

A photograph of a complex ultra-high vacuum chamber. The chamber is made of polished metal and features several circular ports with flanges and bolts. The interior of the chamber is dark and contains various mechanical components and wiring. The text "Ultra alto vuoto" is overlaid in white, bold font, with a white underline underneath it.

Ultra alto vuoto

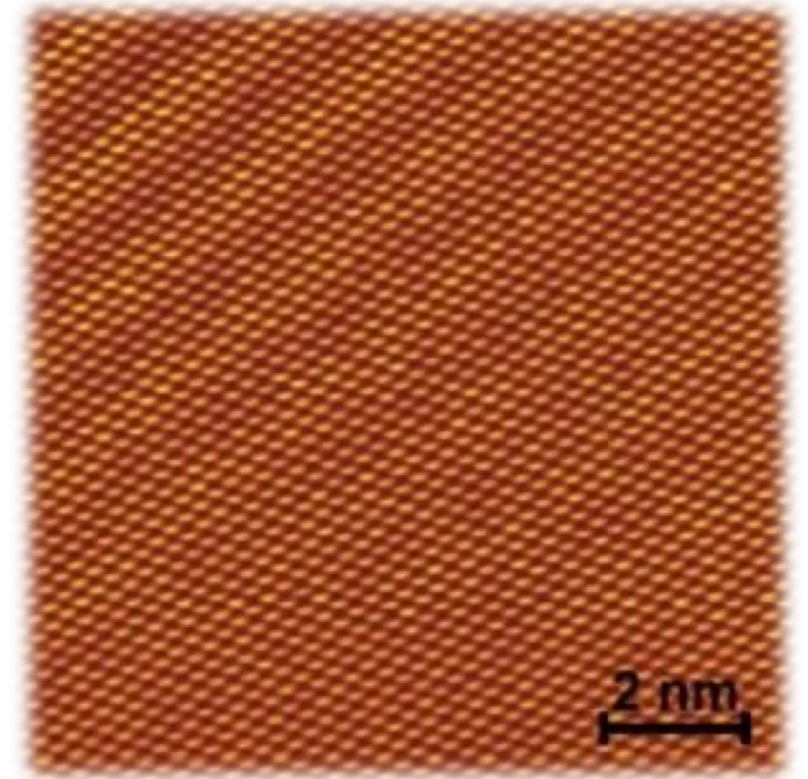
Perché serve il vuoto?

I – Preparazione di superfici atomicamente pulite

Eventuali molecole di gas atmosferico in circolo entrano in contatto con il campione e lo contaminano.

Esempio: Se abbiamo una superficie di rame pulita in aria a pressione atmosferica (10^5 Pa – 1 bar) in solo 1 ns sarà completamente ricoperta da uno strato di molecole (acqua, ossigeno, ...). Gli atomi di rame si legano chimicamente e si forma uno strato di ossido.

Per mantenere la superficie pulita per un tempo sufficiente a svolgere un esperimento è necessario rimuovere il gas, portando la pressione dell'ambiente di misura sotto ai 10^{-13} bar.



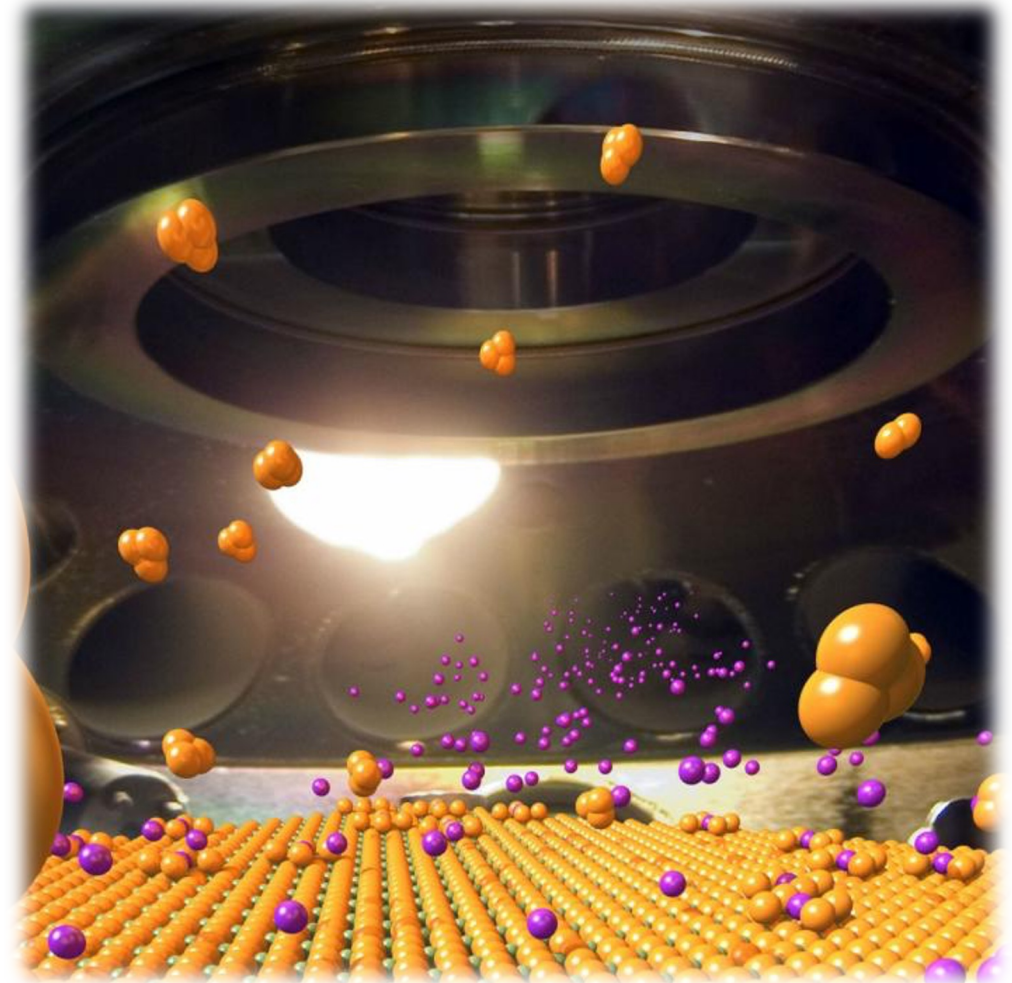
Perché serve il vuoto?

