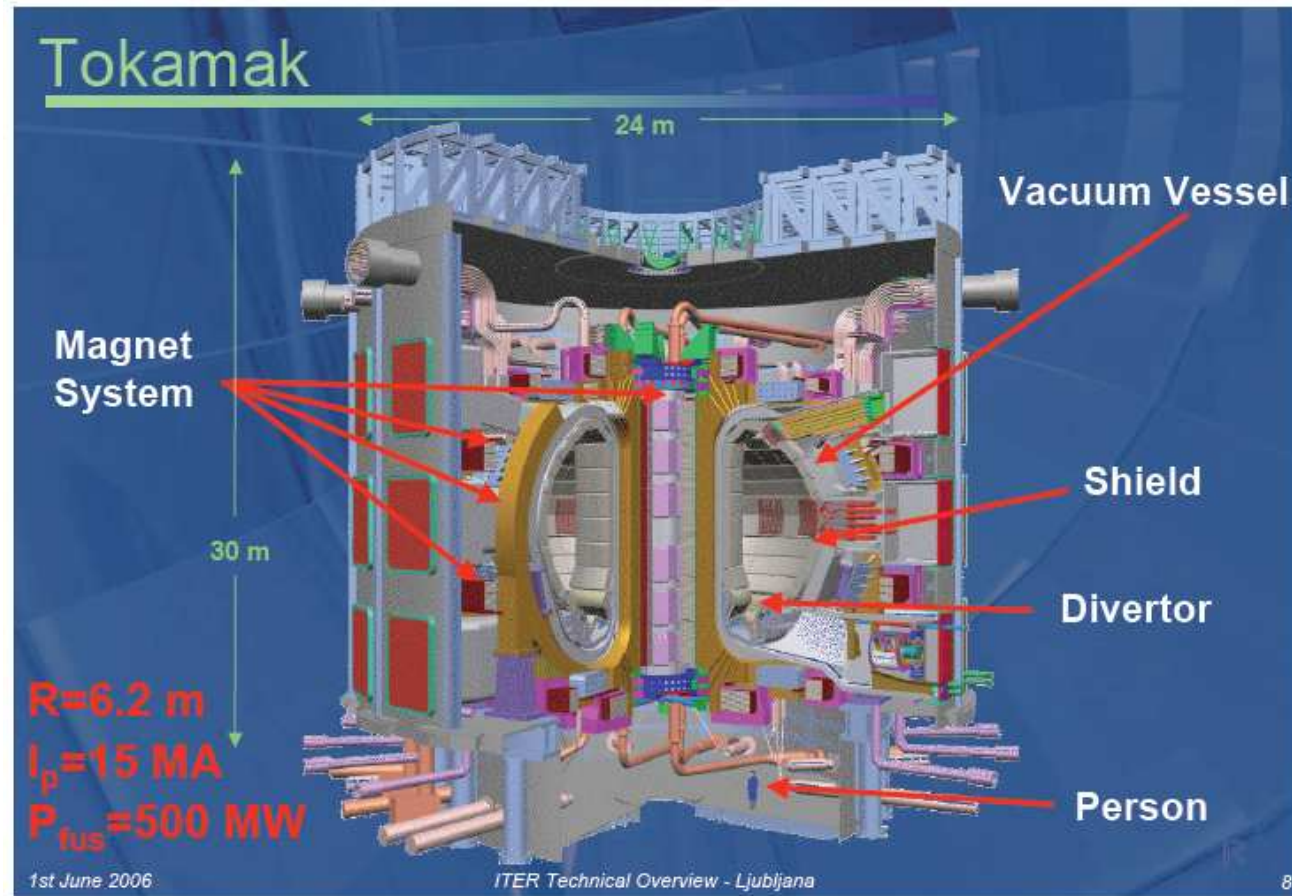


Il riscaldamento del plasma di ITER alla frequenza ciclotronica ionica

G. Bosia
Universita' di Torino

G.Bosia. Contributo al riscaldamento di plasmi termonucleari

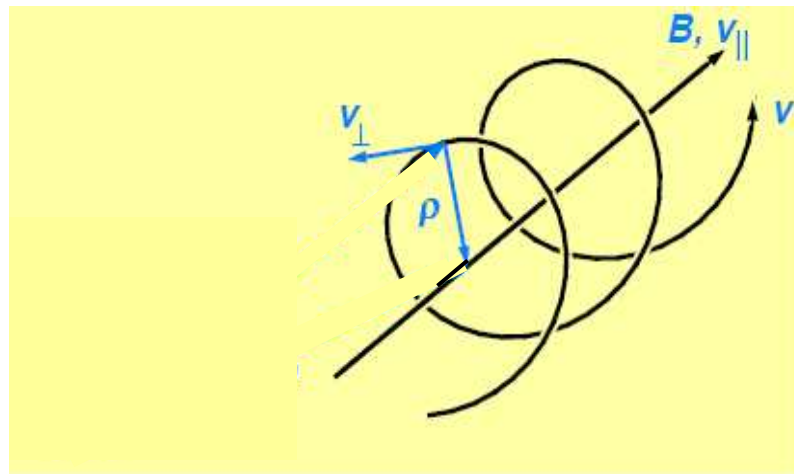
ITER tokamak



G.Bosia. Contributo al riscaldamento di plasmi termonucleari

Riscaldamento di un plasma alla frequenza Ω_{ci}

Il riscaldamento di un plasma a temperature termonucleare in un sistema di confinamento magnetico può essere fatto in un modo risonante iniettando onde elettromagnetiche di frequenza pari alla frequenza di girazione di una specie ionica attorno alle linee di campo magnetico del plasma $\Omega_{ci} = qB/m$ o di una sua armonica . Le frequenze utilizzate in ITER sono essenzialmente due : $\Omega_{cD} = qB/m_D = 43$ MHz e $2\Omega_{cT} = 2qB/m_T = 53$ MHz

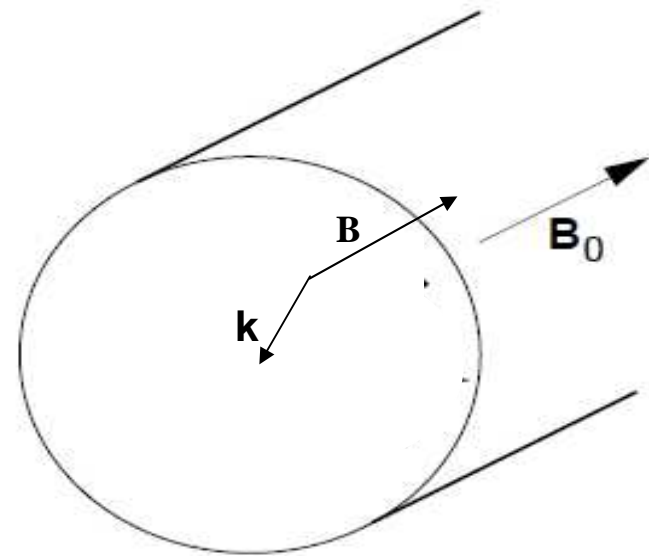
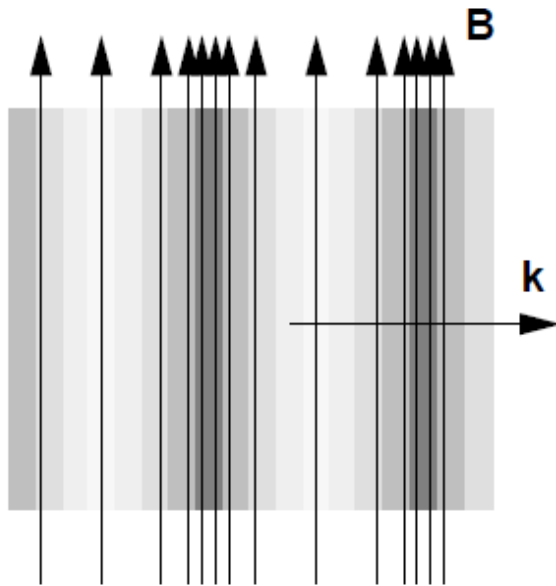


Il riscaldamento mediante onde elettromagnetiche Ω_{ci} è importante perché è l'unico metodo che riscalda selettivamente gli ioni.

