



Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie,  
l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile



*Ministero dello Sviluppo Economico*

## RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Attrezzature ed impianti necessari per la realizzazione delle  
sequenze costruttive della Bobina JT60SA  
e ordini emessi da ASG

*G.M. Polli, P. Rossi, L. Di Pace, A. Cucchiaro*



ATTREZZATURE ED IMPIANTI NECESSARI PER LA REALIZZAZIONE DELLE SEQUENZE  
COSTRUTTIVE DELLA BOBINA JT60SA E ORDINI EMESSI DA ASG

G.M. Polli, P. Rossi, L. Di Pace, A. Cucchiaro (ENEA)

Novembre 2011


Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA

Area: Governo, gestione e sviluppo del sistema elettrico nazionale

Progetto: Fusione nucleare: Attività di fisica e tecnologia della fusione complementari ad ITER,  
denominate "Broader Approach"


Responsabile Progetto: Aldo Pizzuto, ENEA

	<b>ATTREZZATURE ED IMPIANTI NECESSARI PER LA REALIZZAZIONE DELLE SEQUENZE COSTRUTIVE DELLA BOBINA JT60SA E ORDINI EMESSI DA ASG</b>	RT-JT60SA-003	Rev. 0
		Pag 1 di 23	

**ATTREZZATURE ED IMPIANTI NECESSARI PER LA REALIZZAZIONE DELLE  
SEQUENZE COSTRUTIVE DELLA BOBINA JT60SA  
E ORDINI EMESSI DA ASG**

**Rev. 0 03 Maggio 2011**

0	03/05/2011	Gian Mario Polli Paolo Rossi	Luigi Di Pace	Antonio Cucchiaro
Rev.	Date	Author	Reviewer	Approver

	<b>ATTREZZATURE ED IMPIANTI NECESSARI PER LA REALIZZAZIONE DELLE SEQUENZE COSTRUTIVE DELLA BOBINA JT60SA E ORDINI EMESSI DA ASG</b>	<b>RT-JT60SA-003</b>	<b>Rev. 0</b>
		<b>Pag 1 di 23</b>	

## **1. ATTREZZATURA PER L'ISOLAMENTO CONTROMASSA E LA COMPOSIZIONE DELL BOBINE**

### **1.1. GENERALITA'**

Il documento fornisce la definizione funzionale dell'attrezzatura per l'esecuzione delle nastature di isolamento contromassa e per la composizione del WP.

Il layout dell'attrezzatura ha recepito:

- la necessità di creare un riferimento geometrico valido, che potesse variare in funzione della crescita dell'isolamento di contromassa intorno all'elemento supportato (doppio pancake -DP o avvolgimento bobina - WP);
- la necessità di accedere con le staffe di aggancio del bilancino di movimentazione, senza interferire con il sistema di supporto;
- la necessità di accedere a tutta la superficie dell'elemento in lavorazione, per la realizzazione dell'isolamento di contromassa, prevedendo quindi la possibilità di rimuovere temporaneamente alcuni elementi di supporto;
- la necessità di contenere la deflessione verticale dei tratti non supportati, particolarmente evidente prima dell'esecuzione delle nastature di contromassa, quando non ci si attende alcuna collaborazione tra le spire ad aumentare la rigidità flessionale della sezione.

Calcolando, in prima approssimazione, la deflessione del cavo tra due supporti (o agganci) adiacenti con la formula della trave appoggiata agli estremi e soggetta ad un carico uniformemente distribuito, si è verificato che dieci punti di supporto uniformemente distribuiti lungo il perimetro consentono di mantenerne il valore entro 0.5 mm, ritenuto ragionevolmente limitato.

Si è studiato soltanto il caso del DP, ma evidentemente le soluzioni adottate sono concettualmente valide anche per il WP, fatto salvo un diverso dimensionamento in funzione dei carichi e della geometria del WP. Si osserva che ciò non preclude, qualora sia compatibile con la sequenza operativa e con la tempistica, alla realizzazione di un'unica attrezzatura, polivalente, adatta sia alla lavorazione del DP che del WP.

### **1.2. DESCRIZIONE DELL'ATTREZZATURA**

L'attrezzatura ipotizzata consta di 20 supporti regolabili, disposti a coppie, collocati lungo il perimetro dell'avvolgimento secondo il layout raffigurato in Fig. 1. I supporti sono ancorati al pavimento, e la loro posizione e quota del piano di appoggio viene misurata e quindi modificata fino a coincidere, a meno delle tolleranze accettate, con quelle teorica prevista a disegno.

A questo scopo, il piede di ciascun supporto è dotato di sistemi di regolazione dell' altezza, dell'inclinazione e della posizione nel piano (Fig. 2 e 3). L'ancoraggio del supporto è realizzato in modo da consentirne il rapido smontaggio e rimontaggio, in modo da agevolare le operazioni durante la nastratura di contromassa; opportune spine di centraggio, le cui forature vengono realizzate in opera, dopo l'allineamento definitivo, consentono di ripristinare sempre la posizione corretta.

La testa del supporto è dotata infine sia di un sistema a cuneo di scorrimento, che consente di abbassare la quota del piano di appoggio e quindi agevolare l'estrazione del supporto, che di una spina di riferimento sul profilo interno, intercambiabile con altre di diametro decrescente in modo da compensare la crescita dello spessore di contromassa durante la nastratura (fig. 4-5).

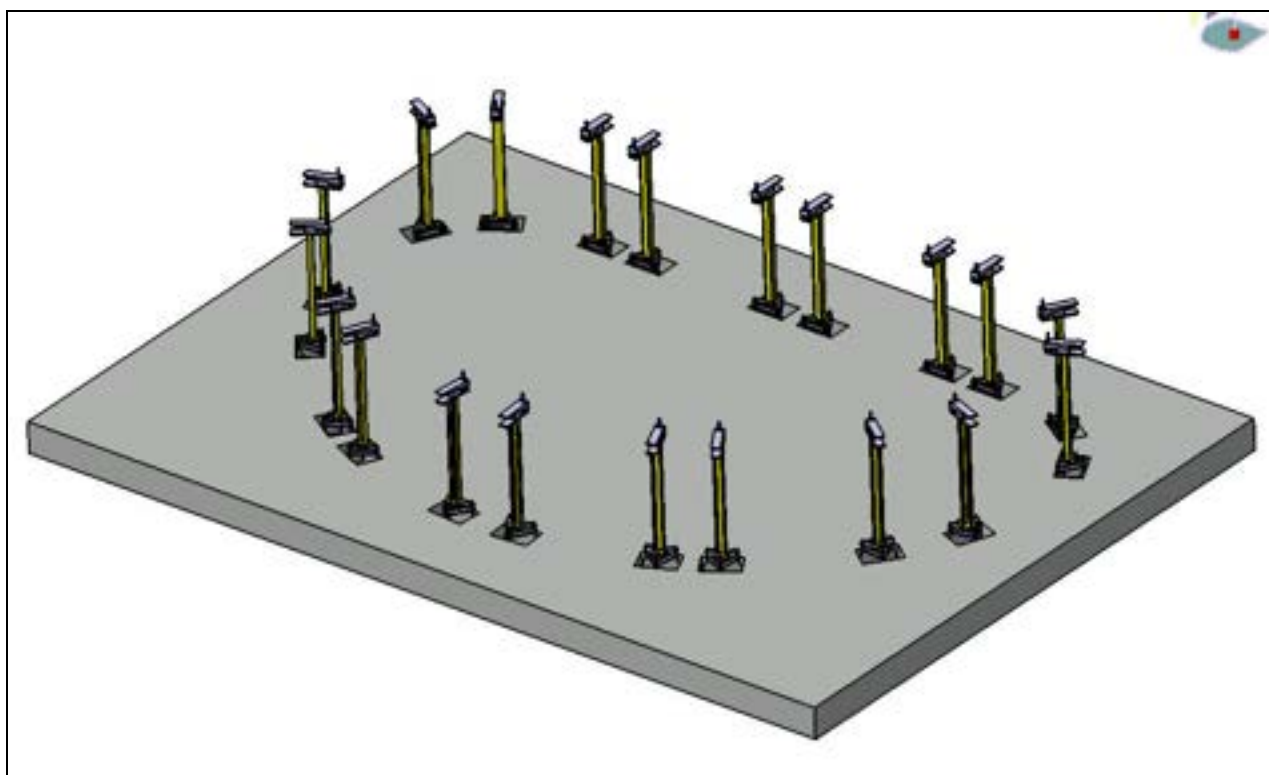


Fig. 1: layout supporti attrezzatura composizione

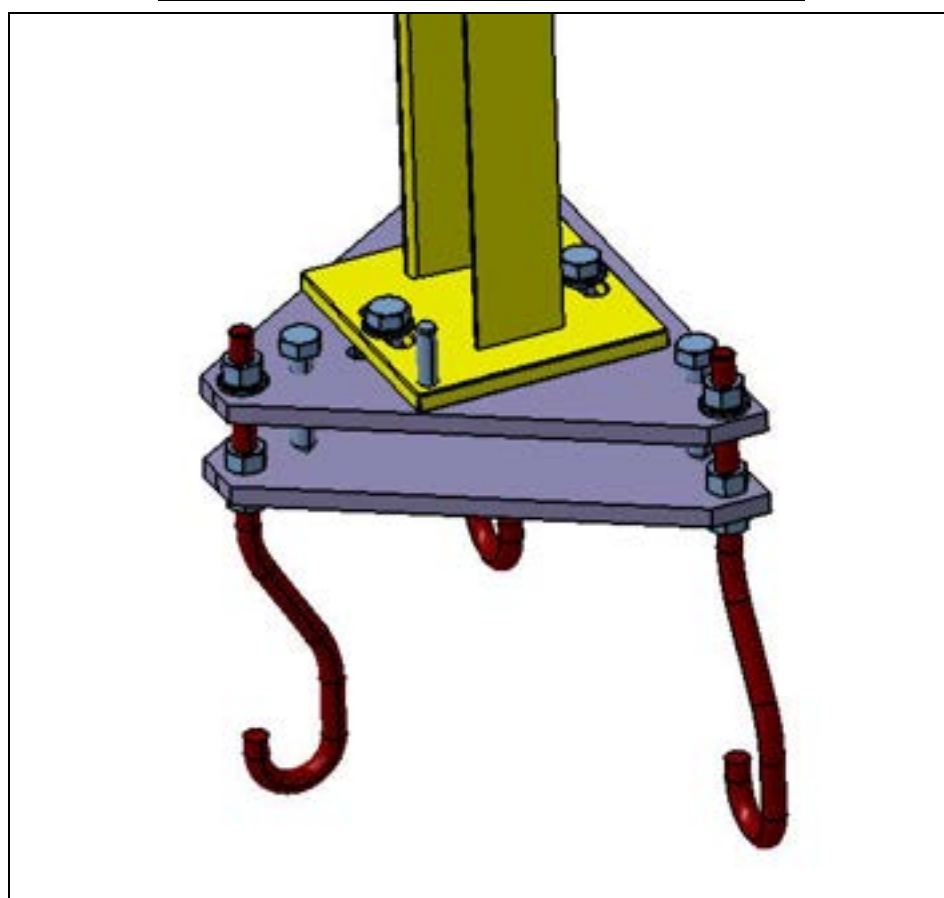
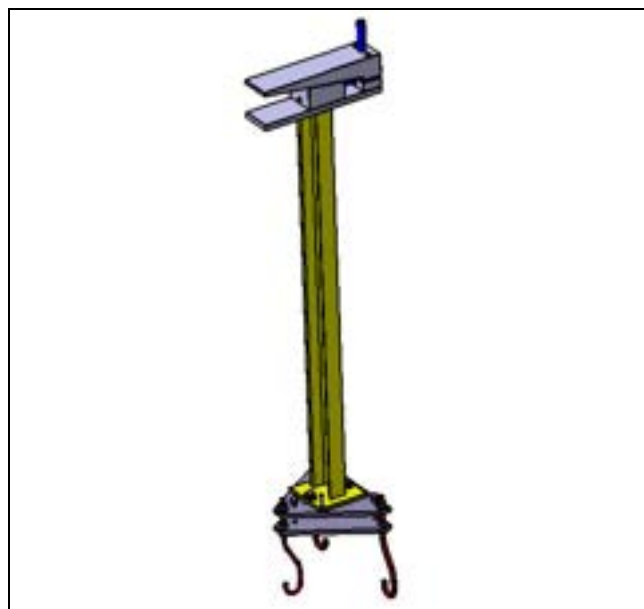


