

Titolo

Analisi e valutazioni delle necessità formative per il programma nucleare italiano


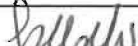

Descrittori
Tipologia del documento:
Collocazione contrattuale: Accordo di programma ENEA-MSE: tema di ricerca "Nuovo nucleare da fissione"


Argomenti trattati: Ingegneria Nucleare
Formazione

Sommario

Il presente rapporto si propone di dare una valutazione qualitativa e quantitativa delle risorse umane necessarie alla realizzazione del programma nucleare italiano. Nello studio vengono analizzati le ricerche e i dati disponibili in altri paesi e propone una stima quantitativa delle necessità formative per tutte le fasi di realizzazione del programma nucleare.


Note
Copia n.
In carico a:

2			NOME			
			FIRMA			
1			NOME			
			FIRMA			
0	EMISSIONE	27.9.2010	NOME	G. Buceti	S. Monti	S. Monti
			FIRMA			
REV.	DESCRIZIONE	DATA		REDAZIONE	CONVALIDA	APPROVAZIONE

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP6 - 001	0	L	2	26

INDICE

Premessa	3
La sorgente di dati e informazioni	3
Competenze: quali, quante, quando	4
Quali competenze, valutazioni e scelte da effettuare a monte	4
Quante, ovvero il numero di addetti	7
Quando, articolazione temporale di un programma nucleare	9
L'esperienza inglese - Il rapporto Cogent	11
L'esperienza americana	17
L'esperienza francese	19
Risorse umane per il nucleare in Italia	20
Istituto Italiano per le Competenze Nucleari	21
Valutazioni per il programma nucleare italiano	22
Conclusioni	24
Appendice 1	25
Referenze	26

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP6 - 001	0	L	3	26

1. Premessa

Nella realizzazione di grandi infrastrutture e imprese scientifiche e tecnologiche, una risorsa chiave per il buon esito finale dell'impresa è costituita dall'idonea disponibilità di risorse umane in tutta la catena delle competenze. Va da sé che anche per un programma nucleare, il tema delle risorse umane è centrale nel lavoro di pianificazione, centralità rafforzata dalla attenzione estrema alla sicurezza che sempre più viene identificata con la "cultura della sicurezza", e perciò, come in nessun altro ambito, col tema delle risorse umane e della loro formazione.

In particolare vanno riprese due considerazioni che legano strettamente la sicurezza al tema delle risorse umane:

- l'esperienza ha dimostrato⁽¹⁾ che le richieste di sicurezza non possono riposare totalmente sulle soluzioni tecnologiche
- la gestione della sicurezza non può essere delegata al "fornitore" ma rimane a carico del paese in cui i reattori sono localizzati

Ancora la IAEA insiste "...Un impianto nucleare è esercito da persone, e perciò il soddisfacimento dei criteri di sicurezza richiede persone qualificate a livello manageriale e operativo che lavorino con professionalità, secondo i più alti standard, all'interno di un appropriato sistema di gestione integrato..."⁽²⁾.

Questa consapevolezza ha sollecitato a livello internazionale l'adozione di misure di studio per dare una risposta quantitativa circa le future necessità, in vista dell'ipotizzato rinascimento nucleare, per tutto lo spettro degli abilità.

Scopo di questo documento è di fornire un quadro delle competenze necessarie al programma nucleare italiano e quindi delle necessità di formazione che ne discendono.

2. La sorgente di dati e informazioni

La base di dati e documentazione cui attinge questo rapporto è costituito da

1. studi effettuati da **istituti internazionali** sul tema della formazione, in particolare IAEA e NEA
2. **indagini promosse in altri paesi** da attori pubblici e privati, in particolare Gran Bretagna, Francia e Stati Uniti
3. la **documentazione rilasciata dalle principali aziende, europee e non**, operanti nel settore, in particolare da quelle impegnate nel modello di reattore che si ritiene di adottare in Italia ovvero Areva e Westinghouse
4. dati delle **esperienze dei reattori già in esercizio**, pur nella consapevolezza che si tratta di tecnologie diverse da quelle in via di adozione

Le valutazioni quantitative espresse negli studi di altri paesi, come ad esempio l'Inghilterra e la Francia, sono legate alle scelte tecnologiche rispettivamente adottate ma non appaiono manifestare una grande dipendenza da esse.

Quanto alle raccomandazioni lì espresse, esse dovranno considerarsi amplificate quando applicate allo scenario domestico. Infatti, rispetto al nostro paese, una differenza importante sta nel fatto che i redattori di questi studi nazionali hanno come scenario operativo di

riferimento le loro rispettive realtà locali, in condizioni più favorevoli di quella italiana che deve scontare un fermo di 20 anni.

Le competenze nucleari in ambito di applicazioni militari qui non vengono affatto considerate. Va però detto che l'esistenza o meno, all'interno di un dato paese, di un pool di expertise di provenienza militare consente, ove necessario, un flusso di competenze trasversali che può costituire un vantaggio ulteriore per i paesi nei quali questo è possibile.

3. Competenze: quali, quante, quando

Il tema che ci siamo prefissi di studiare è reso complesso da molti elementi ma val bene chiarire che le domande di partenza sono semplici. Ciò che si vuole sapere è

- **Quali** siano le competenze necessarie
- **Quante**, ovvero come pesa quantitativamente ciascuna competenza
- **Quando**, ovvero come si distribuisce nel tempo la domanda

Cercheremo di dare ordinatamente risposte a questi 3 quesiti.

2. Quali competenze, valutazioni e scelte da effettuare a monte

In fig. 1 viene rappresentato il ciclo di vita di un progetto di costruzione di una centrale nucleare mentre nella fig. 2 si vede il ciclo di vita del combustibile nucleare. Le varie fasi dei due cicli tracciano da sole una prima mappa delle competenze tecniche che sono richieste in un programma nucleare. Si tratta però di una mappa onnicomprensiva che assume di voler essere presenti in ciascuna fase dei due cicli e che descrive la realtà di pochi paesi. La mappa definitiva è quella che si traccia a valle di alcune scelte che occorre fare alla partenza del programma.

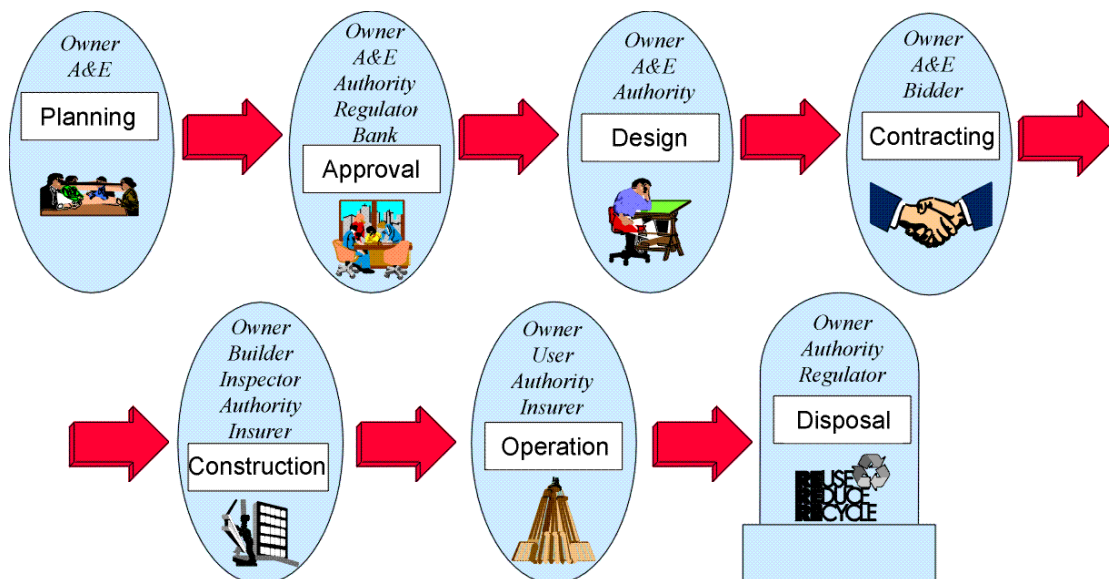


Figura 1 Ciclo di vita del progetto costruzione di una centrale nucleare (fonte: Rudolph V. Matalucci and Dennis S. Miyoshi, Sandia National Laboratory)

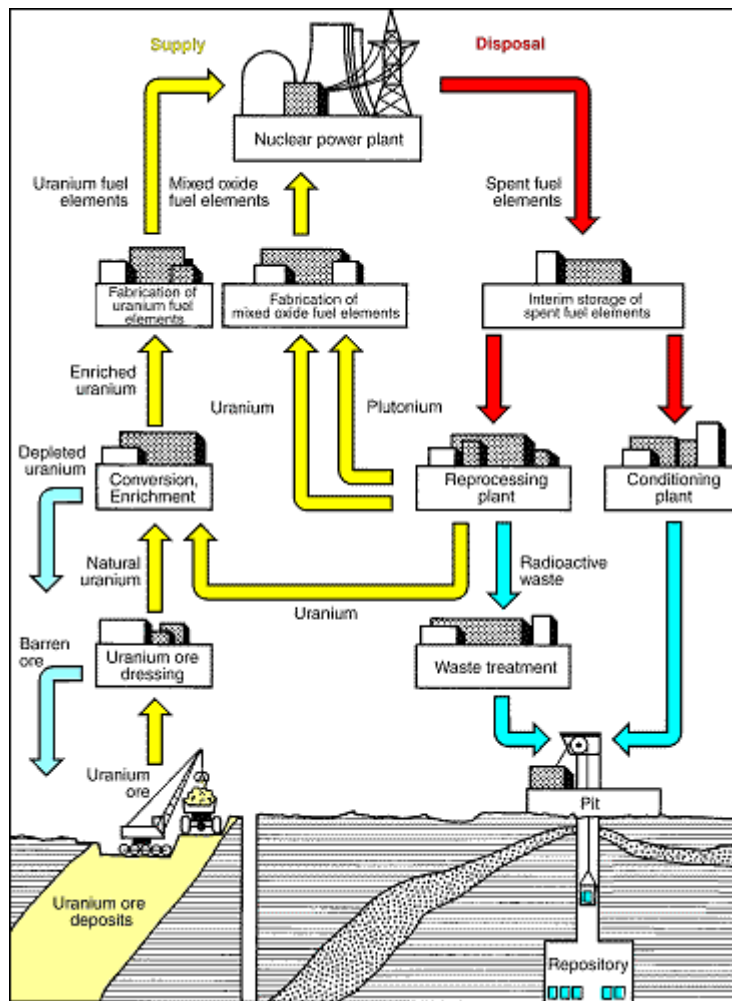


Figura 2 Ciclo di vita del combustibile nucleare

In particolare, pur con l'obiettivo di rendersi autonomi, quanto più e quanto prima possibile, nondimeno all'inizio di un programma nucleare occorre