Onde EM inviate dall' esterno alla frequenza ciclotronica ionica sono *evanescenti* nel vuoto a causa delle condizioni al contorno imposte dalle dimensioni delle strutture di lancio e quindi non si propagano. Le strutture di lancio sono pertanto progettate per accoppiarsi ad un' onda di plasma Alfvén (onda magnetosonica) che si propaga perpendicolarmente alle linee del campo magnetico provocando una perturbazione del campo magnetico che si propaga alla velocità di Alfvén.

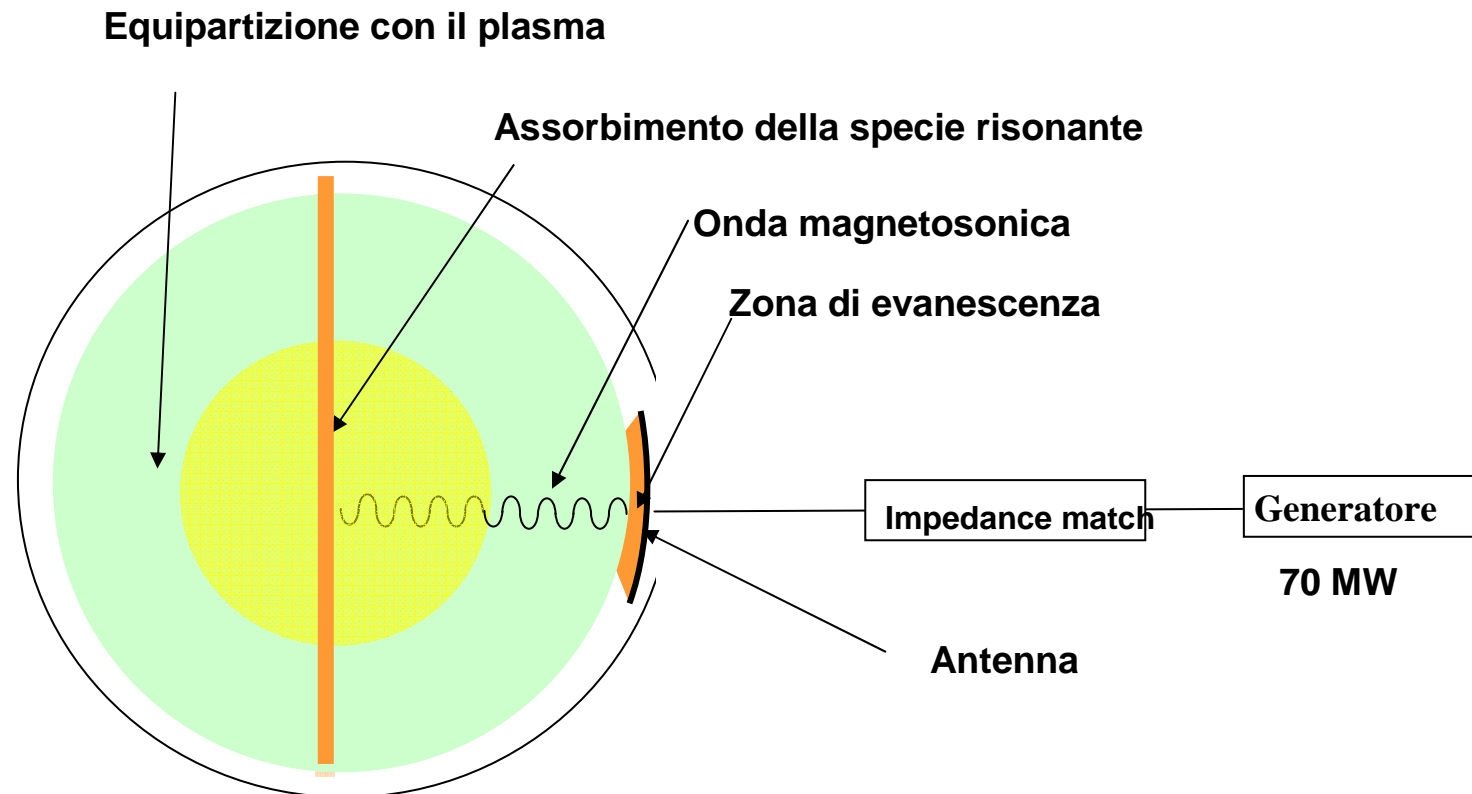
$$v_{\phi} = \frac{\omega}{k} = \sqrt{\frac{(c_s^2 + V_A^2)}{1 + \frac{V_A^2}{c_s^2}}}$$