Fig. 2 -3: assieme e dettaglio supporto

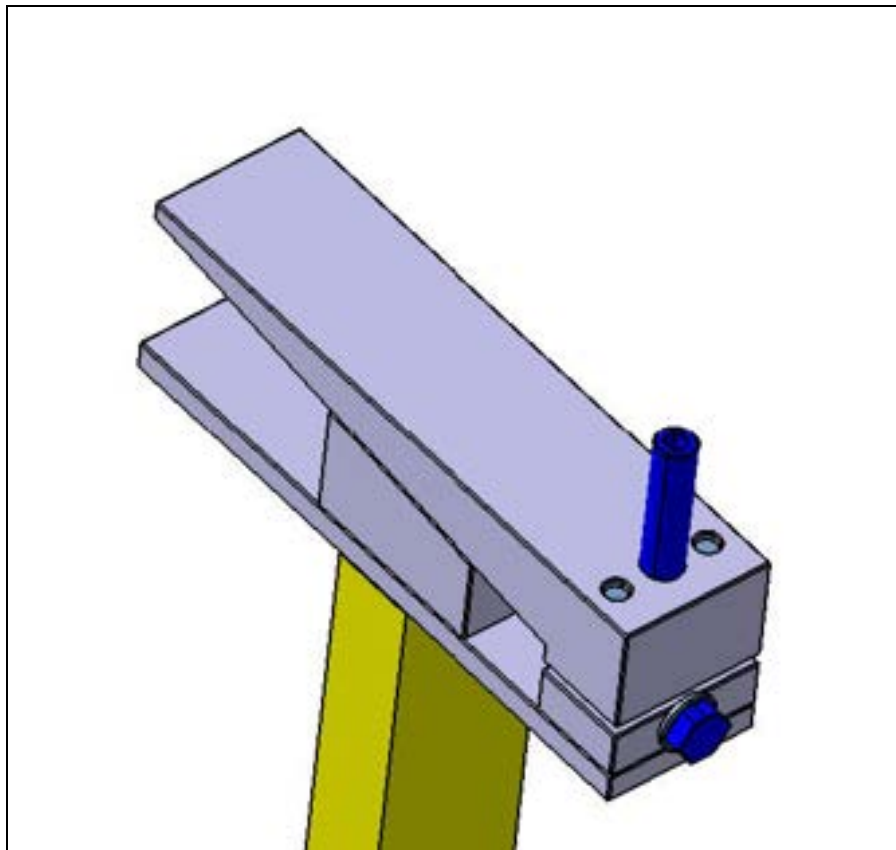
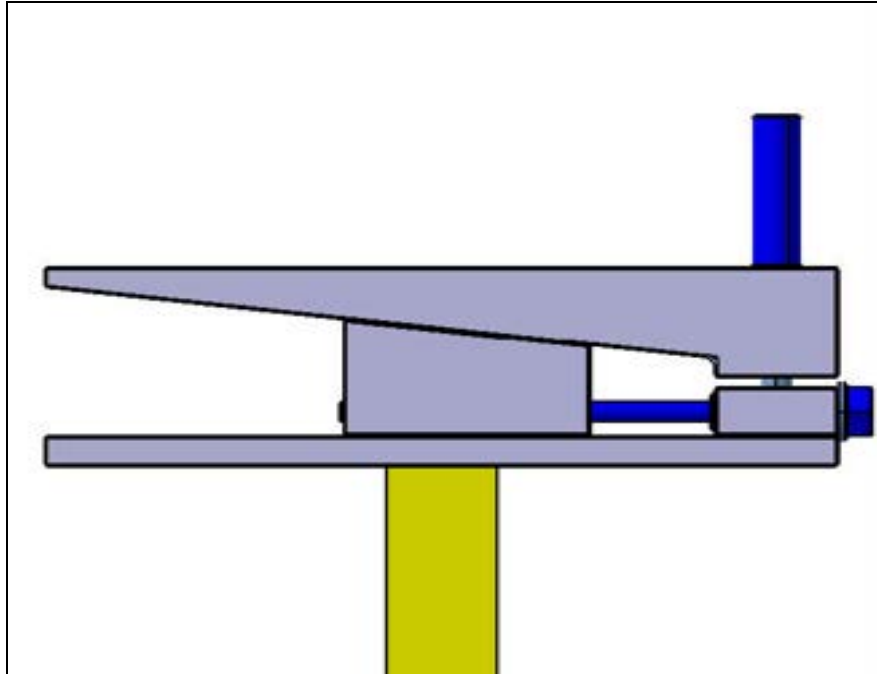



Fig. 4-5: dettagli testa supporto

	<b>ATTREZZATURE ED IMPIANTI NECESSARI PER LA REALIZZAZIONE DELLE SEQUENZE COSTRUTIVE DELLA BOBINA JT60SA E ORDINI EMESSI DA ASG</b>	<b>RT-JT60SA-003</b>	<b>Rev. 0</b>
		<b>Pag 5 di 23</b>	

Si suppone inoltre che siano disponibili le seguenti attrezzature:

- carro-ponte di portata adeguata;
- bilancino di sollevamento e trasporto DP/WP.

### 1.3. FUNZIONAMENTO E SEQUENZA OPERATIVA

Il DP (o il WP), agganciato all' apposito bilancino, viene posizionato sopra i supporti dell'attrezzatura, e quindi calato in appoggio su di esso; le spine di centraggio sulla testa dei supporti provvedono al centraggio ed al mantenimento della forma (Fig. 6-7). Si osservi che le staffe di aggancio al bilancino cadono tra supporti adiacenti.

Sganciato ed allontanato il bilancino, gli operatori possono accedere all'area di operazione ed iniziare la nastratura di contromassa (Fig. 8).

Giunti in corrispondenza di una coppia di supporti, per procedere con la nastratura gli operatori ne rimuovono uno alla volta (Fig. 9), mantenendo sostanzialmente invariato lo schema di supporto e, di conseguenza, le deformazioni nel piano.

Agendo sul cuneo di scorrimento e sostituendo la spina di centraggio, si provvede a compensare lo spessore aggiunto con la nastratura e quindi ad adeguare il riferimento di forma alle nuove dimensioni dell'elemento in lavorazione.

Terminata la nastratura, il DP (o il WP) può essere riagganciato al bilancino di trasferimento e ricollocato in altra postazione (di lavorazione o di attesa) prevista nel ciclo di produzione.

