



WEBINAR

Combustibile nucleare irraggiato: dal «rifiuto» alla risorsa

Storia del Nucleare Italiano e presupposti di ripartenza

***Aspetti Comuni al Settore Nucleare e al Settore Aerospazio in
termini di Progettazione, Requisite Engineering e Sviluppo del
Software***

Alessio Iuvara

(Founder & CEO di CAELUS S.R.L.)

13/02/2025



Chi sono e cosa faccio

Short Biography

Alessio Iuvra è il Fondatore e CEO di CAELUS. Con una formazione in Ingegneria Nucleare ed Energetica, ha lavorato per diversi anni nei settori Automotive e Aerospaziale per aziende di primo livello nel campo del Calcolo Scientifico, sviluppando un particolare interesse ed esperienza in tecnologie come AI/ML, Digital Twins, HPC/QC, Sistemi Autonomi e Robotica. Fermamente convinto della necessità di un cambiamento di paradigma nella diffusione delle Tecnologie Nucleari a livello globale, ha fondato CAELUS per creare l'insieme di strumenti necessari a garantire quell' ambiente digital-first, modular-first e automation-first, indispensabile per realizzazione del massiccio dispiegamento di nuova potenza Nucleare richiesta al fine di raggiungere gli obiettivi Net Zero 2050.



Studies: Sapienza Università di Roma e all'estero (USA e altri paesi)

Key Verticals: Nuclear Engineering, Systems Engineering, Industry 4.0/5.0

Key Skills: AI/ML, NLP, GenAI, HPC/QC, Digital Twins, BIM/GIS, AR/VR, Robotics

Key Application Areas: Licensing, Design Optimization, Quality Assurance, Requisite Engineering, RPA, Worksite Management, Workforce Excellence, Autonomous Operations, Factory Management.

Past Roles/Experiences: System Architect and Programme Manager for Autonomous Systems (Automotive and Aerospace: State Machines, Control Systems, Compliance, Risk Assessment and Management – 3 years), AI & Multiphysics Simulation Engineer (Dept. Lead, applications in Nuclear and Energy space for Fission, Fusion and Conventional systems – 3 years), Project Manager and Tech Lead (various projects in the Nuclear, Aerospace and Automotive sectors: design optimization, QA, requisite engineering, worksite management, workforce excellence, factory management – 3 years).

Parallel Activities: AIN-YGN (INYG) Core Group Member, Southern Europe Representative and SMR Lead (NIATR), Nuclear Startup Advisor (SEATOM)

Cosa fa l' Azienda

Short Description

CAELUS S.R.L. è un Azienda attiva nel settore Nucleare, nella fattispecie nella produzione di Software e Tecnologie Abilitanti per il dispiegamento “on time” ed “on budget” di nuova potenza nucleare. Corredato da un metodo in via di V&V e patenting basato sugli approcci del settore Aerospace e Maritime, il focus è quello di garantire una metodologia e tool efficaci ed efficienti nel consentire l' attuazione del paradigma “Design, License, Build, Repeat” per Reattori Nucleari sia di III+ che di IV Gen, indipendentemente dalla taglia. Il cuore tecnologico dell' Azienda è formato dai suoi modelli AI proprietari ed Enterprise Software in corso di V&V e QA con il supporto di primary Enti Regolatori Nucleari Europei ed Aziende Partner presenti sia in USA che in Canada. Sul lungo periodo, l' obiettivo è quello di diventare il leader di mercato e partner strategico per tool e servizi abilitanti, con solide basi EU ed Italiane, per il Nucleare 3.0.



Presente in: Italia (HQ), USA (a breve sarà in apertura la branch in Texas)

Operativa in: Italia, USA, UK, Canada, Francia, Repubblica Ceca, Romania, Polonia, Turchia ed altri

Competenze Chiave: AI/ML, NLP, GenAI, HPC/QC, Digital Twins, BIM/GIS, AR/VR, Robotics, Licensing, Design Optimization, Quality Assurance, Requisite Engineering, RPA, Worksite Management, Workforce Excellence, Autonomous Operations, Factory Management.

Aree di Attività: Product Innovation (CAELUS Ecosystem), Process Innovation, Engineering Services (Digital Transformation, Enterprise Software ed AI Solutions) per il Settore Nucleare.

