



Nuovo Nucleare da Fissione

COLLABORAZIONI INTERNAZIONALI E SVILUPPO COMPETENZE IN MATERIA NUCLEARE

Responsabile del tema di ricerca: *S. Monti*

Referenti Scientifici: *R. Tinti, F. Bianchi, M. Tarantino,
A. Luce, G. Gherardi, G. Buceti*

L'ENEA e la Ricerca di Sistema

Roma 26 ottobre 2010



Nuovo Nucleare: Contesto Istituzionale



- **Legge 99/2009** - Istituzione dell'Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile ENEA:
..... ENEA e` un ente di diritto pubblico finalizzato alla ricerca e all'innovazione tecnologica nonche´ alla prestazione di servizi avanzati nei settori dell'energia, con particolare riguardo al settore nucleare.....
- Il **Ministro dello Sviluppo Economico** nel 2008 ha sollecitato l'ENEA “a contribuire allo sviluppo rapido delle competenze e delle infrastrutture tecniche e scientifiche necessarie, mediante:
 - ✓ La partecipazione ai programmi internazionali e comunitari di ricerca
 - ✓ Lo sviluppo di tecnologie innovative per il ciclo del combustibile, incluso il trattamento dei rifiuti radioattivi
 - ✓ L'analisi comparata delle attuali opzioni scientifiche e tecnologiche per la produzione di energia nucleare, sotto il profilo della sostenibilità e della convenienza, e la definizione dei requisiti minimi dei siti produttivi e di stoccaggio”

Nuovo Nucleare: Obiettivi Generali



- Contribuire al rapido sviluppo delle competenze e delle infrastrutture tecniche e scientifiche necessarie, anche attraverso la partecipazione diretta a grandi progetti di R&S
- Rinnesto dell'Italia nel contesto internazionale ed europeo in tema di energia nucleare e, in particolare, in iniziative e progetti europei ed internazionali di grande respiro (GEN-IV, IFNEC, INPRO, SNETP, ESNII, EERA, ecc.)
- Capacità autonoma di analizzare in maniera comparata le attuali opzioni scientifiche e tecnologiche per la produzione di energia nucleare, sotto il profilo della sicurezza, della sostenibilità e della convenienza
- Risoluzione dei problemi ereditati dal passato, come la messa in sicurezza dei rifiuti radioattivi e dei materiali nucleari, in una condizione esente da pericoli e libera da timori e preoccupazioni da parte dell'opinione pubblica
- Bilanciamento fra obiettivi a breve (sviluppo competenze, supporto all'autorità di sicurezza, collaborazioni bilaterali/internazionali), medio (reattori SMR di Generazione III+) e lungo termine (reattori di IV Generazione)
- Attenzione ai fattori che più attirano i giovani ricercatori / tecnologi

- Studi
- Metodologie (ad es. PP&PR e sua applicazione)
- Linee guida
- Acquisizione, validazione e sviluppo di programmi e piattaforme di calcolo per sistemi nucleari
- Attrezzature e prove sperimentali (ENEA-Brasimone, ENEA-Casaccia, SIET-Piacenza)
- Analisi di sistema, analisi di sicurezza, analisi sismiche
- Sviluppo e progettazione componenti (GV, pompe, isolatori, ecc.), sistemi (DHR, sistemi di purificazione, controllo ossigeno, ecc.), strumentazione
- Progettazione pre-concettuale di reattori nucleari evolutivi/innovativi
- *Approccio metodologico alla Comunicazione e Formazione scientifica*

- Budget: 11,5 M€
- Risorse umane (ENEA, CIRTEN, altri): circa 150
- Rapporti tecnici: 210
- Pubblicazioni: circa 100
- Attrezzature sperimentali / laboratori: 12
- Codici di calcolo / data base: 4
- Workshop / Seminari: 10 (tecnologie di generazione III e III+, funzione di Technical Support Organization, qualificazione sistemi e componenti, presentazione attività AdP)

Nuovo Nucleare: Linee Progettuali



- LP1. Studi sul nucleare, scenari, non proliferazione, accordi bilaterali e partecipazione ai comitati ed iniziative internazionali, funzione advisor**
 - LP2. Sistemi evolutivi di generazione III+ (SMR)**
 - LP3. Sistemi di IV generazione: LFR, VHTR, SFR**
 - LP4. Rifiuti radioattivi e deposito**
 - LP5. Supporto all'autorità di sicurezza, sviluppo piattaforme di calcolo, comparazione opzioni tecnologiche GEN-III, qualifica sperimentale di sistemi e componenti**
 - LP6. Formazione e comunicazione/informazione**
-
- ✓ Il programma di lavoro è coerente con le richieste degli stakeholder del mondo istituzionale, industriale ed accademico emerse in due workshops tenutisi in ENEA a inizio 2009
 - ✓ Partecipano alle attività come co-beneficiari (20%) le Università riunite nel consorzio CIRTEEN
 - ✓ Vengono attivati soggetti industriali a seconda delle necessità (ad esempio SIET per sistemi di generazione III e III+)

Partecipazione a comitati e gruppi internazionali (NEA, IAEA, EURATOM, GIF, IFNEC, ecc.)

Ruolo istituzionale ENEA di “focal point” e di “Advisor” per le tematiche scientifiche e tecnologiche nel campo dell’energia nucleare nei confronti del Ministero per lo Sviluppo Economico



Partecipazione sistematica (in ambito NEA - Nuclear Energy Agency, IAEA - International Atomic Energy Agency, GIF - Generation IV International Forum, ecc.) ai principali **Standing Committees**, allo **Steering Committee** della NEA Data Bank, e ad un numero elevato di **Technical Working Groups (TWG)**



ACQUISIRE CONOSCENZE, INSERIRE L’ITALIA IN UN CONTESTO INTERNAZIONALE, SUPPORTARE LE DECISIONI DEL GOVERNO IN TEMA DI ENERGIA NUCLEARE

- Annuale **Country Report Italy** e contributo all’attività di riorganizzazione di NEA Data Bank
- Rapporrti ed articoli scientifici
- 11 Comitati IAEA, 14 NEA-OECD, 9 altre organizzazioni



Partecipazione italiana al gruppo Physical Protection & Proliferation Resistance (PR&PP) del Generation IV International Forum (GIF)

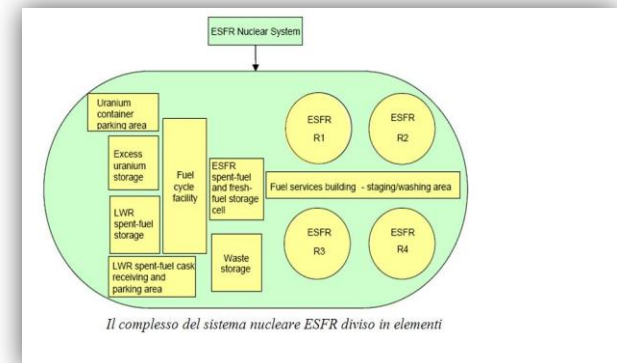
ACQUISIRE CONOSCENZE E METODI PER VALUTARE LA RESISTENZA ALLA PROLIFERAZIONE DEI SISTEMI NUCLEARI E RELATIVI CICLI DEL COMBUSTIBILE