1. decidere dove collocarsi entro l'ampio spettro delle due scelte più estreme che sono
 - comprare sul mercato internazionale tutte le competenze necessarie o viceversa
 - affidarsi esclusivamente a risorse indigene.
2. una volta effettuata questa scelta di fondo e decise le competenze nazionali da sviluppare sul medio e lungo termine, occorre fare una **valutazione delle risorse, con competenze domestiche nucleari, immediatamente ma realisticamente disponibili**, per avviare, compromettere i tempi di realizzazione, subito il potenziamento delle risorse indigene

In questo senso va subito definito:

1. **a quali ambiti di competenze rinunciare**; in Italia, ad esempio, mentre è ovvio che non svilupperemo competenze legate all'estrazione per assenza di miniere, è anche probabile la decisione di rinunciare, almeno nella prima fase, alla fabbricazione diretta del combustibile.

2. **quali possono essere acquisite all'interno di un contratto “chiavi in mano”**. Un esempio può essere qui l'esercizio della centrale o il project management di un cantiere nucleare
3. **quali debbano essere reperite nel mercato internazionale**
4. **quali invece potenziare da subito** contando su una base locale che può essere sviluppata subito o comunque in tempi compatibili con quelli di realizzazione del programma nucleare

Nel caso dell'Italia, messo da parte tutto il segmento della estrazione e fabbricazione del combustibile, sia se si guarda al ciclo del combustibile che al ciclo di vita del progetto di costruzione, è sostenibile che il nostro paese punti a essere presente in tutti gli altri segmenti del ciclo.

Rispetto ai due cicli prima analizzati, per completare il quadro, occorre infine tenere conto delle figure professionali (vedi fig. 3) utilizzate non direttamente sul fronte “produttivo” ma altrettanto indispensabili. Infatti, sono necessarie una moltitudine di figure professionali altrettanto indispensabili che vanno dagli esperti del ministero agli specialisti di radioprotezione, dalle figure commerciali delle aziende di settore agli esperti dell'agenzia di sicurezza, dagli addetti alla formazione all'attività di ricerca e sviluppo.



Figura 3 Mappa risorse umane per un programma nucleare (fonte IAEA, Managing Human Resources in the Field of Nuclear Energy, IAEA Nuclear Energy Series, No. NG-G-2.1)

Pur nei diversi ambiti applicativi, le varie figure professionali sono riconducibili a discipline e skills per le quali è stato nel tempo tentata una standardizzazione e classificazione. Ad esempio, subito dopo l'incidente di Three Mile Island, l'industria americana ha sviluppato un Job Task Analysis (testo non di pubblico dominio) che fa da base per il lavoro della National Academy of Nuclear Training (NANTL) dell' Institute of Nuclear Power Operations (INPO). In questi mesi la NEA, attraverso il suo *Ad hoc Working Group on Nuclear Education and Training*, sta sviluppando un lavoro di tassonomia delle competenze nucleari che comparirà

nel rapporto di imminente pubblicazione, pensato come aggiornamento di un analogo studio comparso nel 2000 ⁽³⁾.

In fig.4 viene data una rappresentazione grafica dello spettro di risorse comunque coinvolte nella realizzazione di un programma nucleare.

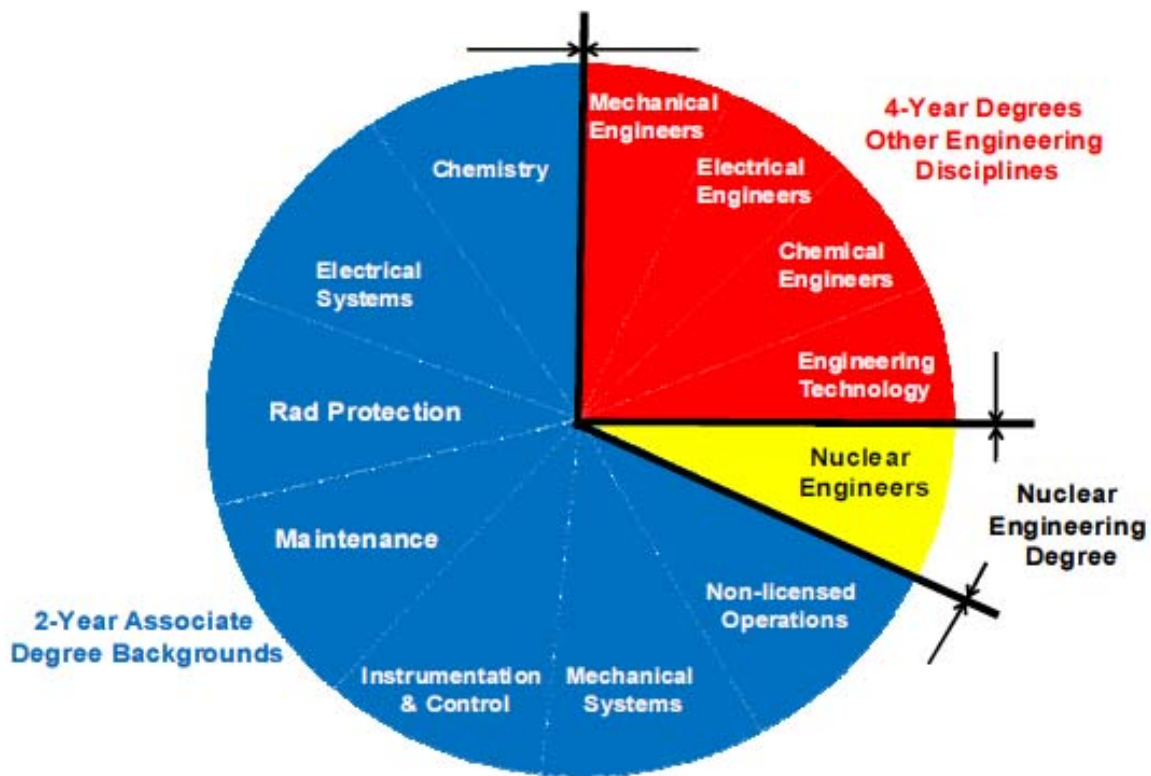


Figura 4 Mappa competenze nucleari (fonte: Human Resources for Nuclear Power Expansion - NTR2010 Supplement, IAEA)

Come si vede, esiste una fetta significativa di skills squisitamente nucleari ma per la gran parte si tratta di *competenze non nucleari ma di alto profilo*. Per queste va effettuata una ricognizione della possibilità di eventuale concorrenza con la realizzazione parallela di grandi infrastrutture civili.

E' questo un argomento che rafforza la idea, che verrà discussa più avanti, che la gestione delle risorse umane va affrontata con una regia centralizzata, di tipo governativo, su un tavolo nel quale siano presenti tutti attori coinvolti nel programma.

5. Quante, ovvero il numero di addetti

Dopo avere descritto la tipologie delle figure professionali coinvolte in un programma nucleare, si tratta di “quantificare” il problema. I dati storici della costruzione ed esercizio delle centrali esistenti sono la fonte più attendibile di valutazione. Esiste però qui un problema di standardizzazione dei dati. Sulla difficoltà di rendere confrontabili le diverse valutazioni quantitative valgono come esempio i seguenti tre casi di Stati Uniti, Inghilterra e Canada:

- La NEI americana valuta che “...sui 104 reattori nucleari ci sono approssimativamente 120.000 lavoratori impiegati nei vari settori della industria nucleare degli Stati Uniti...”⁽⁴⁾, valori che indicano, in una rozza prima approssimazione, 1200 addetti per reattore.
- La Cogent inglese valuta⁽⁵⁾ invece che “...la attuale forza lavoro nucleare britannica è di 44.000 unità di cui 20.000 nella supply chain, 12.000 nel decommissioning, 7400 nella generazione di elettricità e 4.600 nella fabbricazione di combustibile...”, tutti impegnati sui 19 reattori operanti sul suolo britannico. Gli addetti per reattore diventano in questo caso oltre 2000.
- In Canada “...l'industria nucleare impiega, direttamente o indirettamente, oltre 66.000 addetti...” per i suoi 18 reattori⁽⁶⁾, lasciando intendere che ciascun reattore genera almeno 3.000 addetti, Va notato che nello stesso sito della World Nuclear Association, ricchissimo di dati aggiornati, non esiste una equivalente informazione per Stati Uniti o Inghilterra di modo che si possa fare un confronto tra valori omogenei.

La differenza tra questi numeri manifesta più che una reale disomogeneità nella organizzazione del lavoro così forte da generare differenze del 300 % (1200 addetti negli Stati Uniti contro gli oltre 3.000 del Canada), una mancata standardizzazione nel censimento delle risorse umane nucleari, per cui è verosimile che mentre in un caso si fa riferimento al solo esercizio delle centrali, in un altro si farà riferimento anche agli addetti al decommissioning e alla fabbricazione del combustibile.

