



**CONSORZIO RFX**

**Ricerca Formazione Innovazione**

Corso Stati Uniti, 4 - 35127 Padova (Italy)  
Tel. +39.049.8295000 - Fax +39.049.8700718

**RFX Ref.:** RFX-IE-TN-073


**Document type:** Technical Note

**N. pages:** 22

**Distribution:** RFXmod2\_group (RFXmod2project Team), IE group, SE group, AI Group, FS group

**Descrizione elettromagnetica dell'esperimento  
RFX-mod2 ai fini del controllo dell'equilibrio in  
configurazione Tokamak**

0	1st issue	D. Abate	G. Marchiori	M. Brombin	29/11/2023
<b>Ver.</b>	<b>Description</b>	<b>Author(s)</b>	<b>Checked by</b>	<b>Approved by</b>	<b>Date</b>
<b>Reference author:</b> Domenico Abate ( <a href="mailto:domenico.abate@igi.cnr.it">domenico.abate@igi.cnr.it</a> )					

 <b>CONSORZIO RFX</b> <small>Ricerca Formazione Innovazione</small>	Descrizione elettromagnetica dell'esperimento RFX-mod2 ai fini del controllo dell'equilibrio in configurazione Tokamak	<b>RFX-IE-TN-073</b> v.0 – <b>Error! Reference source not found.</b> pag. 2/22
---	--	--


## Sommario

In questa nota si descrive l'esperimento RFX-mod2 in termini elettromagnetici al fine di produrre un modello elettromagnetico della macchina, dei modelli linearizzati di risposta di plasma ed un sistema di controllo di posizione e forma. Le informazioni contenute in questo documento sono finalizzate alla collaborazione con l'Università di Napoli Federico II nell'ambito del progetto PNRR "NEFERTARI".

-----

## Indice

<b>1</b>	<b>Introduzione: modifiche da RFX-mod a RFX-mod2</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Descrizione del sistema di bobine poloidali (conduttori attivi)</b>	<b>4</b>
2.1	Configurazione simmetrica	5
2.2	Configurazione Asimmetrica	6
2.2.1	Configurazione asimmetrica alternativa	7
<b>3</b>	<b>Bobine a sella (saddle coils)</b>	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>Conduttori passivi</b>	<b>9</b>
4.1	VTSS	9
4.2	PSS	9
4.3	Gabbia	10
4.4	Riassunto	12
<b>5</b>	<b>Sensori magnetici</b>	<b>12</b>
5.1	Pick-up coils	12
5.2	Sensori di flusso	14
5.3	V-loop toroidali	14
5.4	Differenze di flusso poloidale	15
<b>6</b>	<b>Appendice: equilibri tokamak RFX-mod2</b>	<b>16</b>
6.1	Equilibri in configurazione simmetrica	16
6.1.1	Circolare (#38722)	16
6.1.2	DEMO-like DELTA	17
6.1.3	DEMO-like DELTA KAPPA	17
6.1.4	DEMO-like Double Null (DN)	18
6.2	Equilibri in configurazione asimmetrica	18
6.2.1	DEMO-like Upper Single Null (USN)	18
6.2.2	DEMO-like Lower Single Null (LSN)	19

 <b>CONSORZIO RFX</b> <i>Ricerca Formazione Innovazione</i>	Descrizione elettromagnetica dell'esperimento RFX-mod2 ai fini del controllo dell'equilibrio in configurazione Tokamak	<b>RFX-IE-TN-073</b> v.0 – <b>Error! Reference source not found.</b> pag. 3/22
---	--	--

6.2.3	Positive/Negative triangularity L-mode (PTL/NTL) #39122 .....	20
6.2.4	Positive/Negative Triangularity H-mode (PTH/NTH) #39122.....	20
6.2.5	Radial Outer Null (RON) .....	21
6.3	Equilibri in configurazione asimmetrica alternativa .....	21
6.3.1	Snow flake minus (SF-) .....	21
<b>Riferimenti.....</b>		<b>22</b>

## 1 Introduzione: modifiche da RFX-mod a RFX-mod2

La modifica principale consiste nella rimozione del vacuum vessel per avvicinare il plasma alla scocca stabilizzatrice passiva (PSS). Le altre modifiche sono descritte in sezioni dedicate e riguardano: la struttura toroidale di supporto VTSS (vacuum toroidal support structure), la scocca stabilizzatrice passiva (PSS), la sensoristica magnetica e l'aggiunta di una nuova struttura conduttrice detta "gabbia". Le bobine (conduttori attivi) non hanno subito modifiche rispetto a RFX-mod.

Dettagli possono essere trovati qui [1][2][5].

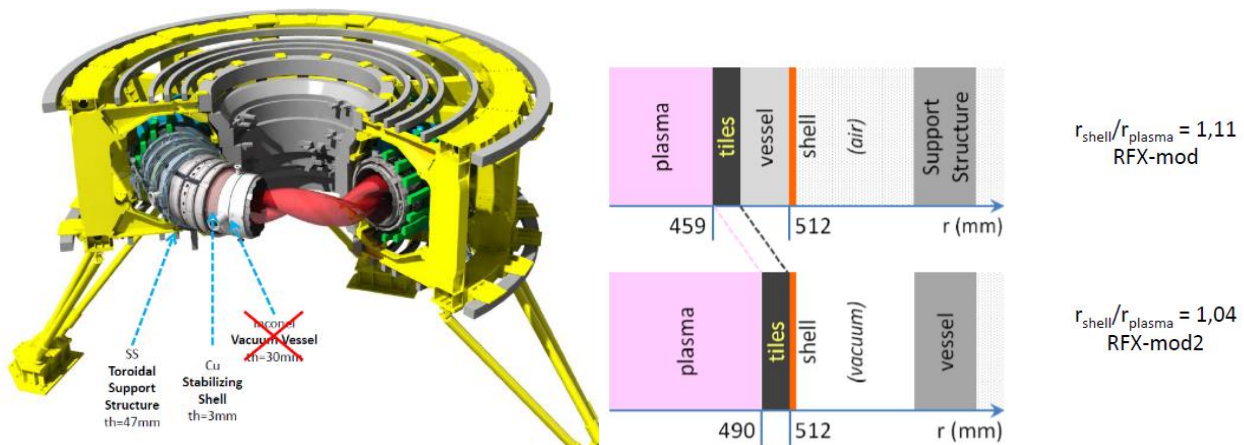


Figura 1 Modifiche di RFX-mod [1]

## 2 Descrizione del sistema di bobine poloidali (conduttori attivi)

Il sistema di bobine poloidali (cioè che producono campo poloidale) è inalterato rispetto a RFX-mod [6]. Esso è costituito dall'avvolgimento magnetizzante (magnetizing winding, MW) – che innesca il plasma per variazione di flusso magnetico - e dall'avvolgimento dedicato al controllo dell'equilibrio (field shaping winding, FSW). Questi due avvolgimenti sono costituiti da diversi circuiti che collegano le bobine (Figura 2) e che saranno descritti in seguito.

RFX-mod2 opererà (come faceva RFX-mod) con due configurazioni circuitali:

- *configurazione simmetrica* (Sezione 5)
- *configurazione asimmetrica* (Sezione 6)

Le due configurazioni si ottengono con due diverse connessioni circuitali del FSW che saranno descritte in Sezione 6.1 (configurazione simmetrica) e in Sezione 6.2 (configurazione asimmetrica).

Le connessioni circuitali del MW - inalterate tra configurazione simmetrica e asimmetrica- consistono in 4 circuiti (MW1, MW2, MW3, MW4) rappresentati in Figura 2.

Le diverse configurazioni di macchina permettono il raggiungimento di diverse configurazioni di equilibrio del plasma riportati riportate in Appendice.

