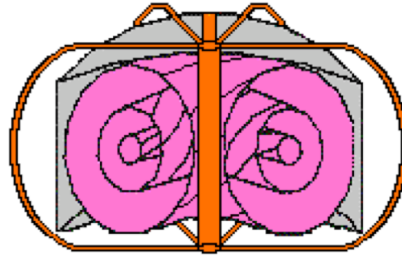


PROTO-SPHERA:

***un esperimento innovativo per
la Fusione Controllata a Confinamento Magnetico***

I Plasmi a confinamento magnetico per la fusione sono tipicamente “ciambelle”

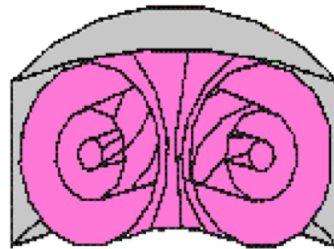
Le superfici magnetiche
del Plasma circondano



un “palo centrale” metallico

Ma altre configurazioni “quasi sferiche” sono possibili

Le superfici magnetiche
del Plasma circondano

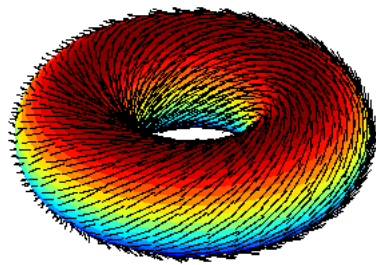


una “colonna centrale” di Plasma

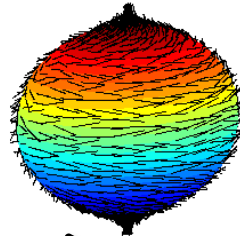
Tali configurazioni “sferiche” simplificherebbero il disegno di un reattore a fusione:

- Accesso molto piu’ agevole alla meccanica del reattore grazie alla geometria cilindrica
- Assenza di danni al “palo centrale”, uno dei componenti piu’ fragili

A causa della natura filamentare dei campi magnetici
c'è inoltre una differenza matematica fondamentale



***Ciambella e'
pettinabile***



***Sfera non e'
pettinabile***

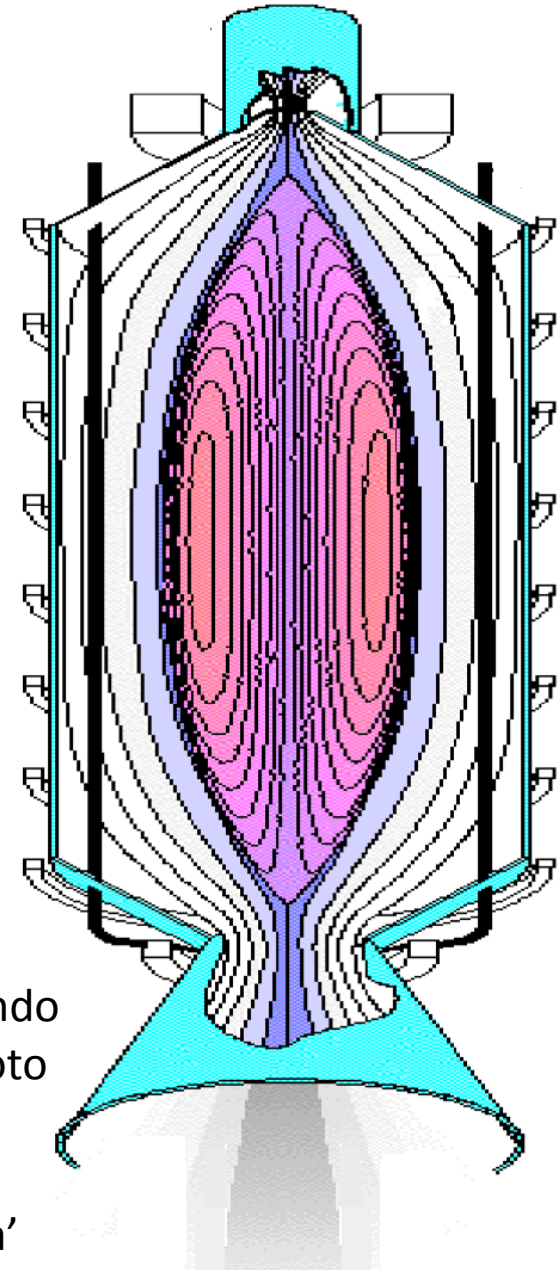


Da uno dei “**ciuffetti**” della sfera non pettinabile scaturirebbero ad altissima velocità i prodotti carichi delle reazioni di fusione

Futuribile applicazione per la propulsione spaziale a fusione...

Nelle configurazioni a ciambella il plasma può in millesimi di secondo scomparire a causa di instabilità, può far danni alla camera da vuoto e non può riformarsi se non facendo ripartire la configurazione

...invece in una configurazione “quasi-sferica” il plasma si riformerà subito dalla zona che circonda i “**ciuffetti**”, purché in tale zona si inseriscano elettrodi...

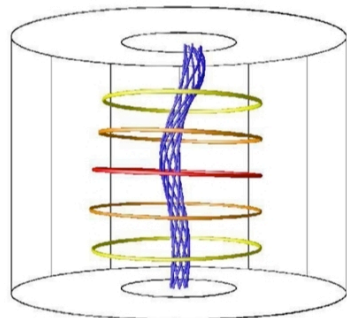


Ecco come formare la configurazione a partire da una “colonna centrale” di plasma

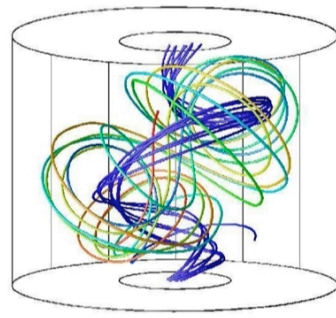
...dalle idee

... al progetto

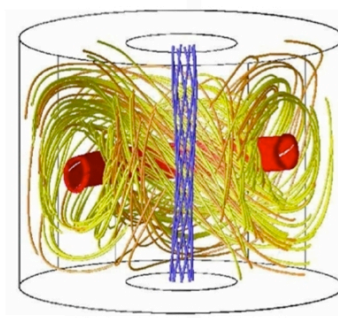
Progettazione tra il 1998 ed il 2006



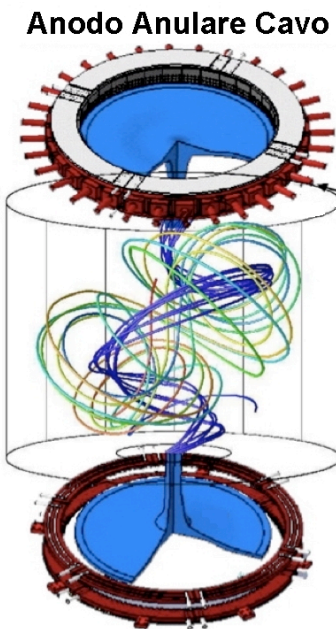
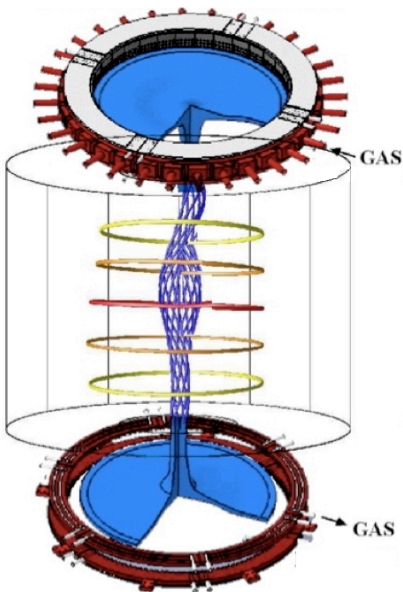
Colonna Centrale di Plasma



