



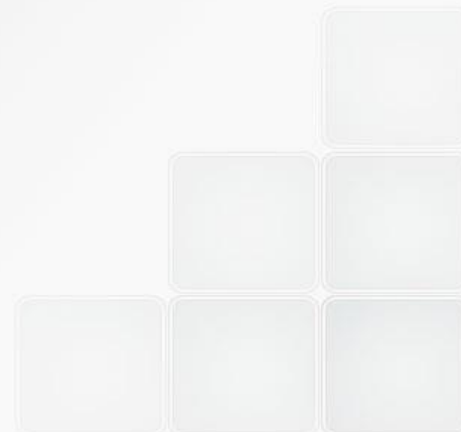
# ATTIVITÀ DI FISICA DELLA FUSIONE COMPLEMENTARI A ITER



## COSTRUZIONE DELLA CASSA DI CONTENIMENTO DEL MAGNETE

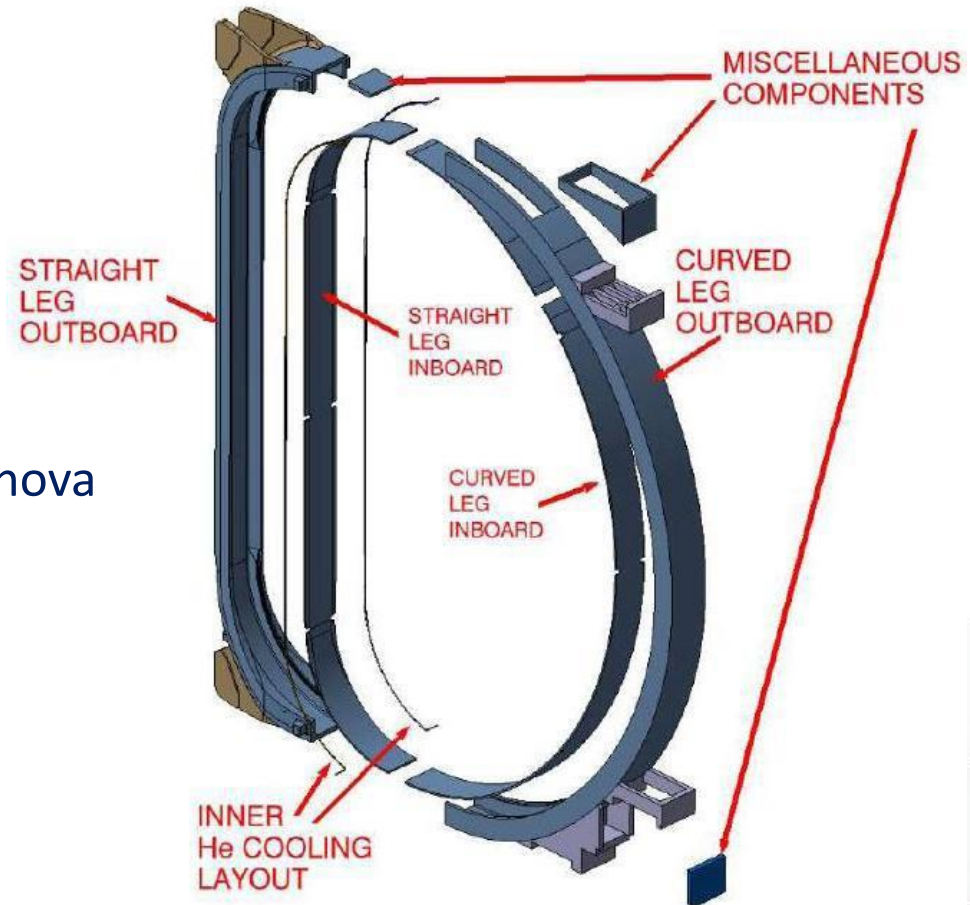
**Paolo Rossi**  
**ENEA/UTFUS-Tecnologie Speciali**  
**Task force JT-60SA**  
**Direttore Esecuzione Contratto**  
**ENEA-Walter Tosto**

**Ricerca di Sistema Elettrico**  
**Roma, 19 giugno 2015**  
**ENEA Sede Legale**  
**Via Giulio Romano, 41 - Roma**



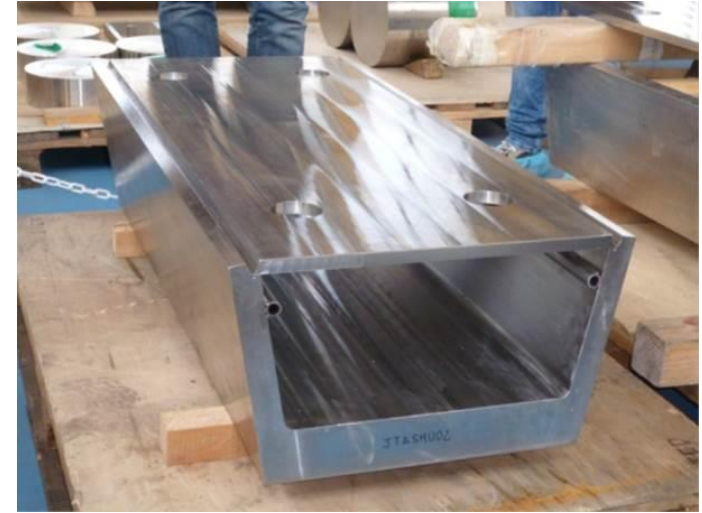
## REALIZZAZIONE DI 18 TOROIDAL FIELD COIL CASING

- Contratto con **Walter Tosto**, Chieti
- CASING (7,5 m x 4,5 m):
  - Gamba dritta ( $\approx$  4000 kg)
  - Gamba curva ( $\approx$  4400 kg)
  - Covers
  - Piastre e tubi
- 18 casing:
  - 9 per ASG Superconductors, Genova
  - 9 per ALSTOM, Belfort, Francia
- KOM, luglio 2012
- Mock-ups
- Attività di ingegneria
- Produzione
- Stato delle attività