$$V_A = \left(\frac{B^2}{4\pi\rho} \right)^{1/2}$$



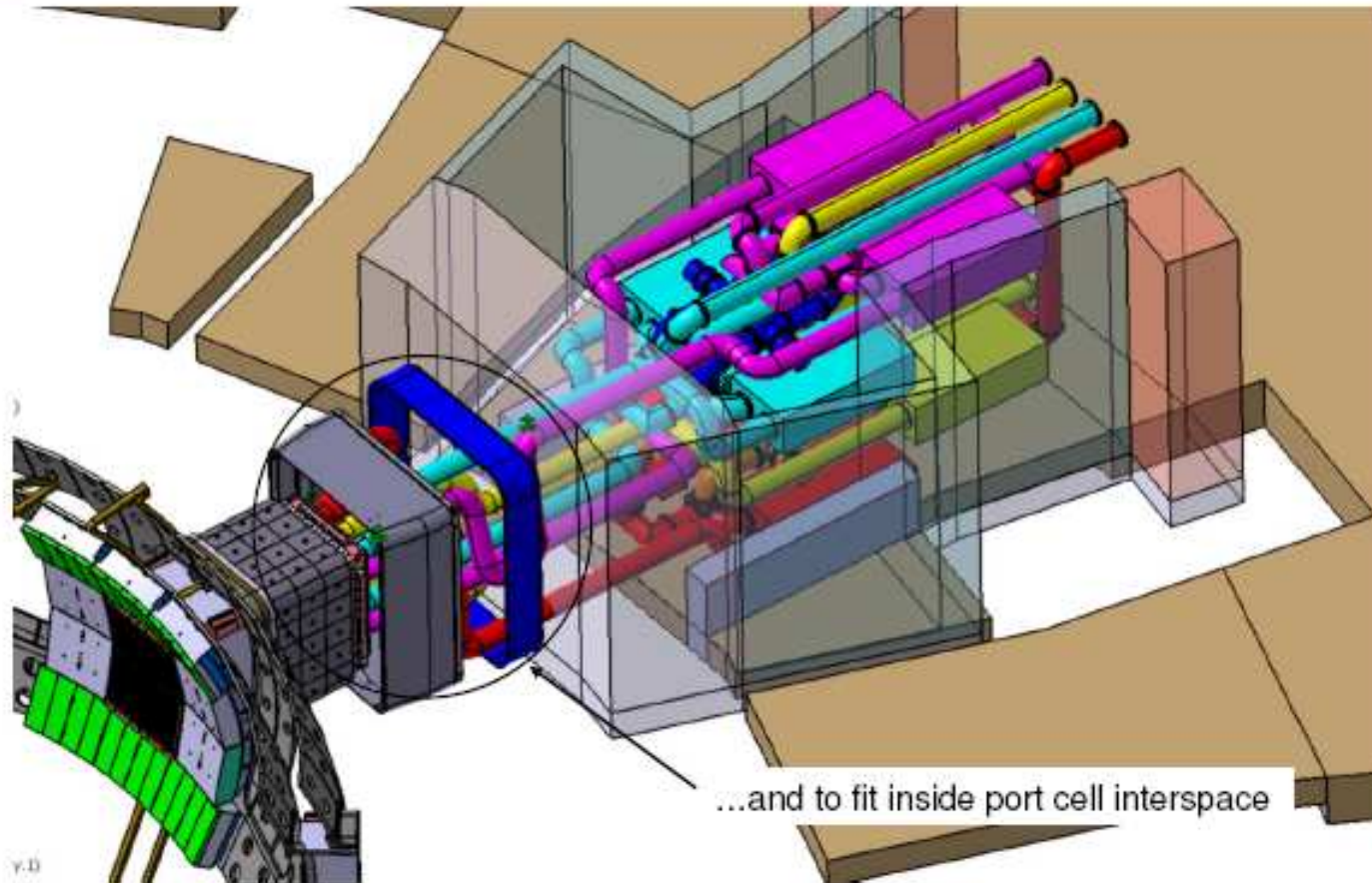
Schema di riscaldamento Ω_{ci}

L' ampiezza dell' onda EM decresce rapidamente nella zona di evanescenza. Pertanto la struttura di lancio deve essere collocata a una breve distanza dal bordo del plasma



G.Bosia. Contributo al riscaldamento di plasmi termonucleari

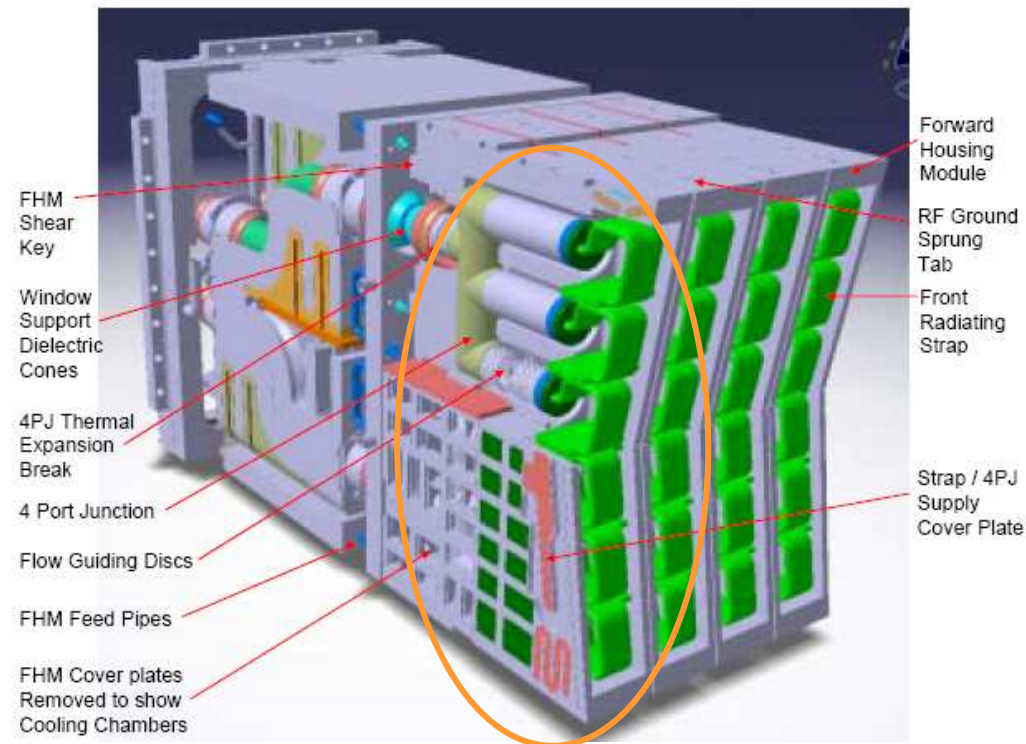
Launching Structure



G.Bosia. Contributo al riscaldamento di plasmi termonucleari

Radiating structure

L' accoppiamento al plasma è di tipo induttivo e pertanto è necessario massimizzare le correnti negli elementi di accoppiamento. Inoltre é necessario minimizzare le tensioni nella parte anteriore della struttura che usa come dielettrico il “vuoto” dell' interno macchina che ha una rigidità dielettrica modesta

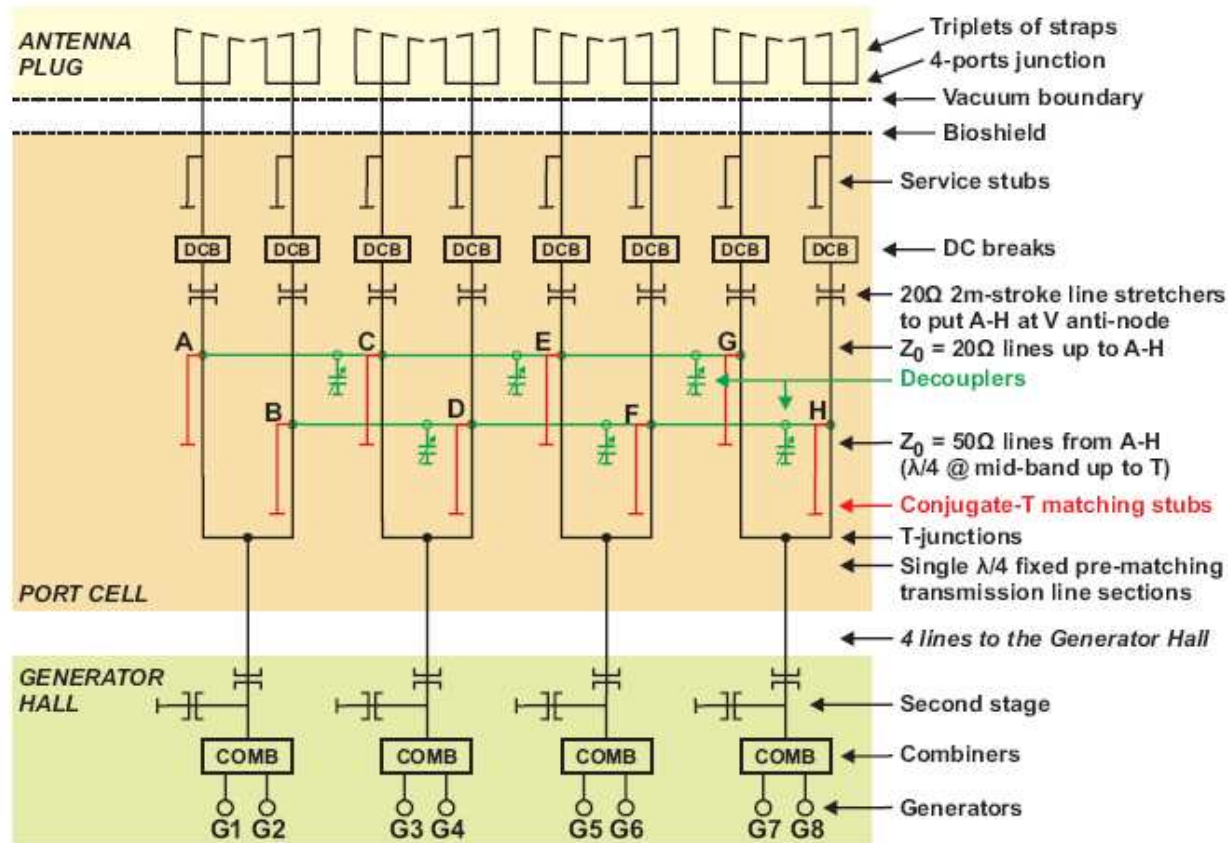


Perdite di isolamento sono frequenti. E' essenziale una rivelazione rapida di eventuali archi elettrici e la loro soppressione entro pochi μ s onde evitare una deposizione eccessiva di energia nei componenti metallici che sono raffreddati ad acqua ad alta pressione (30 Bar)

