

Fisica dei plasmi (un po' di questo, e non solo)

ovvero:

Che c'entra il divisionismo con la fisica dei plasmi?

E i Metallica con l'antimateria?

E le previsioni del tempo col fischio delle casse del mio pc?

(Tutte le domande a cui l'umanità non ha risposta...
e non l'ha mai cercata)

Giancarlo Maero



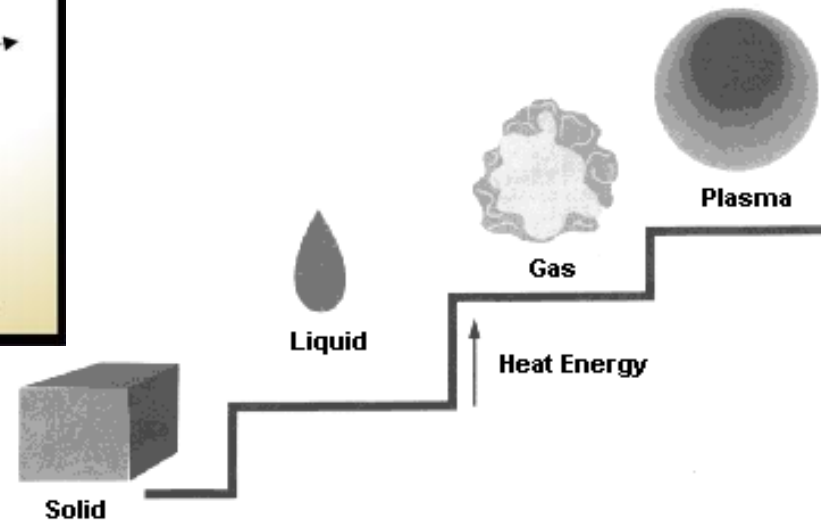
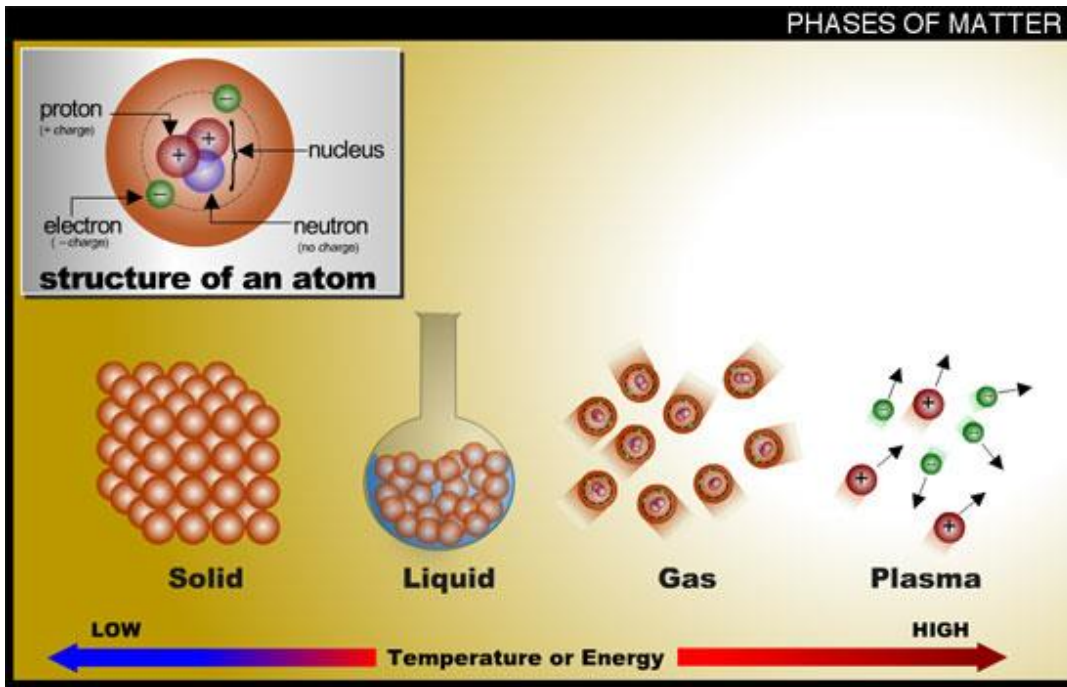
Giovanni Pellizza da Volpedo, *Il quarto stato* (1901, 293x545 cm)

- sono tanti (la maggioranza);
- singolarmente indistinti;
- trattati come massa (insieme collettivo);
- non contano un...

Plasma: un insieme di particelle elettricamente cariche in cui domina l'interazione elettromagnetica; comportamento collettivo (descrizione cinetica o fluida)

Gli stati della materia

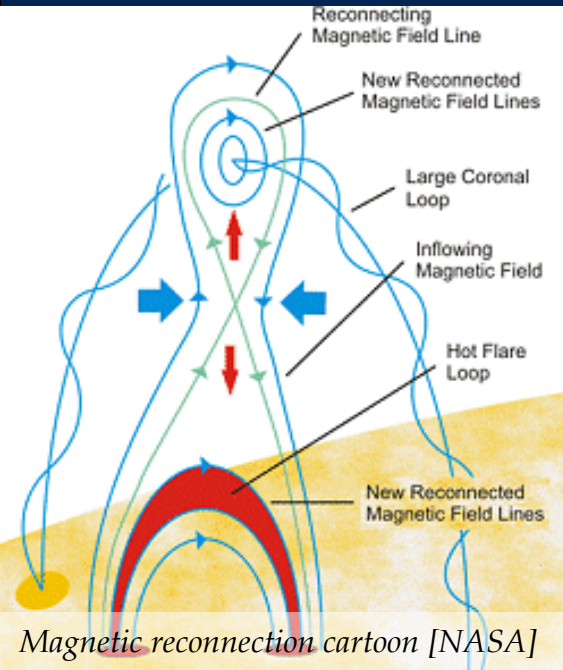
Livello macroscopico (stati della materia, determinati dai **legami tra componenti**)