Partecipazione attiva a:

- ➡ *Gen IV International Forum del Proliferation Resistance & Physical Protection (PR&PP) Working Group*
- ➡ *Gruppo di lavoro IAEA "Options to Enhance Proliferation Resistance and Security of NPPs with Innovative SMRs and associated Fuel Cycles"*



- **Metodologia sviluppata dal PR&PP WG: "Evaluation Methodology for Proliferation Resistance and Physical Protection of Generation IV Nuclear Energy Systems Revision 5"**
- **Applicazione ad un ipotetico reattore veloce raffreddato a sodio e parte del ciclo associato "Example Sodium Fast Reactor (ESFR) Case Study"**



Attività di studio e ricerca nell'ambito del rinnovato accordo bilaterale ENEA-CEA

ACCORDO BILATERALE ENEA-CEA (Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives): DI ESTREMA IMPORTANZA PER L'ACQUISIZIONE E LO SVILUPPO CONGIUNTO DI METODI AVANZATI E PER LA SPERIMENTAZIONE IN REATTORE

☐ CATHARE:

Modifica del codice termoidraulico di sistema CATHARE applicato a metalli liquidi pesanti e ai dati sperimentali del benchmark LACANES

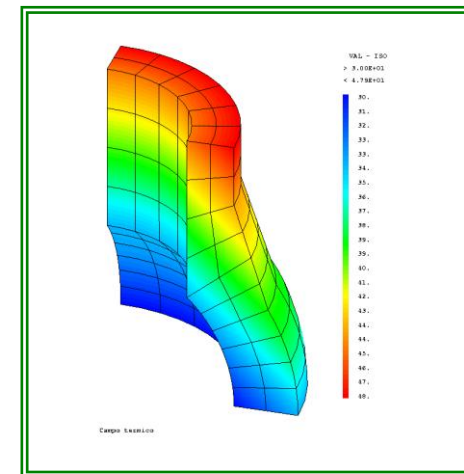
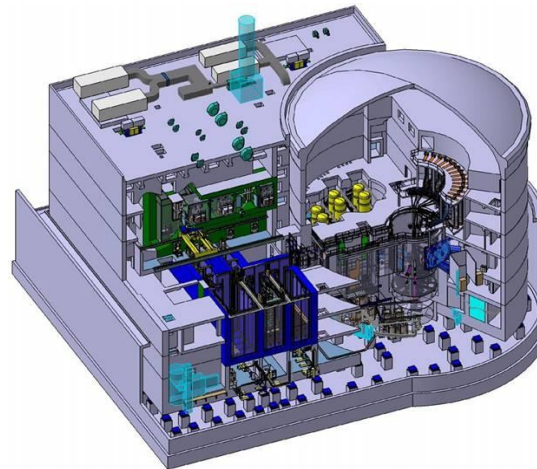
☐ ERANOS V2.1

Sviluppo del codice e delle librerie per nocciolo a metallo liquido pesante

☐ Jules Horowitz Reactor (JHR)

(3 ricercatori italiani ENEA-CIRTEN inseriti nel gruppo JHR in Francia)

☐ Sono allo studio svariati altri temi di collaborazione (security, safety, strumentazione nucleare,



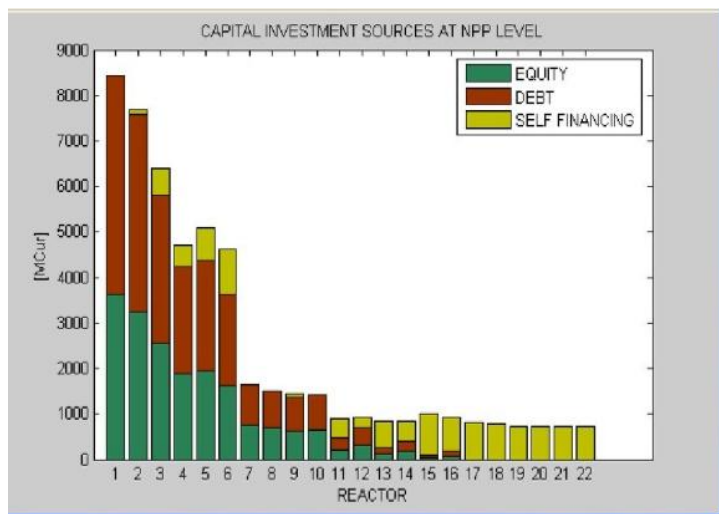
☐ CAST3M:

➤ *corsi di formazione nella termo-meccanica delle strutture*
➤ *modifiche al codice (procedura HCTAN)*

➤ *Stato dell'arte sulla struttura dei calcestruzzi (trasferimento del calore)*

Studio di uno scenario relativo ad un ipotetico impiego di reattori nucleari di diversa taglia sul territorio nazionale e relative valutazioni economiche

GLI STUDI DI SCENARIO ESEGUITI HANNO FORNITO IMPORTANTI INDICAZIONI SULLE STRATEGIE DI IMPIEGO DI REATTORI DI DIVERSA TAGLIA



Capital investment sources at NPP level, Case MAX

- OBIETTIVO: 25% DEL FABBISOGNO ELETTRICO NAZIONALE DA FONTE NUCLEARE NEL 2030
- Parco misto Large Reactors (LR) e Small Medium Reactors (SMR)
- Diverso tasso di crescita della domanda elettrica nazionale (1% - 2.5%)



5 diversi studi sono stati condotti evidenziando vantaggi e svantaggi, in termini sia economici che di flusso di massa di materiali, delle diverse strategie adottate.