G.Bosia. Contributo al riscaldamento di plasmi termonucleari

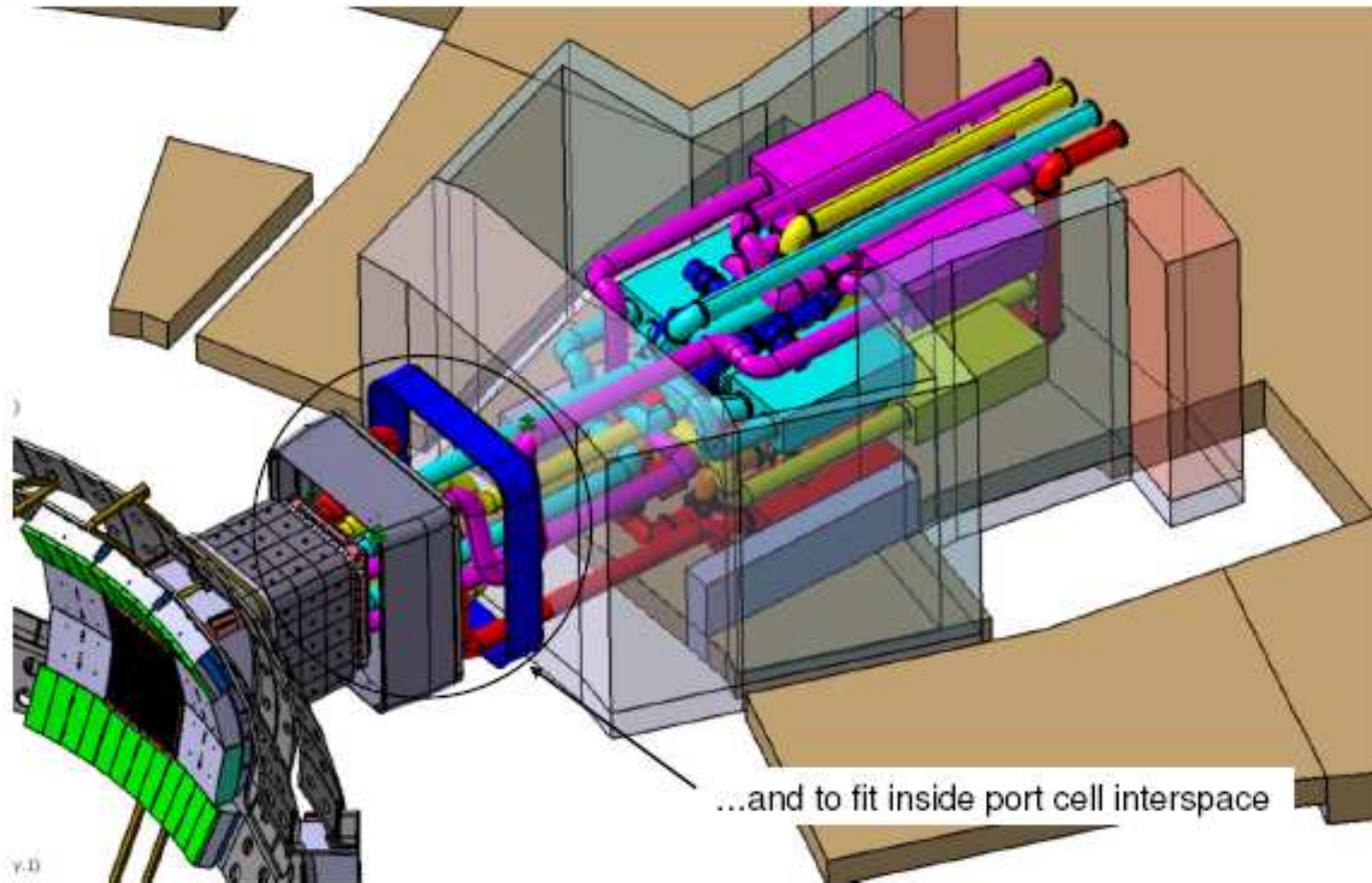
Power division scheme

La richiesta di alte correnti impone un adattamento di impedenza perfetto tra generatore e carico. Le strutture di lancio hanno un' impedenza essenzialmente reattiva che varia con i parametri del plasma e sono necessarie reti di adattamento di impedenza variabili in tempo reale controllate automaticamente.



