

Tesi di Laurea
Ingegneria Energetica

**TECNICHE PER LA FUSIONE
NUCLEARE INDOTTA DA ESPLOSIONE
COULOMBIANA DI CLUSTER DI
DEUTERIO E TRIZIO**



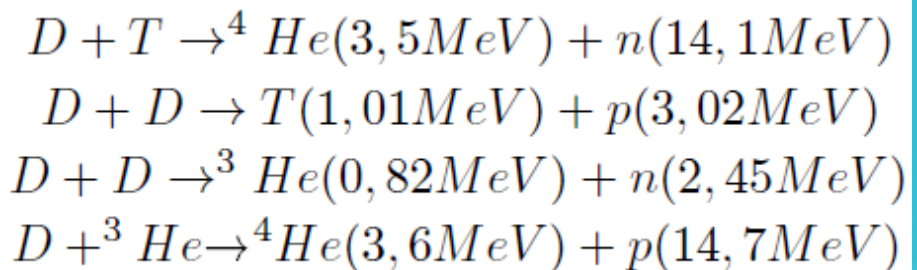
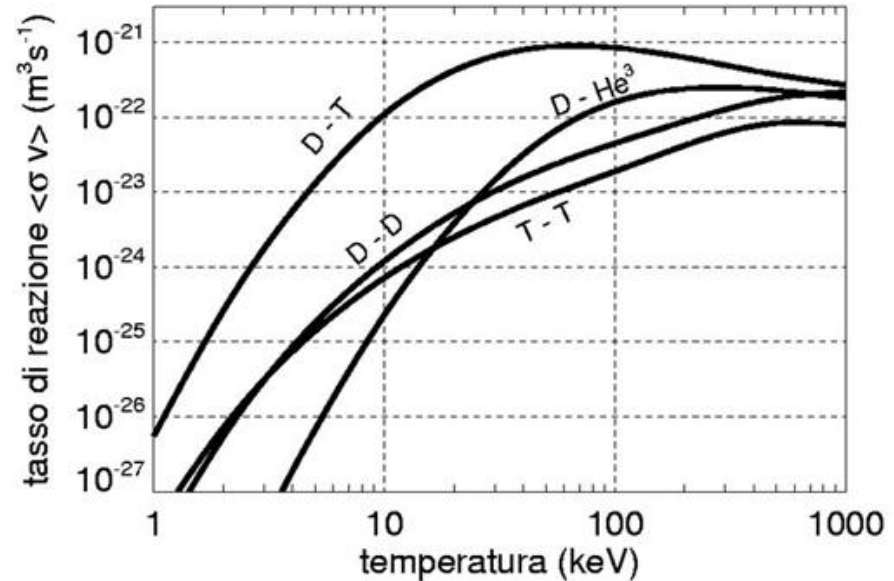
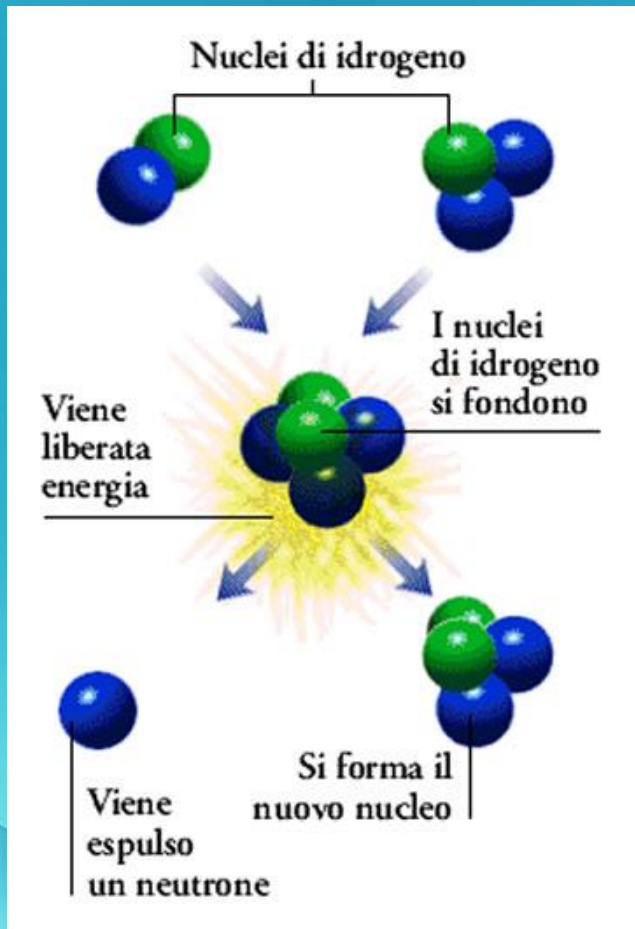
Relatore:
Prof. Gianni Coppa

Candidati:
Diego Vai
Edoardo Sanna

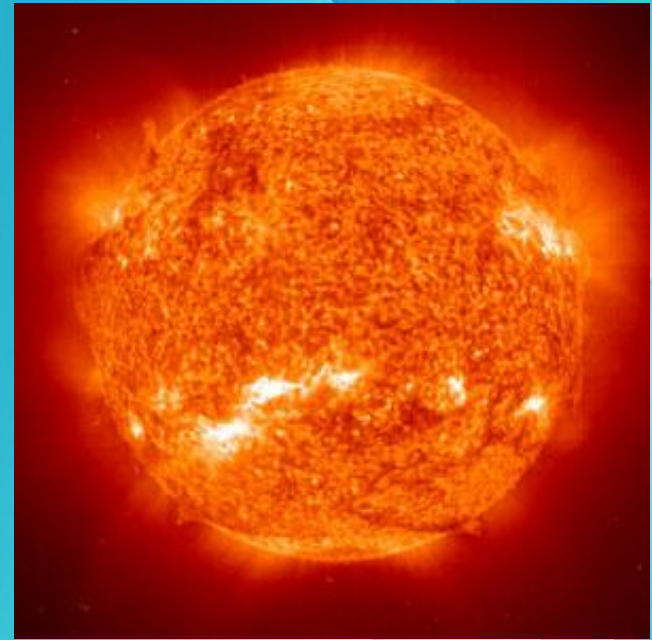
SOMMARIO

- Introduzione alla fusione nucleare
- Il confinamento inerziale
- L'esplosione coulombiana
- Modello fisico per l'esplosione di un cluster di deuterio
- Modello numerico per l'analisi del modello fisico
- Analisi dei risultati