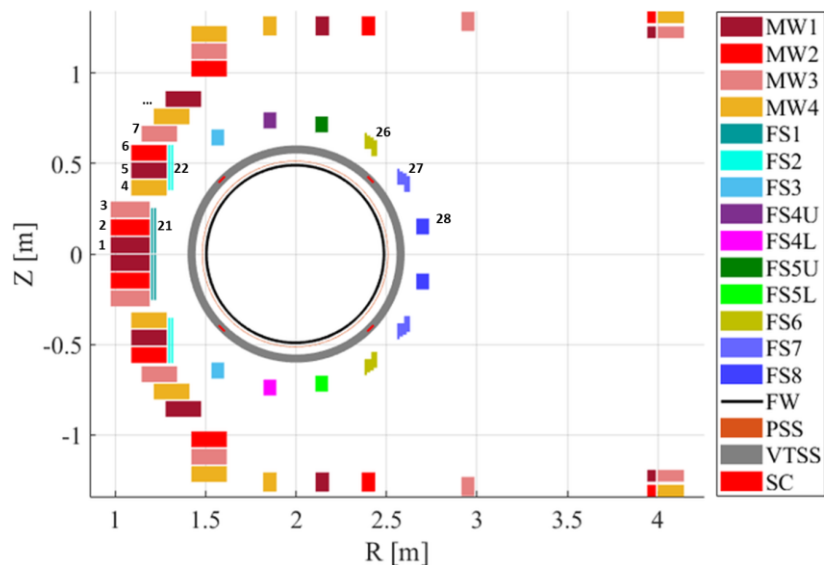


Figura 2 Sistema di bobine di RFX-mod2; circuiti (colori diversi) e bobine (numeri in nero).

In generale, la configurazione di macchina è definita dalla matrice di connessione del sistema. Questa è una matrice  $N \times M$  ( $N$ : numero di circuiti,  $M$ : numero di bobine) di  $1, -1, 0$  che collega le singole bobine del MW e FSW per definire la configurazione di macchina. La struttura della matrice di connessione è del tipo in tabella con in generale  $M > N$ :

	bobina 1	bobina 2	...	...	...	bobina M
circuito 1						
circuito 2						
circuito 3						
...						
circuito N						

Il numero di spire per ogni bobina in Figura 2 è pari a:

	MW (Z>0)																FSW (Z>0)										
bobina	1	2	3	4	5	6	7	...															...	27	28		
N spire	8	8	8	6	6	6	6	6	6	6	6	6	4	4	4	2	1	3	1	3	24	24	24	24	24	24	24

## 2.1 Configurazione simmetrica

È costituita da 12 circuiti totali così ripartiti:

- 4 circuiti MW
- 8 circuiti FSW

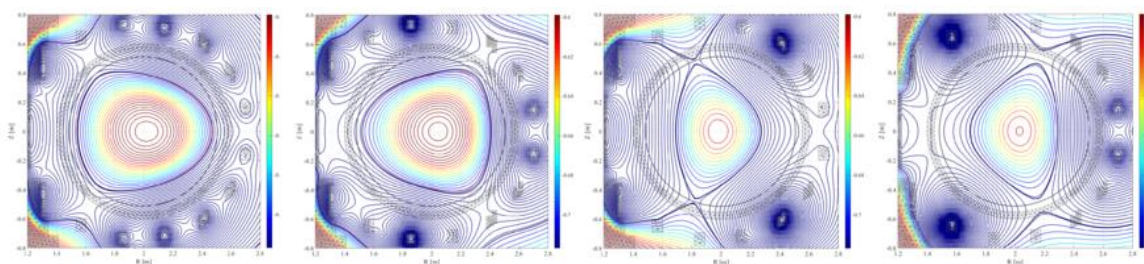
Le 8 coppie di bobine FSW sono collegate in serie alto-basso rispetto all'asse di simmetria  $Z=0$ . In questa configurazione, le correnti dei MW sono uguali e non alterano la configurazione magnetica di

equilibrio nella regione di plasma rispettando la configurazione ad ottagono del funzionamento RFP. In questa configurazione tutte le correnti circolanti nelle bobine FSW e MW hanno la stessa direzione (nel caso RFP: MW correnti positive decrescenti, equiverse al plasma, FSW correnti negative, opposte al plasma; nel caso Tokamak MW e FSW correnti negative opposte al plasma)

La matrice di connessione è:

[illegible]

In questa configurazione è possibile ottenere plasmi simmetrici rispetto all'asse  $Z=0$ , circolari o sagomati anche di tipo doppio nullo (DN) [7].



**Figura 3 Esempi di equilibri (limiter e DN) in configurazione simmetrica.**

## 2.2 Configurazione Asimmetrica

È costituita da 14 circuiti totali così ripartiti:

- 4 circuiti MW
- 10 circuiti FSW (in quanto le bobine FS4 e FS5 sono separate in alto e basso)

In questa configurazione la simmetria alto-basso ( $Z=0$ ) delle FSW viene rotta mediante la disconnessione della coppia di bobine FS4 e FS5 in alto oppure in basso (FS4U/FS5U oppure FS4L/FS5L). Questo consente di ottenere configurazioni con un solo punto di nullo (X-point). In RFX-mod si disconnetteva la coppia di bobine opposta alla posizione dell'X-point, e.g. per la configurazione upper single null (USN) si disconnette la coppia FS4L/FS5L. In generale questa non

Questa variante della configurazione asimmetrica si otterrebbe consentendo anche al MW di invertire il verso delle proprie correnti.



In particolare, permettendo l'inversione di corrente ad almeno 2 circuiti del MW (e a tre del FSW) si potrebbero ottenere plasmi in configurazione snowflake- (SF-) sia a triangolarità positiva che negativa [8].

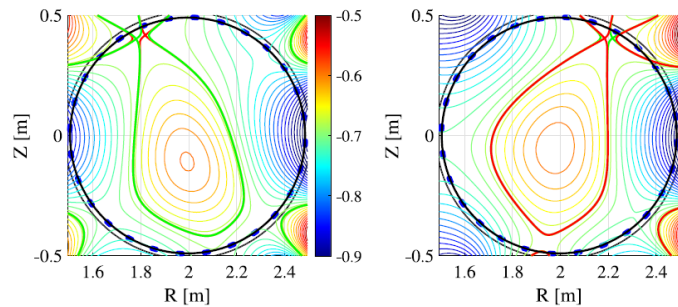


Figura 5 Esempi di equilibri (SF-) in configurazione asimmetrica alternativa.

### 3 Bobine a sella (saddle coils)

Il sistema di bobine a sella è costituito da 192 bobine a sella distribuite in 48 array toroidali x 4 array poloidali (4 array toroidali di 48 bobine o 48 array poloidali di 4 bobine). Tenendo conto dell'assialsimmetria del modello, il sistema di bobine a sella è considerato in termini di due circuiti:

- Circuito esterno-interno (giallo, Figura 6)
- Circuito alto-basso (ciano, Figura 6)

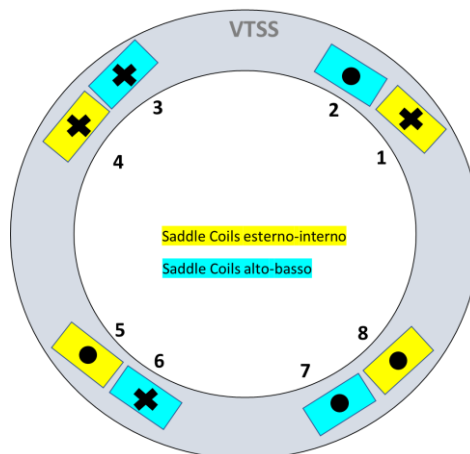


Figura 6 Rappresentazione del sistema di bobine a sella.

