

FISICA DEI PLASMI



Referente del curriculum: Claudia Riccardi

**Docenti del curriculum: Ruggero Barni, Marco Cavedon,
Gabriele Croci, Daniela Di Martino, Giuseppe Gorini,
Emilio Martines, Massimo Nocente, Claudia Riccardi**

Cosa è un plasma?

*In fisica **NON** è questo...*



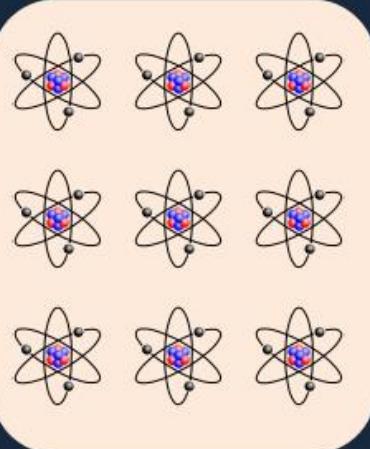
... ma questo!



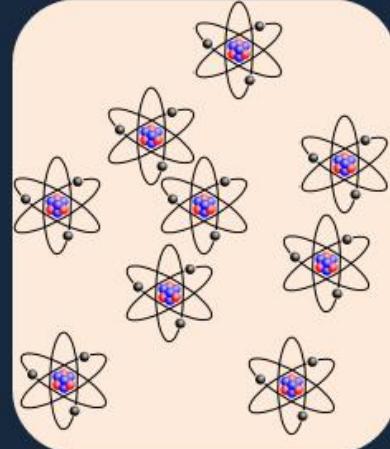
Il “quarto stato” della materia



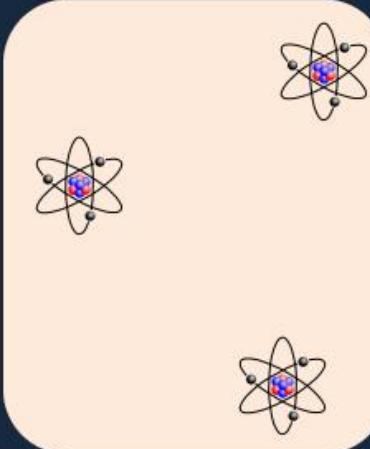
Solido



Liquido

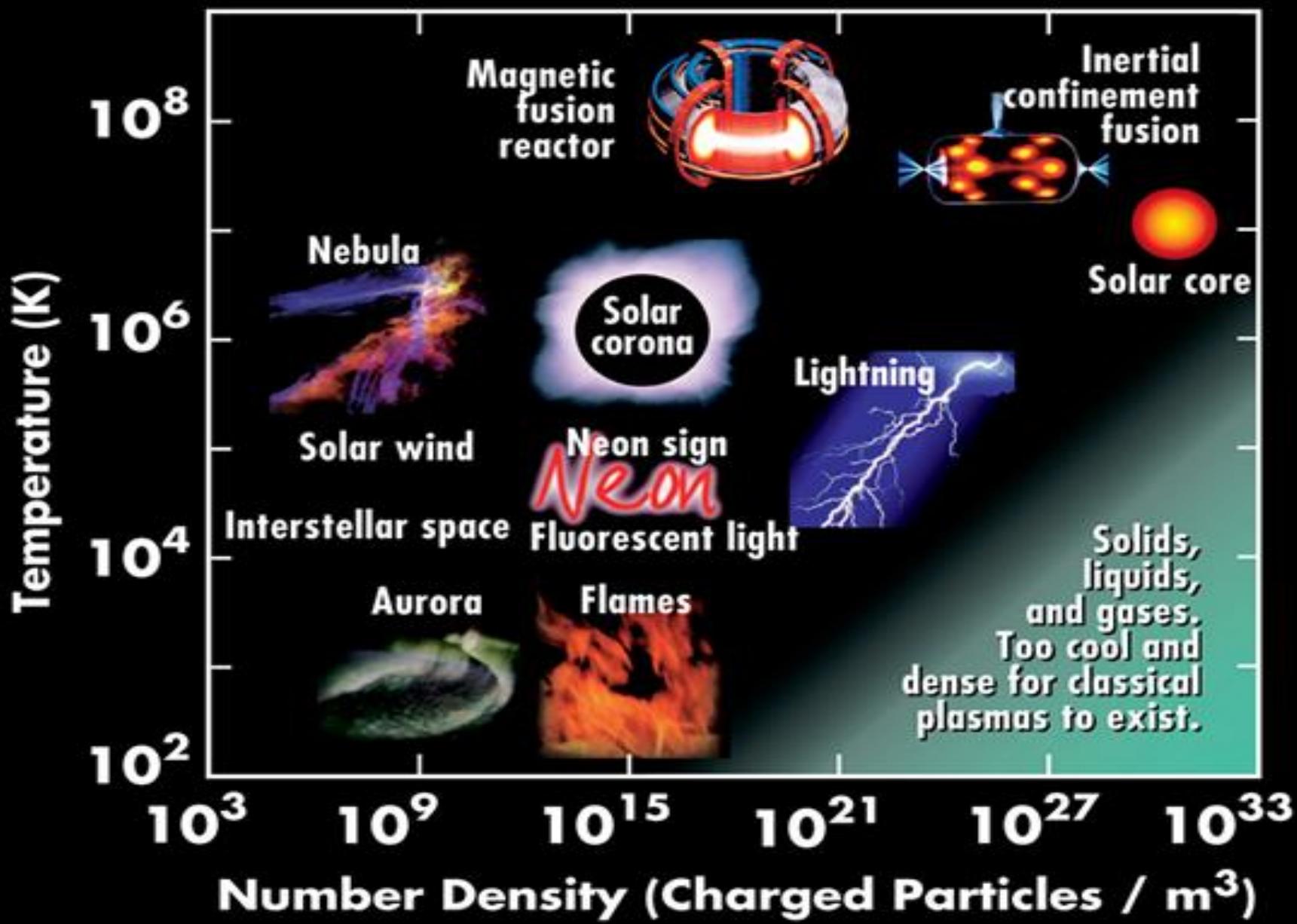


Gas



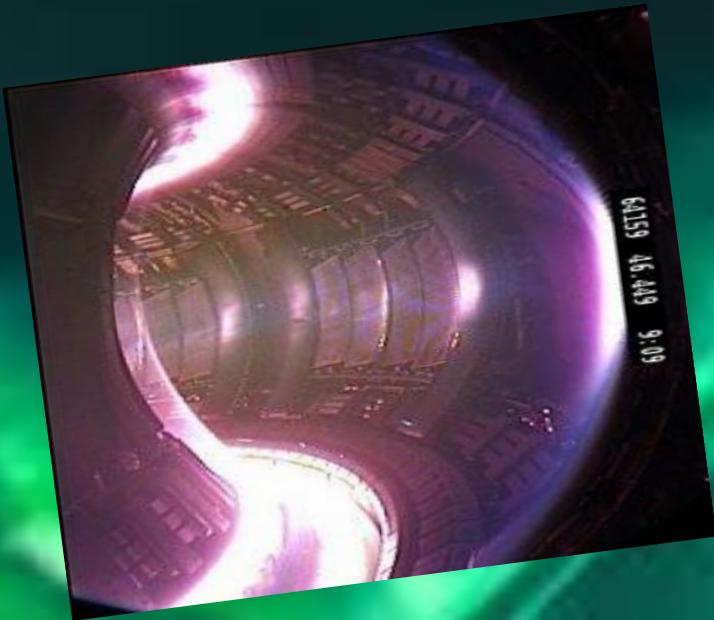
Plasma





> 99% della materia visibile

Fisica dei plasmi per...