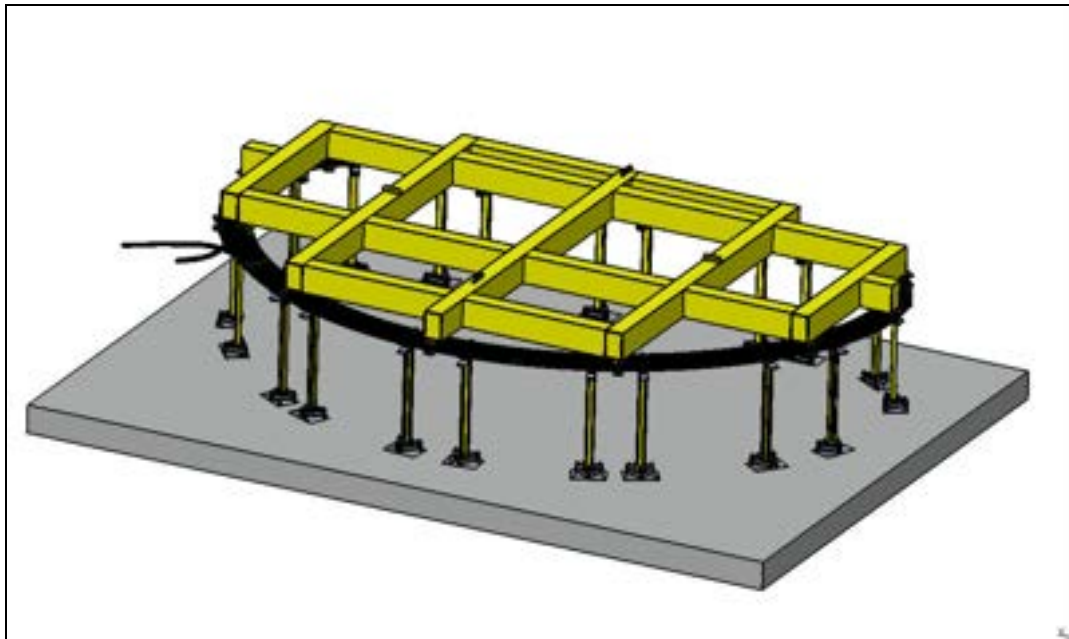
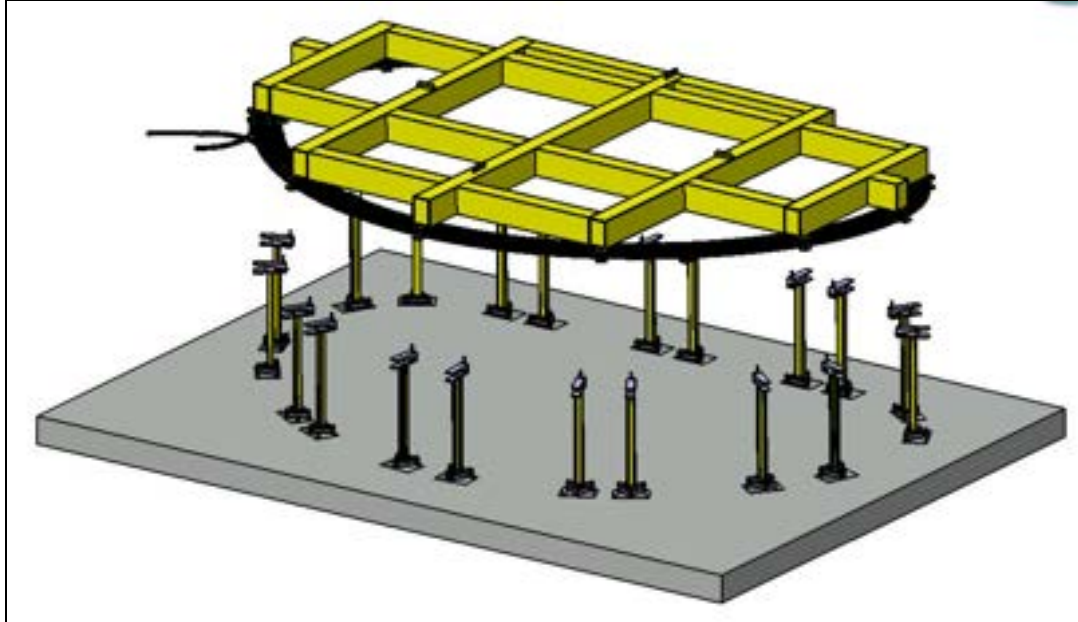
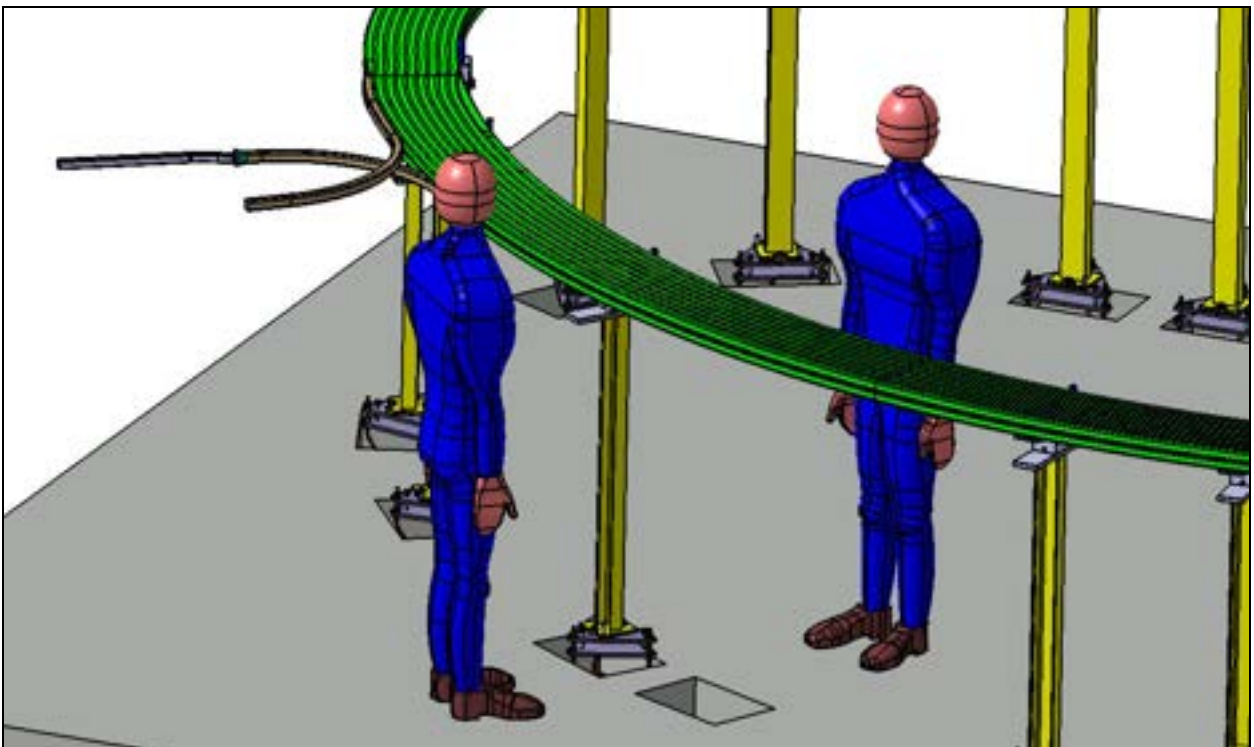
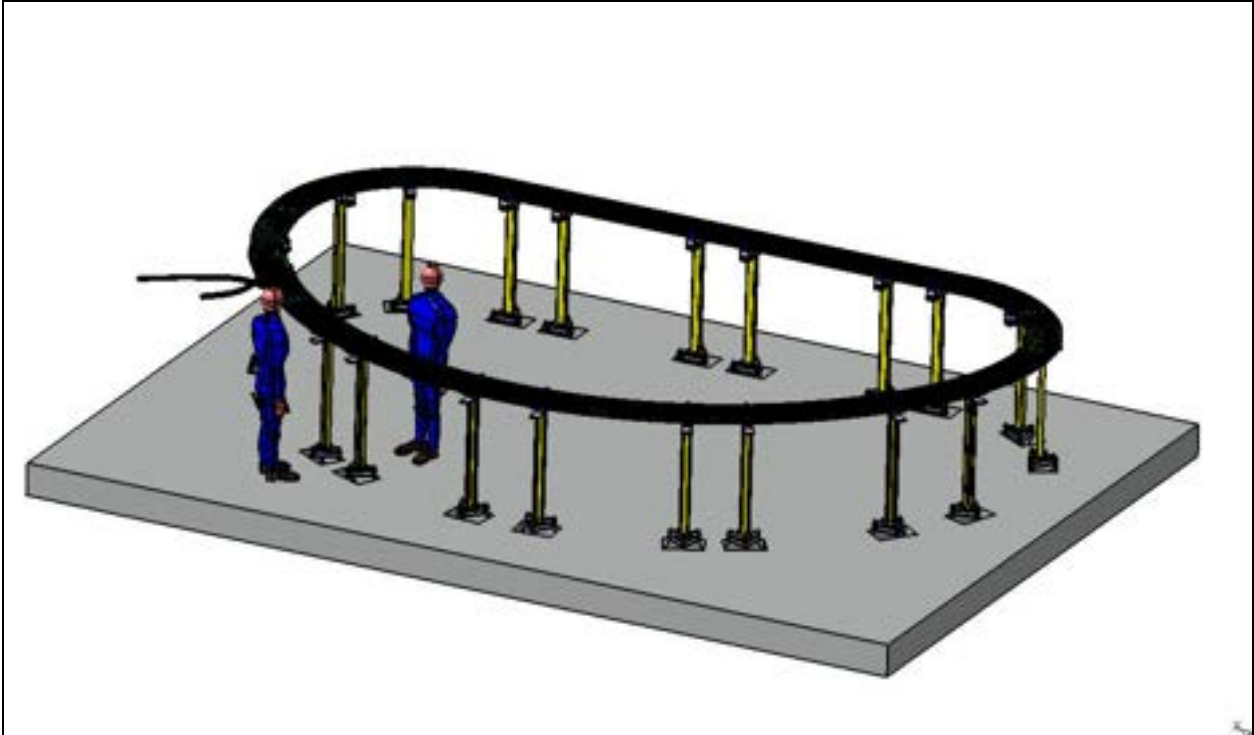



Fig. 6-7: posizionamento ed appoggio DP su attrezzatura



	<b>ATTREZZATURE ED IMPIANTI NECESSARI PER LA REALIZZAZIONE DELLE SEQUENZE COSTRUTIVE DELLA BOBINA JT60SA E ORDINI EMESSI DA ASG</b>	<b>RT-JT60SA-003</b>	<b>Rev. 0</b>
		<b>Pag 8 di 23</b>	

## 2. ATTREZZATURA PER LA MANIPOLAZIONE DELLA BOBINA

### 2.1. GENERALITA'

Scopo dello studio è la definizione funzionale dell'attrezzatura di sollevamento ("bilancino") per il trasporto del DP.

Il layout dell'attrezzatura fa riferimento a:

- la necessità di sospendere il DP (peso stimato 0.9 ton) o il WP (peso stimato 5.2 tons) in posizioni tali da consentire la compatibilità con le attrezzature di avvolgimento, nastratura ed impregnazione, che a loro volta dovranno considerare questo aspetto;
- la necessità di contenere la deflessione verticale dei tratti non supportati, particolarmente evidente prima dell'esecuzione delle nastrature di contromassa, quando non ci si attende alcuna collaborazione tra le spire ad aumentare la rigidità flessionale della sezione;
- la necessità di limitare l'ingombro verticale compatibilmente con gli spazi utili di manovra delle gru a ponte disponibili nello stabilimento ASG.

Calcoli preliminari, che tenevano conto sia dello schema di sospensione del bilancino che della rigidità dello stesso e del singolo jacket, hanno consentito di individuare un dimensionamento ottimizzato su uno schema a 12 punti di aggancio del DP, che consentisse di limitare le deflessioni verticali entro 0.5 mm, valore ritenuto ragionevole.

Si è studiato soltanto il caso del DP, ma evidentemente le soluzioni adottate sono concettualmente valide anche per il WP, fatto salvo un diverso dimensionamento in funzione dei carichi e della geometria del WP. In particolare, la nastratura di contromassa del WP si presuma indurrà una maggiore collaborazione strutturale tra le spire, per cui potranno essere necessari meno punti di aggancio del WP al bilancino. Si osserva che ciò non preclude, qualora sia compatibile con la sequenza operativa e con la tempistica, alla realizzazione di un'unica attrezzatura, polivalente, adatta sia alla lavorazione del DP che del WP.

### 2.2. DESCRIZIONE DELL'ATTREZZATURA

L'attrezzatura ipotizzata consta di un telaio elettrosaldato di profili scatolati in Fe430B (vedi Fig. 1), con una geometria tale da consentire di collocare, in posizione ottimizzata per la minimizzazione delle deflessioni verticali, 12 punti di aggancio del DP.

Il bilancino viene sospeso al gancio della gru mediante maniglioni e braghe di sollevamento, ancorati a 4 piastre forate disposte simmetricamente rispetto al baricentro e munite di più fori, per compensare asimmetrie e disuniformità del carico (Fig. 2).

Il DP viene ancorato al bilancino mediante agganci a doppia piastra (Fig. 3), le cui superfici di contatto con il carico sono protette con lamine di vetronite. Il sistema é studiato perché un serraggio eccessivo dei dadi di chiusura non possa causare lo schiacciamento delle spire.

Il bilancino potrebbe essere dimensionato per il carico del WP: in tal caso, per rendere l'attrezzo polivalente, bisognerebbe prevedere una seconda serie di staffe di aggancio ad altezza maggiorata, in grado di alloggiare la sezione

Si suppone inoltre che sia disponibile un carro-ponte di portata adeguata, avente un'altezza di lavoro sotto gancio pari ad almeno 5500 mm.