G.Bosia. Contributo al riscaldamento di plasmi termonucleari

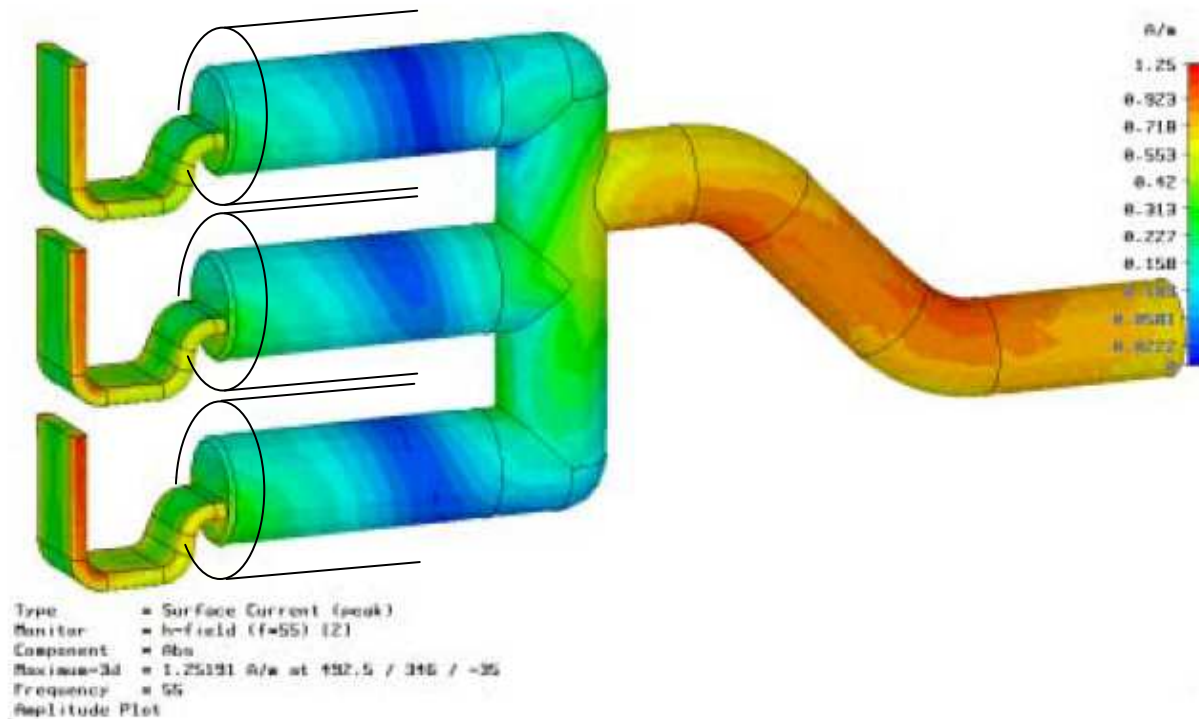
Launching Structure



G.Bosia. Contributo al riscaldamento di plasmi termonucleari

In - parallel division

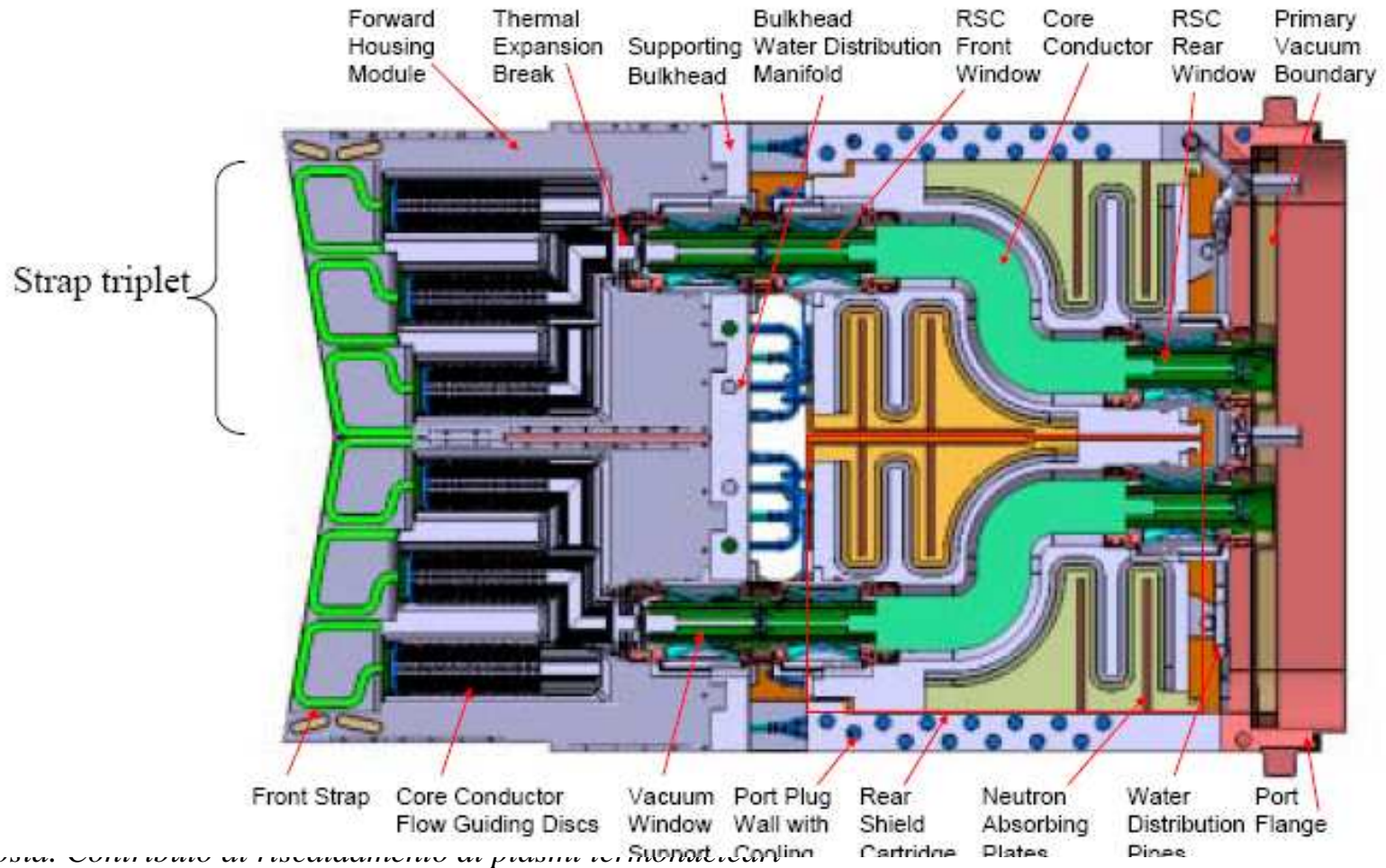
La richiesta di bassa impedenza nelle strutture di accoppiamento di potenza suggerisce una suddivisione di potenza con elementi in parallelo, collegati a massa ad un capo. Lo schema adottato e' una suddivisione in "tripletti" che permette una divisione bilanciata di corrente in un range di frequenza relativamente limitato



G.Bosia. Contributo al riscaldamento di plasmi termonucleari

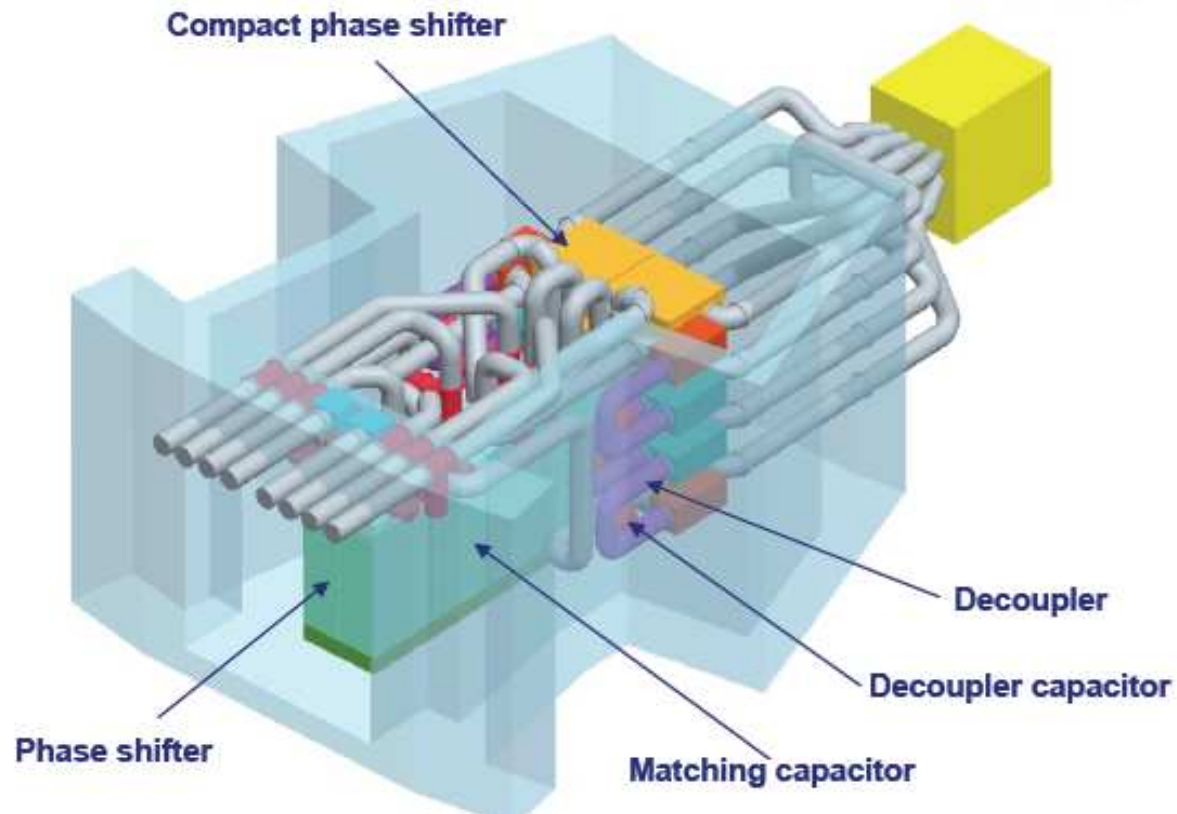
Layout of the launcher

Il sistema di divisione di potenza, la necessità di raffreddamento ad acqua pressurizzata, e il fatto che la struttura di lancio deve fornire uno schermo efficiente a alti flussi di neutroni richiede una costruzione della struttura di lancio piuttosto complessa.