All'interno di ciascun paese c'è stata inoltre una evoluzione nel tempo per cui, ad esempio, “...l'organico medio di una stazione nucleare americana ha toccato il massimo negli anni 70 e 80 con circa 1500 addetti per unità. In coincidenza, l'allora moribonda industria riportava una fattore di capacità media di impianto di circa il 60%. Dal 2000, il fattore medio di capacità è rimasto invece vicino al 90% come effetto di un rinascimento nelle costruzioni e dei miglioramenti nell'esercizio e manutenzione realizzati negli anni 90...”.

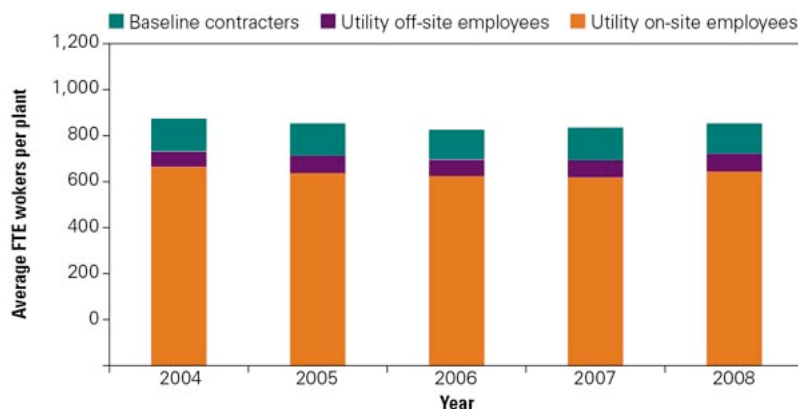


Figura 5 Numero medio di addetti per impianto nucleare (2004–2008) comprensivi di addetti on-site e off-site. Fonte: EUCG

Questa tendenza alla riduzione degli addetti per impianti si è esasperata al tal punto che “...Rimane senza risposta la domanda se l'organico presso gli impianti nucleari non sia stato tagliato al di là di quanto sia economicamente giustificabile fino al punto da compromettere capacità essenziali. Un recente indicatore di questa ultima tendenza è l'aumento di incidenti dal 2000 dovuti a stress da sovraccarico. Poiché condizioni di stress degradano abilità critiche dei lavoratori, la NRC ha intrapreso delle specifiche azioni...pubblicando delle linee guida sul tema del carico di lavoro, la NEI06-11, "Managing Personnel Fatigue at Nuclear

Reactor Sites" and la NRC RG 5,73, "Fatigue Management for Nuclear Power Plant Personnel" a Ottobre del 2009..”(7).

In fig. 5 è riportato l’organico medio per reattore negli Stati Uniti. Negli ultimissimi anni il dato si è mantenuto quasi costante.

6. Quando, articolazione temporale di un programma nucleare

Un programma nucleare, fosse anche per un solo reattore, costituisce un impegno di pianificazione che si sviluppa sull'arco di almeno un secolo. Lo sforzo di articolazione temporale si fa ancora di più impegnativo quanto più il programma prevede la realizzazione di un più nutrito parco di reattori. Concentrando l'attenzione sulla realizzazione del primo reattore di una eventuale filiera, tra le molte possibili schematizzazioni della pianificazione temporale, la IAEA ne propone (2) una in 3 fasi:

1. una prima fase di studio e approvazione di un **piano energetico nazionale**, a valle del quale viene presa la decisione definitiva di procedere alla realizzazione di reattori nucleari e si nomina un Organismo di Controllo con i poteri utili a salvaguardare la sicurezza dei cittadini e dell'ambiente
2. una seconda fase di **realizzazione**, dalla preparazione del sito alla costruzione del reattore
3. una terza fase di **commissioning** e avvio delle operazioni

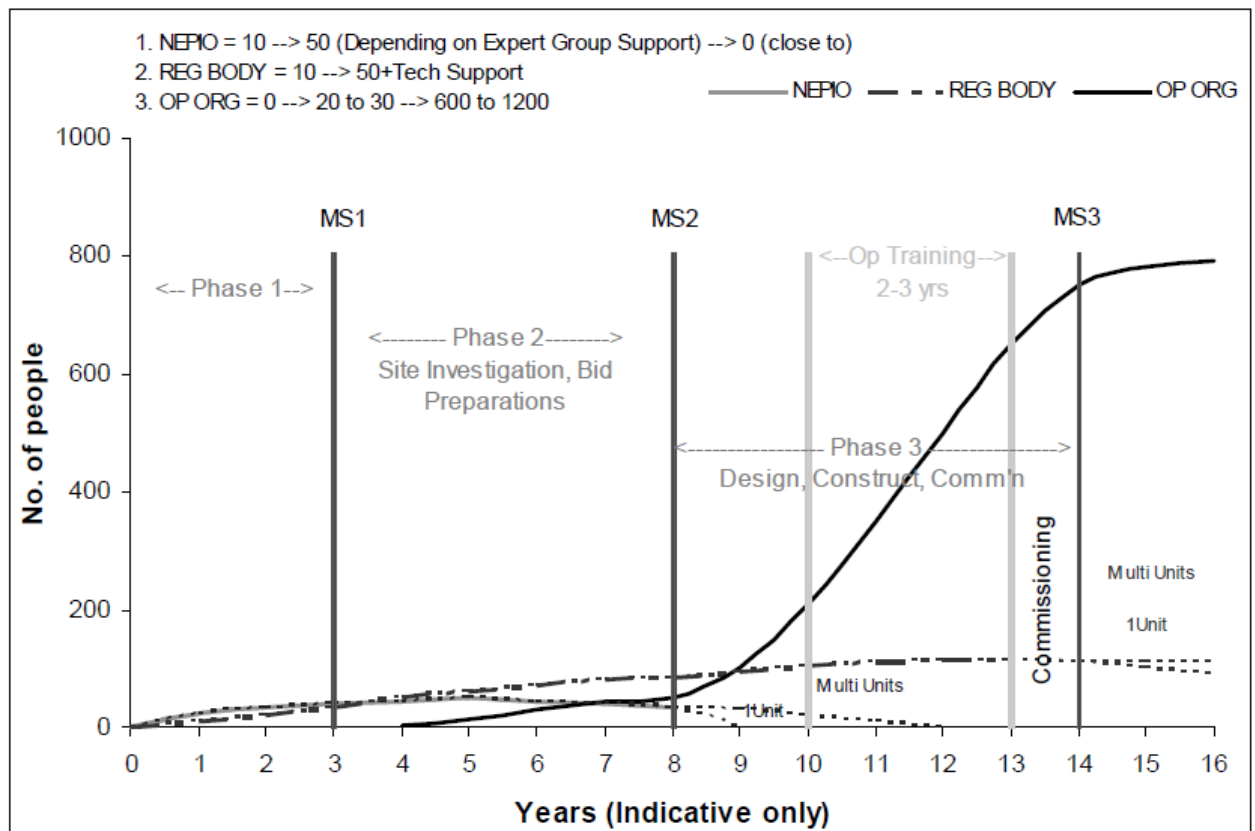


Figura 6 Evoluzione temporale del reclutamento nella realizzazione del primo reattore

Tutto il programma si valuta che si spalmi su **un arco temporale di 10-15 anni**, con una

incertezza che dipende molto dalle condizioni specifiche di ciascun paese. Questa è una valutazione che viene fatta per un paese che non abbia per nulla un programma nucleare o lo stia facendo ripartire.

Anticipando parzialmente alcune valutazioni quantitative sulla domanda delle risorse umane, in fig. 6 è riportata la valutazione IAEA delle necessità per l'avvio in esercizio del primo reattore. Come si vede, i primi anni vedono impegnate “decine” di addetti nel lavoro di preparazione mentre è solo con la costruzione che gli addetti salgono a diverse centinaia. In questo grafico non vengono considerati gli addetti della supply chain, che possono o meno essere considerati parte importante nella pianificazione delle risorse umane. Questo è un tipo di incertezza con cui continuamente si deve fare i conti nel confrontare le valutazioni che i vari paesi fanno delle necessità di HR.

La ipotesi IAEA di articolazione temporale può subito essere messa a confronto con un analogo valutazione (vedi fig. 7) effettuata dalla Cogent inglese ⁽⁸⁾, valutazione che per il caso italiano è particolarmente interessante perché in entrambi i paesi, Inghilterra e Italia, si pensa a soluzioni tecnologiche simili (metà EPR, metà AP1000), per una potenza totale confrontabile (in Inghilterra è prevista la installazione di 16 Gwe con 6 stazioni da 2 reattori ciascuno, per l'Italia dovrebbero essere 12 Gwe), da realizzarsi in una finestra temporale analoga, comunque entro il 2025.

