto) **esiste in natura:**

- sulla superficie lunare la pressione è di circa $10^{-6} \text{ Pa} = 10^{-8} \text{ mbar}$,
- nello spazio interstellare la pressione è talmente bassa che si preferisce dare la densità di molecole per m^3 , pari a circa 1 molecola/ cm^3 . Come confronto, a pressione e temperatura ambiente, abbiamo circa 10^{19} molecole per cm^3

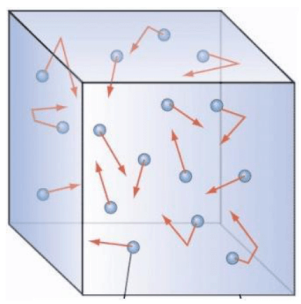
⇒ Negli **acceleratori di particelle** con una $P \approx 10^{-10} \text{ mbar}$ abbiamo ancora circa 10^6 molecole per cm^3 (il vuoto non è vuoto!)

⇒ il vuoto può essere **prodotto artificialmente** per scopi industriali o scientifici. Oggi i modi per produrre e misurare il vuoto hanno assunto grande importanza nella moderna tecnologia in svariati campi (industria microelettronica, alimentare, metallurgica, farmaceutica ...)



MISURE DI PRESSIONE E LIVELLI DI VUOTO

Atmospheric pressure ~1000 mbar



	Torr	mbar	Pa	micron	psi	atm
1 Torr	1	1,33	133	1000	$1,9 \times 10^{-2}$	$1,32 \times 10^{-3}$
1 mbar	0,751	1	100	750	$1,4 \times 10^{-2}$	9×10^{-4}
1 Pa	$7,51 \times 10^{-3}$	1×10^{-2}	1	7,5	$1,4 \times 10^{-4}$	9×10^{-6}
1 micron (mTorr)	1×10^{-3}	$1,3 \times 10^{-3}$	$1,3 \times 10^{-1}$	1	$1,9 \times 10^{-5}$	$1,3 \times 10^{-6}$
1 psi (a) <small>(libbre per pollice quadro)</small>	51,72	68,96	$6,89 \times 10^3$	$5,17 \times 10^4$	1	7×10^{-2}
1 atm	760	1013	$1,01 \times 10^5$	$7,6 \times 10^5$	14,7	1

Extreme UltraHigh Vacuum (XHV) $\sim 10^{-12}$ mbar



Low Vacuum (LV)

Medium Vacuum (MV)

High Vacuum (HV)

Very High Vacuum (VHV)

Ultra High Vacuum (UHV)

30 to 10^3 mbar

10^{-3} to 30 mbar

10^{-3} to 10^{-6} mbar

10^{-6} to 10^{-9} mbar

10^{-9} to 10^{-12} mbar

Industrials Scope

Particles Accelerator - $P \sim 10^{-8}$ - 10^{-11} mbar

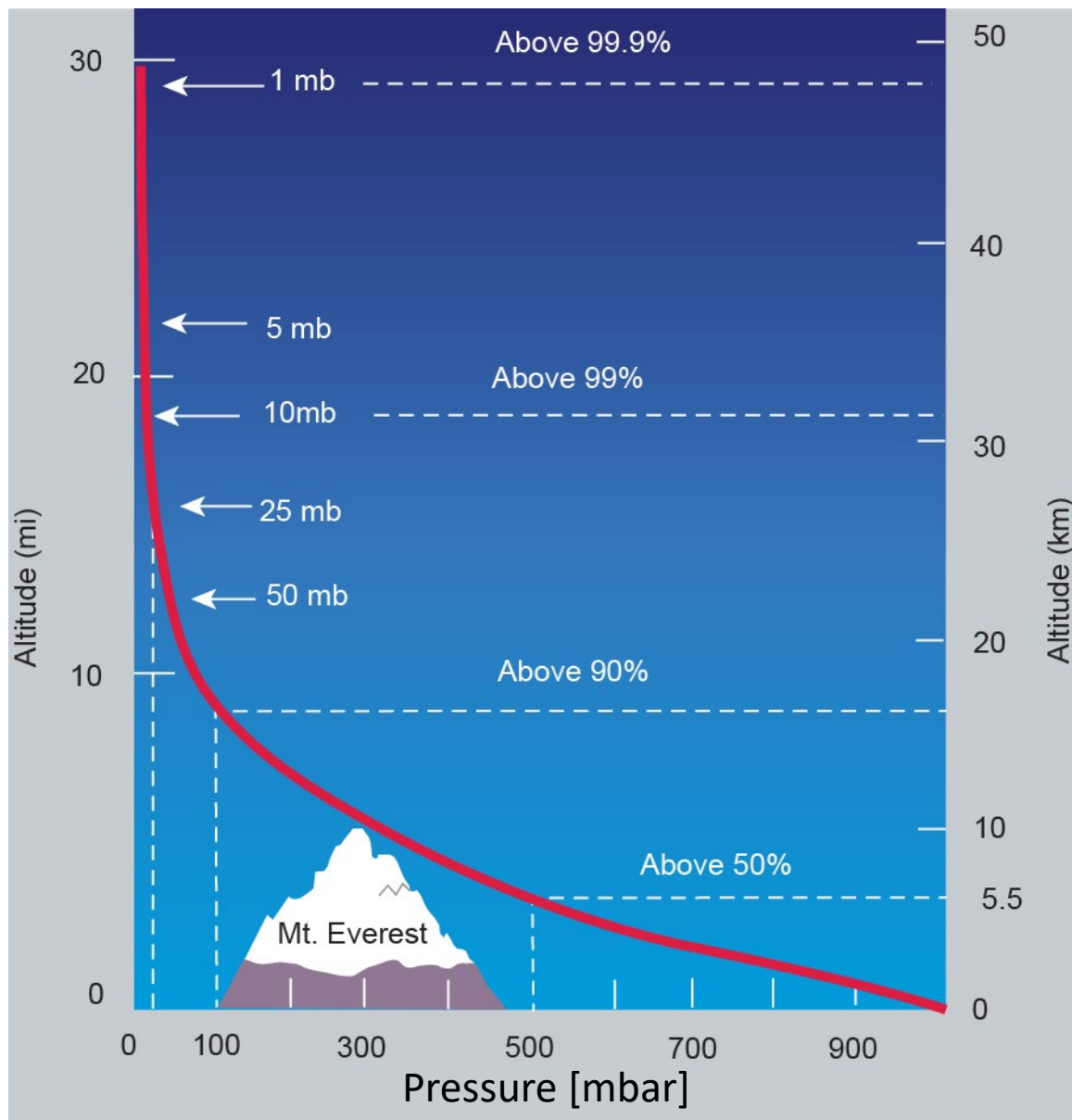


NB: $P = 10^{-10}$ mbar $\sim 10^6$ molecules/cm³ !

1 cm³ of air at atmospheric pressure contains about 10^{19} molecules



PRESSIONE IN ATMOSFERA



UTILIZZI DEL VUOTO

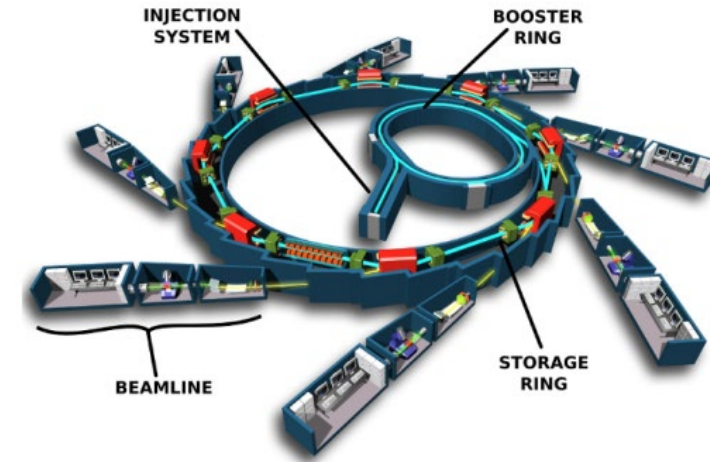
- a) **impedire processi chimico-fisici causati dall'azione dei gas atmosferici** (per es. durante la fusione di particolari metalli reattivi, come il Ti)
- b) **accrescere notevolmente il libero cammino medio delle molecole di gas o vapori** onde permettere alle molecole, atomi o ioni di raggiungere una superficie o un bersaglio opportuno, senza urti con molecole estranee (ad es. nei processi di metallizzazione sotto vuoto e nelle macchine acceleratrici di particelle).
- c) **favorire l'isolamento termico** (per es. nei dewars)
- d) **eliminare i gas disciolti o certe sostanze contenute in un dato materiale** (per es. degassazione di oli e liofilizzazione)
- e) **ridurre la concentrazione di uno o più gas particolari al di sotto di un livello critico** (per es. riduzioni di O₂, H₂O e idrocarburi in tubi elettronici).
- f) **simulare particolari situazioni fisiche** (camere di simulazione spaziale per prove su satelliti e navi spaziali).

VUOTO IN ACCELERATORI DI PARTICELLE

1) **Macchine circolari come sincrotroni, collisori (multi-passaggio, alta corrente)**

L'interazione tra il gas residuo e il fascio di particelle può avere diversi effetti:

- **riduzione della vita media** (a causa della dispersione elastica e anelastica)
- **instabilità del fascio di particelle**
- **variazione dei parametri di macchina** (tuno....)
- **Aumento delle dimensioni trasverse del fascio** (emittanza)
- **Aumento del fondo per rivelatori**

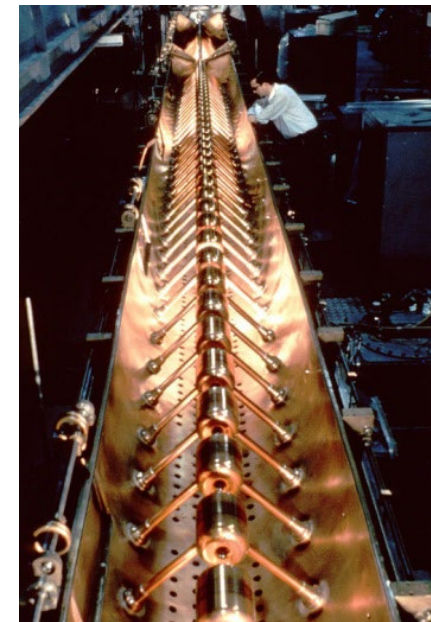


Typical vacuum pressures in synchrotrons are 10^{-9} - 10^{-11} mbar

2) **Acceleratori lineari (a passaggio singolo, corrente relativamente bassa)**

- requisiti di vuoto sono **meno esigenti a causa del passaggio singolo** (nessun effetto cumulativo) e della minore corrente media.
- Aumento dell'**emittanza**
- **Scariche elettriche in strutture acceleranti** ad alto gradiente (10-100 MV/m)
- **Contaminazioni di bersagli, catodi...**

Typical vacuum Pressures are 10^{-8} - 10^{-10} mbar



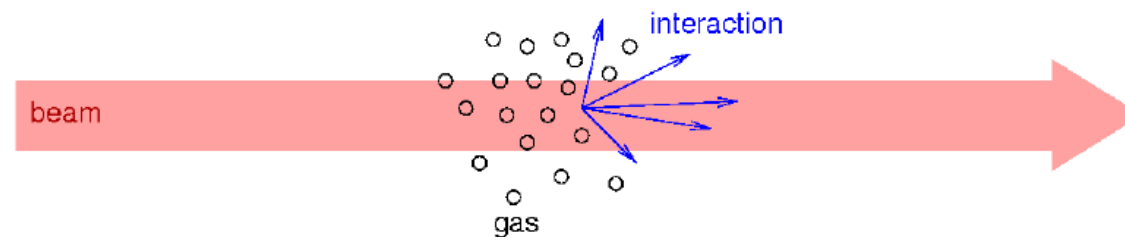
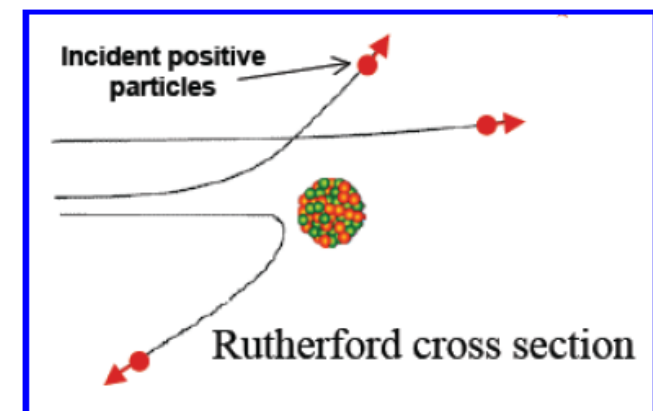
COLLISIONI (SCATTERING) DI FASCI DI PARTICELLE CON GAS