Le matrici di connessione dei due circuiti sono:

Esterno-interno	1	0	0	1	-1	0	0	-1
Alto-basso	0	-1	1	0	0	1	-1	0

Il numero di spire per ciascuna bobina in Figura 6 è:

bobina	1	2	3	4	5	6	7	8
N spire	60	60	60	60	60	60	60	60



## 4 Conduttori passivi

I conduttori passivi coinvolti nelle operazioni tokamak sono quelli che si sviluppano toroidalmente e che sono sede di correnti indotte. Questi sono:

- camera da vuoto (vacuum toroidal support structure, VTSS)
- scocca stabilizzatrice (passive stabilizing shell, PSS)
- gabbia

### 4.1 VTSS

La VTSS è la camera da vuoto di RFX-mod2. È caratterizzata da 2 tagli poloidali e 2 tagli equatoriali (toroidali) come rappresentato in Figura 7 [2]. I 2 tagli poloidali dividono la camera da vuoto in 2 semi camere. La presenza di tagli in entrambe le direzioni impedisce la circolazione di corrente netta toroidale o poloidale. Il taglio equatoriale interno però è cortocircuitato in direzione poloidale.

Il materiale della VTSS è AISI 304 L con una resistività elettrica di  $7.2 \cdot 10^{-7} \Omega \text{m}$  [3].

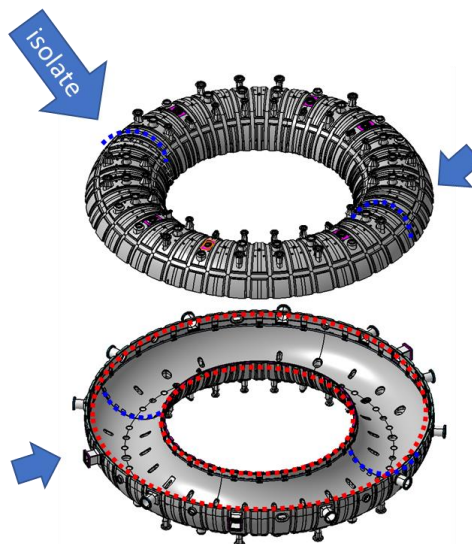


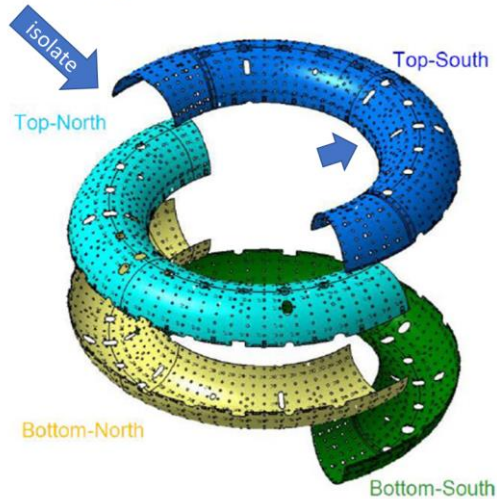
Figura 7 [2] VTSS con tagli poloidali (blu) e toroidali/equatoriali (rosso); le frecce indicano i tagli isolati elettricamente (2 poloidali e 1 toroidale esterno), di conseguenza il taglio toroidale interno presenta continuità elettrica in direzione poloidale.

### 4.2 PSS

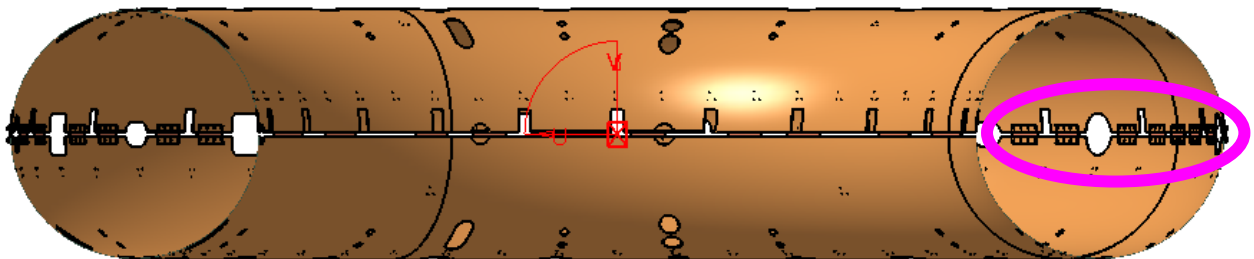
La PSS è caratterizzata da 2 tagli poloidali e 2 tagli equatoriali (toroidali) che definiscono una struttura di quattro semiscocche con doppia sovrapposizione del taglio poloidale (Figura 8a) [5].

Il taglio equatoriale esterno è cortocircuitato in direzione poloidale (Figura 8 basso, viola). La presenza di tagli in entrambe le direzioni impedisce la circolazione di corrente netta toroidale o poloidale.

- has a double overlapped poloidal gap topology



(a)



(b)

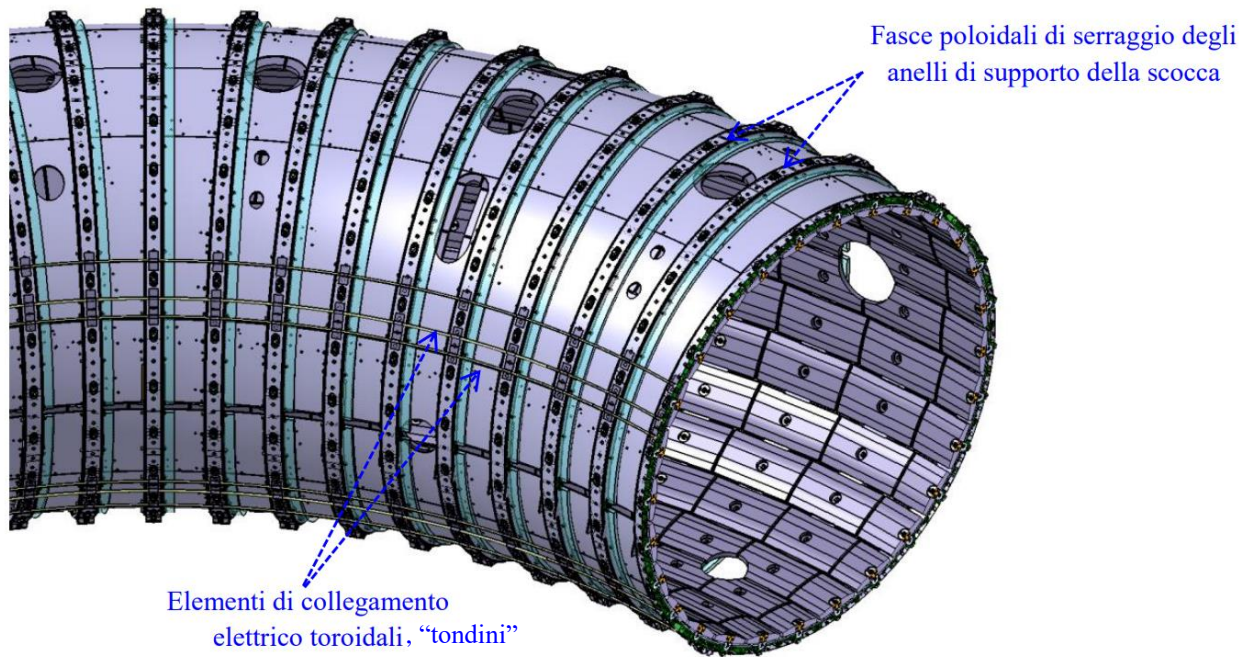
Figura 8 Vista generale della PSS (a) e sezione (b) in cui sono evidenziate le piastre per la continuità elettrica poloidale del taglio toroidale esterno (ellisse viola). Le frecce in blu indicano i tagli isolati elettricamente (2 poloidali e 1 toroidale interno); di conseguenza il taglio toroidale esterno presenta continuità elettrica in direzione poloidale.