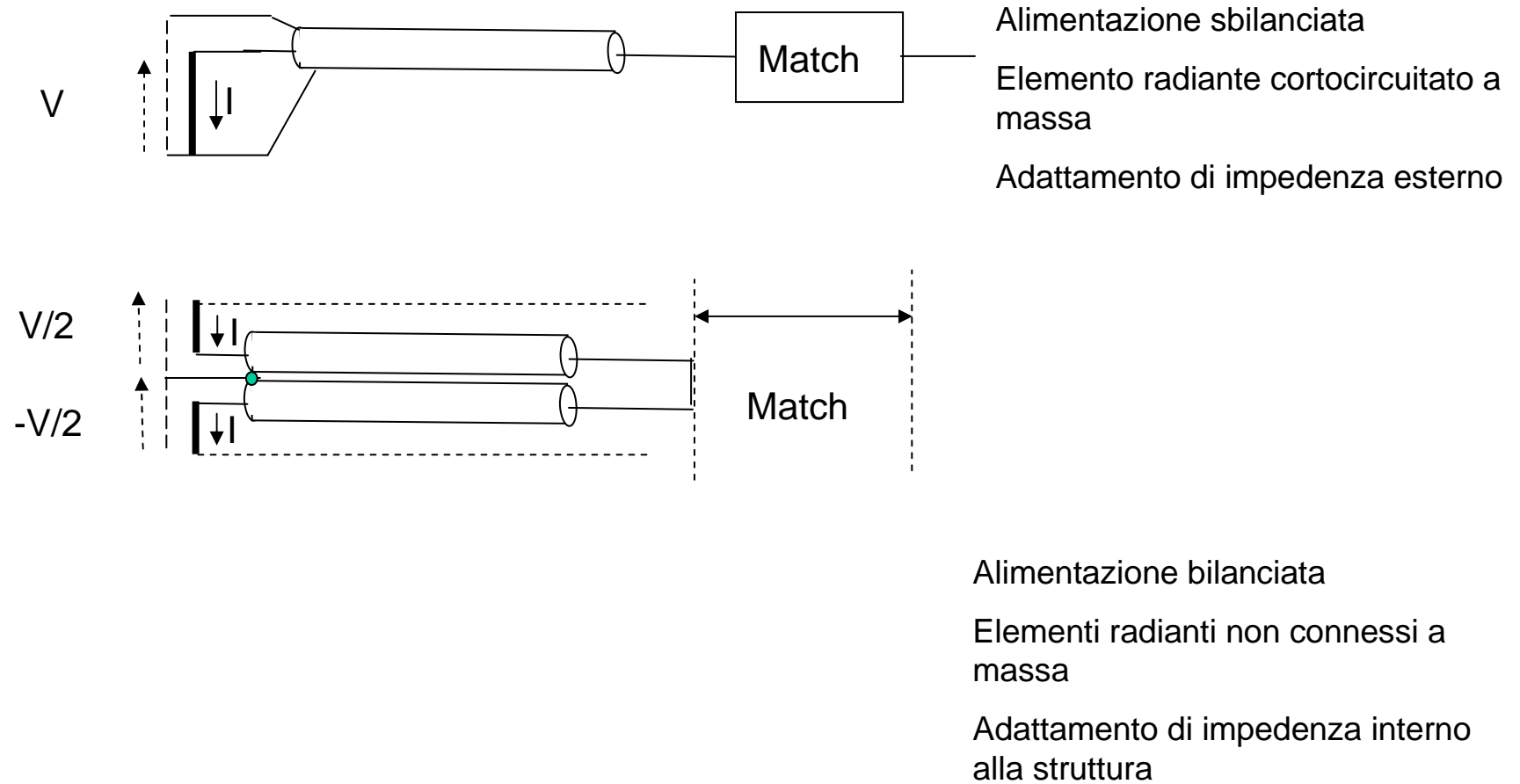
Sistema di adattamento di impedenza

Il sistema di adattamento di impedenza è piuttosto complesso a causa della molteplicità degli elementi radianti del loro accoppiamento induttivo e delle necessità di messa in fase del sistema

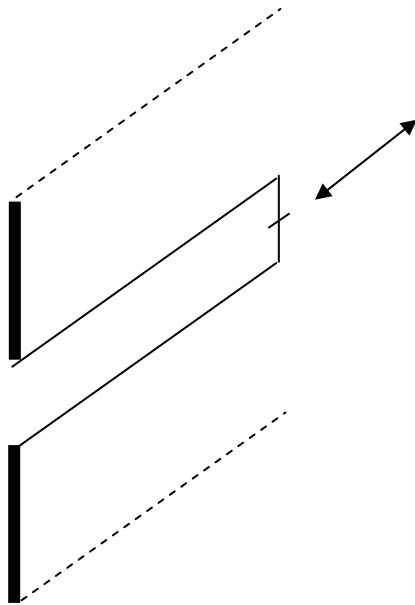


G.Bosia. Contributo al riscaldamento di plasmi termonucleari

Alimentazione e impedance matching



Voltages and currents in a segment

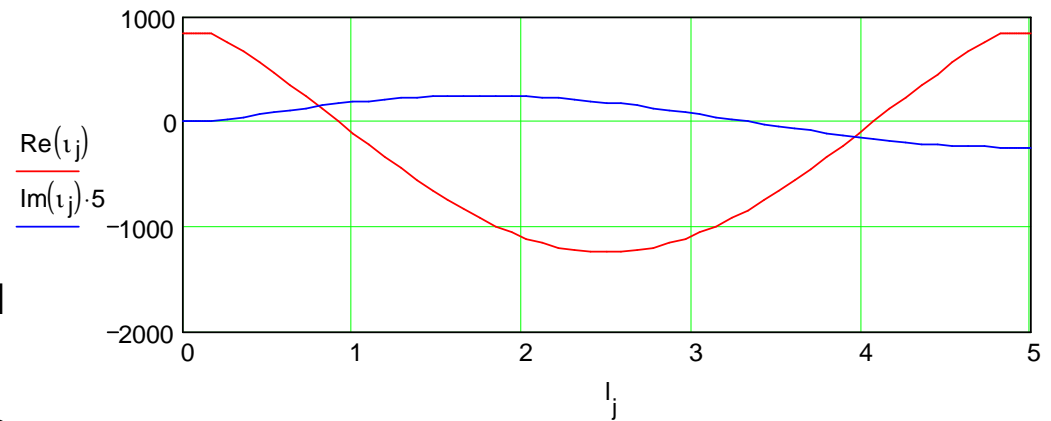
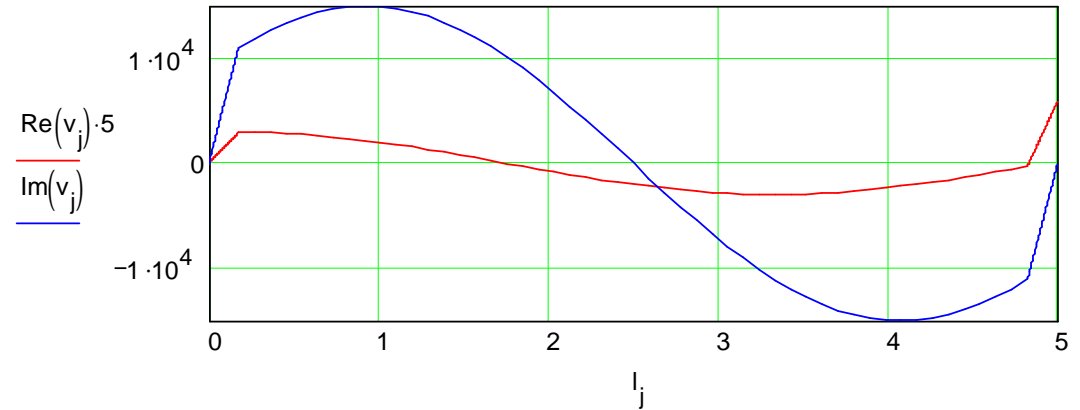