II – Preparazione di campioni con composizione controllata

Si vuole sintetizzare un campione con una composizione ben precisa e con una densità di contaminanti ridotta.

Densità di contaminanti dovranno essere dell'ordine di una parte per miliardo o inferiore.

Anche qui è necessario rimuovere il gas nell'ambiente di preparazione, portando la pressione sotto ai 10^{-13} bar.



Perché serve il vuoto?

III – Raffreddamento di campioni

Se si volesse portare il campione a temperature di 77 K (azoto liquido) oppure 4 K (elio liquido) le molecole presenti nell'aria (acqua, ossigeno, azoto, CO₂,...) condenserebbero sulla superficie in poco tempo.

Inoltre, i gas conducono il calore e rendono più dispendioso il raffreddamento: il sistema deve operare in vuoto per avere un migliore isolamento e per mantenere la superficie pulita.

A seconda dei casi, pressioni da 10⁻⁶ bar a 10⁻¹³ bar possono essere necessarie.



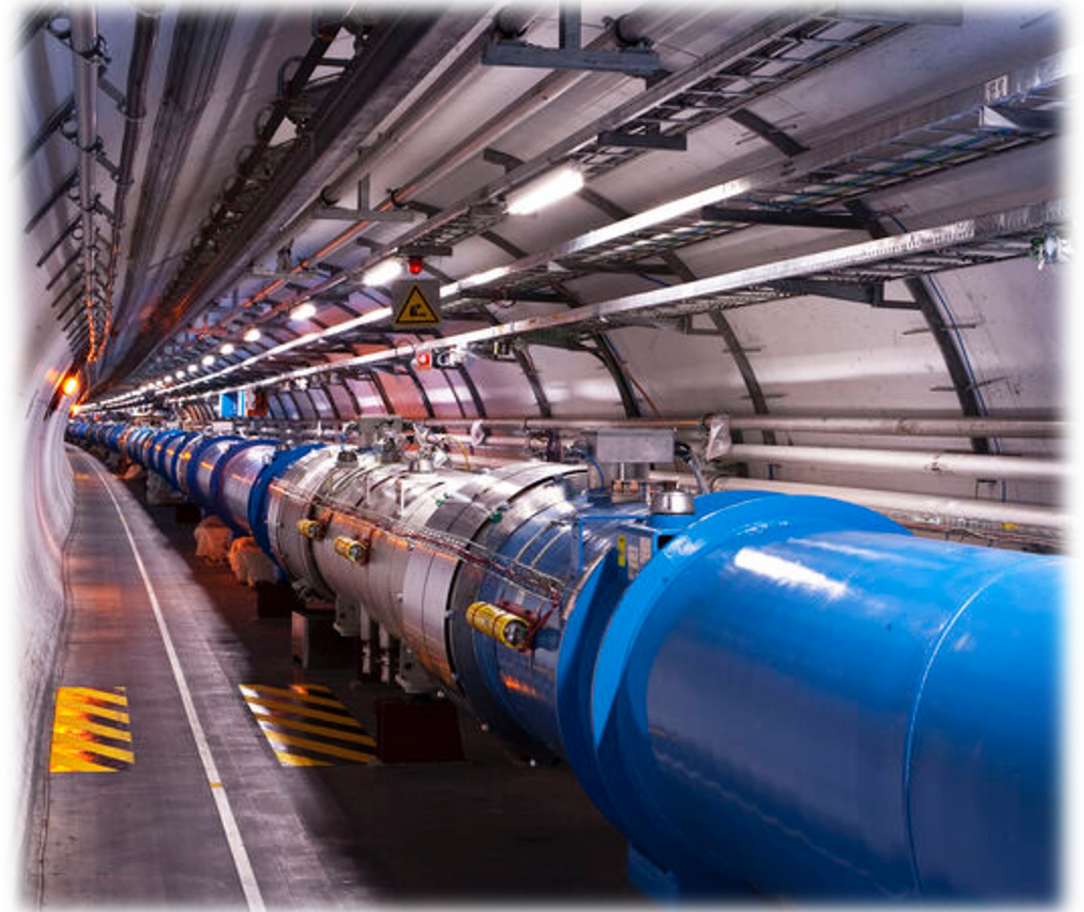
Perché serve il vuoto?