Il materiale della PSS è rame di resistività elettrica pari a  $0.018 \cdot 10^{-6} \Omega \text{m}$

### 4.3 Gabbia

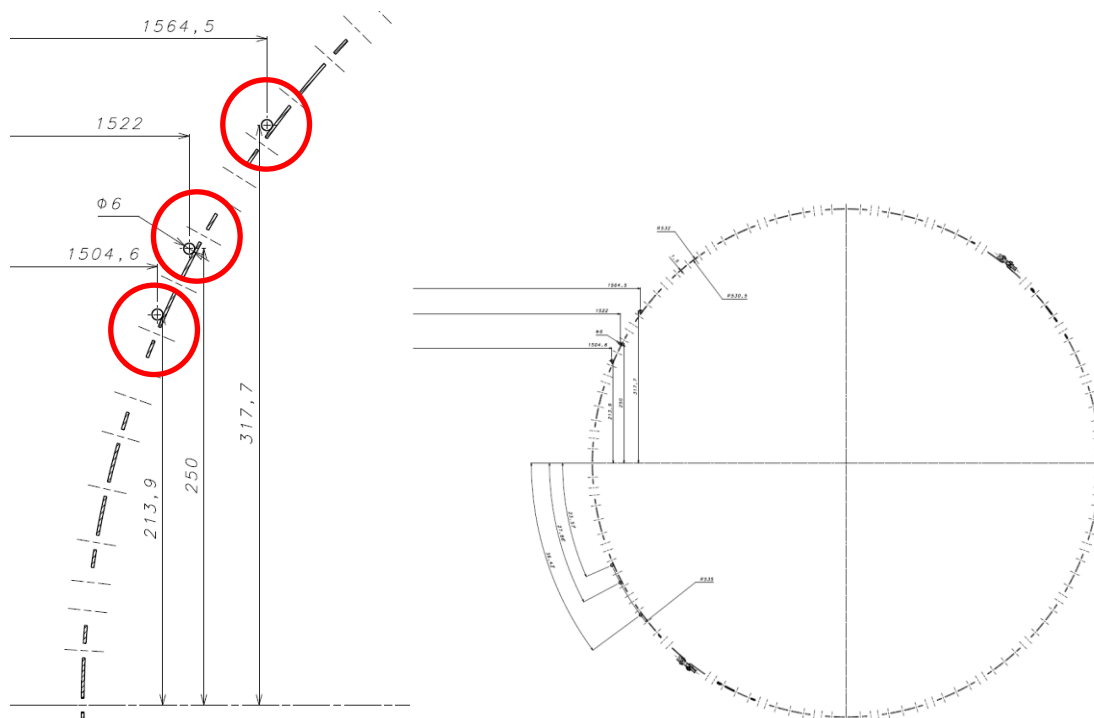
La gabbia è un insieme di conduttori passivi poloidali e toroidali che mantengono equipotenziale la prima parete in grafite (Figura 9); in particolare essa è costituita da:

- 72 fasce poloidali di serraggio (che sostengono la prima parete in grafite)
- 6 tondini toroidali (3 sopra l'asse  $Z=0$  e tre sotto) di 6mm di diametro che mantengono il collegamento elettrico toroidalmente.



**Figura 9 Rappresentazione 3D della gabbia.**

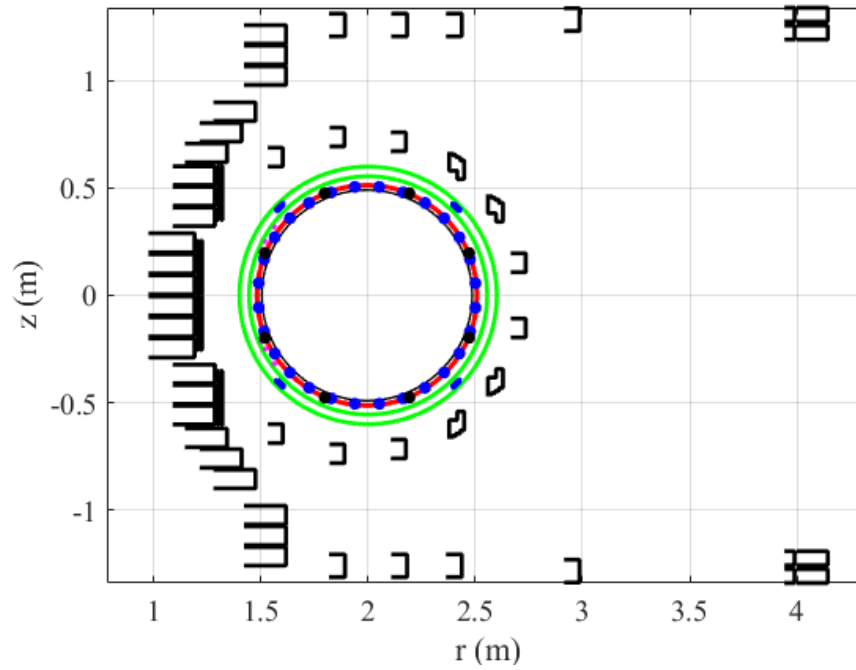
Poiché il modello elettromagnetico è assialsimmetrico, le 72 fasce poloidali vengono trascurate e si considerano solo i 6 tondini toroidali. Questi, infatti, saranno sede di correnti indotte in direzione toroidale che produrranno un campo poloidale. Il loro impatto sull'equilibrio macroscopico del plasma potrebbe essere rilevante. Il materiale dei tondini è INCONEL625 di resistività elettrica pari a  $1.29 \cdot 10^{-6} \Omega \text{m}$ [4].



**Figura 10 Sezione poloidale rappresentante i tre tondini ( $Z>0$ ) della gabbia (cerchiati in rosso).**

#### 4.4 Riassunto

La sezione poloidale di RFX-mod2 comprendente bobine, conduttori passivi e sensoristica magnetica è rappresentata in Figura 11. Il riassunto dei conduttori passivi è riportato in Tabella 1.



**Figura 11 RFX-mod2: bobine (nero), saddle coils (blu), VTSS (verde), PSS (rosso), prima parete (nero), pick-up coil (pallini blu), flux loops (pallini neri)**

**Tabella 1 Riassunto dei conduttori passivi e delle loro caratteristiche distintive.**

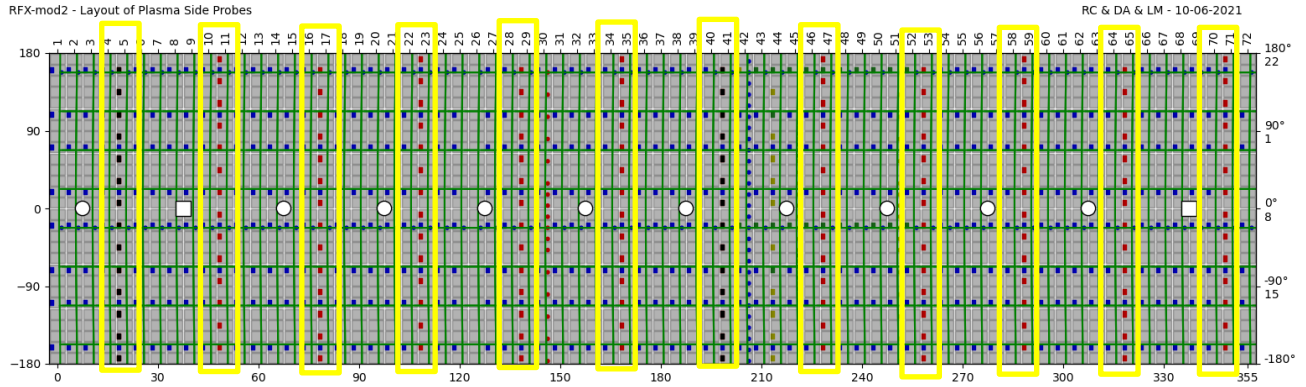
	Tagli in direzione toroidale	Corrente toroidale netta	Tagli in direzione poloidale	Corrente poloidale netta	Resistività elettrica ( $\Omega\text{m}$ )
VTSS	1	NO	2	NO	$7.2 \cdot 10^{-7}$
PSS	1	NO	2	NO	$0.018 \cdot 10^{-6}$
Gabbia	-	SI	-	NO	$1.29 \cdot 10^{-6}$