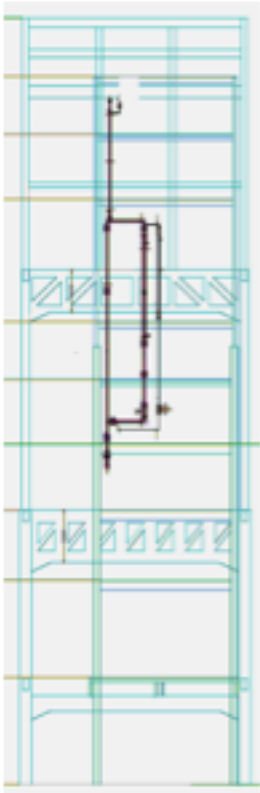
UN RISULTATO PARTICOLARMENTE INTERESSANTE



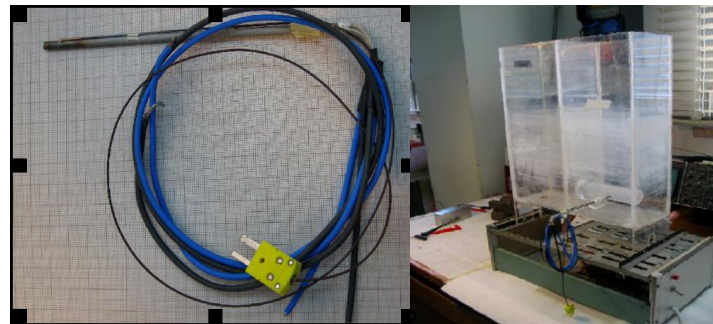
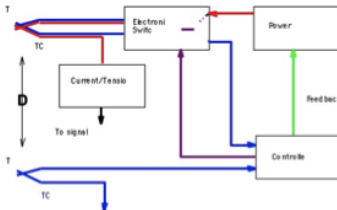
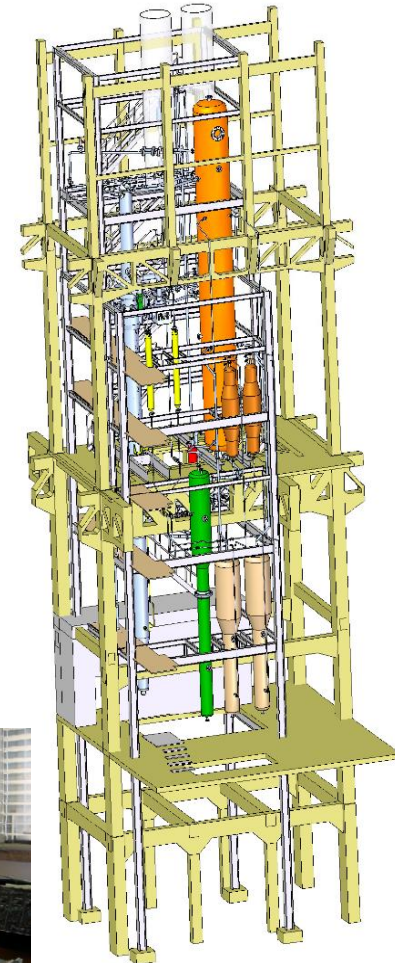
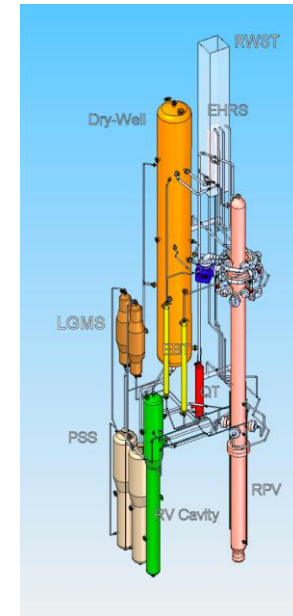
Nonostante i costi totali siano più elevati, il ricorso ad un parco reattori di tipo “misto” offre degli indubbi vantaggi: maggior facilità di gestire “modularmente” il debito iniziale (maggior controllabilità del rischio), significativo contributo al costo totale dell’investimento della componente di “self –financing” (miglior scaglionamento nella costruzione di NPP, maggior flessibilità ed indipendenza delle singole unità di NPP)

LP2: Reattori di piccola e media taglia

Qualificazione codici: accoppiamento impianto-contenitore / **Prova integrale**



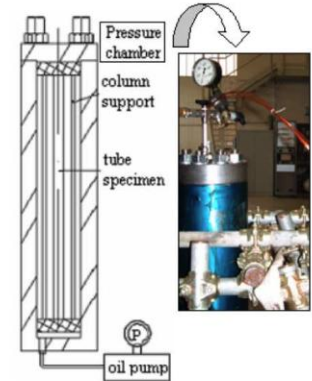
- **Progettazione facility SPES-3**
- **Struttura di supporto**
- **Impianto prova canne scaldanti**
- **Strumentazione speciale per misure in regime bifase**



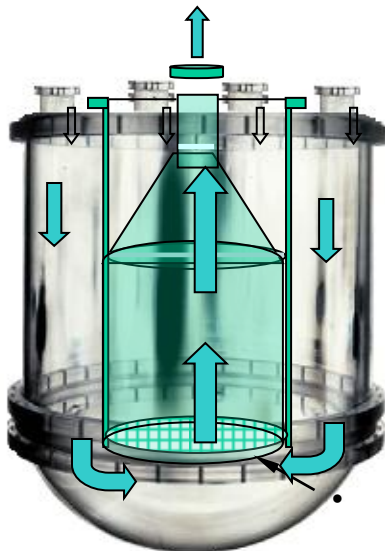
LP2: Reattori di piccola e media taglia

■ Sviluppo Componenti (GV, HX, Downcomer)

- Verifica analitica e sperimentale delle prestazioni di GV a tubi elicoidali: perdite di carico, scambio termico in condizioni di crisi termica (dry-out) e post-dry-out, instabilità termofluidodinamica, instabilità meccanica / new ASME code case
- Caratterizzazione termofluidodinamica di GV a tubi spirale, ecc.: progettazione apparecchiatura



- Condensatori immersi (HX): correlazione di scambio termico



- Plexiglas test section
- like ROCOM



- Codici CFD: sviluppo e validazione di modelli non lineari di turbolenza e messa a punto di protocolli di accuratezza
- Fondo vessel: realizzazione di una apparecchiatura in scala 1/5 per validazione codici CFD e codici di sistema

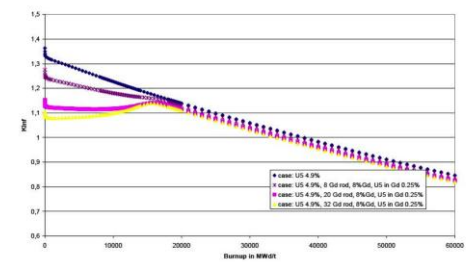
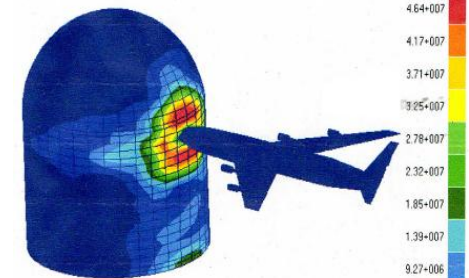
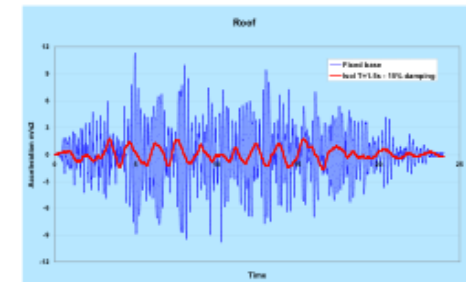
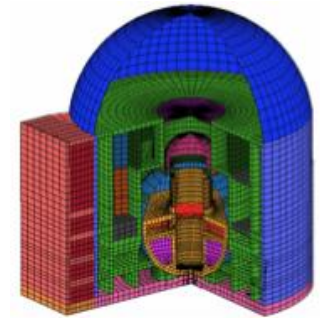
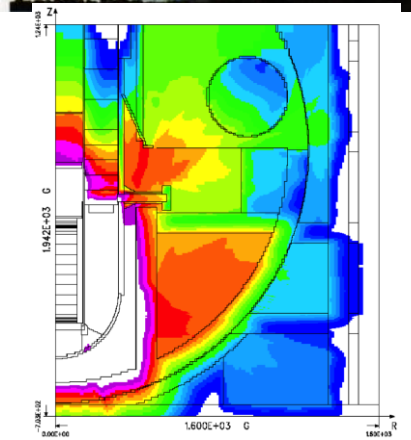
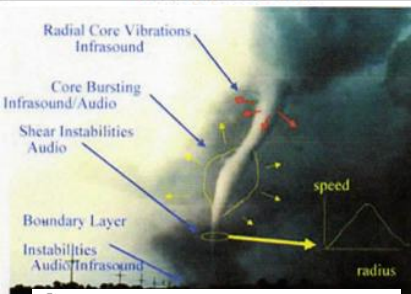
LP2: Reattori di piccola e media taglia