*Produrre energia sulla Terra
mediante reazioni di fusione
nucleare simili a quelle che
avvengono nel Sole*

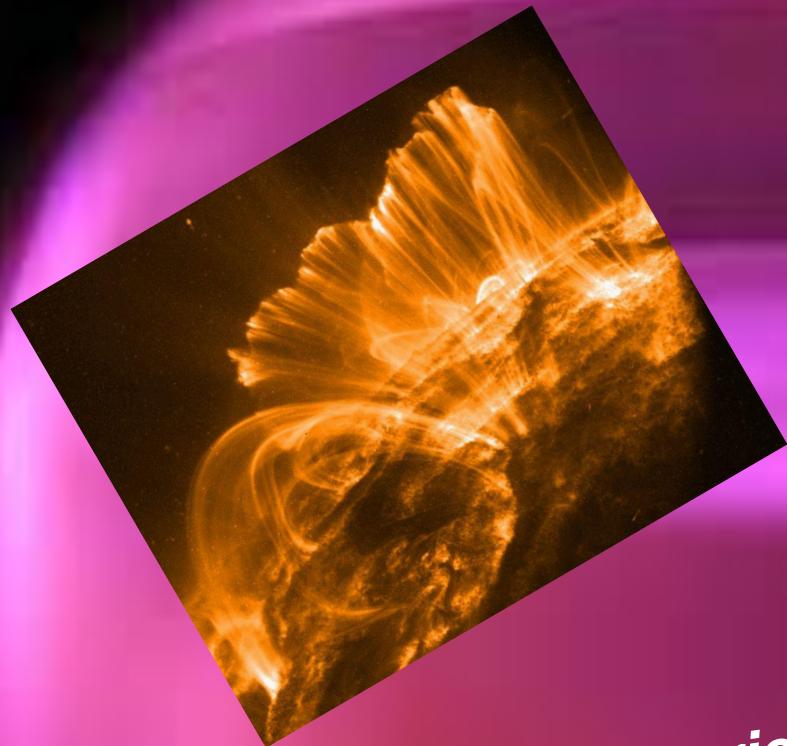
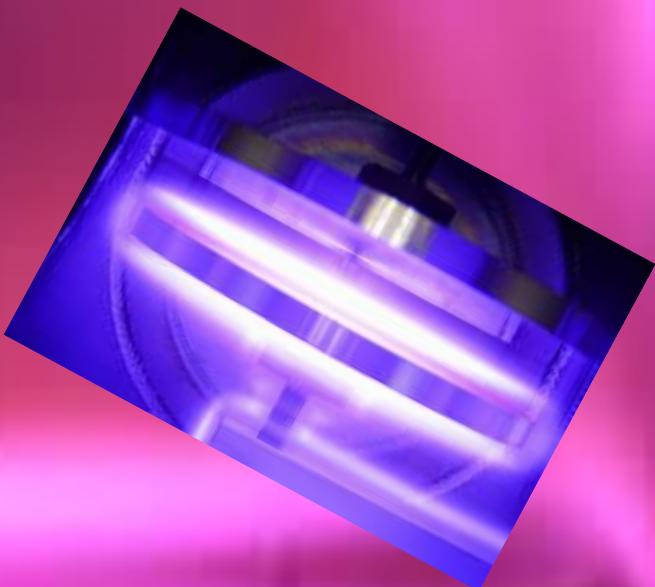
*Studiare l'interazione di laser ad
alta potenza con la materia*



Fisica dei plasmi per...

Studiare le instabilità che determinano il trasporto di energia e materia nelle stelle (e nei gas ionizzati e confinati in generale)

Modificare le proprietà di superficie di materiali esposti a plasmi chimicamente reattivi e interagire con la materia biologica



Fisica dei plasmi

@ UNIMIB



Laurea Triennale

- *Esperimentazioni di Plasmi*
- *Elementi di Fisica dei Plasmi*

Laurea Magistrale

- *Fisica dei Plasmi 1*
- *Fisica dei Plasmi 2*
- *Laboratorio di Fisica dei Plasmi 1*
- *Laboratorio di Fisica dei Plasmi 2*



Dottorato di Ricerca

- *Fusione termonucleare controllata*
- *Applicazioni dei plasmi ai processi industriali e alla medicina*

Fisica dei Plasmi @ UNIMIB: un'esperienza internazionale

- Collaborazioni con le Università di Tromso e Marsiglia (ambiti: turbolenza nei plasmi e applicazioni industriali)
- Collaborazioni con Università EPFL-Losanna e UCT-Praga (ambito: plasmi per la medicina)
- Collaborazioni con i principali laboratori sulla fusione termonucleare in Europa (JET, UK; ASDEX Upgrade, Germania; TCV, Svizzera; ITER, Francia) e nel Mondo (EAST, Cina; DIII-D, USA; JT-60SA, Giappone)
- Collaborazioni con le Università di Uppsala e Siviglia (ambito: fusione termonucleare)



Erasmus+



Plasmi «freddi» e applicazioni



Le tecnologie a plasma

Deposizione di film sottili

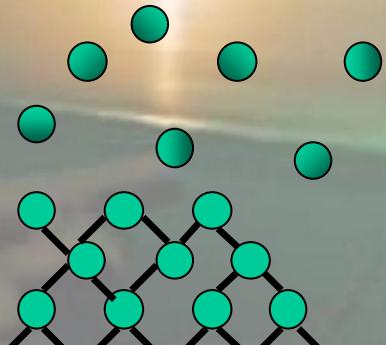
Innesto di specifici gruppi funzionali

Ablazione

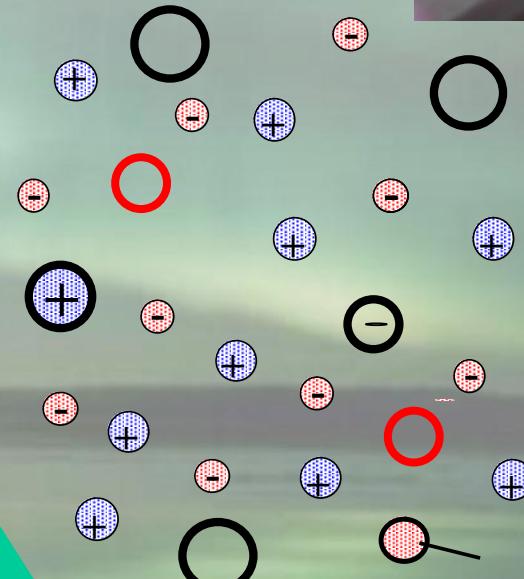
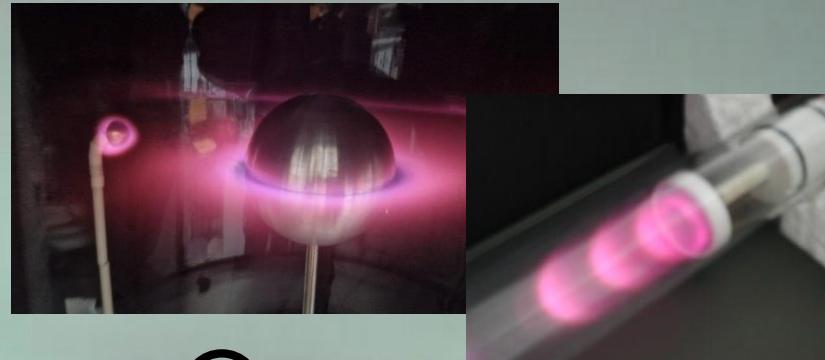
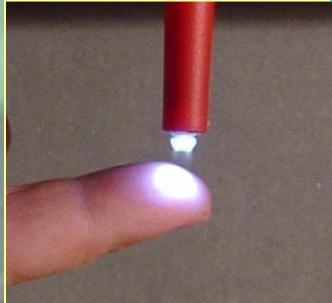
Attivazione