Posizionamento: ci si propone come Strategic Partner per il Seamless Licensing di Tecnologie Nucleari su diversi Paesi e Siti fisici oltre che come Partner Privilegiato per la Digital Transformation delle Aziende attive nella Filiera. Il tutto viene fatto attraverso il nostro Enterprise Software e il support della nostra rete di Supplier (Supply Chain Partners Program) e di Engineering Consultancies (Engineering Consultancies Partners Program) che ad oggi già esistente in forma pilota ma che verrà lanciata pubblicamente ad Aprile.

Di seguito possibili link utili: <https://caelus-nuclear.com/>

<https://caelus-nuclear.com/oursoftware/>

<https://www.linkedin.com/company/caelus-nuclear/?viewAsMember=true>

Alessio Iuvara

Combustibile nucleare irraggiato: dal «rifiuto» alla risorsa.



Logica della Presentazione e Metodo

- La presentazione è preparata per un pubblico variegato di formazione ingegneristica, non necessariamente Nucleare o Aerospaziale.
- Il fine ultimo è quello di delineare, senza scendere eccessivamente nel dettaglio a causa dei tempi, le somiglianze tra il settore Nucleare e quello Aerospaziale e come, soprattutto per il futuro avvento di tecnologie nucleari di piccola scala che si fanno forza sulla economia dei multipli, sia necessario un approccio modulare e standardizzato che non si fermi solo alle tecnologie in se ma anche alle metodologie di lavoro, di formazione del personale, di gestione dei progetti e dei tool appositamente creati per affrontarle.
- Per non appesantire la trattazione, dettagli più specifici rispetto a fonti, risorse impiegate e materiale utilizzato per la presentazione sono stati inseriti in Appendice.
- Si consideri che quanto proposto è solo un piccolo estratto della serie di White Papers (e altri documenti scientifici) che la CAELUS inizierà a pubblicare da Aprile di quest' anno in vista del lancio prodotto di novembre al WNE 2025. Si rimanda quindi a quelli (o ad un contatto diretto verso me medesimo o uno dei miei collaboratori) per una disamina più dettagliata degli argomenti in materia.



Indice:

- Aspetti Comuni del Settore Nucleare e Aerospazio
- Focus 1: Progettazione
- Focus 2: Requisite Engineering
- Focus 3: Sviluppo del Software
- Piccoli e Grandi Reattori... Necessario un Cambio di Paradigma?
- Metodo «Brute Force» e Metodo «License-By-Design»
- Punto della Situazione: Nuclear Value Chain e Generali Cause di Ritardo, Rischio, Sovraccosto
- Applicabilità Generale del Metodo ed Impatti rispetto a Taglia e Tecnologia
- Metodologie Attuative: cosa possiamo imparare dal Maritime?
- Brutalizzare il Framework Regolatorio non è la risposta...
- Domande?
- Materiali e Risorse
- Conclusione e Ringraziamenti



Aspetti Comuni del Settore Nucleare e Aerospazio

- Progetti ad altissimo Costo Capitale
- Tecnologie spesso sviluppate sotto l' egida economica di Governi
- Strumenti chiave per la dominanza strategica di un Paese (Energetica, Tecnologica, di Difesa)
- Settori Critici sia in termini di Sicurezza che di possibile Impatto
- Approcci simili ai riguardi della Regolatoria e alla Gestione del Rischio
- Entrambi sono sottoposti a framework regolatori internazionali (IAEA/FAA-EASA etc.)
- Entrambi sono sottoposti ad una Giungla di C&S e Regolatorie Nazionali (anche se l' Aerospace ha risentito di meno dell' influsso di alcuni movimenti storico-politici)
- I Progetti ricadenti in qualsiasi dei due possono essere fatti ricadere senza ombra di dubbio nell' Ingegneria dei Sistemi Complessi in Settori Altamente Regolamentati (con tutto ciò che ne consegue)
- I due settori risentono quindi nominalmente degli stessi problemi anche se, l' assetto storico, tecnico e regolatorio ne hanno dettato il diverso esito commerciale. Per questo motivo (ma anche per motivi di capitale e di esecuzione dei progetti, ad oggi soprattutto per i reattori SMR/AMR si guarda maggiormente a questo approccio all' Ingegneria che quello cui siamo normalmente abituati come Ingegneri Nucleari.
- In tutto questo, le criticità in termini di Progettazione, Requisite Engineering e Sviluppo del Software sono circa le stesse.