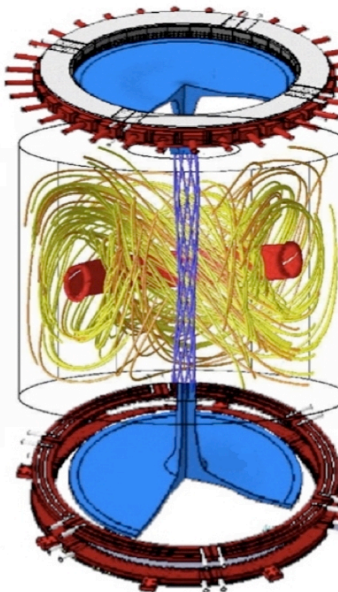
Riconnessione



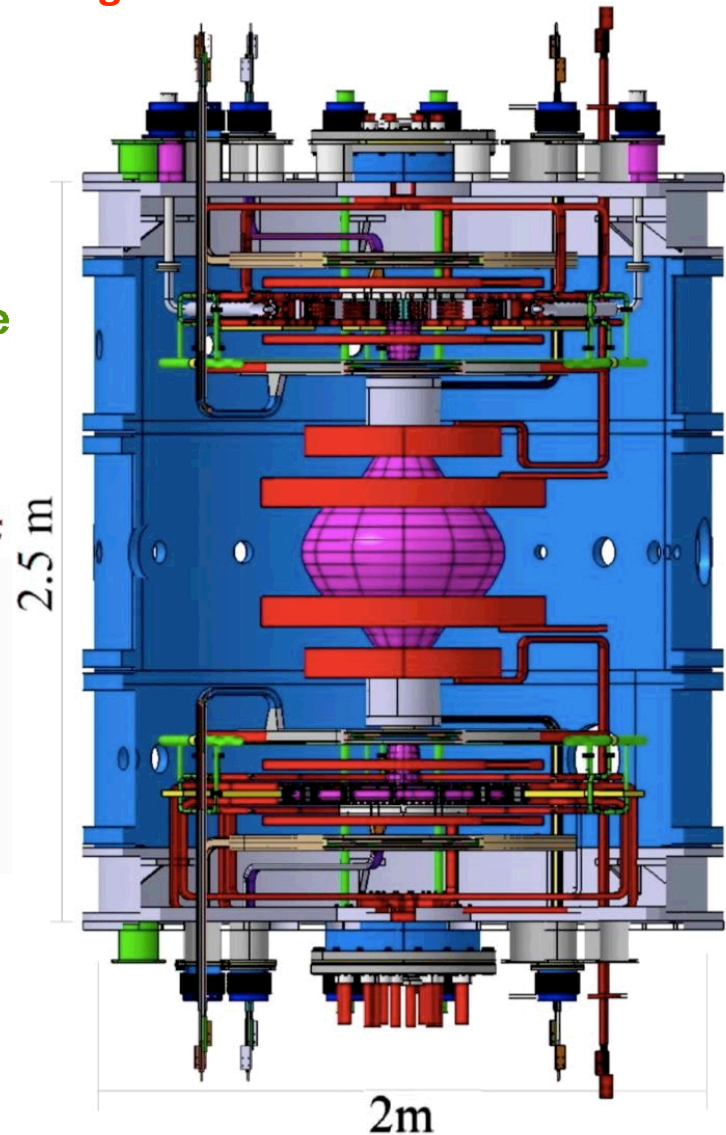
Colonna Centrale e Toro Sferico



Anodo Anulare Cavo

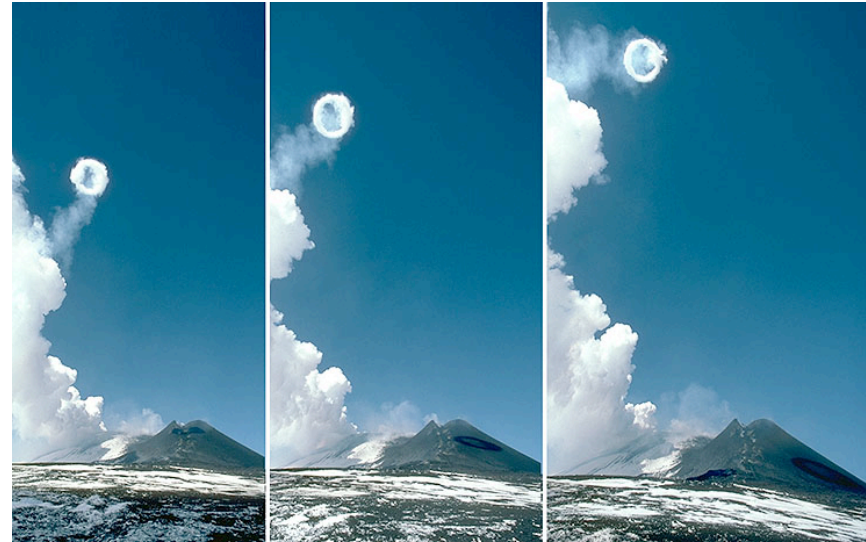


Catodo Anulare a riscaldamento diretto



Ecco come inserire gli elettrodi, anodo e catodo intorno ai “*ciuffetti*” della configurazione

La formazione della configurazione di confinamento e' molto simile alla formazione di un anello di aria nell'acqua o di un anello di fumo nell'aria

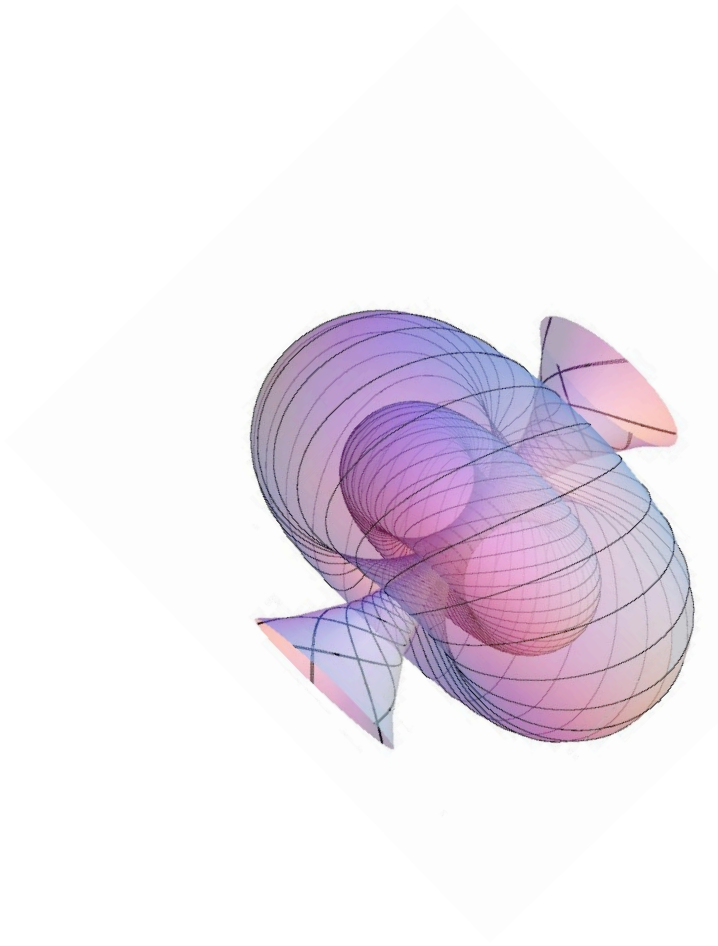


Anelli di fumo eruttati dall'Etna

Anelli d'aria fatti per gioco da un delfino Beluga



La configurazione che fa da base di PROTO-SPHERA e' presente anche nel cosmo:

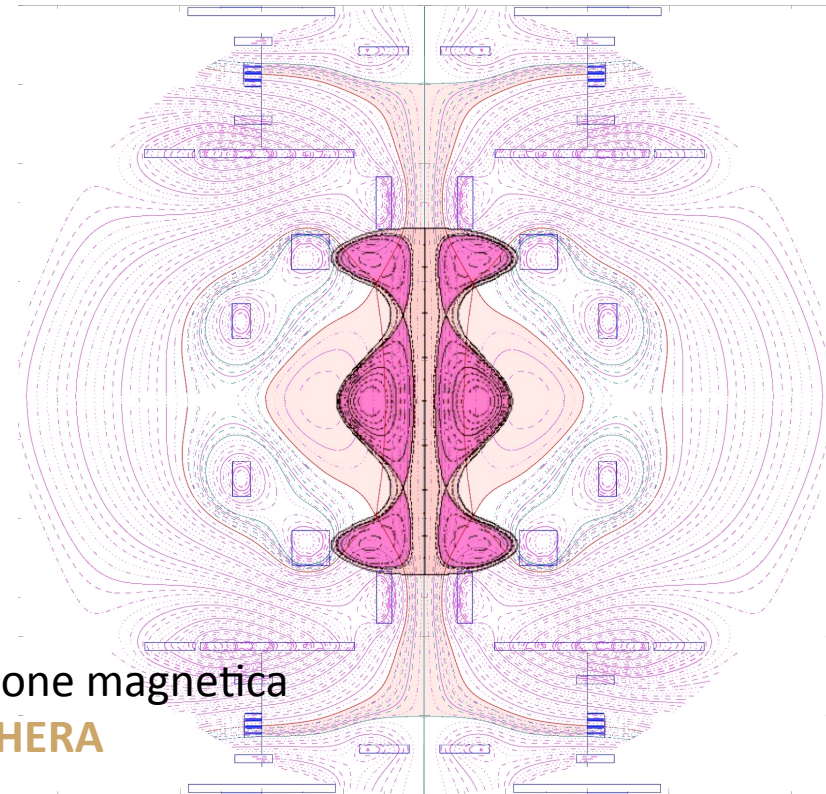
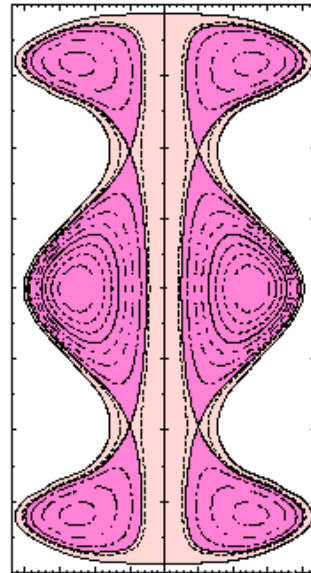