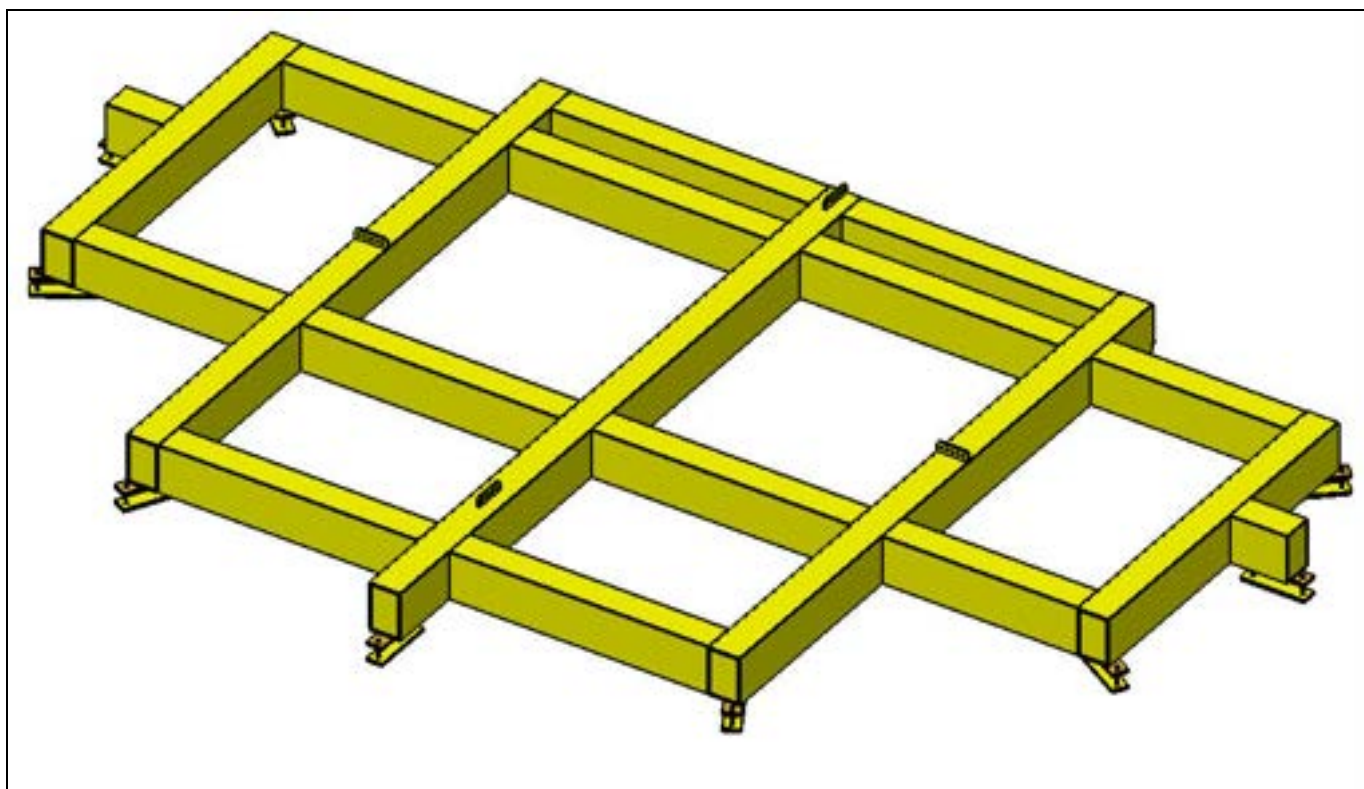


Fig. 1: layout bilancino

<b>ENEA</b> UTFUS	<b>ATTREZZATURE ED IMPIANTI NECESSARI PER LA REALIZZAZIONE DELLE SEQUENZE COSTRUTIVE DELLA BOBINA JT60SA E ORDINI EMESSI DA ASG</b>	<b>RT-JT60SA-003</b>	<b>Rev. 0</b>
		<b>Pag 10 di 23</b>	

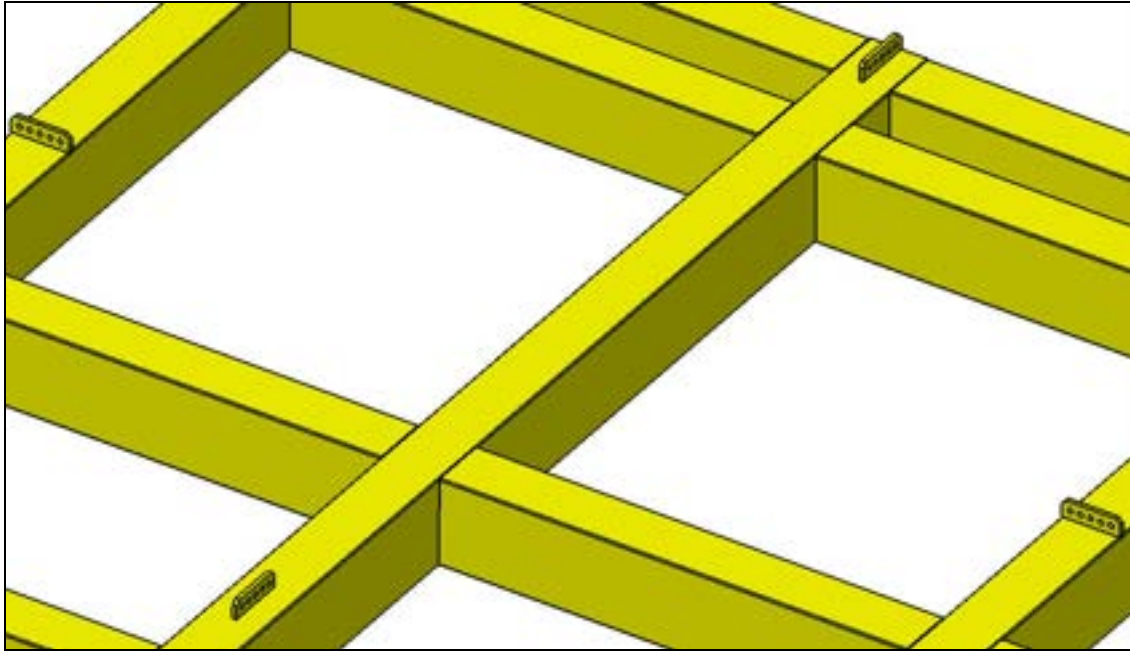


Fig. 2: dettaglio agganci a carro ponte

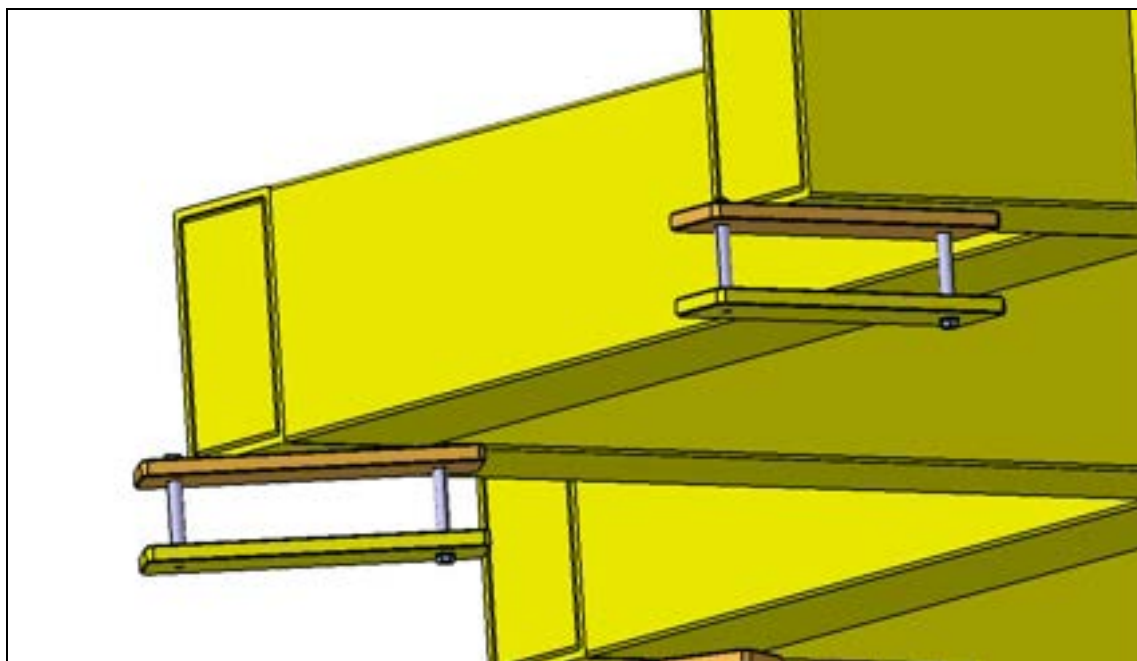


Fig. 3: dettaglio aggancio DP

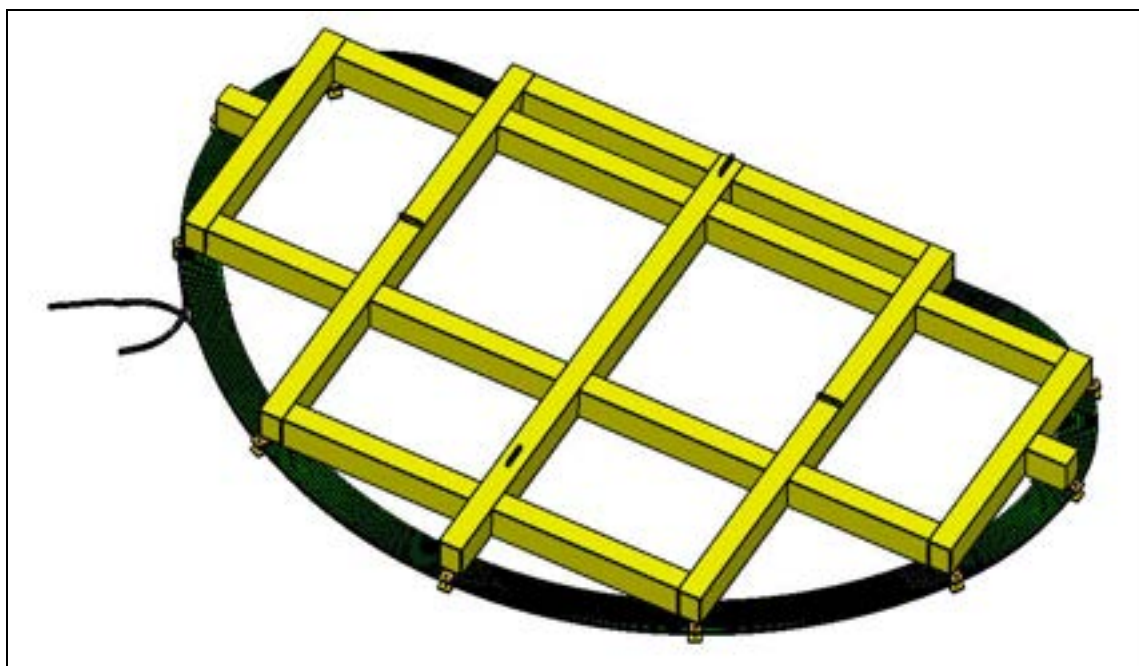



Fig. 4:DP sul bilancino

	<b>ATTREZZATURE ED IMPIANTI NECESSARI PER LA REALIZZAZIONE DELLE SEQUENZE COSTRUTIVE DELLA BOBINA JT60SA E ORDINI EMESSI DA ASG</b>	<b>RT-JT60SA-003</b>	<b>Rev. 0</b>
		<b>Pag 12 di 23</b>	

### 2.3 FUNZIONAMENTO E SEQUENZA OPERATIVA

Dopo aver ancorato il DP (o il WP al bilancino mediante i 12 agganci a doppia piastra (Fig. 4), l'assieme così costituito viene imbragato sui 4 punti di ancoraggio previsti, avendo cura di installare braghe di pari lunghezza, di cui 2 su piani opposti munite di tenditori per eseguire un livellamento fine del carico. Si può quindi procedere al sollevamento.