Analisi di sistema:

- Eventi esterni (sisma, impatto aereo e tornado)
 - ❖ Proposta di guidelines per l'isolamento sismico
 - ❖ Prove di caratterizzazione meccanica di isolatori HDRB
 - ❖ Analisi dinamica di edifici con e senza isolamento sismico
 - ❖ Metodologia per valutazione curve di fragilità dei componenti / PRA sismico
 - ❖ Impatto aereo (Boeing 747 e Phantom F4)
 - ❖ Effetti di un tornado severo
- Schermaggio, attivazione e danneggiamento materiali
- Noccioli ad alto burn-up e senza controllo chimico della reattività lungo il ciclo (veleni bruciabili)

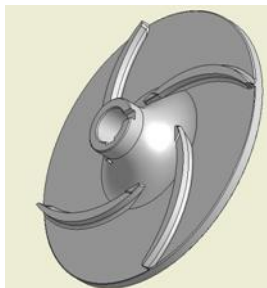


Isolatore in prova

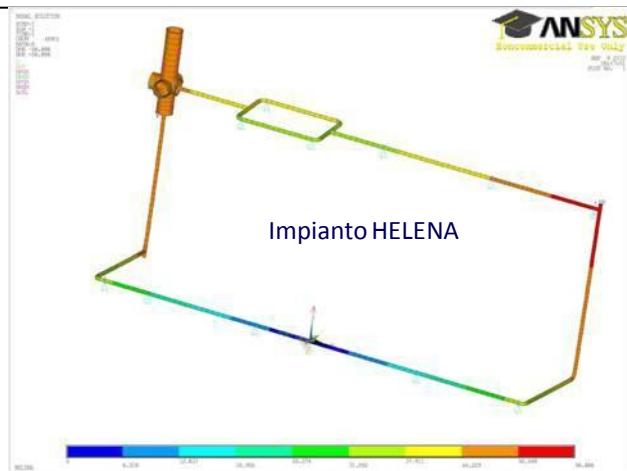


LP3: Reattori di IV Generazione

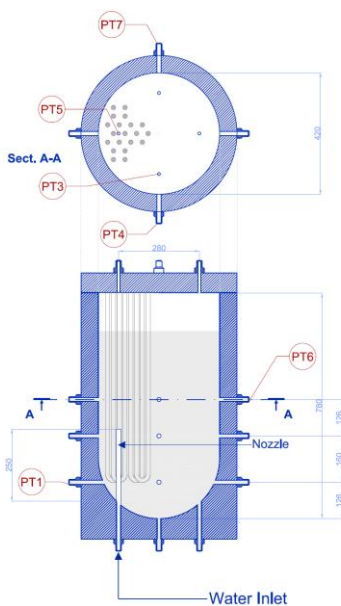
Tecnologia sistemi LFR



Qualifica materiali



Qualifica Componenti

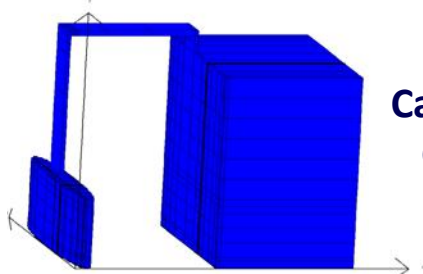


LIFUS5 - Modellazione SIMMER 3D

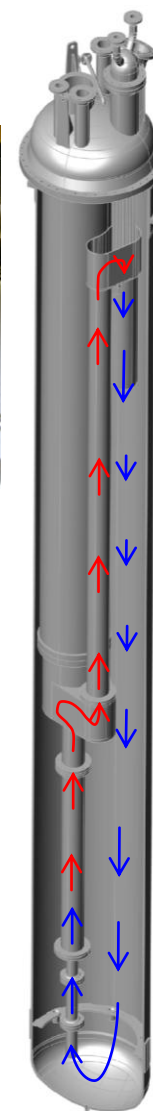


Impianto LIFUS5

Caratterizzazione
Generatore di
Vapore



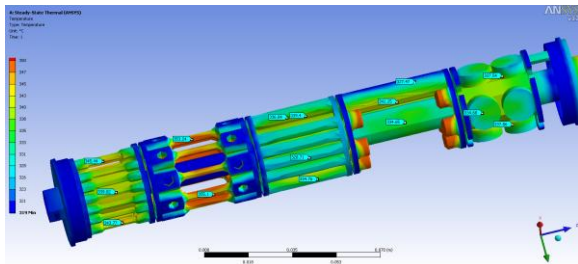
ICE



Prove Integrali e Qualifica Componenti

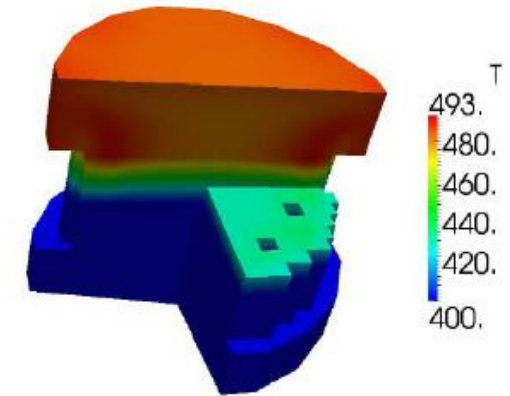
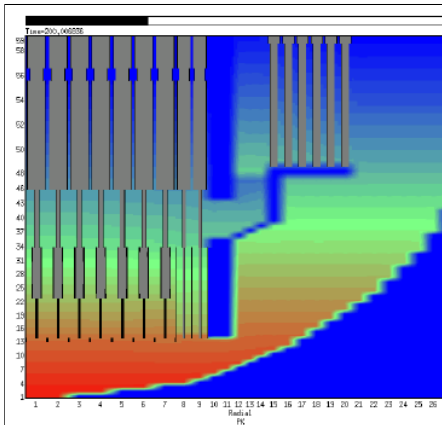
LP3: Reattori di IV Generazione

Tecnologia sistemi LFR



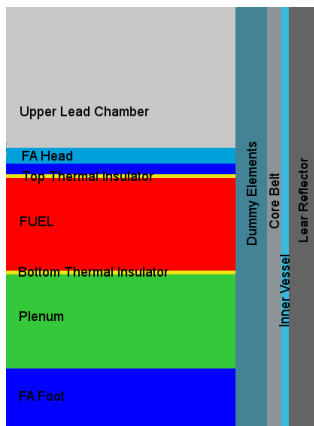
Distribuzione temperatura in capsula di LBE per irraggiamenti a 16 dpa

Qualifica materiali strutturali (irraggiamento in BOR-60)