⇒ Number of particle lost is proportional to the number of beam particles

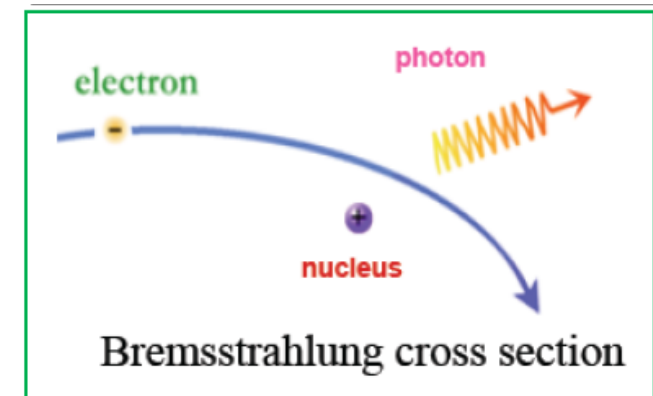
$$(dN = -1/\tau N(t) dt)$$

⇒ Then beam current decays $I = I_0 e^{-t/\tau}$ (τ =beam lifetime)



Elastic (Coulomb scattering) alters transverse motion and excite betatron oscillations

The particles are lost when the **oscillation amplitude** exceeds physical (or dynamical) acceptance aperture



Inelastic scattering (Bremsstrahlung) causes particles to loss energy

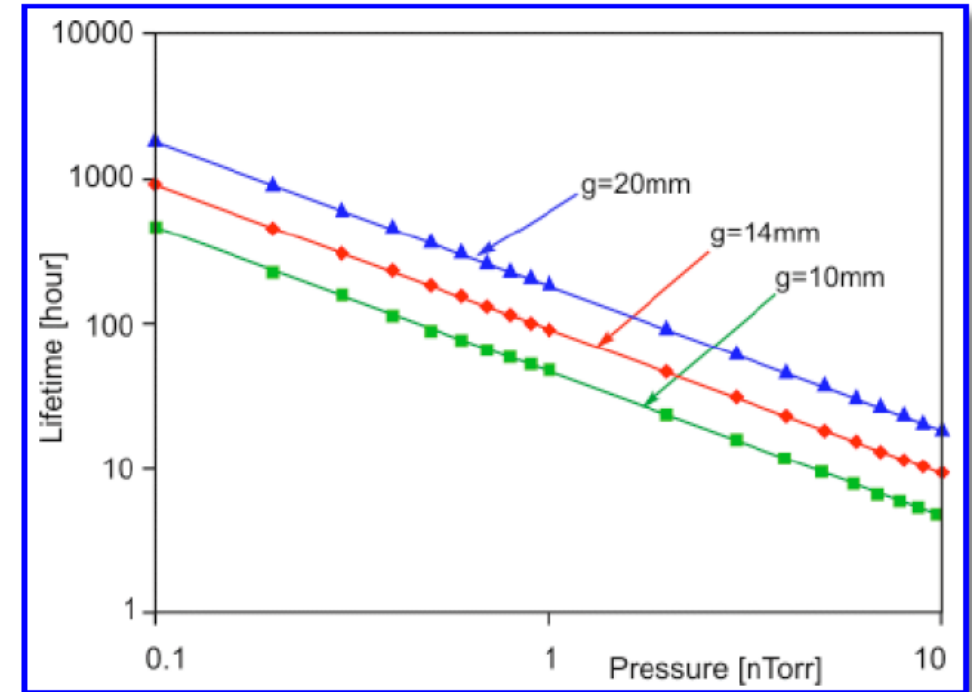
The particles are lost if the energy loss exceeds the energy acceptance of the ring

INTERAZIONI FASCIO-VUOTO: VITA MEDIA

- ⇒ Elastic and inelastic scattering have similar contribution to the electron beam losses in a storage rings
- ⇒ Both beam loss mechanisms have strong dependence on atomic numbers (Z_i) of the gases, they are **proportional to the size of the gas molecules** (N_i the number of atoms per molecule).
- ⇒ For storage ring vacuum systems, average pressure **<10⁻⁹ mbar** is usually sufficiently so that beam losses due to the residual gas scattering processes are negligible, comparing to beam beam effects

$$\frac{1}{\tau_{el}[h]} = 0.272 \frac{1}{E^2 [GeV^2]} \frac{\langle \beta_y \rangle [m]}{A_y^{\min} [mm]} \cdot \frac{P [nTorr]}{T [K]} \sum_i^n Z_i^2 N_i f_i$$

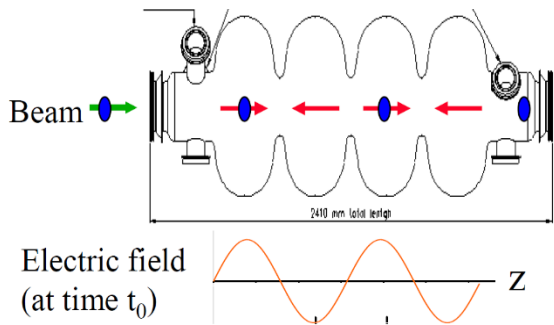
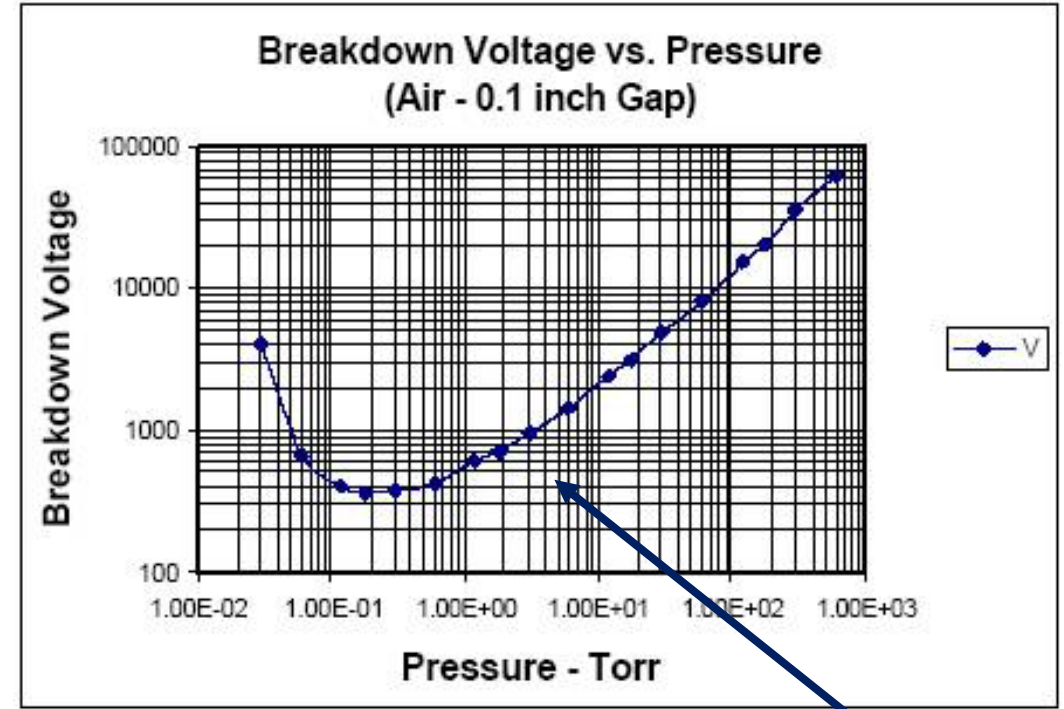
Courtesy Y. Li and X. Liu



Beam energy=3 GeV, $\langle \beta_y \rangle = 10m$,
smallest gap in the ring,
g=10, 14 and 20 mm
($A_y = (g/2)^2 / \beta_y$).

FENOMENI DI SCARICA ELETTRICA

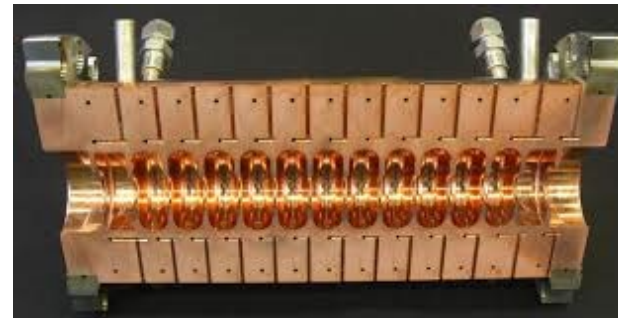
- ⇒ The RF cavities are **metallic closed volumes** where the e.m fields has a particular spatial configuration (**resonant modes**) whose components, including the accelerating field, oscillate at some specific frequency f_{RF} (resonant frequency) characteristic of the mode.
- ⇒ Accelerating field are typically from 1 up to 100 MV/m
- ⇒ **Vacuum is required to avoid breakdown** due to residual molecules



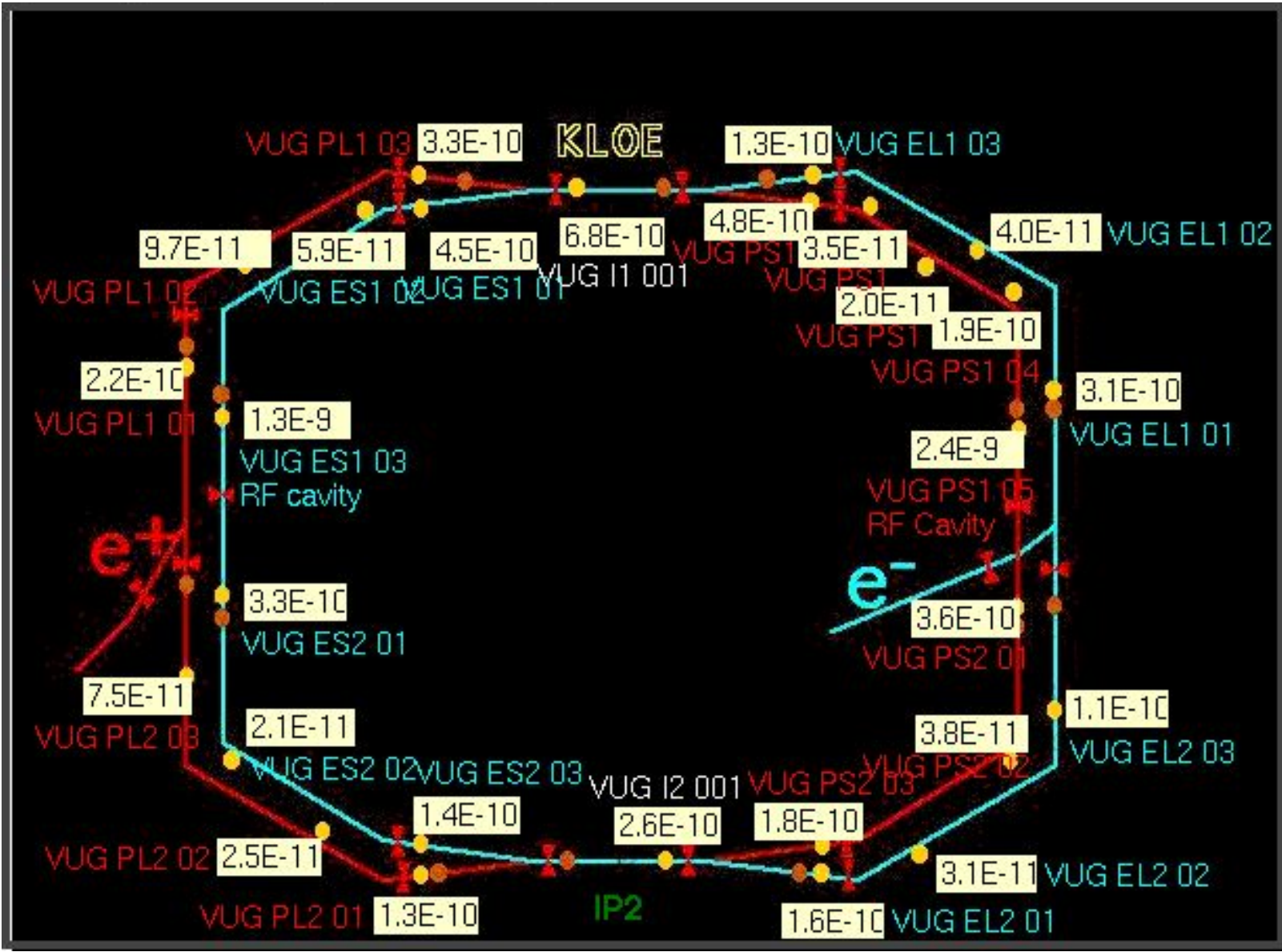
Superconducting (Nb)