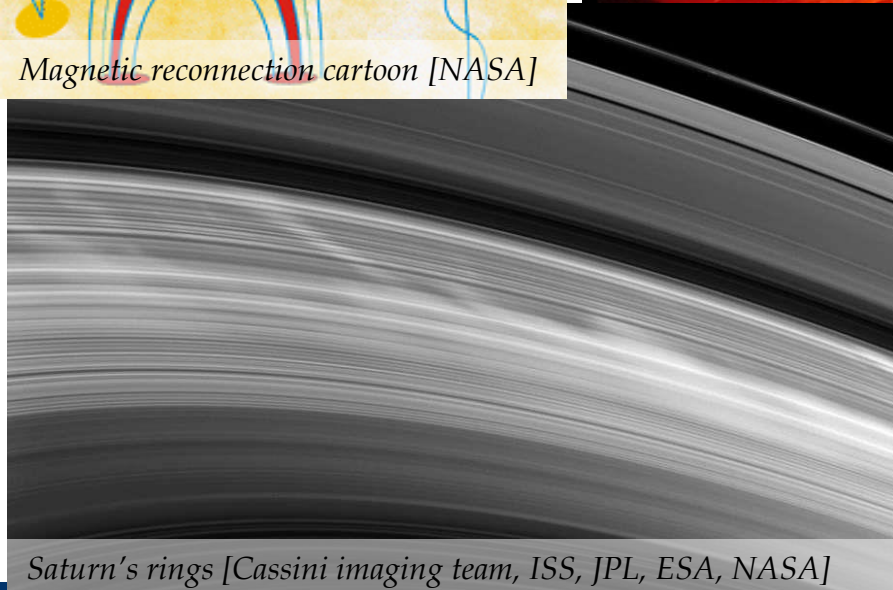
Per spezzare i legami serve **energia**



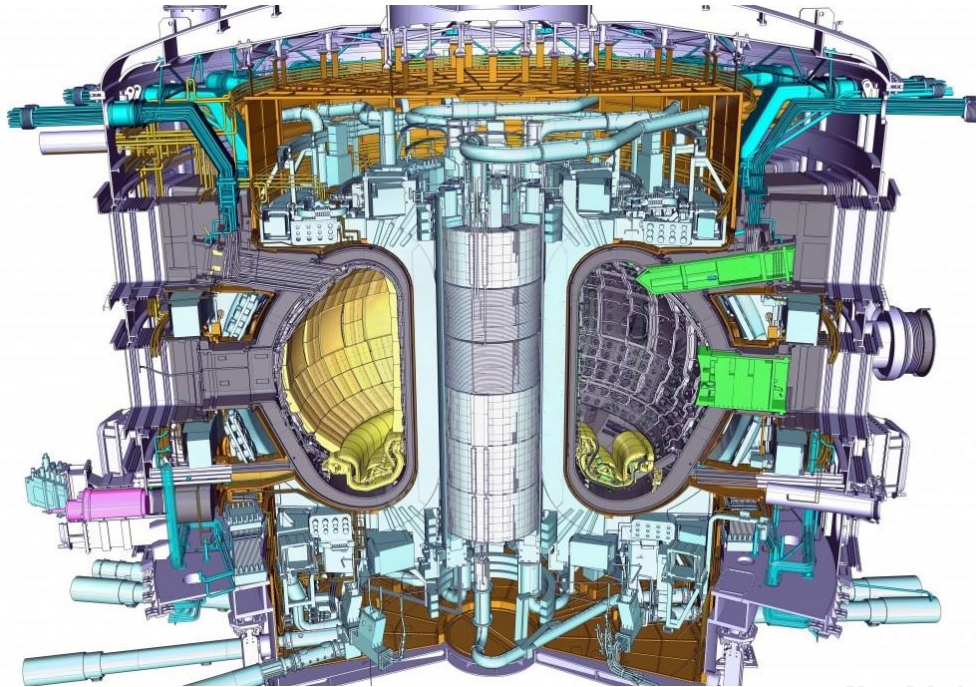
Plasmi astrofisici



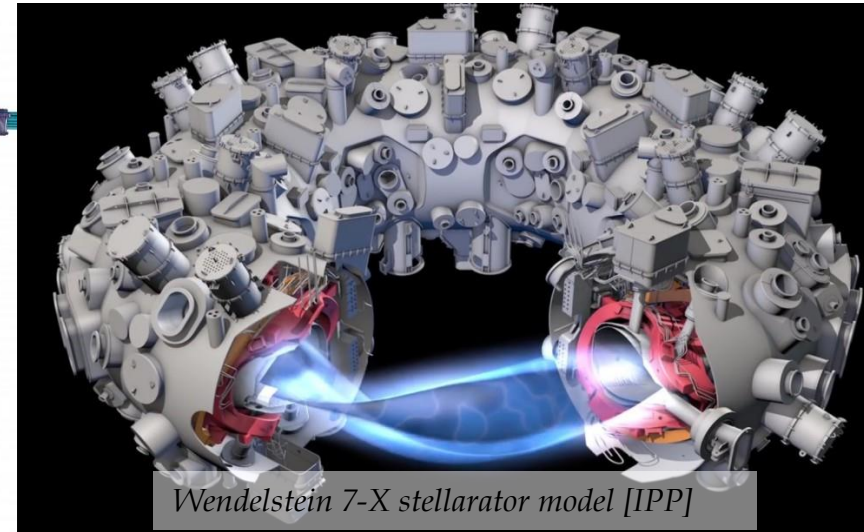
Solar eruption [NASA]



Plasmi in laboratorio e applicazioni 1: fusione

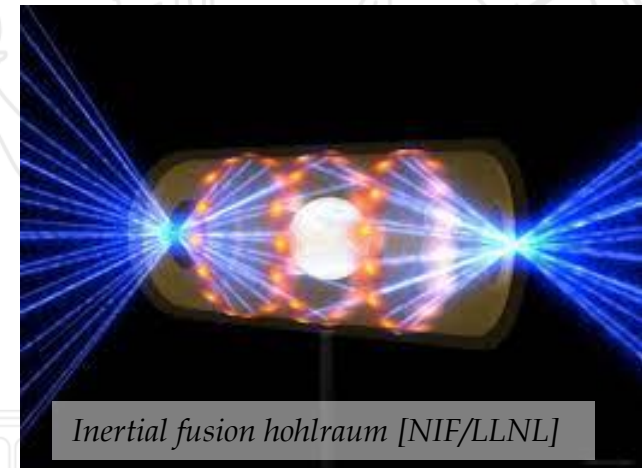


ITER tokamak model [ITER organization]



Wendelstein 7-X stellarator model [IPP]

*Energia tramite fusione termonucleare:
un plasma confinato a lungo e caldo abbastanza da
innescare le reazioni che producono energia nelle stelle*

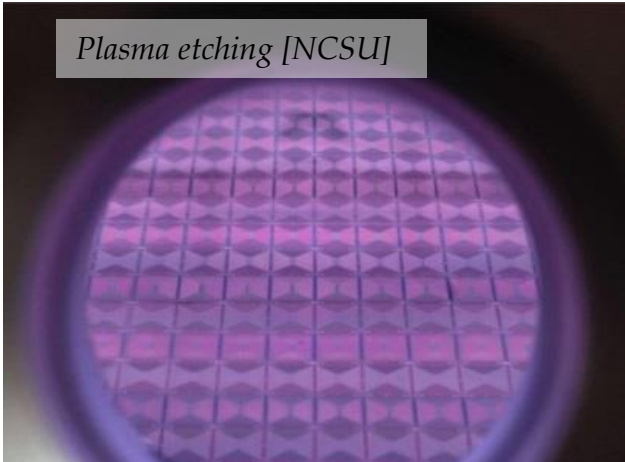


Inertial fusion hohlraum [NIF/LLNL]

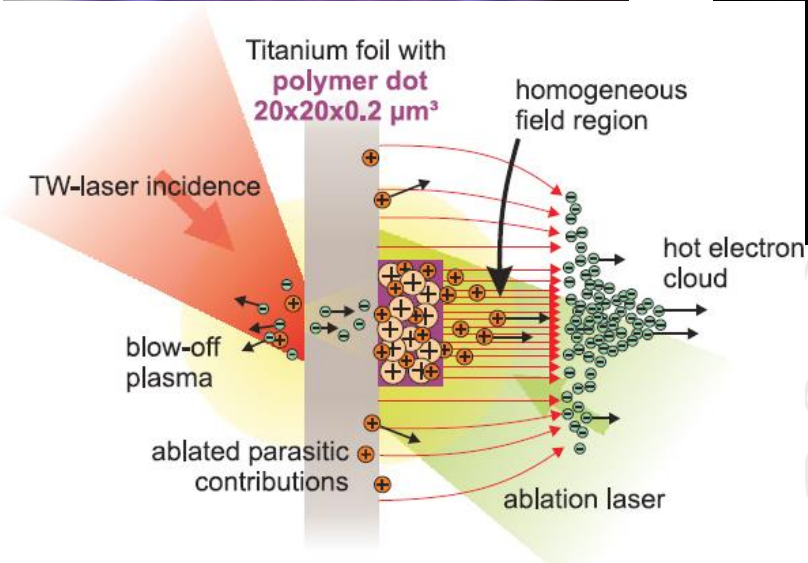
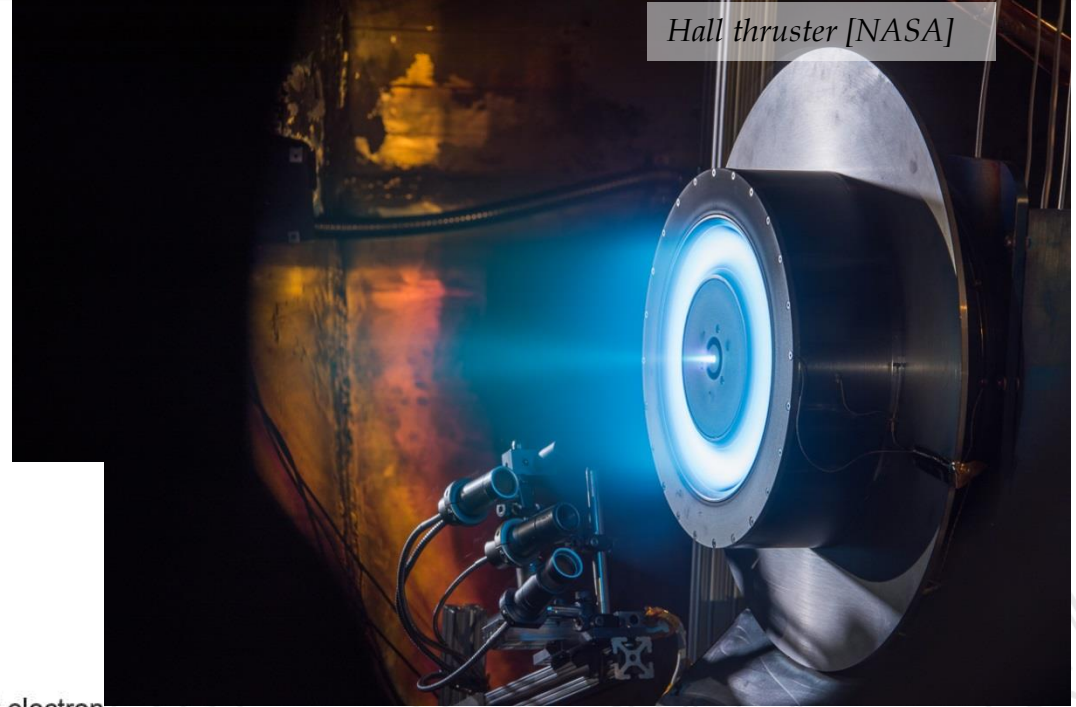