Focus 1: Progettazione

- La progettazione richiede l'integrazione di diverse discipline ingegneristiche: meccanica, elettronica, aerodinamica, termodinamica, materiali e software.
- Nel nucleare, si tratta di progettare sistemi che, per semplificare, gestiscano reazioni nucleari, raffreddamento, e protezione dalle radiazioni. Nell'aerospaziale, si progettano veicoli che affrontano ambienti estremi come il vuoto spaziale o l'atmosfera terrestre.
- Entrambi i settori utilizzano ampiamente **simulazioni numeriche** (es. modelli computazionali per il flusso di fluido, il comportamento termico, la meccanica strutturale) per testare i sistemi prima della costruzione.
- La progettazione in entrambi i settori dipende fortemente dall'uso di **materiali avanzati** (leghe ad alta resistenza, materiali compositi, superleghe, etc.) per resistere a temperature, radiazioni e sollecitazioni estreme.
- La progettazione deve garantire una **sicurezza estrema**: nel nucleare per evitare incidenti radiologici e nel settore aerospaziale per prevenire fallimenti strutturali o di sistema.
- Entrambi i settori utilizzano **protocolli di ridondanza** (duplicazione di sistemi vitali) per minimizzare i rischi di guasti. L'uso di componenti di alta qualità, test rigorosi e sistemi di monitoraggio è essenziale.
- La progettazione deve rispettare regolamenti e standard specifici, che nel caso del nucleare sono definiti da enti come l'**IAEA** o la **NRC**, mentre nell'aerospaziale da enti come la **FAA** o l'**EASA**.
- **Parte focale del processo è affidata alla certosa verifica degli strumenti di simulazione attraverso procedure convalidate di progettazione del software oltre che di VV&Q particolarmente esigente addizionata a prove fisiche per elementi di importanza critica (e.g. codici per la Termoidraulica di Sistema)**



Focus 2: Requisite Engineering

- Il **requisite engineering** (ingegneria dei requisiti) è una fase fondamentale in entrambe le progettazioni di sistemi nel settore **nucleare** e **aerospaziale**. Questo processo riguarda la definizione, gestione e verifica dei requisiti del sistema, per garantire che ogni parte del progetto soddisfi le aspettative di performance, sicurezza, affidabilità e conformità alle normative.
- **Sicurezza come priorità**: In entrambi i settori, i requisiti di sicurezza sono il **punto focale**. Per il nucleare, ciò include la sicurezza contro incidenti nucleari, mentre nell'aerospaziale riguarda la protezione contro il guasto strutturale, la perdita di controllo, o danni a passeggeri e equipaggio.
- **Ridondanza e fail-safe**: Entrambi i settori richiedono requisiti che garantiscano **ridondanza** dei sistemi critici (come il raffreddamento nel nucleare o i sistemi di volo nell'aerospaziale), e la progettazione di meccanismi **fail-safe** che permettano al sistema di continuare a funzionare in caso di malfunzionamenti.
- **Requisiti funzionali**: Entrambi i settori devono definire i **requisiti funzionali** che specificano cosa il sistema o il componente deve fare. Ad esempio, nel nucleare, il reattore deve essere in grado di mantenere un livello costante di produzione di energia, mentre nell'aerospaziale, il velivolo o il razzo deve essere in grado di decollare, volare e atterrare in sicurezza.
- **Requisiti non funzionali**: Allo stesso modo, devono essere definiti requisiti non funzionali, come le **prestazioni termiche**, la **robustezza** (es. resistenza alle radiazioni o alle vibrazioni), la **sostenibilità** (ad esempio l'efficienza energetica), e la **manutenibilità**. Entrambi i settori puntano a garantire che i sistemi non solo funzionino come previsto, ma che siano anche efficienti nel lungo periodo.
- **Parte focale del processo è connessa alla verifica di conformità ai C&S, alle Normative e alla Gestione di Rischi e Vincoli, i quali possono generare cambiamenti dei Parametri di Progetto e quindi un re-start di parte della pratica di progettazione. Si tratta di un processo fortemente iterativo ed altamente oneroso in termini di tempi e costi per le Aziende, soprattutto se intenzionate a vendere su più mercati con differente regolatoria.**