IV – Uso di fasci di particelle (atomi, molecole, elettroni, ioni, ...)

Per poter creare e rivelare fasci di particelle, il loro cammino libero medio (la distanza che percorrono prima di collidere con un'altra particella) dev'essere maggiore delle dimensioni del sistema sperimentale.

Elettroni con energia da 1 eV a 1 MeV in aria a pressione atmosferica percorrono meno di qualche mm.

Necessarie pressioni fra 10^{-8} - 10^{-13} bar.



Regimi di vuoto

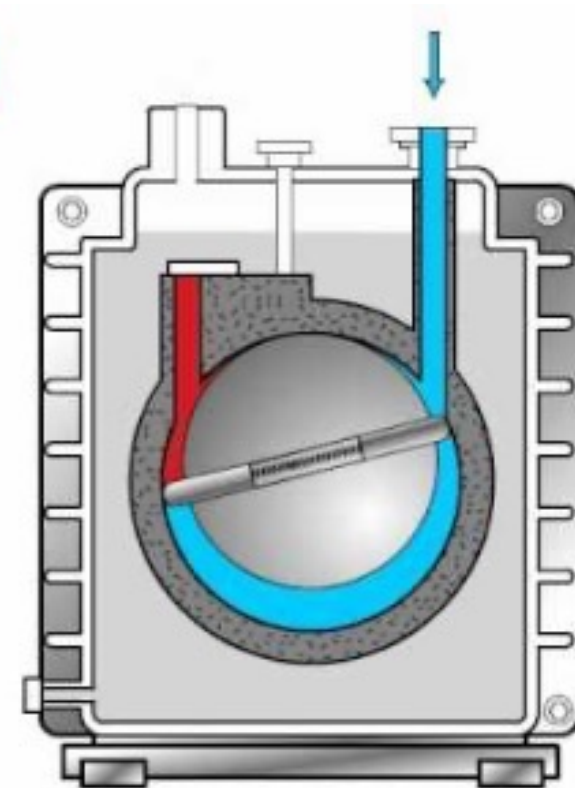
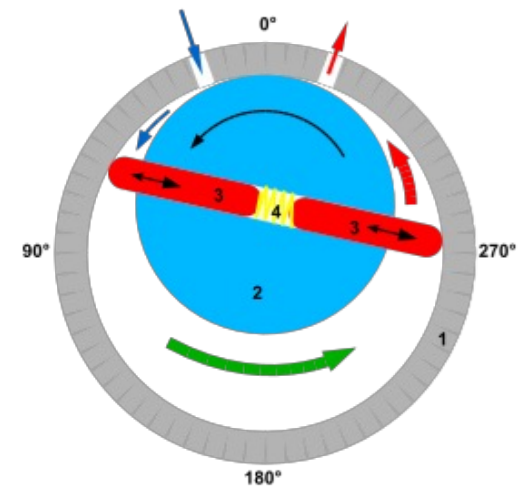
		Rough vacuum	Medium vacuum	High vacuum	Ultrahigh vacuum
Pressure	p (mbar)	1013 - 1	1 - 10 ⁻³	10 ⁻³ - 10 ⁻⁷	< 10 ⁻⁷
Particle number density	n (cm ⁻³)	10 ¹⁹ - 10 ¹⁶	10 ¹⁶ - 10 ¹³	10 ¹³ - 10 ⁹	< 10 ⁹
Mean free path	λ (cm)	< 10 ⁻²	10 ⁻² - 10	10 - 10 ⁵	> 10 ⁵
Impingement rate	Z _a (cm ⁻² · s ⁻¹)	10 ²³ - 10 ²⁰	10 ²⁰ - 10 ¹⁷	10 ¹⁷ - 10 ¹³	< 10 ¹³
Vol.-related collision rate	Z _v (cm ⁻³ · s ⁻¹)	10 ²⁹ - 10 ²³	10 ²³ - 10 ¹⁷	10 ¹⁷ - 10 ⁹	< 10 ⁹
Monolayer time	τ (s)	< 10 ⁻⁵	10 ⁻⁵ - 10 ⁻²	10 ⁻² - 100	> 100
Type of gas flow		Viscous flow	Knudsen flow	Molecular flow	Molecular flow
Other special features		Convection dependent on pressure	Significant change in thermal conductivity of a gas	Significant reduction in volume related collision rate	Particles on the surfaces dominate to a great extent in relation to particles in gaseous space