Buon utilizzo della pressione magnetica da parte della pressione di plasma

$$\beta = \text{beta del plasma} = \frac{\text{pressione cinetica del plasma}}{\text{pressione magnetica del campo di confinamento}}$$

=5% Tokamak
=40% PROTO-SPHERA
=100% CKF

Configurazione CKF
stabile a $\beta = 1$
...propulsore spaziale



CKF (forse) ottenibile tramite ulteriore compressione magnetica
da **PROTO-SPHERA**

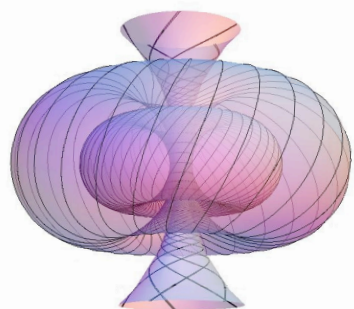
**La densita' di potenza da fusione va come: $\beta^2 B^4$ -> vanno massimizzati
il β del plasma o il campo magnetico B**

- Il peso dei magneti in vista della propulsione costringe a minimizzare il campo B
- Per cui $\beta \approx 1$ e' una scelta obbligatoria

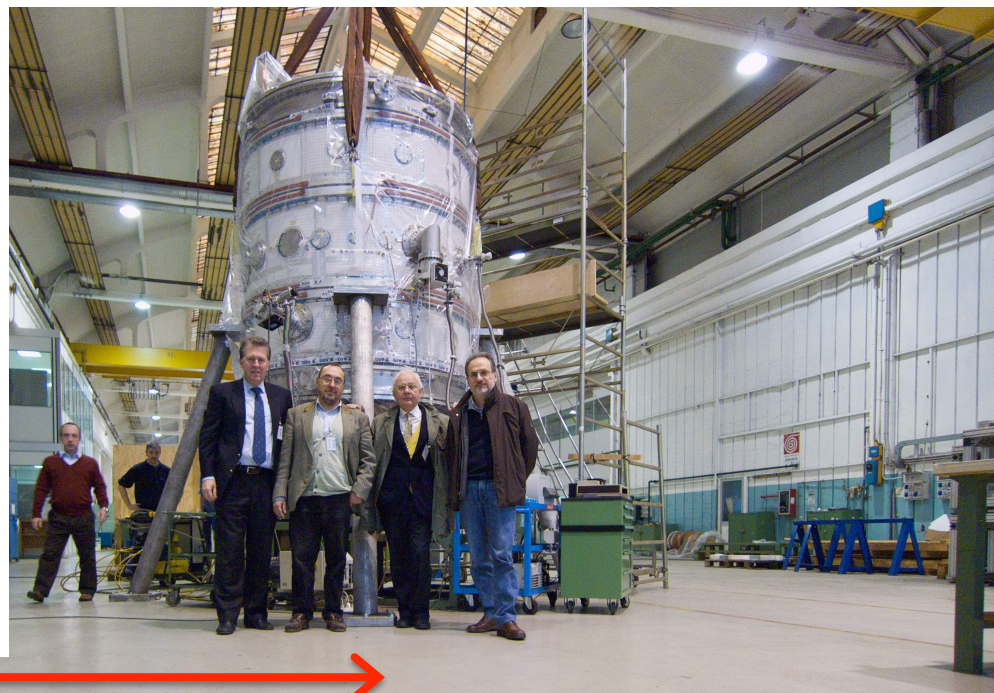
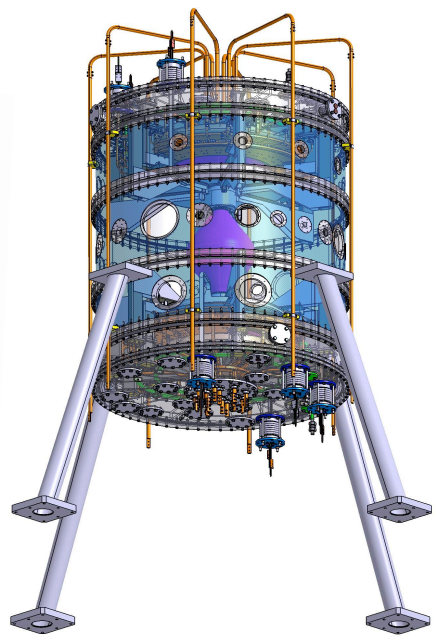
La camera da vuoto cilindrica e' stata regalata dai laboratori inglesi di Culham (Oxford) 2004



PROTO-SPHERA e' stata costruita presso l'ASG Superconductors di Genova, costo 1 M€.



Anni 2006- 2010:



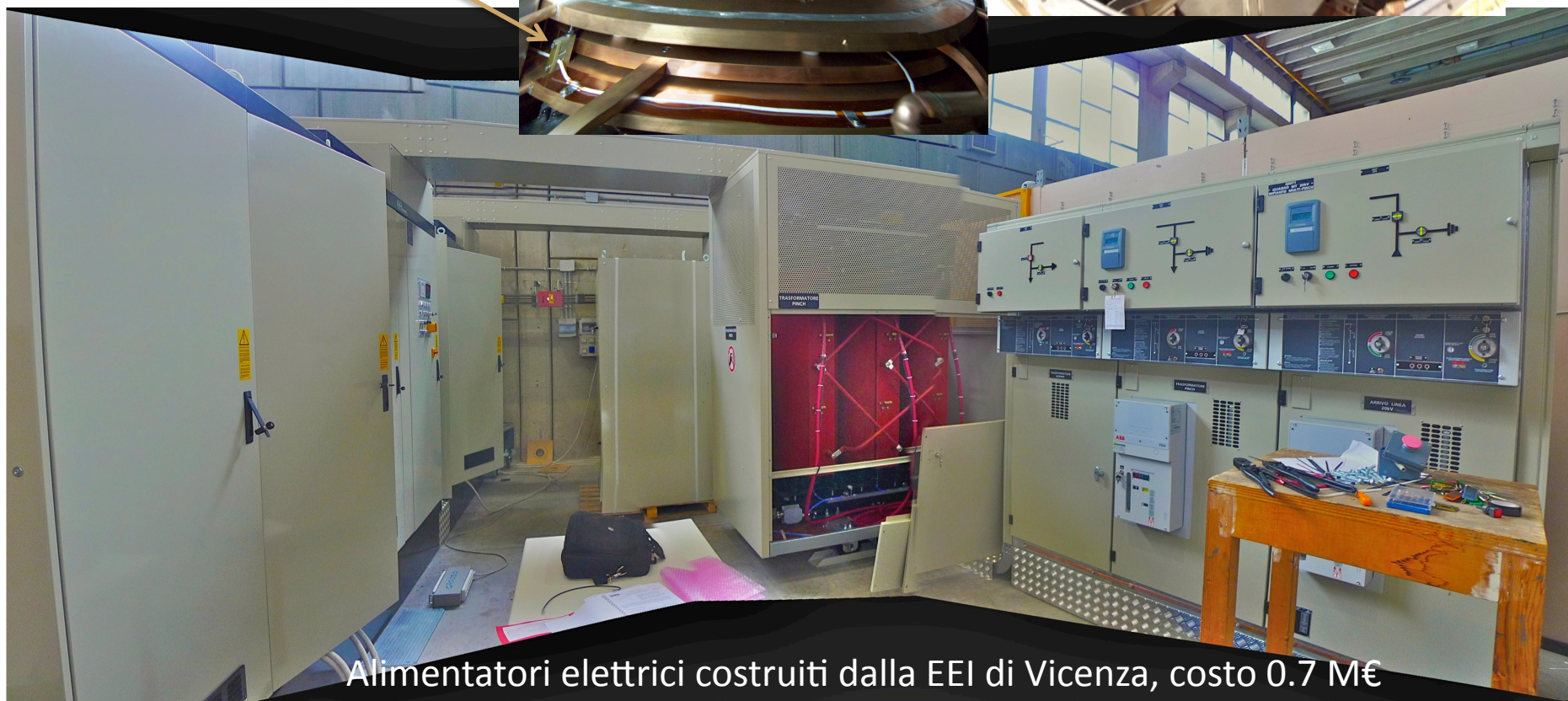
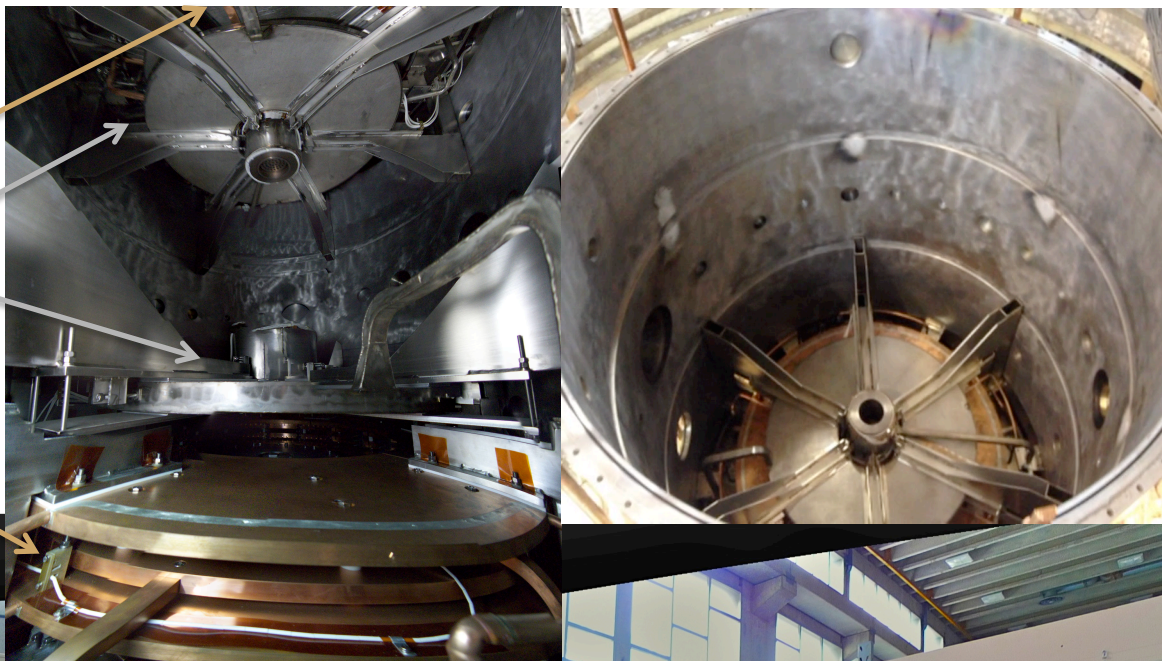
...dalle idee