Focus 3: Sviluppo del Software

- Lo **sviluppo del software** nei settori **nucleare** e **aerospaziale** presenta numerosi aspetti comuni, in quanto entrambi i settori richiedono un elevato livello di **affidabilità, sicurezza e rigore ingegneristico**. Nonostante le differenze nei contesti operativi, entrambi richiedono software che funzioni in ambienti critici e che sia conforme a normative rigorose. **Sistemi critici, Errori zero tollerati**
- **Normative e standard di sicurezza**: Entrambi i settori devono seguire **normative rigorose** in materia di sviluppo software, che assicurano che il software sia sicuro e funzionale in ambienti critici. Nel settore nucleare, ad esempio, il software deve rispettare standard come il **IEC 61513** per il controllo e la protezione dei sistemi nucleari, mentre nell'aerospaziale ci sono normative come **DO-178C** (Software Considerations in Airborne Systems and Equipment Certification), che regola la certificazione del software aerospaziale.
- **Ridondanza software**: Per garantire che i sistemi non falliscano in caso di guasti, entrambi i settori utilizzano la **ridondanza software**. Ciò significa che il software è progettato in modo che più sistemi software possano prendere il controllo in caso di malfunzionamento di uno dei componenti.
- **Progettazione fail-safe**: Il software deve essere progettato per **rispondere in modo sicuro** anche in caso di malfunzionamenti. Ad esempio, se il sistema software rileva un errore critico, deve essere in grado di mettere in atto meccanismi di sicurezza, come il blocco delle operazioni o il passaggio a modalità di emergenza.
- **Controllo delle versioni e gestione dei cambiamenti**: Entrambi i settori devono gestire con estrema attenzione le **modifiche** al software. Ogni cambiamento deve essere **tracciato e verificato** per garantirne la conformità agli standard di sicurezza.
- In particolare, ogni versione del software deve essere **rigorosamente documentata** per facilitare la **tracciabilità** e garantire che il software sviluppato possa essere **auditato** o riesaminato in caso di problemi. La gestione delle configurazioni software è una componente fondamentale in entrambi i settori.
- **Parole Chiave: uso di Metodologie Formali di Sviluppo, Gestione del Ciclo di Vita del Software, Sostenibilità e Manutenzione a Lungo Termine.**



Piccoli e Grandi Reattori... necessario un Cambio di Paradigma?

- L' aumentare di progetti cosiddetti Modulari in ambito Nucleare ha parte delle sue radici nell' osservazione del cugino Aerospace. Si è osservato infatti (e qui si fa il paio anche con la proliferazione di startup nucleari) che, banalizzando altamente sia il processo storico che economico alle sue spalle, l' approccio Silicon Valley (SpaceX et similia) consentiva non solo un iterazione più veloce dei progetti, non più incardinati su una logica waterfall pura ma su un approccio più agile e snello, ma anche la possibile esplorazione di più design al prezzo di una spesa maggiore ma di un generalizzato riduzione del rischio di insuccesso del progetto in se. Il distanziamento poi dei programmi dal solo funding governativo e l' accesso ai capitali privati (VC) ha consentito poi un ulteriore riduzione del rischio, andando potenzialmente a evitare quanto successo nel secolo scorso con la chiusura dei programmi a Sali Fusi, a Litio e a Fluido Organico.
- Ma è davvero così conveniente come approccio? DIPENDE. I reattori di terza generazione di grande scala, con il loro comprovato uso della economia di scala per l' appunto, offrono vantaggi significativi in termini di costi e di operazioni all' ingrandirsi, banalizzando, della taglia di impianto. Riducendo quindi la taglia si dovrebbe incorrere in unit economics sfavorevoli, il che risulta vero a meno di non utilizzare la cosiddetta economia dei multipli e tentare quanto, in tempi più remoti, venne fatto rispetto al mercato dell' automobile (non replicabile in ambito nucleare) o meglio, in tempi recenti dell' ambito Aerospace (modularità e standardizzazione) e Maritime (costruzione altamente automatizzata e cost/time effective).
- Qui però v'è l' inghippo: il costo di licenziamento e il rischio finanziario connesso con il non efficace dispiegamento non scala con la grandezza del reattore, bensì con il numero e la diversità di tecnologie impiegate. V'è quindi la necessità di evitare quanto più possibile le iterazioni a monte e ottenere una soluzione del problema di ottimizzazione (che alla fine è il nostro problema di progettazione) in maniera elegante E CHE TENGA CONTO DELLA REGOLATORIA a priori e non a posteriori, incagliandosi in un pericolosissimo andirivieni con l' ente regolatore.