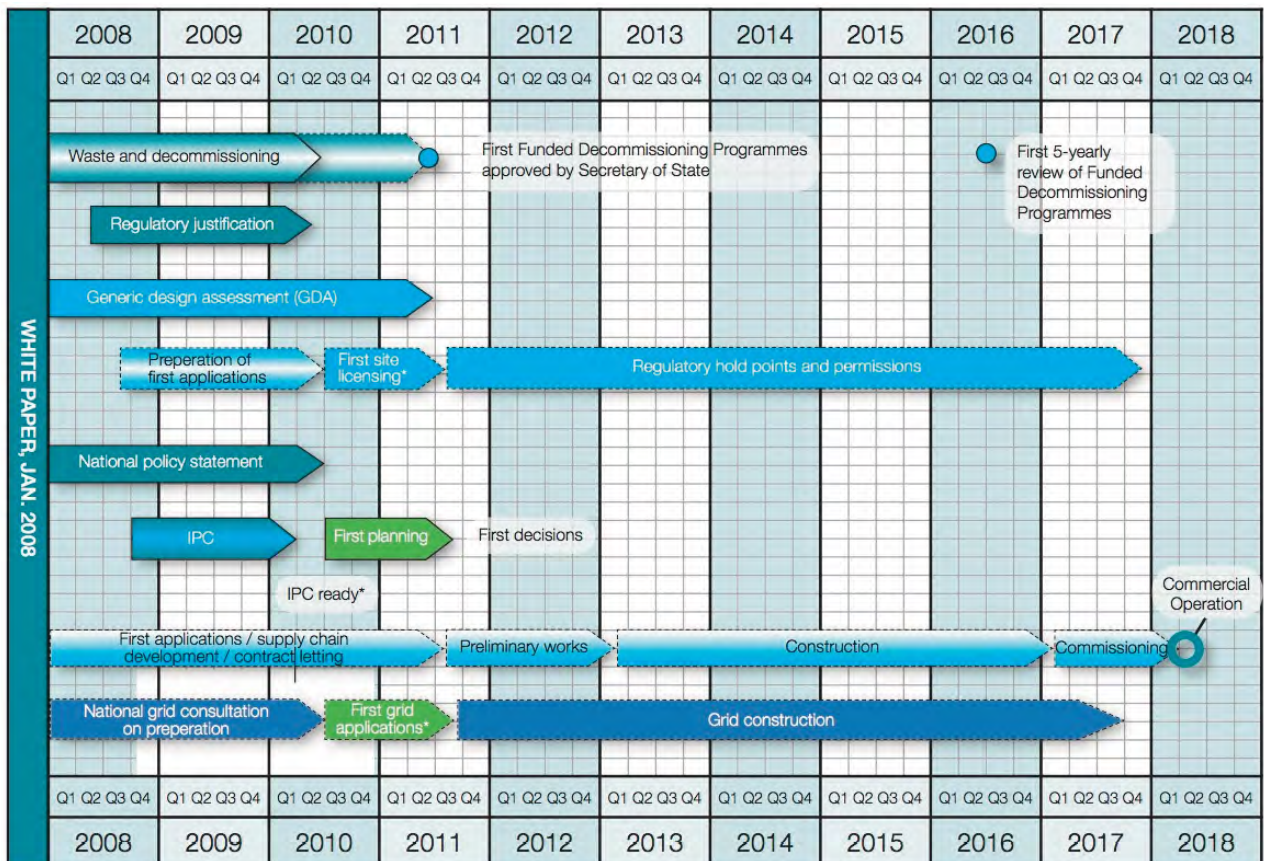



Figura 7 Figura 6 Articolazione temporale del programma nucleare inglese (Finte Cogent)

Quello che interessante notare è che per la Gran Bretagna, dove sono allacciati in rete 19 reattori e sono stati censiti 44.000 addetti in ambito nucleare ⁽⁵⁾, le valutazioni sui tempi di

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP6 - 001	0	L	11	26

realizzazione non risultano fortemente dissimili da quelle prospettate nel rapporto IAEA per i paesi *novizi*, ad indicare una incomprimibilità dei tempi di licensing e realizzazione. Tutto ciò al netto di incertezze che dipendono da condizioni di difficoltà specifiche dei singoli paesi.

7. L'esperienza inglese - Il rapporto Cogent

Si è già fatto cenno al lavoro di indagine svolto dalla società inglese Cogent che può costituire un punto di riferimento per un eventuale analogo lavoro sulla realtà italiana. Di seguito vengono riportati (con una qualche libertà di traduzione a beneficio della leggibilità) ampi estratti del documento, soprattutto per le sezioni rilevanti dal punto di vista italiano.

Di questo ampio stralcio dal documento Cogent non si fa appendice a parte perché molte delle informazioni si possono trasporre meccanicamente alla analisi della situazione italiana e perciò si possono integrare direttamente nel nostro ragionamento. Il testo importato viene comunque reso riconoscibile dal colore in blue del carattere.

Nuclear Renaissance

“..Nella posizione assunta dal Governo non viene fissato un limite al numero di nuove centrali nucleari da costruire. Per quanto riguarda la pianificazione temporale, pubblicata dall'Ufficio per lo Sviluppo Nucleare, si prevede nel 2018 la generazione di elettricità dalla prima nuova stazione. Questa previsione assume che il primo sito venga licenziato nel 2011 e che i lavori di costruzione inizino nel 2013. Tutto ciò in un contesto in cui il governo si è impegnato a avviare il programma nucleare il prima possibile.

L'effetto delle azioni di promozione finora effettuate ha creato un reale interesse nelle compagnie energetiche che hanno annunciato di voler realizzare impianti per una capacità di 16 GWe. Per soddisfare la scadenza del 2018 la costruzione deve cominciare il prima possibile una volta che siano state concesse le autorizzazioni del caso.

Realizzare un programma di queste dimensioni richiederà un significativo numero di addetti nelle discipline più diverse, impresa non facile per dimensione e per demografia del settore.

*La pianificazione delle competenze in ambito nucleare richiede **periodi lunghi di incubazione** per via dell'alto livello di training e di esperienza, combinati con una cultura del controllo della qualità e della sicurezza ai massimi livelli possibili, necessari per le posizioni di grande responsabilità.*

*Nel reperimento di queste risorse, occorre tenere in conto anche la competizione possibili con la **realizzazione concorrente di altre infrastrutture** di dimensioni paragonabili.*

Lo scopo di questo rapporto è di identificare la probabile domanda di competenze a supporto della industria nucleare. In particolare, si vuole:

- *chiarire al meglio possibile e **quantificare la richiesta** di risorse per la costruzione (progettazione, ingegneria, componentistica) e l'esercizio (addetti nucleari)*
- *identificare l'insieme delle specifiche competenze per le quali esistono preoccupazioni quanto alla **disponibilità** e alla **adeguatezza** che, in assenza di interventi correttivi, possono avere effetti nel rispetto della agenda temporale di rilascio*

*A questo scopo, governo e organismi con interessi nel nuovo programma nucleare hanno costituito un **Nuclear Energy Skills Alliance** con l'obiettivo di prendere in carico collettivamente il tema delle risorse umane per il nuovo programma nucleare.*

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP6 - 001	0	L	12	26

Nella compilazione delle attuali stime, una qualche aleatorietà è dovuta alla scarsità di esperienze operative pregresse sul tipo di impianti che si intendono realizzare.

Next Generation

Questo capitolo quantifica la metrica della forza lavoro – numero di addetti, il livello di competenza, la distribuzione della forza lavoro, ecc...) - richiesta nell'arco temporale necessario alla costruzione di nuove stazioni nucleari del tipo di quelle previste nel programma nazionale. L'analisi viene effettuata per un singolo PWR che può essere scalato per modellizzare un programma di 16 Gwe. Lo scenario indicativo che qui viene presentato è in linea con il minimo della capacità che le aziende elettriche hanno dichiarato di voler installare.

Planning and design

*Nel porre le fondamenta per la costruzione, la realizzazione di componenti e la gestione di un programma di queste dimensioni, le valutazioni che si operano nella fase iniziale di pianificazione e progettazione sono particolarmente critiche. Ovvero, si richiede una **gestione manageriale di alto profilo e di grande esperienza**. Oltre a ciò, nel caso della industria nucleare, ci sono supplementari responsabilità relativi alla sicurezza e all'ambiente. L'eventuale indisponibilità di questo tipo di competenze metterebbe a rischio il rispetto della pianificazione temporale di tutto il programma.*

*Oltre alla gestione manageriale, una delle prime richieste di competenze verrà nell'area della regolamentazione attraverso il processo di *Generic Design Assessment* del disegno di reattore proposto e, in parallelo, nell'area della idoneità dei siti, attraverso lo *Strategic Siting Assessment*.*

Construction

*Complessivamente, la costruzione, considerata insieme ai lavori elettrici, meccanici e di preparazione del sito, costituirà la domanda aggregata più grande di forza lavoro, fino a costituire il **60% del totale**. Questa forza lavoro servirà inizialmente alla preparazione della infrastruttura del sito, poi alla costruzione civile (edifici,...) e infine alla costruzione della parte "ingegneristica".*

*Una porzione piccola ma critica, di poco più di **300 addetti**, viene verosimilmente coinvolta nello **sviluppo iniziale dell'infrastruttura del sito**. In questa fase le competenze saranno prevalentemente di livello di base (1 e 2). Il resto, la grande maggioranza della forza lavoro impegnata nella costruzione, sarà coinvolta nella fase della vera e propria costruzione. I profili della forza lavoro si sposteranno in questo caso verso il livello superiore (livello 3).*

*Poiché la costruzione è largamente vincolata al sito di localizzazione è da attendersi che molte delle competenze siano fornite all'interno del paese che ospita la centrale. Va comunque rilevato che i due reattori in discussione alludono a due diversi percorsi implementativi, dove **l'API1000 prevede l'utilizzo di moduli pre-fabbricati mentre l'EPR prevede che la costruzione avvenga in situ**. Detto ciò, le valutazioni che qui verranno espresse non hanno motivo di differenziarsi a seconda del reattore adottato.*

*Una stazione con **2 reattori** richiederà all'incirca **13.000 anni uomo**, distribuiti in preparazione del sito, costruzione, lavori elettrici e meccanici su un **periodo di 6 anni**, assumendo una certa sovrapposizione tra i tempi di realizzazione dei singoli reattori. In questo modo ne viene un impiego di **2200 addetti per anno**. Va comunque considerato che nella fase di costruzione molte occupazioni sono temporanee e sono disponibili per un*

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP6 - 001	0	L	13	26

periodo più breve del programma di costruzione. Il numero di persone che verrà quindi coinvolto sarà perciò significativamente maggiore

Manufacture

Con manufacturing si intende la fornitura di componenti di ingegneria civile, dei componenti nucleari più grandi e delle sezioni non-nucleari dell'impianto di generazione (il cosiddetto "balance of plant", consisting of the remaining systems, components, and structures that comprise a complete power plant or energy system that are not included in the prime mover and waste heat recovery like gas turbine, steam turbine, HRSG, waste heat boiler, etc.).