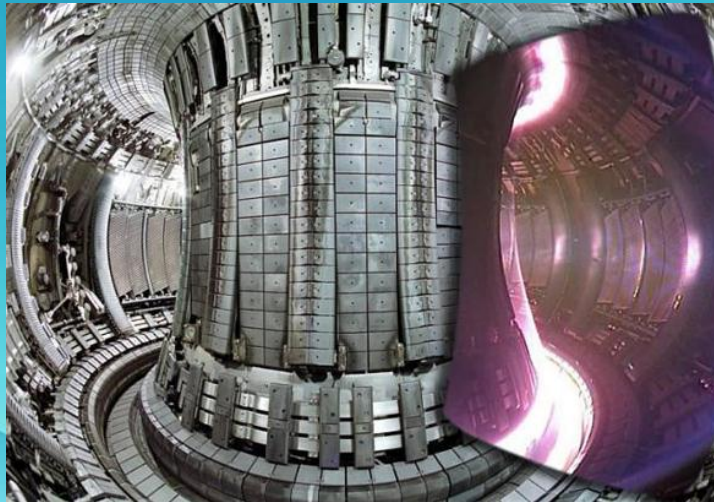
La fusione nucleare



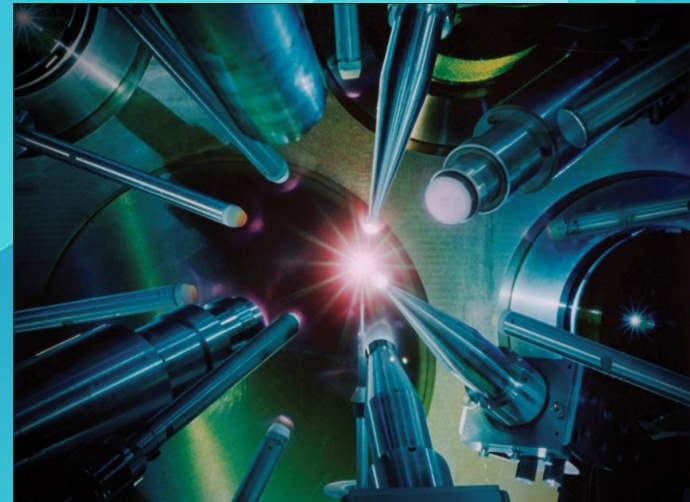
Confinamento del plasma



Gravitazionale

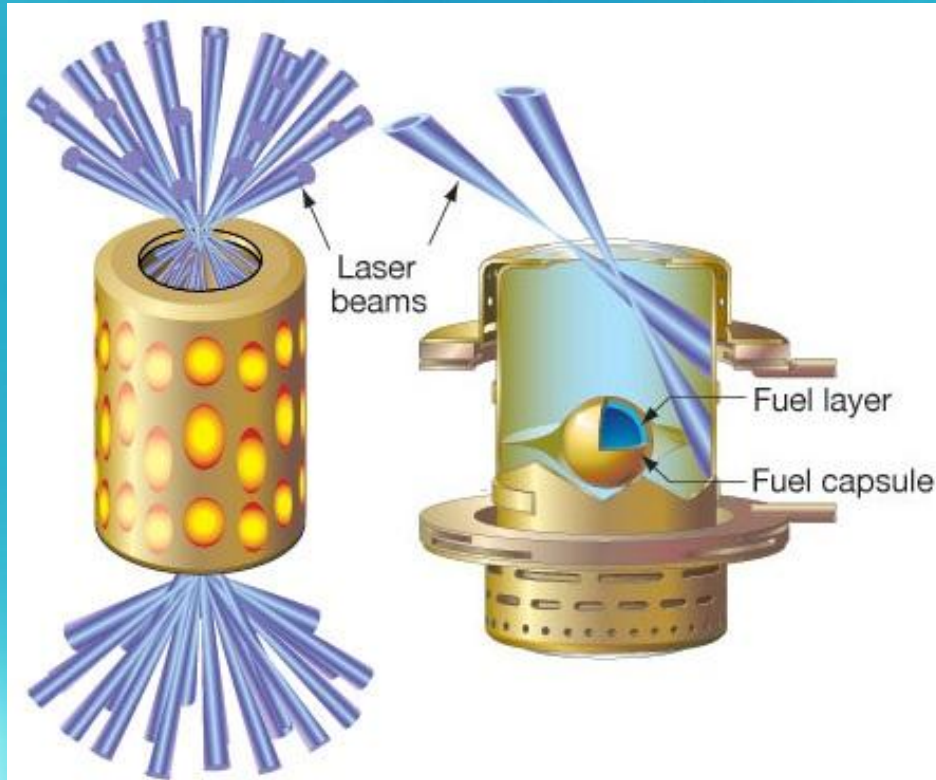


Magnetico

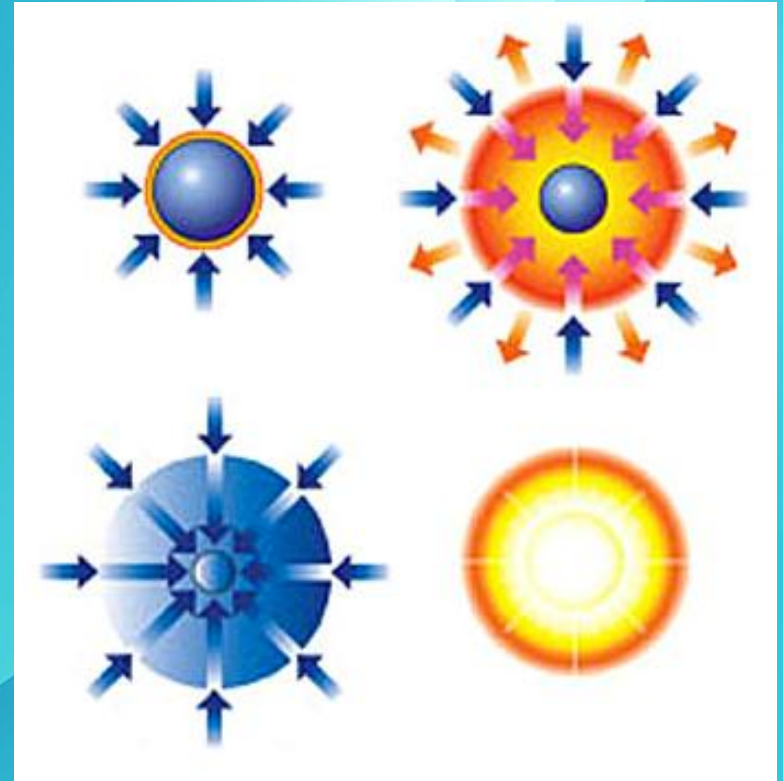


Inerziale

Confinamento inerziale

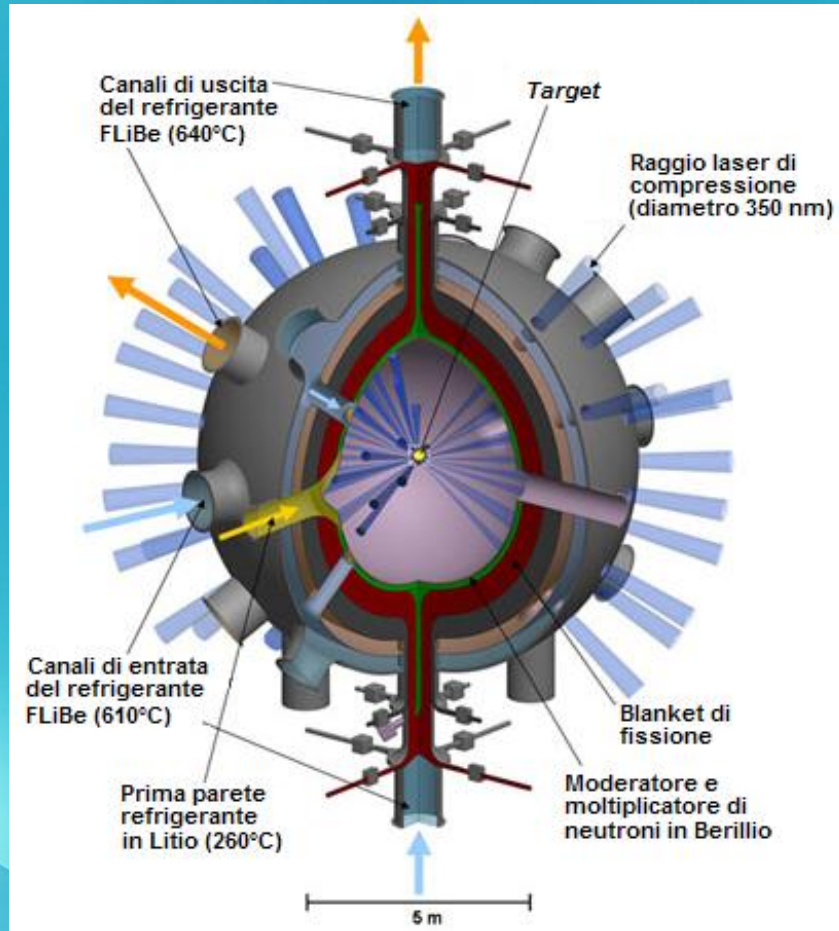


Indiretto



Diretto

Laser attuali

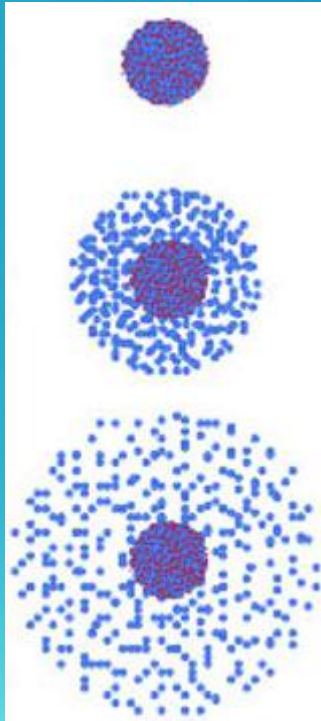


National Ignition Facility



HiPER

Esplosione coulombiana



**IRRAGGIAMENTO
LASER**

**DISTRIBUZIONE
DELL'ENERGIA**

IONIZZAZIONE

CAMPO ELETTRICO

**ESPLOSIONE
COULOMBIANA**