Plasmi in laboratorio e applicazioni 2

Plasma etching [NCSU]



Hall thruster [NASA]



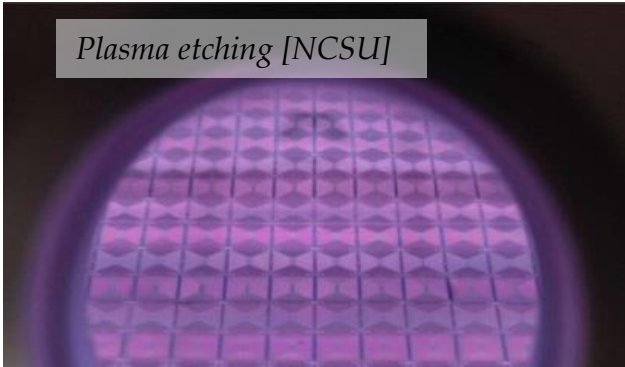
Applicazioni tecnologiche:
trattamenti superficiali
(materiali e sanitari), lavorazioni
meccaniche, propulsione
spaziale, sorgenti e acceleratori
di particelle

Laser-plasma acceleration [S.M. Pfotenhauer et al., *New. J. Phys.* **10**, 033034 (2008)]

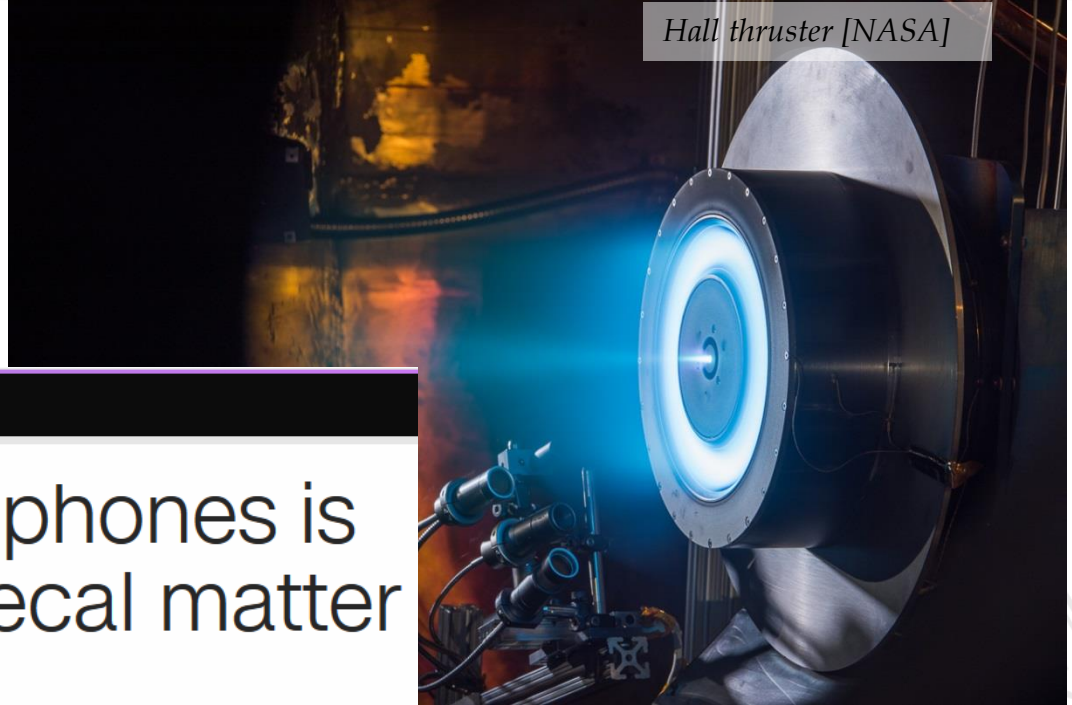


Plasmi in laboratorio e applicazioni 2

Plasma etching [NCSU]



Hall thruster [NASA]



Health » Study: 1 in 6 UK cell phones is contaminated with fecal matter

Study: 1 in 6 UK cell phones is contaminated with fecal matter

By the CNN Wire Staff

Updated 0227 GMT (1027 HKT) October 15, 2011

Story highlights

1 in 6 mobile phones is contaminated with fecal matter, study finds

More than 1 in 4 Londoners' hands have the E. coli bacteria

Tropical Medicine said in the report.

One in six mobile phones in Britain is contaminated with fecal matter, according to research made public Friday that cited poor hygiene as the cause.

"This study provides more evidence that people still don't wash their hands properly, especially after going to the toilet," Dr. Val Curtis of the London School of Hygiene &

News & b



Applicazioni tecnologiche:
trattamenti superficiali (materiali e sanitari), lavorazioni meccaniche, propulsione spaziale, sorgenti e acceleratori di particelle



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO
DIPARTIMENTO DI FISICA

G. Maero – Art&Science 12 marzo 2019

Plasmi in laboratorio – fisica di base

Parole chiave:

Dinamica collettiva: tanti costituenti, descritti tramite un comportamento medio (dal discreto al continuo), spesso di tipo fluido

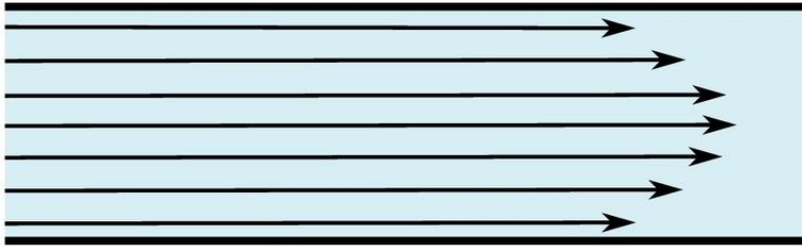
Linearità/nonlinearità: linearità = proporzionalità (se due quantità sono in relazione lineare, quando raddoppia la prima raddoppia la seconda)

Turbolenza: moto di fluido in cui avvengono variazioni caotiche di velocità; una forma di «ordine» è visibile in senso statistico