Trattamento in fase gas

Il plasma
un gas contenente specie
chimicamente attive
e specie cariche



10-100 nm



processi fisici e chimici
su scala nanometrica
a temperatura ambiente

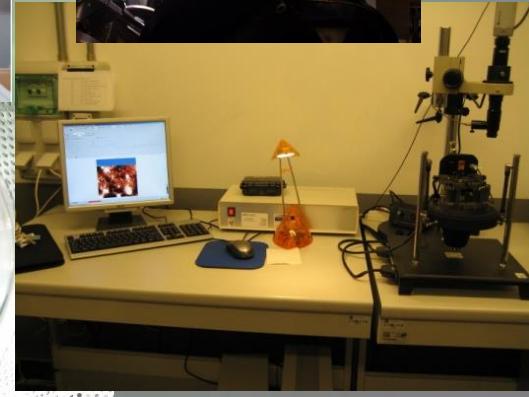
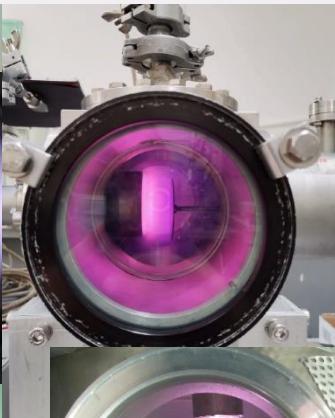
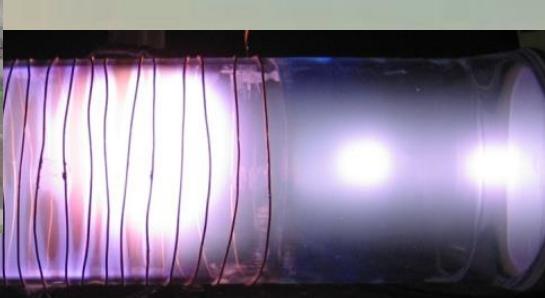
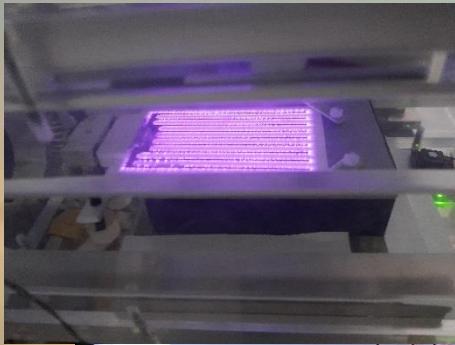
Laboratori PlasmaPrometeo

(edificio U9 – Milano - Viale Innovazione 10)

reattori al plasma (bassa pressione e pressione atmosferica);

sistemi di controllo dei processi;

sistemi di diagnostica dei plasmi;



strumentazione per le analisi chimico-fisiche del plasma, dei materiali e dei gas

Trattamento a plasma di materiali

PNRR - PROGETTO ANTHEM

Sanificazione dell'aria con plasmi di tipo sDBD
(surface Dielectric Barrier Discharge)

JOINT-LAB UNIMIB-ENI

Preparazione e caratterizzazione di
materiali avanzati di interesse per la
fusione

ALTRE SORGENTI A PLASMA/ARGOMENTI

Gliding Arc Tornado:

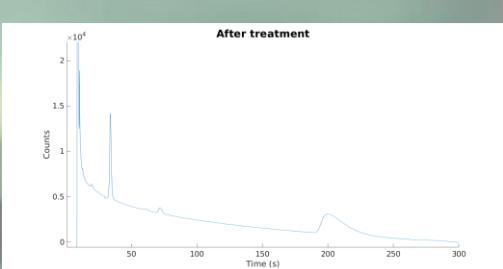
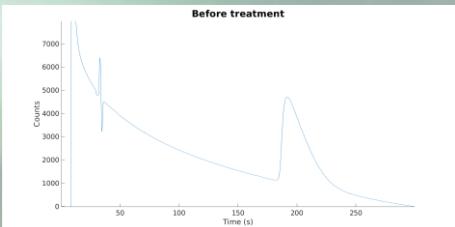
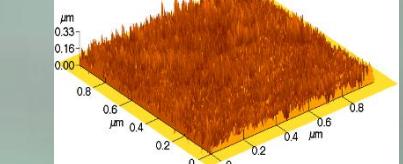
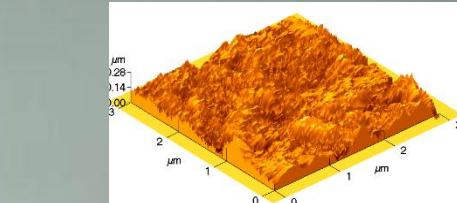
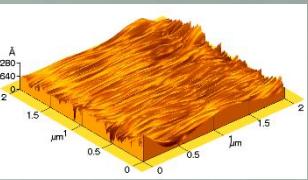
produzione di idrogeno a plasma

Plasma Supersonic Jet deposition:

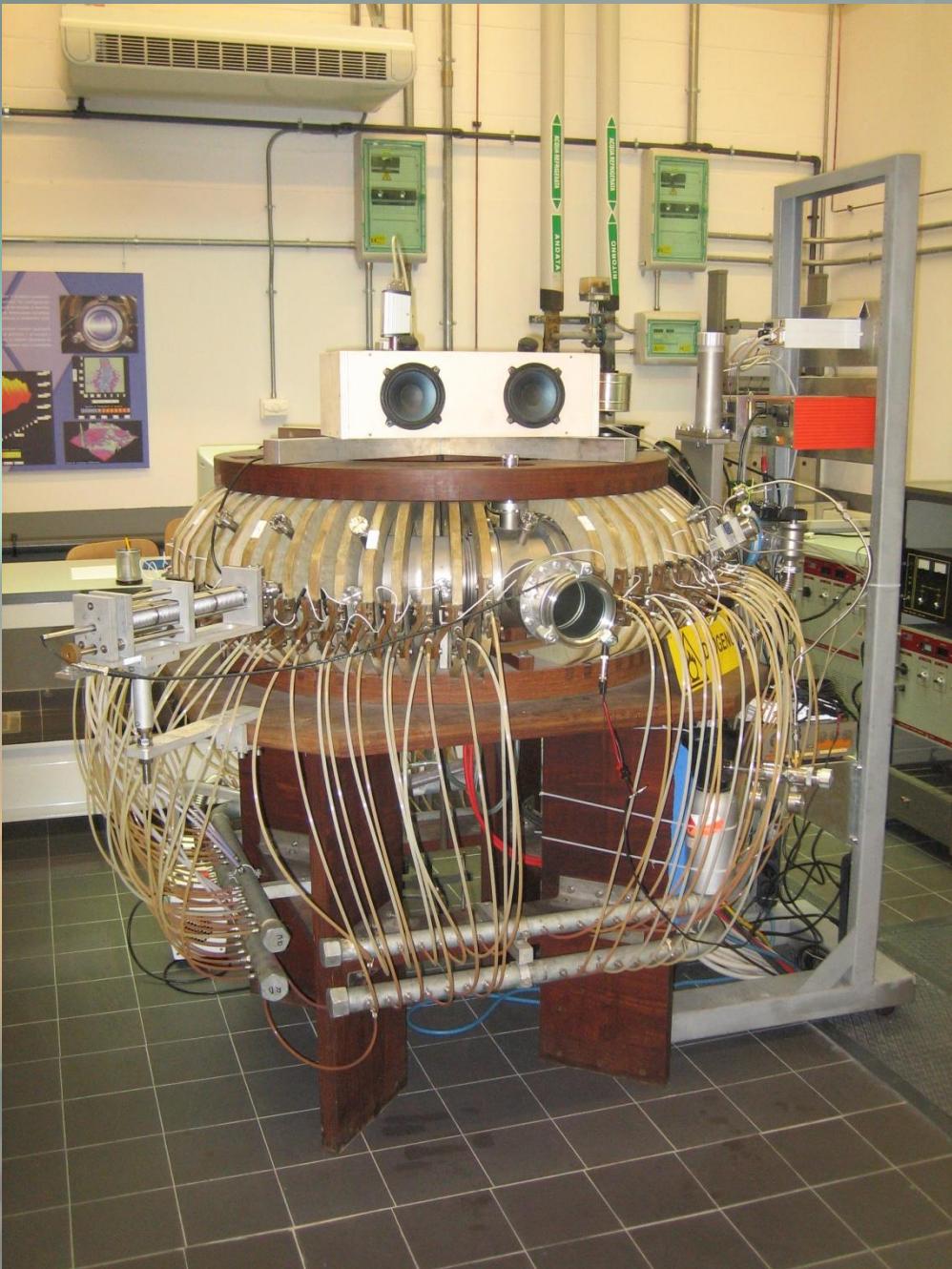
deposizione di film sottili nanostrutturati