Normal conducting (Cu)

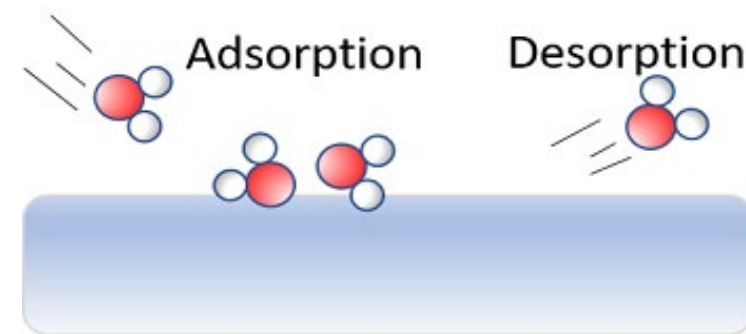


ACCELERATOR VACUUM: DAΦNE EXAMPLE



COME SI OTTIENE IL VUOTO

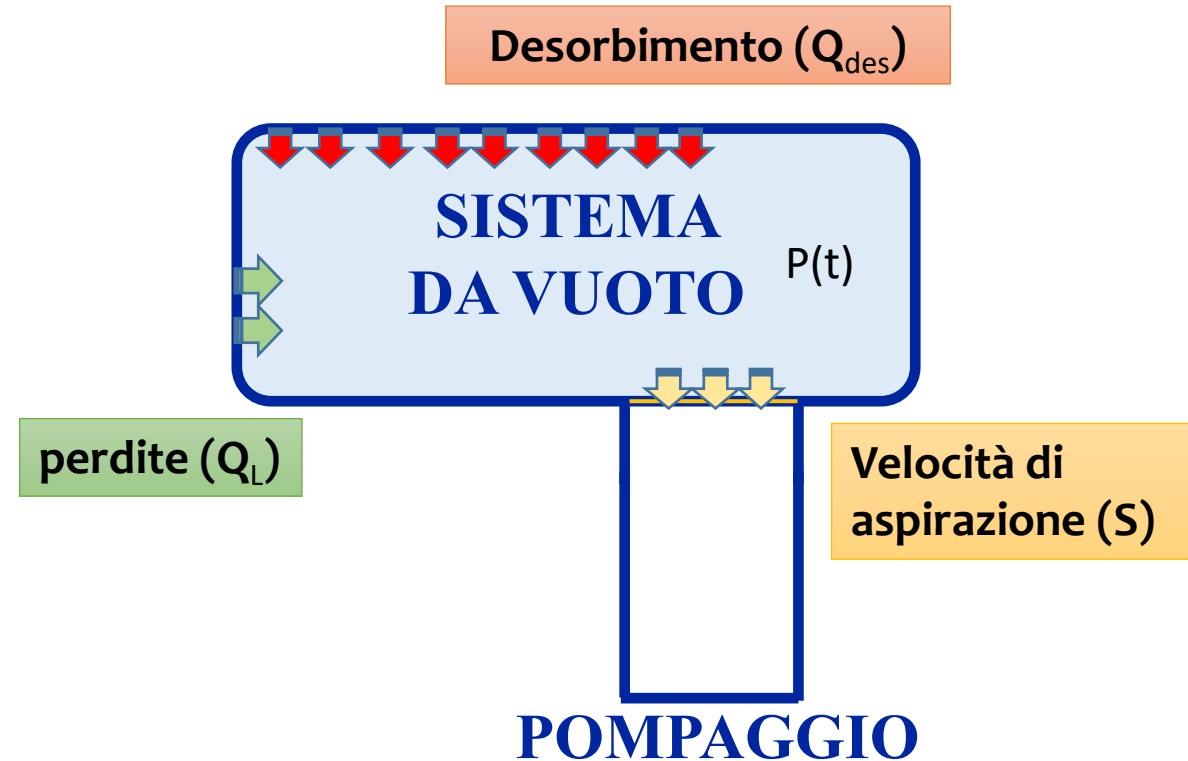
- ⇒ Condizioni di vuoto più o meno spinto si possono raggiungere in un **volume limitato dello spazio**, da qualche cm^3 , come nelle **lampadine**, fino a qualche centinaio di m^3 come nei **grandi acceleratori di particelle**.
- ⇒ Per ottenerlo, è necessario utilizzare particolari dispositivi, detti **pompe da vuoto**. Tali dispositivi possono **“trasportare” le molecole** dalla camera in cui si desidera creare il vuoto, verso l'esterno (come le pompe scroll, rotative o turbomolecolari) oppure possono, con processi chimico-fisici, **intrappolare le molecole** di gas residuo (come le pompe ioniche o a sublimazione di titanio).
- ⇒ E' da notare il fatto che, un **qualunque materiale, sottovuoto, rilascia continuamente molecole di gas dalla sua superficie** verso la camera da vuoto (**fenomeno di desorbimento**) ed è pertanto necessario un **sistema di pompaggio continuo** per mantenere la condizione di vuoto, in caso contrario la pressione aumenterebbe.
- ⇒ in ogni caso la **pressione finale è il risultato dell'equilibrio** tra il sistema di pompaggio e il desorbimento delle camere da vuoto.
- ⇒ Per limitare il desorbimento eccessivo delle camere da vuoto si devono utilizzare particolari **materiali come acciaio o alluminio o rame, che devono essere adeguatamente trattati e puliti**.
- ⇒ Il rilascio di gas è anche causato dal **fascio di particelle** accelerato che “espelle” ioni dalla superficie (**desorbimento**)



SORGENTI DI GAS

Q su misura in mbar/(l/s)
 S in l/s
 P mbar

- ⇒ Un **sistema da vuoto** è costituito da camere, tubi, dispositivi e unità di pompaggio (con velocità di pompaggio S);
- ⇒ Sia le camere, tubazioni e componenti ed eventuali perdite (da evitare) **immettono gas** (con carico gas Q);
- ⇒ La pressione finale è $P=(Q_L+Q_{des})/S$;
- ⇒ Nella maggior parte degli acceleratori, i **carichi di gas indotti dal fascio** (ioni, elettroni, desorbimento indotto da fotoni) dominano
- ⇒ È sempre previsto un **periodo di condizionamento** per l'avvio di sistemi per vuoto con acceleratore con nuovi componenti.
- ⇒ la **corretta selezione e preparazione del materiale** (come la cottura al forno) è la chiave per ridurre il periodo di condizionamento.



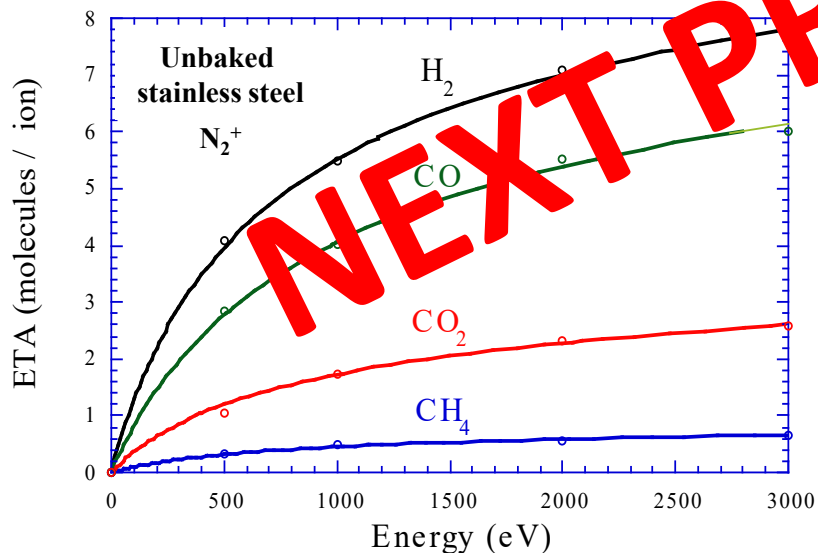
$$q_{acciaio} \sim 10^{-10} - 10^{-12} \text{ mbar} \cdot \text{l/s} \cdot \text{cm}^2 = 10^7 - 10^9 \text{ molecole/s} \cdot \text{cm}^2$$

DESORBIMENTO INDOTTO DA FASCI DI PARTICELLE

- ⇒ In particle accelerators, **energized particles** (ions, electrons and photons) may impinge on vacuum vessel interior walls, and **induce desorption of adsorbed molecules**
- ⇒ Desorbed species are dominated by **neutral atoms and molecules**;
- ⇒ **Desorption Yield** is the number of desorbed molecules (N_m) of a given gas species per incident particle (N_i): $\eta = N_m/N_i$. With “conditioning” the yield of induced desorption decreases with accumulated dose.

Ion Induced Desorption (IID)

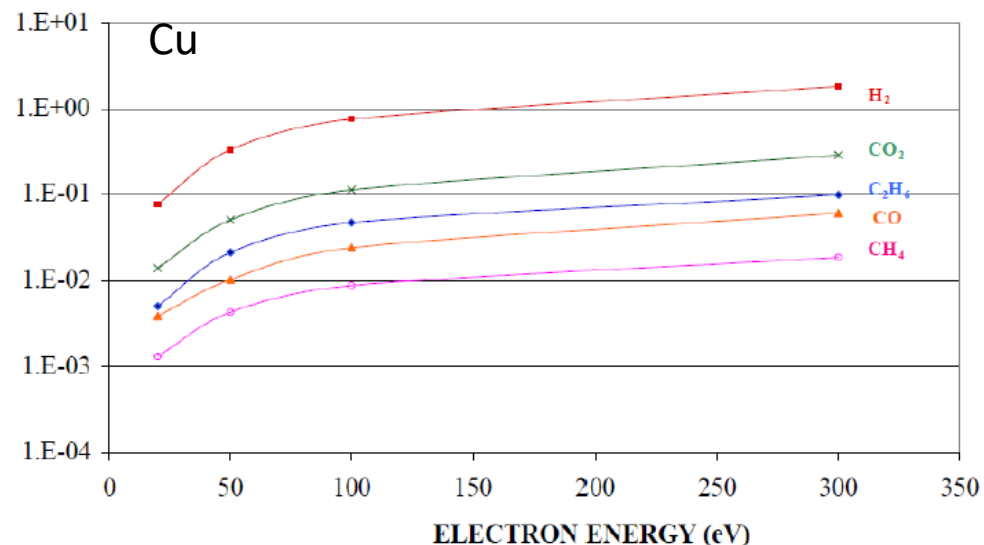
- Ions are created by residual gases, and accelerated towards wall by the beam field
- Direct beam loss of ion beam
- very high yield



A.G. Mathewson, CERN ISR-VA/76-5

Electron Induced Desorption (EID)

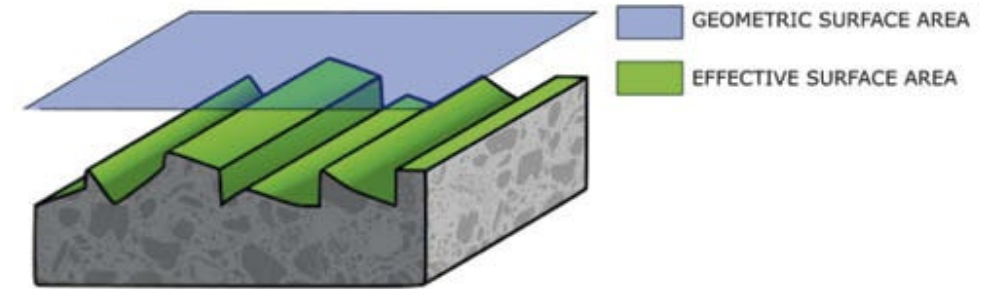
- Largely studied in accelerator community (electron cloud effects)
- Much lower yield as compared to IID



F. Billard, et al, Vac. Tech. Note 00 32 (CERN, Geneva, 2000)

CAMERE DA VUOTO

- ⇒ il sistema di pompaggio viene utilizzato per rimuovere l'aria presente nella camera di lavoro nelle **fasi iniziali del processo di svuotamento** (le pompe provvedono a rimuovere l'aria presente, composta principalmente da azoto, ossigeno, argon, vapore acqueo,...)
- ⇒ A regime, a dominare il flusso di specie gassose gestito dalle pompe non è più il gas presente nel volume della camera all'inizio del processo, ma quello generato dal **fenomeno di desorbimento** generato dal rilascio di specie volatili dalle superfici interne della camera a vuoto. Ad esempio le **molecole di acqua** derivanti ad esempio dall'umidità atmosferica, si possono ancorare allo strato interno della camera formando uno strato pressoché uniforme.
- ⇒ Le molecole in questione, sono fortemente legate alla superficie su cui si trovano, per cui distaccarle dalla stessa richiede un certo tempo ed un certo sforzo. Nella pratica, **serve un certo tempo di esposizione ad un grado di vuoto sufficiente affinché le molecole (ad esempio di acqua) si distacchino dalla superficie metallica**, per essere quindi rimosse dalle pompe.