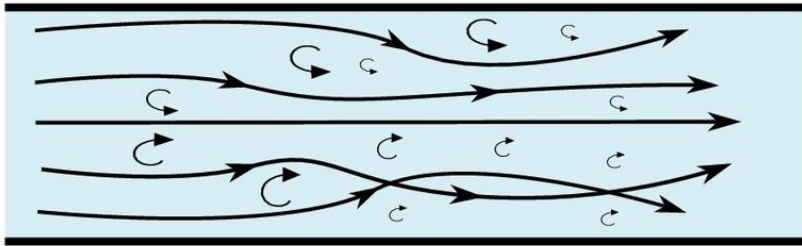
Fluidi – flusso laminare e turbolento

laminar flow



Flusso laminare:
elementi di fluido adiacenti
hanno velocità simili

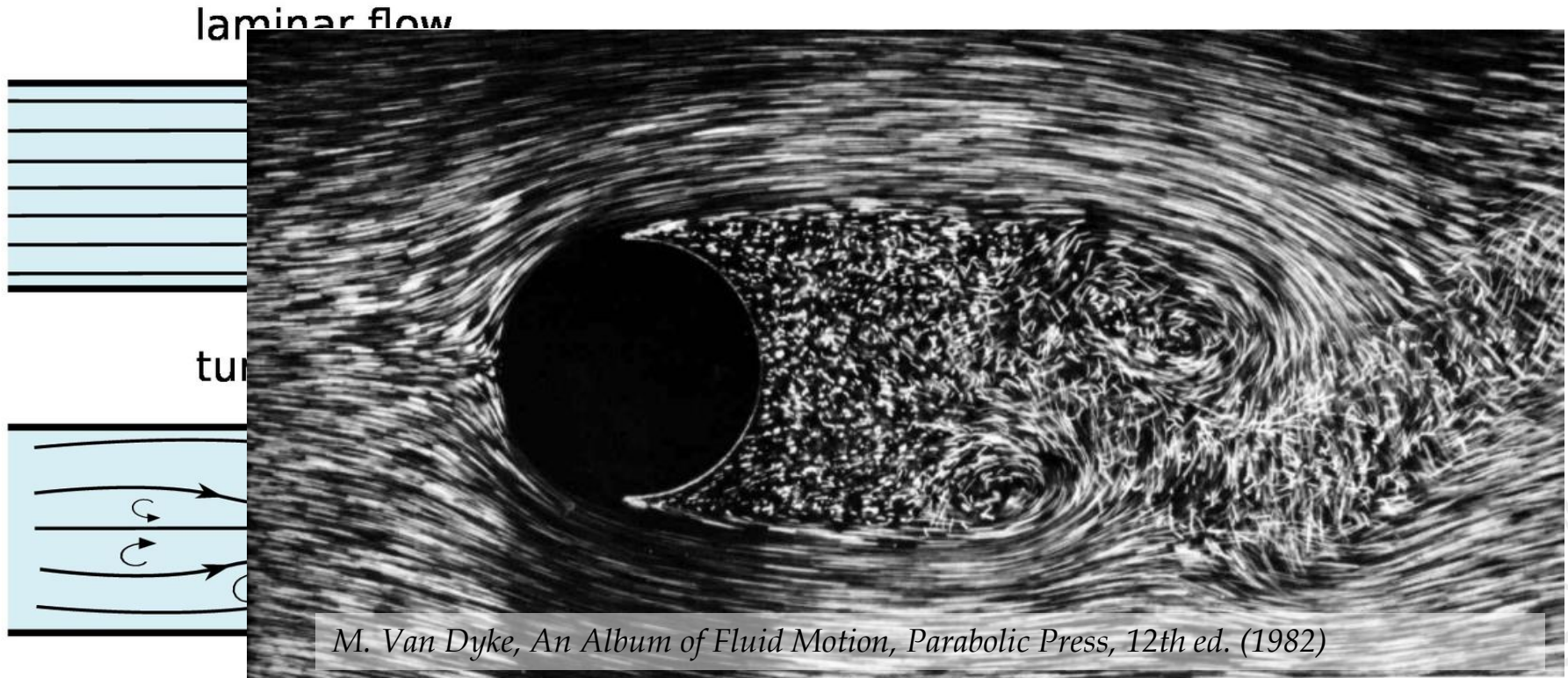
turbulent flow



Flusso turbolento:
elementi di fluido adiacenti
hanno velocità scorrelate



Fluidi – flusso laminare e turbolento



Invarianza di scala: se ingrandisco, osservo lo stesso tipo di strutture

Horace Lamb (1849 - 1934) 'I am an old man now, and when I die and go to heaven there are two matters on which I hope for enlightenment. One is quantum electrodynamics, and the other is the turbulent motion of fluids. And about the former I am rather optimistic.'



Instabilità di Kelvin-Helmholtz

Instabilità di Kelvin-Helmholtz: tra strati di fluido che si muovono a diversa velocità si crea una **vorticità**



Jupiter's giant red spot [NASA/JPL]



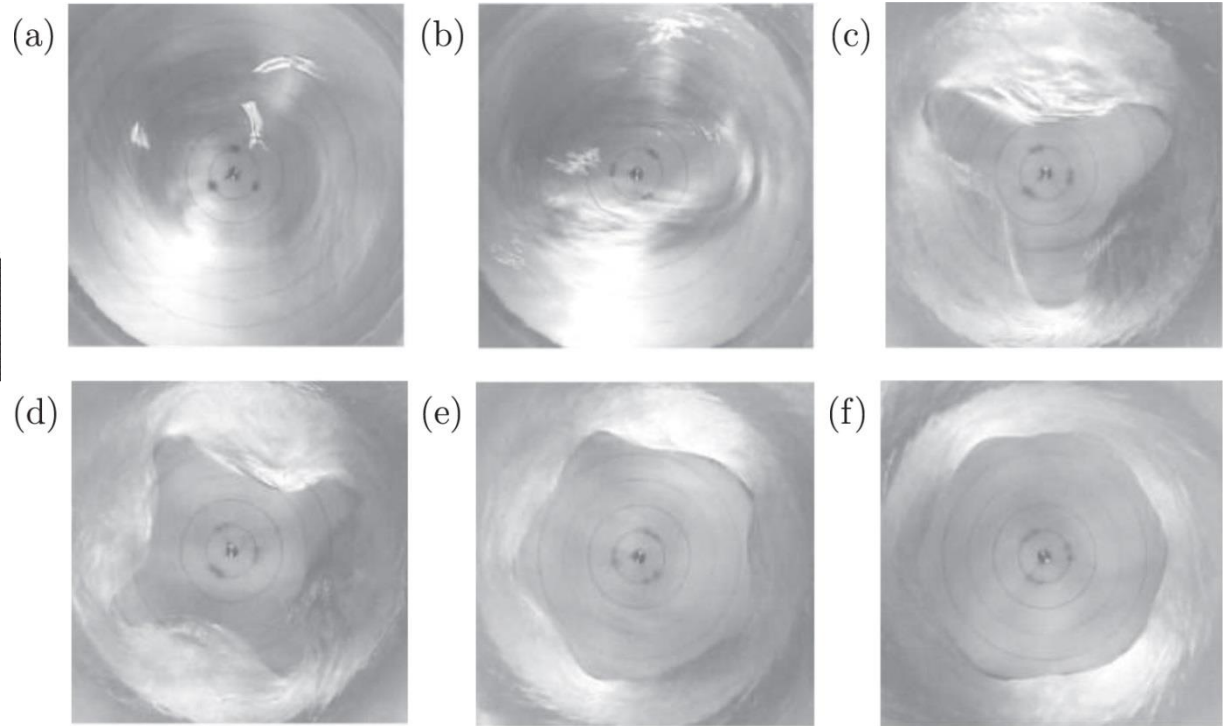
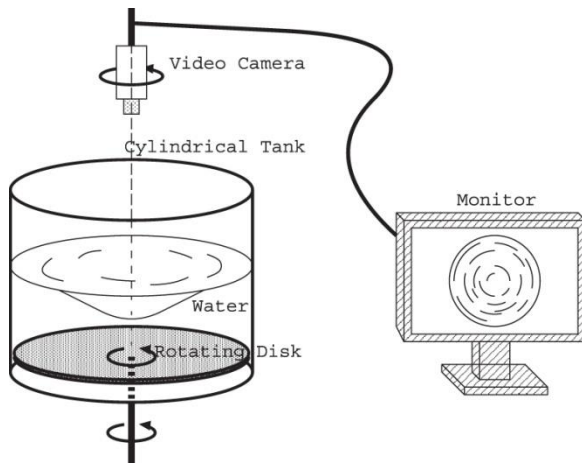
Hurricane Elena from the Space Shuttle Discovery [NASA]