Diagnostica di plasmi a pressione atmosferica

Simulazioni chimica del plasma



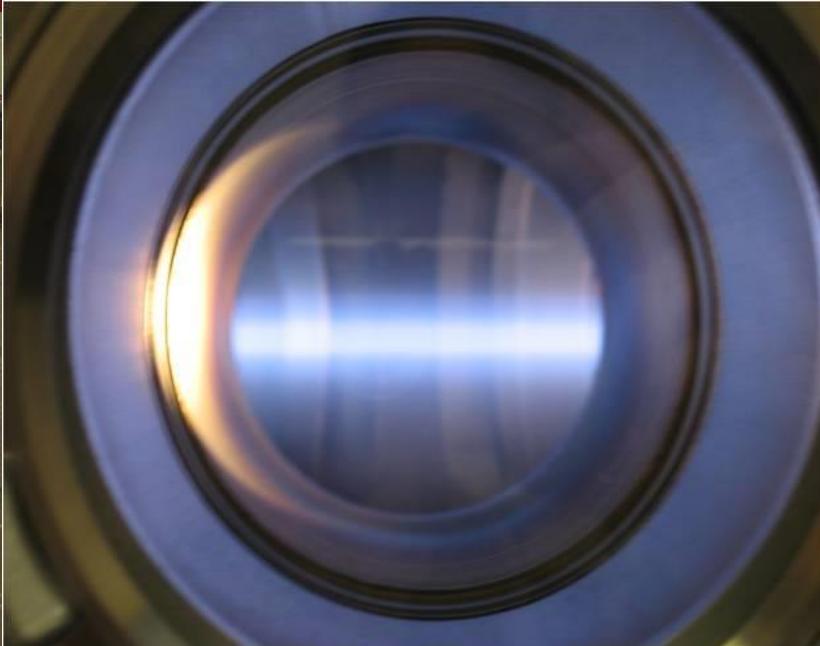
COLLABORAZIONI: Politecnico di Milano,
Dipartimenti di Scienze dell'Ambiente e
di Scienza dei Materiali di Unimib



Thorello

Laboratorio Plasmi
Università di Milano
Prof. Fontanesi – 1992

Studi di base su plasmi
magnetizzati, turbolenza,
diagnostiche



Argomenti per la prova finale

Home > Didattica > Corsi di studio > Corso di Laurea triennale in Fisica > Argomenti per la prova finale del terzo anno
> Argomenti per la prova finale del terzo anno - Plasmi, fusione nucleare e spettroscopia neutronica

Stage sperimentali, di simulazione numerica o compilativi sulle applicazioni dei plasmi

Alcuni possibili titoli:

Caratterizzazione di plasmi impiegati per la purificazione dell'aria
(spettroscopia di assorbimento/spettrometria di massa)

Deposizione di film sottili con una sorgente a getto di plasma supersonico

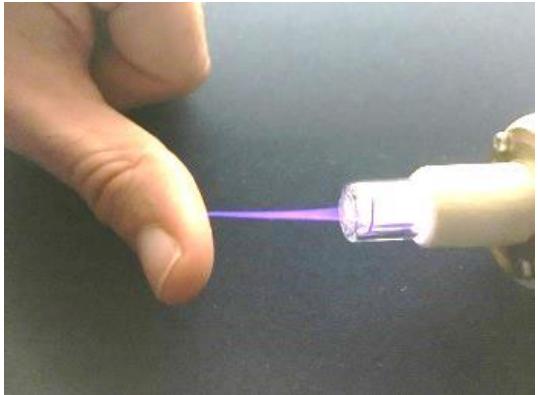
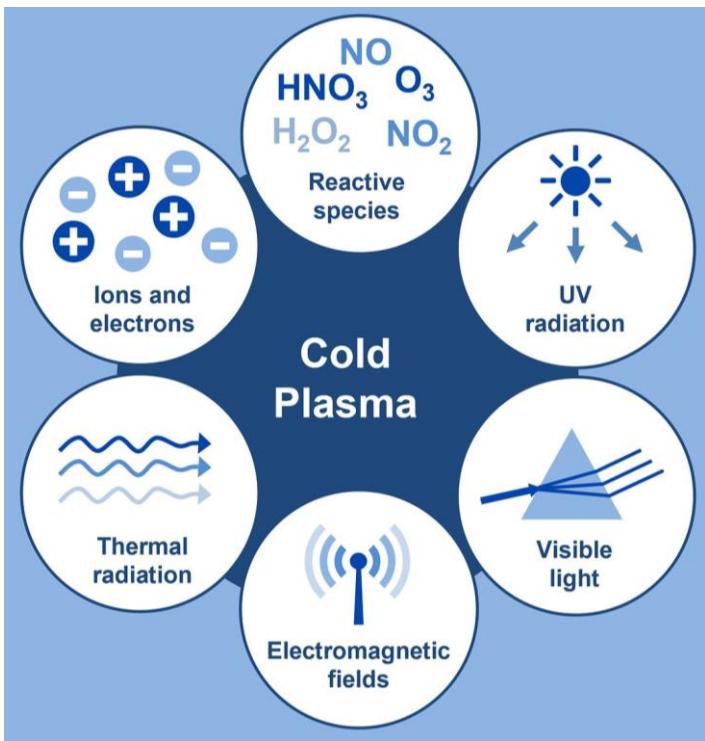
Caratterizzazione del plasma in una sorgente di tipo Gliding Arc Tornado

Caratterizzazione di una sorgente a plasma per eventi di divulgazione

Misura delle fluttuazioni di campo elettrico con sonde elettrostatiche

Plasmi per applicazioni mediche

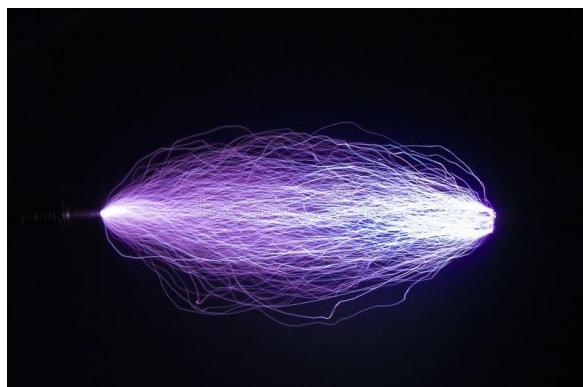
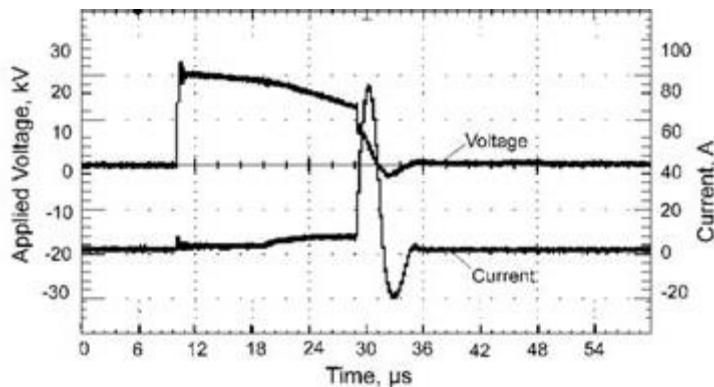
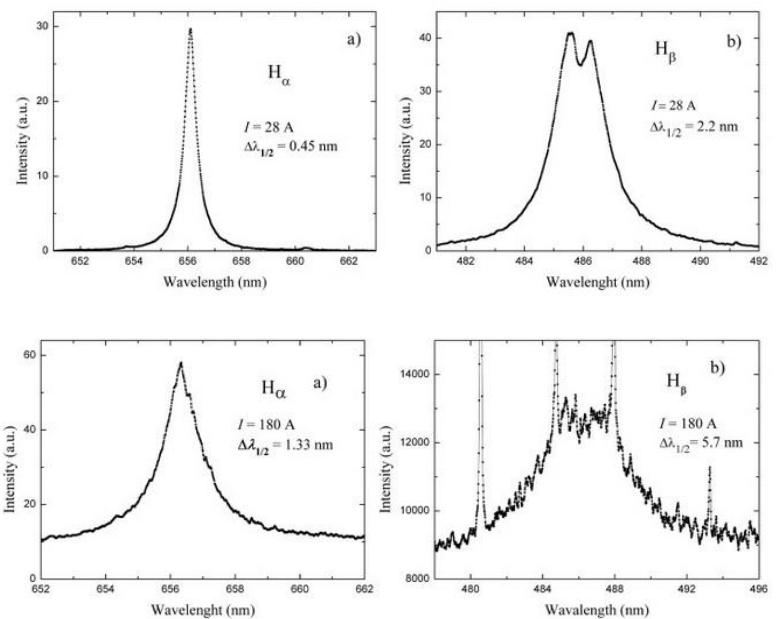
Caratterizzazione di **plasma jet** a pressione atmosferica e bassa potenza, di interesse per **applicazioni mediche** (disinfezione, *wound healing*, trattamento di tumori).