# REALIZZAZIONE MOCK-UPS

- ❑ In totale sono stati prodotti 6 mock-ups rappresentativi delle sezioni principali delle casse di contenimento di JT-60SA :
- ✓ 1 mock-up per ASG ed 1 mock-up per Alstom, rappresentativi della gamba dritta della cassa di lunghezza 1 metro e sezione trasversale a forma di V in scala 1:1, inclusi i piatti di chiusura;
- ✓ 2 mock-ups per ASG e 2 mock-ups per Alstom, rappresentativi della gamba curva di lunghezza 50 centimetri, inclusi i piatti di chiusura.



Mock-up gamba dritta



Mock-ups per ASG ed ALSTOM

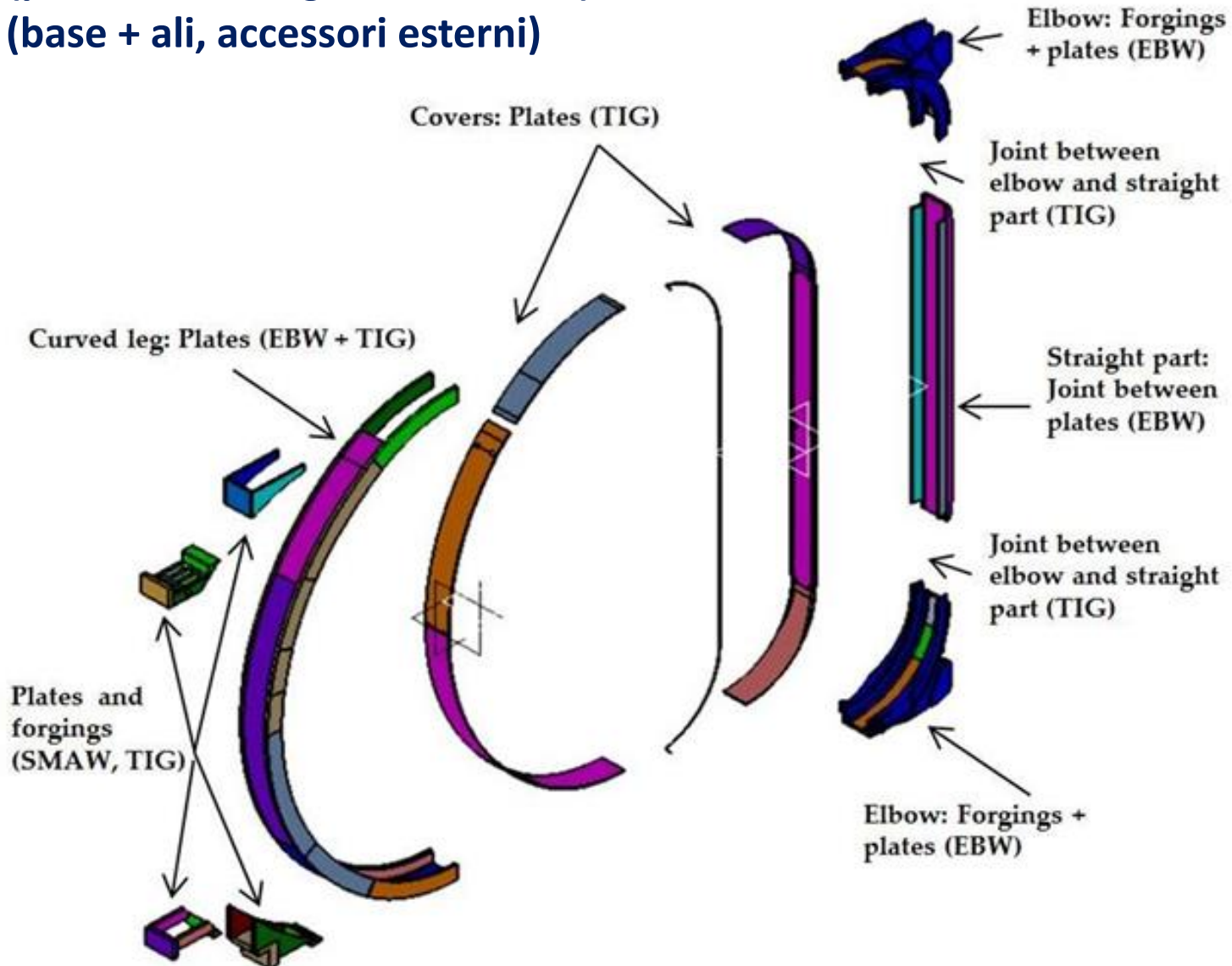


Mock-up gamba curva

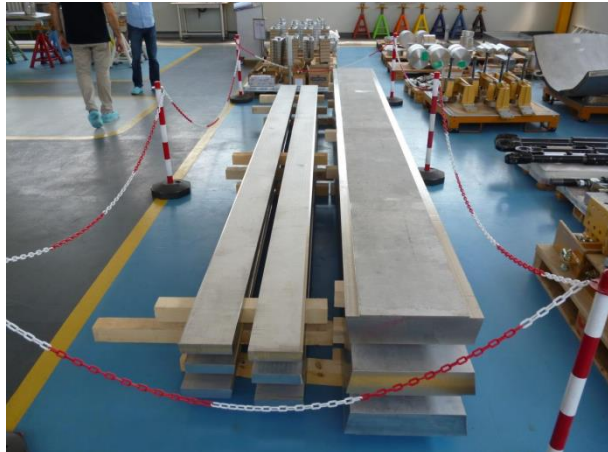
- Marzo 2013, Frascati: Concept design review meeting: ENEA, WTO, F4E, CEA, ASG, ALSTOM
- Luglio 2013, Frascati: ASG detail design review meeting : ENEA, WTO, F4E, ASG
- Agosto 2013, Frascati: ALSTOM detail design review meeting: ENEA, WTO, F4E, CEA, ALSTOM
  
- Progettazione di dettaglio dei casing:
  - ✓ Modelli CATIA 3D, disegni costruttivi 2D, welding maps;
  - ✓ Documentazione: certificati, procedure, welding books e control plans.
  
- Qualifica dei processi di saldatura: EBW, TIG and SMAW.
- Validazione processi: Vibration Stress Relief (VSR)