## 3. ATTREZZATURA DI IMPREGNAZIONE BOBINE TOROIDALI

### 3.1. GENERALITA'

Il documento definisce l'attrezzatura per l'impregnazione del WP.

Il dimensionamento preliminare ha considerato l'applicazione di una pressione di compattazione degli avvolgimenti pari a 10 kg/cm<sup>2</sup>; il telaio inferiore di supporto è stato strutturato per limitare le deflessioni verticali intorno a 0.5 mm; il layout dell'attrezzatura fa inoltre riferimento a:

- la necessità di limitare le tolleranze geometriche della superficie esterna della bobina;
- le indicazioni di calcolo preliminari, indicano che per effetto del riscaldamento alla temperatura di polimerizzazione di parti con diversi coefficienti di dilatazione lineare, un'elevata probabilità di distacco (e quindi di perdita del controllo sulla geometria) sulla superficie interna del WP;
- l'eventualità di un contenimento esterno per l'isolamento sotto vuoto.

S'intende che, alla luce dei risultati dell'indispensabile fase di qualifica necessaria alla validazione delle ipotesi di calcolo e di lavoro assunte, le scelte preliminari di seguito descritte potranno essere oggetto di varianti anche consistenti.

## 4. DESCRIZIONE DELL'ATTREZZATURA

L'attrezzatura ipotizzata consta principalmente dei seguenti elementi:

- telaio inferiore di supporto, composto saldato di scatolati commerciali corredato di piastra di base per tenuta di contenimento vuoto e blocchi di supporto ed ancoraggio delle strutture di pressatura degli avvolgimenti (Fig. 1a e 1b);

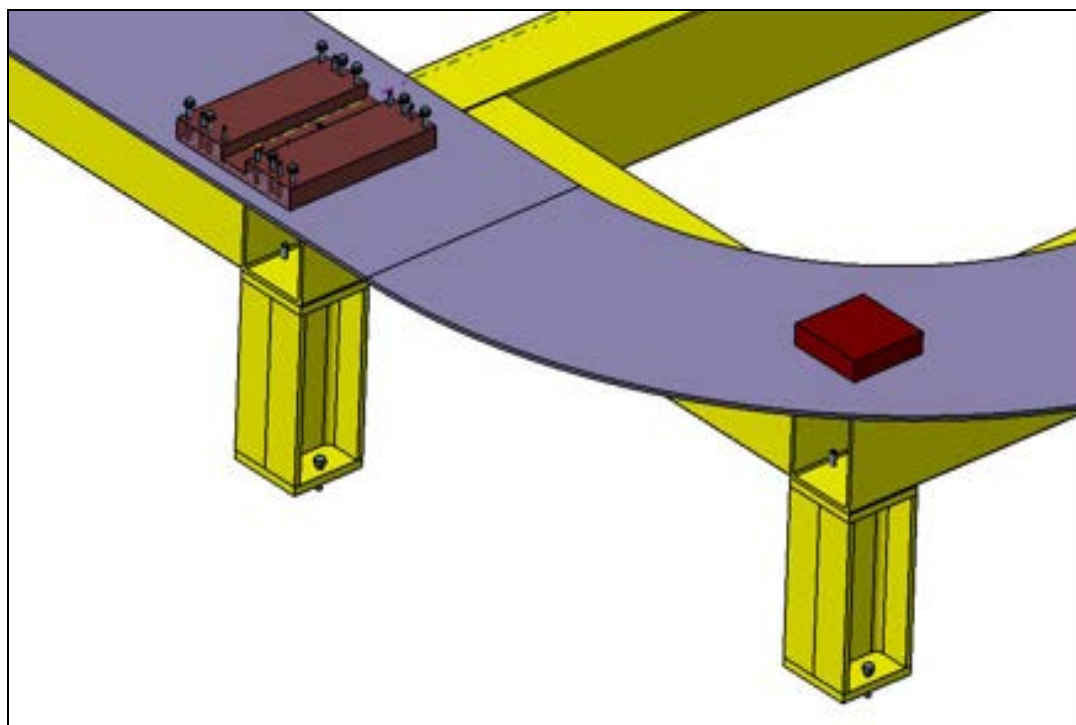
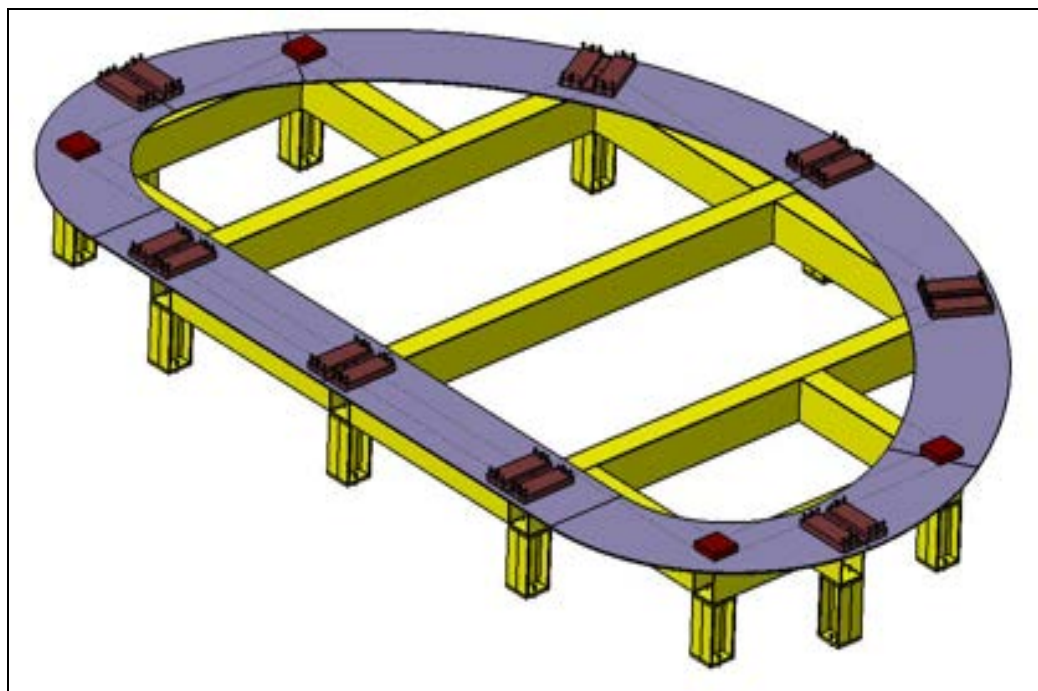


Fig. 1a/1b: telaio di supporto (sinistra) e dettaglio blocchi ancoraggio (destra)

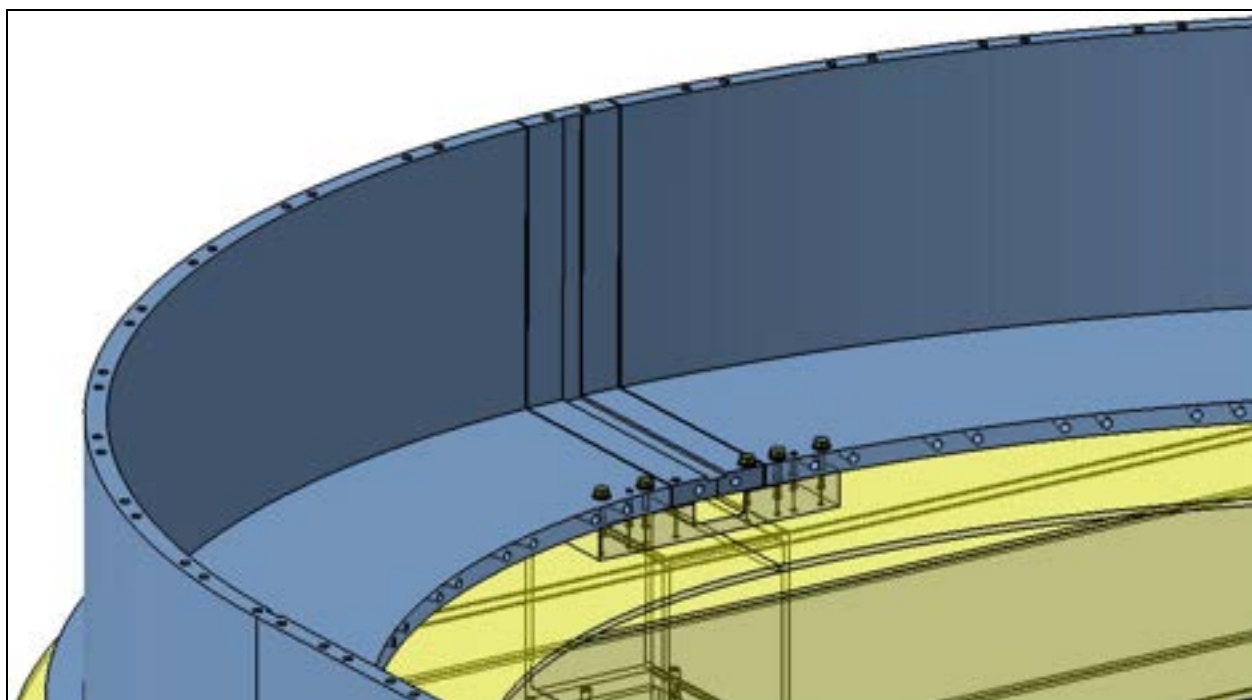
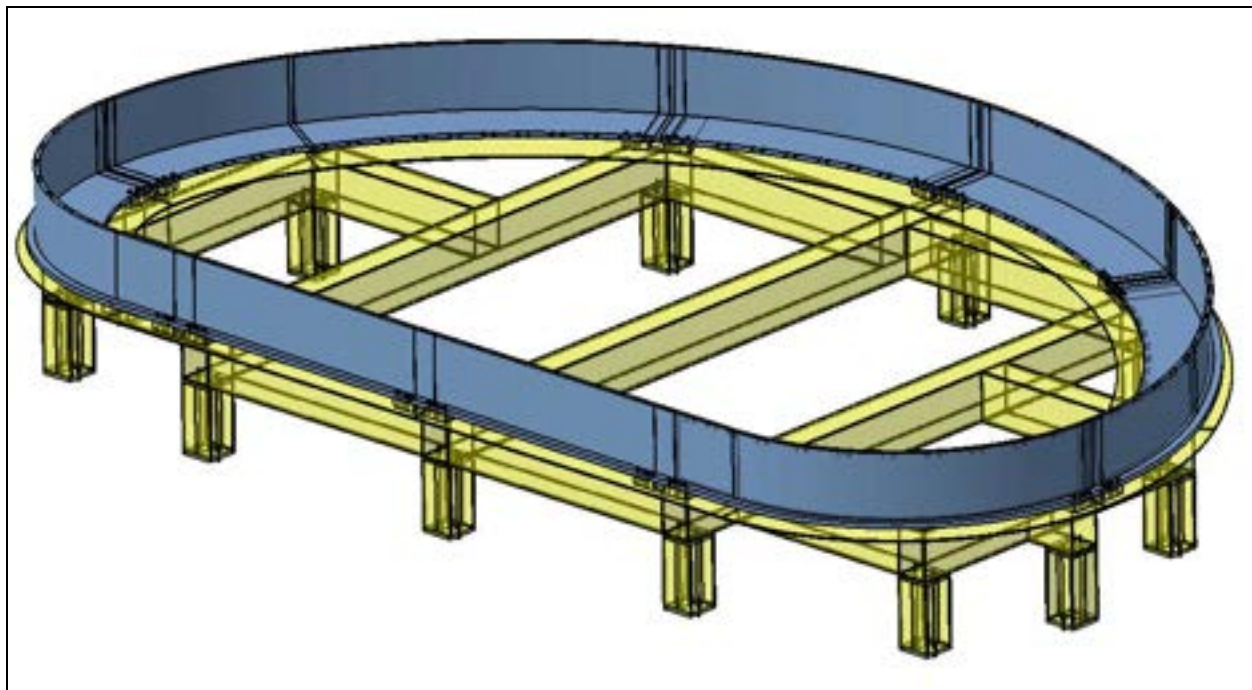