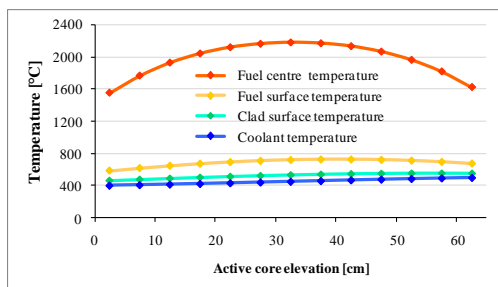


Distribuzione di temperatura nel nocciolo di LFR (FEM-LMCORE)

Sviluppo modelli di calcolo per la termo-fluidodinamica dei sistemi LFR

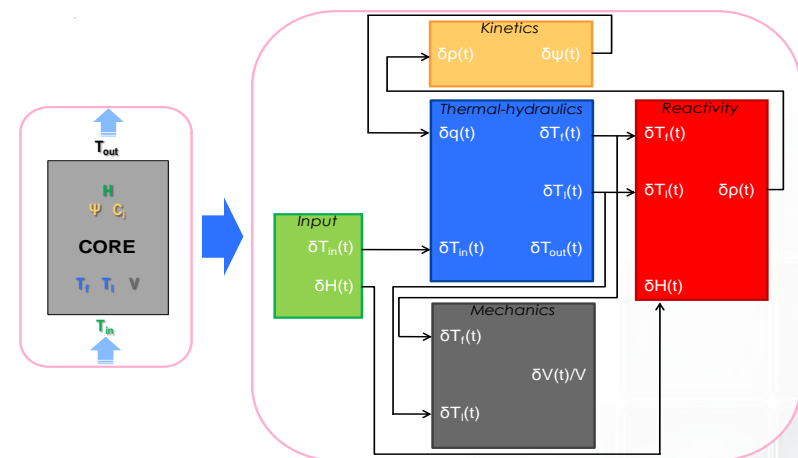


Schematizzazione nocciolo DEMO (ERANOS)



Profilo assiale delle temperature nel canale caldo del nocciolo DEMO (EoL)

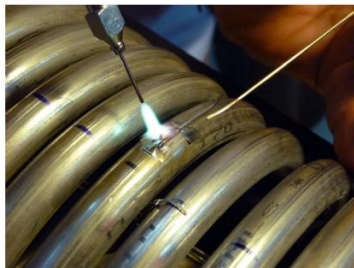
Concettualizzazione DEMO LFR



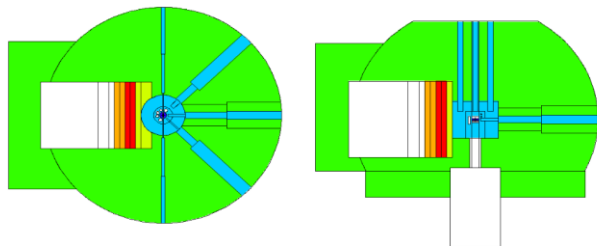
Dinamica di Nocciolo: Schema a blocchi nocciolo DEMO

LP3: Reattori di IV Generazione

Tecnologia sistemi SFR

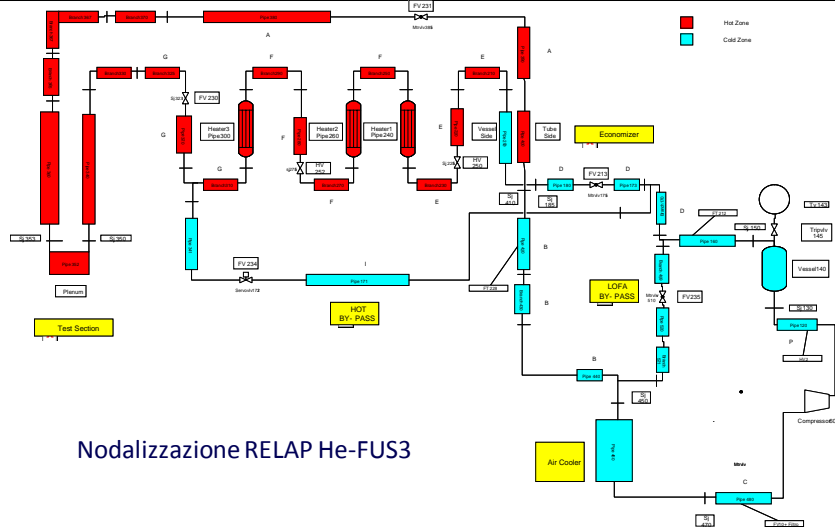


Laboratorio di misura proprietà termo fisiche sali fusi



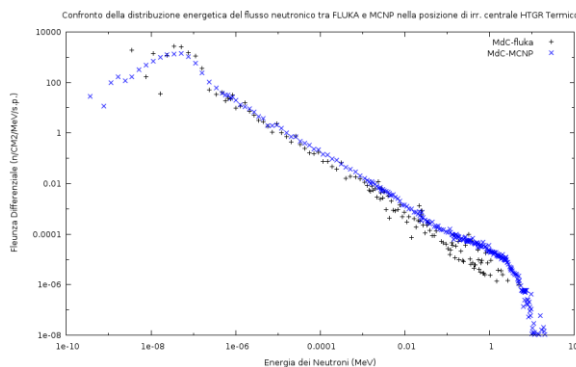
Modellazione reattore TAPIRO per codice Montecarlo

Tecnologia sistemi VHTR



Nodalizzazione RELAP He-FUS3

Sviluppo modelli e qualifica codici di calcolo per sistemi refrigerati a gas



Validazione di codici e librerie da utilizzare per il calcolo di reattori tipo VHTR.