- Progettazione e realizzazione di attrezzature di assemblaggio componenti
- Procedure di controllo:
  - ✓ Controlli dimensionali: final survey drawings, procedure di controllo con laser tracker e strumenti tradizionali;
  - ✓ Leak test, pressure test
- Procedure di carico, trasporto e scarico
  - ✓ Progettazione e realizzazione delle attrezzature di trasporto;
  - ✓ Procedure di movimentazione dei componenti.

# SEGMENTAZIONE CASING

- **Gamba dritta (parte dritta , 2 gomiti, tubi He)**
- **Gamba curva (base + ali, accessori esterni)**
- **3 Cover**



- ❑ Acciaio austenitico AISI 316L con composizione chimica modificata (Azoto 0,08% -0,11%, Cobalto < 500 ppm)
- ❑ Lamiere e forgiati sono stati approvvigionati in accordo agli standard (ASTM A-480, A-240, A-484, A473-01) : 56 lamiere con spessori da 16 a 112 mm (peso totale 260 ton); 36 blocchi forgiati con dimensioni di 1800x1560x280 mm (peso totale 230 ton)
- ❑ Durante lo sviluppo delle attività contrattuali, il materiale forgiato, ancorché rispondente alle specifiche di acquisto, ha evidenziato un comportamento fragile a bassa temperatura, ed è stato successivamente sostituito da nuovo materiale forgiato fornito da F4E.



