

Corso di Prototipazione Virtuale

Progetto #2

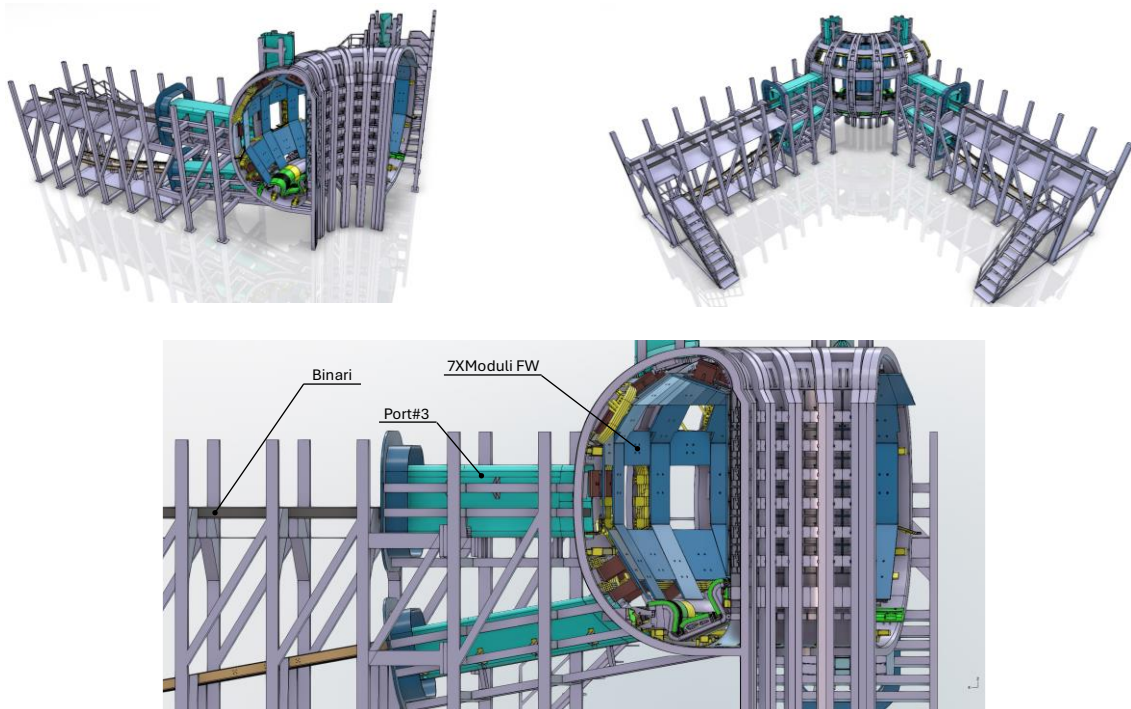
Prototipazione Virtuale di un braccio manipolatore per la manutenzione remota in reattori per la fusione nucleare

1 Introduzione

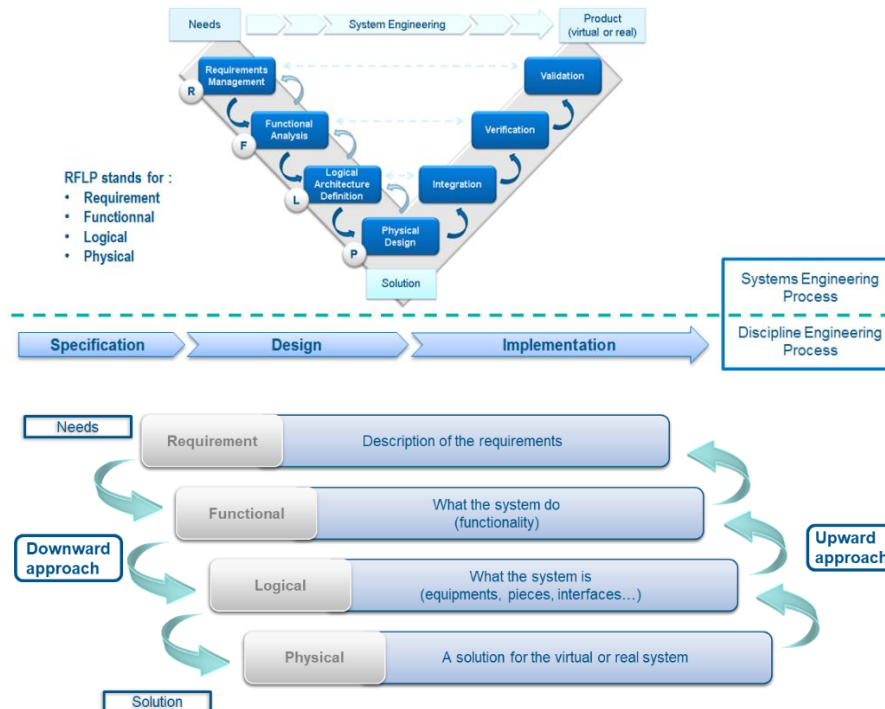
Nella “European Research Roadmap to the Realization of Fusion Energy” [1], la gestione del calore (Heat exhaust) è definita come una delle principali sfide nella costruzione di una centrale energetica basata sulla fusione nucleare. Per affrontare questa sfida, è in fase di costruzione a Frascati un tokamak compatto, noto come “Divertor Tokamak Test (DTT)”, capace di riprodurre condizioni di plasma simili a quelle previste per ITER e DEMO [2]. Data l’ambiziosa sfida di DTT, si prevede una significativa attivazione dei materiali interni al reattore e dell’atmosfera della “torus hall”, rendendo impossibile la manutenzione umana dei componenti esposti al plasma. Pertanto, un sistema di manutenzione remota, noto come “Remote Handling (RH) system”, è essenziale.