Pompe rotative

Una pompa rotativa è composta da una cavità in cui è presente un rotore con delle palette di lunghezza variabile che fanno contatto con le pareti della cavità. Il centro di rotore e cavità sono sfalsati, creando volumi variabili.

Nel lato di ingresso il volume aumenta, risucchiando i gas dalla camera da vuoto. Viceversa, nel lato di uscita il volume viene compresso, espellendo il gas fuori dalla pompa.

Alcune pompe multistadio riescono a raggiungere pressioni di 10^{-3} mbar.

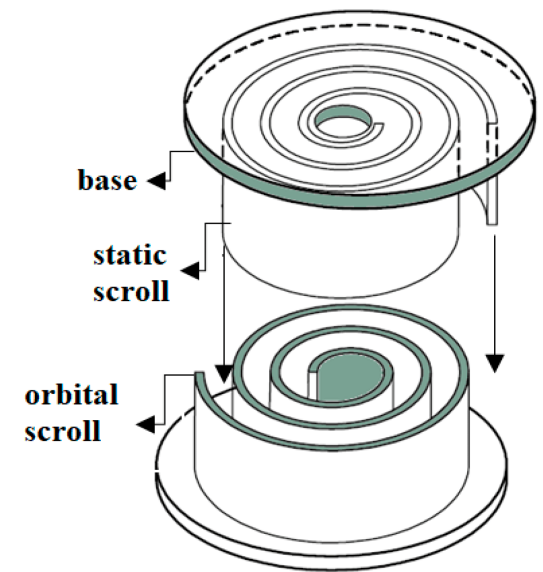


Pompe scroll

Sono pompe a secco. Un disegno comune presenta due spirali interlacciate, una statica e una orbitante in maniera eccentrica. La tenuta è garantita da guarnizioni polimeriche montate su entrambe le spirali.

Quando è in rotazione, si creano tasche di volume variabile in cui il gas viene intrappolato e convogliato verso lo scarico della pompa.

Vuoto nell'ordine dei 10^{-2} mbar.

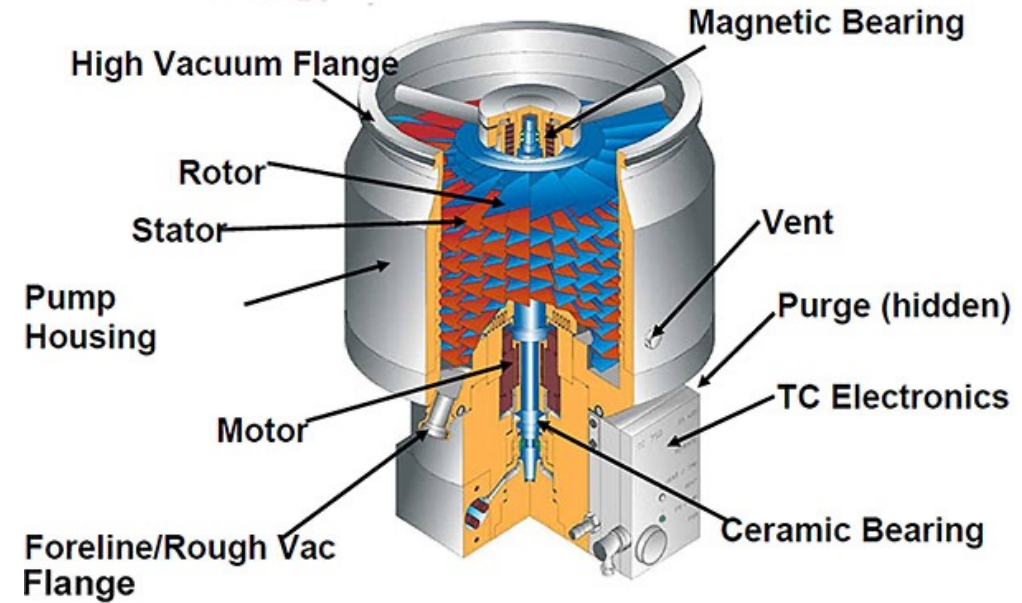


Pompe turbomolecolari

Si basano sul fatto che si può fornire momento ad una molecola di gas attraverso la collisione con un solido. Le pale della turbina ruotano ad alta velocità (~ 1500 Hz), colpendo le molecole di gas e direzionandole verso lo scarico della pompa. Questo meccanismo funziona se il libero cammino medio delle molecole è maggiore della dimensione delle turbine (flusso molecolare, $p < 10^{-3}$ mbar).