Fig. 2a/2b: spalla esterna contenimento su supporto (sinistra) e dettaglio apertura alloggiamento aggancio bilancino (destra)

	<b>ATTREZZATURE ED IMPIANTI NECESSARI PER LA REALIZZAZIONE DELLE SEQUENZE COSTRUTIVE DELLA BOBINA JT60SA E ORDINI EMESSI DA ASG</b>	<b>RT-JT60SA-003</b>	<b>Rev. 0</b>
		<b>Pag 15 di 23</b>	

- parete esterna di contenimento, in piastre saldate, scomponibile in settori e dotata di aperture per l'alloggiamento degli agganci del bilancino di trasporto WP (Fig. 2a e 2b);
- camera di contenimento resina, in settori di lamierino sottile di acciaio inox, composta intorno al WP unendo con saldatura (su bandelle di copertura giunto, a protezione degli isolamenti) 2 semigusci sagomati ad "L" (Fig. 3a e 3b);
- "sergenti" di serraggio, per applicare la pressione richiesta alla compattazione degli avvolgimenti, corredati di viti di serraggio e piastre per la ripartizione della pressione sulla camera di contenimento resina (Fig. 4a e 4b).

L'attrezzo nel suo insieme é descritto nelle figure 5a/5b. Per l'esecuzione delle operazioni, si é assunto che siano inoltre disponibili le seguenti attrezzature:

- carro-ponte di portata adeguata;
- bilancino di sollevamento e trasporto WP;
- postazione di composizione a supporti smontabili (analoga alla stazione di nastratura).

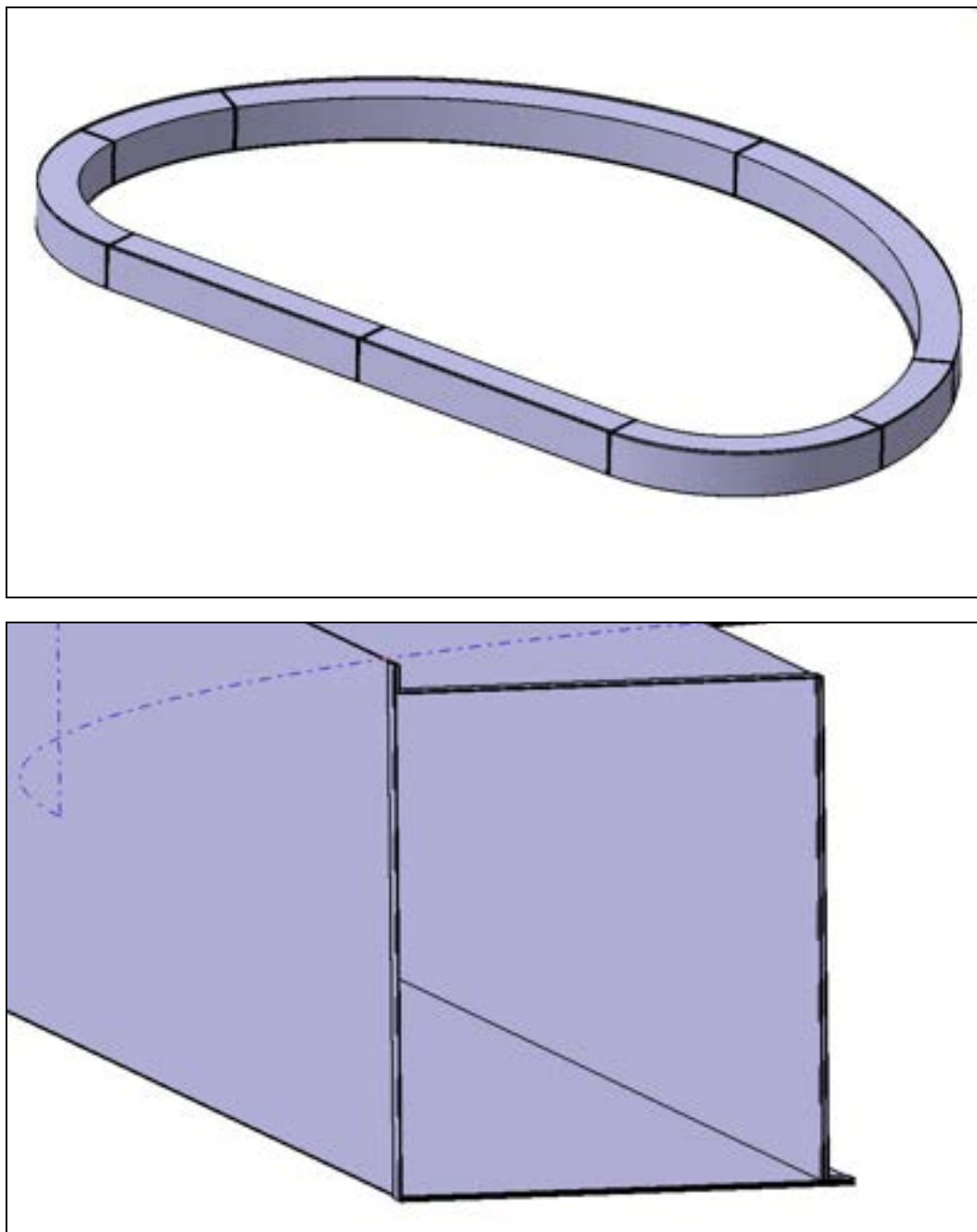


Fig. 3a/3b: camera contenimento (sinistra) e dettaglio sezione (destra)

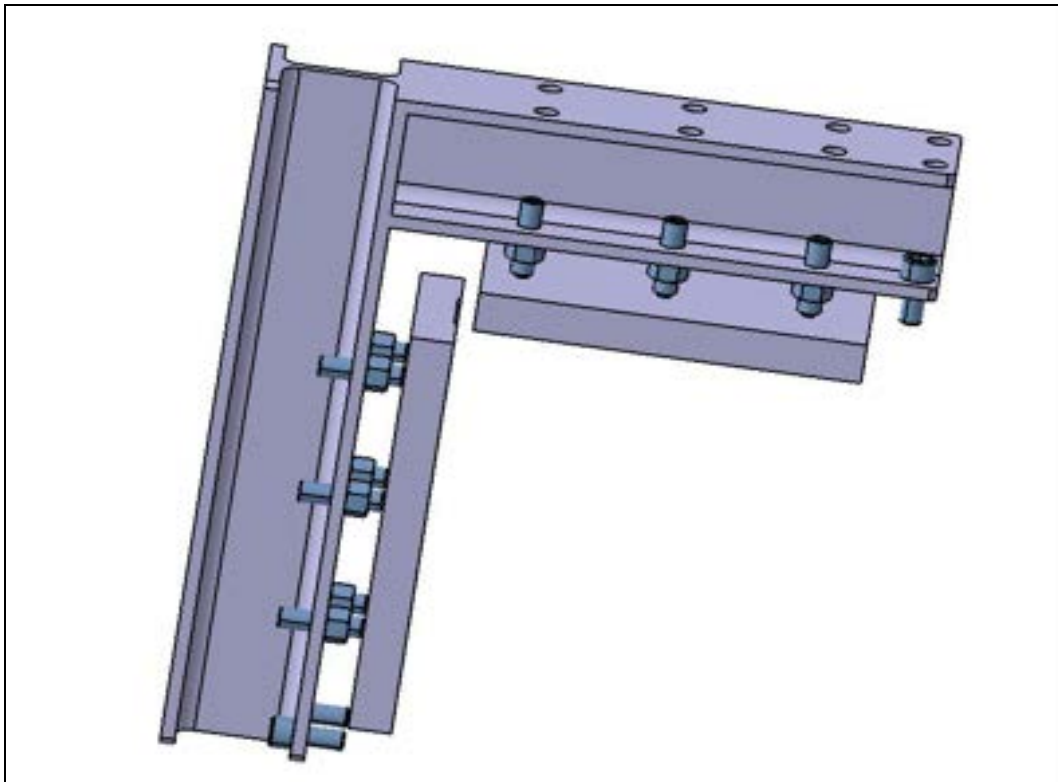
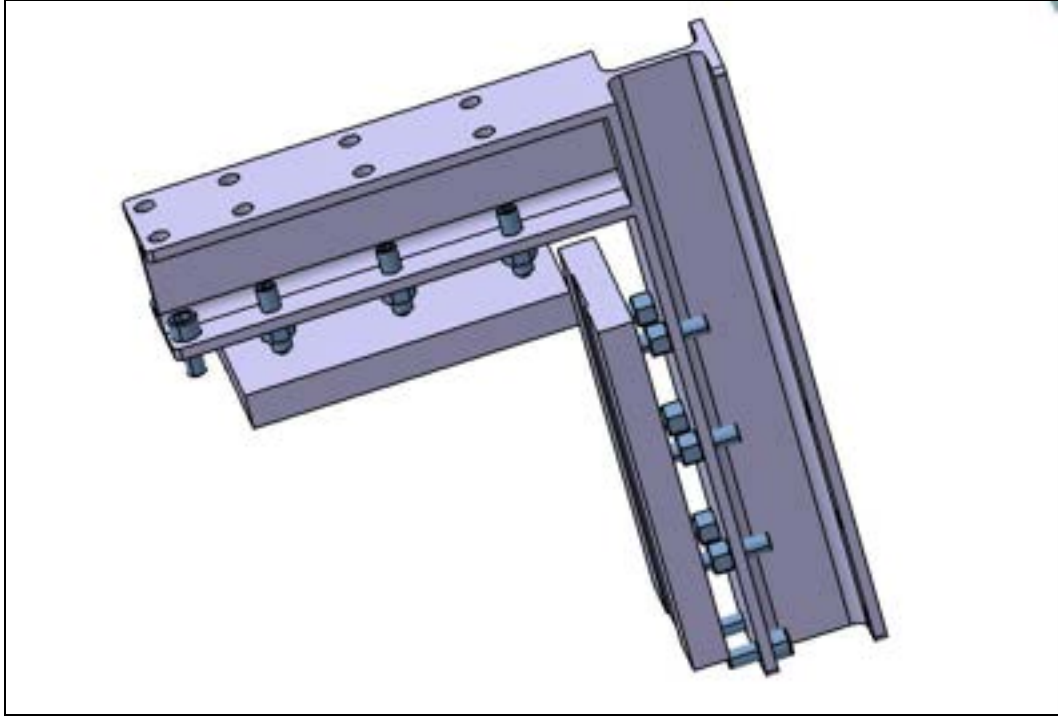


Fig. 4a/4b: "sergente" di pressatura con piastre ripartizione carico (tipico)

