

1222 • 2022
800
ANNI



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Sperimentazione con sorgenti di plasma in laboratorio:
caratterizzazione di plasma mediante sonda di Langmuir in una
sorgente di tipo Kamaboko con una configurazione magnetica
modificata

Laureandi:
Soffritti Emma



Relatore:
Prof. Giuseppe Chitarin
Correlatore:
Dott. Iacopo Regoli

- ☐ Confronto tra due configurazioni magnetiche della sorgente Kamaboko
- ☐ Utilizzo del software FEMM
- ☐ Simulazioni magnetostatiche tramite il metodo degli elementi finiti
- ☐ Confronto dei risultati teorici con quelli pratici



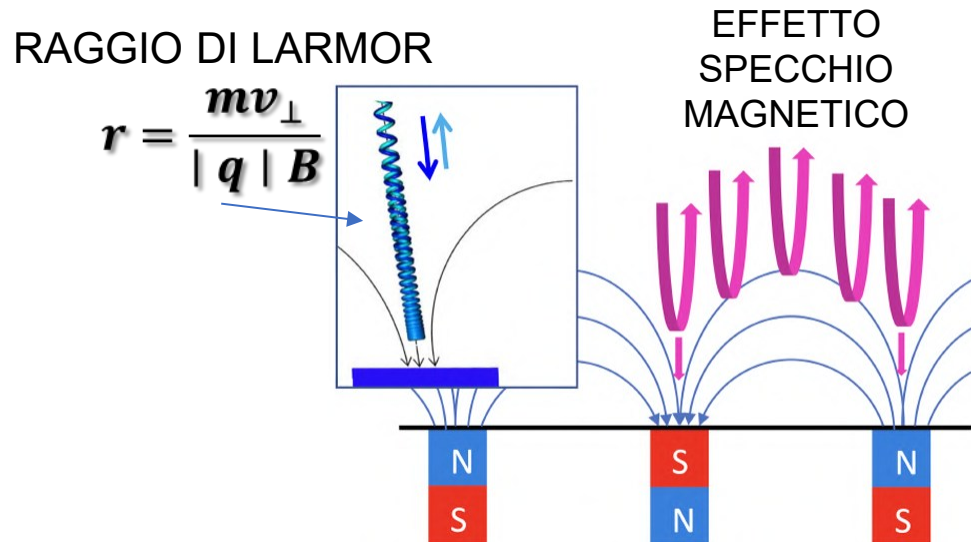
- ☐ analizzare la distribuzione del campo magnetico
- ☐ valutare il confinamento del plasma



MAGNETI A CUSPIDE

Magneti disposti in modo che:

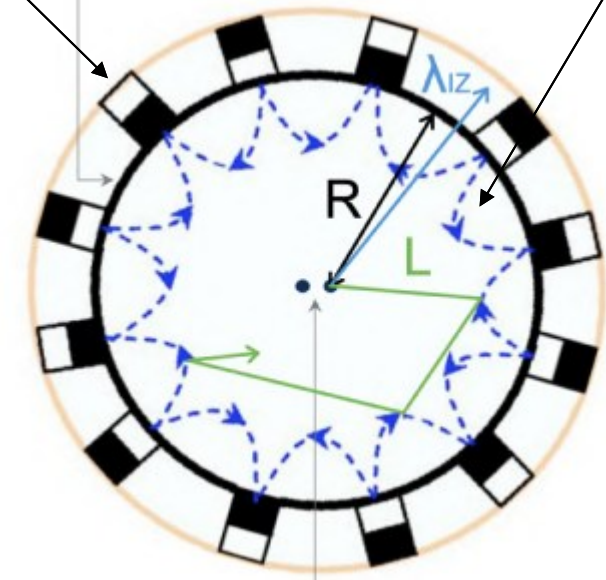
- I poli Nord e Sud siano alternati
- Il campo magnetico sia massimo vicino alle pareti
- Il campo sia molto debole al centro della camera



FORZA DI LORENZ
 $F = q(E + v \times B)$

Campo
multipolare

Cuspidi
magnetiche



elettroni possiedono un'energia molto più elevata rispetto alle particelle pesanti

$$T_e \gg T_i \approx T_n$$

L'energia degli elettroni è legata alla temperatura elettronica tramite:

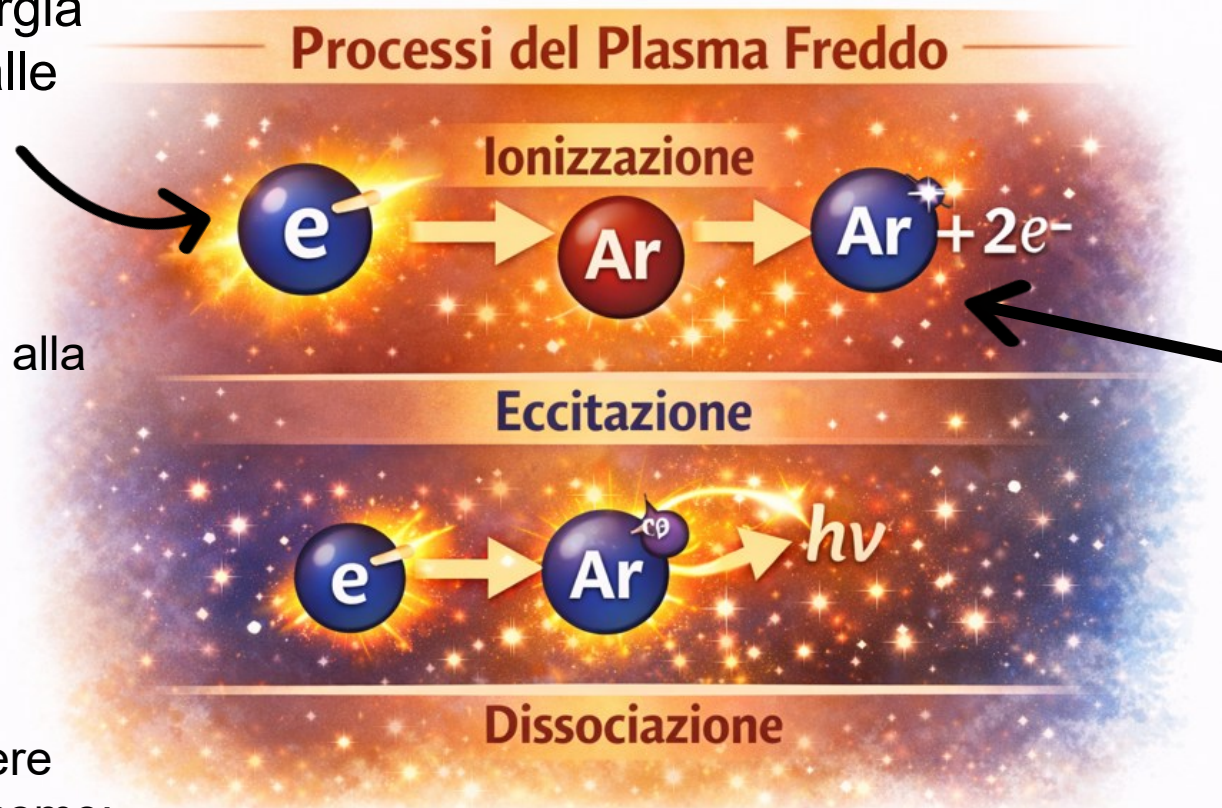
$$E_e = \frac{3}{2} k_B T_e$$

Costante di Boltzmann

Il tasso di ionizzazione può essere espresso in forma semplificata come:

$$R_i = n_e n_n \langle \sigma v \rangle$$

PRODUCE PLASMA SENZA TRASFERIRE UN'ELEVATA QUANTITÀ DI ENERGIA AL SISTEMA.