La realizzazione di questi componenti è la parte più complessa del modello, anche per via della dimensione e delle abilità richieste, specialmente nella fornitura di grandi forgiati e di vessels per i reattori a pressione. Nondimeno, rapporti recenti dell'IBM e della Nuclear Industry Association sulle capacità industriali in ambito nucleare riportano che le industrie inglesi possono fornire la maggioranza dei componenti speciali necessari al programma nucleare ...

*Fatto salvo un più alto grado di incertezza in questa area dovuta alla mancanza di dati attendibili, si stima, sulla base di dati forniti dalle aziende per la realizzazione di questo studio, che la richiesta di personale coinvolta nella realizzazione di manufatti per una stazione a 2 reattori è di circa **3200 anni uomo**, di cui*

- *500 per componentistica di ingegneria civile,*
- *2100 per componentistica nucleare e*
- *600 nel balance of plant.*

*Sugli usuali 6 anni, questo implica **530 addetti per anno**.*

La distribuzione disaggregata per settore prevede

- *25% forgiati*
- *60% manufatti pesanti (turbine, moduli,...)*
- *15% manufatti leggeri (valvole piccole, controlli,...)*

Operation and maintenance

Nel primo rapporto è stato stimato che l'attuale forza lavoro nucleare in UK è di 44000 unità comprendendo sia i 20000 che sono nelle ditte appaltatrici che i 12000 che sono nel decommissioning, oltre ai 7400 nella generazione di elettricità e 4600 nella lavorazione del combustibile. Tutto questo indica una forte tradizione inglese di competenze in ambito nucleare.

Nello stesso rapporto veniva indicato che la sostituzione di personale in uscita per raggiunti limiti di età porrà una domanda di forza lavoro simile a quella richiesta dalla costruzione di nuove centrali. In particolare veniva stimato che la sostituzione di personale impegnato nelle operazioni di decommissioning, generazione e trattamento di combustibile, considerando le rispettive filiere nel loro complesso, porranno una domanda di 1000 addetti per anno tra turnover e nuovo organico.

*Sulla base dei **dati storici** di Sizewell B, l'unica stazione con dati utili alla comparazione, le necessità di personale sono di **500 addetti per unità** cui aggiungere eventuali **altri 350 nel caso di secondo reattore nella stessa stazione**.*

*I dati più recenti forniti dall'industria per la realizzazione di questo rapporto parlano di un numero di addetti leggermente inferiore **per i reattori di ultima generazione**, dell'ordine di **350 per il primo reattore** e di un **25% in meno per il secondo reattore** nella seconda stazione.. Ove si tenga conto anche della occupazione indotta, si mostra che il 75% degli addetti sono impegnati direttamente nell'esercizio del reattore mentre un 25% è nella supply chain.*

...Una stazione con 2 reattori richiederà, per giungere allo stato di commissioning, circa 5000 anni uomo in operazioni. Dopodiché, il numero di addetti si attesta intorno a 800...

*La forza lavoro richiesta per costruire, operare e mantenere ciascun reattore può essere valutata, in prima approssimazione, non dipendere dalla specifica scelta tecnologica adottata (nel nostro caso **EPR** o **AP1000**). Una valutazione quantitativa, sottoposta a verifica degli operatori industriali, è illustrata in figura 8.*

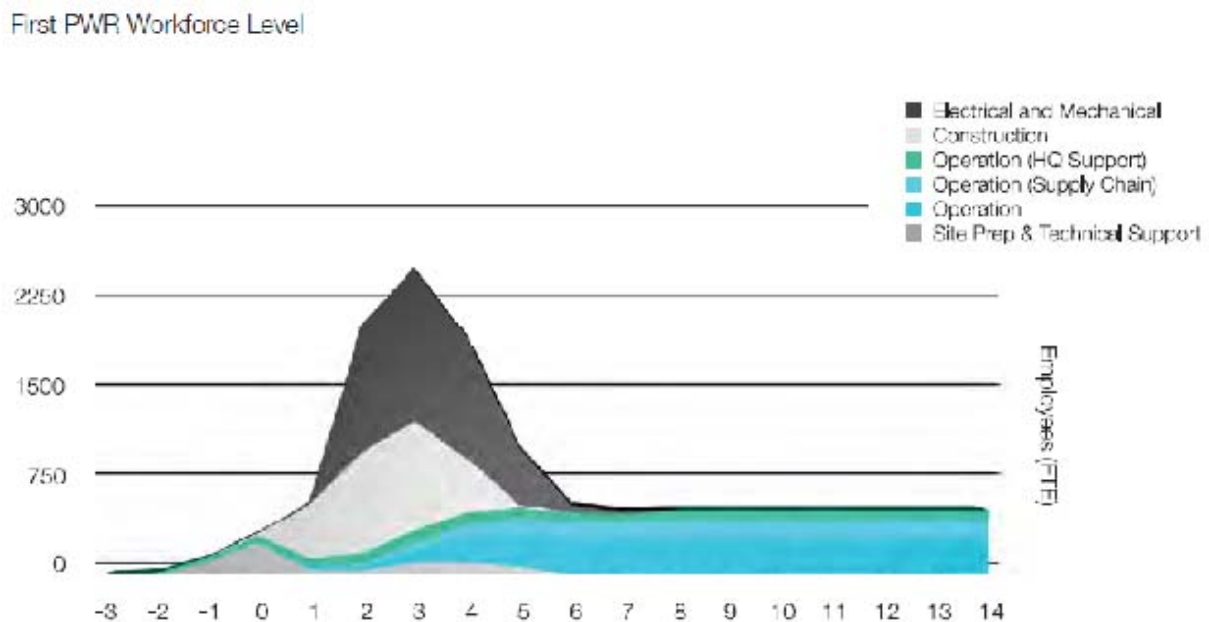


Figura 8 Evoluzione temporale di ciascun segmento di forza lavoro necessario alla realizzazione di un PWR

*Il numero di addetti, per un singolo reattore, raggiunge il suo picco intorno a **2500 addetti all'incirca a meta del percorso di realizzazione**. Proprio quando si ha il picco della forza per la costruzione, inizia il percorso di reclutamento per gli addetti che saranno impiegati nella fase di esercizio. In questo modo essi potranno essere addestrati in tempo e potranno giocare un ruolo attivo nella fase di commissioning. All'interno di un percorso di realizzazione di un parco di reattori, evidentemente la forza lavoro che avrà acquisito esperienza all'inizio potrà poi essere spesa per attività di training verso i nuovi addetti reclutati per le centrali successive.....Si discuterà qui uno **scenario di 16 Gwe** di nuovi impianti realizzati con una combinazione di **6 EPR da 1.6 Gwe + 6 AP1000 da 1.2 Gwe**. ..La velocità di realizzazione avrà evidentemente effetti nel profilo temporale della domanda di competenze. Su un arco temporale che va dal 2012 al 2025 questo scenario prevede, mantenendo escluso il manufacturing per le difficoltà di modellizzazione cui si è fatto cenno in precedenza, **da 110.000 a 140.000 anni uomo**, con un **picco di 14.000** negli anni 2020-2022 (vedi fig. 9).*

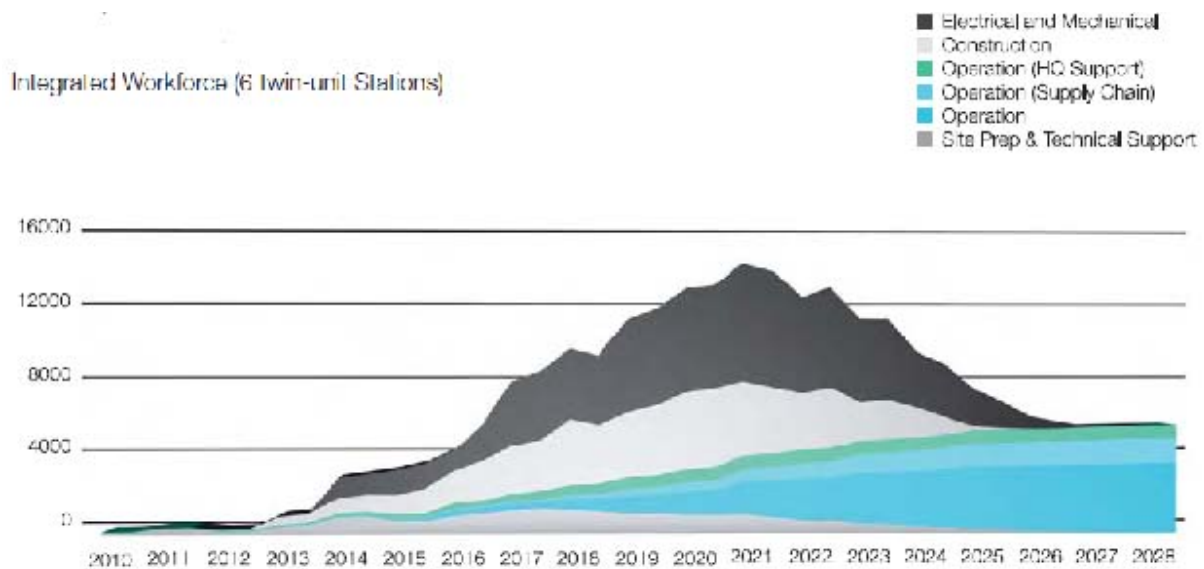


Figura 9 Profilo temporale della domanda integrata di forza lavoro per uno scenario di 6 stazioni da 2 reattori ciascuna

Questo picco è dovuto prevalentemente alla domanda nel campo elettrico, meccanico e della costruzione che in maniera aggregata conta per il 60%. Tuttavia, costruzione e operazioni trovano il loro picco in tempi diversi e con valori di 12.000 e 5.000 rispettivamente. Una analoga stima grossolana della richiesta in ambito manufacturing può essere di 1.000 unità. Questo implica una creazione di nuova occupazione (con un picco su 18.000 unità) per una decina di anni a partire da oggi, con una quota significativa che interesserà coloro che attualmente sono nella fascia di età 14-21 anni...