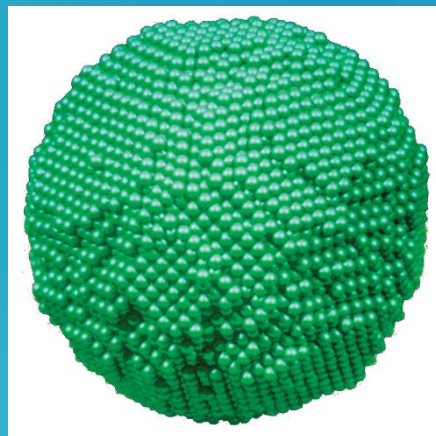
Impulso Laser

Elettroni

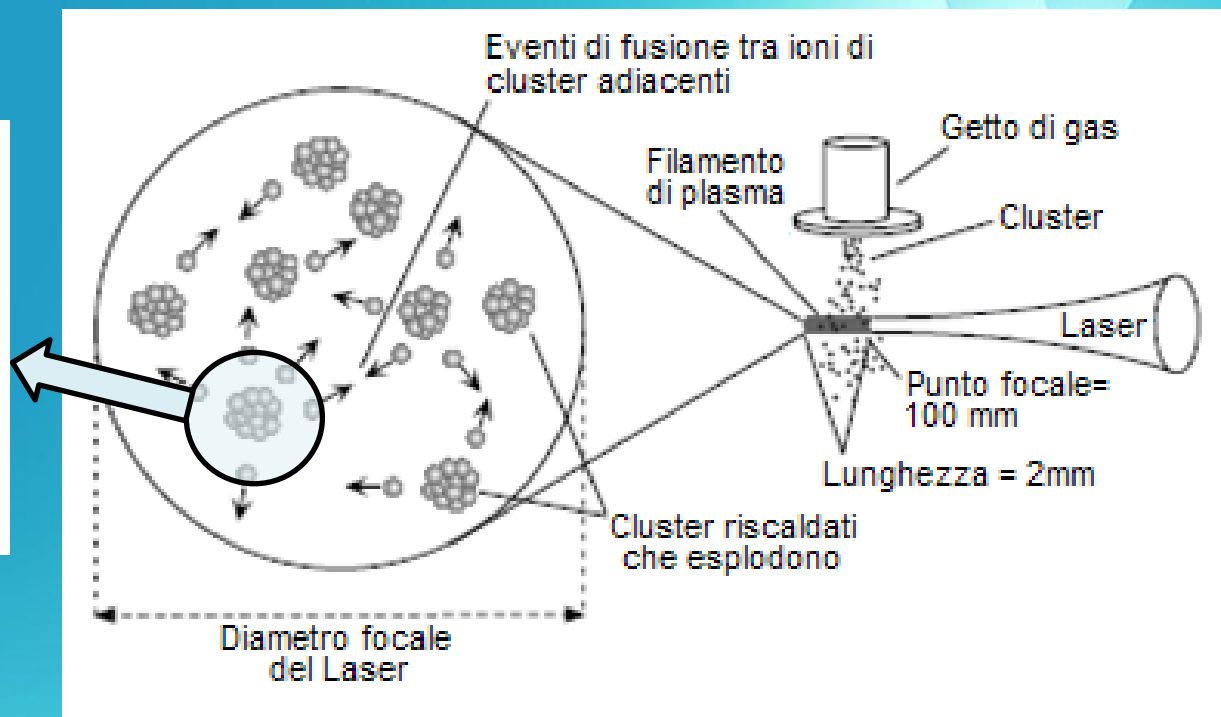
Nuclei

Reazioni nucleari

Esplosione coulombiana



Cluster atomico



Layout dell'esperimento di fusione da cluster di deuterio

T. Ditmire et al., (1999)

Risultati dell'esperimento

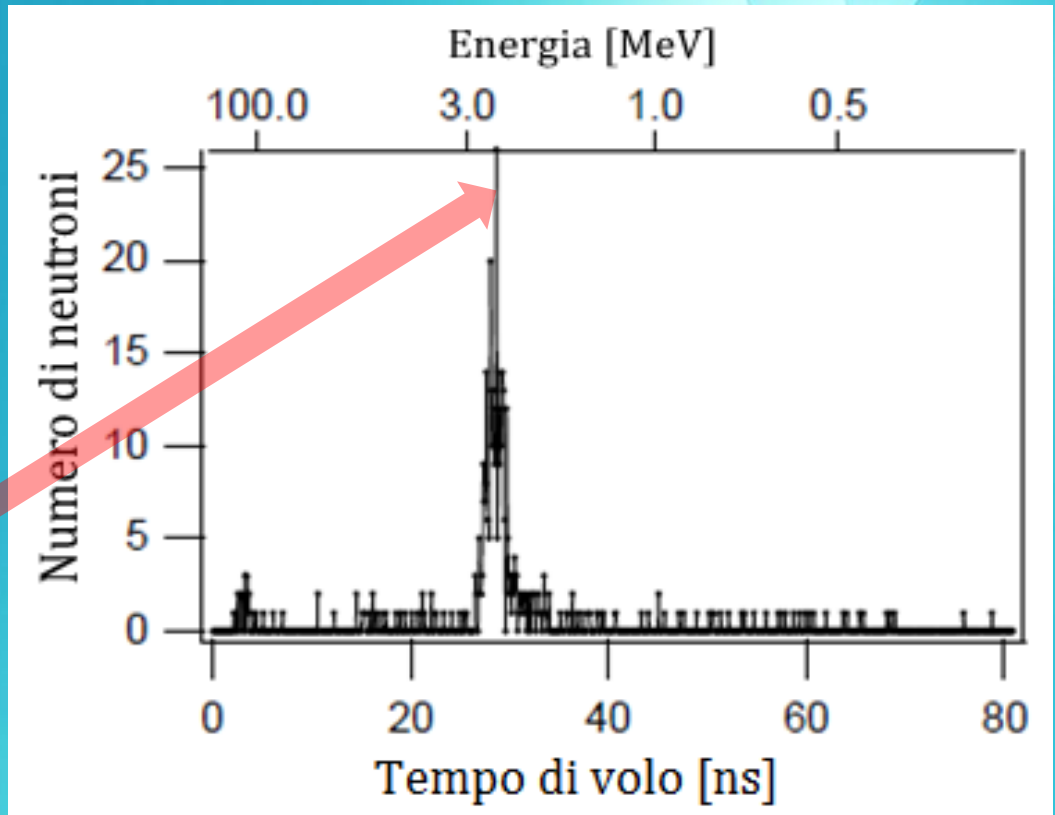
Specifiche:

Durata impulso = 35 fs

Distanza detector = 62 cm

Intensità laser = $5 \times 10^{17} \text{ W/cm}^2$

**Picco di neutroni
in corrispondenza di
 $E = 2.45 \pm 0,02 \text{ MeV}$**



Spettro del tempo di volo dei neutroni

Modello fisico

Teorema di Gauss

$$4\pi Q(r) = 4\pi r^2 E(r)$$

Relazione tra campo e carica elettrica

$$E(r) = \frac{Q(r)}{r^2}$$

Campo elettrico

$$E_i = \frac{Q_i}{r_i^2} = \frac{\frac{N(r_i)}{N_0}}{r_i^2}$$

$$\Phi(r) = - \int_0^r E(r') dr' + C$$

Potenziale elettrostatico

Determinazione delle nuove coordinate di ogni particella al variare del tempo

$$\begin{cases} \frac{d\mathbf{x}}{dt} = \mathbf{v} \\ \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \frac{q}{m} E(r) \mathbf{u}_r \end{cases}$$

$$m\mathbf{a} = q \mathbf{E}(r)$$

Bilancio di forze

Modello numerico

Approssimazioni rispetto al modello fisico:

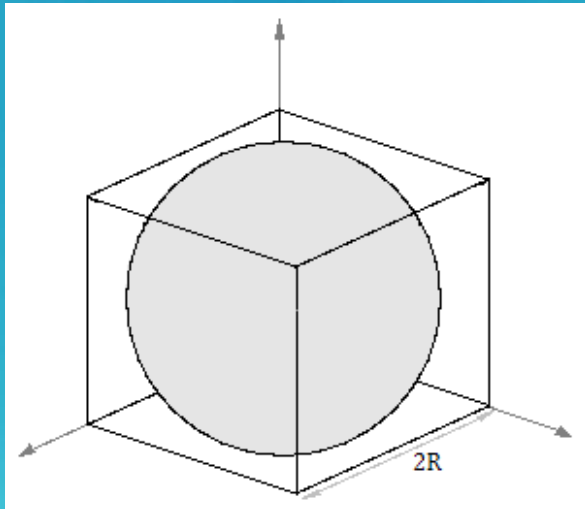
Particella computazionale

Discretizzazione del tempo

Distribuzione spaziale
uniforme nella sfera

Distribuzione gaussiana
della velocità iniziale

Parametrizzazione



Modello geometrico utilizzato

Procedimento di calcolo

$$\begin{matrix} \mathbf{x}_i(t) & \mathbf{v}_i(t) \\ t = 0 \end{matrix}$$

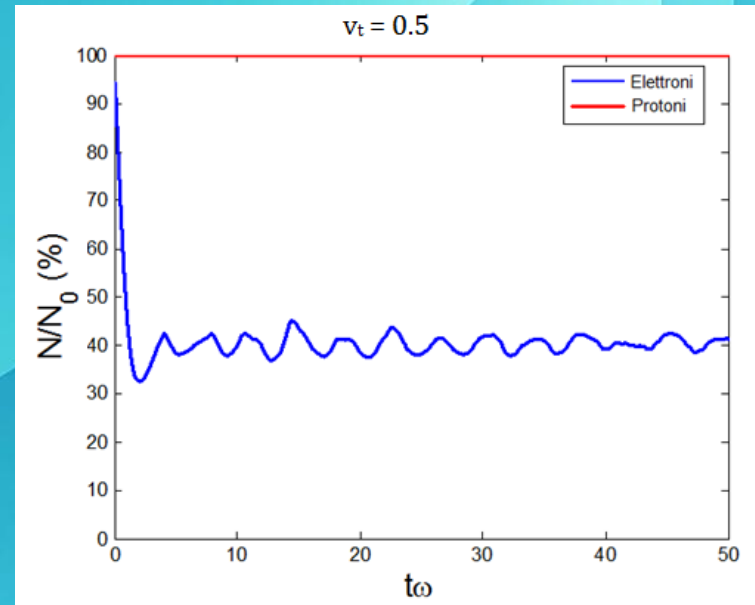
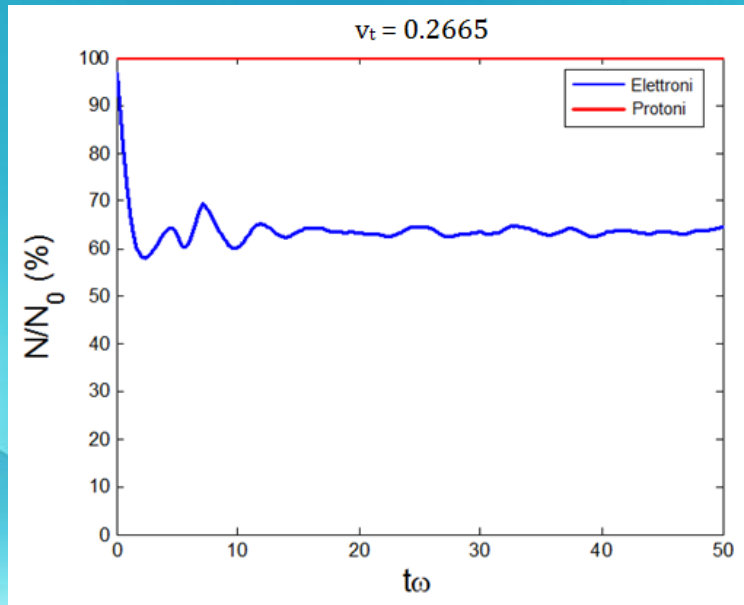
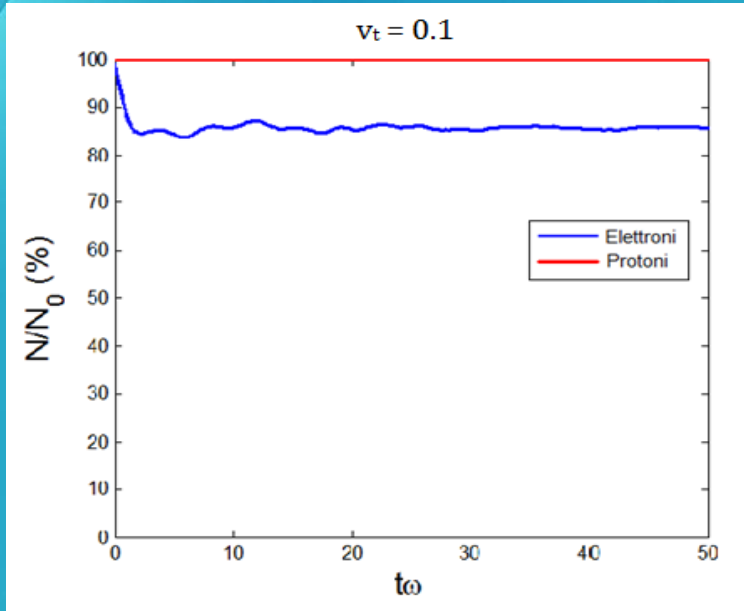
$$E_i = \frac{Q_i}{r_i^2} = \frac{N(r_i)/N_0}{r_i^2}$$