LP4: Rifiuti radioattivi e deposito

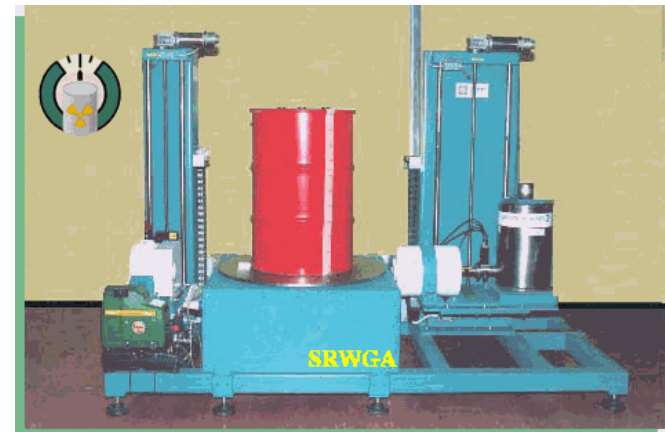


■ *Caratterizzazione*

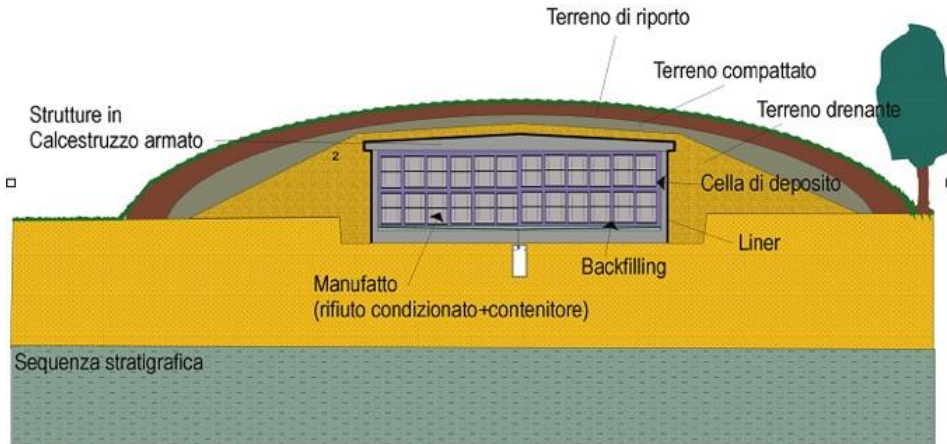
- Procedure di caratterizzazione radiologica e chimico-fisica
- Progettazione preliminare dei Laboratori di misure distruttive, non distruttive e qualificazione e certificazione di matrici di condizionamento
- Progettazione di un prototipo di sistema di misura non distruttiva, basato su tecniche di interrogazione neutronica attiva tramite fissione indotta, interrogazione gamma attiva tramite fotofissione e tomografia gamma

■ *Inventario*

- Realizzato Sistema Informativo
- Aggiornamento ed elaborazione dati dei rifiuti condizionati
- Revisione critica dell'Inventario e individuazione delle necessità



LP4: Rifiuti radioattivi e deposito

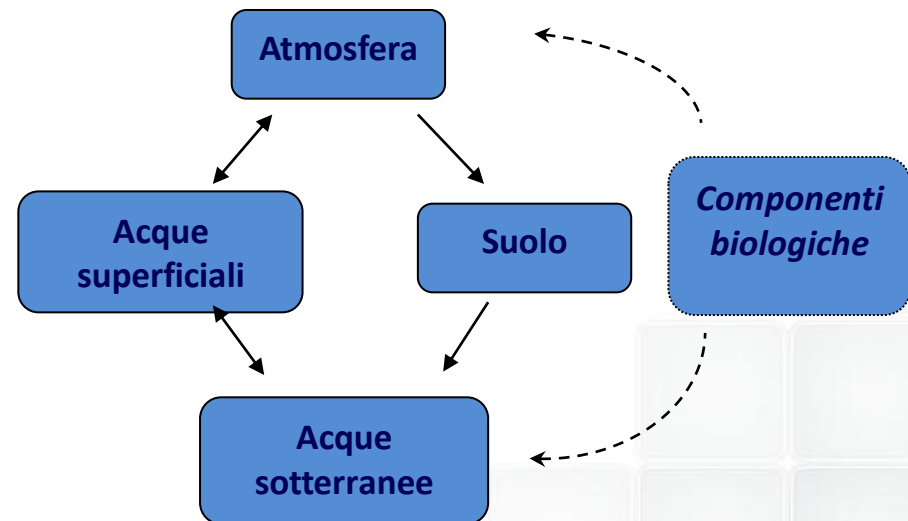


■ *Analisi di Sicurezza*

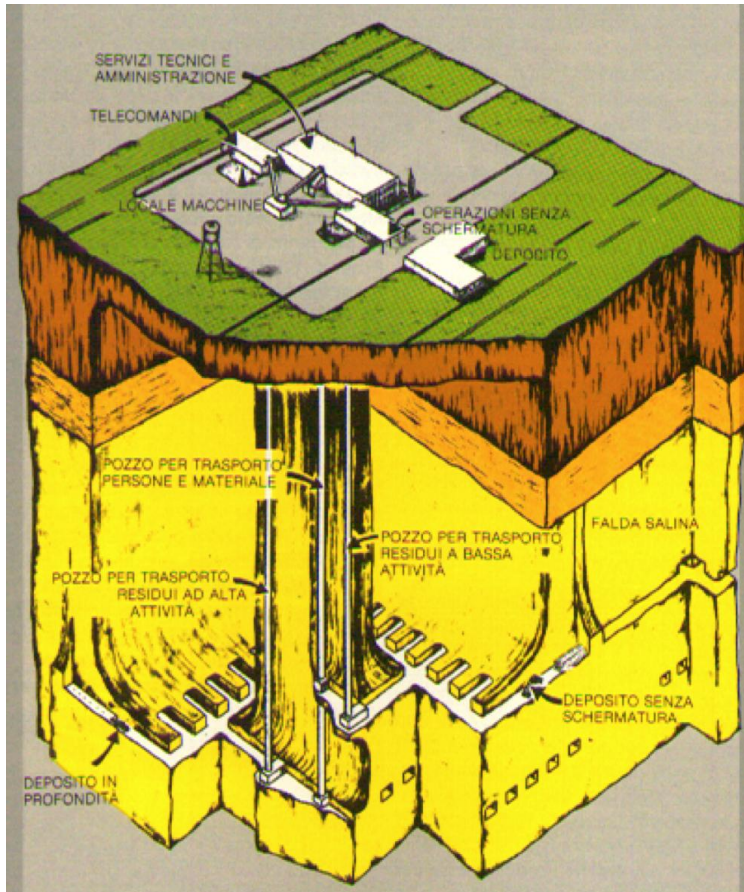
- Modellazione dei fenomeni di dispersione di contaminanti attraverso le barriere protettive del deposito
- Metodologie di analisi probabilistica del rischio
- Strumenti computazionali per *Performance Assessment*

■ *Caratterizzazione dei Siti*

- Criteri di selezione e requisiti minimi del sito
- Analisi territoriali basate sui criteri di esclusione
- Aspetti geologici, territoriali, ambientali e antropici
- Metodologie per la caratterizzazione geologico-ambientale dei siti



LP4: Rifiuti radioattivi e deposito geologico



■ *ARIUS ed ERDO WG*

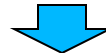
- L'ENEA aderisce all'associazione ARIUS (*Association for Regional and International Underground Storage*)
- e partecipa ai lavori di ERDO-WG (*European Repository Development Organisation Working Group*)

■ *IGD-TP*

- L'ENEA ha aderito alla Piattaforma Tecnologica Europea IGD-TP (*Implementing Geological Disposal Technological Platform*)
- L'obiettivo è di avere un deposito geologico operativo in Europa entro il 2025
- In via di definizione una *Strategic Research Agenda* per gli aspetti scientifici e tecnologici ancora da sviluppare

Base informativa sulla realizzazione di reattori di III generazione

Incontri con operatori del settore (giornate di studio sulle tecnologie) seguite da elaborazioni e confronti sui temi della sicurezza e sulle specificità del contesto italiano



Confronto filosofie di sicurezza EPR e AP-1000 > Sensibilità della progettazione/autorizzazione/realizzazione alle specifiche caratteristiche dei siti e del sistema produttivo > Modello dei flussi nella fase di realizzazione di una centrale nucleare



Contributo importante della ricerca alla preparazione dei rapporti di sicurezza, alla formazione dei tecnici e alla realizzazione degli strumenti per la qualificazione di sistemi