La complessità delle procedure di RH per DTT richiede una fase di test estesa, finalizzata a preparare il personale e a esplorare soluzioni innovative per migliorare continuamente i sistemi robotici e le procedure. Da questi ambiziosi obiettivi, la necessità di costruire la “Remote Handling Test and Training (REMHAAT) facility” [3]. In figura il mock-up in scala 1:1 di 110° del reattore reale presente nella futura facility.

Il progetto consiste nella realizzazione di un braccio robotico su binari, entrante dal port#3, per la sostituzione di 7 dei 9 tipi di moduli di FW (5 moduli Outboard, 2 moduli Top).



2 Metodologia



Con riferimento all'approccio RFLP (V-model) l'allievo deve:

1. **Analizzare la lista di requisiti (needs)** (vedi par. 4) e, eventualmente, ampliarla.
2. **Tradurre i requisiti in funzioni**, ricordando che un requisito può essere soddisfatto da più funzioni: l'allievo deve dimostrare capacità di sintesi delle proprie conoscenze.
3. **Generare l'architettura logica del prodotto** che soddisfi le funzioni precedentemente identificate ricordando di valutare, in maniera iterativa, il sorgere di eventuali conflitti tra requisiti.
4. **Disegnare una soluzione (Physical Design)**.
5. **Ipotizzare procedure di integrazione, verifica e validazione di prodotto.**

3 Requisiti

Il sistema deve soddisfare i seguenti requisiti:

ID	Nome	Testo
RH_	Missione	Il sistema deve sostituire i moduli di FW outboard e top.
RH_1	Raggiungibilità	Il sistema deve raggiungere i moduli di FW outboard e top
RH_2	Aggancio	Il sistema deve agganciare i moduli di FW outboard e top in modo autonomo e liberarli dai supporti al reattore



A.A. 2024/2025

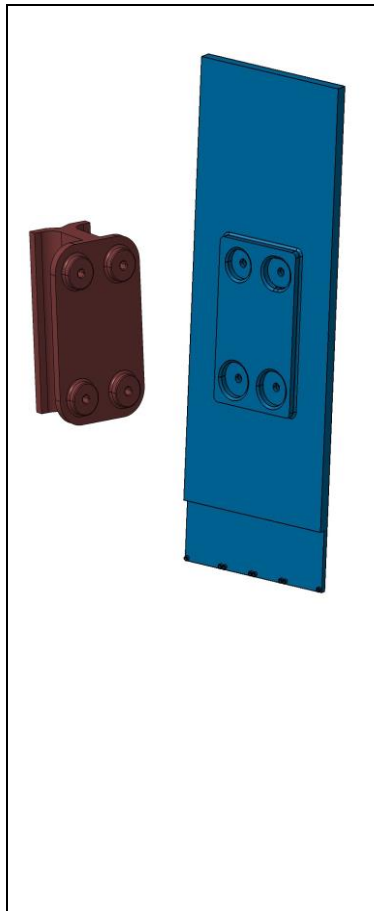
RH_2.1	Aggancio manuale	Il sistema deve permettere la possibilità di azionare manualmente l'aggancio del modulo
RH_2.2	Set-up	Il sistema deve permettere all'operatore di montare il modulo desiderato sull'end-effector quando all'esterno del reattore
RH_3	Sgancio	Il sistema deve sganciare i moduli di FW outboard e top in modo autonomo dopo averli correttamente agganciati ai supporti del reattore
RH_3.1	Sgancio manuale	Il sistema deve permettere la possibilità di azionare manualmente lo sgancio del modulo
RH_3.2	Set-down	Il sistema deve permettere all'operatore di smontare il modulo desiderato dall'end-effector quando all'esterno del reattore
RH_4	Cinematica	Il sistema deve trasportare il modulo desiderato dall'esterno del reattore fino alla posizione desiderata attraverso il port#3
RH_5	Statica	Il sistema deve avere payload almeno pari a 100 Kg
RH_6	Ergonomia	Il sistema deve garantire in ogni interazione con l'uomo il rispetto delle norme di ergonomia