...al progetto

...al metallo

Interno macchina,
costruito ex-novo
anodo
bobine magnetiche

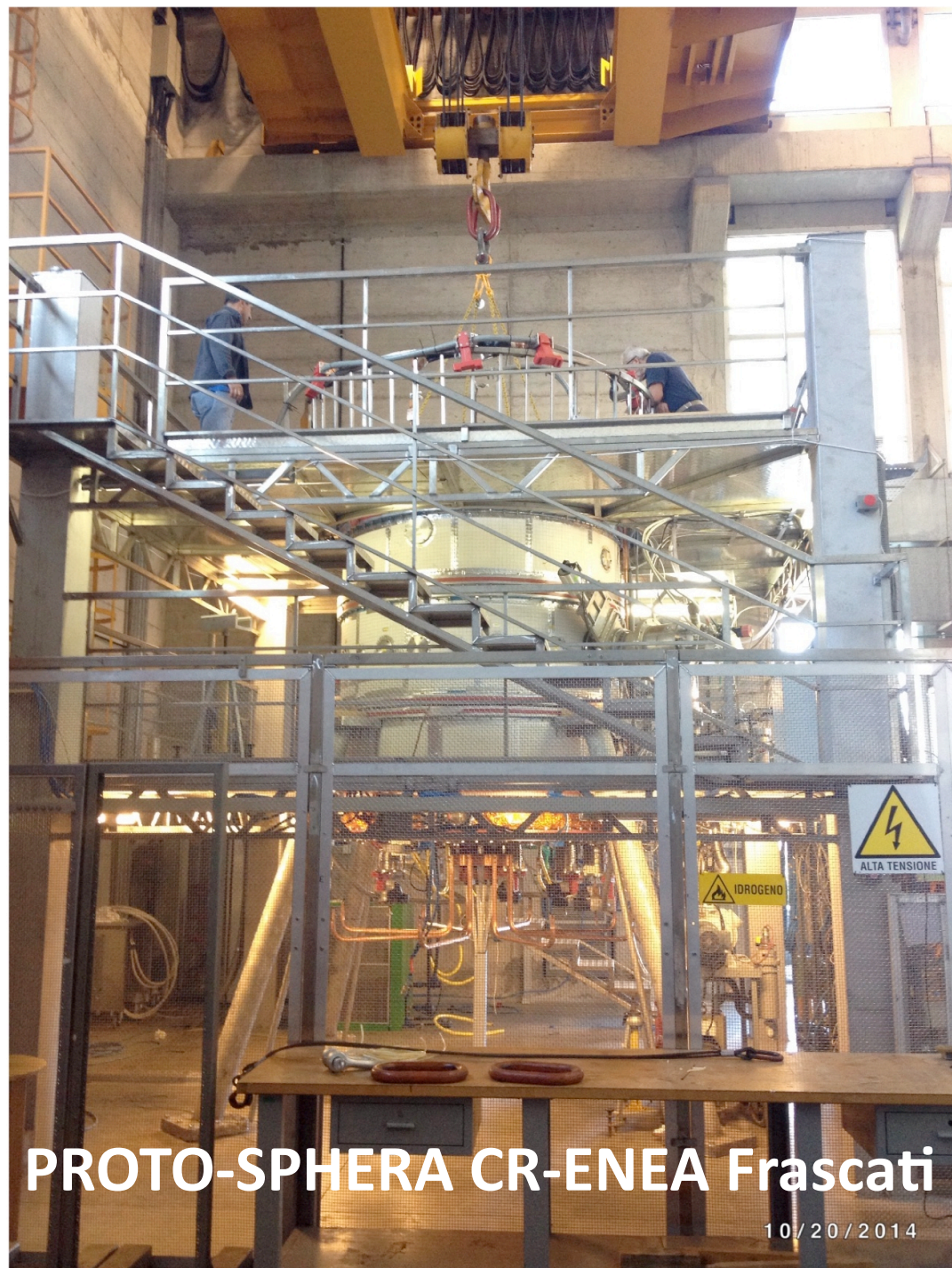
catodo



Alimentatori elettrici costruiti dalla EEI di Vicenza, costo 0.7 M€

Anni 2011- 2014:

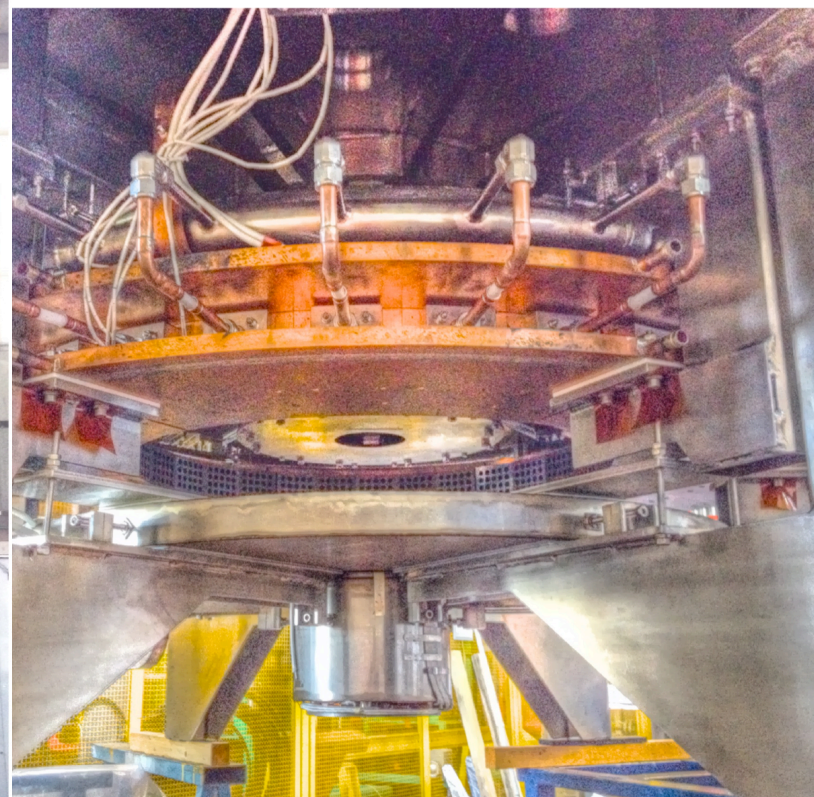




PROTO-SPHERA CR-ENEA Frascati

10/20/2014

All'interno della macchina: in alto, anodo anulare con fori che sbuffano gas

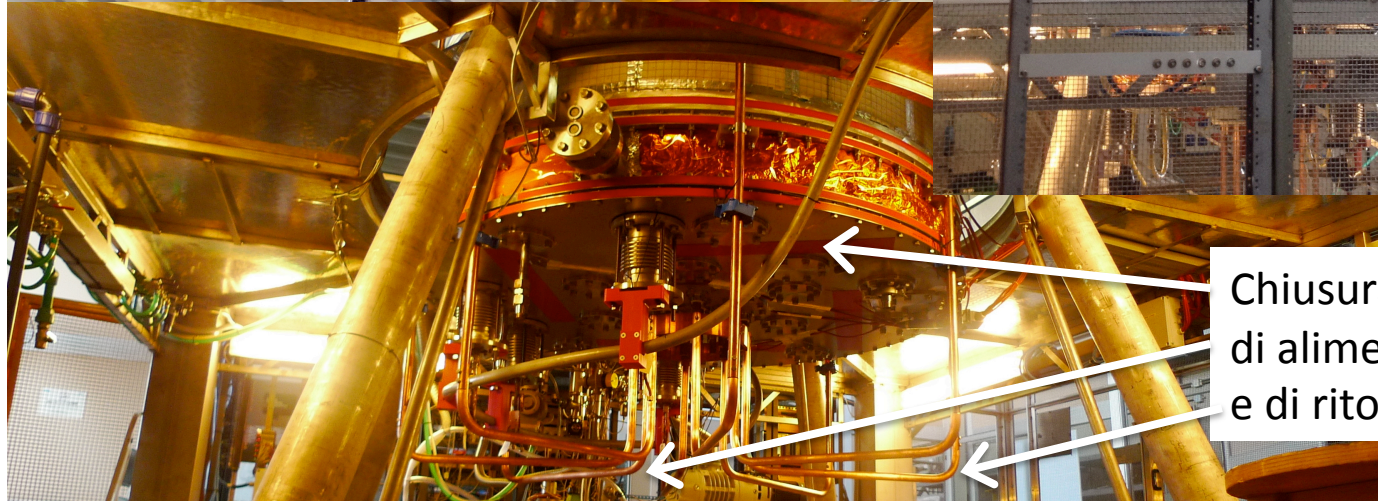
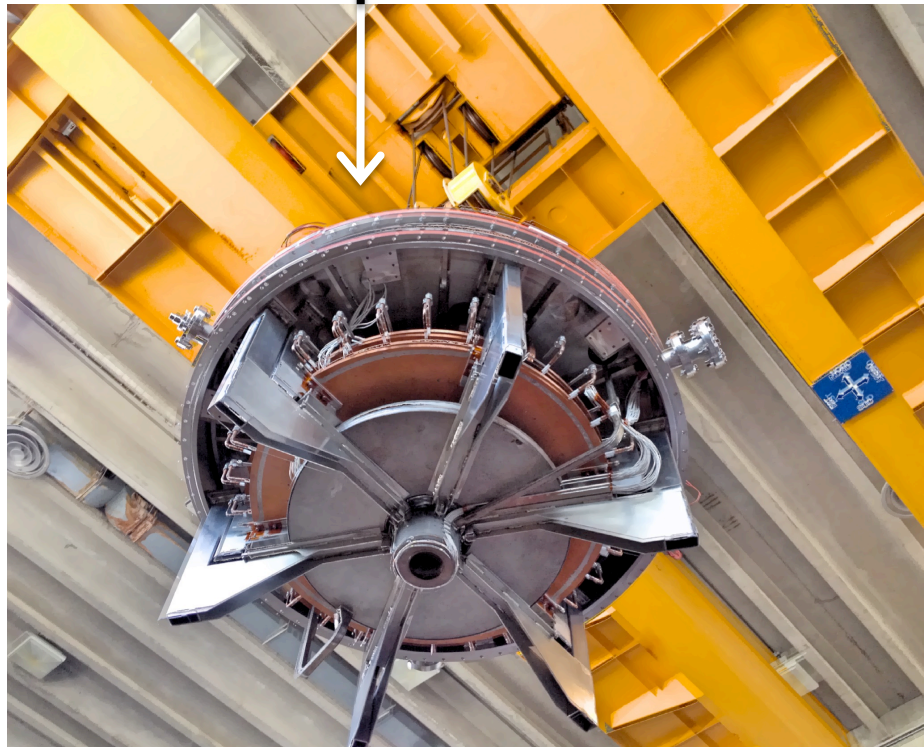


in basso, catodo riscaldato a 3000° K



Catodo (18 emettitori)

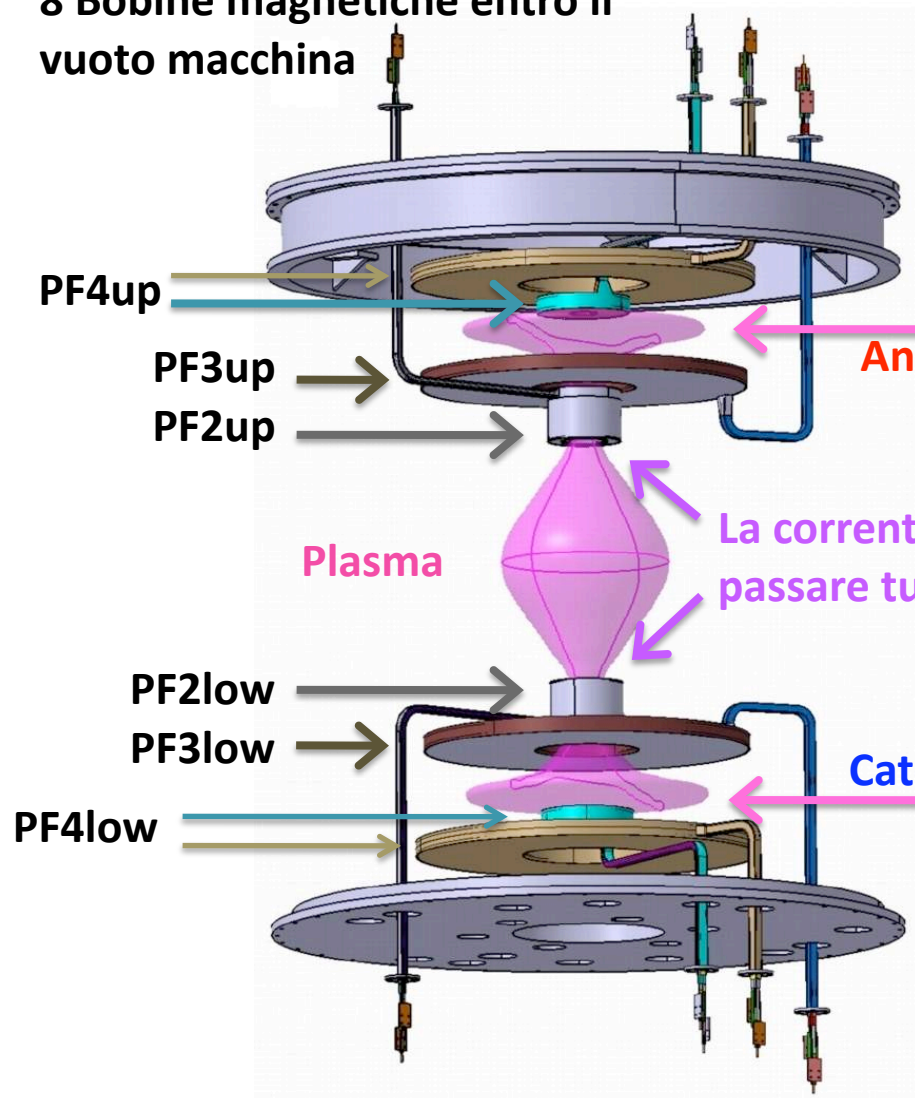
Montaggio dell'anodo anulare sulla macchina,
Maggio 2015



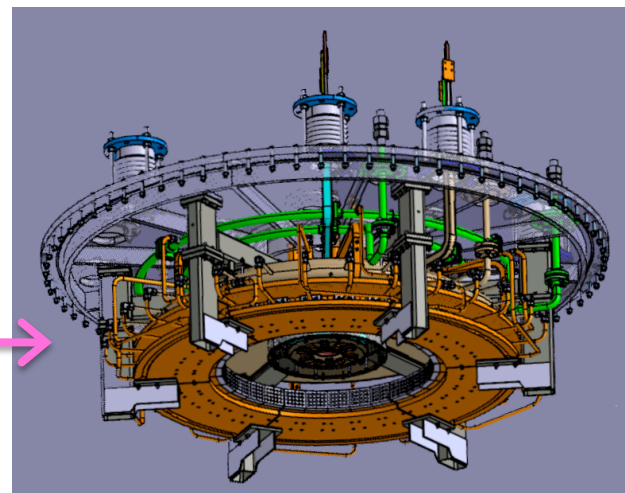
Chiusura inferiore con barre
di alimentazione catodo
e di ritorno corrente Plasma