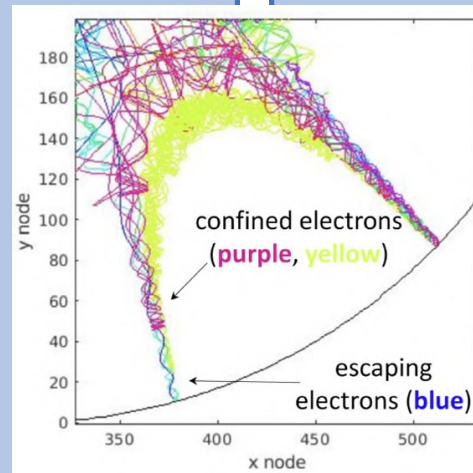


ioni e gas rimangono freddi

- buona densità di plasma
- bassa temperatura del gas

PERDITE ATTRAVERSO LO SPECCHIO MAGNETICO

Gli elettroni che sono troppo allineate lungo la direzione del campo magnetico possono uscire dalle regioni confinate



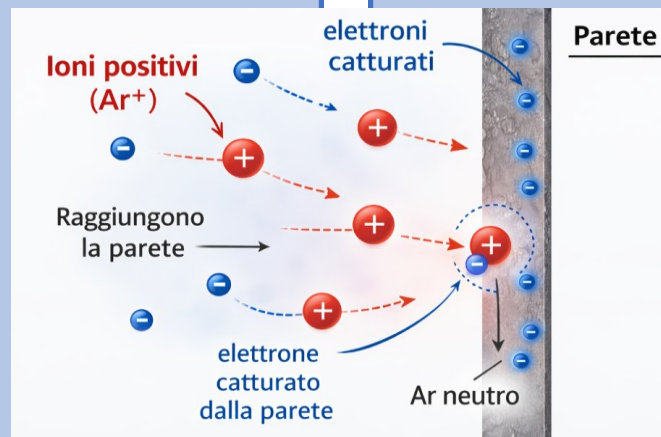
COLLISIONI CON PARTICELLE PESANTI

Queste collisioni modificano la direzione della velocità dell'elettrone, trasformando parte della velocità perpendicolare in velocità parallela:

$$\mathbf{v}_{\perp} \rightarrow \mathbf{v}_{\parallel}$$

TRASPORTO AMBIPOLARE

gli ioni diffondono più facilmente verso le pareti della camera. Quando gli ioni raggiungono la parete, avviene generalmente una **neutralizzazione sulla superficie**, catturando un elettrone dalla parete e tornando allo stato neutro.



EMISSIONE SECONDARIA DALLE PARETI

L'**emissione secondaria** avviene **quando una particella colpisce la parete** e fa uscire uno o più elettroni dalla parete.

Trade-off da tenere in considerazione:

- Se il campo magnetico è **troppo debole**
 - aumentano le probabilità di collisione
 - aumentano le perdite di plasma alle pareti.
- Se il campo magnetico è **troppo forte**:
 - diminuiscono le perdite alle pareti
 - il volume effettivo del plasma diminuisce.