Il rapporto di compressione si può aumentare a discapito del flusso di pompaggio inclinando le pale il più possibile (oltre 45°). Il rapporto di compressione varia linearmente con la velocità di rotazione, e inoltre dipende esponenzialmente dalla radice quadrata della massa molecolare del gas: molecole leggere, H e He, vengono pompate con più difficoltà.

Queste pompe consentono di raggiungere e mantenere pressioni nell'ordine di 10^{-10} mbar.

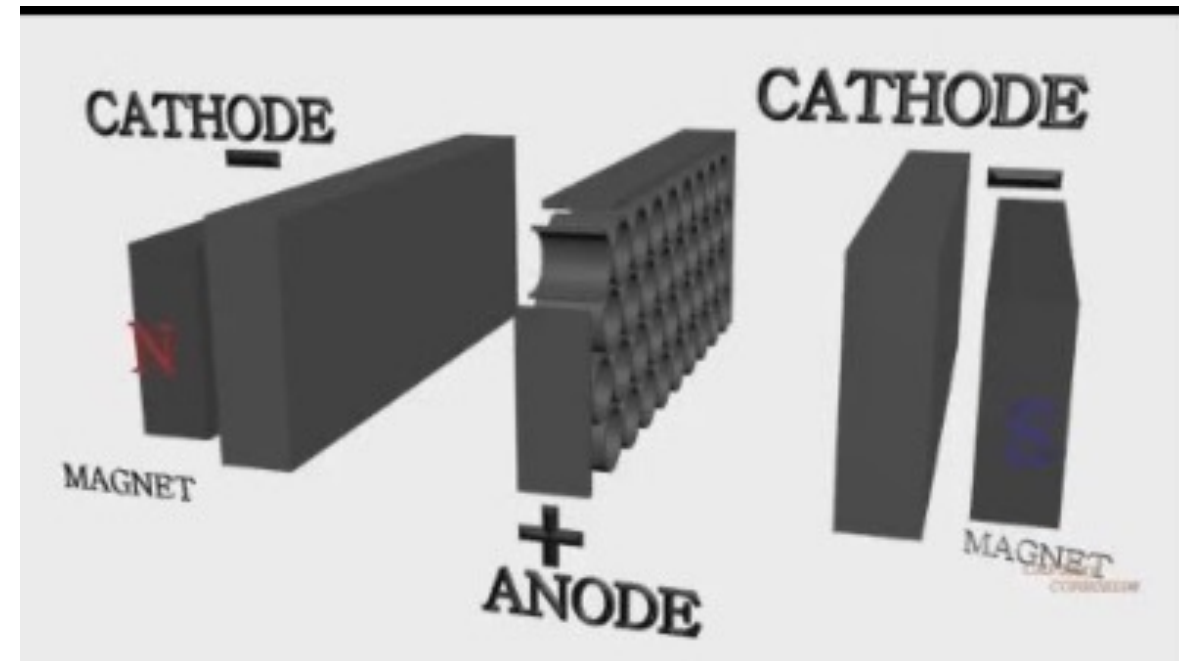
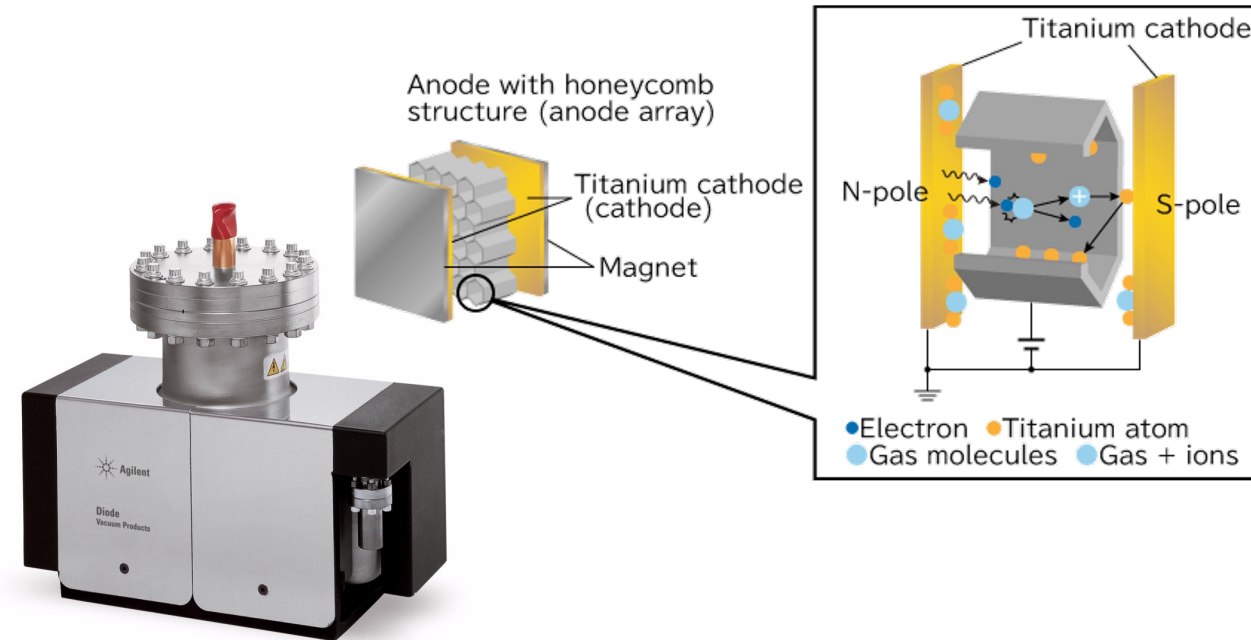