Il **processo può essere accelerato riscaldando la camera a vuoto** ad una temperatura di almeno 100-400 °C, per favorire la cinetica di rilascio: ciò è possibile purché il materiale da trattare non subisca deterioramenti a causa della temperatura presente.

La **rugosità aumenta l'area superficiale effettiva**, rispetto a quella nominale ed è per questo che la rugosità delle superfici per acceleratori di particelle deve essere spinta ($<0.3-0.5 \text{ Ra}$ $<300-500 \text{ nm}$)

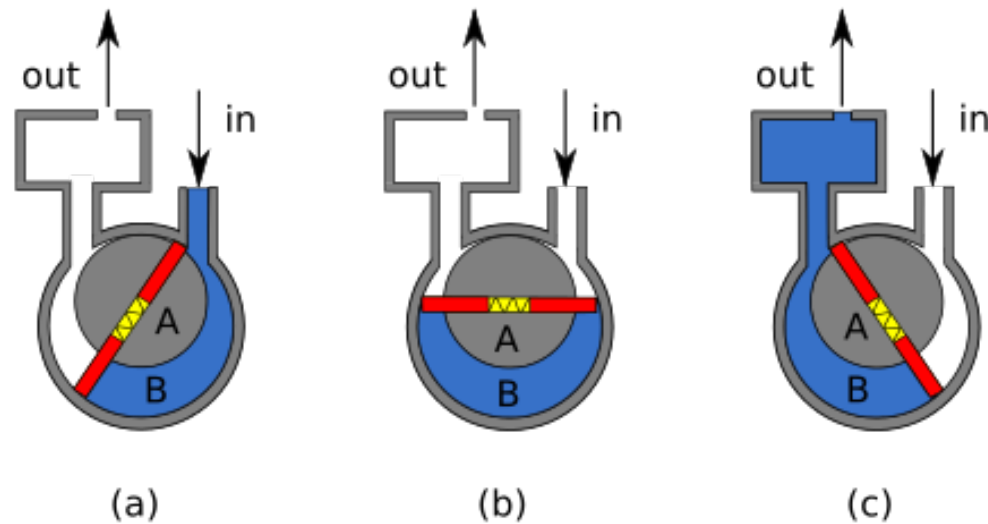
SISTEMI DI POMPAGGIO MECCANICO PRIMARIO

Nei sistemi di **pompaggio meccanico** il gas viene fisicamente estratto dalla camera con varie tecniche. I sistemi che tipicamente si utilizzano sono completamente **“oil free”** ovvero non utilizzano nessun sistema che prevede l'uso di olio nel pompaggio.

Questo ha lo scopo di evitare qualunque tipo di contaminazione da idrocarburi delle camere da vuoto.

La più comune pompa meccanica che utilizziamo è la **scroll**.

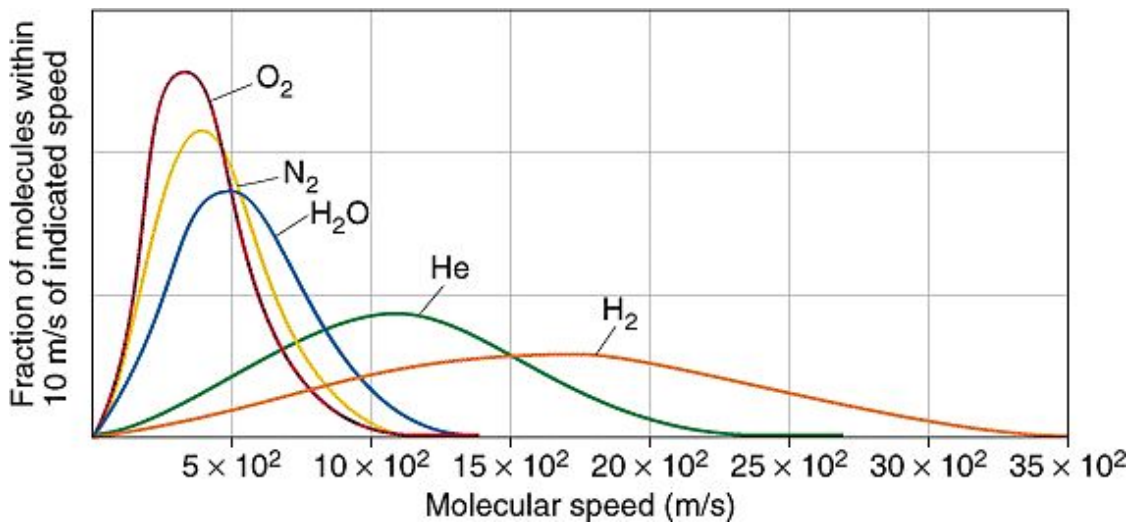
Possono andare da pressione atmosferica a circa 10^{-3} mbar



A: eccentric
B: camera con volume variabile

SISTEMI DI POMPAGGIO MECCANICO PRIMARIO: TURBINE

In una pompa turbomolecolare, le palette che si affacciano sulla camera a vuoto ruotano ad alta velocità in un ambiente nel quale la pressione è, in genere, compresa nell'intervallo 10^{-3} ÷ 10^{-9} mbar. A tali pressioni, gli urti tra molecole sono ancora possibili, ma molto rari: il cosiddetto cammino libero medio, per ciascuna di esse, va da circa 100 m a 100 km



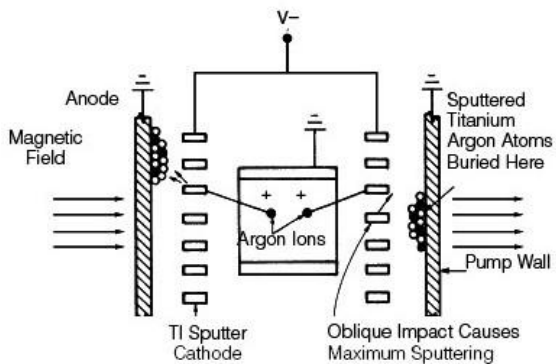
Le **palette della turbina**, ruotando, funzionano come delle racchette da ping-pong: il loro **ruolo** è **trasferire momento alle molecole "colpendole" ad alta velocità**: tale momento, data la configurazione delle palette e la loro direzione di rotazione, imprime alle molecole urtate una componente di velocità con direzione e verso orientati verso la zona di scarico.



La velocità delle molecole di un gas rarefatto a temperatura ambiente cresce al diminuire della massa della molecola considerata, ed è massima per gas leggeri come l'idrogeno. La **velocità delle palette** di una pompa turbomolecolare operante alla velocità di rotazione di 50.000 giri/minuto è di circa **1.000 m/s**, dello stesso ordine di grandezza della velocità media delle molecole presenti.

POMPE UHV: IONICHE E A SUBLIMAZIONE DI TITANIO

- il gas residuo è ionizzato e gli ioni sono accelerati dal campo elettrico (3-7 kV) verso il catodo di Titanio;
- La collisione con il catodo provoca l'espulsione di atomi che si depositano sulle superfici vicine;
- L'azione pompante è sia chimica (combinazione di specie gassose con titanio) sia meccanica (gli atomi rimangono intrappolati nel reticolo cristallino o tra gli strati di titanio depositati dalla pompa)
- Una pompa ionica opera da pressioni di circa 10^{-5} a 10^{-11} mbar



Triode Ion Pump



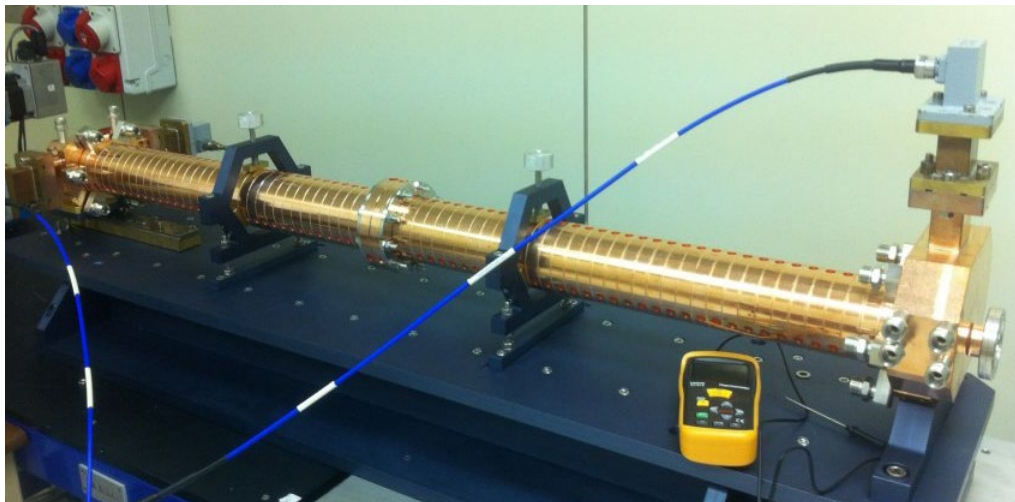
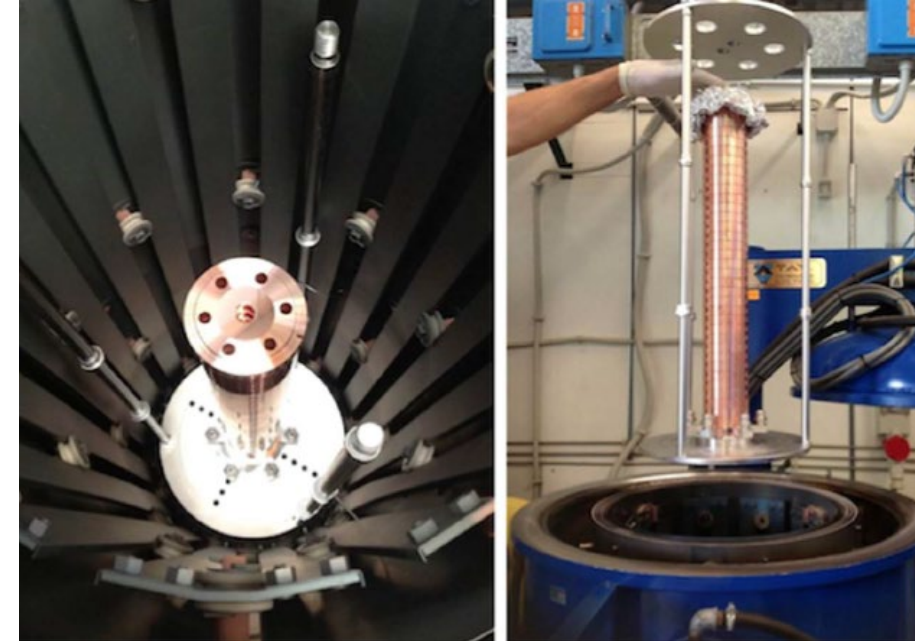
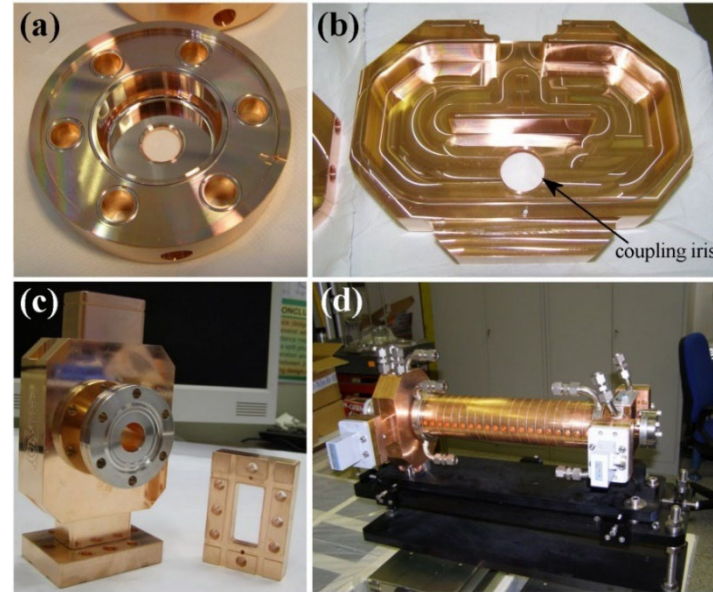
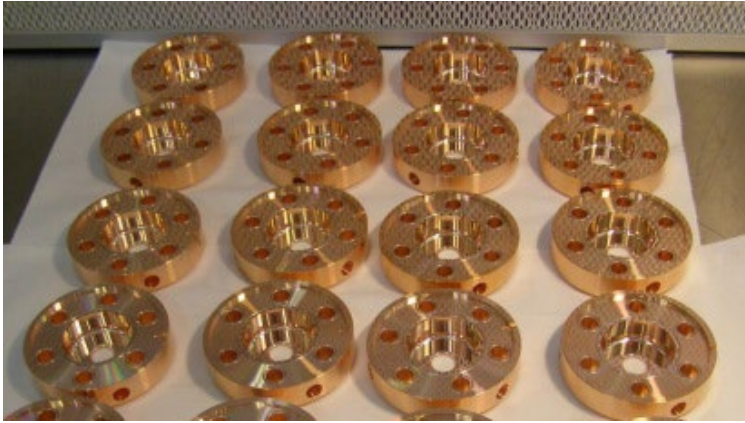
Le pompe a sublimazione di Titanio funzionano facendo **depositare del titanio su apposite superfici**. Poiché il **Titanio è chimicamente molto reattivo**, tende a reagire con i gas residui nella camera, assorbendoli.