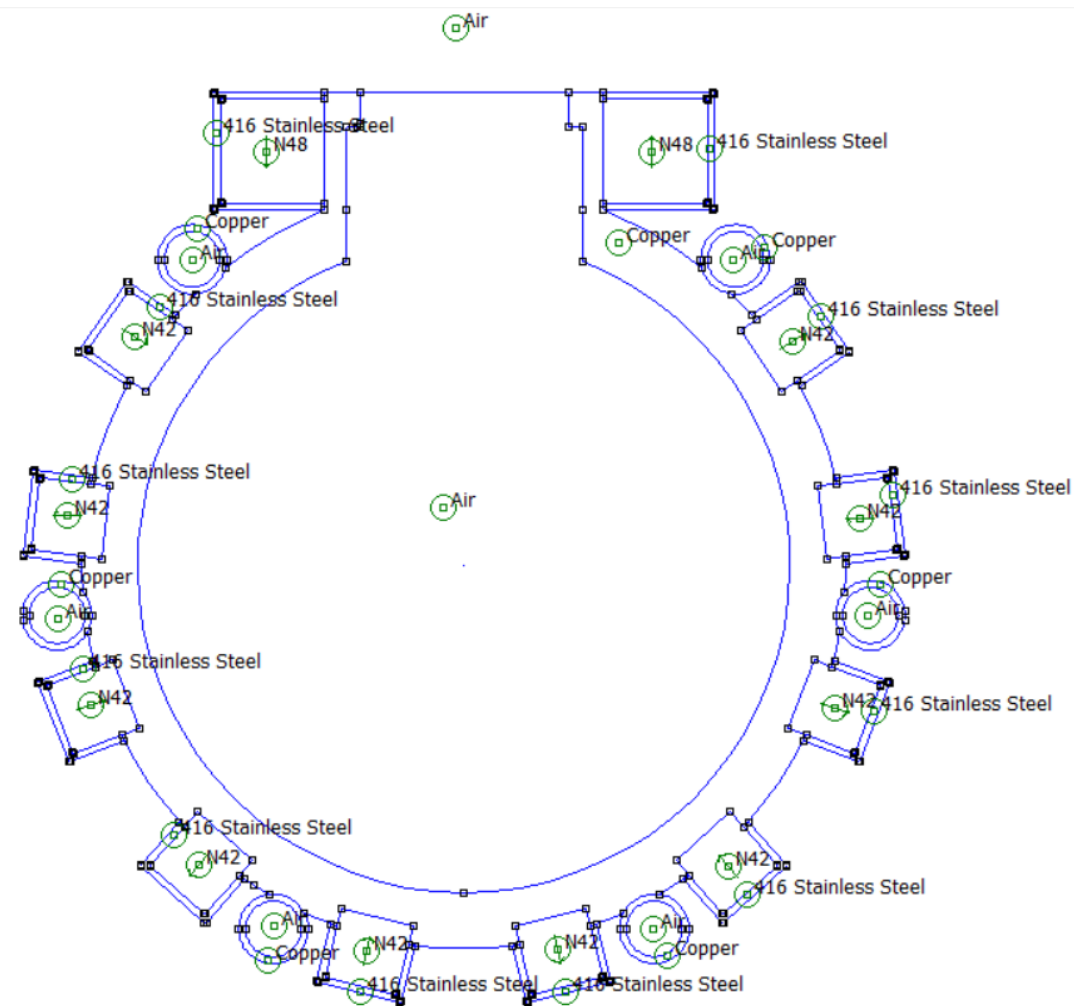
SIMULAZIONI FEMM

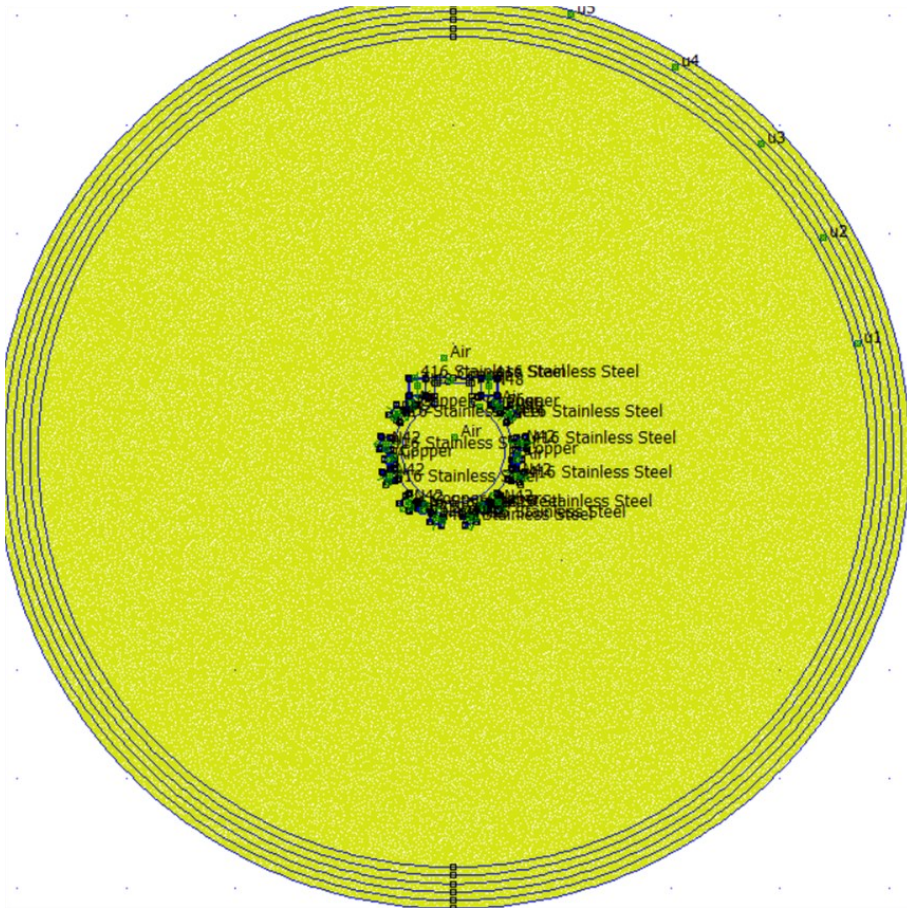
1. IMPORTARE FILE .DXF SU FEMM

2. INSERIRE I MATERIALI

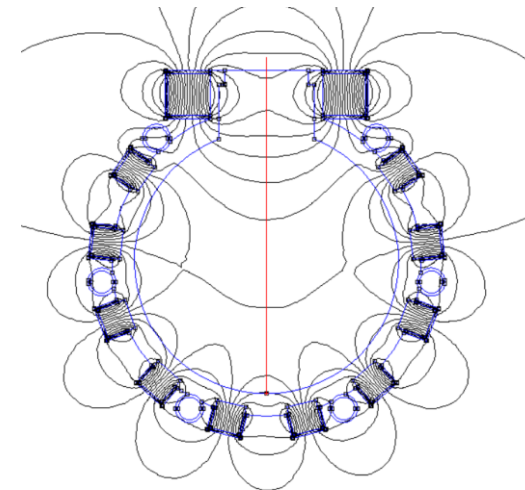
- rame → camera e tubi
- acciaio inox → contenitori magneti
- magneti NdFeB:
 - 10 magneti N42
 - 2 magneti N48
- aria