Cassini's view of Saturn's north pole [NASA/JPL-Caltech/SSI]



Vortici in un fluido 2D – ‘rotating tanks’



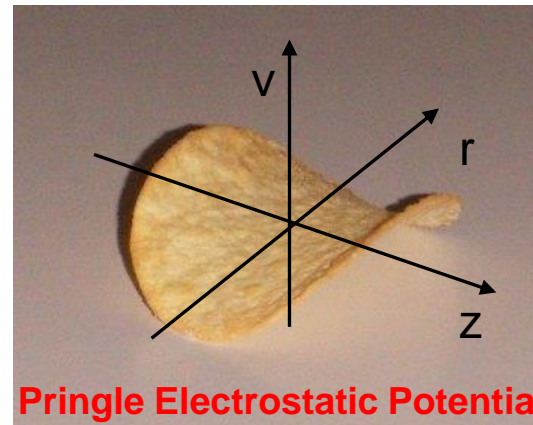
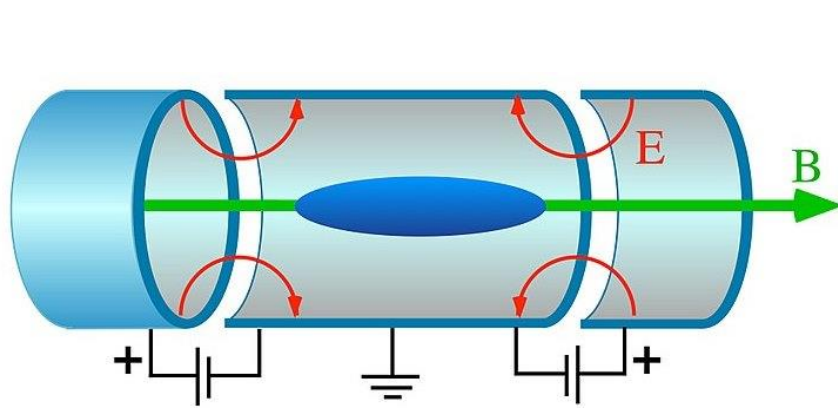
Difficoltà:

- * come osservare la ‘vorticità’ del fluido
- * attrito sulle pareti, fenomeni 3D

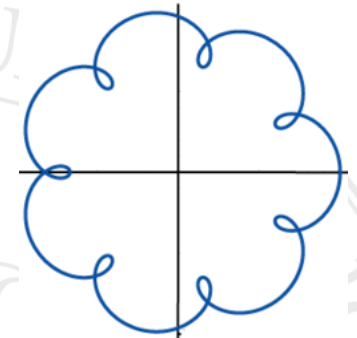
K. Iga et al., Fluid Dyn. Res. 46, 4444 (2014)



Trappole di Penning-Malmberg e confinamento di plasmi non neutri (nnp)



moto trasversale



Principio di confinamento:

- # ≥ 3 cilindri a potenziale (confinamento assiale)
- + campo magnetico assiale (confinamento radiale)

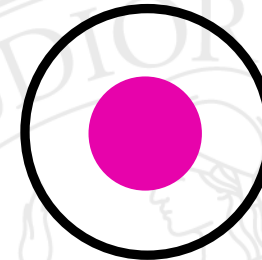
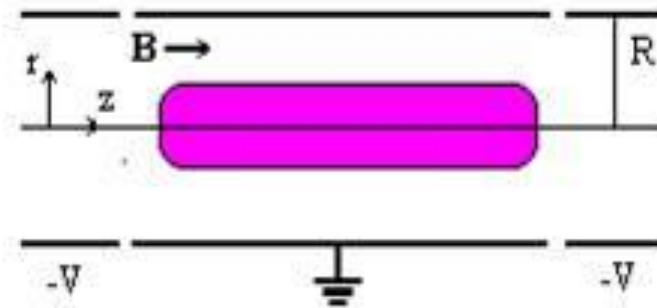
Risultato: sovrapposizione di moti oscillatori assiali e trasversali



Trappole di Penning-Malmberg e confinamento di plasmi non neutri (nnp)

Visione collettiva: l'equilibrio naturale è una singola colonna (vortice) a simmetria circolare, centrata in equilibrio rotazionale

In altre parole, un bel salsicciotto...

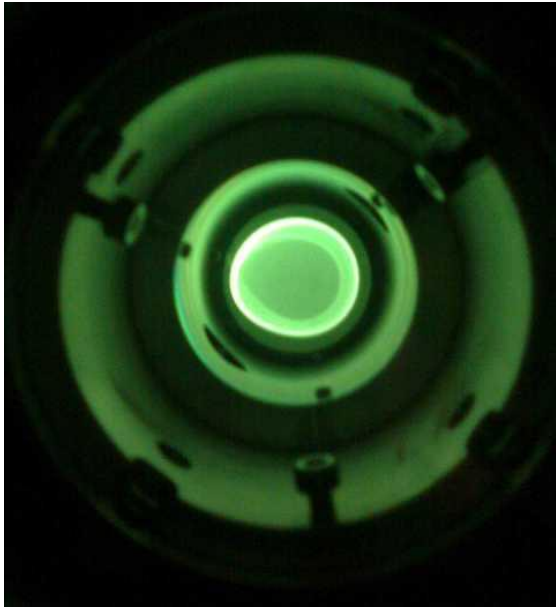


Come si osserva la dinamica del salsicciotto?

- * coi segnali elettrici indotti sui conduttori dal moto collettivo stesso nel piano trasversale
- * facendo uscire gli elettroni da una parte e mettendoci uno schermo al fosforo



'Vedere' un plasma di elettroni



Ciao ciao Iron Man



Analogia nnp – fluido bidimensionale

Limitandosi al moto di deriva trasversale $\underline{E} \times \underline{B}$, il plasma intrappolato è isomorfo a un fluido bidimensionale

plasma

fluido

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial n}{\partial t} + \bar{v} \cdot \nabla n = 0 \\ \bar{v} = - \frac{\nabla \Phi \times \hat{e}_z}{B} \\ \nabla^2 \Phi = \frac{en}{\epsilon_0} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \zeta}{\partial t} + \bar{v} \cdot \nabla \zeta = 0 \\ \bar{v} = -\nabla \psi \times \hat{e}_z \\ \nabla^2 \psi = \zeta \end{array} \right.$$