NOTE:

- Questi rappresentano i requisiti generali che un cliente potrebbe chiedervi, ulteriore lavoro e decomposizione è necessario per arrivare ad un set di requisiti completo!
- Riguardo «RH_5» - Si supponga che ogni modulo pesi al massimo 100 Kg.
- Riguardo «RH_6» - Si supponga che il peso del modulo sia compensato dal carroponte a disposizione degli operatori. Non è richiesta la modellazione dell'interfaccia con il carroponte, né il carroponte stesso.
- Riguardo «RH_2.1» e «RH_3.1» - In caso si decidesse di non modellare l'end-effector, questi due requisiti possono essere trascurati. Restano validi i requisiti «RH_2.2» e «RH_3.2» per le operazioni di interfaccia con l'uomo

Ai fini della conclusione del progetto, la modellazione dell'end-effector è materiale opzionale. È quindi possibile supporre l'end-effector come un cubo definito "place-holder" di spigolo 100 mm e massa trascurabile ai fini delle simulazioni. Per tutti gruppi che si sentano in grado di affrontare una sfida aggiuntiva, fare riferimento al materiale opzionale del paragrafo successivo.

3.1 Interfacce Vacuum Vessel / Moduli FW / end effector



Con riferimento al file "1.Mounting system FW – VV". È presentata l'interfaccia di aggancio dei moduli di interesse alla struttura del reattore, chiamata Vacuum Vessel:

- Il posizionamento nello spazio è garantito dai pin e dal piano di battuta
- Il fissaggio è garantito con 4 viti ad incasso

Materiale opzionale - inizio

Diversamente, il gruppo di lavoro dovrà modellare l'interfaccia di presa tra modulo ed end-effector del robot. Lavorazioni sul modulo sono consentite lungo tutta la superficie frontale, rispettando i seguenti vincoli:

- Ogni lavorazione di scavo dovrà sempre essere cieca e con 2 mm di spessore minimo rimanente. Ad esempio: "È ammesso realizzare fori sulla superficie fin tanto che essi siano ciechi ed il punto inferiore sia ad almeno 2 mm dal forare la superficie posteriore"
- Non è possibile aggiungere materiale al modulo cambiandone la geometria

Materiale opzionale - fine

4 Materiale di supporto

L'allievo potrà utilizzare i seguenti file:

- a) Modello CAD Mockup reattore
- b) Presentazione "1.Mounting system FW – VV"

5 Conclusioni

L'output progettuale dovrà contenere le seguenti informazioni:

- 1) Progetto del sistema "Robot manipolatore"
- 2) Progetto di End-effector (Opzionale)
- 3) Definizione delle procedure di Remote Handling con diagramma di flusso
- 4) Simulazione cinematica con il modulo geometricamente più ingombrante (supposto di 100Kg)
- 5) Simulazione FEM statica con il modulo geometricamente più ingombrante (supposto di 100Kg) nella posizione più svantaggiosa identificata
- 6) Simulazione ergonomica della fase: "Operatore monta/smonta modulo da end-effector robot all'esterno del reattore".



La documentazione di output del progetto dovrà essere:

- Modellazione 3D del sistema Robot
- Modellazione 3D di end-effector (Opzionale)
- Presentazione power-point in cui siano evidenziate
 - le fasi del V-Model e la discussione delle scelte progettuali adottate
 - analisi strutturale, cinematica ed ergonomica

6 Riferimenti

- [1] T. Donné e W. Morris, *European Research Roadmap to the Realisation of Fusion Energy*. EUROfusion, 2018. Consultato: 11 novembre 2024. [Online]. Disponibile su: www.eurofusion.org/eurofusion/roadmap
- [2] F. Romanelli e on behalf of D. Contributors, «Divertor Tokamak Test facility project: status of design and implementation», *Nucl. Fusion*, vol. 64, fasc. 11, p. 112015, set. 2024, doi: 10.1088/1741-4326/ad5740.
- [3] G. Di Gironimo, S. Buonocore, G. Miccichè, A. Reale, e A. Zoppoli, «Preliminary architecture of the DTT remote handling test and training facility», *Fusion Eng. Des.*, vol. 195, p. 113978, ott. 2023, doi: 10.1016/j.fusengdes.2023.113978.