## 5 Sensori magnetici

### 5.1 Pick-up coils

La sensoristica magnetica per operazioni tokamak consiste di 12 array poloidali costituiti da 14 sensori di campo magnetico triassiali (“pick-up coils”) in grado di misurare le componenti radiale (normale), poloidale (tangente) e toroidale. I dodici array poloidali posizionati ad un raggio minore  $r = 0.5085\text{m}$  e sfalsati poloidalmente di una tegola di grafite da una sezione toroidale alla successiva. I primi 14 pick-up coil sono posizionati ogni  $6.43^\circ + k25.71^\circ$ ,  $k = 0, \dots, 13$  angoli poloidali mentre i secondi (sfalsati) ogni  $19.29^\circ + k25.71^\circ$ ,  $k = 0, \dots, 13$  angoli poloidali. Ciò consente in configurazioni assialsimmetriche (come il tokamak) una risoluzione poloidale di 28 posizioni.

Le posizioni assolute dei 28 sensori triassiali sono riportate in Tabella 2. Le direzioni di misura sono rappresentate in Figura 13.

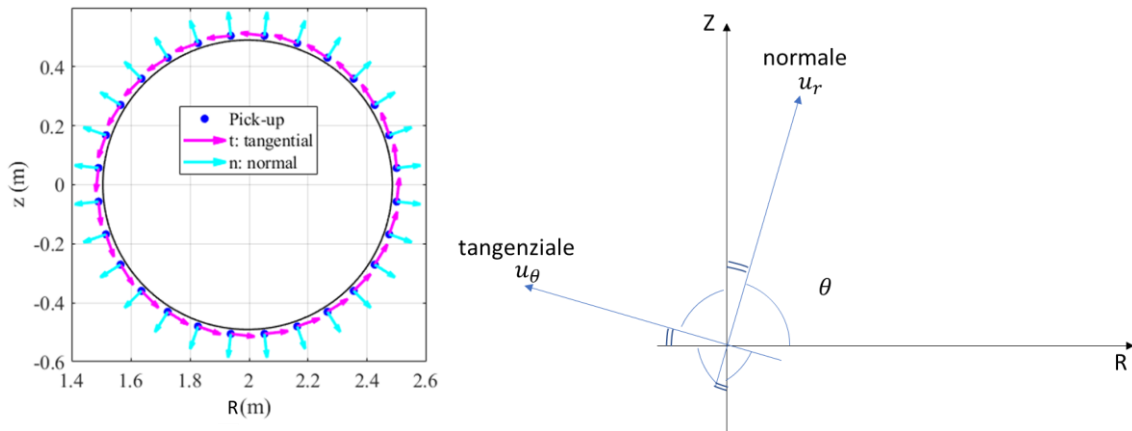


**Figura 12** Rappresentazione rettificata del toro di RFX-mod2 (asse orizzontale direzione toroidale, asse verticale direzione poloidale) con tutti i sensori elettromagnetici ed elettrostatici; i pickup triassiali di interesse sono segnati in giallo. Si può notare lo sfalsamento tra una sezione e l'altra in direzione toroidale (asse orizzontale).

**Tabella 2** Posizione dei sensori pick-up triassiali

Num sensore	R(m)	Z(m)	r(m)	theta(°)
1	2.500303	0.056934	0.5085	6.428571
2	2.474965	0.167947	0.5085	19.28571
3	2.425559	0.270538	0.5085	32.14286
4	2.354564	0.359564	0.5085	45
5	2.265538	0.430559	0.5085	57.85714
6	2.162947	0.479965	0.5085	70.71429
7	2.051934	0.505303	0.5085	83.57143
8	1.938066	0.505303	0.5085	96.42857
9	1.827053	0.479965	0.5085	109.2857
10	1.724462	0.430559	0.5085	122.1429
11	1.635436	0.359564	0.5085	135
12	1.564441	0.270538	0.5085	147.8571
13	1.515035	0.167947	0.5085	160.7143
14	1.489697	0.056934	0.5085	173.5714
15	1.489697	-0.05693	0.5085	186.4286
16	1.515035	-0.16795	0.5085	199.2857
17	1.564441	-0.27054	0.5085	212.1429
18	1.635436	-0.35956	0.5085	225
19	1.724462	-0.43056	0.5085	237.8571
20	1.827053	-0.47996	0.5085	250.7143
21	1.938066	-0.5053	0.5085	263.5714
22	2.051934	-0.5053	0.5085	276.4286
23	2.162947	-0.47996	0.5085	289.2857
24	2.265538	-0.43056	0.5085	302.1429
25	2.354564	-0.35956	0.5085	315
26	2.425559	-0.27054	0.5085	327.8571
27	2.474965	-0.16795	0.5085	340.7143
28	2.500303	-0.05693	0.5085	353.5714





**Figura 13** Direzioni di misura dei sensori pick-up: direzione poloidale (tangenziale) e direzione radiale (normale)

**Tabella 3** Definizione delle direzioni di misura nel piano poloidale (R ,Z)

Direzione di misura	R	Z
tangenziale, $u_\theta$	$-\sin(\theta)$	$\cos(\theta)$
normale, $u_r$	$\cos(\theta)$	$\sin(\theta)$

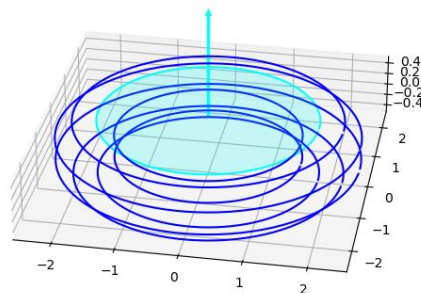
## 5.2 Sensori di flusso

## 5.3 V-loop toroidali

La misura della tensione di giro toroidale sarà invece eseguita con 8 toroidal loops posizionati nelle posizioni riportate in Tabella 4 e rappresentati in Figura 14.

**Tabella 4** Posizione dei sensori di flusso V-loop

#sensor	r (m)	R (m)	theta (°)	z coordinate of center
FP 1	0.5149	2.471	22.5	0.197
FP 2	0.5149	2.192	67.5	0.4757
FP 3	0.5149	1.798	112.5	0.4757
FP 4	0.5149	1.519	157.5	0.197
FP 5	0.5149	1.519	202.5	-0.197
FP 6	0.5149	1.798	247.5	-0.4757
FP 7	0.5149	2.192	292.5	-0.4757
FP 8	0.5149	2.471	337.5	-0.197



**Figura 14** RFX-mod2 toroidal voltage measuring coils. The unit vector is displayed only for one loop [9]

## 5.4 Differenze di flusso poloidale

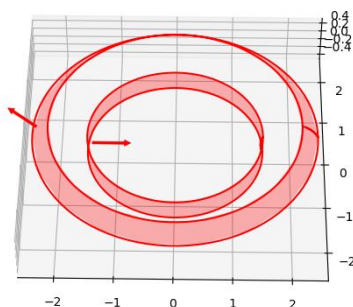
A differenza di RFX-mod, le variazioni di flusso poloidale in RFX-mod2 saranno misurate da sensori a sella (saddle loops) che coprono i 360 gradi. Le posizioni delle saddle loops sono identiche a quelle dei toroidal loop voltages (Tabella 4).