*“...A valle di una estesa consultazione con le ditte interessate, è stato stilato un Risk Register (vedi appendice 1) con lo scopo di identificare le aree critiche delle competenze. La lista tiene conto sia di una criticità di **disponibilità** (Capacity), ovvero risorse che non sono tout court disponibili, che di **adeguatezza** (Capability), ovvero risorse che sono inadeguate per il livello richiesto)...*

...Un problema di disponibilità può manifestarsi per la concorrenza con la realizzazione di grandi infrastrutture civili....”

...In conclusione la costruzione di nuovi reattori nucleari combina le richieste classiche delle grandi infrastrutture civili con in più un alto grado di cultura di ingegneria della sicurezza.

*In termini di **disponibilità** le preoccupazioni si concentrano sulle seguenti figure professionali:*

1. Saldatori
2. Design engineers
3. Project managers e first line supervisors
4. Planners/estimators/cost control staff
5. Ingegneri nella produzione di componenti
6. ingegneri meccanici ed elettrici con competenze aggiornate alle ultime evoluzioni tecnologiche

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP6 - 001	0	L	16	26

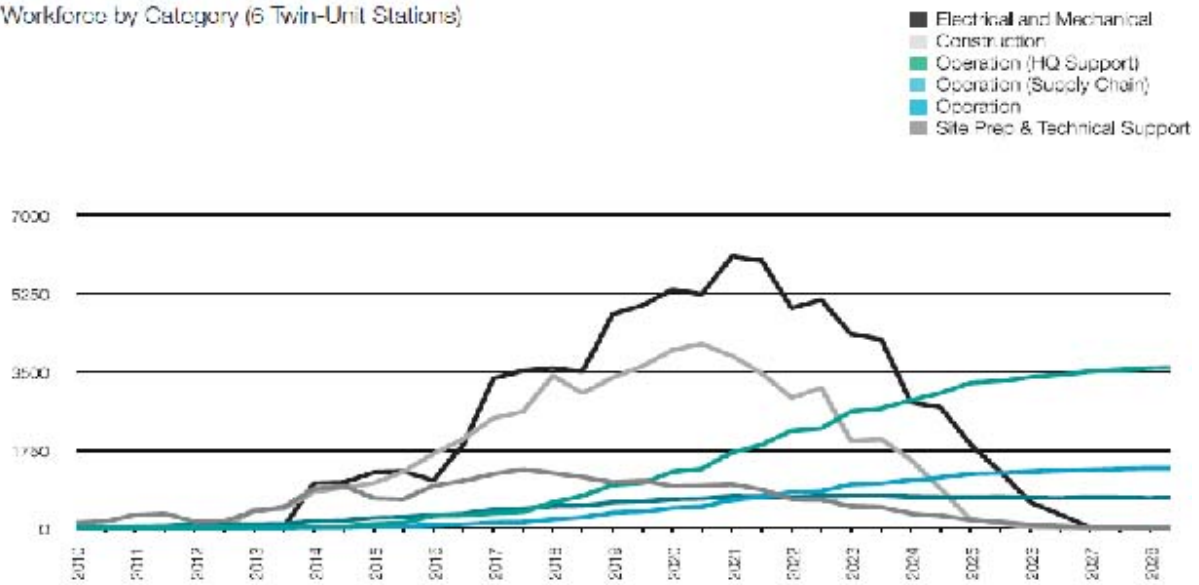
In tabella viene proposta una possibile metrica della forza lavoro che permette di vedere a

16 GWe (new)	6 Twin-Unit Stations	Station (twin unit)	Construction ^a (twin unit)	Manufacture (twin unit)	Operation (twin unit)
Person years	110,000 - 140,000	21,200	13,000 60%	3,200 15%	5,000 ^b 25%
Timeframe of build	13 years	6 years	6 years	6 years	6 years
Employment – pn yrs per GWe	6,000	7,571 ^c	4,643 ^c	1,143 ^c	1,786 ^c
Employment - fte p.a.	10,000 ^d	3,533 ^d	2,167 ^d	533 ^d	833 ^d
Skill Levels			25% L2 60% L3 15% L4+	15-30% L2 30-40% L3 20-40% L4+	10% L2 ^e 40% L3 ^e 45% L4+ ^e
Workforce Split			40% Civil 45% Mechanical & Electrical 15% Management & Supervision	10% Civil 30% Major Nuclear 40% Balance of Nuclear island 20% Balance of Plant	60% Nuclear Operator 30% Supply Chain 10% Utility HQ etc
Other	18,000 combined peak employment of sectors (peaks at different times)		12,000 peak employment 2021 UK supply (most)	1,000 ^f peak employment UK supply (mostly)	5,000 peak employment 2026 UK supply

colpo d'occhio il ruolo rilevante della fase di costruzione.

In fig. 10 viene illustrato la declinazione temporale della domanda per alcune delle figure professionali, mostrando come si distribuiscono i rispettivi picchi.

Workforce by Category (6 Twin-Unit Stations)


Figura 10 Profilo temporale disaggregato della domanda di forza lavoro

Sul piano della *adeguatezza*, quantitativa e qualitativa, una lista analoga è invece la seguente:

1. *Programme and project managers with nuclear (or aligned sector) experience*
2. *Esperti di analisi non distruttive*
3. *Saldatori “High integrity” con almeno 5 anni di esperienza)*
4. *Ingegneri per il controllo e la acquisizione dati*
5. *Safety case authors/engineers*
6. *Ricercatori (in particolare chimici, fisici ed esperti di processi metallurgici)*
7. *Ingegneri geotecnici*
8. *Ingegneri ambientali*

8. L'esperienza americana

Gli Stati Uniti esercitano una flotta di oltre cento reattori con la quale fanno fronte al 20% della domanda di elettricità del paese. Questo numero è sostanzialmente fermo da oltre 20 anni e nel corso degli anni ha prodotto un declino complessivo del sistema di formazione. I dipartimenti universitari di ingegneria nucleare sono diminuiti da 66 nei primi anni 80 a 30 nel 2008, i reattori di ricerca sono passati da 63 a 25 e il numero di studenti iscritti a corsi di ingegneria nucleare è arrivato a 480 nel 1999. Il DoE (Department of Energy), preoccupato di una possibile crisi nella gestione degli impianti sia civili che militari, lanciò negli anni 2000 un piano di finanziamento dei corsi universitari portando nel 2007 gli iscritti a quasi 2000 unità (fig. 11)

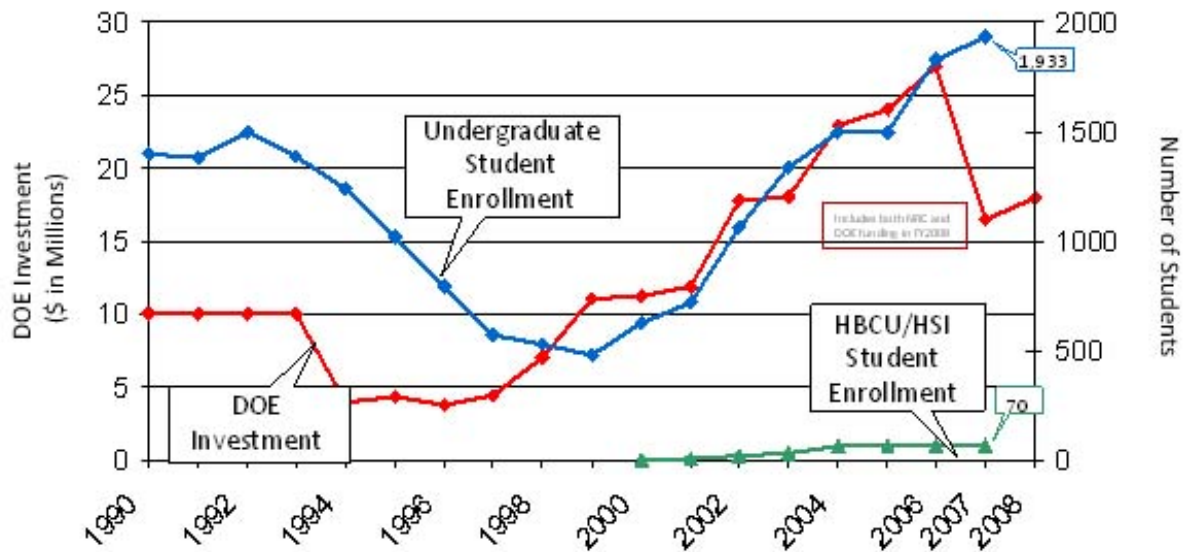


Figura 11 Evoluzione temporale degli investimenti DoE nei programmi universitari per il sostegno alla iscrizione ai corsi di ingegneria nucleare. Manifesta la correlazione tra livello di investimenti e numero di iscritti.

Gli effetti di questa iniziativa del DoE ha trovato subito riscontro nei dati dell'Oak Ridge Insitute for Science and Education che svolge un attività di monitoraggio sulle iscrizioni, sui titoli conseguiti e sul reclutamento nel campo della formazione degli ingegneri nucleari, In particolare nell'ultimo rapporto del Marzo 2009 indica conseguiti per l'anno precedente 159 B.S. (Bachelor of Science), 133 M.S. (Master of Science), 74 Ph.D.). Interessante notare che lo studio dell'Oak Ridge cerca di seguire anche la evoluzione professionale di coloro che hanno conseguito un titolo in queste discipline arrivando alla fotografia indicata nella tabella che segue.