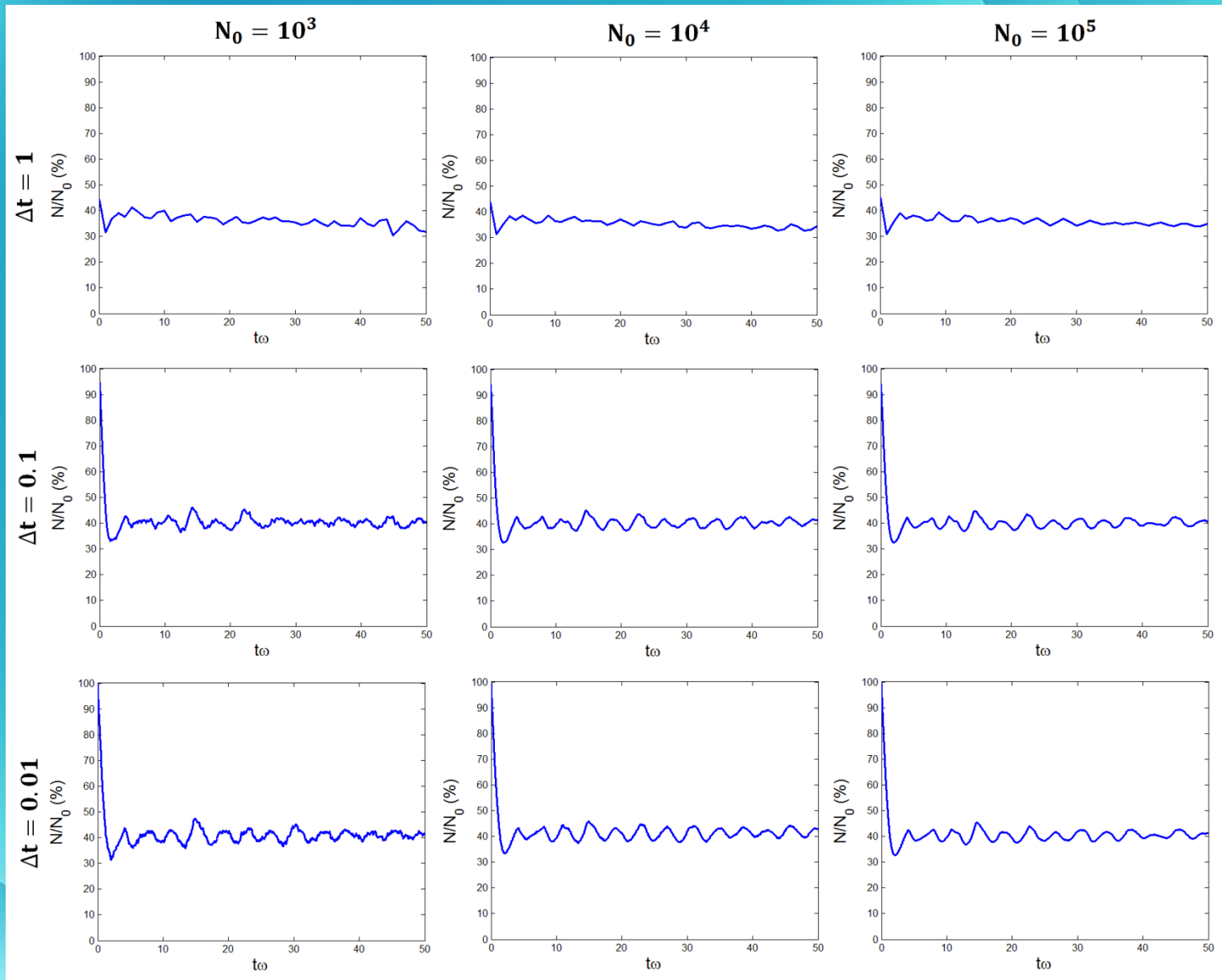
$$\mathbf{v}_i(t + \Delta t) = \mathbf{v}_i(t) - \frac{e}{m} \mathbf{E}_i \Delta t$$

$$\mathbf{x}_i(t + \Delta t) = \mathbf{x}_i(t) + \mathbf{v}_i(t + \Delta t) \Delta t$$

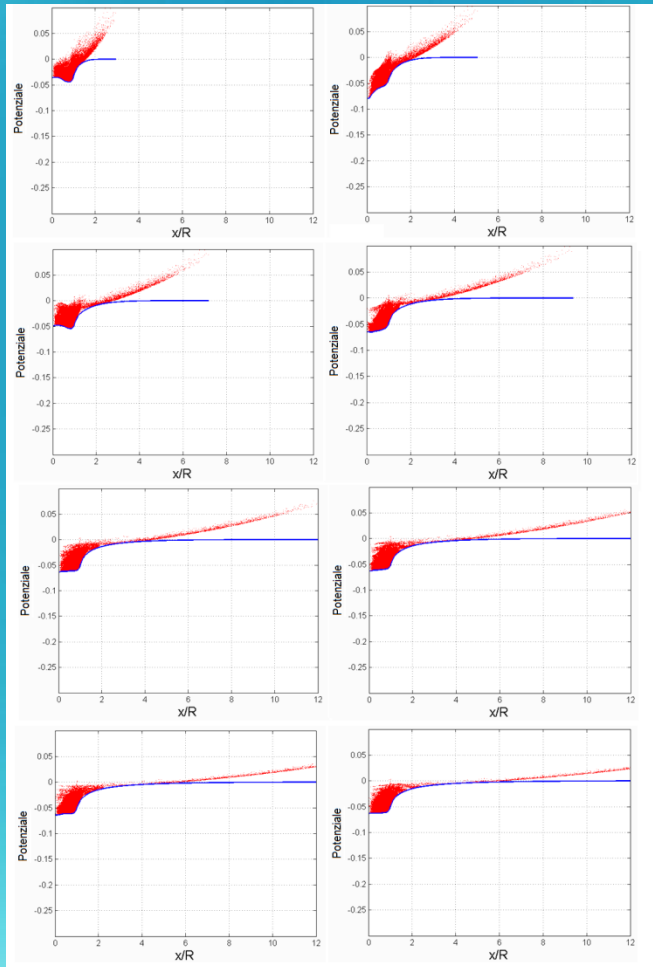
$$t = t + \Delta t$$

Distribuzione spaziale degli elettroni all'interno della sfera al variare della velocità termica