Alla risonanza e antirisonanza:

Tensione puramente resistiva a entrambi i capi del segmento

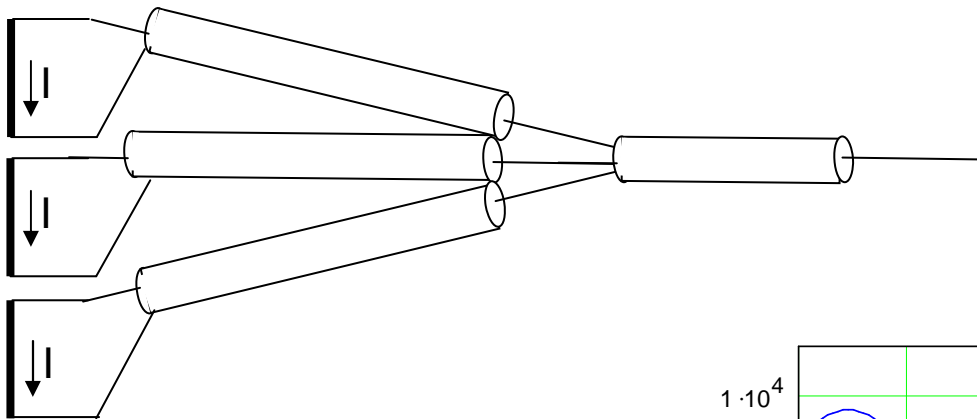
Tensione reattiva nulla a metà del trombone

Corrente reattiva massima a metà del trombone



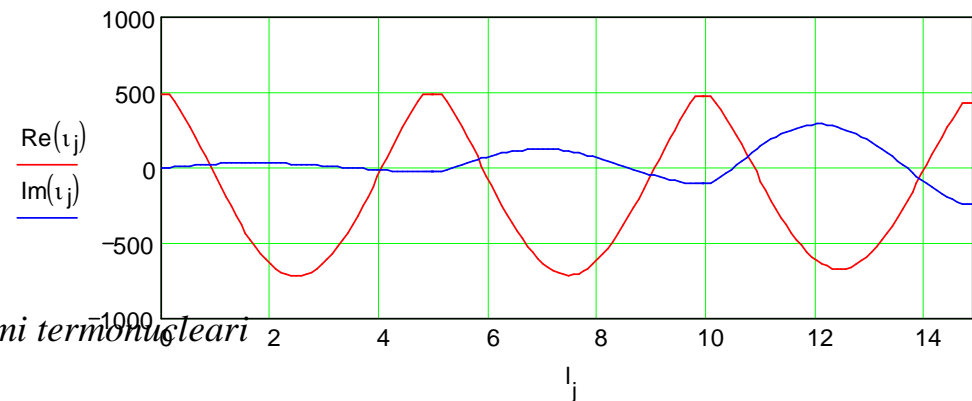
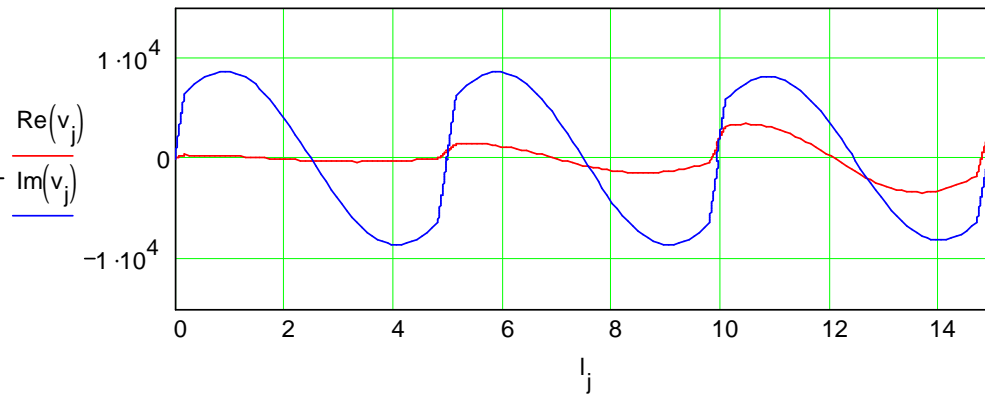
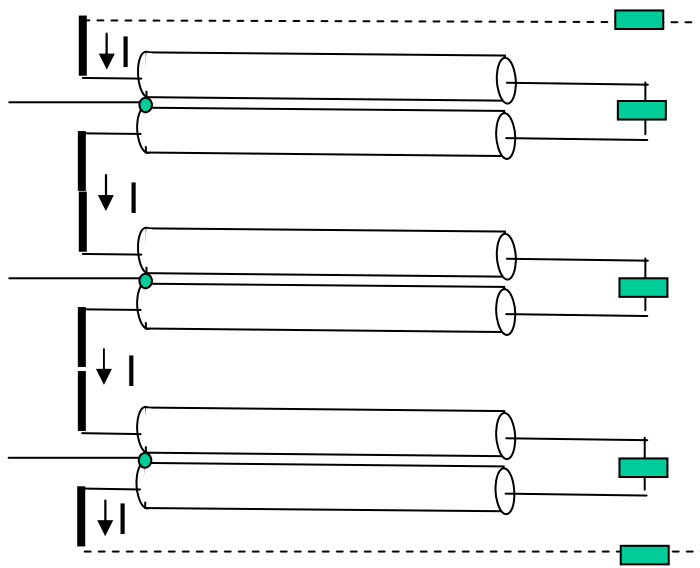
G.Bosia. Contributo al riscaldamento di plasmi termonucleari

Divisione di potenza



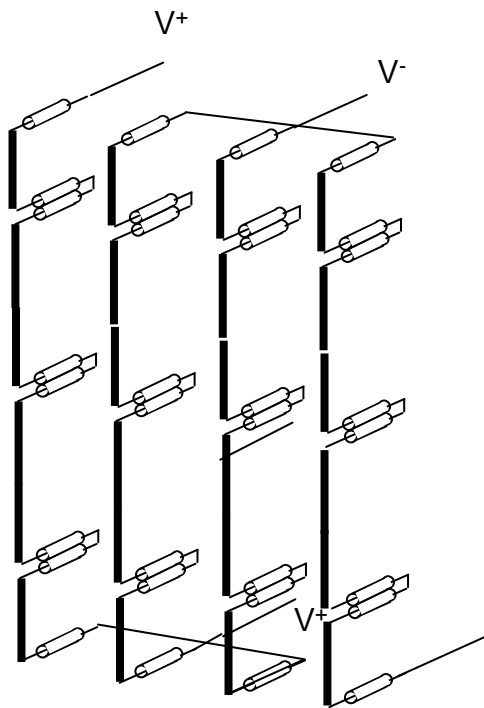
Divisione di potenza
geometricamente piu' facile
in uno spazio limitatato