Sbocchi occupazionali di laureati in corsi di Ingegneria Nucleare, 2008

	B.S. Degree	M.S. Degree	Ph.D. Degree
Continued Study	108	89	10
Academic Employment	2	1	9
Federal Government Employment	29	16	20
DOE Contractor Employment	12	20	21
State and Local Government Employment	0	5	2
Nuclear Utility Employment	70	18	3
Other Nuclear-Related Employment	45	30	10
Other Business Employment	21	5	13
Foreign (non-U.S.) Employment	2	8	11
U.S. Military, Active Duty	56	10	2
Other Employment	12	11	0
Still Seeking Employment	19	3	1
Unknown/Not Reported	78	44	25

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP6 - 001	0	L	19	26

Totals

454

260

127

Le preoccupazioni sono comunque ancora forti, come testimoniato dal rapporto⁽⁹⁾ dell'APS (American Physical Society) del Giugno 2008 nel quale si proponevano le seguenti raccomandazioni:

1. Individuare una unica agenzia federale per la gestione dei programmi di formazione
2. dare stabilità di lungo termine al finanziamento del sistema di formazione
3. garantire una manutenzione adeguata ai reattori di ricerca
4. creare un corso biennale di formazione di tecnici
5. esplorare le possibilità di formazione remota
6. riconvertire ingegneri provenienti da settori in crisi
7. rivitalizzare la formazione di radiochimici e chimici nucleari, in fortissimo declino numerico, importantissimi nella prospettiva di filiere con reattori a ciclo chiuso
8. rivitalizzare la formazione di fisici sanitari, in pericoloso declino numerico
9. mantenere alto il supporto alla ricerca fondamentale

Il dato che complessivamente si coglie dalla esperienza americana è la forte consapevolezza di quanto sia cruciale il parametro “risorse umane” nella gestione e nello sviluppo della opzione nucleare. DoE e istituti dedicati lavorano per monitorare per tempo la situazione e avviare le azioni necessarie a prevenire problemi.

10. L'esperienza francese

Il punto di vista francese è diverso da quello della gran parte dei paesi perché, in ragione della sua forza industriale, non è proiettato solo sulle necessità indigene ma anche su quelle internazionali. La stessa dimensione del numero di laureati che Areva pianifica di reclutare negli anni a venire, circa 45.000 entro il 2012 (vedi fig.12), si può intendere solo in un contesto che non può essere solo quello del mercato francese.

In generale, la Francia spera di poter giocare un ruolo importante di fornitore di beni e servizi attraverso i suoi grandi protagonisti industriali. Questo punto di vista, benché lontano dal nostro, è utile perché fornisce informazioni sul contesto di competizione delle competenze che sarà in corso negli anni a venire. Concentrandosi sul segmento dei tecnici ed ingegneri nucleari, la Francia, benché abbia una flotta di 58 reattori in rete contro gli oltre cento americani, pianifica una necessità per gli anni a venire superiore a quella degli Stati Uniti, ovvero, per anno, circa 1500 addetti con titolo Master o PhD e circa 1000 con titolo Bachelor. Questi dati si spiegano appunto nella proiezione sul mercato internazionale del sistema francese.



Figura 12 Proiezioni di reclutamento del gruppo francese Areva

11. Risorse umane per il nucleare in Italia

Analoghi sforzi⁽¹⁰⁾ di censimento delle risorse disponibili sono stati compiuti in Italia e la figura 13 traccia una mappa delle competenze segnalando tre tipi di aree

- Quelle nelle quali non ci sono competenze e neanche piani per acquisirle (grigio), come quelle sulla fabbricazione del combustibile
- aree nelle quali esistono risorse nazionali sufficienti, per quantità e qualità, ad affrontare lo sforzo previsto (verde),
- aree nelle quali esistono competenze nazionali ma che necessitano di un potenziamento quantitativo per ritenersi adeguate alla realizzazione del programma (giallo)
- infine, aree di competenze indispensabili ma per le quali non esiste nulla nel mercato nazionale (rosso).

Tra le righe di questa analisi si legge la storia di un paese che ha un passato nucleare e che quindi ha comunque dovuto sviluppare delle competenze nel decommissioning a fianco alle più tradizionali competenze nucleari in ambiti non energetici (applicazioni mediche e industriali).

Dal punto di vista quantitativo, una stima molto grossolana indica circa 2000 addetti con competenze professionali “nucleari”.

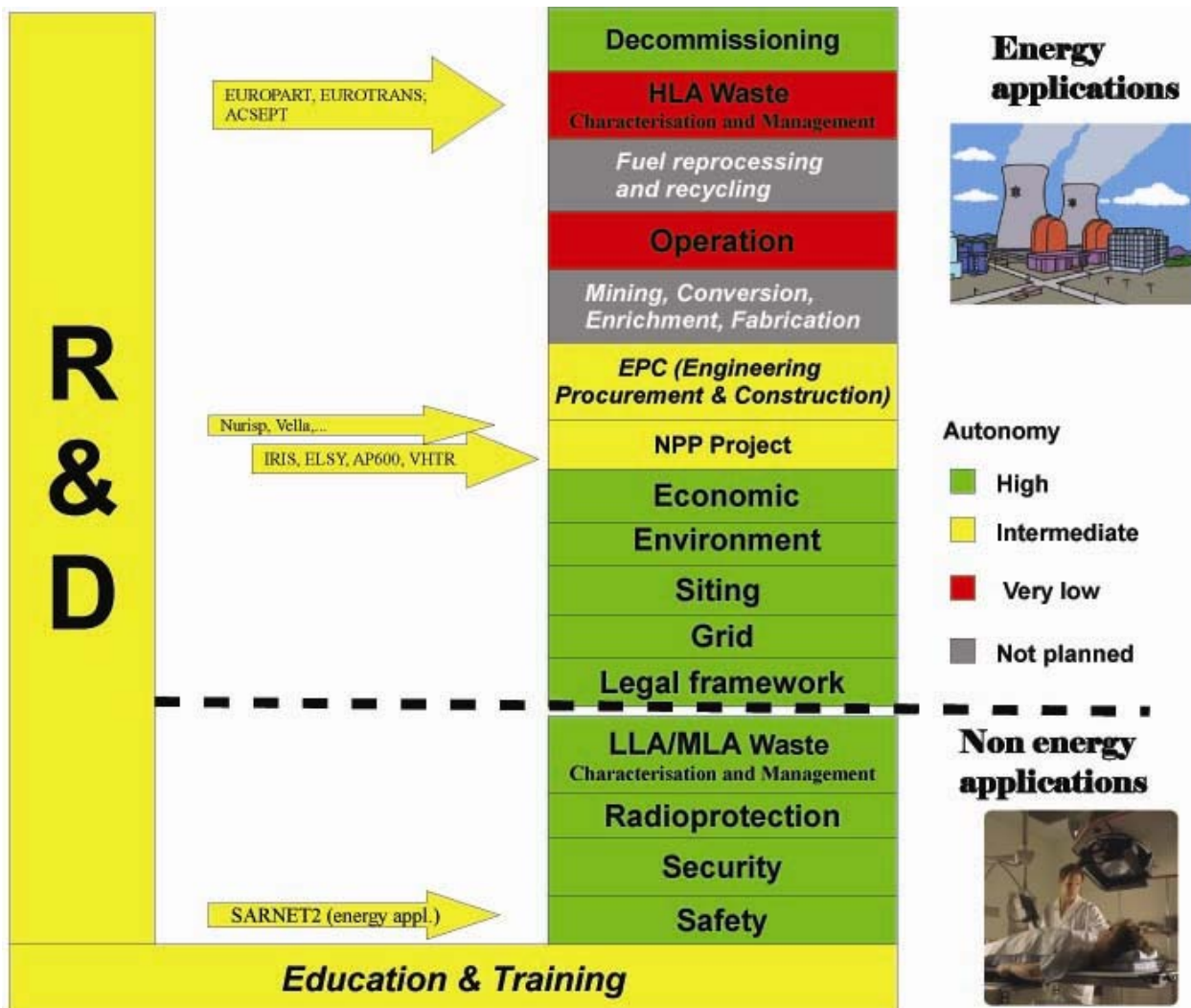


Figura 13 Mappa delle competenze nucleari in Italia

12. Istituto Italiano per le Competenze Nucleari

In molti paesi, la volontà di coordinare i vari sforzi sul tema della formazione e del training in ambito nucleare ha dato vita alla creazione di specifici organismi. Esempi di questi organismi sono

- **National Skills Academy for Nuclear**, in Gran Bretagna, "...established to ensure that the UK Nuclear Industry and its Supply Chain has the skilled, competent and safe workforce it needs to deal with the current and future UK nuclear programme...(5). In parallelo a questa accademia, è stato poi costituito la *Nuclear Energy Skills Alliance* per svolgere un lavoro di monitoraggio (LMI, Labour Market Intelligence) e raccogliere dati di prima mano dalle ditte che si suppongono dover giocare un ruolo importante nella realizzazione del programma.
- **Conseil des Formations pour l'Energie Nucleaire (CFEN)**, creata in Francia nel

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP6 - 001	0	L	22	26

febbraio 2010 per valutare l'adeguatezza della offerta formativa e della numerosità degli iscritti nei vari corsi

- **National Academy for Nuclear Training**, in US. (“...*The National Academy for Nuclear Training was established to strengthen and unify the efforts of U.S. nuclear utilities to improve the performance and professionalism of nuclear plant personnel....*”)

Sulla scorta di queste esperienze, deve essere valutata la opportunità di creare anche in Italia un simile istituto.

Tipicamente gli organismi di gestione di questi istituti vedono rappresentati:

1. governo attraverso i ministeri competenti
5. università
6. enti di ricerca
7. agenzia per la sicurezza
8. industria
9. compagnie elettriche

Essendo il mercato del lavoro nucleare a carattere fortemente internazionale, questo organismo di coordinamento dovrà, ad esempio, sorvegliare la forte domanda di giovani specializzati che verrà anche dall'estero. Se in passato questa domanda può avere paradossalmente aiutato a mantenere vivo un nucleo forte di competenze nazionali, premiando corsi di laurea che non offrivano sbocchi indigeni di occupazione, oggi viceversa, un ulteriore drenaggio dall'estero, potrebbe compromettere il bilancio tra domanda e offerta formativa.