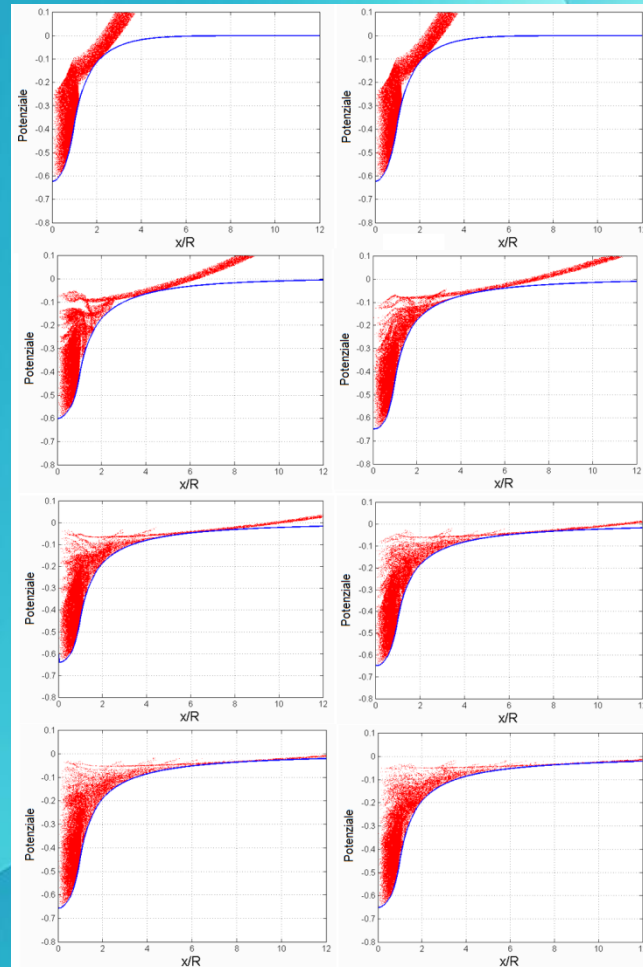




Andamento del potenziale ed energia degli elettroni



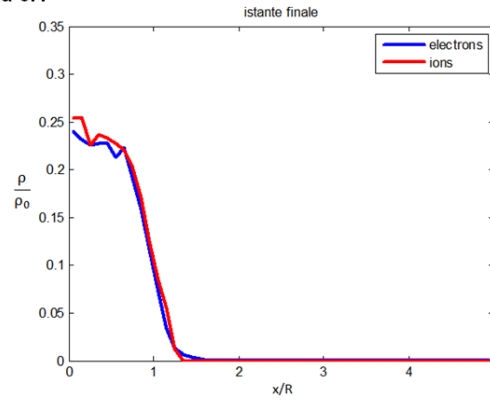
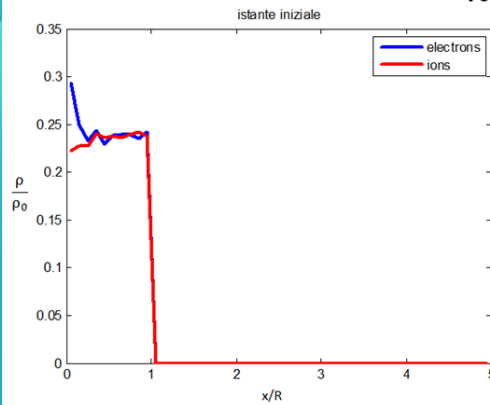
$N = 10^5 \quad \nu = 0.1$



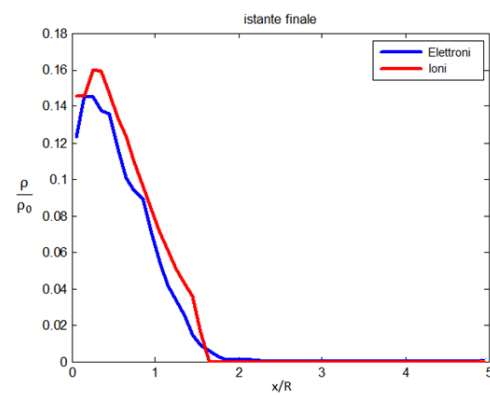
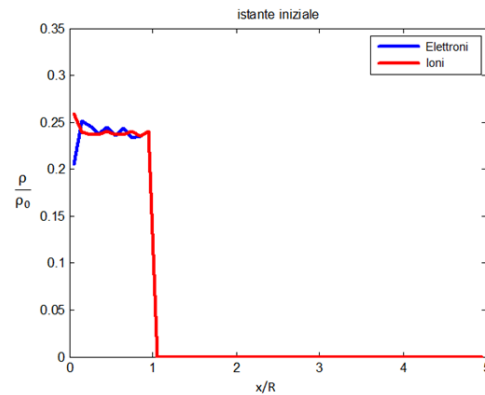
$N = 10^5 \quad \nu = 0.5$

$$\epsilon_i = \epsilon_{c_i} - \Phi_i e$$

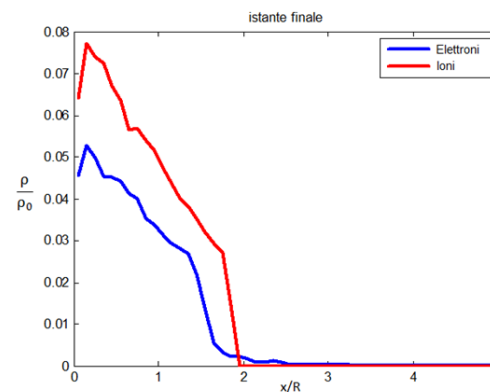
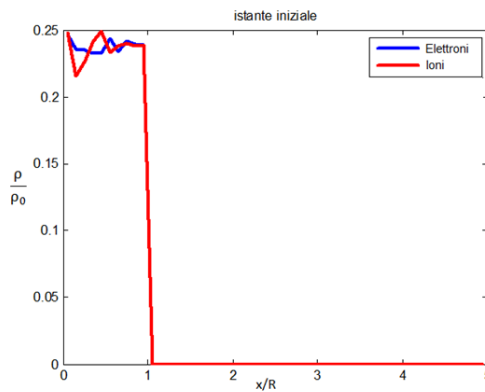
Velocità 0.1