Gli esperimenti iniziati nel 2014 per ora puntano solo alla produzione e caratterizzazione della colonna centrale di Plasma

8 Bobine magnetiche entro il vuoto macchina

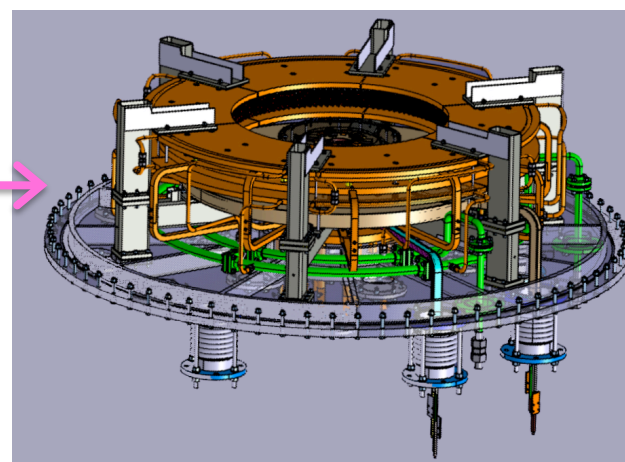


Anodo Anulare



Anodo

La corrente di plasma della colonna centrale deve passare tutta attraverso le 2 strizioni magnetiche



Catodo

Catodo Anulare

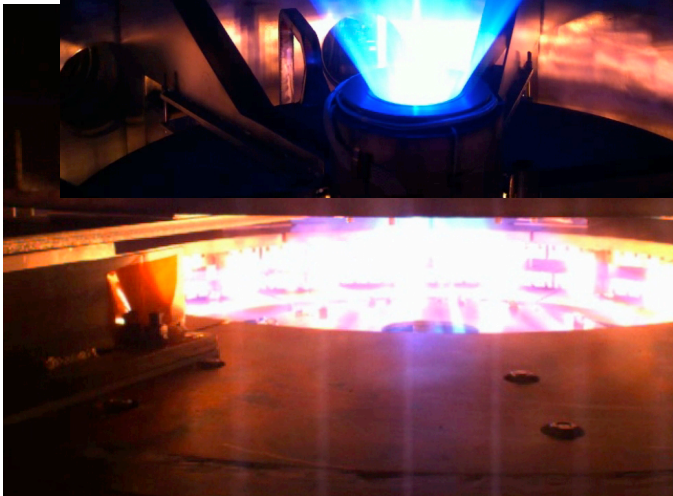
I primi risultati della colonna centrale di plasma di PROTO-SPHERA - 2015



Plasma
anodico



Colonna
centrale
di plasma



Plasma
catodico

La configurazione che in futuro consentirebbe
la propulsione e' presente come previsto

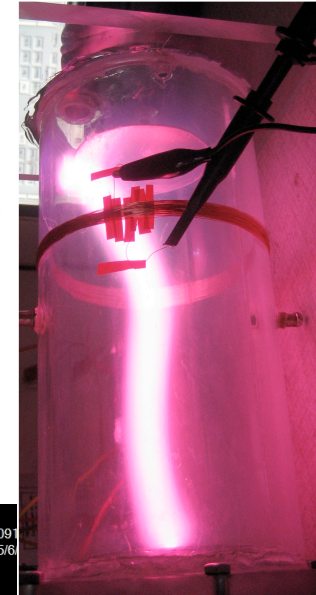


Si temeva che sull'anodo si verificasse il paventato fenomeno dell'ancoraggio

Anodo (non ha filamenti di Plasma)



Ancoraggio anodico
di una scarica ad arco
(saldatori, torce al plasma)



Invece su PROTO-SPHERA...

Photron FASTCAM SA4 model 500K Partition : 010 3600 fps
1/3600 sec 1024 x 1024 Random 1091
frame : 178 +49.444 ms(1) Date : 2015/6
Time : 14:50

Catodo (18 filamenti di plasma da emettitori)

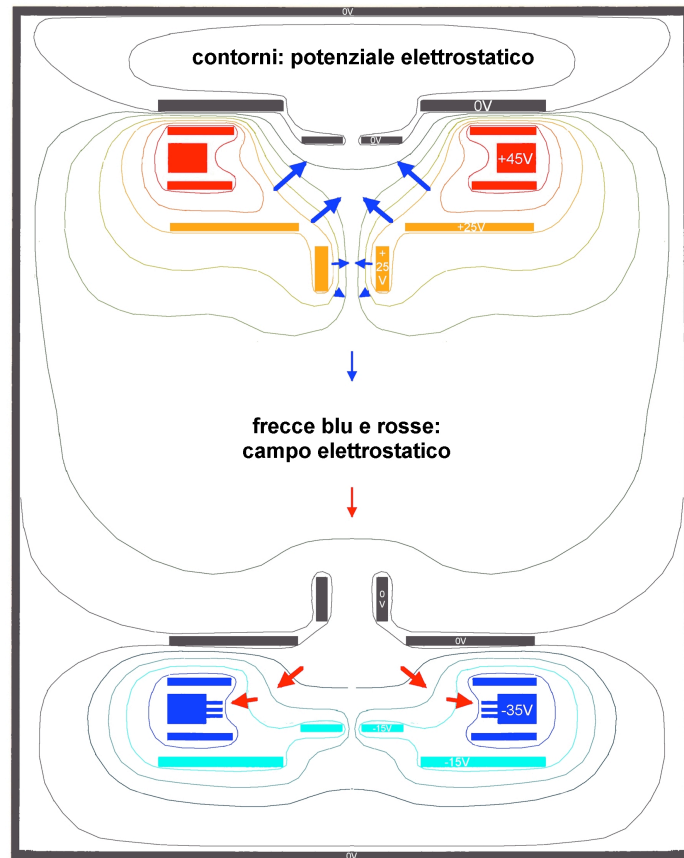


I filamenti
del Plasma
catodico
scompaiono
man mano
che si va
verso
l'anodo

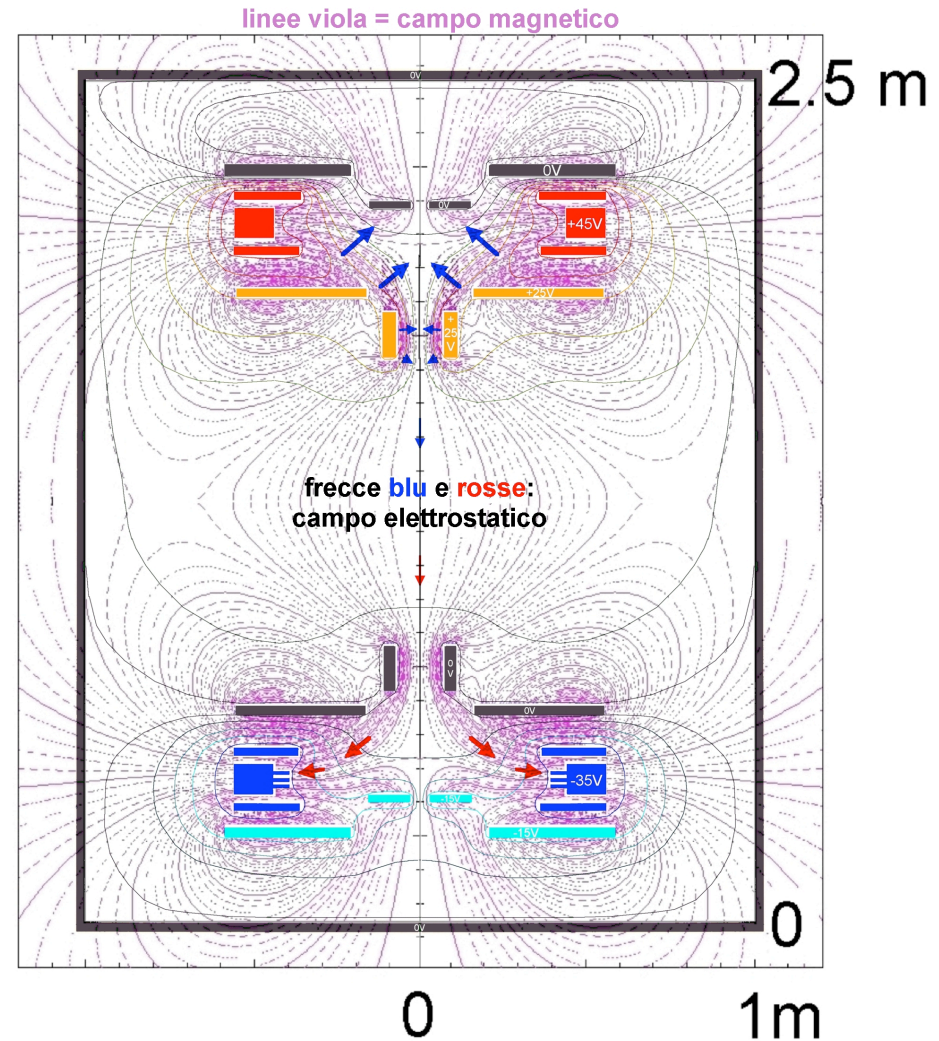


La prima grossa sorpresa positiva di PROTO-SPHERA: una volta imposta dagli alimentatori la tensione tra anodo e catodo, e' l'autoorganizzazione del plasma a decidere:

- i potenziali elettrici cui si portano le bobine magnetiche (isolate da terra ed entro il vuoto)
- e se il campo elettrico **E** divenga parallelo o perpendicolare al campo magnetico **B**



Camera da vuoto a potenziale di terra

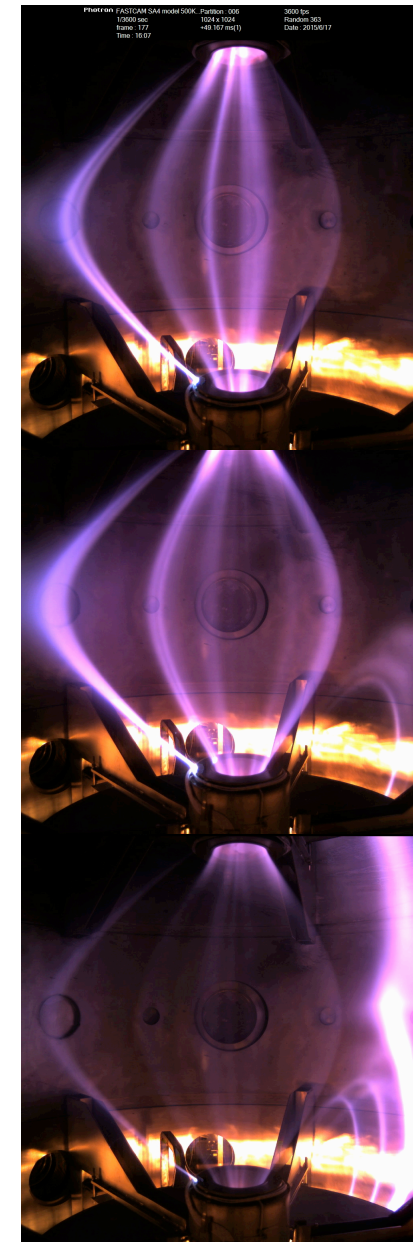


La colonna centrale di Plasma e' autostabilizzata da fenomeni elettrostatici

Tuttavia 1/2 della corrente di Plasma
fluisce all'esterno del percorso voluto



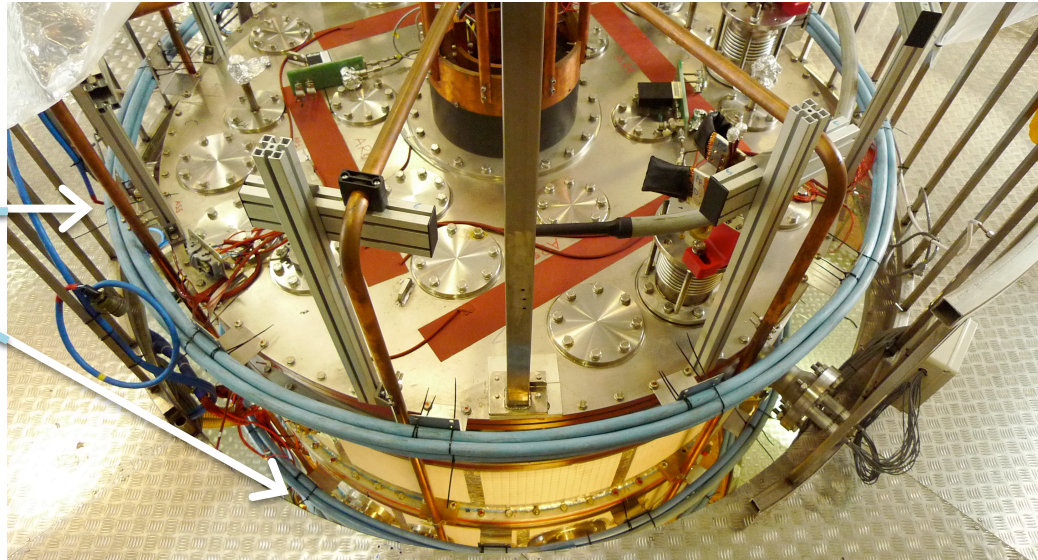
Nel Plasma blu di Argon (70 Volt) l'effetto e' lieve e diffuso



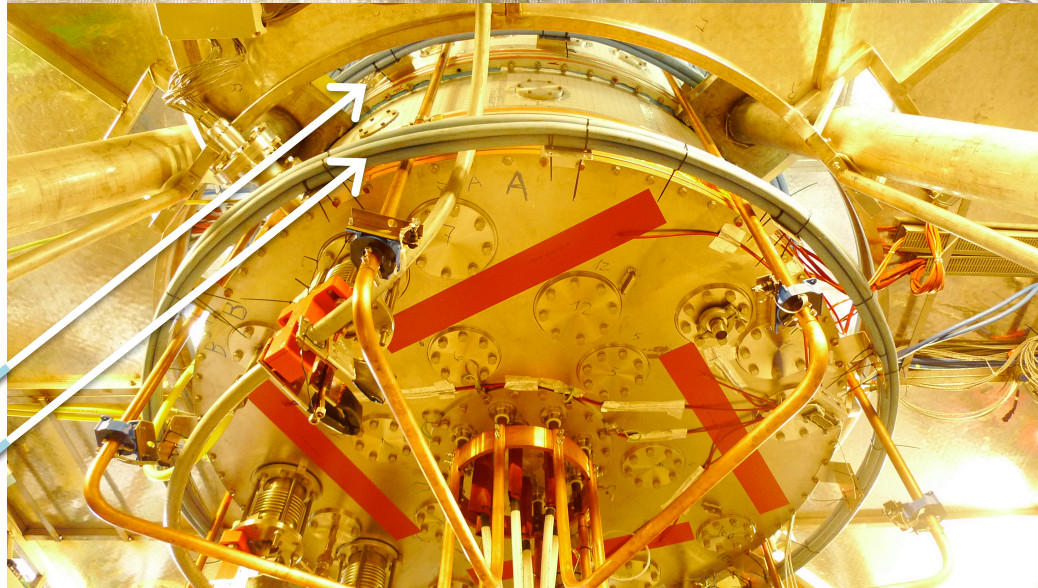
Nel Plasma rosa di Idrogeno (200 Volt)
si producono archi esterni

Per rimediare al fluire di correnti all'esterno delle strizioni magnetiche sono state installate sulla macchina 4 bobine magnetiche esterne al vuoto,

**bobine magnetiche
della parte superiore**



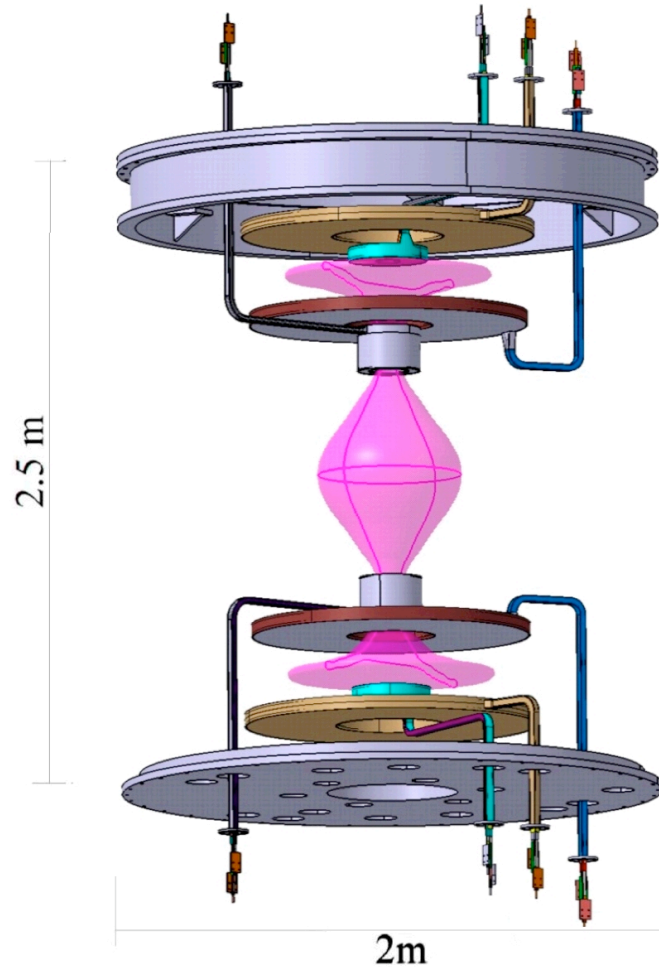
**bobine magnetiche
della parte inferiore**