Posizione dei sensori di
controllo protetta da flussi
neutronici



G.Bosia. Contributo al riscaldamento di plasmi termonucleari

Applicabilità a ITER



Array di due soli elementi operabili a fase variabile

Quattro alimentazioni controllate in fase

Ciascun elemento radiante monitorato a quattro parametri, (il che permette il calcolo del carico complesso in tempo reale)

Rivelazione immediata e localizzazione di archi

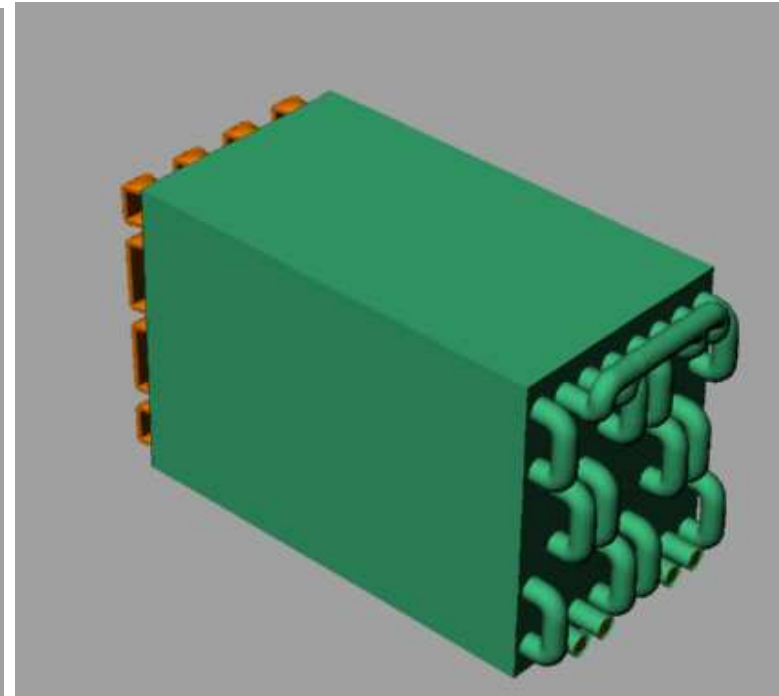
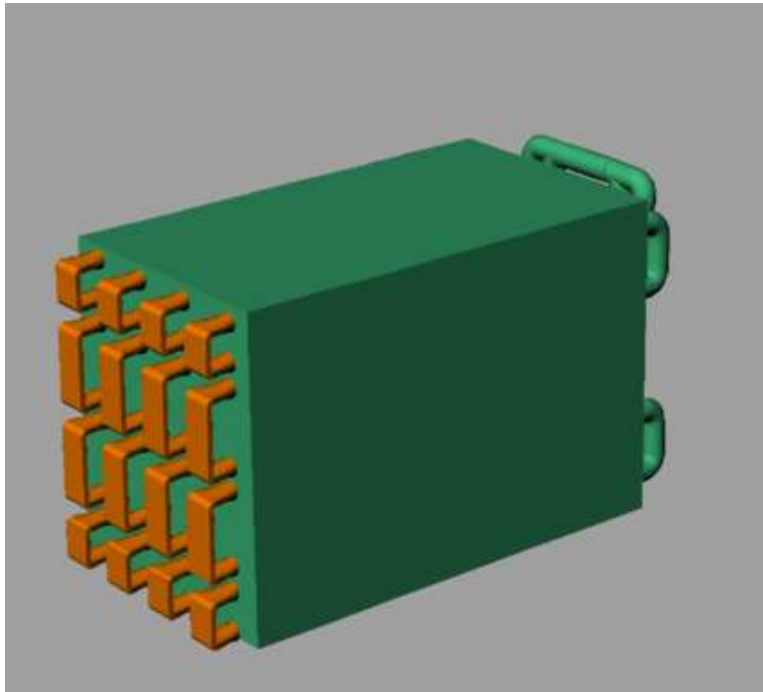
Possibilità procedure di estinzione di arco in tempo reale.

Campi elettrici massimi inferiori alla soluzione parallela

Facilità di raffreddamento a liquido pressurizzato

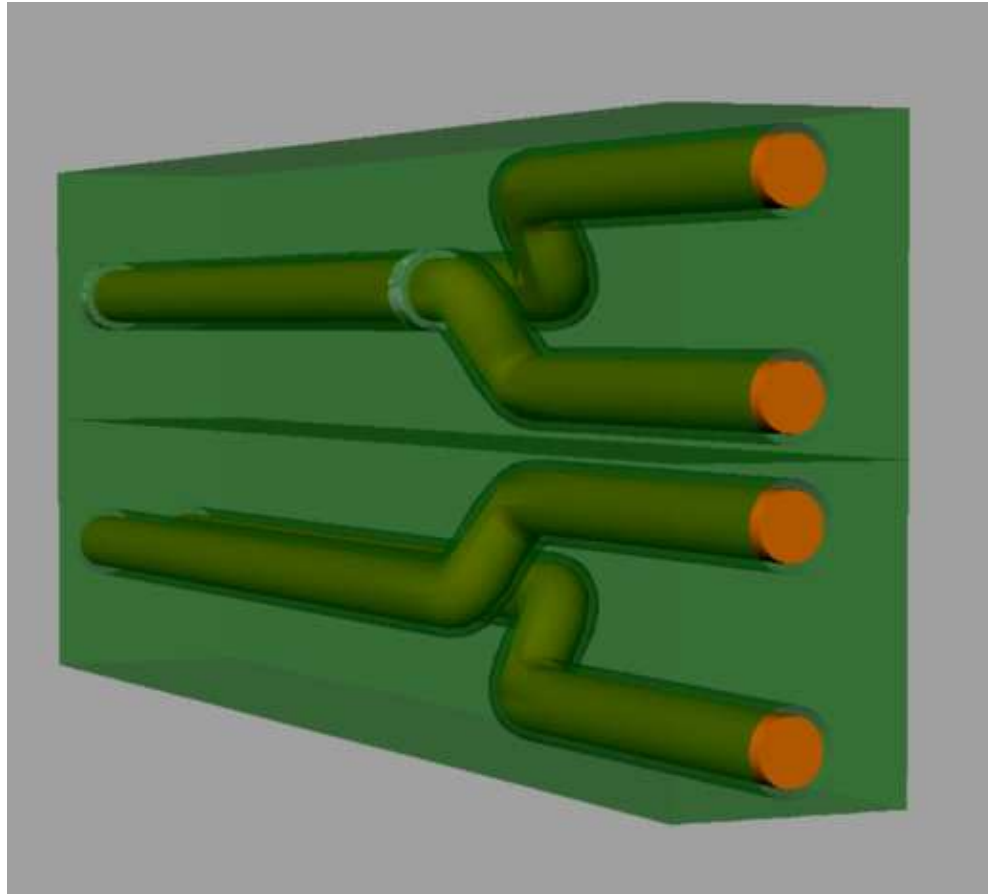
Sistema di accordo di impedenza integrato nella struttura

Possibile lay - out della struttura



G.Bosia. Contributo al riscaldamento di plasmi termonucleari

Chicanes anti neutron streaming



G.Bosia. Contributo al riscaldamento di plasmi termonucleari