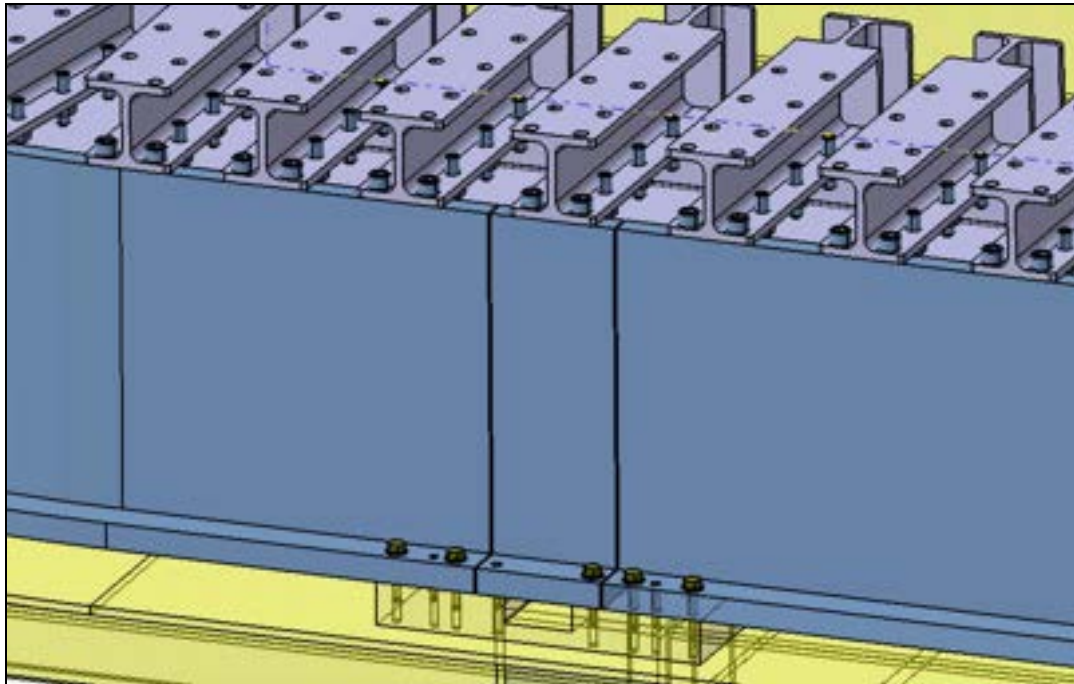
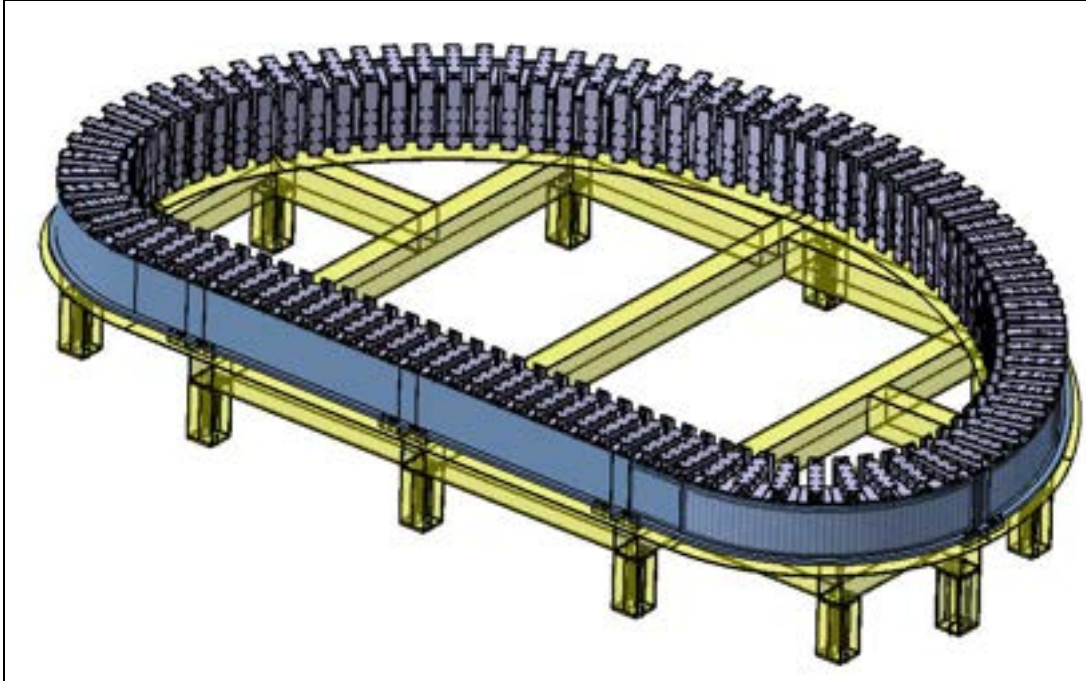



Fig. 5a/5b: assieme attrezzatura (sinistra) e dettaglio fissaggio sergenti a spalla esterna (destra)

	<b>ATTREZZATURE ED IMPIANTI NECESSARI PER LA REALIZZAZIONE DELLE SEQUENZE COSTRUTIVE DELLA BOBINA JT60SA E ORDINI EMESSI DA ASG</b>	<b>RT-JT60SA-003</b>	<b>Rev. 0</b>
		<b>Pag 19 di 23</b>	


## 5. FUNZIONAMENTO E SEQUENZA OPERATIVA

Il WP viene dapprima collocato su una postazione a supporti smontabili, funzionalmente analoga alla postazione di nastratura, dove viene racchiuso nella camera di contenimento resina, che di fatto gli viene assemblata attorno. Può essere prevista l'interposizione, tra bobina e camera di contenimento, di pannelli scanalati in PTFE aventi lo scopo di agevolare il flusso della resina durante l'impregnazione. Le Fig. 6a e 6b illustrano l'inizio e il completamento di tale operazione (supportazione non rappresentata).

L'assieme WP + camera contenimento resina così costituito viene imbragato con apposito bilancino di sollevamento e calato all'interno dell'attrezzatura di impregnazione, allestita con solo parte delle pareti esterne (vedi Fig. 7a e 7b - bilancino non rappresentato).

Si estraggono quindi le staffe di aggancio al bilancino e si completa la parete di contenimento esterno con i moduli mancanti (Fig. 8a e 8b).

Si procede infine al montaggio dei "sergenti" con relative piastre di distribuzione del carico ed al serraggio alla coppia stabilita per creare la pressione richiesta (Fig. 9a e 9b). Le operazioni si completano con il montaggio, della camera di contenimento esterno per l'isolamento sotto vuoto.

	<b>ATTREZZATURE ED IMPIANTI NECESSARI PER LA REALIZZAZIONE DELLE SEQUENZE COSTRUTIVE DELLA BOBINA JT60SA E ORDINI EMESSI DA ASG</b>	<b>RT-JT60SA-003</b>	<b>Rev. 0</b>
		<b>Pag 20 di 23</b>	

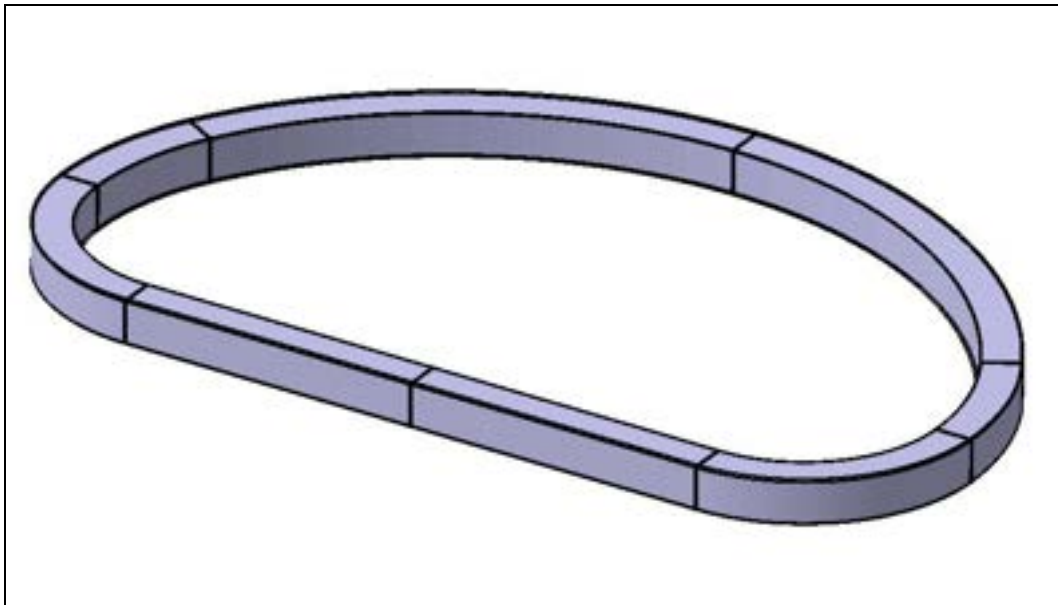
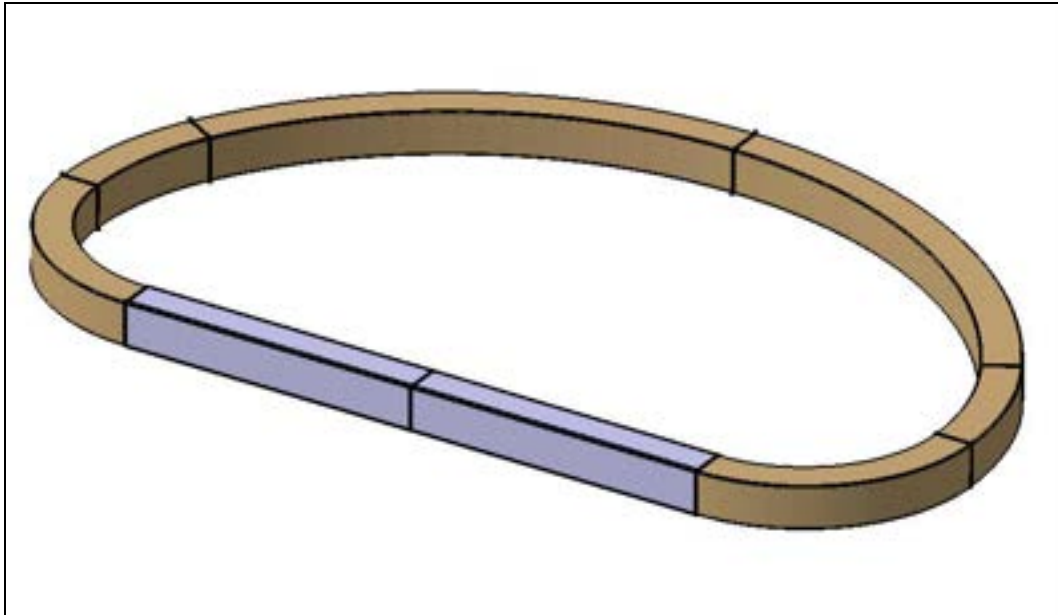