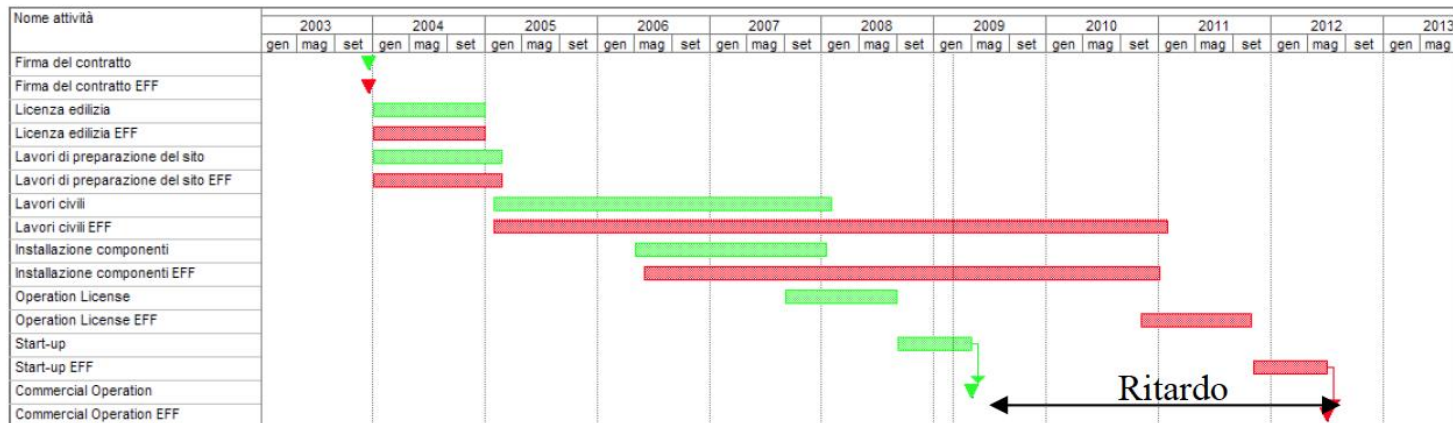
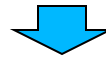


Figura 6 Confronto diretto tra lo schedule originale di OL3 e lo schedule a febbraio 2009

Piattaforme per la modellistica

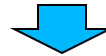
Analisi dell'attuale modellistica in campo internazionale per progettazione e studi di sicurezza, con particolare attenzione a Francia e USA



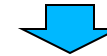
Acquisizione e installazione sulle strutture di calcolo ENEA delle piattaforme per analisi multi-fisica e multi-scala (sistema – componente – zone specifiche)



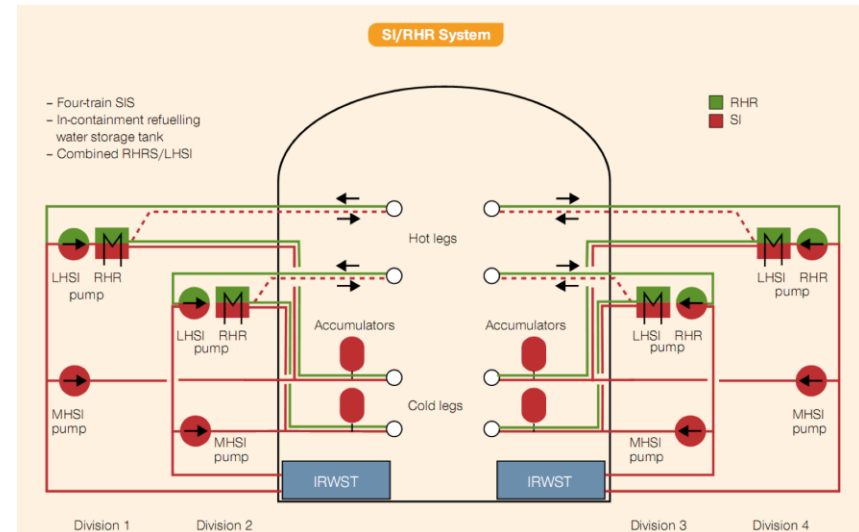
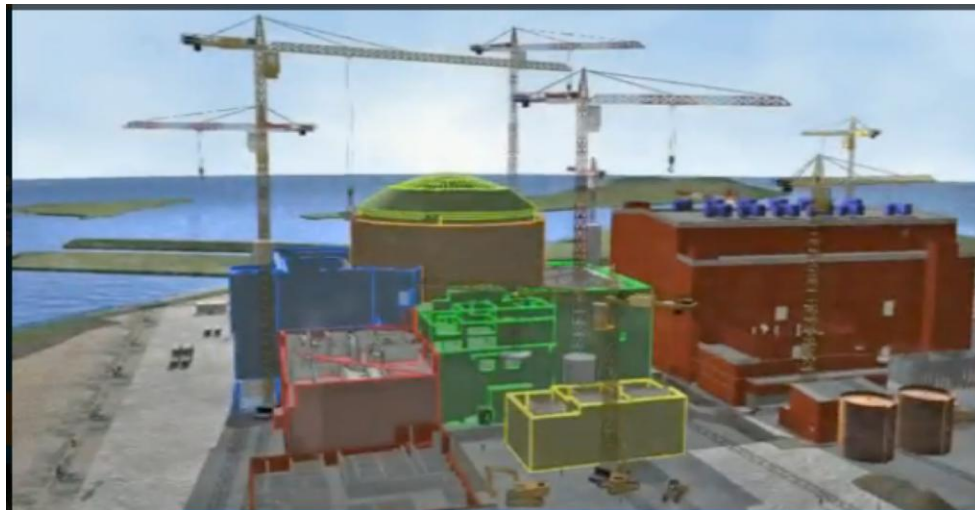
Quadro delle infrastrutture disponibili c/o operatori nazionali