Le differenze di flusso possono anche essere calcolate come in Tabella 5.

**Tabella 5** Differenze di flusso definite a partire dai sensori V-loop in Tabella 4.

Differenza di flusso	Differenza dei segnali delle v-loop
1	FP1- FP2
2	FP2- FP 3
3	FP 3- FP 4
4	FP 4- FP 5
5	FP 5- FP 6
6	FP 6- FP 7
7	FP 7- FP 8
8	FP 8- FP 1

Un segnale positivo misurato da una spira corrisponde ad un flusso in uscita (cioè un flusso dovuto ad un campo magnetico assialsimmetrico diretto nella direzione radiale positiva). Poiché la spira non è planare (nemmeno approssimativamente, come le bobine a sella), il vettore unitario rappresenta solo la direzione del campo nel centro nominale della bobina, prodotto da una corrente positiva che scorre lungo la spira (Figura 15) [9].



**Figura 15** Two example poloidal flux difference loops. The center of the saddle loops is conventionally located on the opposite side of the junction section of the coils. The unit vector is displayed starting from the center of the loop [9]



## 6 Appendice: equilibri tokamak RFX-mod2

In questa sezione vengono descritti gli equilibri tokamak previsti per RFX-mod2. In particolare vengono riportate solo le quantità necessarie alla loro ricostruzione mediante il codice CREATE-L al fine di ottenere un modello linearizzato di risposta di plasma utile a fini controllistici.

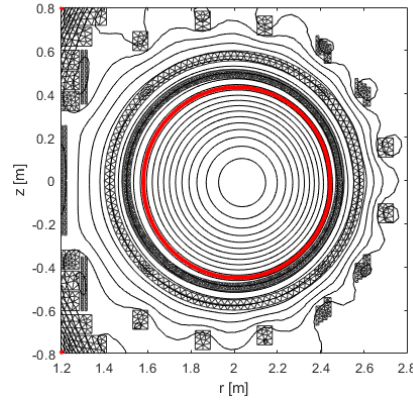
Le quantità riportate saranno:

- Correnti nelle bobine
- Corrente totale di plasma,  $I_p$
- Parametri  $\alpha_m, \alpha_n, \beta_0$  per definire il profilo di densità di corrente di plasma secondo la parametrizzazione:

$$J_\phi = \lambda \left[ \beta_0 \frac{r}{R_0} + (1 - \beta_0) \frac{R_0}{r} \right] (1 - \bar{\psi}^{\alpha_m})^{\alpha_n}$$

### 6.1 Equilibri in configurazione simmetrica

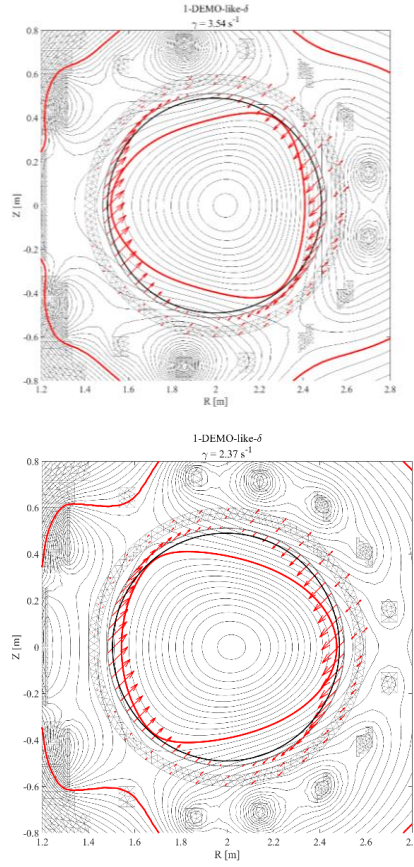
#### 6.1.1 Circolare (#38722)



$I_p$ (A)	$\alpha_m$	$\alpha_n$	$\beta_0$
1.2359e+05	2.8468	0.9328	0.2636

	(A)
IMW1	-3.31E+03
IMW2	-3.43E+03
IMW3	-3.39E+03
IMW4	-3.39E+03
IFS1	-2.05E+02
IFS2	-3.74E+02
IFS3	-2.96E+02
IFS4	-2.83E+02
IFS5	-3.17E+02
IFS6	-3.14E+02
IFS7	-3.09E+02
IFS8	-3.67E+02
SCext-int	1.32E+00
SCup-down	-

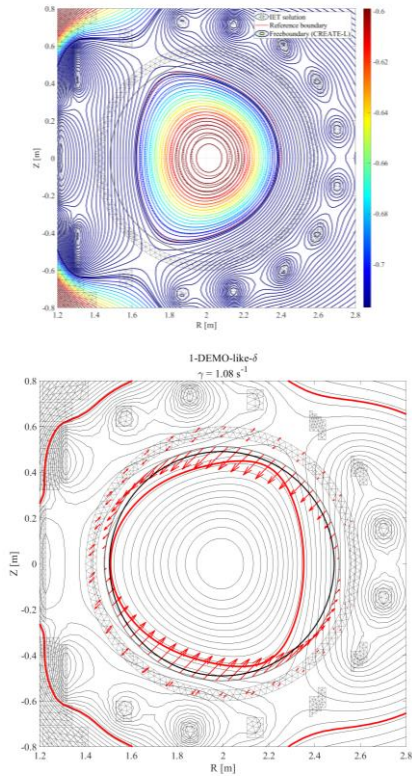
## 6.1.2 DEMO-like DELTA



	$\delta > 0$ (A)	$\delta < 0$ (A)
IMW1	-1.76E+02	-1.98E-01
IMW2	-1.76E+02	-1.98E-01
IMW3	-1.76E+02	-1.98E-01
IMW4	-1.76E+02	-1.98E-01
IFS1	-2.34E+03	-1.76E+03
IFS2	-3.17E+03	-3.36E+03
IFS3	-4.05E+00	-6.33E+02
IFS4	-1.19E+03	-2.68E+03
IFS5	-1.31E+03	-2.46E+02
IFS6	-7.72E+02	-6.89E-04
IFS7	-3.54E+02	-2.96E+02
IFS8	-2.26E+02	-9.30E+02
SCe-i	-	-
SCu-d	-	-