Lamiere per gambe dritte



Lamiere calandrate per gambe curve



Forgiati per gomiti gambe dritte

# FASI DI PRODUZIONE

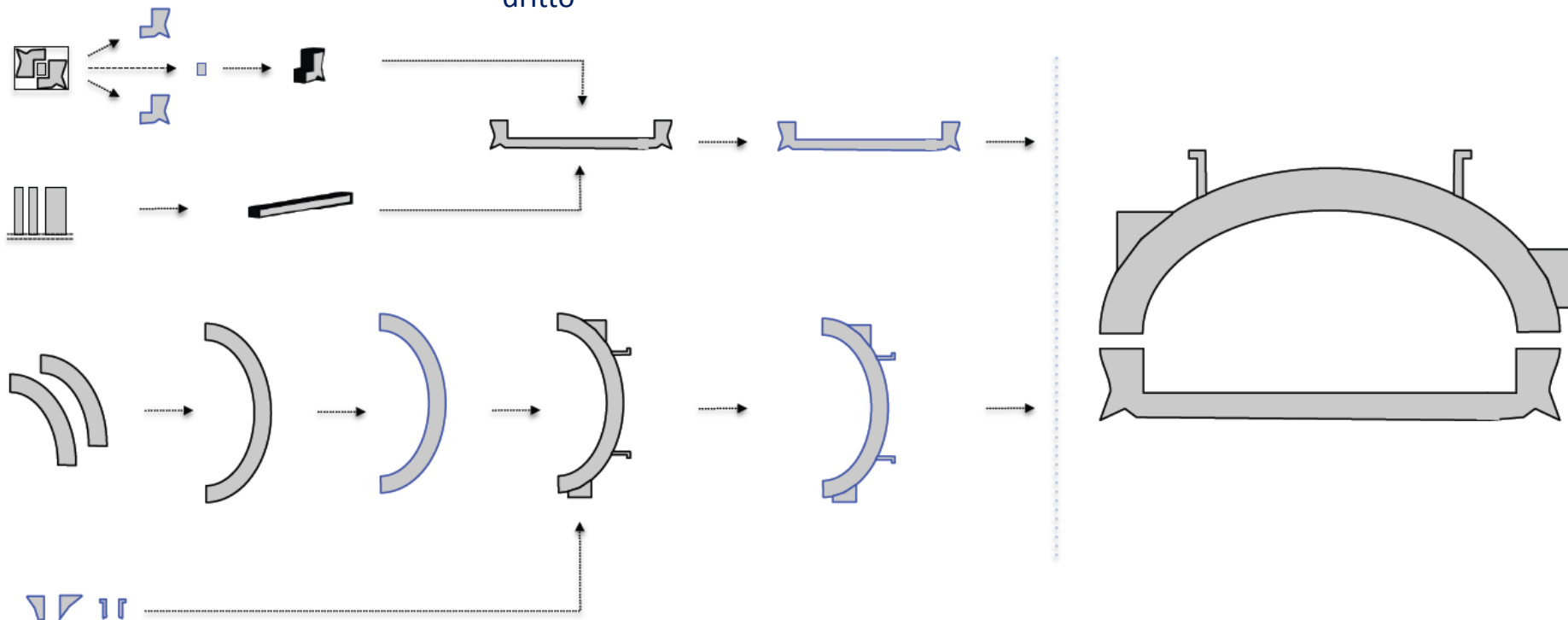
Taglio e lavorazione forgiati e lamiera

Saldatura EBW gomiti, tratti dritti

Saldatura gomiti a tratto dritto

Lavorazioni meccaniche, sgrossatura pre-finitura, finitura, saldatura tubicini, cianfrinatura

Controlli dimensionali finali  
Leak test, pressure test  
Trasporto

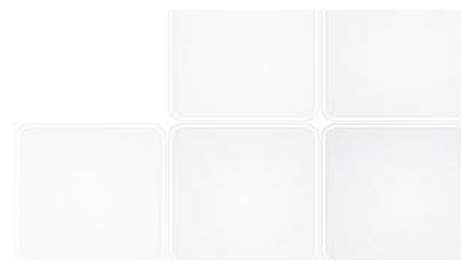


Taglio, calandratura e lavorazione lamiera

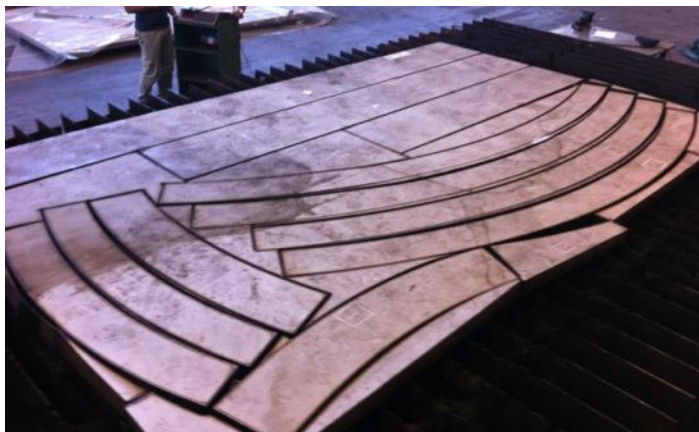
Saldatura EBW gambe curve

Saldatura accessori a gamba curva

Lavorazioni meccaniche, sgrossatura pre-finitura, finitura, cianfrinatura



# LAVORAZIONI MECCANICHE



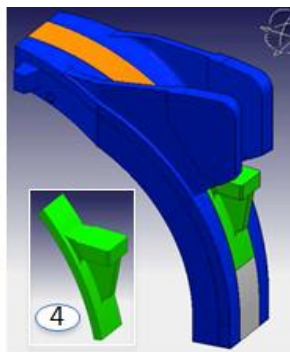
Taglio al plasma delle lamiere



Lavorazioni gomiti



calandra



Taglio di macchina dei forgiati



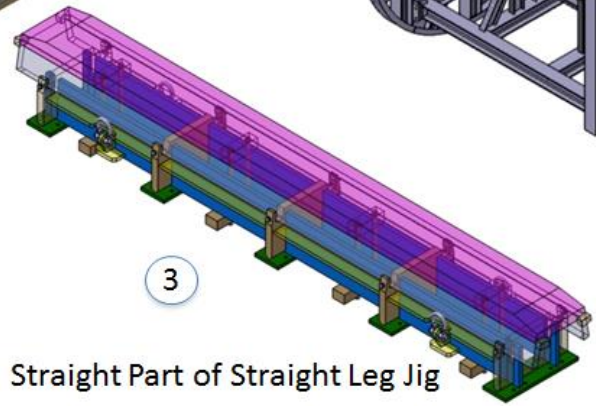
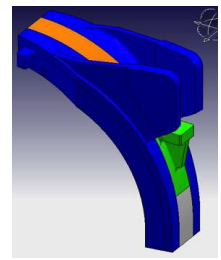
Lavorazione di finitura della gamba dritta