3. CORREZIONE POLARITÀ DEI MAGNETI

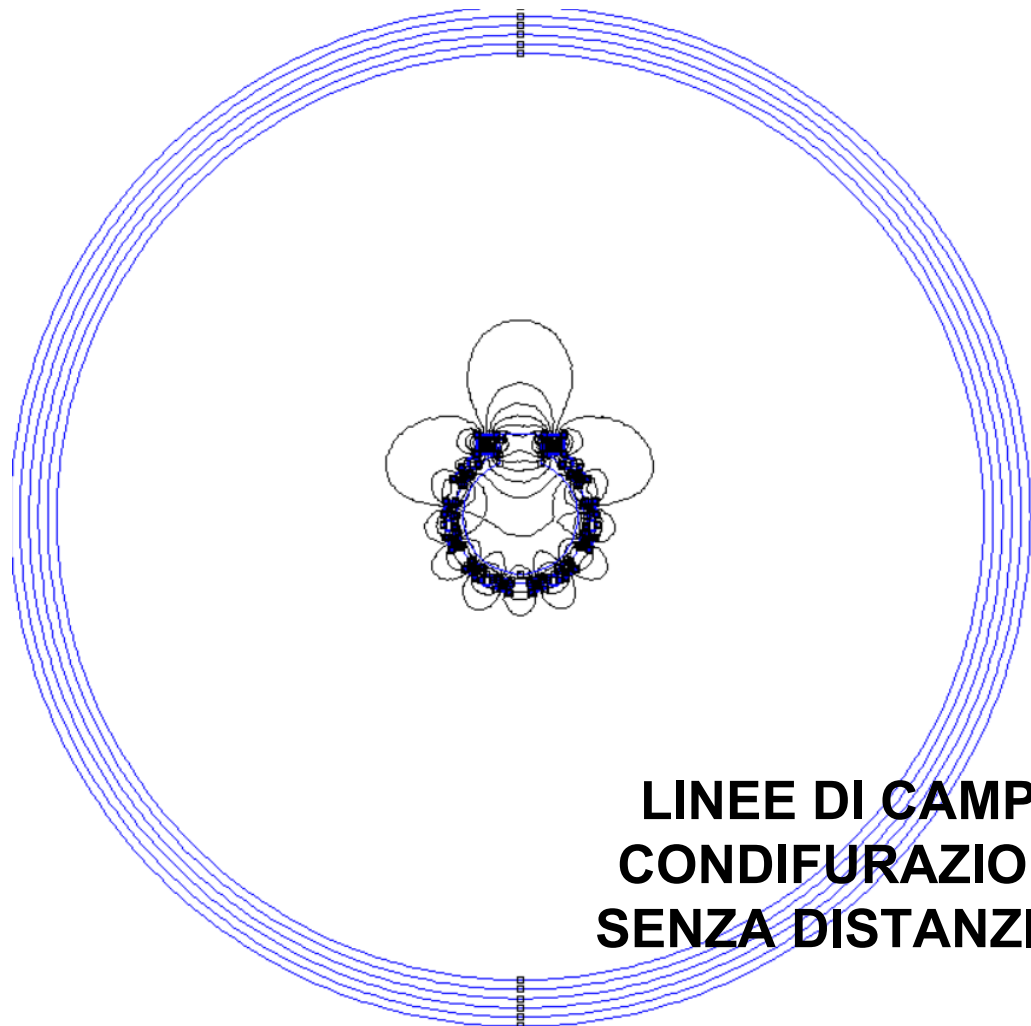




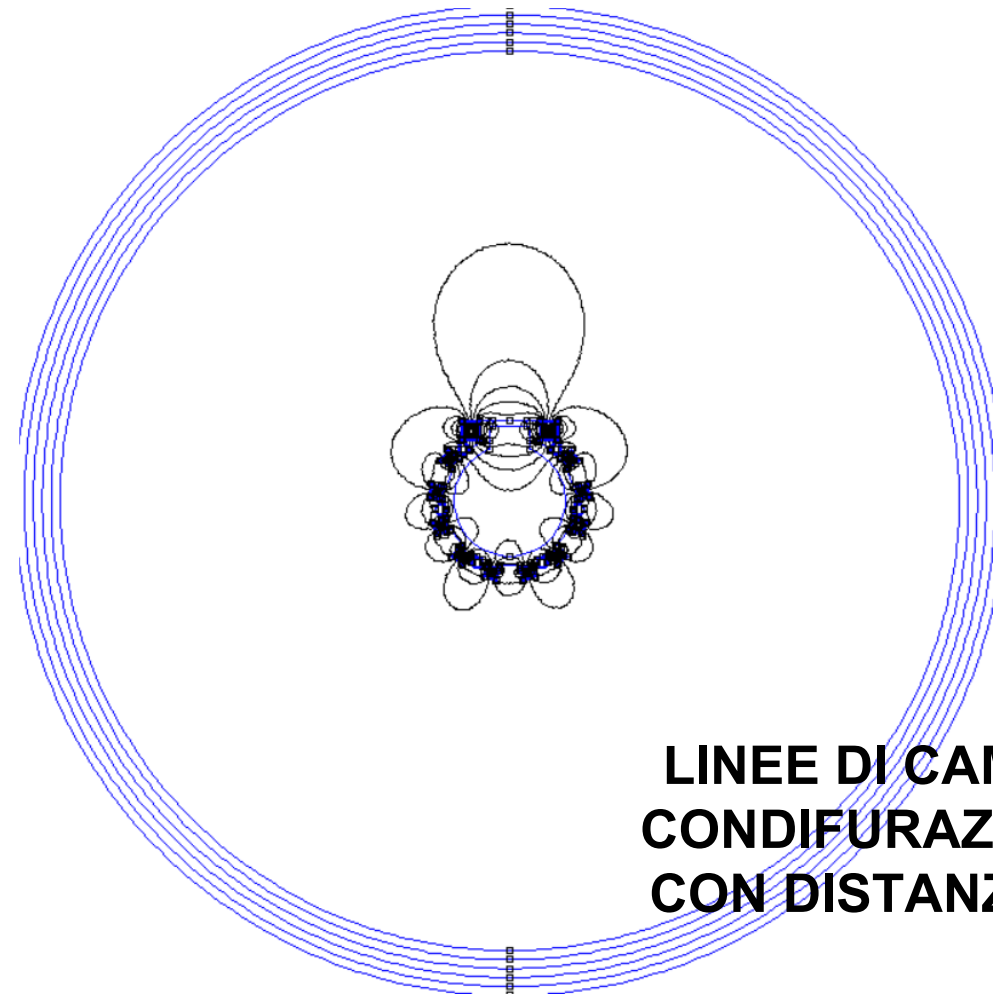
1. **TRACCIARE 5 LAYER:** $d_{layer} = 3de = 381$ mm.
2. **Impostare le condizioni al contorno di Dirichlet**
Definiscono un potenziale vettoriale nullo sul contorno esterno
3. **Calcolare la MESH**
nel dominio dell'aria la dimensione dei singoli elementi finiti pari a 1 mm
4. **Tracciare le rette** lungo la quale estrarre B_y e B_x