Pompe ioniche

Consentono di raggiungere pressioni anche migliori di 10^{-11} mbar. In una pompa ionica il gas viene ionizzato e accelerato con > 1 kV verso degli elettrodi. Il gas viene ionizzato da elettroni che sono intrappolati da un campo magnetico.

Gli ioni che colpiscono i catodi causano l'espulsione di alcuni atomi di Ti dall'elettrodo e restano adsorbiti o impiantati nel metallo, di fatto rimuovendoli dal volume della camera sperimentale.

Non avendo parti in movimento e nessun olio di tenuta, sono pulite, a bassa manutenzione e non producono vibrazioni.



Altri tipi di pompe

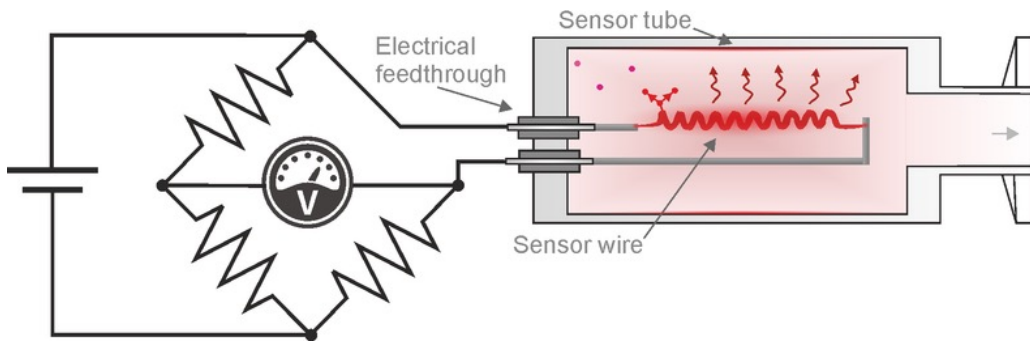
- Basso vuoto
 - Pompe a membrana
 - Pompe Roots
- Ultra-alto vuoto
 - Pompe a sublimazione di titanio
 - Pompe getter (con materiali porosi)
 - Pompe criogeniche
 - Pompe a diffusione

Strumenti di misura

Tipo Pirani

Misura lo scambio di calore con il gas monitorando la resistenza di un filamento.

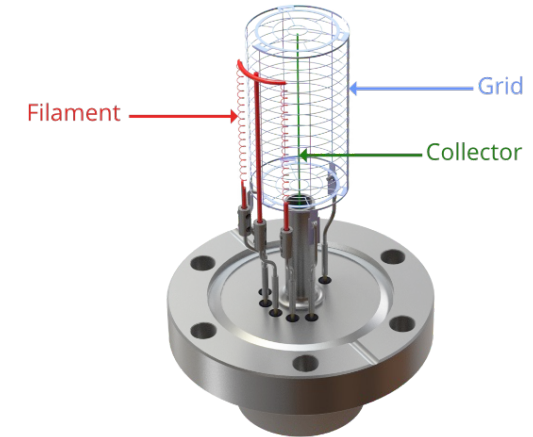
Intervallo di funzionamento:
 $10^3 - 10^{-4}$ mbar.



Tipo Bayard-Alpert

Elettroni prodotti da un filamento ionizzano il gas e gli ioni producono una corrente misurabile su di un collettore.