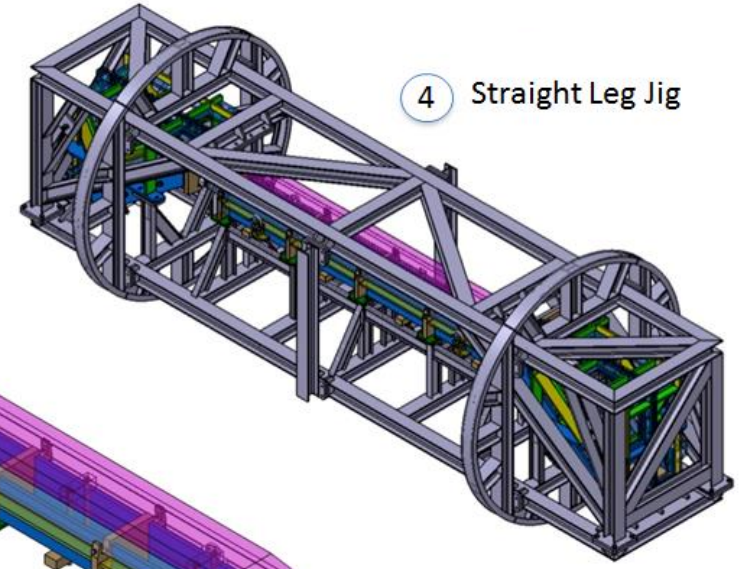
# ATTREZZATURE DI MONTAGGIO E LAVORAZIONI DELLA GAMBA DRITTA



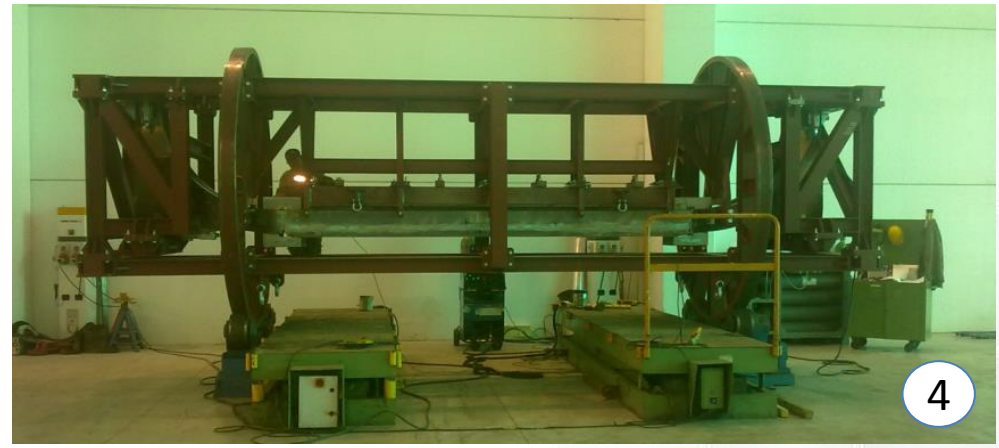
Cheek Jigs



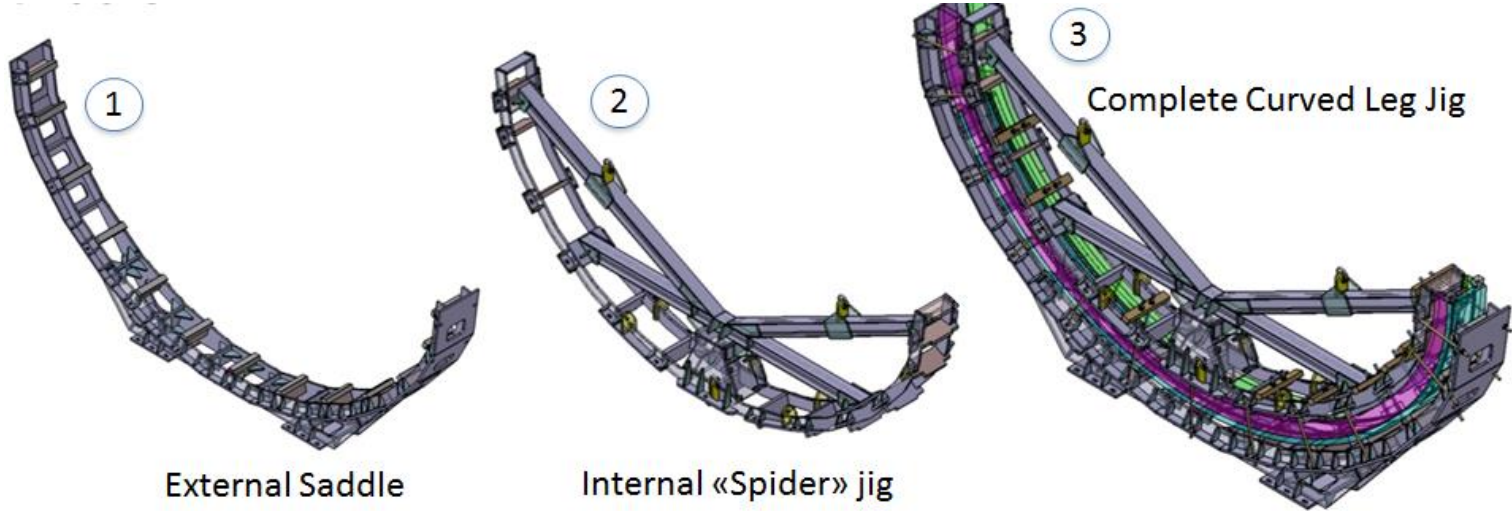
Straight Part of Straight Leg Jig



Straight Leg Jig



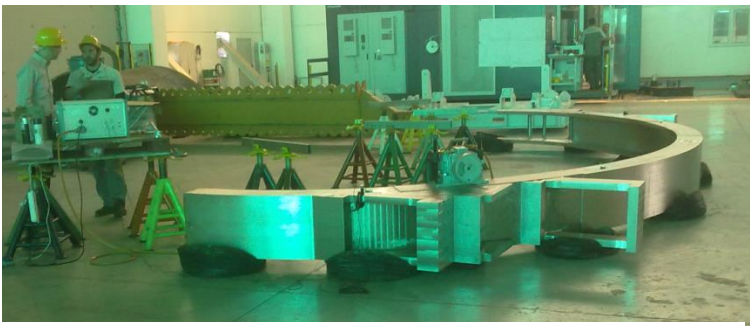
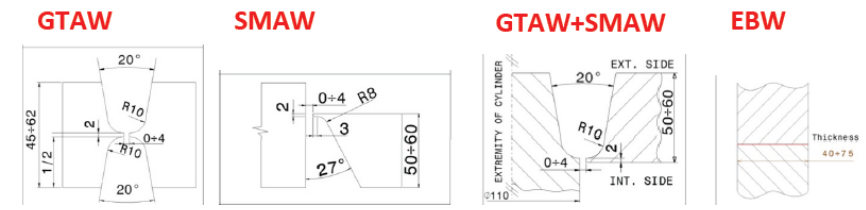
# ATTREZZATURE DI MONTAGGIO E LAVORAZIONI DELLE GAMBA CURVA



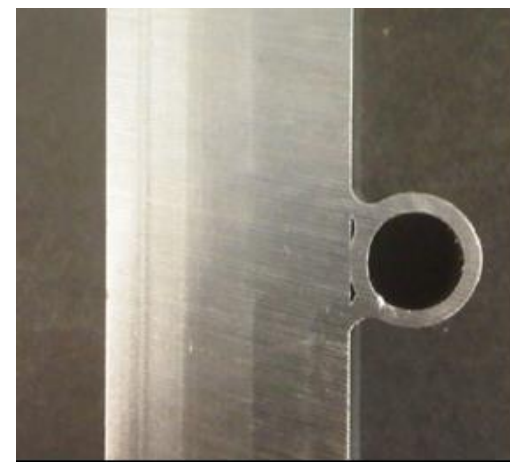
# SALDATURE E VSR

- ❑ Le saldature principali delle ali all'anima sono in EBW (Electron Beam Welding) sia per la gamba curva che per la gamba dritta. Il tratto dritto della gamba dritta viene saldato ai gomiti per mezzo di una saldatura NGTIG (Tig Narrow Gap). I gomiti della gamba dritta sono realizzati da 2 semicurve che poi vengono saldate entrambe ad un'anima centrale composta da lamiera.
- ❑ Saldatura tubicino, TIG a tratti 100 mm pieni, 5 mm vuoti, alternati sui due lati, profondità di gola di 3 mm
- ❑ Ulteriori supporti sono saldati con processo TIG o Electrodo
- ❑ Welding book (pWPS, PQR, WPS), welding map
- ❑ NDE: radiografie, ultrasuoni, VT, PT
- ❑ Dopo le principali fasi di saldatura si esegue il VSR

Process	Description
GTAW	Gas Tungsten-Arc welding
SMAW	Shielded Metal-Arc welding