$$\frac{en}{\epsilon_0} \sim \zeta = (\nabla \times \bar{v})_z$$

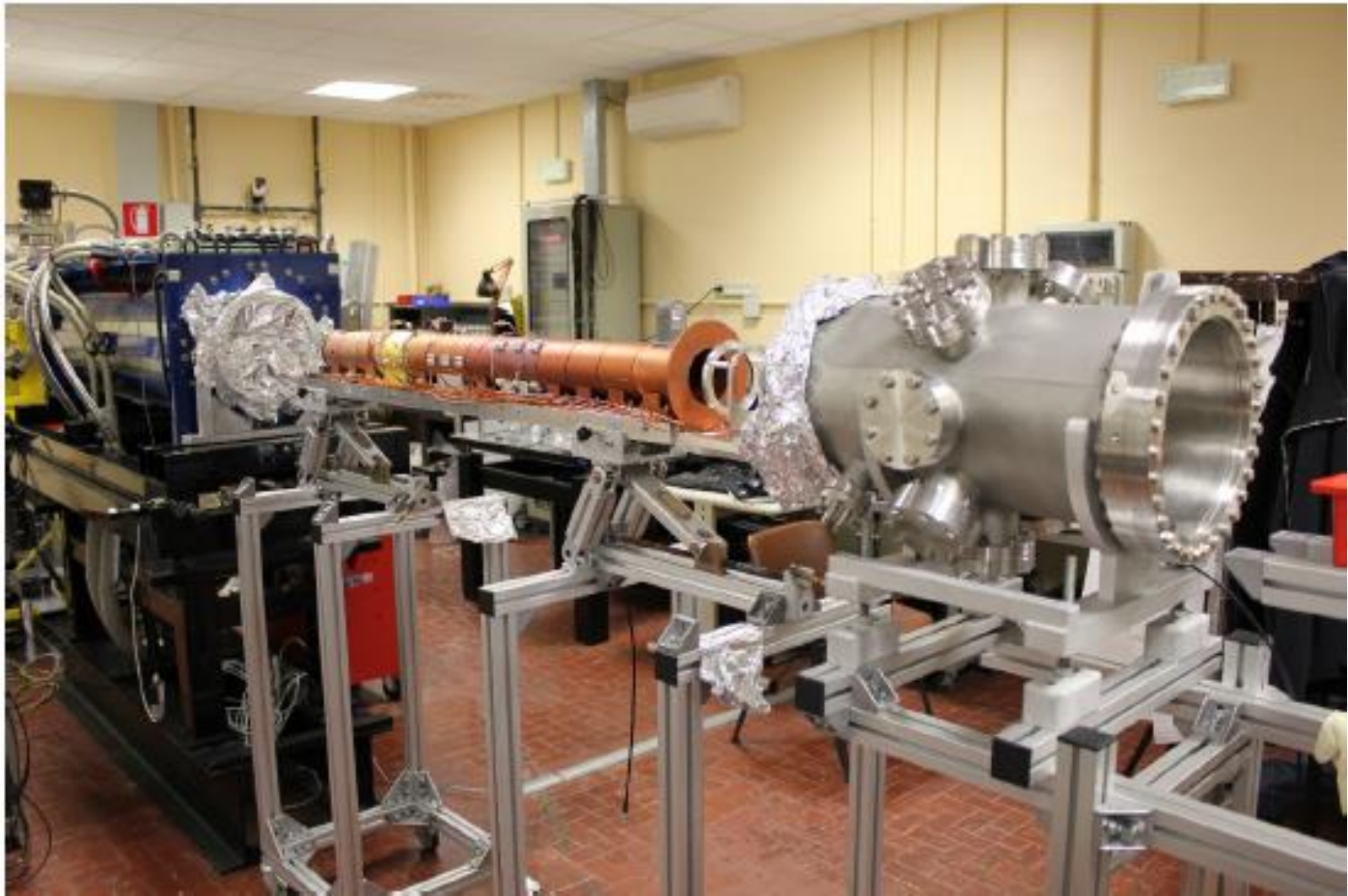
$$\frac{\Phi}{B} \sim \psi$$

densità del plasma

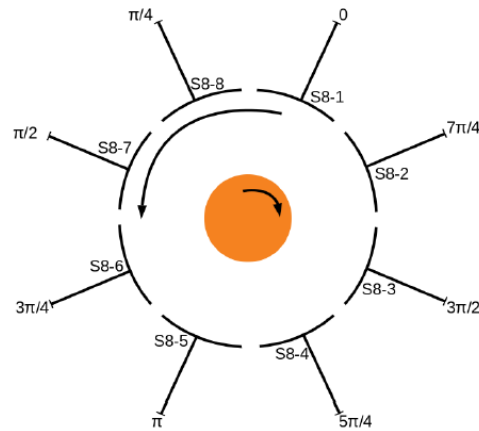
vorticità del fluido



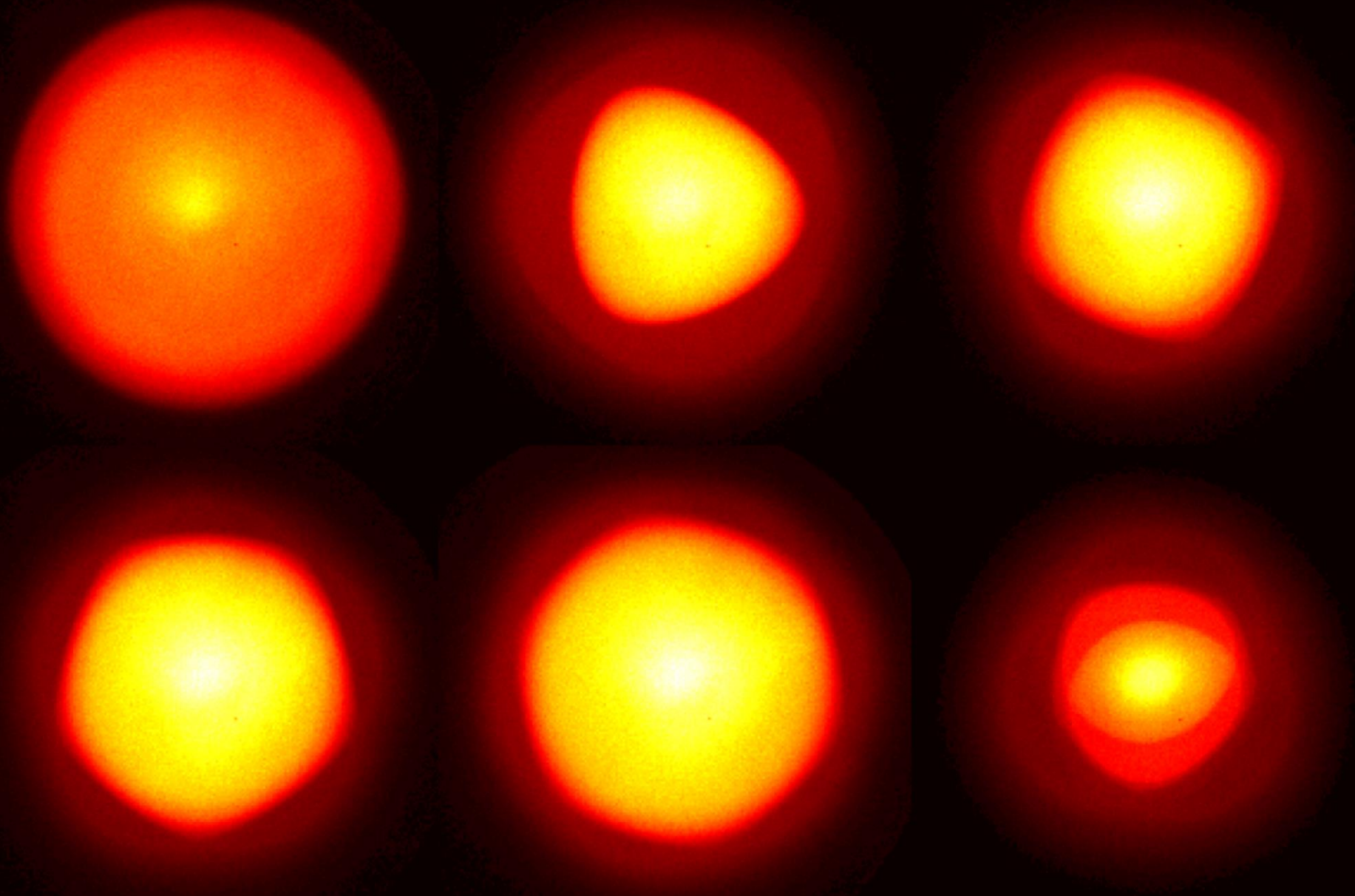
Trappole in UNIMI: ELTRAP



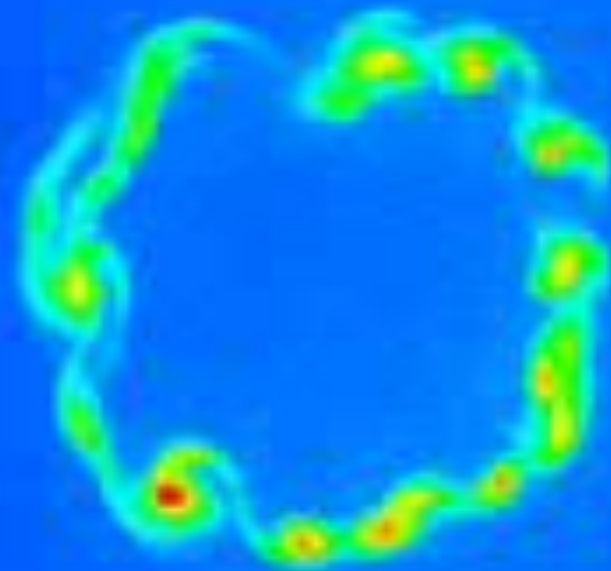
Eccitazione con campi elettrici rotanti



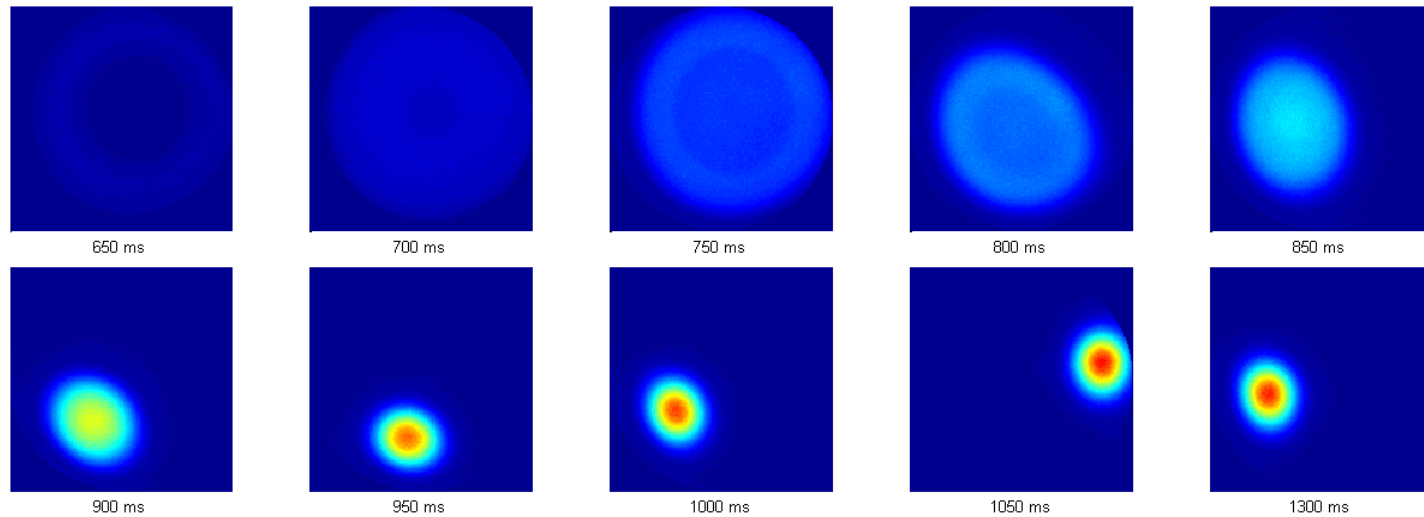