La sublimazione avviene facendo scorrere corrente in filamenti di titanio di alcuni millimetri di diametro posti verticalmente all'interno dei "barilotti" collocati negli archi dell'acceleratore.

Tali **filamenti sublimano e il titanio si deposita così sulle superfici del barile**. Tali superfici sono lavorate a "dente di sega" e sono molto rugose in modo da avere un'area pompante più grande possibile.

Anche queste pompe necessitano di un buon prevuoto e vengono attivate dopo le pompe ioniche a valori di vuoto nella scala di 10^{-8} - 10^{-9} mbar. Hanno una capacità di pompaggio di migliaia di litri.

REALIZZAZIONE DI STRUTTURE ACCELERANTI TRAMITE BRASATURE IN FORNI DA VUOTO



- Strutture in rame
- Lavorazione pezzi con precision micrometriche
- Rugosità di decine di nanometri
- Utilizzo di leghe brasanti in forni da vuoto
- Brasature a 700-1000 gradi

REALIZZAZIONE DI STRUTTURE ACCELERANTI TRAMITE BRASATURE IN FORNI DA VUOTO

- ⇒ **Very complicated realization** due to the presence of the damping waveguides and SiC
- ⇒ Structure divided in modules
- ⇒ **Final brazing in Legnaro**

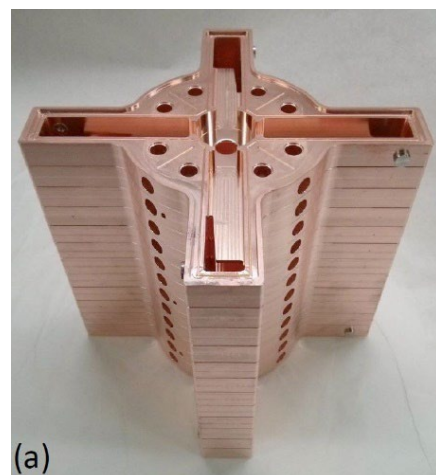
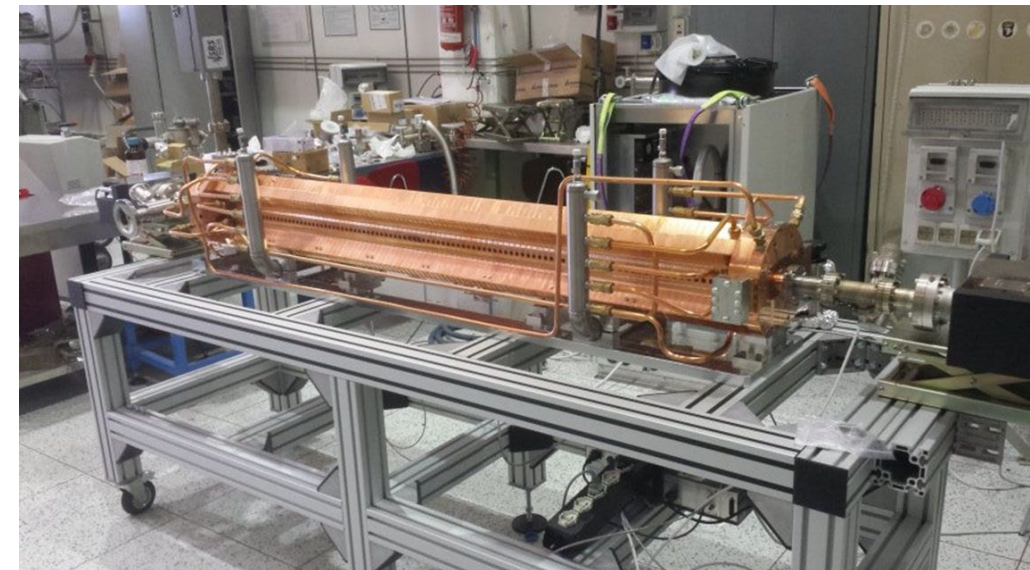
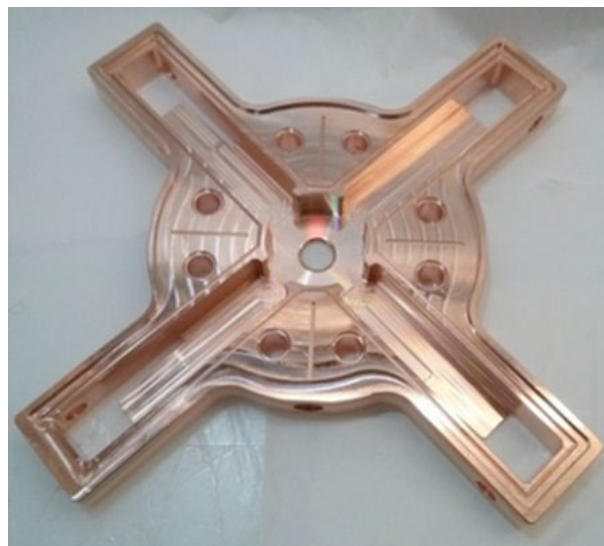
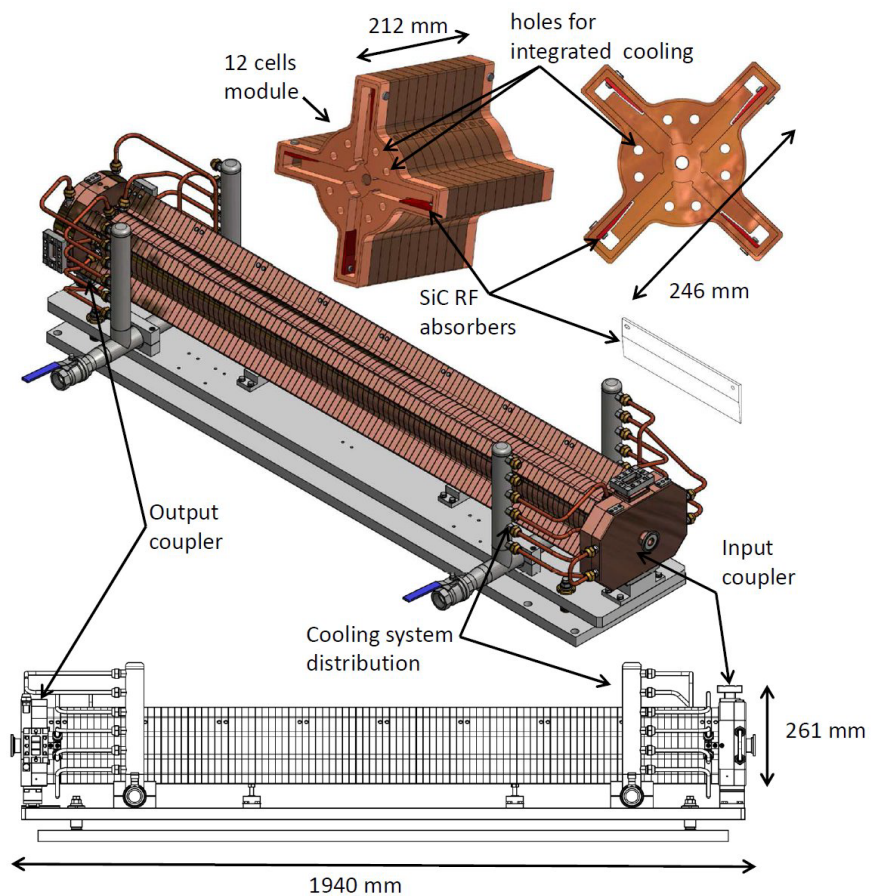
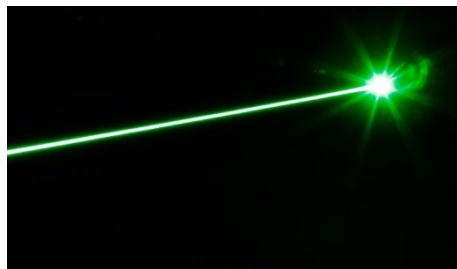
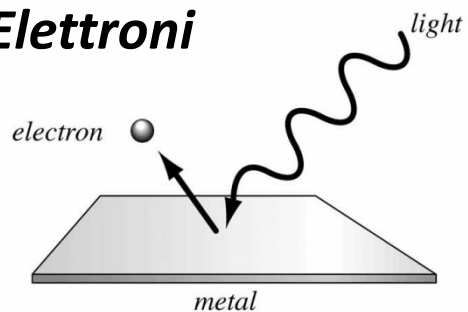
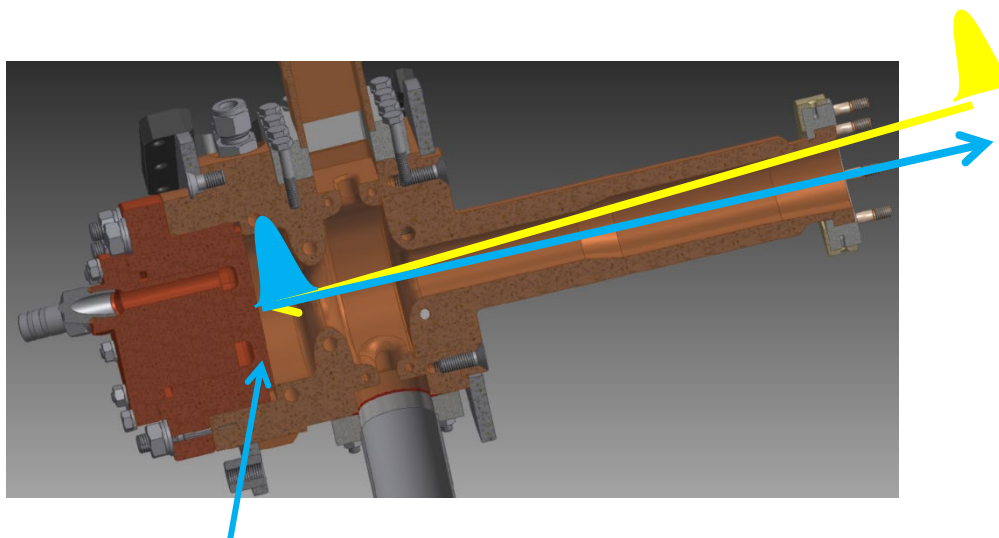
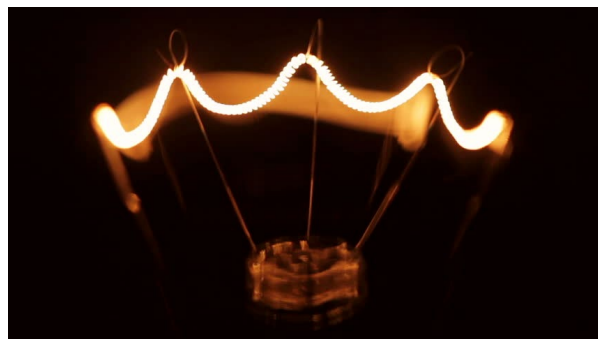
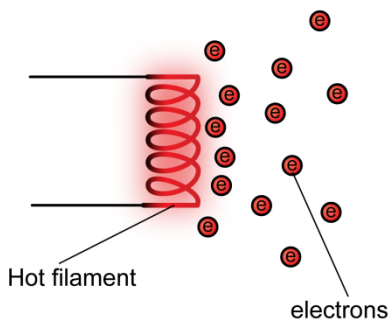