Approfondimento della modellistica per valutazione del rischio

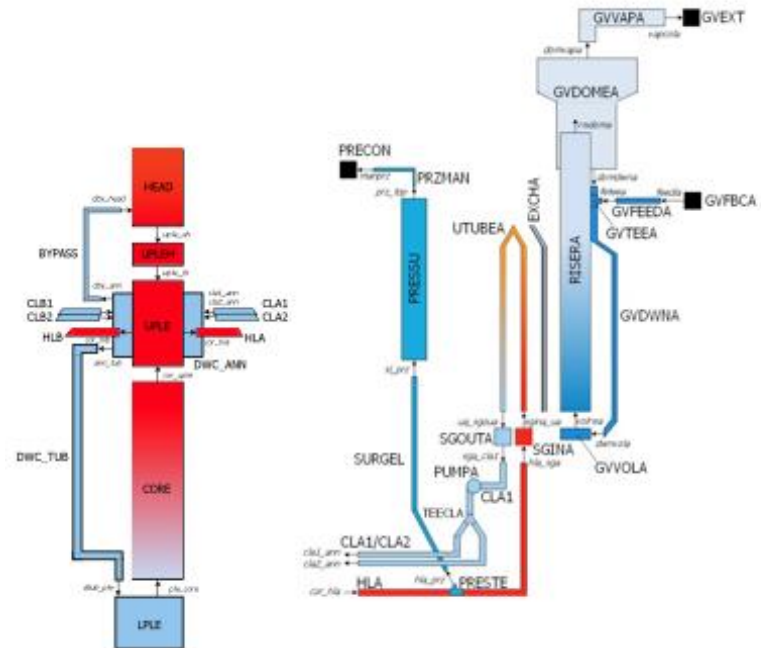
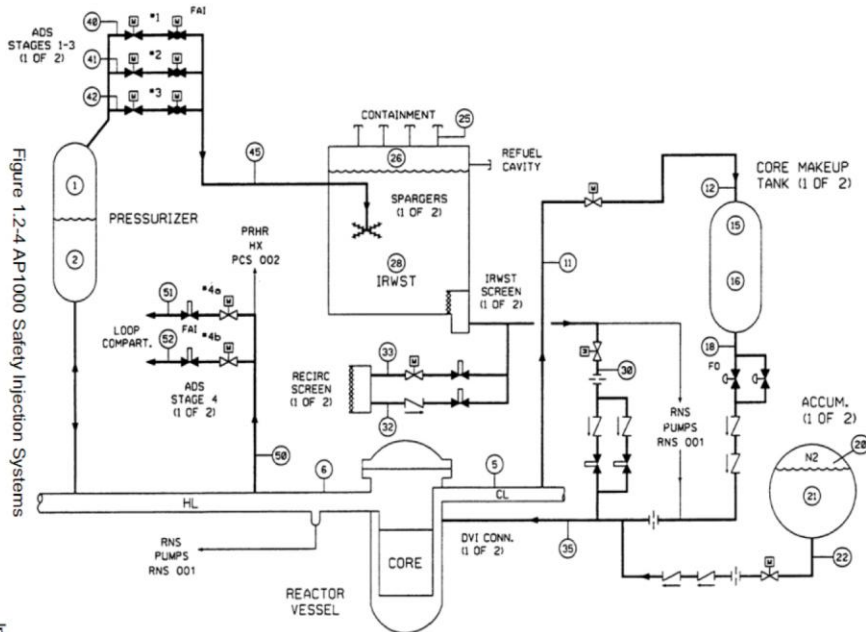


Sviluppo software di simulazione per controllo /gestione di LWR



Preparazione del programma di qualifica sperimentale

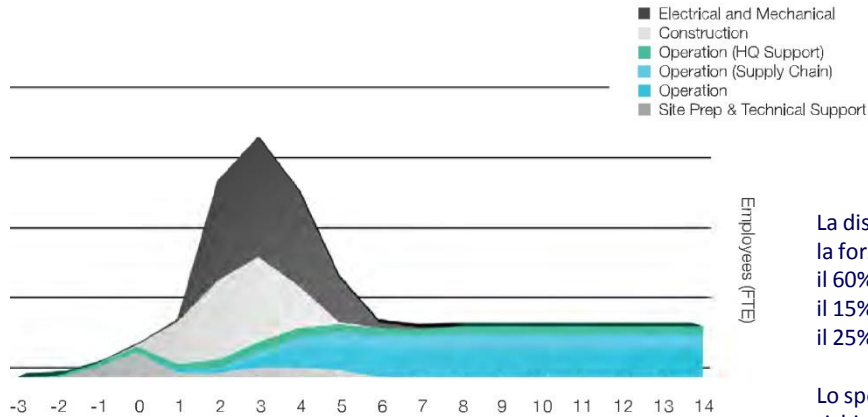
- Adeguamento infrastrutture sperimentali
- Verifica della disponibilità di laboratori e di competenze a fronte dei fabbisogni, in relazione alla normativa di riferimento e alle esigenze della catena di fornitura



Nodalizzazione del canale di potenza e del loop A della facility SPES2

LP6: Formazione e Comunicazione

Analisi domanda competenze



Esercizio

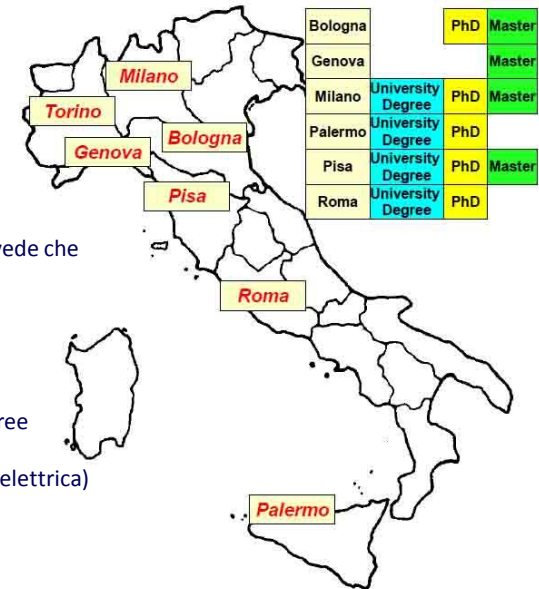


Costruzione



Supply chain

Analisi Offerta Formativa



La distribuzione della manodopera per settore prevede che la forza lavoro sia impegnata per:

- il 60% alla costruzione;
- il 15% alla produzione di componenti;
- il 25% all'esercizio dell'impianto.

Lo spettro del livello di qualifica disaggregato per aree richiede:

nella costruzione (compreso la parte meccanica ed elettrica)

- 15 % laureati
- 60 % tecnici
- 25 % operai

nella produzione di componenti

- 20-40% laureati
- 30-40% tecnici
- 15-35% operai

nell'esercizio dell'impianto

- 45% laureati
- 40% tecnici
- 15% operai



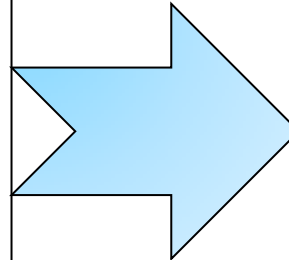
LP6: Formazione e Comunicazione



European Nuclear Energy Forum
 Forum on Stakeholder Confidence (FSC)
 Prague - Bratislava



Mappa raccomandazioni WG internazionali

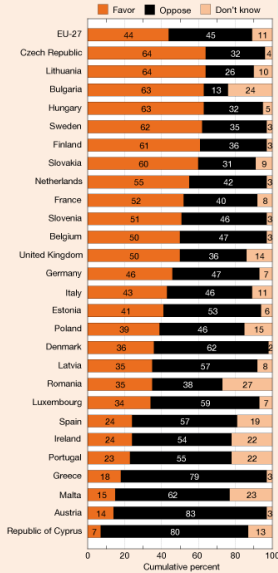


Definizione delle linee guida per la gestione dei processi di informazione e partecipazione

Partecipazione ai gruppi di lavoro internazionali

Studio iniziative indirizzate agli operatori della informazione

Figure 7-18 European attitudes towards energy production by nuclear power: 2008



NOTES: Responses to Are you in favor, fairly in favor, fairly opposed, or totally opposed to energy production by nuclear power stations?
 SOURCE: European Commission, Research Directorate-General for Energy and Transport, Special Eurobarometer 2007/Wave 69-1, Attitudes Towards Radioactive Waste, Table QB2 (2008), Fieldwork completed 18 February-22 March 2008, http://ec.europa.eu/public_opinion/archives/ebs/ebs_297_en.pdf, accessed 3 June 2009, Science and Engineering Indicators 2010

Analisi dati



Documentazione su Esperienze di successo



Pagine web ENEA

Grazie per l'Attenzione