13. Valutazioni per il programma nucleare italiano

Ritornando alle domande cui questo rapporto si propone di dare una risposta per affrontare adeguatamente un programma nucleare italiano, ovvero

1. di quanti addetti qualificati occorre dotarsi
2. quali sono le loro competenze
3. come si modula nel tempo questa richiesta di forza lavoro qualificata
4. quale è la capacità attuale del nostro sistema formativo di rispondere a queste richieste
5. se esiste un gap da colmare, quali azioni occorre avviare

trovano risposte dalle esperienze degli altri paesi che differiscono le une dalle altre sia per le vocazioni industriali che ciascuno di essi possiede ma soprattutto per la diversa enfasi che in ciascuna analisi viene data ai diversi aspetti del filiera delle conoscenze. Mentre si va consolidando una spinta alla standardizzazione dei percorsi formativi e dei titoli, utile ad assicurare che la inevitabile mobilità internazionale della forza lavoro qualificata salvaguardi quella garanzia di qualità caratteristica del nucleare, non è altrettanto consolidata una standardizzazione degli strumenti di analisi dei dati sulle risorse umane e nella discussione delle future necessità.

Nondimeno, incrociando le valutazioni quantitative espresse dai documenti IAEA e dalla serie

storica dei dati americani ma, soprattutto, scalando le valutazioni del rapporto Cogent inglese, è possibile dare una valutazione quantitativa delle necessità di forza lavoro per il programma italiano per come si è finora configurato.

Il programma nucleare proposto dal governo italiano ipotizza, secondo un piano non ancora congelato, la realizzazione di un parco di 8 reattori, attraverso l'adozione di due soluzioni tecnologiche, **4 reattori di tipo EPR e 4 di tipo AP1000**. Questa ipotesi di lavoro è molto simile a quella in discussione in Gran Bretagna dove si ipotizza la costruzione di 6 EPR e 6 AP100 in un arco temporale di 13 anni, 2012-2025, che è grosso modo quello ipotizzato per l'Italia. Traslando in maniera meccanica le valutazioni (rilasciate con un margine di errore stimato del 20%) effettuate dalla Cogent per lo scenario inglese, **per la realizzazione del programma nucleare italiano saranno necessarie**

- **un arco temporale di 12 anni**
- **da 75.000 a 100.000 anni uomo**
- **7.000 posti di lavoro l'anno**
- **17.000 anni uomo complessivi per una stazione con 2 reattori**
- **2200 addetti per anno per stazione**, limitatamente alla preparazione del sito, costruzione, lavori meccanici ed elettrici e assumendo 6 anni per la costruzione

La distribuzione per settore prevede che vada il


- **60% alla costruzione**
- **25% operazioni**
- **15% alla produzione** di componenti.

Lo spettro del livello di qualifica disaggregato per aree vede una richiesta

1. nella **costruzione** (compreso la parte meccanica ed elettrica)
 - 15 % laureati
 - 60 % tecnici
 - 25 % operai
2. nelle **operazioni**
 - 45 % laureati
 - 40 % tecnici
 - 15 % operai
3. nella **produzione di componenti**
 - 20-40% laureati
 - 30-40% tecnici
 - 15-35 % operai

Superato il commissioning, **per l'esercizio di una stazione** (sempre con 2 reattori) si prevede una necessità **da 800 a 1000 addetti**, con una incertezza determinata sia dalla specifica scelta tecnologica che dalle normative nazionali sulla sicurezza e sul lavoro. Questi dati trovano conforto nei dati storici forniti dalle aziende elettriche nell'esercizio delle centrali esistenti.

L'impegno temporale che si estende su diverse generazioni, la dimensione quantitativa dello sforzo in fase di costruzione, la varietà delle competenze e il ruolo critico del parametro risorse umane sul lato della sicurezza, giustifica che **tutti gli attori** si sentano responsabili anche sul lato della formazione e e **si muovano in maniera coordinata all'interno di un organismo dedicato**, in analogia con quanto accade nei paesi che sono impegnati in sforzi simili.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione NNFISS – LP6 - 001	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 24	di 26
--	---	------------------	----------------------	-------------------	-----------------

14. Conclusioni


A conclusione del presente studio è possibile, se non necessario, estrarre alcune indicazioni operative quali

1. **consolidare il coordinamento con gli istituti internazionali**, in particolare IAEA e Commissione Europea, per capitalizzare gli studi sul mercato del lavoro nucleare e sulle possibilità di formazione
2. **avviare un autonomo lavoro di monitoraggio analitico** del bacino delle risorse umane disponibili nel nostro paese, della loro composizione anagrafica e del sistema formativo che lo deve alimentare
3. **definire realistici ambiti tecnologici e produttivi** nei quali si vuole essere presenti e da lì far discendere le **aree di maggiore criticità** in termini di competenze
4. **creare un coordinamento forte** che metta in comunicazione università, enti di ricerca e industria affinché le risorse non abbondanti siano utilizzate con la maggiore efficacia

Appendice 1

Il *Risk Register of Critical Skills*, redatto da Cogent per la Gran Bretagna, mette in evidenza le aree a rischio di inadeguatezza. Oltre la informazione sulle criticalità, il documento è in sé una mappa delle competenze necessarie allo sviluppo di un programma nucleare.

Risk Register for a Single Reactor Unit	Skill Area or Competence	Estimated Number (peak demand)	Probability of current skill deficit High =3 Medium = 2 Low = 1	Demand timescale ⁴ Short = 3 Medium= 2 Long = 1	Risk of skill gap ⁵	Priority rating High=7-9 Medium=4-6 Low =1-3	
1. Design & Planning	Project and Programme Managers	25	3	3	9	High	
	Safety Case Authors	50	3	3	9	High	
	Design Engineers (various) ¹	140	3	3	9	High	
	Geotechnical Engineers	not available	3	3	9	High	
	Environmental Engineers	not available	3	2	6	Medium	
	Regulators	not available	3	3	9	High	
2. Equipment Manufacture	Design Engineers (various) ²	50	3	3	9	High	
	Manufacturing Engineers ¹	40	3	3	9	High	
	Control & Instrumentation	50	3	3	9	High	
	Welders (high integrity, materials)	40	3	3	9	High	
	Cost Control	15	1	3	3	Low	
3. Engineering Construction	Non-Destructive Engineer ³	20	3	2	9	Medium	
	Planners/Estimators	100	3	3	9	High	
	Non-Destructive Engineers ³	40	3	3	9	High	
	Welders (40% high integrity)	200	3	2	6	Medium	
	First-line Supervision	64	3	2	6	Medium	
	Mechanicals ²	1000	2	2	4	Medium	
	Electricals ²	200	2	3	6	Medium	
	Control and Instrumentation	70	3	2	6	Medium	
	Manufacturing Engineers ¹	not available	1	2	2	Low	
	Scientists	not available	2	1	2	Low	
4. Commissioning Operation Maintenance	Energy Production Operations	150	1	2	2	Low	
	Maintenance Operations	150	1	2	2	Low	
	Safety & Security	100	1	2	2	Low	
	(note: all active from 2015, thus medium risk at most currently)	Radiation Protection	20	2	2	4	Medium
	Project Management	30	3	2	6	Medium	
	Engineering Design	30	3	2	6	Medium	
	Scientific & Technical Support	25	2	2	4	Medium	
	Commercial	150	1	1	1	Low	
	5. General Nuclear Culture and Experience of the Workforce	The basic requirements of working on nuclear sites in the UK	1,000	2	3	6	Medium
		The understanding and awareness of the nuclear industry	1,000	2	3	6	Medium
The Project Management skills required to deliver effective projects		200	3	3	9	High	
The Quality Control/Quality Assurance skills and processes to maintain the highest standards of quality and safety across the sector		200	3	2	6	Medium	
	Adequate and relevant Capability/ Experience of the sector	500	3	3	9	High	

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP6 - 001	0	L	26	26

Referenze

- (1) **Nuclear Safety Infrastructure for a National Nuclear Power Programme Supported by the IAEA Fundamental Safety Principles, pag.1** “...Experience has demonstrated that reliance on robust design and engineered safety systems alone is insufficient to ensure nuclear safety...”, *INSAG Series No. 22, IAEA, Vienna (2008)*.
- (2) **Workforce Planning for New Nuclear Power Programmes**, “... A nuclear power plant is operated by people, and thus the achievement of safety requires qualified managerial and operating personnel working professionally, to the highest standards ...”, pag. 7, *IAEA Nuclear Energy Series No. NG-T-3.3*, February 2009
- (3) **Nuclear Education and Training, Cause for Concern?**, Nuclear Energy Agency Organisation for Economic Co-operation and Development, OECD 2000
- (4) **Statement of Carol L. Berrigan**, Blue Ribbon Commission on America’s Nuclear Future, Subcommittee on Reactor and Fuel Cycle Technology, August 31, 2010
- (5) **Power People, The Civil Nuclear Workforce 2009-2025**, Renaissance Nuclear Skills Series n.1, Cogent, September 2009
- (6) **Canada Country Profile**, nel sito della World Nuclear Association (updated August 2010)
- (7) **Benchmarking Nuclear Plant Staffing**, Dr. Robert Peltier, PE, Power, 1 April 2010,
- (8) **Next Generation, Skills for New Build Nuclear**, Renaissance Nuclear Skills Series n.2, Cogent, March 2010
- (9) **Readiness of U.S. Nuclear Workforce for 21st Century Challenges**, A report from the APS Panel on Public Affairs Committee on Energy and Environment, June 2008
- (10) G. Buceti, G. Forasassi, S.Monti, M.Ricotti, **Staffing R&D while Providing Safety and Security for the new Italian Nuclear Program**, International Conference *Nuclear Energy for New Europe 2009, Bled, Slovenia, Settembre 2009*