Valutazione della densità di una scarica in acqua

Attraverso l'applicazione di una alta tensione a due elettrodi immersi in acqua è possibile ottenere una scarica di tipo «**spark discharge**» di elevata densità di plasma.

Lo scopo di questo lavoro è di effettuare una valutazione critica, attraverso una **ricerca bibliografica**, della possibilità di stimare la **densità** del plasma attraverso la misura della larghezza di **righe spettrali dell'idrogeno**, ed eventualmente di tentare tale valutazione su dati esistenti.

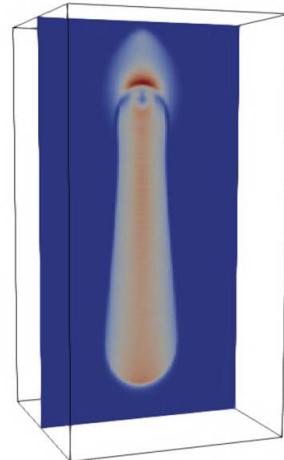


Simulazioni a due fluidi di plasmi freddi

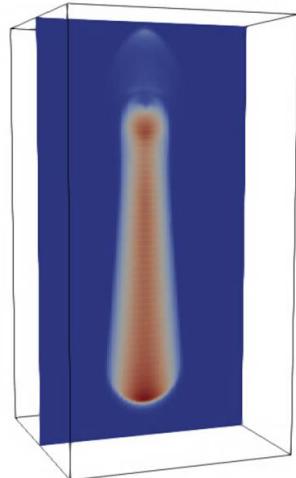
Il codice numerico **Vidyut3d**, sviluppato presso il National Renewable Energy Laboratory (NREL) negli USA, evolve nel tempo le **equazioni a due fluidi** (ioni ed elettroni), includendo l'effetto di vari tipi di **processi collisionali** (ionizzazione, eccitazione...).

Il codice è progettato in modo tale da potersi avvalere della **parallelizzazione**, sia su **CPU multi-core** che su **scheda grafica Nvidia**.

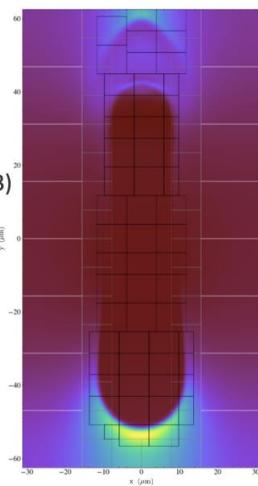
Il codice è attualmente in fase di test: a seconda dell'inizio del periodo di tesi triennale si potrà contribuire alla realizzazione di simulazione di **plasmi a bassa pressione** o, più avanti, di **plasmi a pressione atmosferica**.



CO formation in the streamer



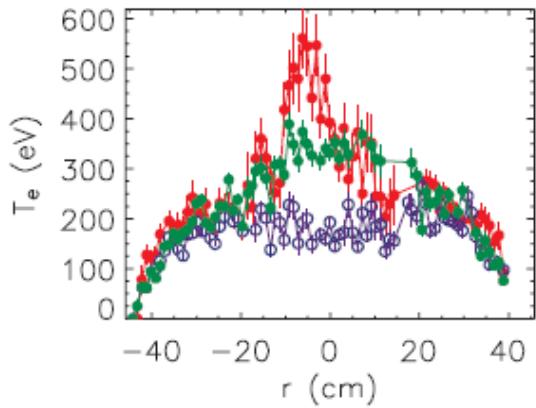
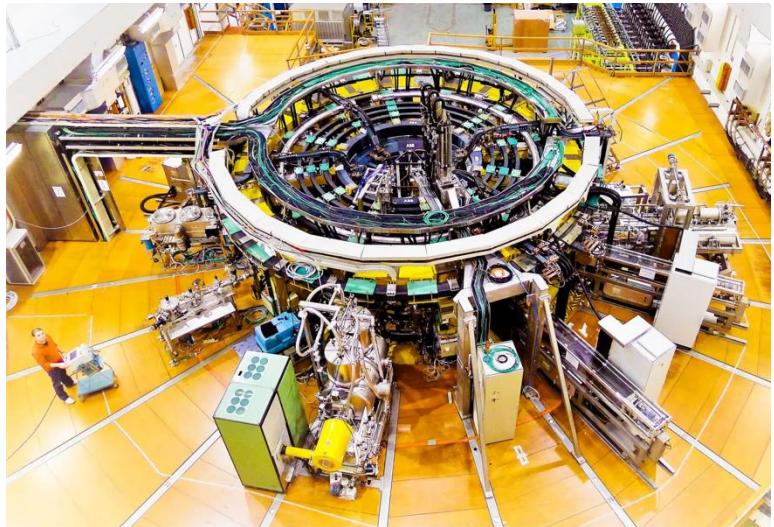
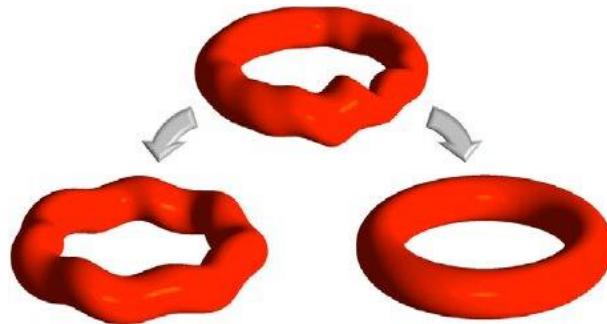
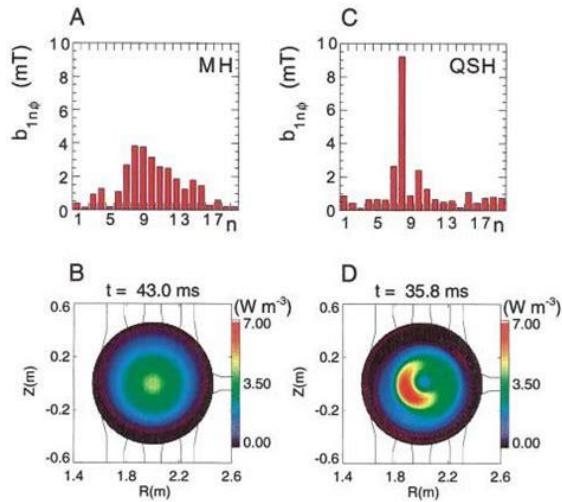
Electron density in streamer



Electric field focusing at streamer head

Auto-organizzazione di un plasma toroidale

L'esperimento **RFX-mod**, operante presso il Consorzio RFX di Padova, è una **macchina toroidale** per il confinamento di **plasmi magnetizzati di interesse fusionistico**. Progettato per lavorare con la configurazione di campi denominata “reversed field pinch”, può anche operare in configurazione tokamak.