$I_p$ (A)	$\alpha_m$	$\alpha_n$	$\beta_0$
8.9157e+04	1.081	1.017	0.489

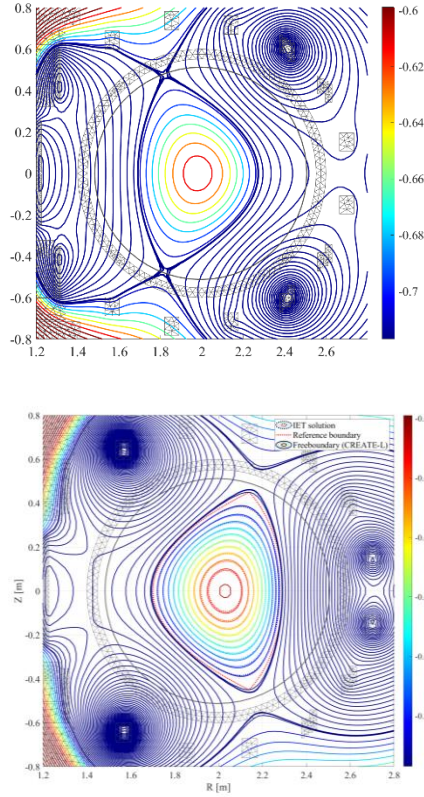
## 6.1.3 DEMO-like DELTA KAPPA



	$\delta > 0$ (A)	$\delta < 0$ (A)
IMW1	-5.942742e+02	-1.201360e+02
IMW2	-5.942742e+02	-1.201360e+02
IMW3	-5.942742e+02	-1.201360e+02
IMW4	-5.942742e+02	-1.201360e+02
IFS1	-2.446347e+03	-2.001716e+03
IFS2	-2.741820e+03	-2.928382e+03
IFS3	-1.447995e+00	-1.133192e+03
IFS4	-6.248602e+02	-1.614144e+03
IFS5	-9.450596e+02	-3.372656e+02
IFS6	-6.136025e+02	-8.897700e-02
IFS7	-3.888801e+02	-4.717167e+02
IFS8	-3.959758e+02	-8.495006e+02
SCe-i	-	-
SCu-d	-	-

$I_p$ (A)	$\alpha_m$	$\alpha_n$	$\beta_0$
8.2230e+04	1.081	1.017	0.489

## 6.1.4 DEMO-like Double Null (DN)

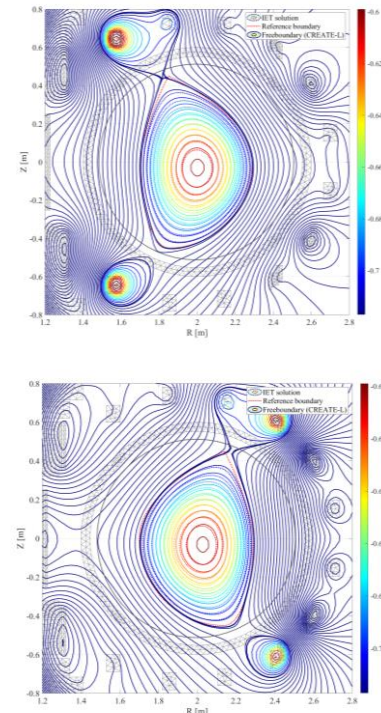


	$\delta > 0$ (A)	$\delta < 0$ (A)
IMW1	-1.683490e-02	-7.852595e-03
IMW2	-1.683490e-02	-7.852595e-03
IMW3	-1.683490e-02	-7.852595e-03
IMW4	-1.683490e-02	-7.852595e-03
IFS1	-3.113606e+03	-2.238165e+03
IFS2	-3.503763e+03	-8.256794e+02
IFS3	-1.868833e+02	-4.655906e+03
IFS4	-3.668846e-05	-2.614786e-04
IFS5	-3.904171e+02	-4.001068e-06
IFS6	-2.190316e+03	-7.138854e-04
IFS7	-7.371820e-04	-2.744086e+02
IFS8	-1.409245e+02	-1.184903e+03
SCe-i	-	-
SCu-d	-	-

$I_p$ (A)	$\alpha_m$	$\alpha_n$	$\beta_0$
6.0865e+04	1.081	1.017	0.489

## 6.2 Equilibri in configurazione asimmetrica

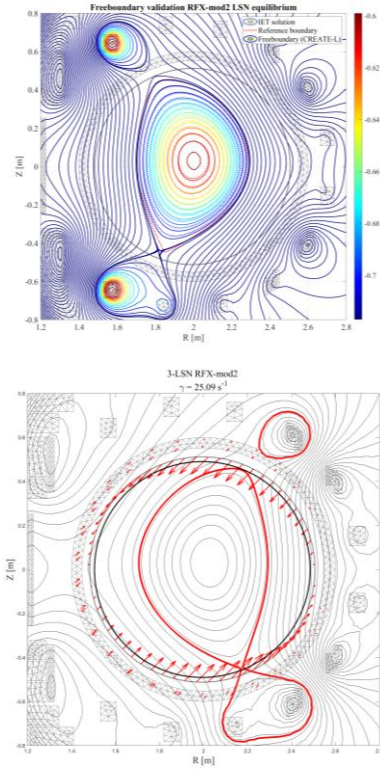
### 6.2.1 DEMO-like Upper Single Null (USN)



	$\delta > 0$ (A)	$\delta < 0$ (A)
IMW1	-2.540285e+03	-1.333173e+03
IMW2	-3.695019e+03	-3.629051e+03
IMW3	-4.290196e+03	-4.567150e+03
IMW4	-2.862199e+03	-3.012872e+03
IFS1	2.193476e+02	6.717292e+02
IFS2	-2.146636e+03	-1.055651e+03
IFS3	2.299498e+03	-1.574365e+02
IFS4Up	6.009239e+02	-4.896714e+02
IFS4Low	0	0
IFS5Up	-4.069231e+02	5.683087e+02
IFS5Low	0	0
IFS6	-2.404624e+02	1.269381e+03
IFS7	-6.576525e+02	-1.134462e+03
IFS8	1.716575e+02	-3.657595e+02
SCe-i	-5	-5
SCu-d	-	-

$I_p$ (A)	$\alpha_m$	$\alpha_n$	$\beta_0$
6.3463e+04	1.081	1.017	0.489

## 6.2.2 DEMO-like Lower Single Null (LSN)

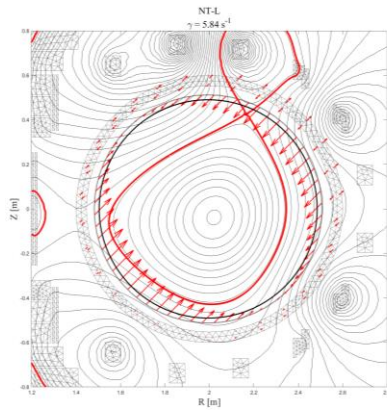
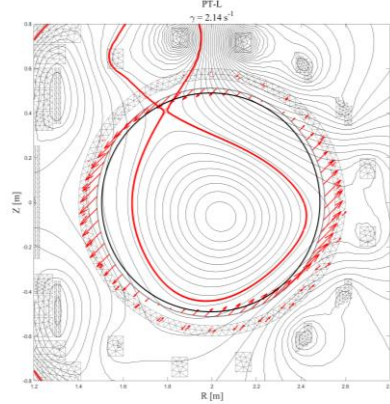


	$\delta > 0$ (A)	$\delta < 0$ (A)
IMW1	-2.546464e+03	-1.327437e+03
IMW2	-3.694270e+03	-3.593784e+03
IMW3	-4.285834e+03	-4.528499e+03
IMW4	-2.859190e+03	-3.003610e+03
IFS1	2.466016e+02	6.587268e+02
IFS2	-2.203098e+03	-1.071511e+03
IFS3	2.324162e+03	-1.799869e+02
IFS4Up	0	0
IFS4Low	6.027606e+02	-4.940874e+02
IFS5Up	0	0
IFS5Low	-4.095076e+02	5.734869e+02
IFS6	-2.445388e+02	1.263947e+03
IFS7	-6.537451e+02	-1.141428e+03
IFS8	1.703238e+02	-3.642425e+02
SCe-i	5	5
SCu-d	0	0