GTAW+SMAW	Gas Tungsten-Arc W. + Shielded Metal-Arc W.
EBW	Electron Beam welding



Vibration stress Relief (VSR)



Saldatura tubicino



# CONTROLLI DIMENSIONALI LEAK TEST

- Controlli dimensionali con strumenti convenzionali e con sistema laser tracker e software dedicato sia per l'accettazione finale sia durante gli step di lavorazione intermedi;
- Utilizzo del reverse engineering per la lavorazione di alcuni componenti;



T-Scan



T-Probe



Tracker

- Pressure test (helium at 2.5 MPa, 1h) e Leak test (leak rate a 2.5 MPa, limite di accettazione  $10^{-8}$  Pa·m<sup>3</sup>/s) sugli He cooling channel della gamba dritta con verifica di terza parte.



# ATTREZZATURE DI TRASPORTO E MOVIMENTAZIONE DELLE GAMBE



**Telaio di trasporto della gamba curva,  
movimentazione e carico**



**Telaio di trasporto della gamba dritta**



**Scarico della gamba dritta e gamba curva**

# ATTREZZATURE PER LAVORAZIONI, TRASPORTO E MOVIMENTAZIONE DELLE COVER



**Attrezzature per la lavorazione delle cover**



**Movimentazione e carico delle cover**

# STATO DELLE ATTIVITÀ

- ❑ 3 casing completati a fine giugno:
- ALTOM-A consegnato marzo-aprile;
- ASG-A, consegnato a maggio, cover da consegnare;
- ASG-B completo a fine giugno;
- Altri 5 casing sono in lavorazione, da completare nel 2015.