Si propone un lavoro di **analisi della turbolenza magnetoidrodinamica** associata all'emergere di **stati a confinamento migliorato** (stati di quasi-singola elicità) nelle scariche in configurazione RFP, utilizzando il database esistente.

Misure di turbolenza in una sorgente di ioni H⁻

SPIDER è una **sorgente di ioni negativi H⁻** di grandi dimensioni, operante presso il Consorzio RFX di Padova. Essa costituisce il primo stadio dell'**iniettore di neutrini** energetici destinato al riscaldamento del plasma di **ITER**.

Nella prima parte del 2026 è prevista l'installazione su SPIDER di **sonde di Langmuir** operanti in modalità di **sonda tripla**, e il loro utilizzo per la misura degli andamenti temporali di **densità e temperatura elettronica** nel plasma.

Quando i dati saranno disponibili, sarà possibile un lavoro di tesi triennale sull'analisi di essi tramite **tecniche di analisi spettrale e di correlazione lineare e non-lineare**.



Proposte di tesi triennali su plasmi freddi e loro applicazioni

L'elenco delle proposte di tesi triennale relative a plasmi freddi e loro applicazioni è disponibile al seguente link:

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1Jk9MIPHFOKc9CTe6mGEywxH3xJNb5VWeo4tenzXt88I/edit?usp=sharing>

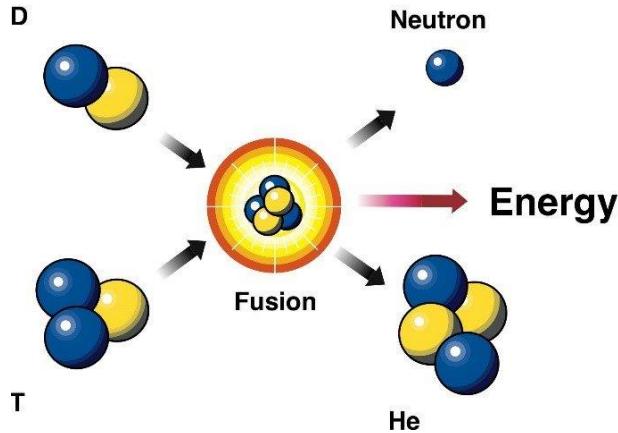


ruggero.barni@unimib.it
emilio.martines@unimib.it

Plasmi per la fusione nucleare

La Fusione Nucleare

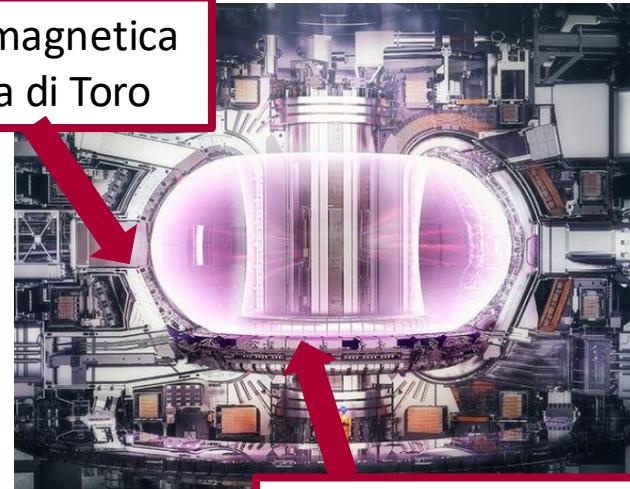
marco.cavedon@unimib.it
massimo.nocente@unimib.it



- No CO₂
- Reagenti abbondanti (Trizio autoprodotto)
- Intrinsicamente sicura
- Ceneri non radioattive (Elio)

In un futuro, potrebbe fornire una sorgente di energia costante nel tempo per complementare le energie rinnovabili