FOTO-INIETTORI A RADIOFREQUENZA

Electroni



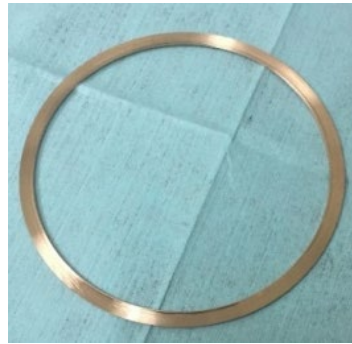
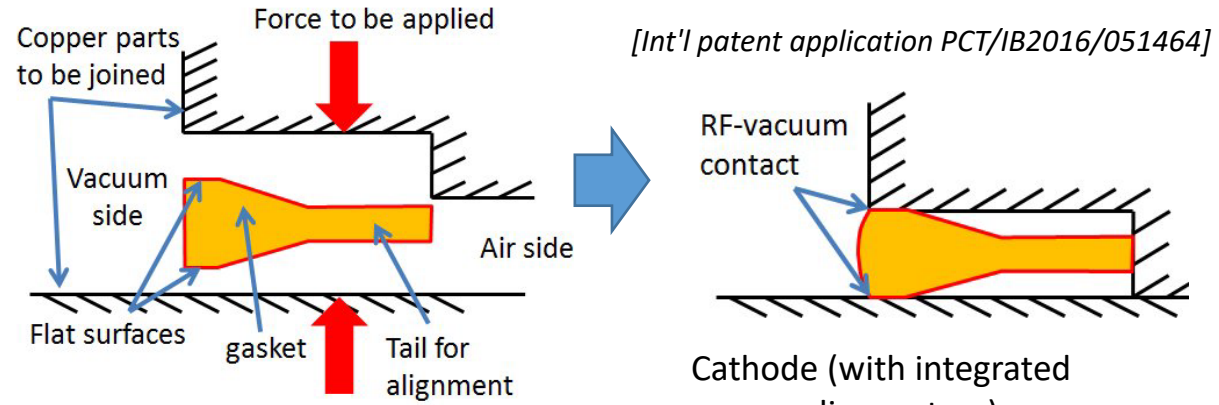
Gli Elettroni possono essere prodotti attraverso impulsi di luce laser che colpiscono una superficie metallica (effetto **foto-elettrico**) o filamenti portati all'incandescenza (**effetto termoionico**).



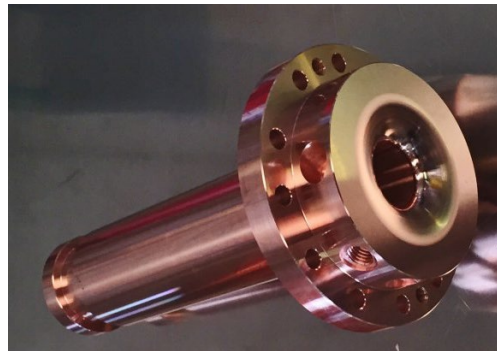
REALIZZAZIONE DI STRUTTURE SENZA BRASATURE

[Int'l patent application PCT/IB2016/051464]

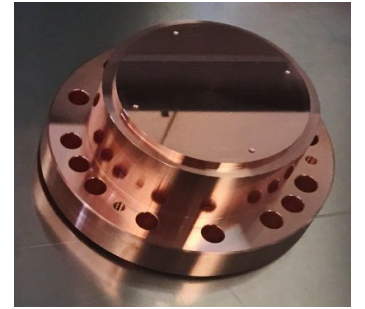
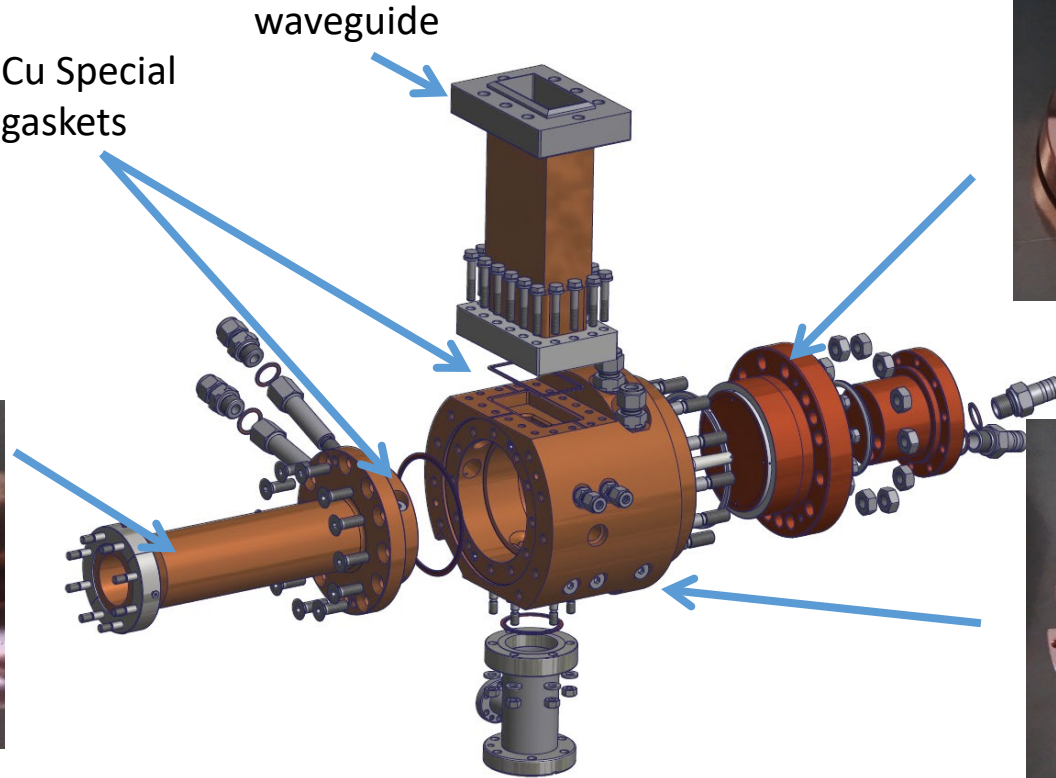
Two RF guns have been fabricated at INFN-LNF w/o brazing using a novel process recently developed at LNF-INFN involving the use of **special RF-vacuum gaskets** (same Cu material of gun) that guarantee (simultaneously) the vacuum seal and a perfect RF contact when the structure is clamped.



Cu Special gaskets



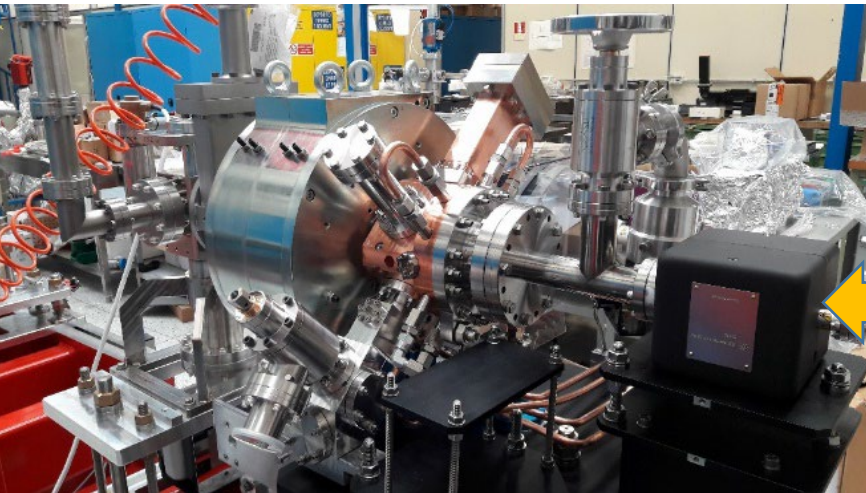
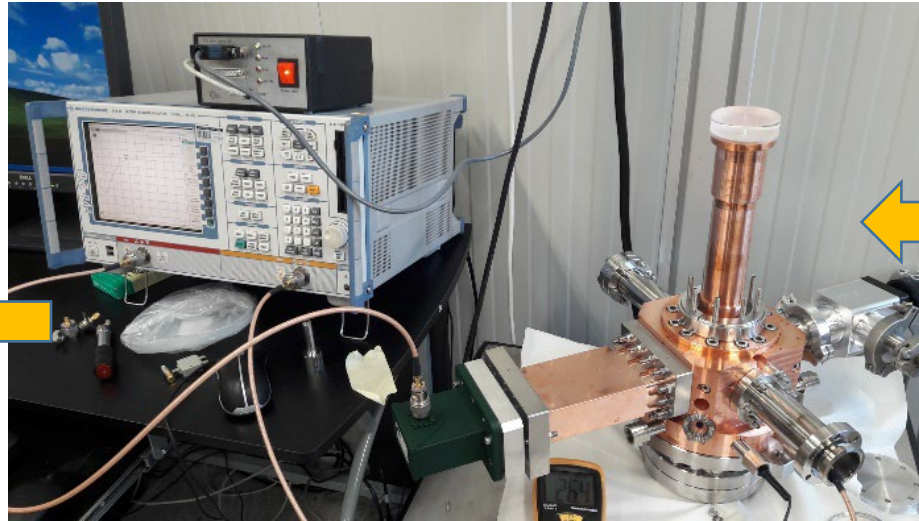
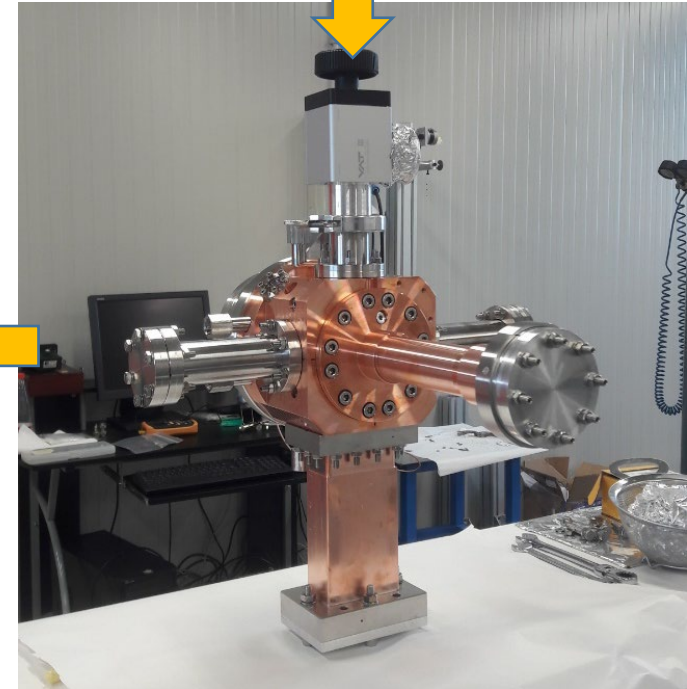
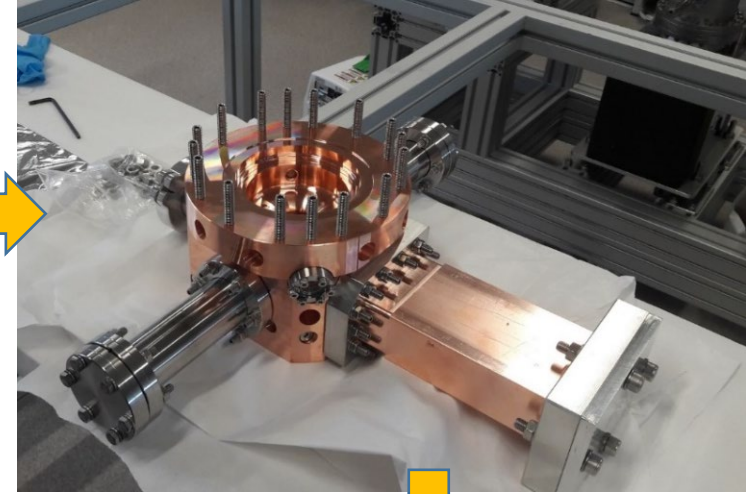
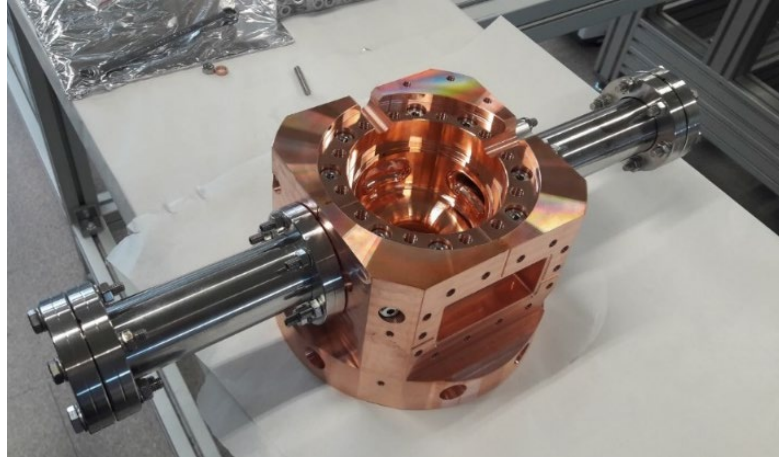
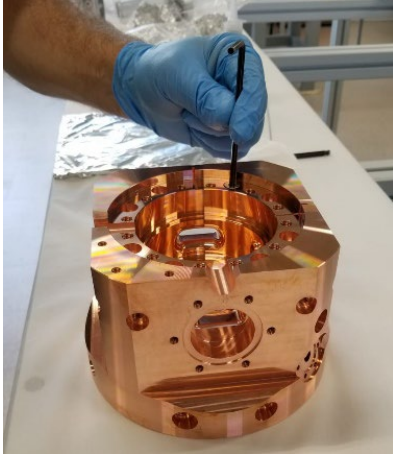
Closing cup and pipe