COIL CASING	CURVED LEG				STRAIGHT LEG						COVERS	SET
					STRAIGHT PART		ELBOWS		FIT_UP/TIG WELD	MACHINING/CH AMFERING		
	CUT/ROLL/TIG WELD	FIT-UP/ EB WELD	Accessories	MACHINING/CH AMFERING	CUT/FIT UP	EB WELD	CUT	FIT UP/ EB WELD				
1° COIL CASING SET- CS10 (ALSTOM-A)	done	done	JTAL4006-A	JTAL4006-A	done	JTAL4001-A	done	done	JTAL4010-A	JTAL4010-A	done	4/2015
2° COIL CASING SET- CS1 (ASG-A)	done	done	JTAL4006-A	JTAS4006-A	done	JTAS4001-A	done	done	JTAS4010-A	JTAS4010-A	done	5/2015
3° COIL CASING SET- CS2 (ASG-B)	done	done	JTAS4006-B	JTAS4006-B	done	JTAS4001-B	done	done	JTAS4010-B	chamfering	chamfering	6/2015
4° COIL CASING SET- CS11 (ALSTOM-B)	done	done	JTAL4006-B	finishing	done	JTAL4001-A	done	done	JTAL4010-B	finishing	on-going	2015
5° COIL CASING SET- CS3 (ASG-C)	done	done	JTAS4006-C	roughing	done	JTAS4001-C	done	done	JTAS4010-C	JTAS4010-C	on-going	
6° COIL CASING SET- CS12 (ALSTOM-C)	done	done	on-going	JTAL4006-C	done	JTAL4001-C	done	done	on-going	JTAL4010-C	on-going	
7° COIL CASING SET- CS4 (ASG_D)	done	done		JTAS4006-D	done	JTAS4001-D	done	on-going		JTAS4010-D	cut	
8° COIL CASING SET- CS13 (ALSTOM_D)	done	done		JTAL4006-D	done	JTAL4001-D	done			JTAL4010-D	cut	
9° COIL CASING SET- CS5 (ASG-E)	done				done	JTAS4001-E	done			JTAS4010-E	cut	
10° COIL CASING SET- CS14 (ALSTOM-E)	done				done	JTAL4001-E	on-going			JTAL4010-E	cut	
11° COIL CASING SET- CS6 (ASG-F)	done				done	JTAS4001-F					cut	
12° COIL CASING SET- CS15 (ALSTOM-F)	done				done	JTAL4001-F					cut	
13° COIL CASING SET- CS7 (ASG-G)	done				done	JTAS4001-G					cut	
14° COIL CASING SET- CS16 (ALSTOM_G)	done				done	JTAL4001-G					cut	
15° COIL CASING SET- CS8 (ASG-H)	done				done	JTAS4001-H					cut	
16° COIL CASING SET- CS17 (ALSTOM-H)	done				done	JTAL4001-H					cut	
17° COIL CASING SET- CS9 (ASG-I)	done				done	JTAS4001-I					cut	
18° COIL CASING SET- CS18 (ALSTOM-I)	done				done	JTAL4001-I					cut	

# CASING CS10 (ALSTOM-A)

## MARZO-APRILE 2015



Visita del Project leader di JT60SA e della delegazione JAEA in Walter Tosto, 9/3/2015



Lavorazioni finali sulla gamba curva



Visita della delegazione F4E, CEA, ALSTOM, 10/3/2015



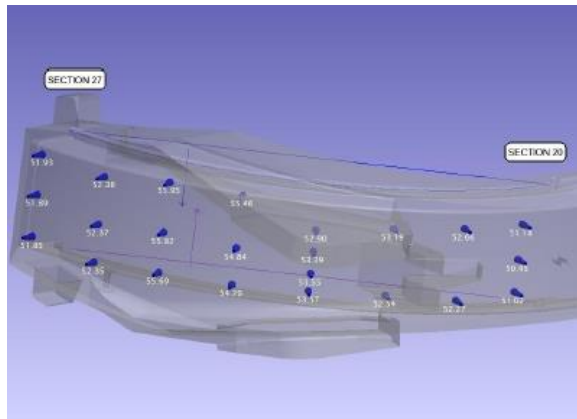
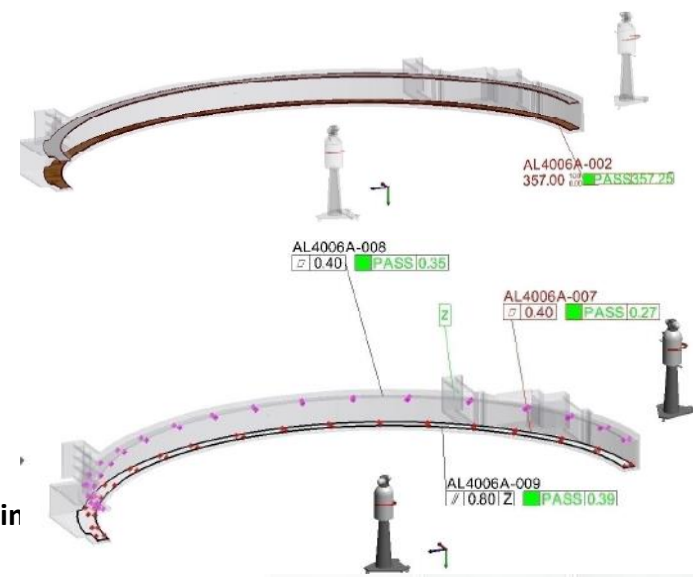
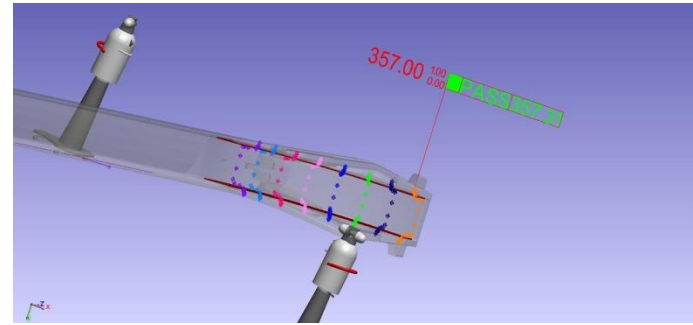
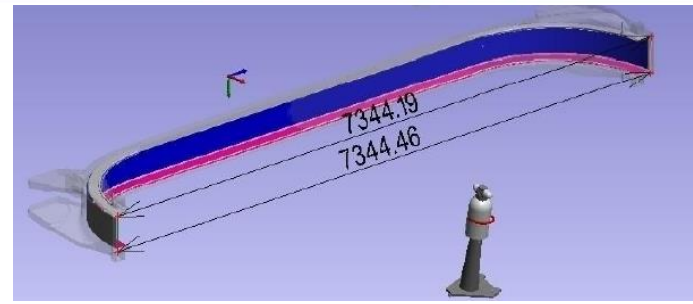
Inserimento bobina in ALSTOM, maggio 2015