Metodo «Brute Force» e Metodo «License-By-Design»

- **Metodo Brute Force** (business as usual)
- **Metodo License By Design** (uso di ecosistemi di calcolo integrati strutturati per Re-Eng. A priori)
- **Unified Source of Truth** per tutta la durata del progetto
- **Common Data Environment** per la fase di Costruzione
- **Empowering delle Risorse** per la Requisite Engineering
- Ottimizzazione delle tempistiche e **riduzione del rischio di rigetto da parte del Regolatore**
- Riduzione delle risorse da destinare a test fisici e più semplice formazione del nuovo personale
- Tool qualificabili basati su commistione di approccio Hard Coded ed AI-Powered che possa portare ad una VV&Q del sistema (in attuazione con alcuni Regolatori Europei)
- Approccio applicabile su tutto il Ciclo Vita



Punto della Situazione: Nuclear Value Chain e Generali Cause di Ritardo, Rischio o Sovraccosto

- **SMR Designer/Vendor:** come riesco a progettare la mia tecnologia con il minimo delle iterazioni e assicurandomi di venderla al massimo mercato possibile?
- **Nuclear Project Developer:** come riesco a districarmi nella giungla del procurement e scegliere la tecnologia migliore in termini di costo e trappole regolatorie per il mio sito di interesse?
- **EPC:** come faccio a ingegnerizzare e costruire il mio reattore senza bloccarmi nella trappola della morte di non-conformità continue, ECR e via dicendo?
- **Utility/Owner:** come posso ridurre il rischio/liability mentre aumento il mio margine operativo ed evito trappole regolatorie mortali?
- **Decomm. Company:** riesco a districarmi nella babilonia biblica di documenti e sistemi legacy di reattori che non erano pensati per essere smontati?
- **Regulator:** riesco ad avere il manpower formato per tempo per reggere la domanda e rispettare il mio mandato?
- **Supply Chain:** come riesco a soddisfare la domanda in maniera organizzata senza finire nella trappola della morte di una commessa/qualificazione richiesta e mai onorata causa progetto bloccato?



Conclusioni:

Applicabilità Generale del Metodo e Impatti rispetto a Taglia e Tecnologia

Metodologie Attuative: cosa possiamo imparare dal Maritime?

Brutalizzare il Framework Regolatorio non è la risposta...



Domande?

Consigli e Metodo:

- Per amor di brevità e per seguire quanto indicato dalla brochure del Webinar, vi invito a porre le vostre domande nella chat.
- Se il tempo lo consentirà vi risponderò direttamente a voce, altrimenti provvederò manualmente a rispondere ad uno ad uno a tutti voi via chat in maniera tale da rispettare i tempi dell'oratore successivo.
- Non siate timidi, è un piacere rispondervi! (E soprattutto... non esistono mai domande stupide!)



Link e Risorse

Elenco Breve:

- Proceedings of the International Conference on SMRs (IAEA)
- Proceedings of the Nucleareurope Supply Chain Event (IAEA)
- Proceedings of the AI and Advanced Computation Technologies for Nuclear Workshop (IAEA)
- Proceedings of the Workshop Conference on Aerospace Technology and Commercial Nuclear Power (DOE/EPRI)
- Proceedings of the Nuclear and Emergency Technology for Space and the Digital Nuclear Library (ANS)
- NHSI Library Materials (IAEA)
- ISOP Library Materials (IAEA)
- CORDEL Library Materials (WNA)
- Economics of Nuclear Power (Geoffrey Rothwell)
- CAELUS White Paper Series (Alessio Iuvara, Andrew Cartas et al.)

Suggerimento: non fatevi alcun problema a scrivermi a posteriori del seminario per una disamina più accurata degli argomenti in questione, oltre che per tenervi aggiornati sulla pubblicazione della serie di White Papers da cui questa presentazione è tratta in forma di estratto ridotto e semplificato.

Di seguito i miei contatti:

alessio.iuvara@caelus-nuclear.com

engineering@caelus-nuclear.com

info@caelus-nuclear.com



Alessio Iuvara

Combustibile nucleare irraggiato: dal «rifiuto» alla risorsa.



Grazie a tutti!

Un grazie speciale quindi:

- A voi che mi avete ascoltato.
- All' Ing. Mario Caporale, all' Ing. Sepielli e all' Ing. Di Pietro per avermi invitato a contribuire a questo evento.
- All' Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma, nella fattispecie alla Commissione Ricerca e Reattori Innovativi, ad AIN, all' ENEA e a Newcleo per aver creato quest'interessante occasione di apprendimento e confronto per tutti i presenti.