Linee di campo

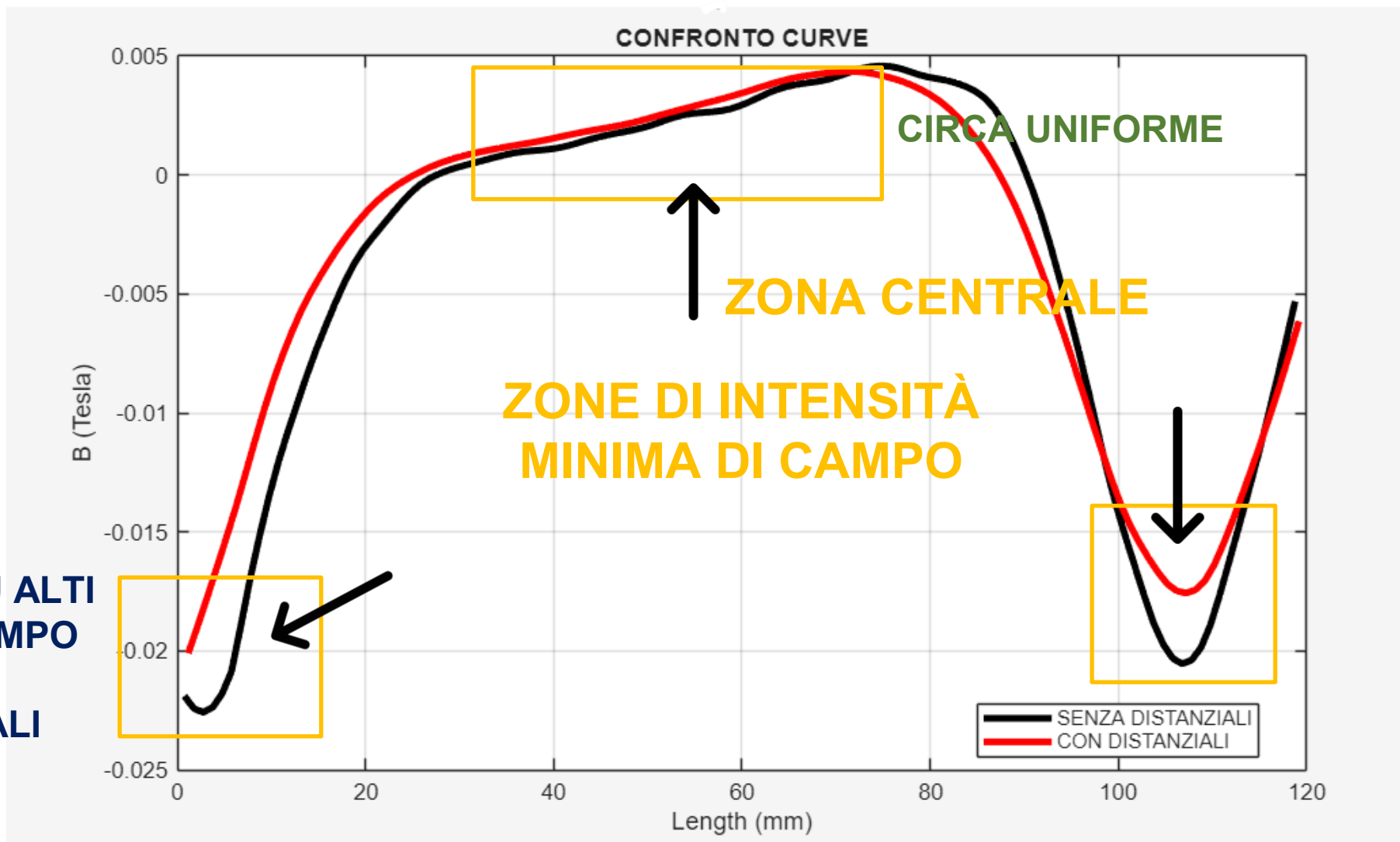


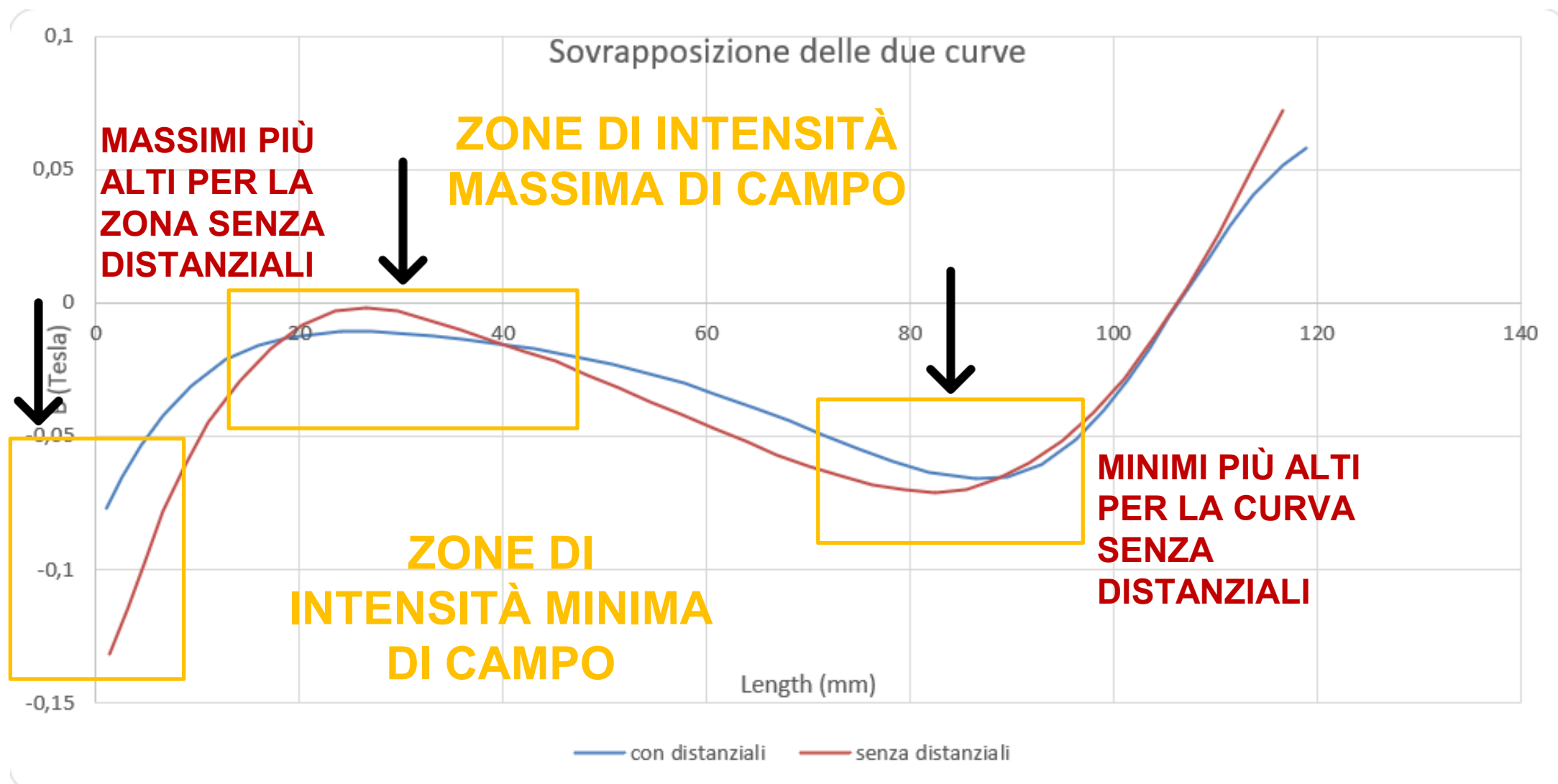
**LINEE DI CAMPO
CONDIFURAZIONE
SENZA DISTANZIALI**



**LINEE DI CAMPO
CONDIFURAZIONE
CON DISTANZIALI**

MINIMI PIÙ ALTI
PER IL CAMPO
SENZA
DISTANZIALI







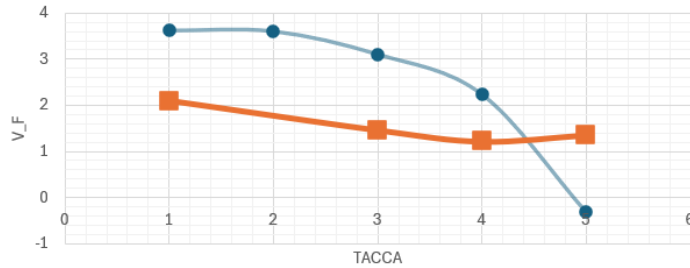