# CASING CS10 (ALSTOM-A) CONTROLLI

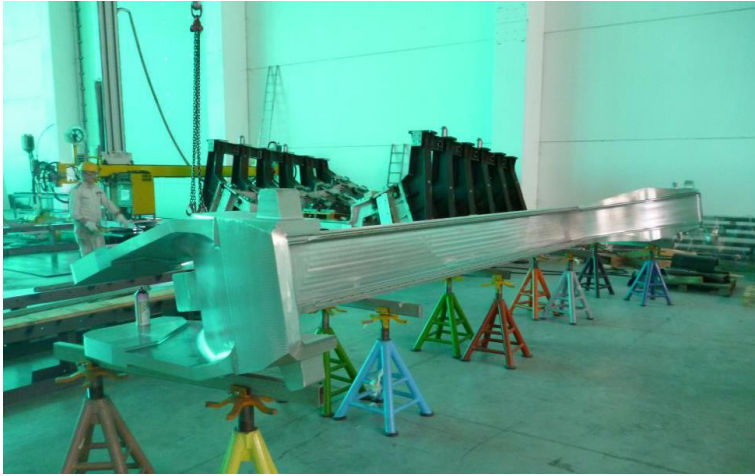
## Controlli su ALSTOM-A

- Le principali dimensioni della gamba dritta e gamba curva sono in tolleranza;
- Geometria del canale, planarità parallelismo e perpendicolarità delle superfici interne;
- Geometria dei cianfrini trasversali e longitudinali
- La corda
- Qualche non conformità minore:
  - sovravello sui supporti da rimuovere in fase di integrazione finale;
  - sovravello sulla base delle curve della gamba;
- Leak test, OK
- Roughness test, OK



# CASING CS01 (ASG-A)

## MAGGIO 2015



**Gamba dritta ASG-A**



**Dime di controllo**



**Controllo dimensionale con laser tracker della gamba curva ASG-A**



**Componenti in ASG**

# CASING CS02 (ASG-B)

- ❑ ASG-B, gamba dritta e gamba curva in fase di controllo dimensionale;
- Gamba curva completa, gamba dritta in fase di cianfrinatura, cover in lavorazione
- Tutti i componenti completi a fine giugno



# COMPONENTI IN LAVORAZIONE



Parti dritte per gambe dritte



Gomiti saldati (ALSTOM-C)



Semi-gomiti (ASG-D)



Gambe curve saldate EBW



Basi per gambe curve



Saldatura gomiti della gamba dritta (ASG-C)



Saldatura accessori su gamba curva (ALSTOM-C)



Tratti dritti delle cover

# DIFFUSIONE DEI RISULTATI

- ❑ **MIG** (Magnet Integration Group) meeting con frequenza settimanale con le altre associazioni europee (F4E, CEA) impegnate nel progetto JT-60SA;
- ❑ **TCM** (Technical Coordination Meeting) con frequenza trimestrale con tutti i partecipanti al progetto JT-60SA, tra cui le associazioni giapponese (JAEA) ed europee (*prossimo TCM: Genova, 29-30 Settembre 2015*).
- ❑ **CONFERENZE:**
  - ✓ ISFNT, Barcellona, Spagna, 16-20 Sept 2013, “Technical aspects and manufacturing methods for JT-60SA TF coil casings”;
  - ✓ al Monaco ITER International Fusion Energy Days (MIIFED 2013), Dec 2-4 2013, “JT-60SA TF coil casings: technical solutions and manufacturing strategy”;
  - ✓ *Magnet Technology (MT), Seoul, 18-23 Oct 2015 “Manufacturing of the casing components for JT-60SA toroidal field coils”.*
- ❑ **in ENEA:**
  - ✓ Report Ricerca di Sistema Elettrico: RdS/PAR2013/201, RdS/PAR2013/202, RdS/2013/259, RdS/2013/186, RdS/2012/256, RdS/2011/377;
  - ✓ Fusion Progress Report 2012, Fusion Progress Report 2013;
  - ✓ Seminari dedicati alle attività per JT60SA: ENEA Frascati (12/12/2013), ENEA Frascati (30/06/2014), **ENEA Sede Legale (19/06/2015)**.

## Attività completate:

- Mock-ups
- Attività di ingegneria:
  - Progettazione casing
  - procedure, qualifiche e validazione processi
- Completate le attrezzature per lavorazioni, montaggi e trasporto
- I primi 3 casing sono completati (fine giugno 2015)
- Ulteriori 5 casing sono in fase di composizione e/o lavorazione meccanica
- Tutti componenti da lamiera sono stati tagliati, lavorati e pronti per la composizione successiva

## Attività future:

- I primi 8 Casing (4 ASG e 4 ALSTOM) saranno completati entro il 2015
- Completamento dei 18 casing previsto entro il primo semestre del 2017