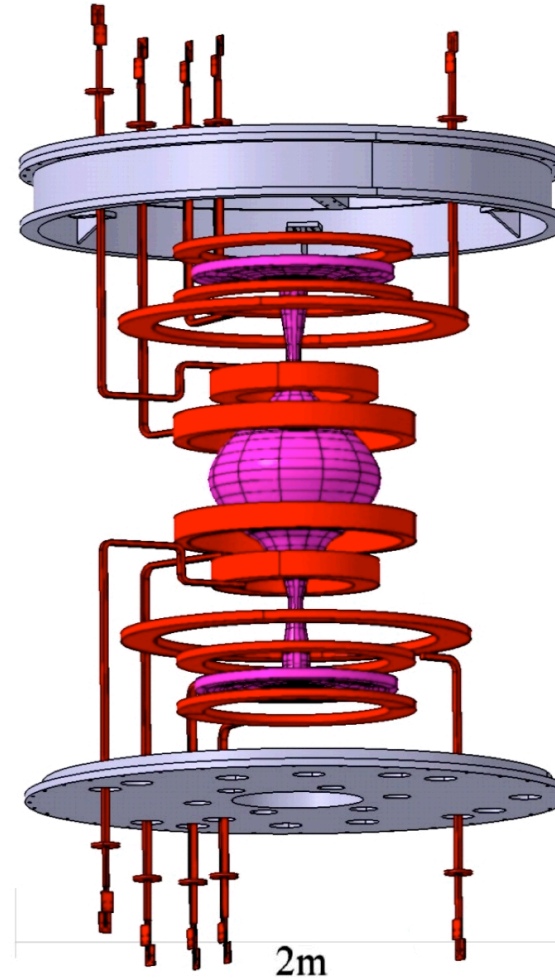
nella sperimentazione del prossimo ottobre 2015 si vedrà se il problema è risolto

Se la sperimentazione della colonna centrale di Plasma avra' completo successo per completare PROTO-SPHERA ed ottenere la configurazione quasi-sferica vanno costruite altre bobine ed integrati gli alimentatori elettrici:

Bobine magnetiche oggi esistenti



Bobine magnetiche da costruire

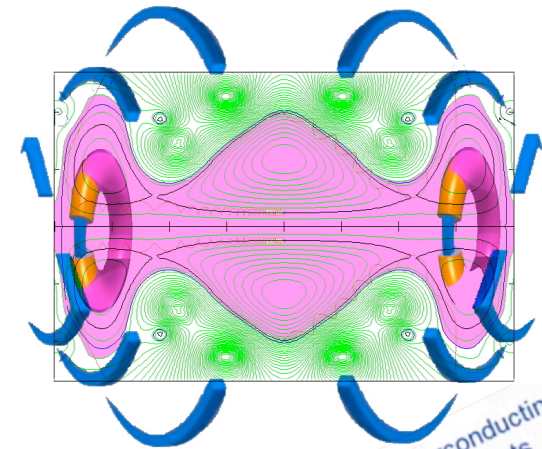
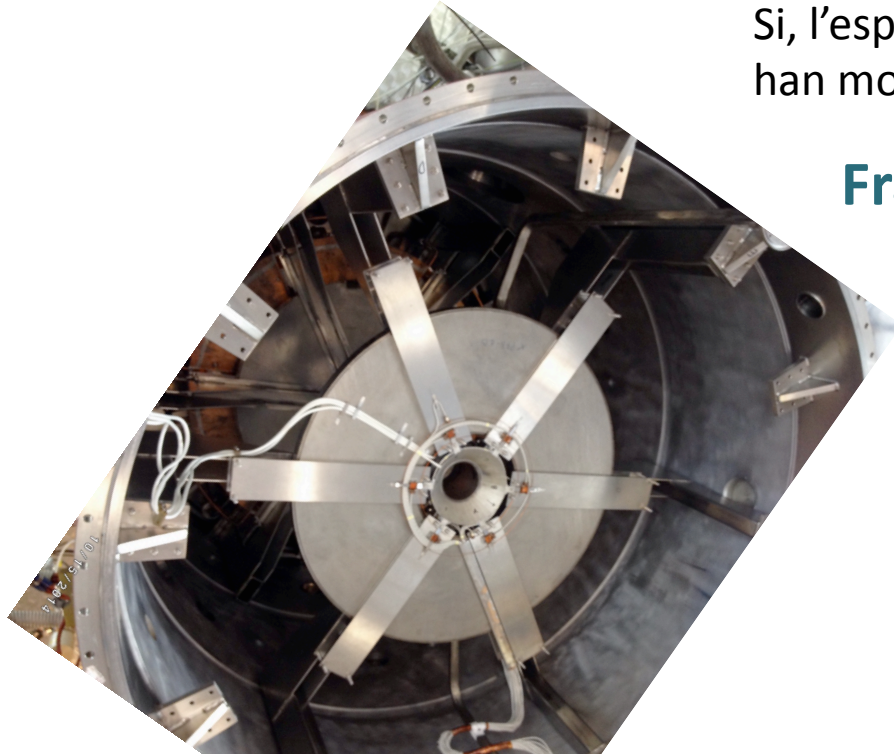


L'ulteriore spesa e' stimata in 1.3 M€, la spesa totale sara' quindi di 4 M€
0.01% del costo di ITER

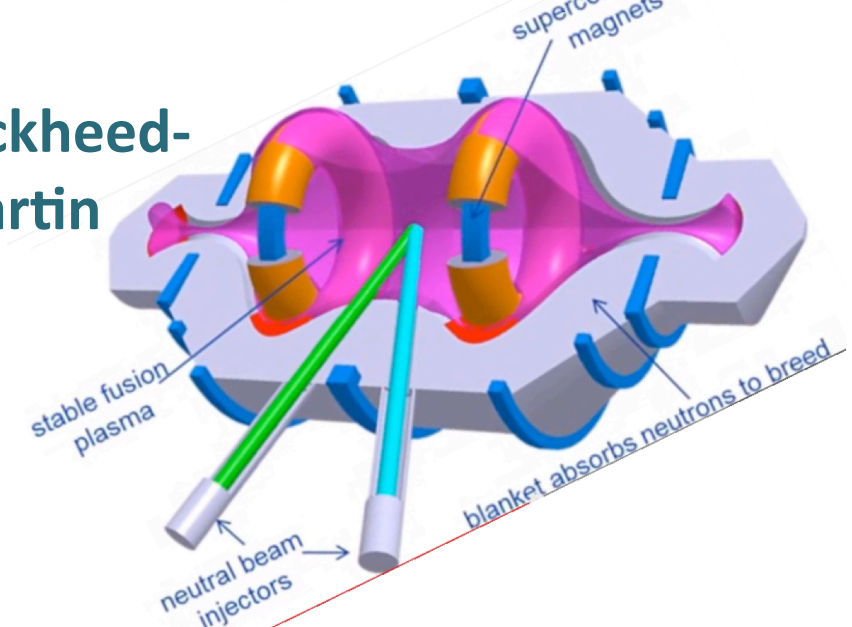
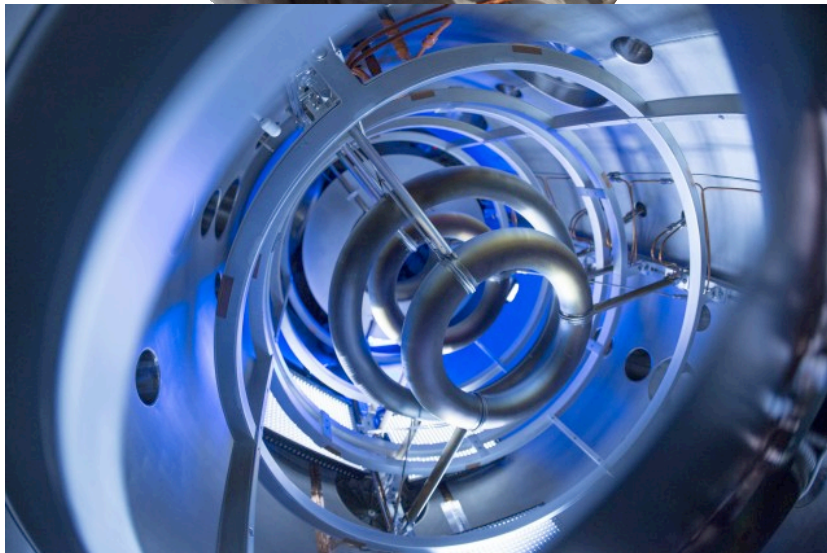
C'e' qualcosa di analogo al mondo?

Si, l'esperimento della Lockheed-Martin, di cui han molto parlato i media la primavera scorsa

Frascati



Lockheed-Martin





Lockheed-Martin

Frascati