Eccitazione con campi elettrici rotanti



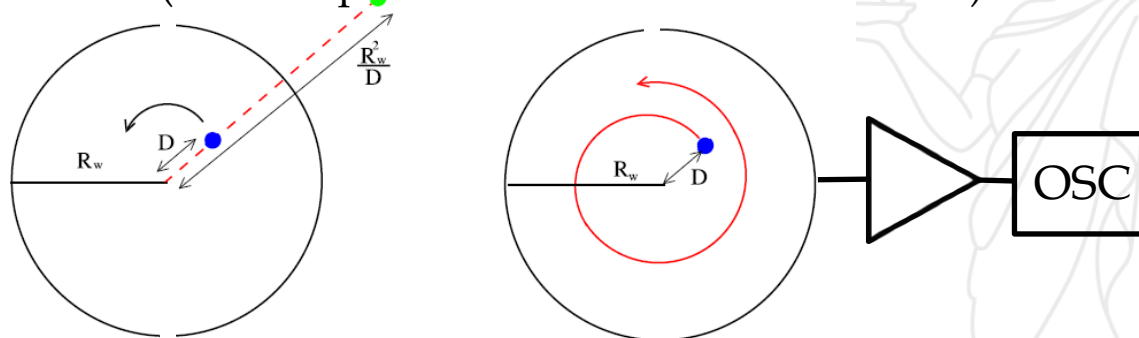
Cristalli di vortici



Stati inattesi: plasmi creati per ionizzazione



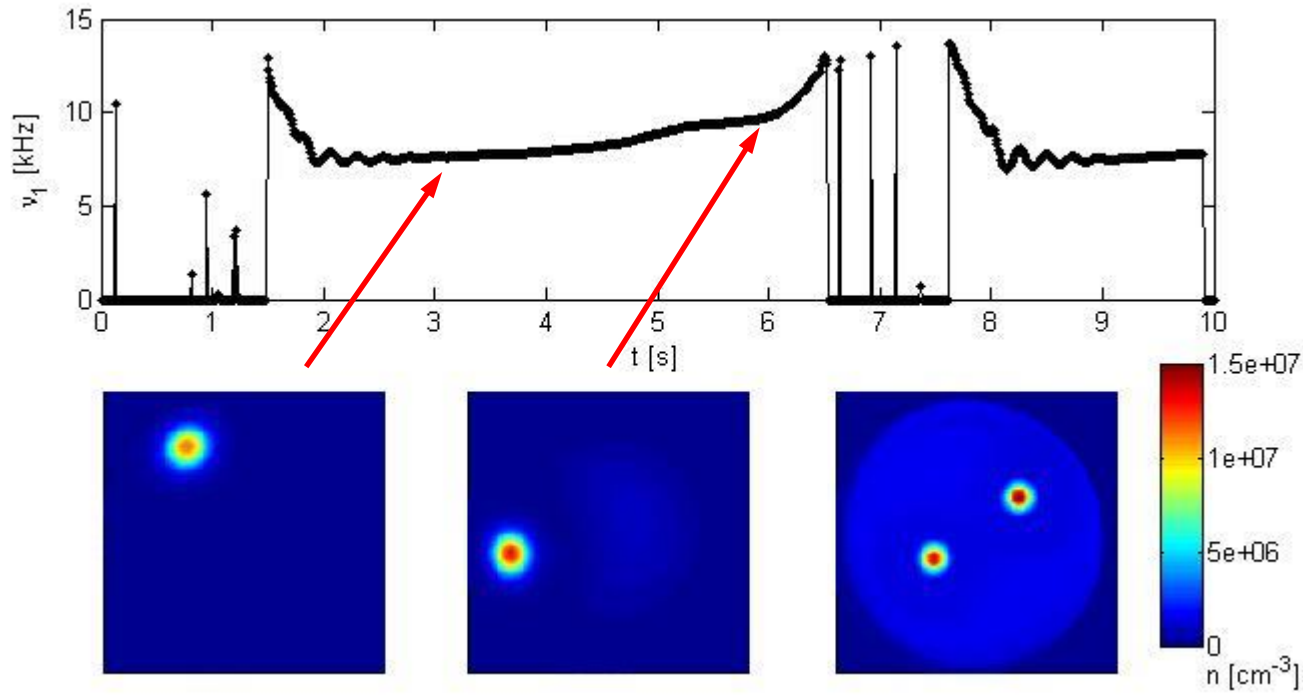
Il plasma non solo 'si vede', si può anche 'sentire'
(e anche questo è un oscillatore non lineare)



Domanda: sono simili o no rispetto ai plasmi non neutri puri, iniettati?