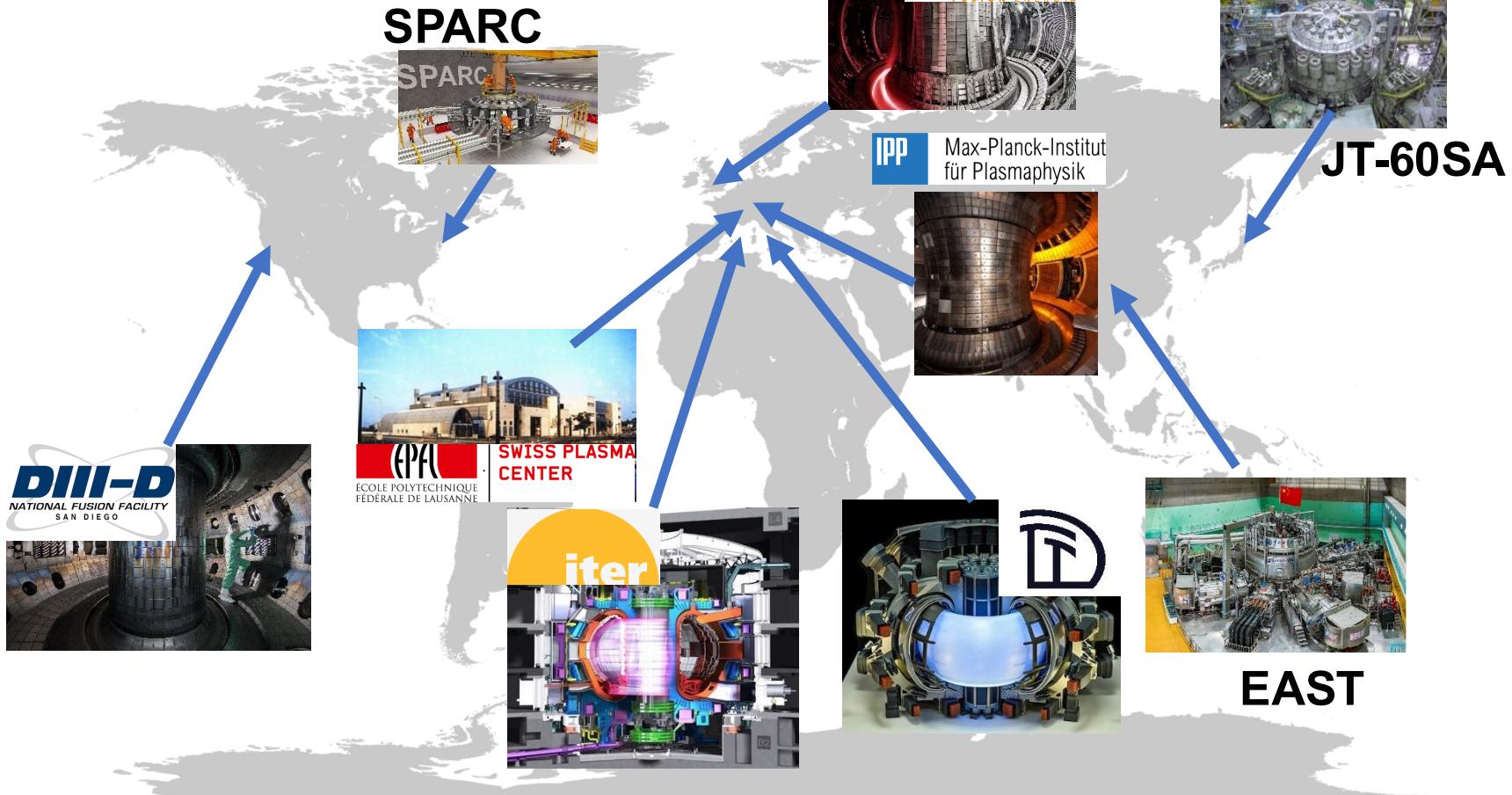
Confinamento Magnetico



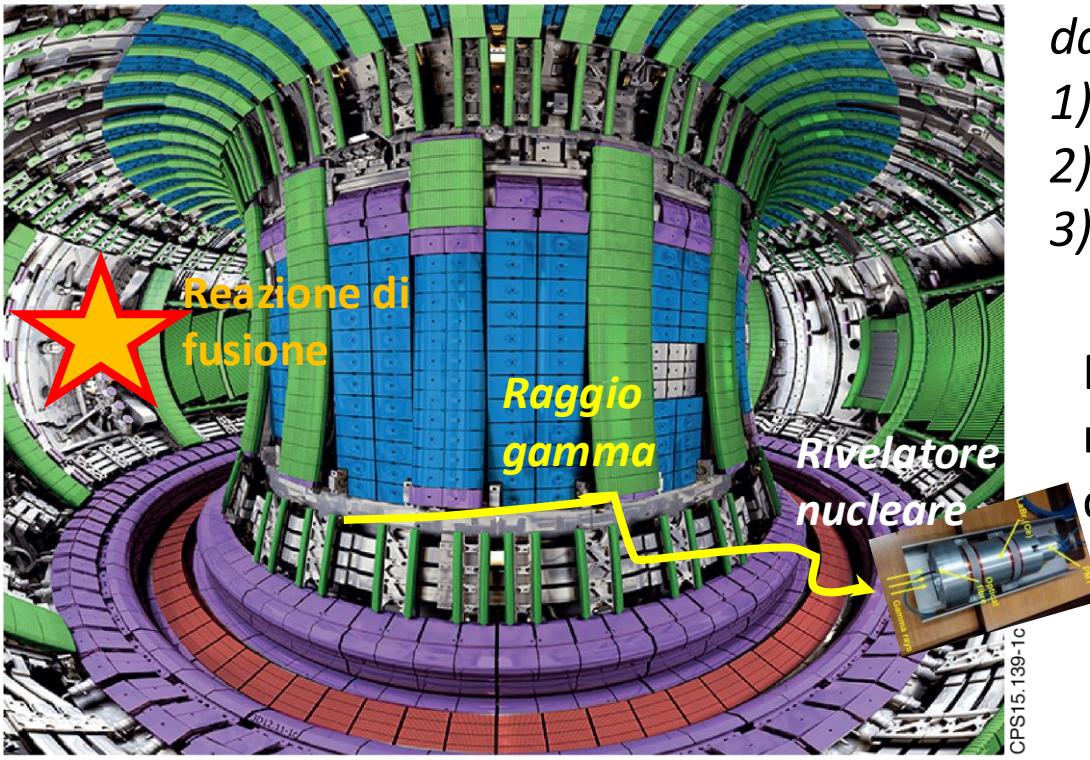
Gabbia magnetica a forma di Toro

Plasma a temperature di 150 milioni di gradi (10x T del sole)

Fusione: le collaborazioni di Bicocca



Misure nucleari per la fisica delle particelle veloci



■ Bulk Be PFCs ■ Be-coated inconel PFCs
■ Bulk W ■ W-coated CFC PFCs

Referente: M. Nocente (massimo.nocente@unimib.it)

Le **particelle veloci** sono prodotte da:

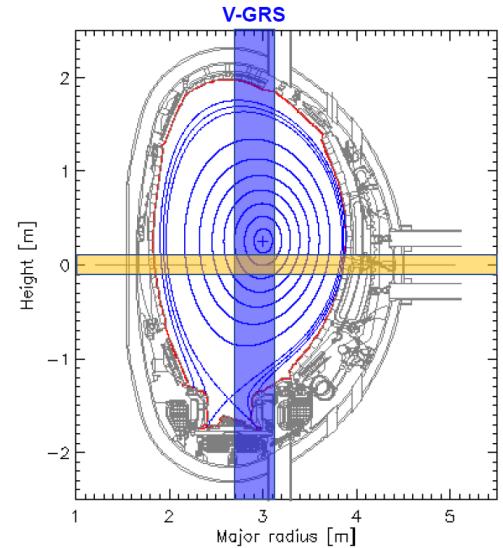
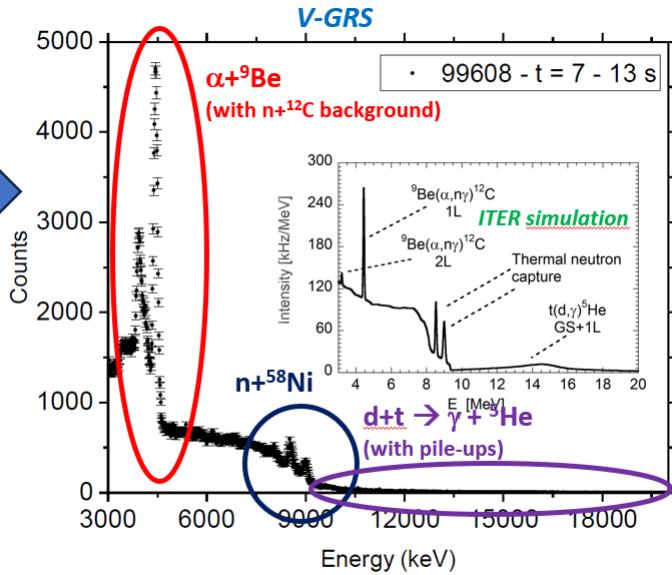
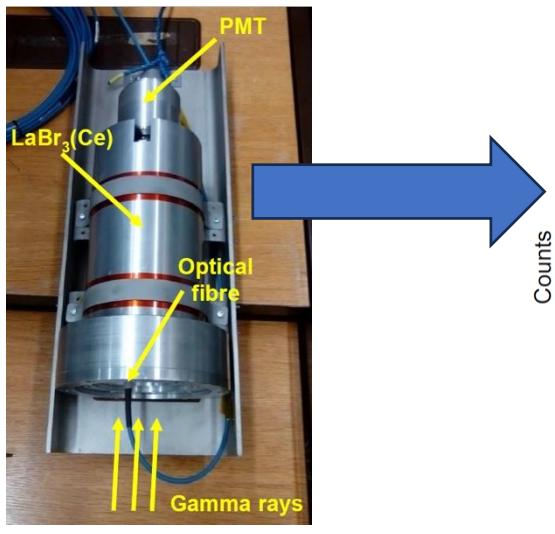
- 1) I *sistemi di riscaldamento*
 - 2) Le *reazioni di fusione*
 - 3) Le *terminazioni anomale* di una scarica (*disruzioni*)

Possono essere studiate
misurando *l'emissione nucleare*
da esse prodotta

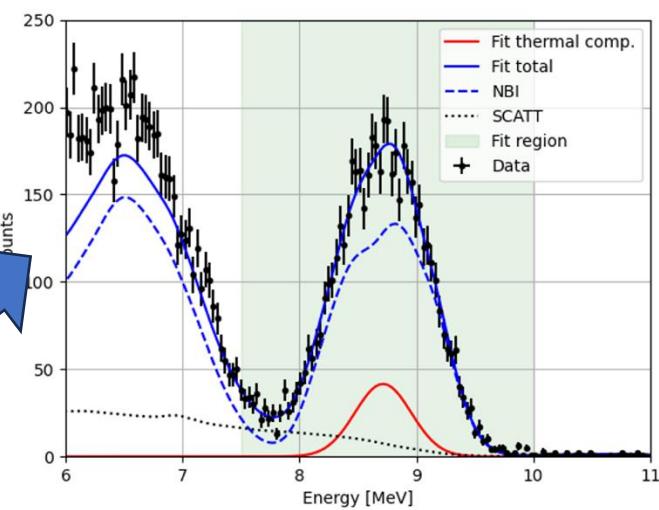
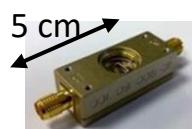
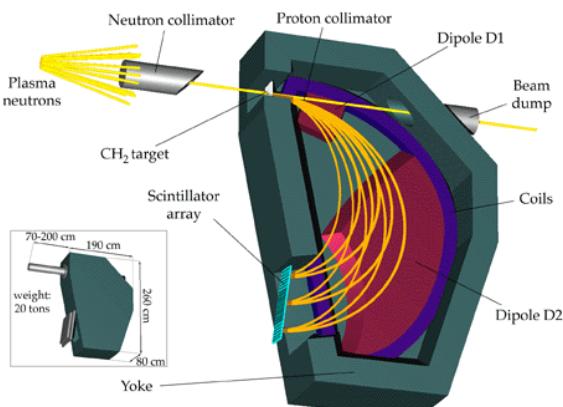
Le attività riguardano:

- 1) La progettazione, realizzazione e installazione di *strumenti per la misura* della radiazione nucleare.
 - 2) Lo sviluppo di *codici numerici* per il calcolo dell'emissione di radiazione.
 - 3) L'*analisi dei dati* di emissione nucleare da esperimenti per determinare le *proprietà delle particelle veloci*

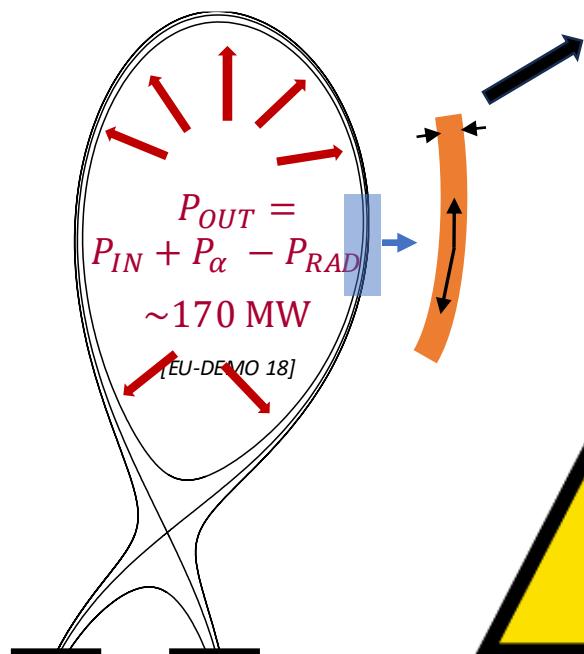
Spettroscopia di raggi gamma



Spettroscopia di neutroni

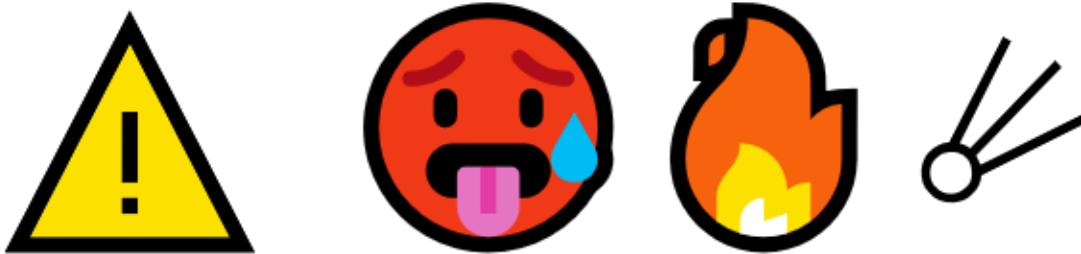


Il Problema dello Scarico di Plasma

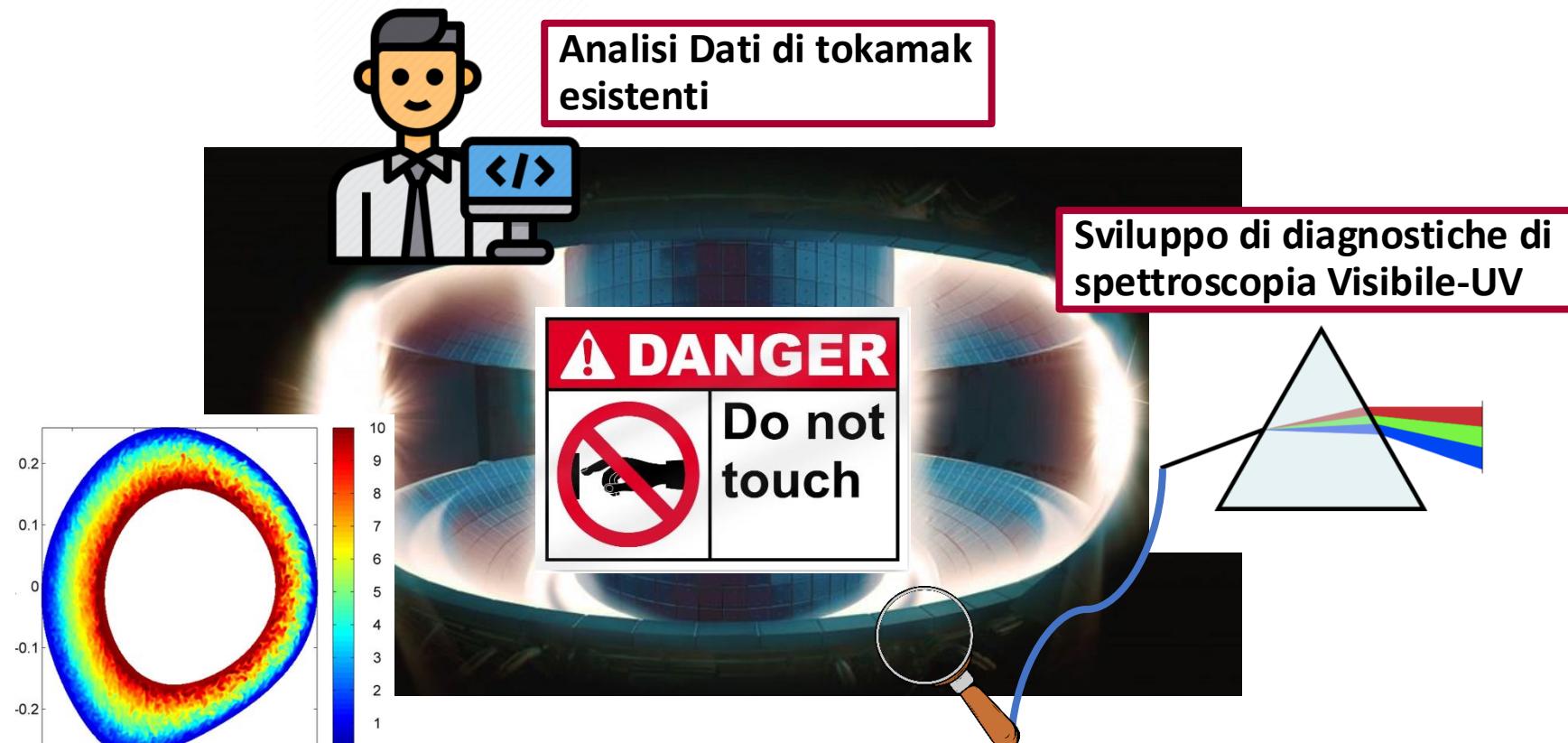


$$A_{\text{effective}} \approx 2 \text{ m}^2$$

$\rightarrow q_{div} \approx 60 \text{ MW/m}^2$ which is like
the heat load on the sun surface
($H_{\text{sun}} \approx 63 \text{ MW/m}^2$)



La fisica di Bordo-Plasma



Modellizzazione di soluzioni
del problema dell'exhaust

Referente: M. Cavedon (marco.cavedon@unimib.it)

Proposte di tesi di laurea triennale in area fusione nucleare

https://docs.google.com/spreadsheets/d/1t6oELvI44t4rH3viVKmhvHxupGwbWLWmyluDa9x8R0/edit?usp=drive_link

massimo.nocente@unimib.it

marco.cavedon@unimib.it