$I_p$ (A)	$\alpha_m$	$\alpha_n$	$\beta_0$
6.3463e+04	1.081	1.017	0.489



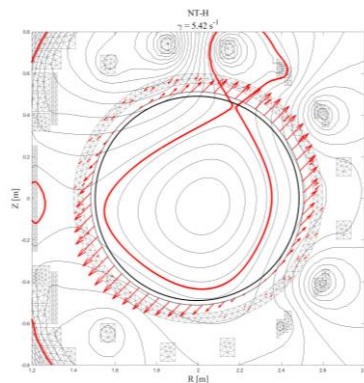
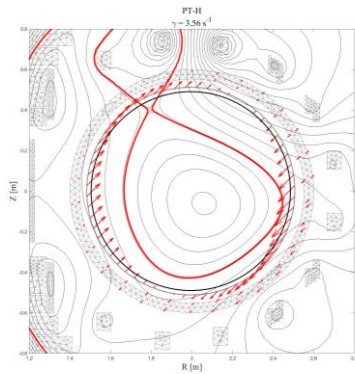
### 6.2.3 Positive/Negative triangularity L-mode (PTL/NTL) #39122



	$\delta > 0$ (A)	$\delta < 0$ (A)
IMW1	-0.8725e+03	-1.2311e+03
IMW2	-2.7282e+03	-2.7400e+03
IMW3	-4.7375e+03	-3.6842e+03
IMW4	-2.2118e+03	-2.1789e+03
IFS1	-0.0642e+03	0.3380e+03
IFS2	-1.2565e+03	-0.2861e+03
IFS3	0.4040e+03	-1.0305e+03
IFS4Up	2.2668e+03	-2.2656e+03
IFS4Low	0	0
IFS5Up	-2.1884e+03	1.9360e+03
IFS5Low	0	0
IFS6	-0.6543e+03	0.2495e+03
IFS7	-0.3311e+03	-1.0194e+03
IFS8	0.3289e+03	0.0136e+03
SCe-i	0.0149e+03	-
SCu-d	-	-

$I_p$ (A)	$\alpha_m$	$\alpha_n$	$\beta_0$
6.1053e+04	0.5014	1.0985	0.6801

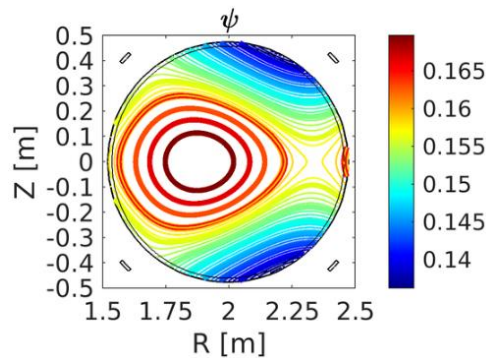
### 6.2.4 Positive/Negative Triangularity H-mode (PTH/NTH) #39122



	$\delta > 0$ (A)	$\delta < 0$ (A)
IMW1	-3.3439e+03	-3.5118e+03
IMW2	-5.2423e+03	-5.5747e+03
IMW3	-7.3142e+03	-6.6297e+03
IMW4	-4.9233e+03	-4.8984e+03
IFS1	-0.0701e+03	0.4936e+03
IFS2	-1.2659e+03	-0.1849e+03
IFS3	0.6119e+03	-0.8339e+03
IFS4Up	2.3422e+03	-2.1254e+03
IFS4Low	0	0
IFS5Up	-2.2482e+03	1.7974e+03
IFS5Low	0	0
IFS6	-0.6532e+03	0.4050e+03
IFS7	-0.3508e+03	-1.1242e+03
IFS8	0.3458e+03	0.0868e+03
SCe-i	0.0151e+03	-0.0020e+03
SCu-d	-	-

$I_p$ (A)	$\alpha_m$	$\alpha_n$	$\beta_0$
6.2420e+04	1.5652	1.0855	0.8638

## 6.2.5 Radial Outer Null (RON)

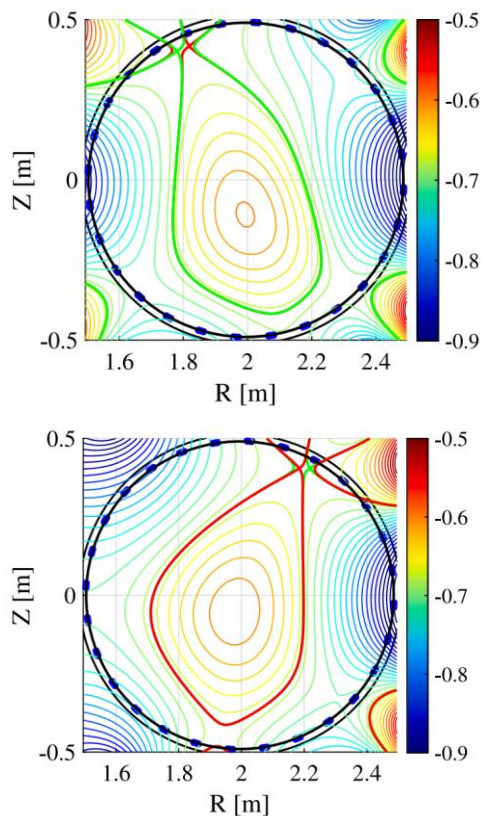


	(kA)
IMW1	0.0000
IMW2	0.0000
IMW3	-0.0011
IMW4	-0.0002
IFS1	3.2649
IFS2	0.2994
IFS3	3.5985
IFS4Up	-0.0039
IFS4Low	0
IFS5Up	0.0059
IFS5Low	0
IFS6	-1.2425
IFS7	0.6489
IFS8	0.9423
SCe-i	-
SCu-d	-

$I_p$ (A)	$\alpha_m$	$\alpha_n$	$\beta_0$
50e3	1.3000	1.0100	0.3000


## 6.3 Equilibri in configurazione asimmetrica alternativa

### 6.3.1 Snow flake minus (SF-)



	$\delta > 0$ (kA)	$\delta < 0$ (kA)
IMW1	-9.1229	3.2260
IMW2	-6.0577	6.5476
IMW3	5.6372	-4.3957
IMW4	9.5805	3.8377
IFS1	-6.0480	-2.8871
IFS2	5.7125	-5.1319
IFS3	-3.8415	-5.5990
IFS4Up	0	0
IFS4Low	-2.5414	2.5799
IFS5Up	0	0
IFS5Low	1.5076	-2.4829
IFS6	-3.0115	-1.9917
IFS7	4.3274	3.7315
IFS8	-3.9181	-3.7070
SCe-i	-	-
SCu-d	-	-

$I_p$ (A)	$\alpha_m$	$\alpha_n$	$\beta_0$
5e+03	1.5	1.001	0.3

 <b>CONSORZIO RFX</b> <i>Ricerca Formazione Innovazione</i>	Descrizione elettromagnetica dell'esperimento RFX-mod2 ai fini del controllo dell'equilibrio in configurazione Tokamak	RFX-IE-TN-073 v.0 – <b>Error! Reference source not found.</b> pag. 22/22
---	--	--

## Riferimenti

- [1] L. Marrelli et al., *Nuclear Fusion*, 59(7), 076027.
- [2] S. Peruzzo et al. *Fusion Engineering and Design*, 146, 692-696.
- [3] European Space Agency,  
[http://esmat.esa.int/Services/Preferred\\_Lists/Materials\\_Lists/a62.htm](http://esmat.esa.int/Services/Preferred_Lists/Materials_Lists/a62.htm)
- [4] MATWEB, <https://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=NINC33>
- [5] S. Peruzzo et al. *Fusion Engineering and Design*, 2023, 194: 113890
- [6] G. Marchiori et al. *Fusion Engineering and Design* 108 (2016) 81–91
- [7] D Abate et al, <https://doi.org/10.1088/1361-6587/ab93a5>
- [8] D. Abate et al., *Fusion Engineering and Design* 189 (2023) 113484
- [9] *RFXwiki* ["RFX-mod2:Magnetic Measurements"](#)