ANALISI DATI SPERIMENTALI

41A 60V 60sccm

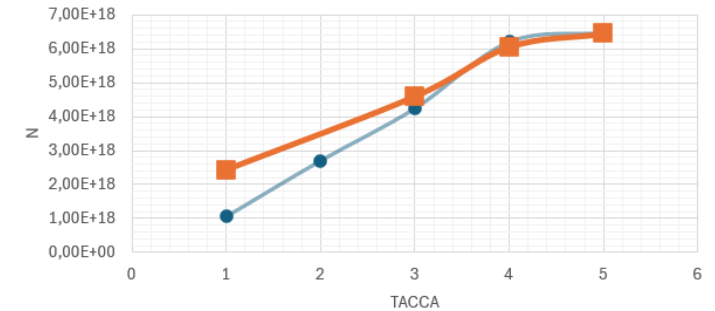
UN CONFRONTO TRA LE MISURAZIONI
EFFETTUATE E UTILIZZO DEL
SOFTWARE MATLAB

40A 60V 60sccm

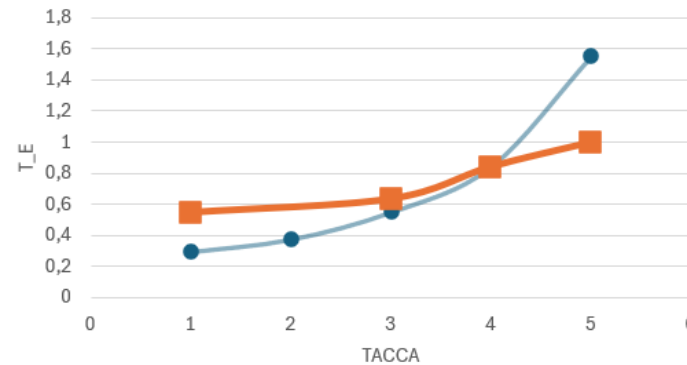
POTENZIALE
FLOTTANTE V_f

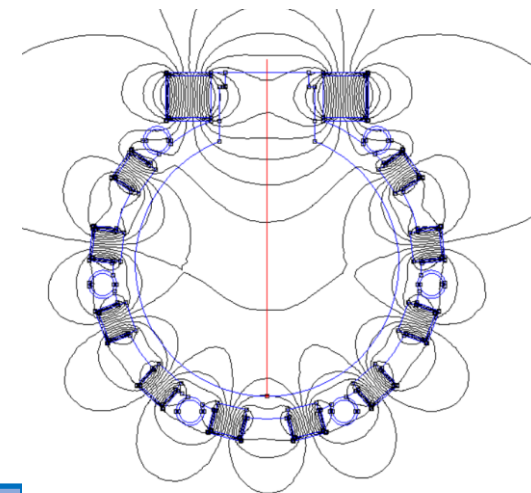
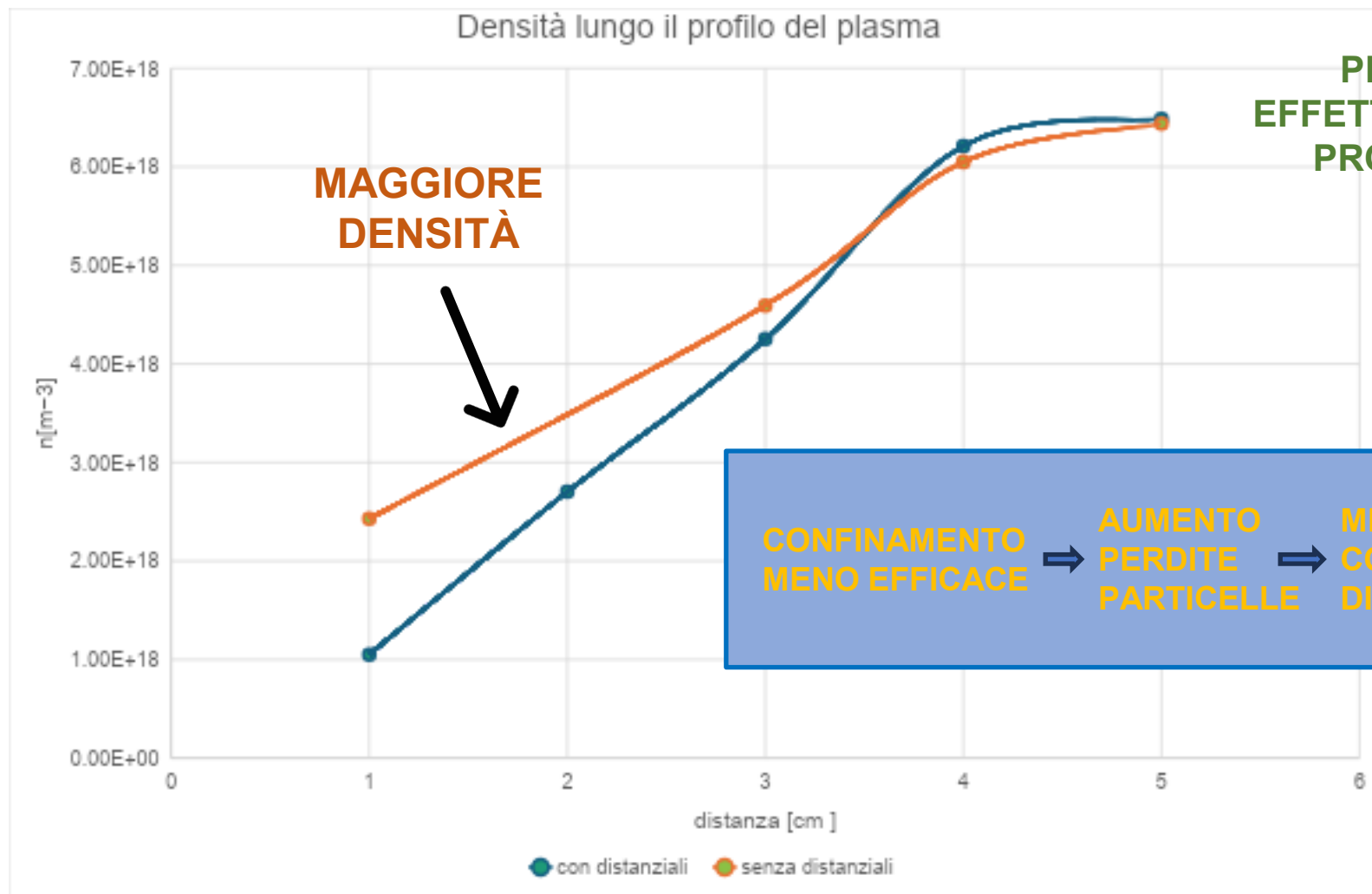