Intervallo di funzionamento:
 $10^{-4} - 10^{-12}$ mbar.



Tipo Penning

Non c'è un filamento (catodo freddo); si misura la corrente prodotta dagli ioni sul catodo (come nelle pompe ioniche).

Intervallo di funzionamento:
 $10^{-2} - 10^{-9}$ mbar.



Tenuta da vuoto

Le più diffuse sono:

Flange KF (KleinFlansch)

Guarnizione o-ring in elastomero (Viton)

Tenuta fino a 10^{-8} mbar



Flange CF (ConFlat)

Guarnizione (gasket) in rame

Tenuta fino a 10^{-12} mbar



Esercizio

A quanto ammonta la forza agente su una flangia CF63 (63 mm indica il diametro interno della flangia), quando la pressione interna alla camera da vuoto in cui è montata è 10^{-10} mbar?

Area della flangia: $\sim 3115 \text{ mm}^2 \sim 0.003 \text{ m}^2$

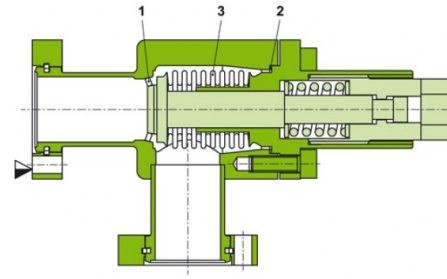
$p_{\text{atmosferica}} = 1 \text{ bar}$, $p_{\text{interna}} \sim 0 \text{ bar}$, $\Delta p = 1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$

$p = F/A$, $F = p \times A = 10^5 \text{ Pa} \times 0.003 \text{ m}^2 = 300 \text{ N}$ (peso di $\sim 30 \text{ kg}$)