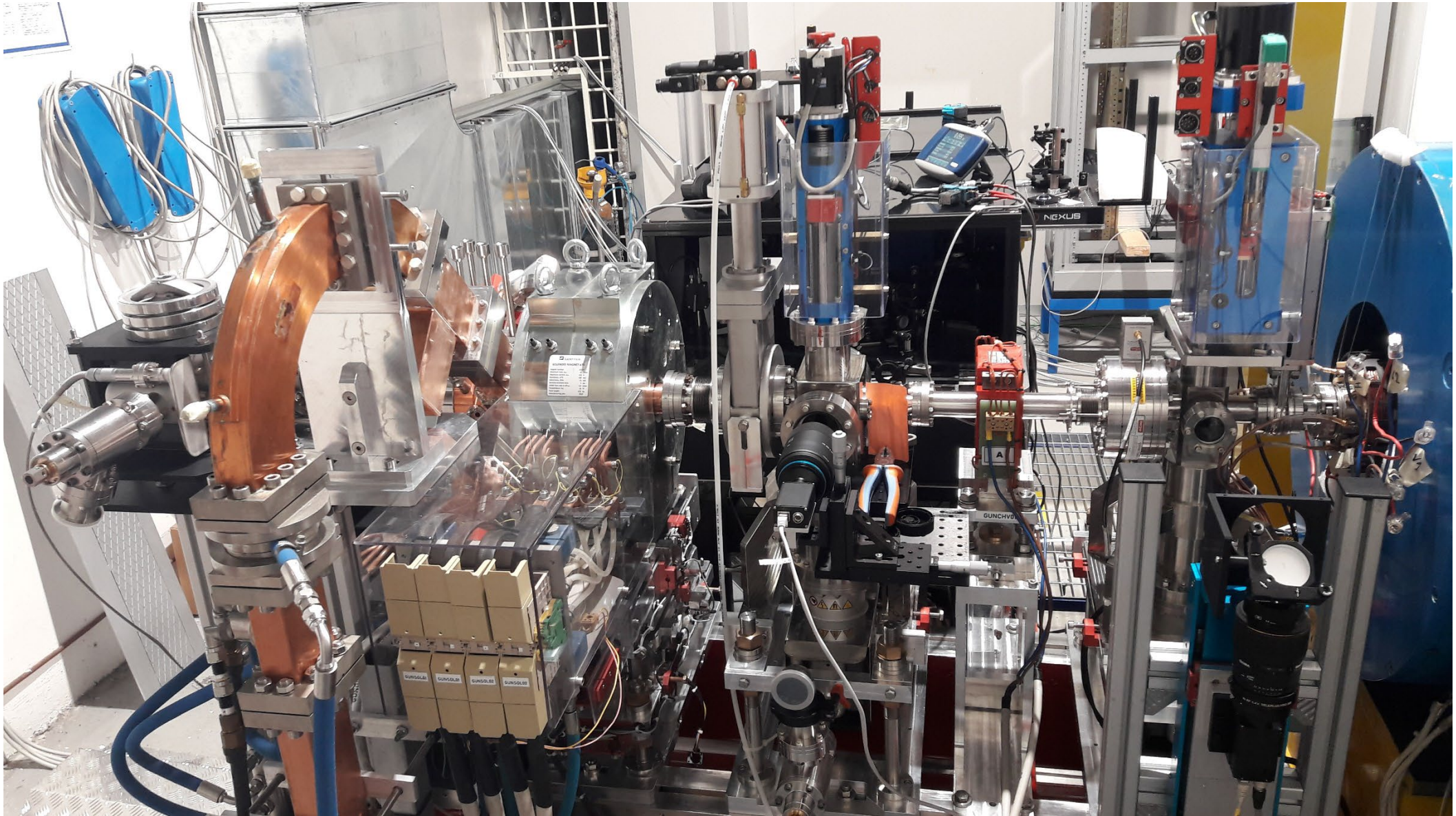
Body of the gun (single piece of OFHC copper)



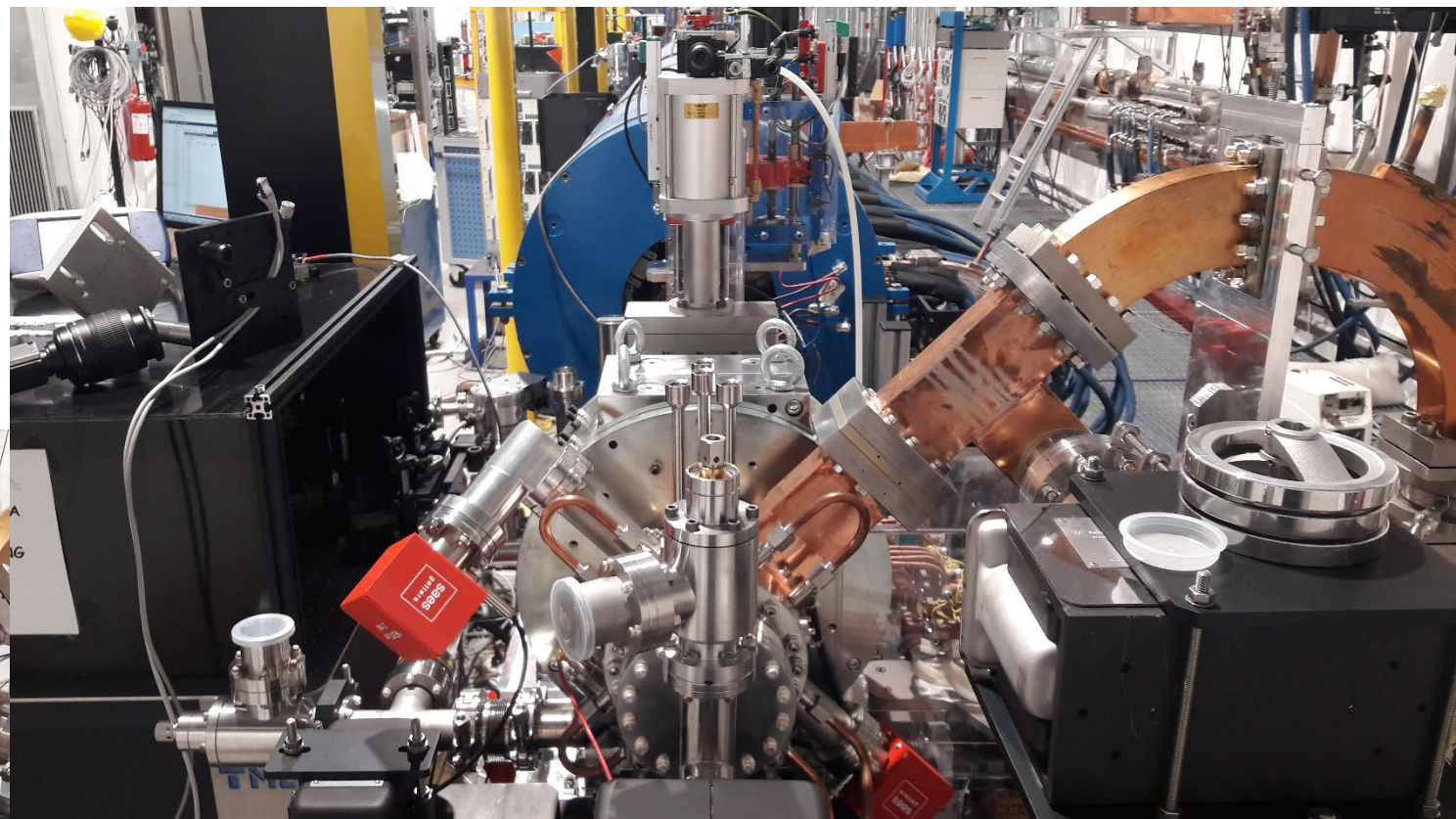
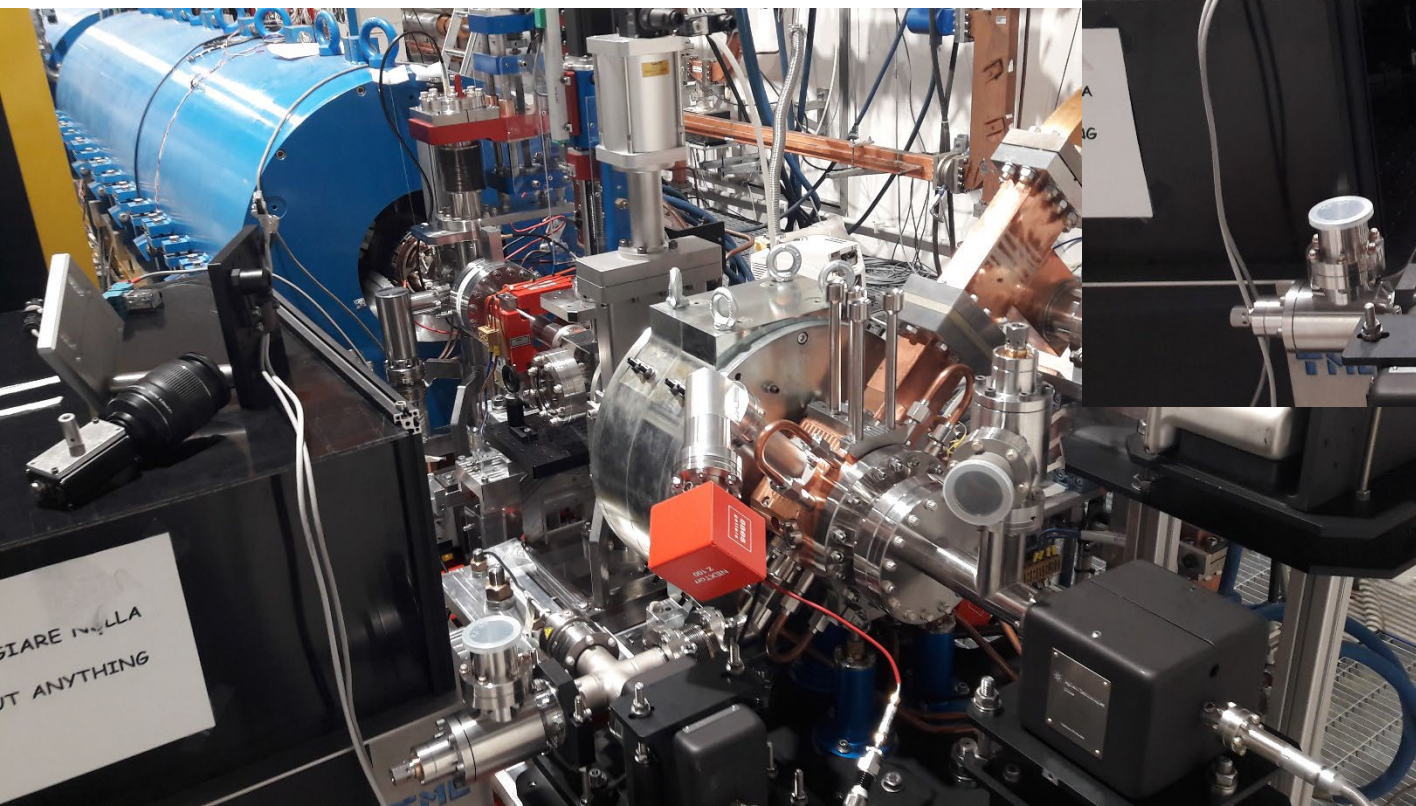
REALIZZAZIONE DI STRUTTURE SENZA BRASATURE