Fig. 6a/6b: costruzione camera contenimento resina intorno al WP

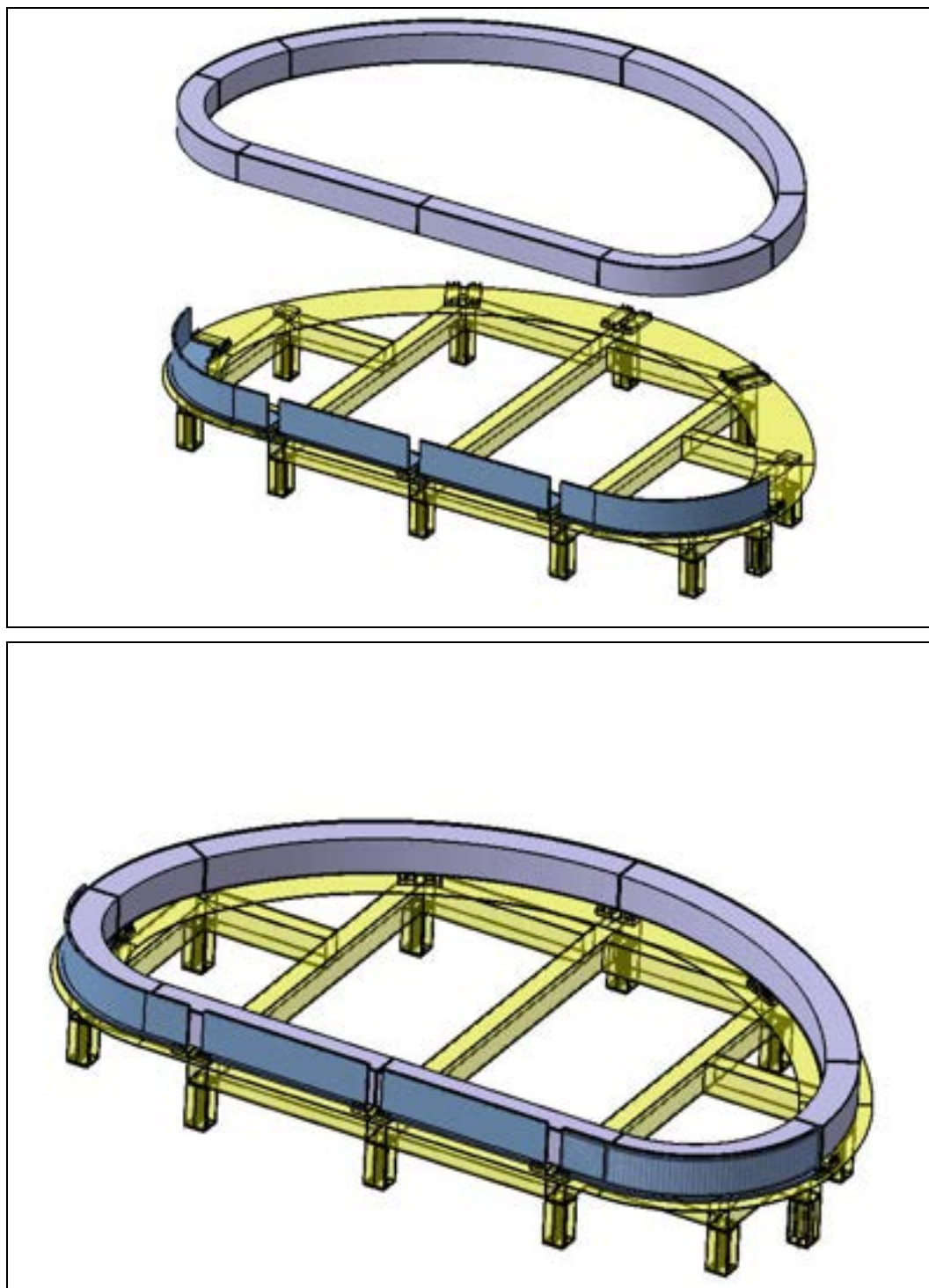


Fig. 7a/7b: inserimento WP+camera contenimento nell'attrezzatura di impregnazione

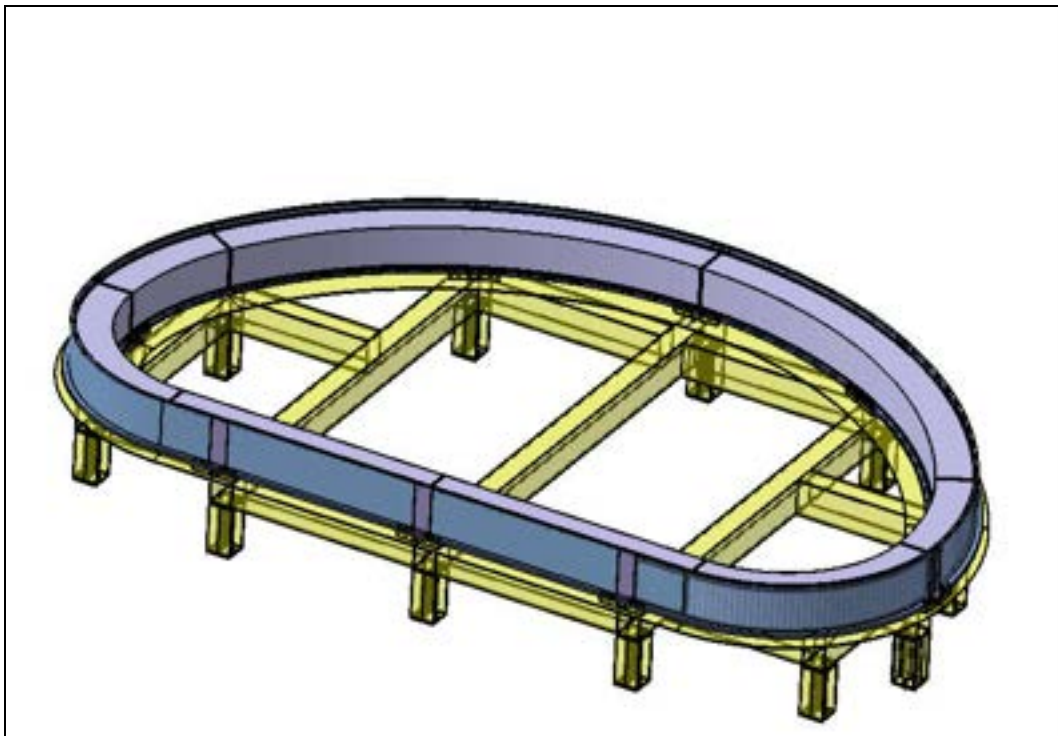
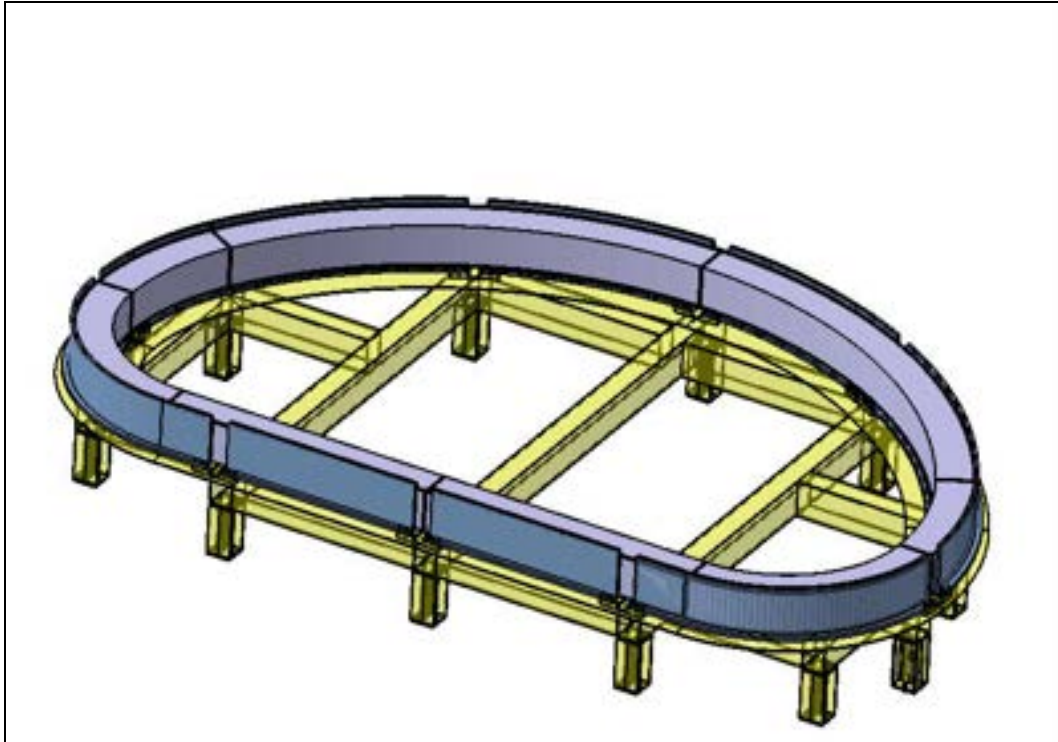


Fig. 8a/8b: completamento parete esterna attrezzatura impregnazione

## **ORDINI ASG FASE 1**

### **A. Preparazione del conduttore**

- 1.1. Camera da vuoto → camera da vuoto già esistente presso ASG
- 1.2. Gruppo di pompaggio → Gruppo di pompaggio già esistente: ordini per revisione a Oerlikon Leybold vacuum :
  - a) ASG/9933 del 26/10/11
  - b) ASG/9951 del 02/11/11

### **B. avvolgimento doppio pancake**

- 1.1. Attrezzature di sollevamento → Ordine ASG/9932 del 26/10/11 a CA.S.T.IM. 2000 s.r.l.
- 1.2. Linea di avvolgimento del doppio pancake → Ordine ASG/9923 del 28/09/11 a SEA ALP ENGINEERING.
- 1.3. Attrezzatura per ingresso elio → Ordine ASG/9943 del 31/10/11 a EPC s.r.l.

### **C. Isolamento contromassa del doppio pancake**

- 1.1. Banchi di avvolgimento → Ordine ASG/9868 del 10/10/11 a CA.S.T.IM. 2000 s.r.l.

### **D. Impilaggio 6 doppi pancake**

- 1.1. Bancale di composizione avvolgimento → Ordine ASG/9870 del 10/10/11 a CA.S.T.IM. 2000 s.r.l.
- 1.2. Attrezzatura di costruzione giunzioni → Ordine ASG/9946 del 02/11/11 a EPC s.r.l.
- 1.3. Saldatrice orbitale → Ordine ASG/9941 del 31/10/11 a Polysounde Italia s.r.l.
- 1.4. Attrezzature per prove di tenuta:
  - a) Camera da vuoto → ASG/9908 del 24/10/11 a SIMIC
  - b) Gruppo di pompaggio → ASG/9934 del 26/10/11 a Oerlikon Leybold vacuum

### **E. Impregnazione avvolgimento**

- 1.1. Stampo di impregnazione → Ordine ASG/9850 del 06/10/11 a IFC s.n.c.
- 1.2. Gruppo di pompaggio → ASG/9950 del 02/11/11 a Oerlikon Leybold vacuum

### **F. Impregnazione avvolgimento**

- 1.1. Laser tracker → Ordine ASG/9895 del 13/10/11 a MICROSERVICE s.r.l.
- 1.2. Alimentatori e strumentazione per prove elettriche → già esistente presso ASG