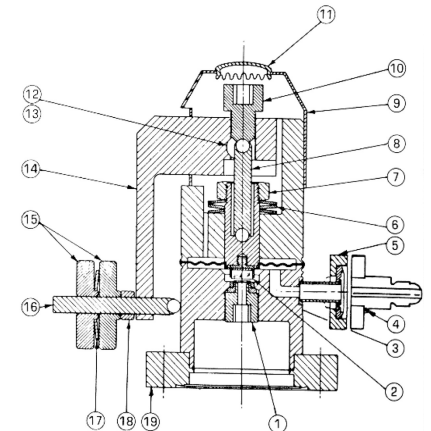
Valvole



Valvola a saracinesca



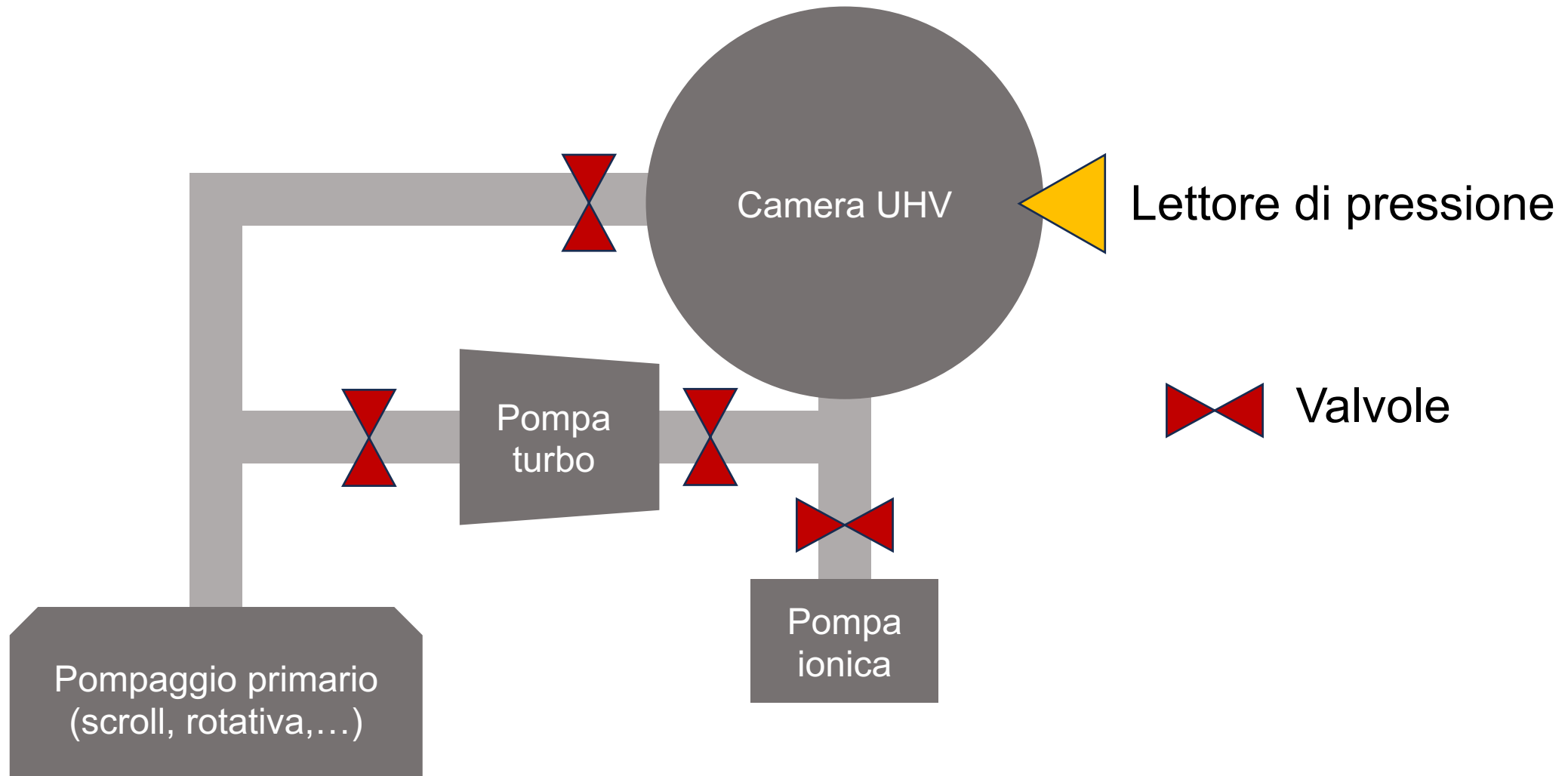
Valvola ad angolo



Valvola a perdita (*leak*)

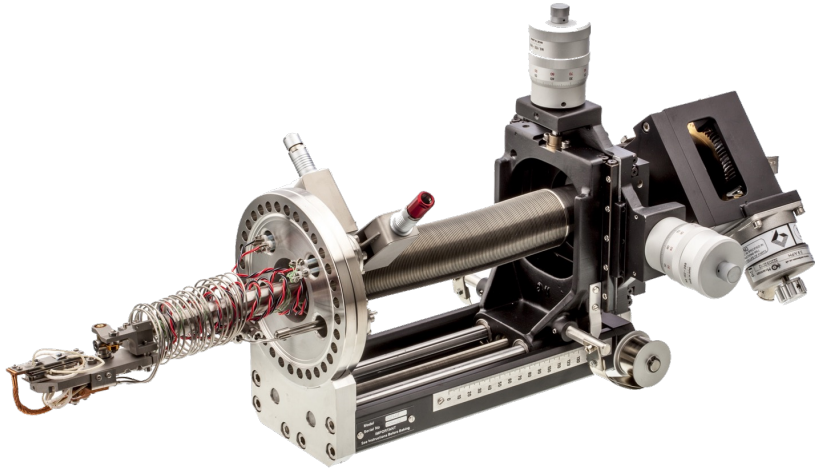
E molti altri tipi...

Sistema base per ultra-alto vuoto



Altre possibili aggiunte

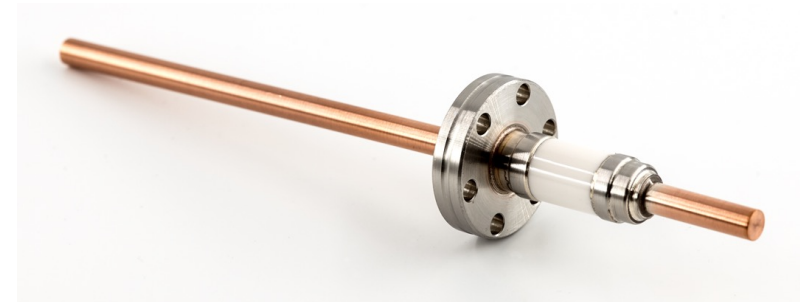
Manipolatore e porta-campioni



Finestre



Passanti elettrici



Wobblestick



Sistemi di ingresso rapido



Qualche concetto fondamentale

Bake-out

Per raggiungere UHV in tempi ragionevoli, il sistema viene “cotto” a temperature > 100 °C per desorbire i gas (per lo più acqua) dalle pareti interne della camera.

Leak test

Per rilevare la presenza di perdite una pratica comune è quella di spruzzare dell’elio in punti precisi del sistema monitorando lo spettrometro di massa.

Venting

Può essere necessario riportare “in aria” la camera sperimentale per eseguire interventi di manutenzione o per installare nuovi strumenti; per fare ciò bisogna assicurarsi di spegnere tutto ciò che può danneggiarsi (pompe ioniche, turbo, misuratori di pressione, ...) e preferibilmente far fluire dell’azoto puro da una valvola di rientro.