IL NUOVO FOTO-INIETTORE DI SPARC_LAB

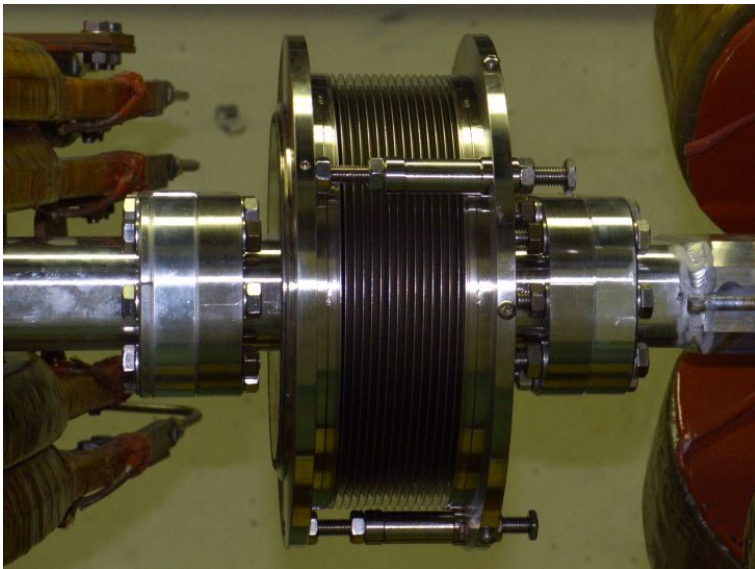


IL NUOVO FOTO-INIETTORE DI SPARC_LAB



REALIZZAZIONE DI CAMERE DA VUOTO IN ACCIAIO

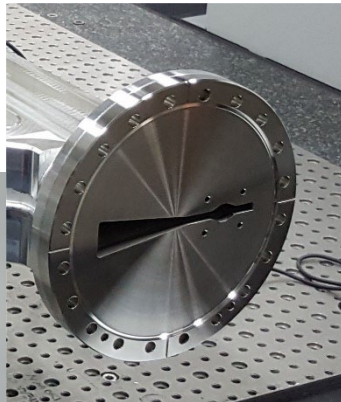
- In UHV applications, especially accelerators, **3XX series stainless steels are commonly used.**
- 3XX series are generally **non-magnetic steel alloys.** They contain a maximum of 0.15% carbon, a minimum of 16% chromium.
- The low carbon (-L) grades are used when welding is involved: 304L SS, most commonly used in vacuum, but may become magnetized from machining and welding; 316L SS, with Mo added, more expensive, resistant to chemical attack, welds are non-magnetic; 316LN SS, a nitrogen-enhanced 316L steel, much more expensive, but excellent strength at very elevated temperatures (as high as 1000C)
- General characteristics are the high strength, moderate formability, excellent weldability.
- **Outgassing rates can be decreased by employing good machining techniques, chemical cleaning and baking (up to 900oC)**
- Poor thermal and electrical conductivity



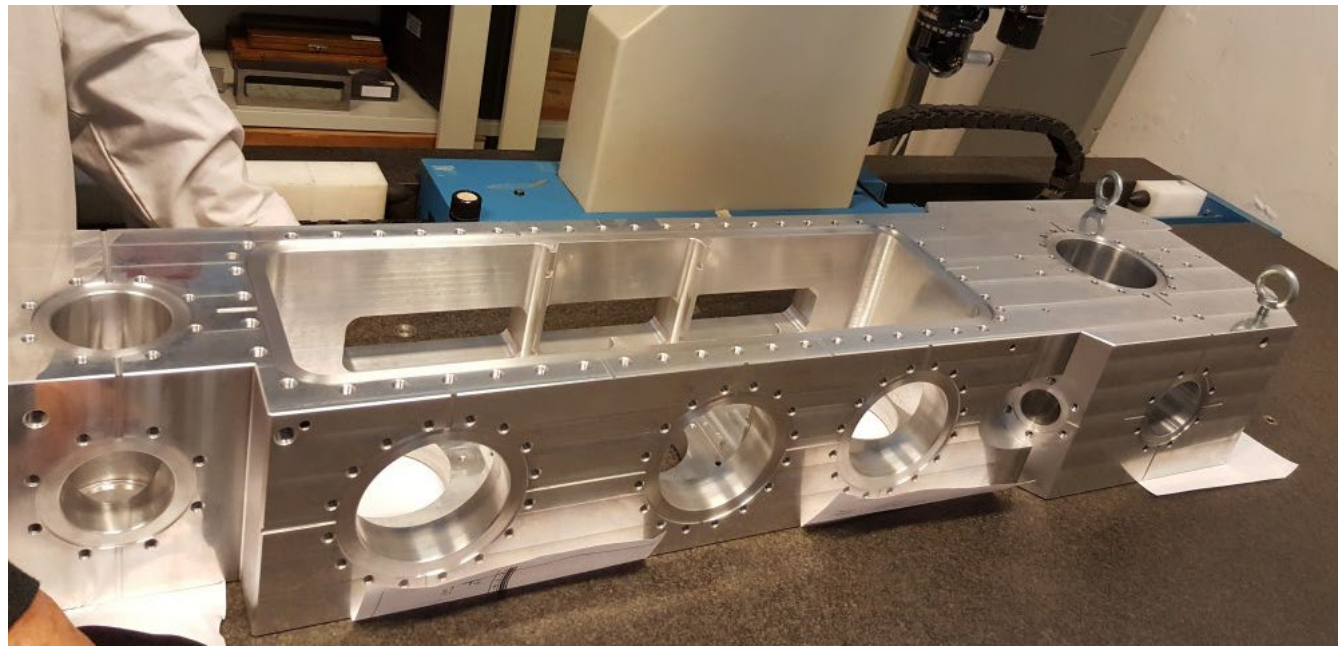
REALIZZAZIONE DI CAMERE DA VUOTO IN ALLUMINIO

- Moderate strength, good formability, easy to machine, good electrical and thermal conductivity
- **6061-T6 is the most common aluminum alloy for vacuum components**
- 5083 is a good alloy for welding
- **Aluminum is much cheaper to machine than stainless steel (2x to 3x cheaper)**
- Aluminum is **much less likely been radioactivated.**
- Special care must be taken in the design of welds and the techniques used due to higher thermal conductivity and thermal expansion (30% > SS)
- Surface anodizing degrades outgassing characteristics, but improves chemical resistance

*ESRF vacuum chambers
designed at LNF*



*COMB chamber
@ SPARC_LAB
LNF*



VACUUM REALIZATIONS IN CERAMICS/GLASSES

- **Alumina ceramics** ($\text{Al}_2\text{O}_3 > 99\%$) are widely used for **electric breaks, instrument and electric power feedthroughs, RF windows** in the accelerator vacuum systems.
- **Alumina ceramic beam pipes with thin inner metallic coating** are also used as a part of **pulsed magnet for beam feedback, injection kickers, etc.**
- Ceramics are jointed to metal flanges using vacuum furnace braze technique.
- Many type of **glasses** are used mainly as viewports on vacuum systems, for visual inspection of in-vacuum components, for light transmissions (laser entrance, beam profile viewers, etc.)



CAMERE DA VUOTO E TRATTAMENTI SUPERFICIALI

Confine photo-electron far from the beam axis

- Photo-electrons \Rightarrow Seed of EC
- Antechamber in beam pipe
- Rough surface at irradiated surface

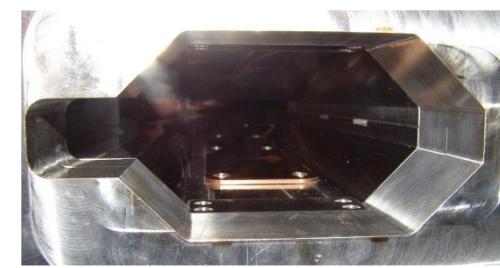
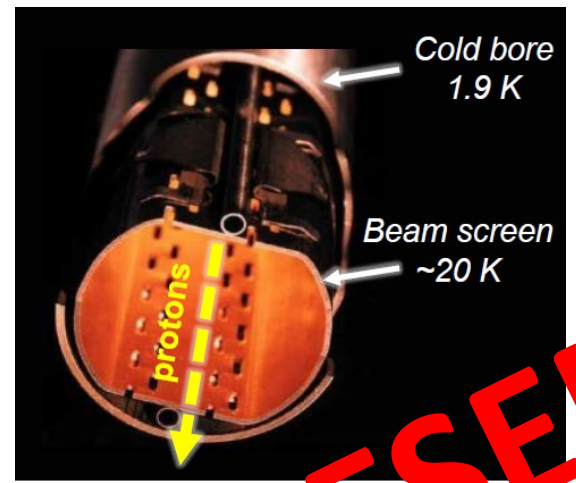
Reduce secondary electron yield (SEY)

- Secondary electrons \Rightarrow multiplies EC.
- Important for high-intensity beam
- **TiN, carbon (amorphous carbon), NEG coatings**
- Groove structure on the inner surface

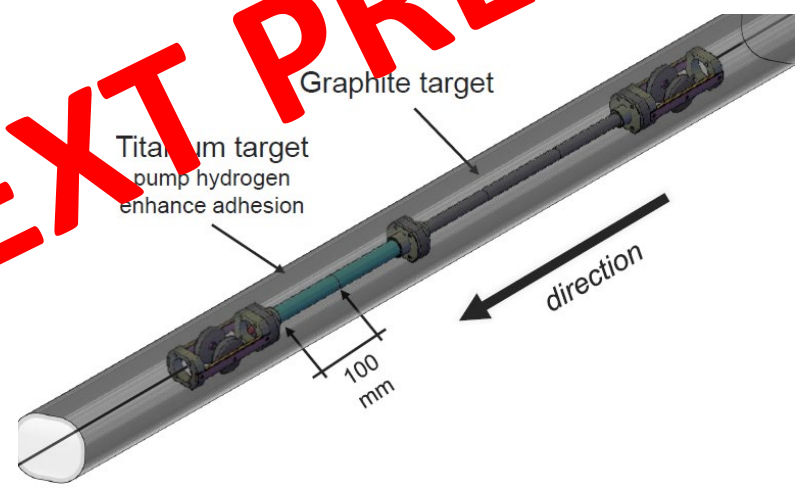
Prevent electrons to approach the beam

- Solenoid field along the beam pipe
- Clearing electrode in the beam pipe

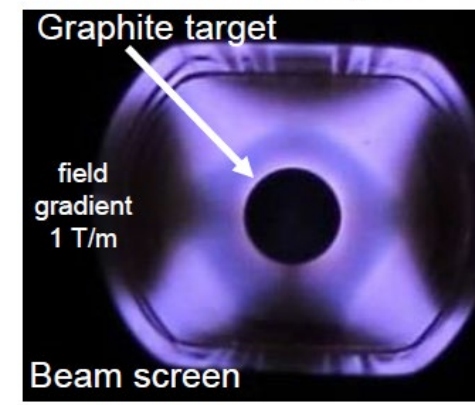
LHC BEAM PIPE



NEXT PRESENTATION



Magnetron using the Quadrupole magnet



Images taken from Pedro Costa Pinto, CAS School on Vacuum

NUOVO FORNO DA VUOTO AI LNF



⇒ **LATINO** (Laboratory in Advanced Technologies for INnOvation) program is an initiative funded by Regional Government (Regione Lazio) through European Regional Development Funds, with the goal to open research labs to industries and other research center.

⇒ **INFN** through Frascati National Lab (INFN-LNF) created a cluster of already existing labs with the aim to offer infrastructures, services and technological know-how on 4 main areas:

- **Radiofrequency**
- **Vacuum**
- **Magnets**
- **Mechanical engineering and metrology**

SISTEMA PER LA CARATTERIZZAZIONE DI MATERIALI DA VUOTO



Characterization of:

- materials
- new deposition
- treatments
- new production process (e.g. 3d printed parts)
- Validation of new vacuum devices
- Chambers

LATINO VACUUM LABORATORY: OUTGASSING RATE MEASUREMENT SYSTEM