DENSITÀ
ELETTRONICA n



TEMPERATURA
ELETTRONICA T_e

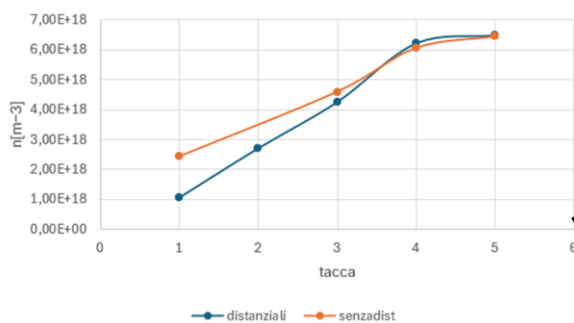




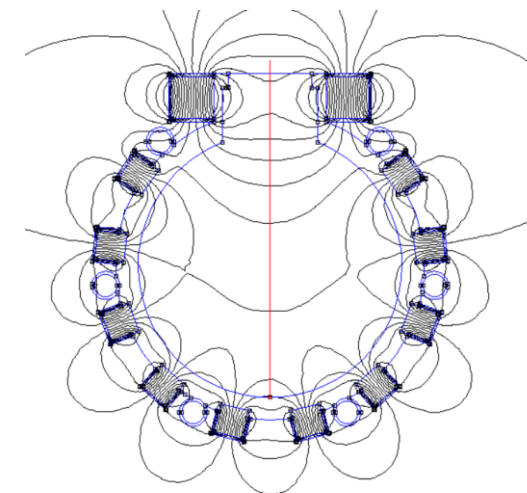
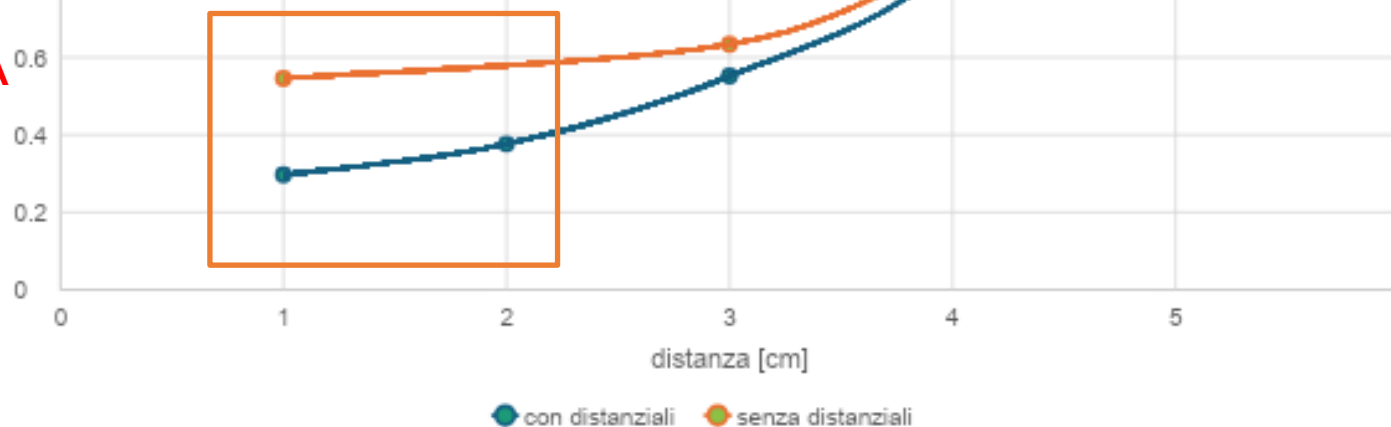
ENERGIA
ELETTRONI