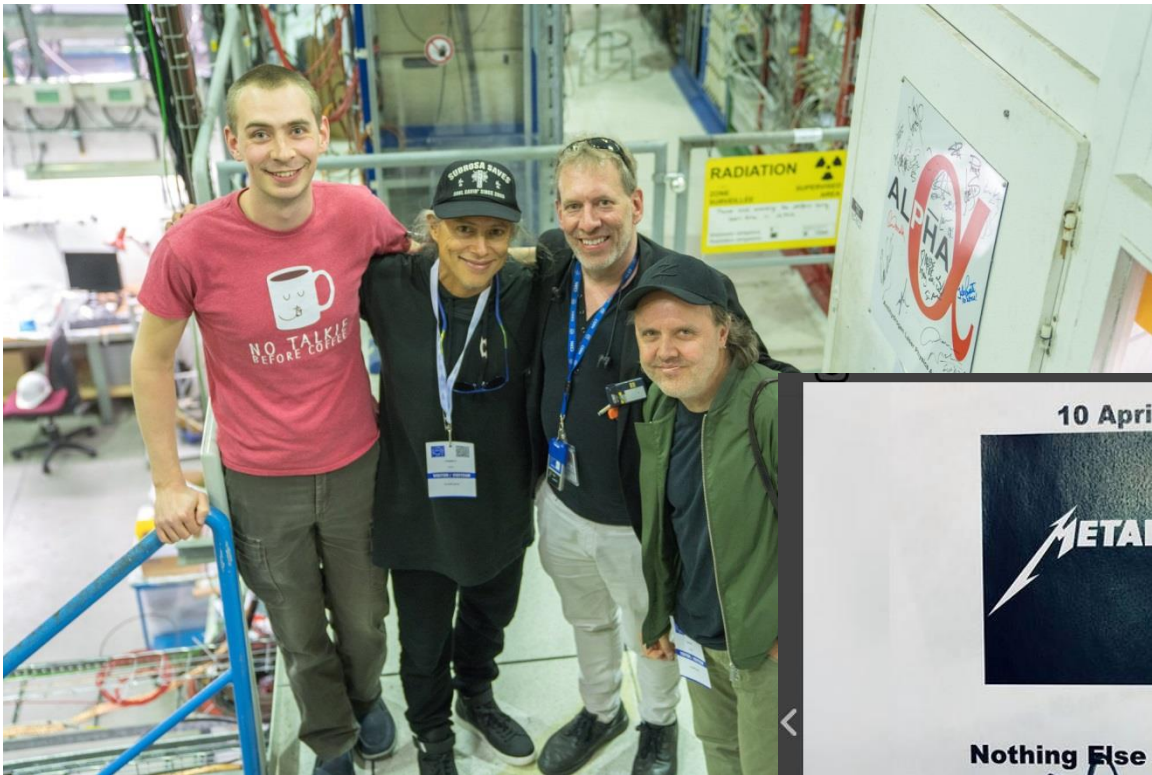
Stati inattesi: biforcazioni



Biforcazione: da una condizione iniziale il sistema può evolvere verso due diversi stati



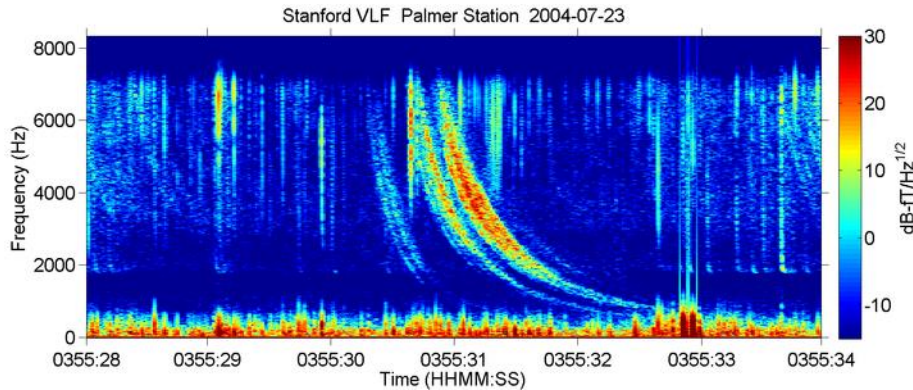
Metallica e antimateria (trappole al CERN)



The ALPHA collaboration



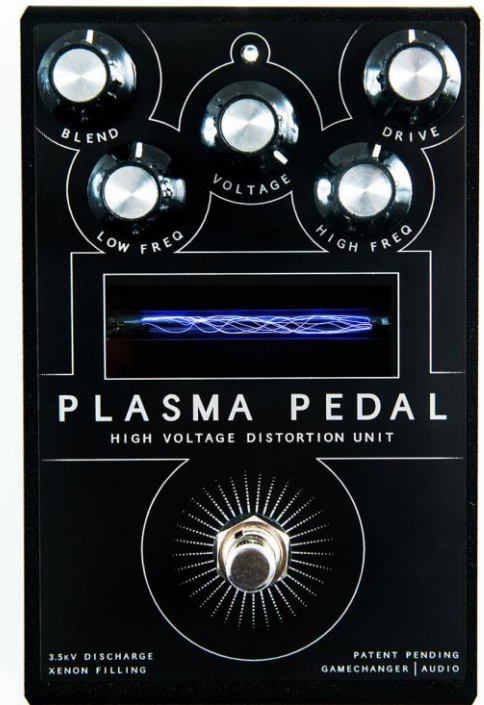
Altri plasmi 'che si sentono'



Whistler: onda elettromagnetica in plasmi atmosferici/astrofisici (fulmini)

Scarica in un tubo allo Xeno = distorsione bestiale

Created and manufactured by Gamachanger Audio



Dove trovarci (noi, oltre ai plasmi)

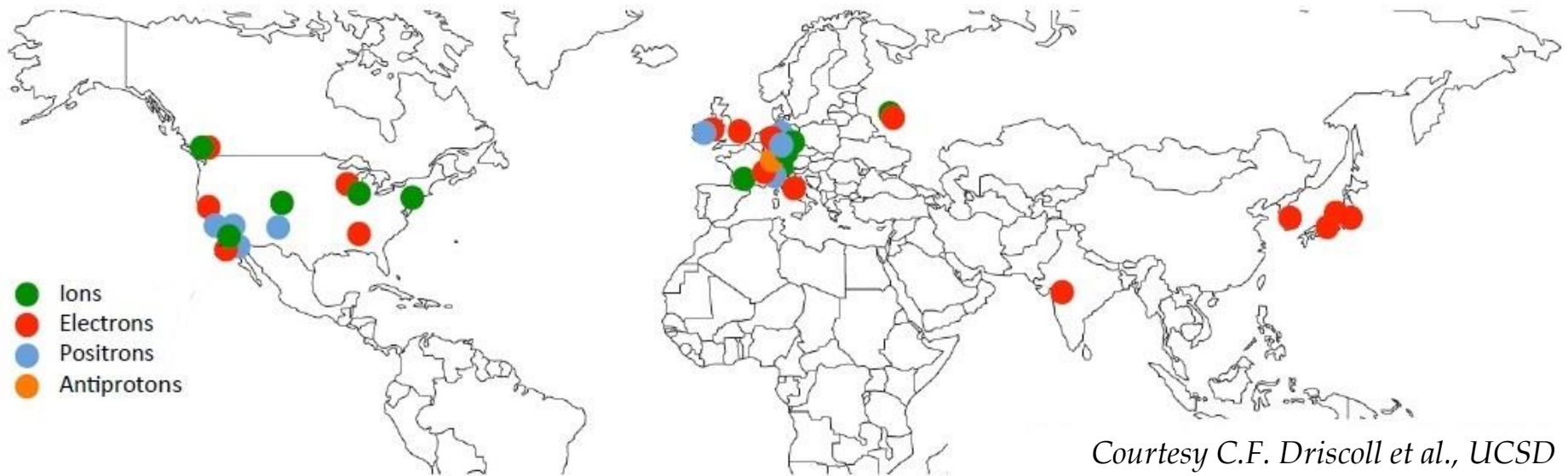
<http://plasma.fisica.unimi.it>

massimiliano.rome@unimi.it

giancarlo.maero@unimi.it



Penning traps around the world



Applications

- *Penning (harmonic potential, few particles)*: mass spectrometry, spectroscopy, fundamental constants
- *Penning-Malmberg (flat-bottomed potential, many particles)*: plasma and fluid (collective) physics (also related to other $\underline{E}\times\underline{B}$ -dominated systems, e.g., thrusters, ion sources, fusion plasmas), turbulence, accumulation and cooling (spectrometry, antimatter synthesis)

NOTE: systems are often not 'ideal' (multiple species, RF perturbations...)