Velocità 0.2665



Velocità 0.5

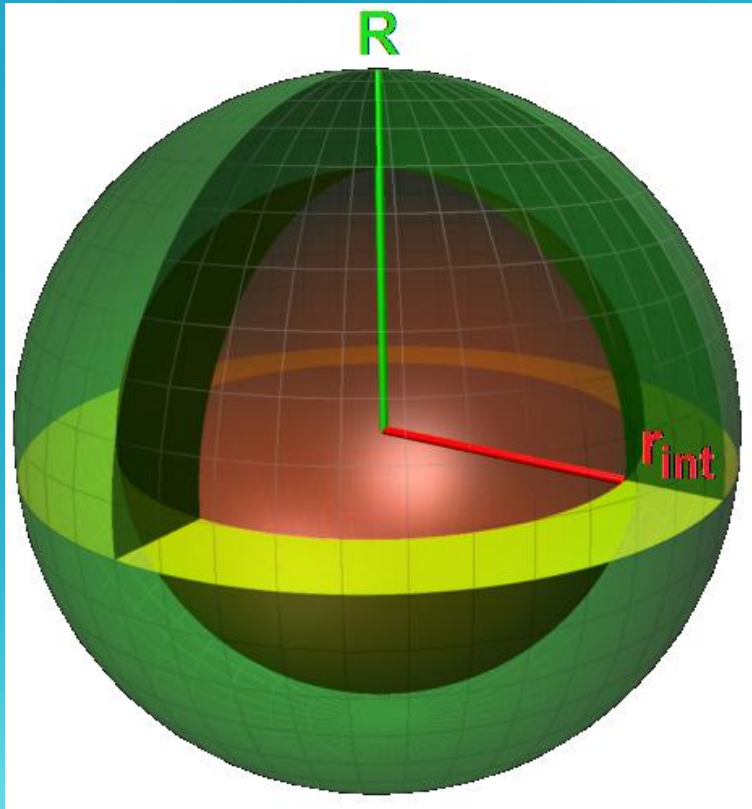


**Densità di ioni
ed elettroni in
funzione del
raggio**

$$N = 10^5$$

$$m_i = 100$$

Miscela di ioni



Modello geometrico utilizzato

$$m a = Z E$$

Effetto del campo
elettrico su ioni
aventi masse diverse

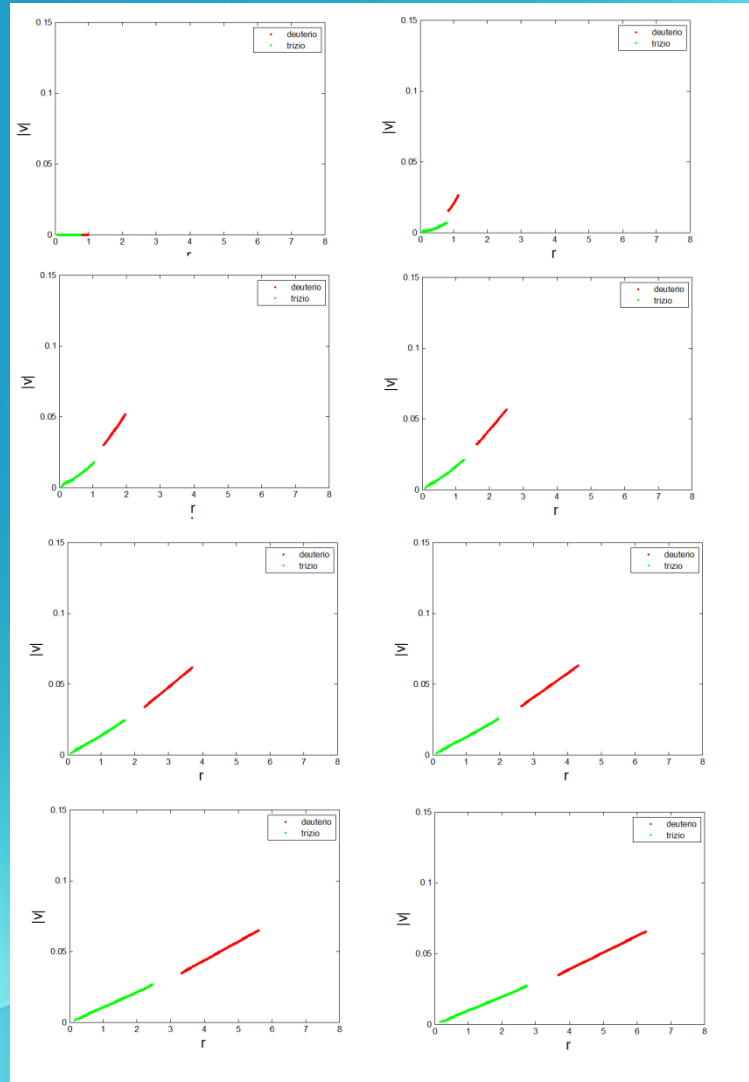


Distribuzione spaziale a
gusci sferici



Composizione
della miscela:
Deuterio e Trizio

Strato interno di trizio

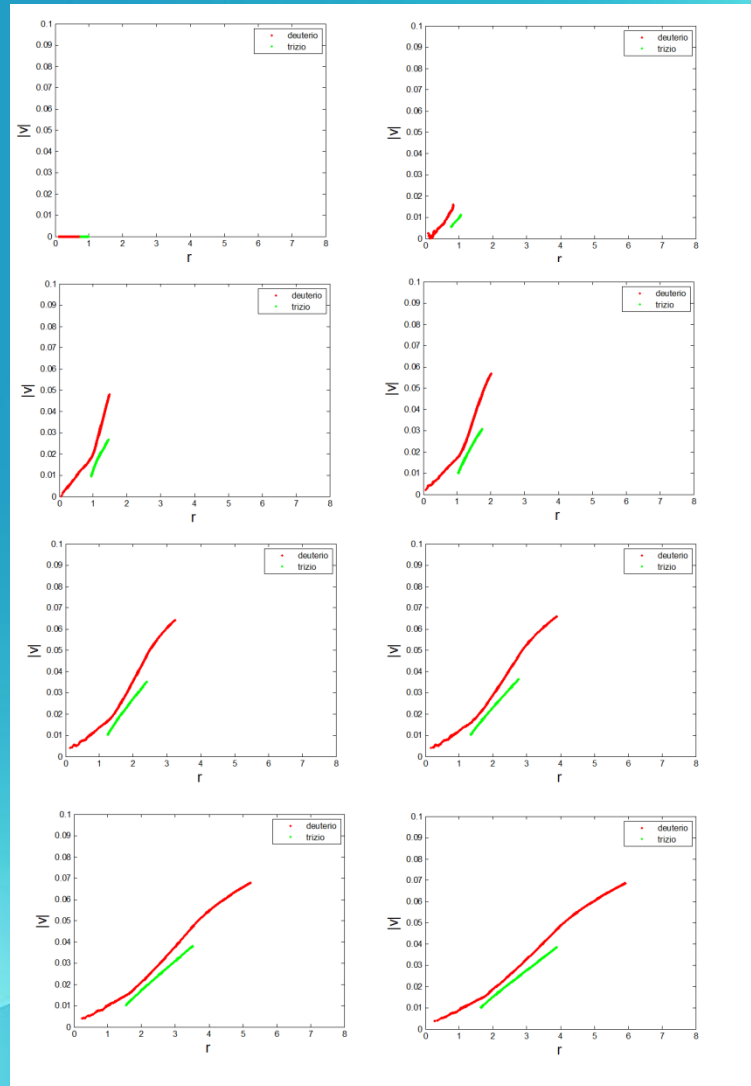


$$N = 10^4$$

$$\nu = 1$$

$$m_1/m_2 = 2/5$$

Strato interno di deuterio



$$N = 10^4$$

$$v = 1$$

$$m_1/m_2 = 2/5$$

Grazie per la Vostra attenzione