temperatura in funzione della posizione della sonda

Densità lungo il profilo del plasma



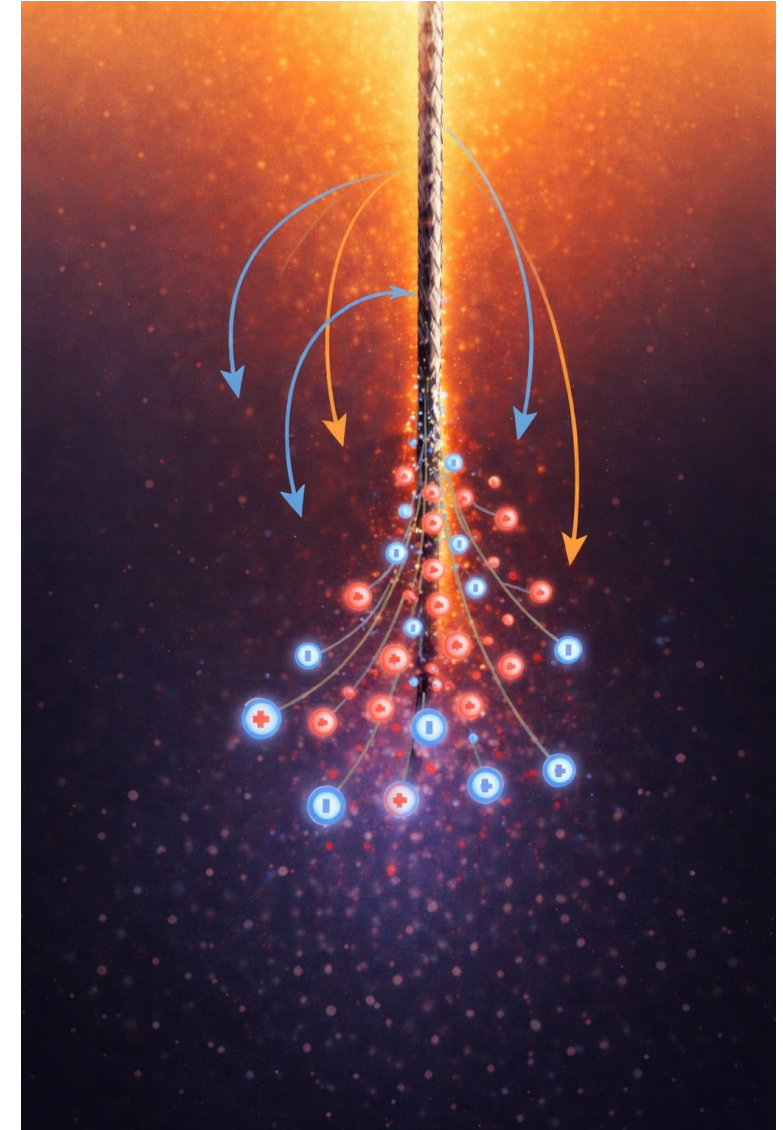
**TRAIETTORIA A
MINOR VELOCITÀ
=
SUPERAMENTO
DELLE LINEE DI
CAMPO**



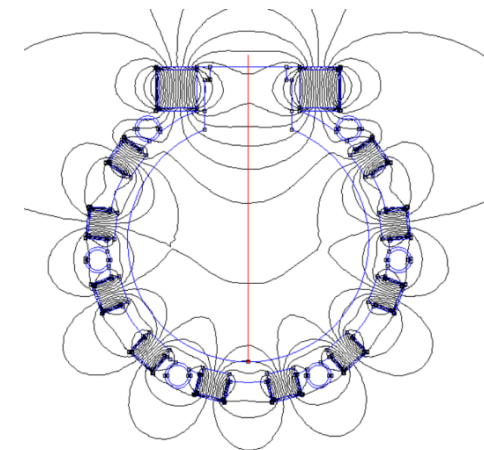
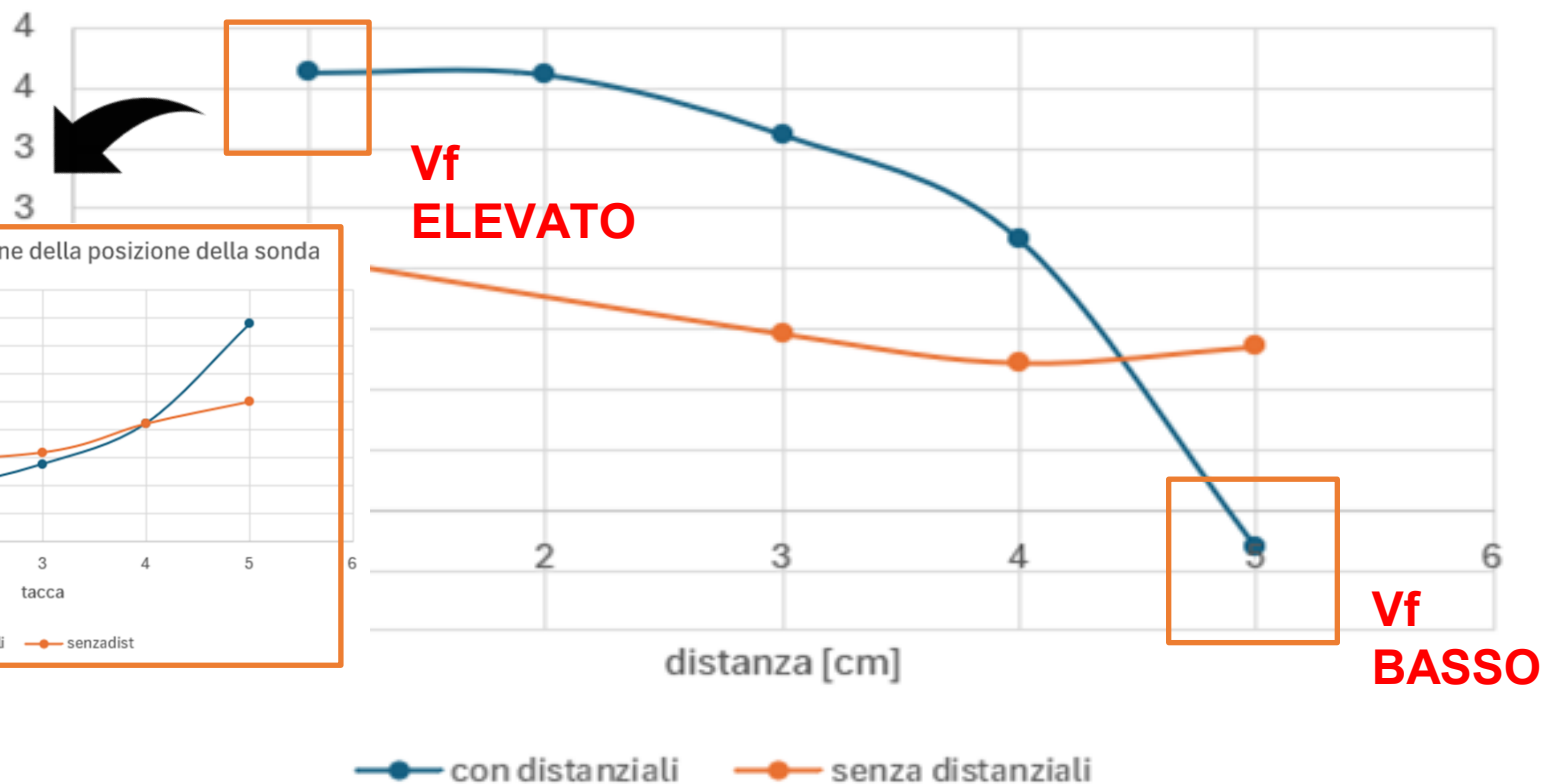
Quando la sonda neutra viene inserita nel plasma:

1. attira più elettroni che ioni, quindi la sonda si carica negativamente;
2. il potenziale negativo, quindi, inizia a respingere gli elettroni e ad attirare gli ioni;
3. si arriva alla neutralità quando i due flussi si equilibrano.

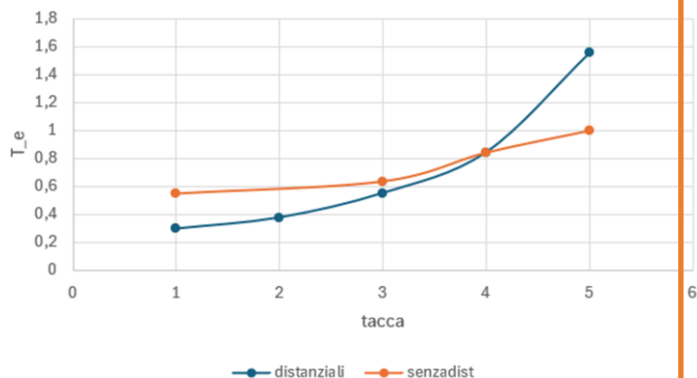
$$V_f = V_p - \alpha T_e$$



Vf in funzione della posizione della sonda



temperatura in funzione della posizione della sonda



MINOR
FLUSSO
ELETTRONICO

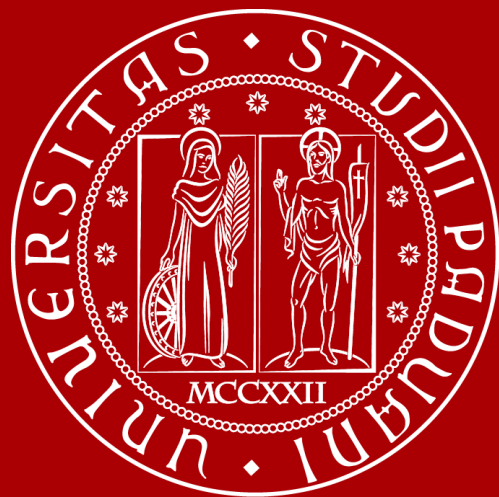
CONCLUSIONI

- Le stime fatte per il campo magnetico B_x e B_y
- I risultati ottenuti sperimentalmente dei grafici sono coerenti con quelli delle simulazioni



POSSIBILI IMPLEMENTAZIONI

- Fare nuove sperimentazioni su V_f , n e T_e a SCCM diversi
- Provare a vedere come varia il campo magnetico in una simulazione 3D
- Provare a fare confronti sperimentali utilizzando nuovi gas



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA