



AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE,
L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE

ANALISI DELLE NECESSITÀ
FORMATIVE PER IL PROGRAMMA
NUCLEARE ITALIANO

GIULIANO BUCETI, STEFANO MONTI



GENNAIO 2011



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

ANALISI DELLE NECESSITÀ FORMATIVE PER IL PROGRAMMA NUCLEARE ITALIANO

Giuliano Buceti
Stefano Monti



Gennaio 2011

ANALISI DELLE NECESSITÀ FORMATIVE PER
IL PROGRAMMA NUCLEARE ITALIANO

Giuliano Buceti, Stefano Monti

2011 ENEA

Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e
lo sviluppo economico sostenibile

Lungotevere Thaon di Revel, 76
00196 Roma

ISBN 978-88-8286-235-0

Indice

Resoconto sintetico e messaggi chiave	5
Premessa	7
Sicurezza e risorse umane	8
Dati e documenti	9
Le domande: quali, quante, quando	10
Infrastrutture	11
Costruzione	12
Produzione	13
Esercizio	14
Esercizio, lo spettro delle competenze	15
Il ciclo del combustibile	16
Mappa competenze disponibili	17
Valutazioni integrate per il programma nucleare italiano	18
La formazione universitaria	19
I master postuniversitari	20
Opportunità internazionali	21
La proposta di un Istituto Italiano per le Competenze Nucleari	22
Conclusioni	23
Bibliografia	24
Appendice 1 – L’esperienza inglese - Il rapporto Cogent	25
Appendice 2 – Human Resources Country Profiles, appendice al <i>Nuclear Technology Review 2010</i> pubblicato dalla IAEA	31

Resoconto sintetico e messaggi chiave

- *Il monitoraggio e la pianificazione delle competenze necessarie al programma nucleare sono **non un plus di efficienza economica ma un requisito di sicurezza** indicato con chiarezza dall'esperienza e imposto dalla legislazione europea.*
- *Per una soluzione tecnologica di III generazione tipo EPR, la realizzazione (costruzione, produzione componenti, commissioning) di **una centrale a due reattori** richiede **non meno di 2.500 addetti per anno per un periodo di almeno 6 anni** e con una quota di 800 addetti che rimane in organico per la gestione della centrale. La quota di laureati "nucleari" rimane entro il 40% e perciò la stima di una disponibilità di **1.000 laureati nucleari per centrale** può essere considerata sufficientemente conservativa.*
- *Occorre sfuggire alla tentazione di considerare **critiche** solo le competenze necessarie alla gestione della centrale essendole altrettanto quelle delle **infrastrutture di supporto al programma, a cominciare dalla Agenzia per la Sicurezza Nucleare e dal sistema delle imprese fornitrici.***
- ***Il sistema educativo italiano** non ha oggi una capacità produttiva (meno di 100 laureati "nucleari" l'anno) adeguata a questa sfida ma, nonostante la lunga pausa, **è in grado di affrontarla purché il sistema paese intervenga con le risorse necessarie** a rivitalizzare le competenze ancora attive e a ritornare almeno alla produttività degli anni 80 (300 laureati "nucleari" l'anno).*
- *Monitoraggio e pianificazione non devono curare esclusivamente l'alta formazione ma **tutta la filiera delle competenze, a cominciare dalle scuole professionali**, dove nascono figure come quella dei saldatori che possono rivelarsi critiche, quanto a disponibilità, anche più degli ingegneri nucleari.*
- *Nel momento in cui il programma nucleare italiano sta per partire, si tratta di decidere in quali aree ci affideremo a forniture esterne, in quali potremo costruire una competenza solo parziale e in quali, infine, vorremo essere autonomi e capaci di ulteriori sviluppi. **Gli investimenti, sia pubblici sia privati, definiranno, di fatto, fisionomia e ruolo del sistema nucleare italiano.***
- *L'insieme di considerazioni appena svolte suggerirebbe di creare anche in Italia, come accade in molti paesi con un forte programma nucleare, **un organismo dedicato** al monitoraggio e alla pianificazione delle competenze nucleari e della loro formazione.*

Premessa

Scopo di questo documento è di avviare una riflessione documentata sul quadro delle competenze necessarie al programma nucleare italiano, delle necessità di formazione che ne discendono e delle correnti capacità del sistema educativo italiano di farvi fronte.

Lo studio è stato realizzato con finanziamento del Ministero dello Sviluppo Economico, messo a disposizione nell'ambito dell'accordo di programma con ENEA per la Ricerca sul Sistema Elettrico.

I motivi che giustificano una attenzione particolare a questo tema sono di tre ordini:

- il primo è che **l'impegno nucleare**, in particolare sul versante della sicurezza, è qualcosa che **si dispiega sull'arco di diverse generazioni**. Un impegno di questa natura non si affida alle contingenti condizioni del mercato del lavoro ma deve essere oggetto di consapevole e attenta programmazione;
- la ripresa di interesse per la opzione nucleare, che produca una crescita moderata o una impennata nella domanda di competenze per la costruzione e gestione degli impianti, comunque coinciderà in molti paesi con la necessità di rimpiazzare la prima generazione di addetti, in uscita dal mercato del lavoro, che negli anni 70 hanno avviato una grande fetta dei reattori oggi in funzione. Questo potrebbe creare nel prossimo decennio una **tensione nel mercato del lavoro che non va subita ma prevista e governata**;
- in passato, lo sviluppo delle risorse umane in campo nucleare veniva affidato al supporto garantito, nei loro paesi d'origine, dalle organizzazioni fornitrici della tecnologia. Questo continuerà in gran parte ad essere vero ancora in futuro. Tuttavia, oltre ad un possibile squilibrio tra domanda e offerta di personale qualificato, è **prevista anche una inedita mobilità del personale nucleare** in tutto il mondo, sia tra paese e paese sia tra settori produttivi, e questo renderà la gestione delle risorse umane più impegnativa.

L'analisi qui proposta per l'Italia non si basa su dati e procedure consolidate ma, a causa della lunga moratoria, riparte praticamente da zero nel tentare di avere un osservatorio del mercato del lavoro e delle competenze nucleari. Gioca però a vantaggio un contesto internazionale cui potersi collegare e che non ha mai cessato di tenere viva l'attenzione sulla criticità delle risorse umane in ambito nucleare. A questo fine, importante è stata la partecipazione come ENEA al gruppo di lavoro della OECD-NEA che, nel corso del 2010, ha lavorato all'aggiornamento del rapporto uscito nel 2000, "*Nuclear Education and Training: Cause for Concern?*", la cui nuova versione verrà pubblicata nel corso del 2011.

Questo documento, pur nascendo all'interno di una precisa contingenza legata alle prime definizioni delle azioni utili ad avviare il programma italiano, si propone di sollecitare un lavoro di monitoraggio permanente. Al di là, quindi, dei **dati specifici** che vengono forniti e che **necessitano di verifiche a campo** via via che si procederà, l'obiettivo principale è quello di costruire un metodo di indagine e programmazione che rimanga nel tempo.

Spesso il tema della gestione delle risorse umane viene trattato insieme a quello della gestione della conoscenza (**Knowledge Management**), ovvero la gestione di quel patrimonio di abilità, competenze e informazioni che non è facile codificare in procedure scritte e trasmissibili da generazione a generazione. Questo aspetto non verrà qui trattato anche se siamo consapevoli della delicata relazione tra i due aspetti del problema.

Osservazioni e suggerimenti sono benvenuti e possono essere indirizzati a:

giuliano.buceti@enea.it o stefano.monti@enea.it

Sicurezza e risorse umane



Experience has demonstrated that reliance on robust design and engineered safety systems alone is insufficient to ensure nuclear safety (IAEA, 2008, Nuclear Safety Infrastructure for a National Nuclear Power Programme)

viene identificata con la “**cultura della sicurezza**”, e perciò, come in nessun altro ambito, col tema delle risorse umane e della loro formazione.

Due considerazioni legano strettamente la sicurezza al tema delle risorse umane:

- l’esperienza ha dimostrato (1 p. 1) che **il soddisfacimento dei requisiti di sicurezza non può riposare totalmente sulle soluzioni tecnologiche;**
- la cura della sicurezza non si può esaurire *sic et simpliciter* negli obblighi contrattuali del fornitore delle tecnologie del reattore ed affidata all’operatore dell’impianto, ma rimane comunque questione su cui si deve esercitare la sorveglianza del paese in cui i reattori sono localizzati.

La IAEA (International Atomic Energy Agency) espressamente scrive che “... *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 p. 12).

Questa consapevolezza ha sollecitato a livello internazionale l’individuazione di metodi, procedure e *best practises* per imparare a valutare e pianificare la formazione, per tutto lo spettro delle abilità, delle risorse umane necessarie alla realizzazione di un programma nucleare.

Per i paesi che sono membri della Comunità Europea, il collegamento tra sicurezza e adeguatezza delle risorse umane è esplicitamente fissato nella direttiva EURATOM 2009/71 del 25 giugno 2009 che indica i vincoli per la garanzia della sicurezza delle installazioni nucleari e che recita “...*Gli Stati membri dovranno assicurare che il contesto nazionale in essere richieda alle aziende operatrici di fornire e garantire adeguati strumenti finanziari e risorse umane a salvaguardia della sicurezza degli impianti nucleari...*”.

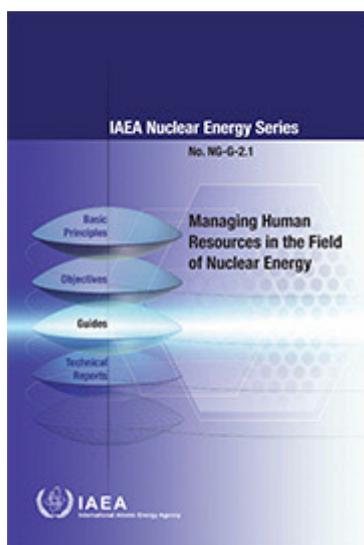
Inoltre, ancora nel Settimo Programma Quadro è stato finanziato il progetto TRASNUSAFE (TRaining Schemes on NUClear SAFETY Culture) (3) con l’obiettivo di creare dei percorsi “europei” di training alla sicurezza nucleare.

È all’interno di questo contesto normativo internazionale che nasce la necessità, anche per il programma nucleare italiano, di dare la congrua attenzione alla gestione delle risorse umane.

Nella realizzazione di grandi infrastrutture e imprese scientifiche e tecnologiche, una risorsa chiave per il buon esito finale dell’impresa è costituita dalla 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.

In questo caso la centralità è rafforzata dalla attenzione, specifica del nucleare, alla sicurezza e al fatto che sempre più questa

Dati e documenti



La IAEA ha dedicato una serie intera di pubblicazioni alla gestione delle risorse umane per il nucleare

La vasta esperienza accumulata in questi anni nella gestione di impianti nucleari ha consentito, anche per le risorse umane, di accumulare dati e documentazione cui attingere e a cui si farà qui riferimento. In particolare:

1. studi effettuati da **istituti internazionali**, a cominciare dalla IAEA che, sul tema delle risorse umane per il nucleare e la loro formazione, ha prodotto una intera serie di pubblicazioni e organizzato una conferenza dedicata ad Abu Dhabi nel marzo 2010;
2. **indagini promosse in altri paesi**, da attori pubblici e privati, in particolare Gran Bretagna (Cogent) e Stati Uniti (sia dell'APS che della NEI);
3. la **documentazione rilasciata dalle principali aziende, europee e non**, operanti nel settore, in particolare da quelle che commercializzano le tecnologie 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.

Da questa articolata sorgente di dati si è tentato di estrarre due tipi di informazioni:

- le figure professionali peculiari e critiche del settore nucleare e i percorsi formativi da cui originano;
- la metrica da adottare, se esiste, per le valutazioni quantitative sul numero di addetti necessari nei vari settori.

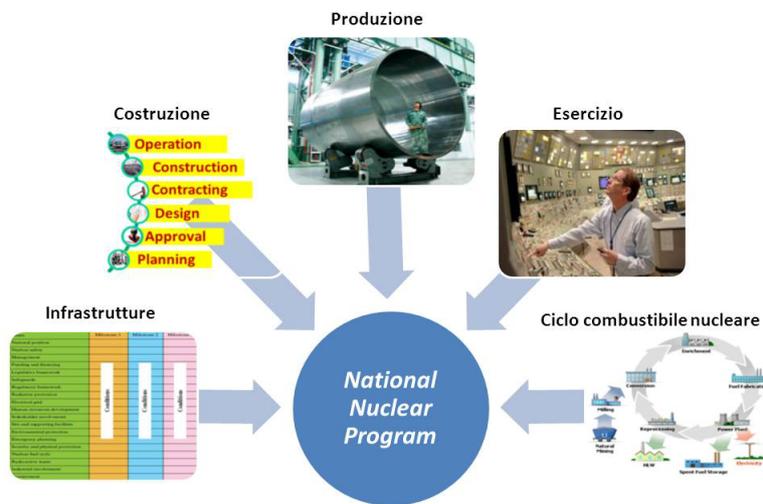
Le valutazioni quantitative espresse negli studi di altri paesi, come ad esempio la Gran Bretagna e la Francia, sono legate alle scelte tecnologiche rispettivamente adottate ma non appaiono manifestare una grande dipendenza da esse.

Quanto alle raccomandazioni lì espresse, esse dovranno considerarsi amplificate quando applicate allo scenario italiano. Questo perché i redattori di quegli studi hanno come riferimenti operativi le loro rispettive realtà nazionali, in condizioni decisamente più favorevoli di quella italiana che deve scontare un fermo di 20 anni.

Inoltre, mentre si va consolidando una spinta alla standardizzazione dei percorsi formativi e dei titoli, utile ad assicurare l'inevitabile mobilità internazionale della forza lavoro qualificata, non è altrettanto consolidata una standardizzazione degli strumenti di analisi dei dati sulle risorse umane e le future necessità tant'è che la stessa IAEA scrive "...*Estimates of the human resource (HR) requirements ... are not readily available, and data are scarce on the number of people today with the various skills needed in the nuclear industry and on the number in relevant education and training programmes...*" (3 p. 13).

Infine, 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.

Le domande: quali, quante, quando



Disaggregazione di un programma nucleare in macro aree

Per un paese che parta, o riparta con la produzione di energia elettrica da fonte elettronucleare, il tema delle risorse umane 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.

Come sempre accade con un problema complesso, conviene disaggregarlo in grossi blocchi e nel nostro caso si possono distinguere 5 aree:

- la realizzazione e gestione dell'insieme di **infrastrutture**, hardware e software, capaci di "ospitare" il programma;
- il ciclo di **costruzione** della centrale;
- la produzione dei componenti;
- la fase di **esercizio** della centrale;
- il **ciclo del combustibile**, in particolare la gestione dei rifiuti radioattivi.

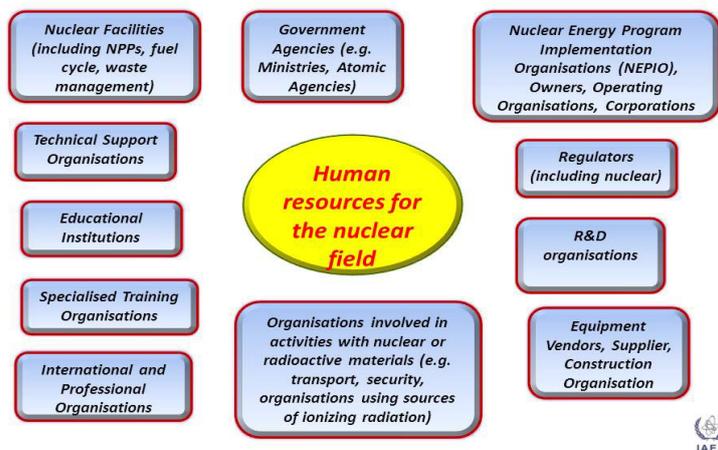
Le tre semplici domande (quali, quante, quando) che ci ponevamo all'inizio, vanno perciò contestualizzate in ciascuna area evitando di concentrarsi, come spesso accade, esclusivamente solo sull'organico necessario all'esercizio della centrale.

Nel discutere una risposta a queste domande, via via fisseremo alcune condizioni a contorno e che rimandano a scelte a monte che ciascun paese deve fare. E precisamente:

1. **a quali ambiti di competenze si intende rinunciare**; in Italia, ad esempio, mentre è abbastanza ovvio che non svilupperemo competenze legate all'estrazione, è anche probabile che, almeno nella prima fase, non punteremo alla fabbricazione diretta del combustibile ma ci limiteremo alle competenze essenziali all'approvvigionamento;
2. **quali possono essere acquisite all'interno di un contratto "chiavi in mano"**. Un esempio può essere qui l'esercizio della centrale, come nel caso del recente contratto tra gli Emirati Arabi e la Corea del Sud dove quest'ultima si è impegnata non solo a fornire la tecnologia e a costruire le centrali, ma anche a esercirle per tutti i 60 anni di vita degli impianti;
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.

A valle di queste scelte, si può iniziare una pianificazione di dettaglio.

Infrastrutture



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*)

- ministeri competenti, come il Ministero per lo Sviluppo Economico e il Ministero per l'Ambiente;
- Agenzia per la Sicurezza Nucleare;
- agenzie ed enti per la ricerca e sviluppo come ENEA;
- istituzioni impegnate nella formazione universitaria e post universitaria e organizzazioni specializzate nel training;
- operatori commerciali;
- addetti impegnati in organizzazioni internazionali e professionali;
- TSO (Technical Safety Organisations).

Questi addetti, tutti con profilo di laureati, si aggiungono a quelli necessari alla costruzione, esercizio e decommissioning di una centrale.

I dati quantitativi degli altri paesi relativi a queste figure non sono facili da reperire e perciò tentare di stabilire una metrica (quanti addetti nelle infrastrutture del sistema paese sono necessari per centrale o GWe) oggi rimane difficile. Ad esempio i 4.000 (4) addetti della NRC americana (108 reattori) sono difficili da confrontare con i 370 (5) della Finlandia (4 reattori) e ancor di più con quelli inglesi e francesi, distribuiti in diversi organismi.

In conclusione, per quanto riguarda le *infrastrutture* si può dire che:

- **è fondamentale garantire un alto livello di competenze anche negli organismi di controllo e pianificazione;**
- su tutte spicca l'**Agenzia per la Sicurezza Nucleare**, per la quale la IAEA raccomanda **non meno di 100** addetti al momento in cui sta per iniziare la concreta realizzazione del programma nucleare;
- per altri ambiti, come ad esempio la formazione universitaria o la ricerca, il numero di addetti dipende dalla dimensione e dalla qualità del ruolo che si intende giocare.

Costruzione

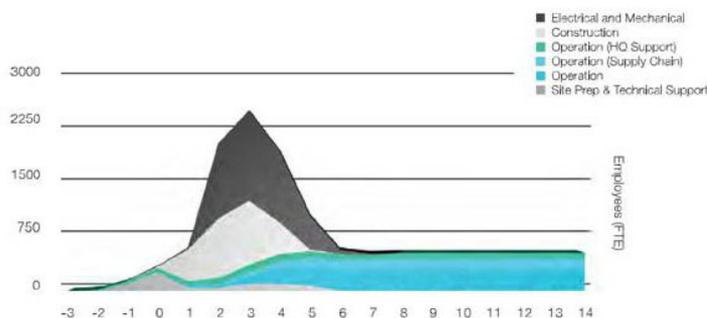


Ciclo di vita del progetto costruzione di una centrale

l'AP1000, grazie alla sua modularità, si presta di più all'uso di prefabbricati rispetto agli EPR che favoriscono la realizzazione *in situ*.

In ogni caso, quante alle valutazioni quantitative di **addetti necessari alla costruzione di ciascuna centrale con doppio reattore**, senza perciò contare la produzione di componenti e il commissioning, esse risultano essere (con un margine di errore del 20%):

- circa **12.000 anni uomo**
- **60% della forza lavoro totale**
- **2.000 anni uomo per anno**, su un arco temporale stimato di 6 anni
- spettro nel livello di competenze
 - 1.800 laureati (15%)
 - 7.200 tecnici (60%)
 - 3.000 operai (25%).



Modulazione temporale del numero di addetti per la costruzione del primo reattore (fonte Cogent)

Queste valutazioni che, ripetiamo, sono la traslazione meccanica delle valutazioni Cogent per lo scenario inglese, possono essere messe a confronto e risultare coerenti con quelle prodotte dalla Fondazione Ambrosetti (7) che parla di 9.000 posti di lavoro (3.000 diretti + 6.000 indiretti e indotti) per la costruzione di una centrale con 1 reattore (nello studio inglese, 2 reattori) per una finestra temporale pure di circa 6 anni (il confronto è fatto assumendo che "occupati" stia per anni-uomo).

Lo sfruttamento ottimale delle risorse umane utilizzate in questa fase è quello che consente di muovere le stesse da un cantiere all'altro via via che tutto il piano nazionale di realizzazione avanza nel tempo, soprattutto in termini di esperienze, che vengono capitalizzate e reinvestite, che di semplificazione del reclutamento dal secondo cantiere in poi.

Produzione



L'area della produzione della componentistica è la più difficile da modellizzare. Mentre per la costruzione è inevitabile un massiccio ricorso alla manodopera locale con un effetto diretto sulla occupazione, nel caso della produzione della componentistica le ricadute sui livelli occupazionali sono più incerte perché in linea di principio ogni componente può essere "acquistato" e non prodotto dal sistema paese. Il risultato finale è perciò funzione della competitività del proprio apparato industriale ed evidentemente degli investimenti effettuati a tale scopo.

Continuando a prendere a riferimento lo studio Cogent (6 p. 8), calcolando semplicemente il numero di anni uomo, indipendentemente da dove questi producano occupazione, i numeri che emergono, sempre per il caso di una **centrale a due reattori**, a tecnologia di III generazione, sono:

- **3.200 anni uomo totali** di cui
 - 2.100 anni uomo in componenti nucleari,
 - 500 anni uomo in componenti di ingegneria civile
 - 600 anni uomo nel *balance of plant* (ovvero fuori le isole convenzionali e nucleari)

La parte più rilevante della manifattura andrà ai componenti nucleari all'interno dei quali si possono disaggregare le voci seguenti:

- 25% forgiati
- 60% manufatti pesanti (componenti per turbine e grandi moduli costruttivi)
- 15% manufatti leggeri (piccole valvole, tubazioni, controlli, ...).

La valutazione della quota del volume totale di manufatti che può rimanere in Italia è oggetto del rapporto della Fondazione Ambrosetti. I risultati sono riportati in figura.

Complessivamente è oramai consolidata la valutazione che **il sistema produttivo italiano potrà coprire una quota compresa tra il 50% e il 70% del volume totale** di fatturato.

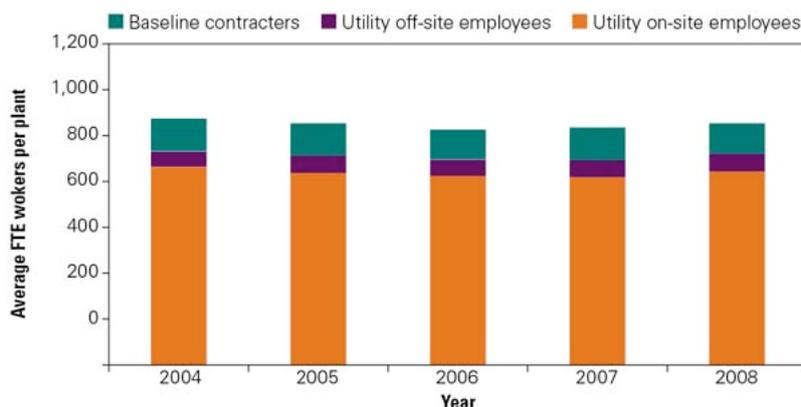
Enel ha avviato una indagine approfondita sull'interesse dell'industria a diventare "fornitore" nel mercato nucleare riscontrando manifestazioni di interesse da oltre 500 aziende.

Isola nucleare		Isola convenzionale + Lavori civili		Generale	
Component	%	Component	%	Component	%
Reactor Pressure Vessel	5-10	Turbine e generatori	5-10	Project management	10-20
Sistemi di sicurezza nucleare	1-5	Opere civili principali	10-20	Facilities temporanee	5-10
Strumentazione Control Room	1-5	Installazioni meccaniche (condensatore, sistema di alimentazione,...)	1-5	Forgiati (senza certificazione nucleare richiesta) a supporto sia dell'isola nucleare che tradizionale	1-5
Fabbricazione e fornitura fuel	1-5				
Impianto Stoccaggio e handling fuel	1-5	Forniture elettriche e cablaggi	~5		
Licenza "Design Owner"	1-5				
Ispezioni	1-5				
Testing & commissioning	1-5				
Piping circuito primario	~5				
Recipienti in pressione circuito primario	5-10				
Forniture elettriche	~5				

- Attività coperte dalla industria italiana
- Attività parzialmente coperte dalla industria italiana
- Attività non coperte dalla industria italiana

Fonte: rielaborazione The European House-Ambrosetti su dati NAMTEC e Politecnico di Milano, 2010

Esercizio



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

legge;

- il numero di addetti per reattore dipende dalla configurazione della centrale, a seconda che ospiti 1, 2 o 4 reattori.

All'interno di ciascun paese c'è stata inoltre un'evoluzione nel tempo per cui, ad esempio, "...l'organico medio di una centrale nucleare americana ha toccato il massimo negli anni 70 e 80 con circa 1.500 addetti per unità. In coincidenza, l'allora moribonda industria riportava un 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..." (8 p. 3).

Dal grafico si vede che ora l'organico è largamente sotto i mille addetti. "... Ulteriori aumenti di produttività si sono avuti ad esempio nel rifornimento di combustibile nucleare, operazione con intenso utilizzo di manodopera. Nel 1991, il tempo medio di intervento era di 106 giorni, dal 2000 si è ridotto a 44 giorni e nel 2008 a 38... ". Negli Stati Uniti questa tendenza alla riduzione degli addetti per impianti ha suscitato qualche preoccupazione ed si è posta qualche "...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..." (8 p. 3).

Questo ci riporta a quanto si diceva nel paragrafo "Sicurezza e risorse umane", ovvero sugli obblighi dell'operatore ma anche degli organismi di controllo nazionali.

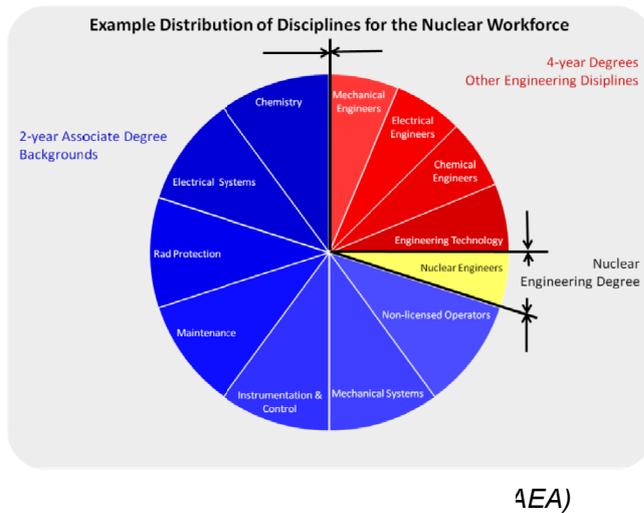
Detto ciò, le valutazioni che vengono dalla IAEA o dalle aziende come AREVA convergono verso una forbice di **500-800 addetti per reattore** in funzione delle variabili che si indicavano sopra, in particolare dalla configurazione a più reattori della singola centrale.

Per un paese totalmente sprovvisto di impianti nucleari operanti, il training di personale viene di norma realizzato attraverso il comando di personale all'estero e il commissioning dei primi reattori viene realizzato in collaborazione con esperti "non nazionali" secondo formule che ricadono nell'autonomia delle scelte dell'operatore.

Sul numero e il tipo di addetti per centrale esiste una consolidata base di dati storici. Questi dati sono significativi, fatto salvo che:

- si riferiscono a reattori di I e II generazione e non a quelli di III che si pensa di utilizzare nel programma italiano;
- la legislazione del lavoro e sulla sicurezza di ciascun paese può influire sull'organico minimo di

Esercizio, lo spettro delle competenze



Pur nei diversi ambiti applicativi (tecnologia, potenza, paese, ...), le varie figure professionali attive nell'esercizio di una centrale nucleare sono riconducibili a discipline e *skill* 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). Lo spettro riportato in figura è un esempio del risultato di questi studi (9) e in questo

caso particolare tende a sottolineare che il 70% della forza lavoro può essere il risultato di due anni di "nuclearizzazione" di altre competenze.

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 (9).

Delle competenze nucleari, in ambito "esercizio della centrale" troviamo le figure con un *lead time*, tempo di formazione, tra i più lunghi. Uno schema proposto da Long (11) è il seguente:

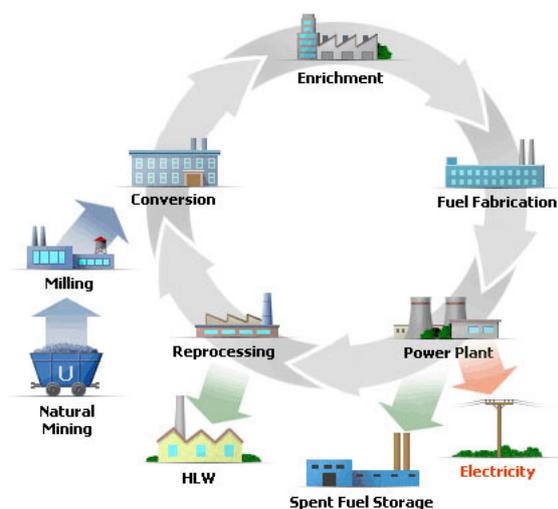
- 4-6 anni per ingegneri laureati, più 1-2 anni di *on-the-job training*,
- 1-2 anni per la licenza di operatori di reattore,
- 2-4 anni per la licenza di operatori senior di reattori,
- ulteriori anni di esperienza di lavoro su centrali nucleari per manager di plant shift and senior manager;

per cui la formazione di una figura apicale in un impianto nucleare può chiedere fino a 15 anni.

Sempre di Long è invece la seguente tabella degli addetti per l'esercizio di un impianto nucleare.

Categoria	Numero addetti
Ingegneri civili	5
Ingegneri informatici ed elettrici	20
Ingegneri meccanici	15
Ingegneri nucleari	25
Ingegneri progettisti	30
Operatori di sala controllo e impianto	75
Tecnici chimici	20
Tecnici di manutenzione (elettrica, informatica, meccanica)	135
Tecnici di radioprotezione e manipolazione di materiale radioattivo	35
Addetti alla sicurezza	70
Addestratori	35
Personale non tecnico	335
Totale	800

Il ciclo del combustibile



Ciclo di vita del combustibile nucleare

queste competenze verranno tenute in priorità molto bassa, anche se il processo di approvvigionamento nel suo complesso richiederà la formazione di una quota di personale specializzato. Infine, c'è il tema del **trattamento dei rifiuti**.

Su questo fronte, l'Italia non riparte da zero proprio in virtù del proprio passato nucleare. La moratoria di questi anni ha infatti fermato la produzione di elettricità di fonte nucleare, ma non ha fatto scomparire nel nulla né le centrali che già operavano né i rifiuti che intanto si erano prodotti. Per entrambi è stato necessario tenere vive le competenze in ambito di decommissioning e la SOGIN, società pubblica con un organico di circa **700 addetti**, ne sta curando tutte le fasi insieme con la localizzazione e la realizzazione di un deposito nazionale per le scorie radioattive.

Quanto alle scorie a lunga vita destinate al deposito geologico, si immagina che l'Italia parteciperà ad uno sforzo europeo contribuendo con una propria quota di risorse. Per questo, già adesso la Comunità Europea finanzia il progetto PETRUS II che ha lo scopo di armonizzare il training degli esperti in *waste management* in vista della creazione del deposito geologico europeo (13).

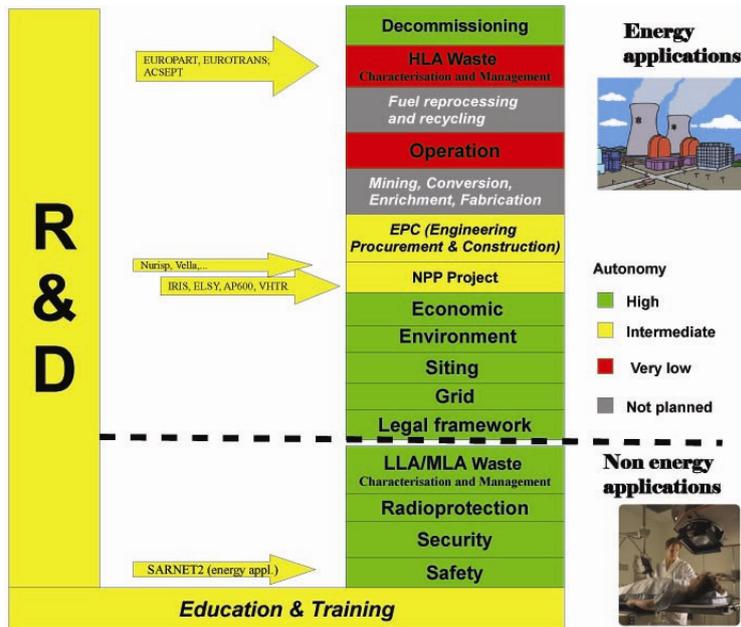
La ripartenza di un programma nucleare imporrà un potenziamento di questo settore. Basti pensare che in Gran Bretagna degli attuali 44.000 addetti del settore nucleare, ben 12.000 lavorano nel versante del decommissioning (12). Detto ciò, rispetto ad altri fronti di competenza, in questo ambito il gap di conoscenza da recuperare è certamente minore se non nullo. Da segnalare che SOGIN ha istituito già dal febbraio 2008 una "Scuola di Radioprotezione Radiologica e Sicurezza Nucleare" ad uso sia di training del personale interno che delle ditte che intendono qualificarsi per la lavoro in ambito di manipolazione di materiale radioattivo.

Collegate sempre al ciclo del combustibile sono le competenze legate al trasporto di materiale radioattivo, ai controlli di sicurezza contro procedure non conformi e la prevenzione di usi proliferativi. Una contabilizzazione di queste necessità è difficile sia per la difficoltà nel reperire dati sia per il quadro in continua evoluzione in cui le raccomandazioni relative si stanno sviluppando.

La fase di esercizio di una centrale è solo uno degli anelli nella catena del ciclo del combustibile nucleare. La rappresentazione completa (vedi figura) del ciclo traccia automaticamente una mappa di tutte le competenze tecniche che sarebbero richieste per la gestione del combustibile in tutte le fasi. Si tratta di una mappa onnicomprensiva che assume di essere presenti ovunque e che di fatto 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.

Nel caso dell'Italia, non avendo miniere attive nel territorio nazionale, non ci sarà motivo di sviluppare competenze legate alla fase di estrazione. Quanto alla fabbricazione e al riprocessamento del combustibile, nella prima fase

Mappa competenze disponibili



Mappa dello stato delle competenze disponibili in Italia (giallo);

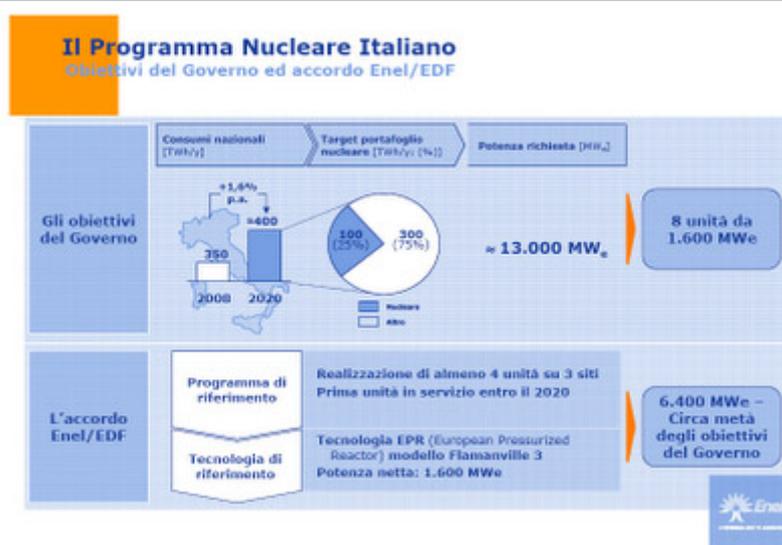
- infine, aree di competenze indispensabili ma per le quali non esiste nulla nel mercato nazionale (rosso).

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 delle più tradizionali competenze nucleari in ambiti non energetici (applicazioni mediche e industriali).

Dal punto di vista quantitativo, una stima molto grossolana indica circa 2.000 addetti con competenze professionali “nucleari”. Se confrontiamo questi numeri con i 44.000 (13) della Gran Bretagna, i 66.000 (14) del Canada o gli oltre 100.000 (14) degli Stati Uniti (in tutti i casi non si tiene conto del settore militare), si ha la misura di quanto debba crescere questo settore produttivo anche in Italia. In questa sede ci interessa evidenziare, più che il dato quantitativo, l’eventuale criticità nella disponibilità di qualche specifica competenza. Una disamina analitica richiede un’indagine che va oltre il presente rapporto ma è verosimile che le preoccupazioni, appresso riportate, per alcune figure professionali, abbiano un significato più generale del contesto inglese.

Critici per disponibilità assoluta	Critici per disponibilità in quantità sufficiente
Saldatori	Programme manager con esperienza nucleare
Project manager	Esperti di analisi non distruttive
Ingegneri progettisti	Ingegneri della sicurezza
Ingegneri di produzione	Ingegneri di controllo d’impianto
Ingegneri meccanici ed elettrici ad elevata qualificazione	Saldatori <i>high integrity</i> con almeno 5 anni di esperienza
Analisti di costo (Planners/estimators/cost control staff)	Chimici, metallurgisti, fisici
	Geo-ingegneri
	Ingegneri dell’ambiente

Valutazioni integrate per il programma nucleare italiano



Fonte: Enel

Le valutazioni quantitative finora fornite si sono riferite alla realizzazione di una singola centrale con due reattori. Continuando l'esercizio di una traslazione dei dati Cogent, è possibile assemblare i dati per una valutazione integrata del programma nucleare italiano nel suo complesso. Questo si fa grosso modo moltiplicando per 4 le valutazioni sulla singola centrale a 2 reattori, anche se la declinazione temporale viene assunta non come una serializzazione completa ma con una auspicabile parallelizzazione

la cui effetti hanno però ampi margini di errore. In un'ipotesi ottimistica di dispiegamento ordinato di costruzione di 4 stazioni con doppio reattore si ottiene:

- un arco temporale di circa 12 anni
- da 75.000 a 100.000 anni uomo
- 17.000 anni uomo complessivi per una centrale con 2 reattori (costruzione-produzione componenti-messa in esercizio)
- 2000 addetti per anno per centrale, limitatamente alla preparazione del sito, costruzione, lavori meccanici ed elettrici e assumendo 6 anni per la costruzione.



Distribuzione percentuale per settore degli anni uomo

%	Costruzione	Produzione	Esercizio
Laureati	15	20-40	45
Tecnici	60	30-40	40
Operai	25	15-35	15

Mentre gli addetti alla costruzione saranno impiegati fintanto che non si sia completato il programma, gli addetti all'esercizio della centrale

le saranno impegnati fintanto che gli impianti saranno in operazione. Gli addetti alla produzione di componenti possono mantenere una quota significativa, o addirittura espanderla, dei posti creati, a seconda della capacità di sfruttare l'esperienza nel programma italiano per entrare nel mercato nucleare internazionale.

Va ricordato che in parallelo dovrà nascere in Italia il Sito di Stoccaggio/Parco Tecnologico per la gestione dei rifiuti radioattivi, per cui andranno previste ulteriori risorse specializzate.

Quanto alle previsioni sui tempi di realizzazione, è interessante notare che nel rapporto Cogent, per la Gran Bretagna con 19 reattori e 44.000 addetti, le valutazioni sui tempi di realizzazione non risultano fortemente dissimili da quelle prospettate nel rapporto IAEA per i paesi novizi, ad indicare una incomprimibilità dei tempi complessivi di *licensing*, costruzione e rilascio in esercizio.

La formazione universitaria



Una delle peculiarità italiane è che, a dispetto della lunga pausa nella produzione di energia elettrica da fonte nucleare, si è conservato negli anni un sistema di formazione universitario competitivo e integrato nel contesto europeo sia per quanto riguarda i progetti di ricerca che per quanto riguarda la standardizzazione dei percorsi formativi.

I Corsi di Laurea (CdL) in Ingegneria Nucleare (IN) in Italia sono stati istituiti nel periodo compreso fra il 1960 ed il 1966 in sei Atenei (i Politecnici di Milano e Torino e le Università di Bologna, Palermo, Pisa e Roma), come sviluppo di Corsi di Specializzazione specifici o Corsi di Indirizzo in altri Corsi di Laurea preesistenti. In altri Atenei vengono tuttora insegnate materie del settore nucleare come parte di Indirizzi fisico-energetici, di altri CdL in Ingegneria.

Gli istituti universitari che offrono formazione nucleare sono organizzati dal 1994 come CIRTEN, Consorzio Interuniversitario per la Ricerca Tecnologica Nucleare. Ad esso aderiscono

1. Politecnico di Milano: Ingegneria Nucleare
2. Politecnico di Torino: Ingegneria Energetica Nucleare
3. Università di Bologna: Ingegneria Energetica
4. Università di Padova: Ingegneria energetica e nucleare
5. Università di Palermo: Ingegneria della Sicurezza e delle Tecnologie Nucleari
6. Università di Pisa: Ingegneria Nucleare e della Sicurezza Industriale
7. Università di Roma 1: Ingegneria Energetica-Tecnologie Energetiche da Fonti non Convenzionali.

Complessivamente i laureati in IN sono oggi un numero variabile tra 80 e 100 contro il picco di 300 raggiunto intorno agli anni 80. Nella ricostruzione dei dati storici qualche difficoltà di confronto viene dalla modifica del percorso universitario che dal 2000 si articola in due corsi di laurea, prima di 3 anni (per un totale di 180 crediti + tirocinio finale) e quindi di ulteriori 2 anni (corso di laurea magistrale, 120 crediti + tesi di laurea). A questi è poi possibile aggiungere 3 anni di PhD. Quest'ultima opzione è aperta anche a laureati non ingegneri nucleari, fatto salvo che acquisiscano un congruo numero di crediti in corsi che riallineino la loro preparazione.

Al di là delle attività didattiche, l'università italiana è fortemente inserita anche nei progetti nazionali di ricerca (come l'Accordo di Programma ENEA-MSE) e nei progetti internazionali.

Dati e documentazione sulla offerta formativa della università italiana possono essere reperiti nei siti di ciascuna università e in particolare presso quello del CIRTEN (16).

I master postuniversitari

Il rilancio di un programma nucleare italiano ha rinvigorito le occasioni di formazione post universitaria già esistenti e dato spunto alla creazione di ulteriori iniziative. Di seguito viene dato conto del complesso delle opportunità disponibili.

- Una iniziativa di ANIMP (**Associazione Nazionale di Impiantistica Industriale**, socio fondatore di Federprogetti) che in collaborazione con CIRTEN ha istituito, a partire dall'autunno 2010, un master con due possibili percorsi:
 - **percorso per neolaureati** (principalmente per ingegneri non-nucleari): necessario per incrementare il numero degli addetti al settore nel medio termine;
 - **percorso per professional** (principalmente per dipendenti/quadri aziendali di estrazione *ingegneristica* ma *non-nucleare*, individuati direttamente dalle Aziende): necessario per rendere le imprese italiane operative nel settore nel breve termine, interiorizzando a livello di esperti aziendali le conoscenze di base sul nucleare e le conoscenze sulle specificità nucleari nel campo di interesse dell'azienda (es. *engineering, manufacturing, construction*).
- Nel giugno 2010 l'Università di **Pisa** ha istituito un Master in **Sicurezza Nucleare**. Obiettivo del master di secondo livello è formare professionisti nel settore della sicurezza degli impianti nucleari, esperti in ingegneria nucleare con conoscenze e competenze spendibili all'interno di Agenzie per la Sicurezza e connesse organizzazioni di supporto tecnico e scientifico, industrie, centri di ricerca.
- Nel 2009 Ansaldo Nucleare, unica azienda italiana dedicata alla costruzione di impianti nucleari, ha dato vita, insieme all'Università di **Genova**, all'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare e agli altri soggetti del settore presenti sul territorio, ad un Master con l'obiettivo di formare figure con competenze tecniche nel campo della **tecnologia e della progettazione degli impianti nucleari** per la produzione di energia elettrica.
- Nel 2008 l'Università di **Bologna**, in collaborazione con ENEA, ha invece dato vita al "Master in Progettazione e gestione di sistemi nucleari avanzati".
- **SOGIN** ha istituito nel febbraio 2008 una "Scuola di Sicurezza radiologica e nucleare" per il training di personale interno e delle aziende che vogliono lavorare nell'ambito della gestione dei rifiuti radioattivi.
- Sempre a **Pisa**, è attivo un Master in "Tecnologia degli impianti nucleari", con sostegno del CISAM (Ministero della Difesa).
- L'**Enel** sta sviluppando delle autonome iniziative di "training on the job" con l'invio di giovani laureati presso impianti stranieri (60 nel 2009).
- L'**ENEA** da sempre collabora con le università per tesi di laurea di primo e secondo livello, borse di studio e stage. Di recente (17), ENEA sta sviluppando una proposta specifica di sfruttamento degli impianti di ricerca ai fini della qualificazione nucleare che potranno offrire opportunità di formazione sia al personale di aziende che vogliono accreditarsi come fornitori in ambito nucleare, sia alle università che vogliono costruire dei laboratori didattici a complemento dei corsi in aula.

Opportunità internazionali

Il mercato del lavoro nucleare è sempre più un mercato globalizzato così come lo sono le occasioni di formazione universitaria e post-universitaria. A puro titolo di esempio cercheremo di dare conto in particolare delle iniziative di *education and training* esistenti in ambito europeo, promosse sia da istituti pubblici sia dalle aziende private.

ENEN

Innanzitutto c'è **ENEN (European Nuclear Engineering Network)** (16) una associazione nata nel 2002, nel contesto del Quinto Programma Quadro Europeo, con lo scopo di coordinare e armonizzare a livello europeo la formazione universitaria. La sua attività è in continuità con la introduzione degli ECTS (European Credit Transfer and Accumulation System) e con la Dichiarazione di Bologna, tutte iniziative volte a creare un sistema di mutuo riconoscimento dei crediti formativi al fine di aumentare la mobilità degli studenti all'interno dell'Unione Europea, standardizzandone e aumentando la qualità dei percorsi formativi.

Il master biennale di EdF

Nel settembre 2009 è stato creato a Parigi un corso internazionale, tenuto in lingua inglese, della durata di due anni, di ingegneria nucleare. Il corso è gestito da un consorzio di diverse istituzioni accademiche, coordinate da European Foundation for Tomorrow's Energy con il supporto finanziario di Electricité de France (EdF), GdF-Suez e Areva.

La WNU (World Nuclear University)

La World Nuclear University è un'iniziativa pubblico-privata della WNA (World Nuclear Association) e della WANO (World Association of Nuclear Operators) insieme con la IAEA e la NEA. Inaugurata nel 2003, organizza diversi tipi di incontri di formazione ma in particolare, in una sede ogni volta diversa, una Summer School di circa 6 settimane.

L'Università AREVA

La AREVA, gruppo industriale francese che propone il reattore EPR sul mercato internazionale, ha creato nel gennaio 2009 un nuovo campus universitario che si affianca a quelli già esistenti in Germania (Offenbach and Erlangen) e negli Stati Uniti (Lynchburg). Si tratta della classica iniziativa di azienda privata che offre training a ingegneri, dirigenti e manager del gruppo, di aziende partner e istituti con cui AREVA ha avviato collaborazioni.

Scuola Internazionale di legislazione nucleare

La scuola internazionale di legge nucleare (ISNL) è stata creata nel 2001 dalla NEA e dall'Università di Montpellier con la fisionomia di una Summer School di due settimane. L'obiettivo è di fornire un corso di formazione di alta qualità, intenso, sulla legislazione nucleare internazionale, agli studenti di diritto a livello di laureati o di master o ai giovani professionisti nel settore nucleare che desiderano sviluppare la loro conoscenza. Da sottolineare che il diploma conseguito vale 12 crediti all'interno degli ECTS (European Credit Transfer & Accumulation System).

Master internazionali nazionali

Molti paesi europei organizzano master tenuti in lingua inglese e che hanno un buon livello di internazionalizzazione. Fra i tanti segnaliamo in particolare il Master of Science in Nuclear Engineering di Zurigo e il Nuclear Energy Engineering Master del KTH Royal Institute of Technology svedese, di durata biennale, a numero chiuso ma senza tassa. Qualunque studente voglia comunque accedere ad un master nucleare in inglese in Europa ha innumerevoli opportunità.

La proposta di un Istituto Italiano per le Competenze Nucleari

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 del programma nucleare** si sentano responsabili anche sul lato della formazione 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.

Molti paesi hanno, infatti, dato vita a specifici organismi, di cui esempio 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* (16)). In parallelo a questa accademia, è stata poi costituita 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 febbraio 2010 per valutare l'adeguatezza dell'offerta formativa e della numerosità degli iscritti nei vari corsi (22). Questo organismo nasce col dichiarato proposito di affiancare la France International Nuclear Agency (AFNI) nello sforzo di internazionalizzare la presenza dell'industria nucleare francese.
- **National Academy for Nuclear Training**, nata nel 1980 negli Stati Uniti per iniziativa dell'INPO (Institute of Nuclear Power Operations) con il proposito di garantire all'industria nucleare americana la quantità e la qualità di risorse umane necessarie.

Sulla scorta di queste esperienze, deve essere valutata l'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. aziende 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.

Conclusioni

A conclusione, è bene tentare di estrarre alcune indicazioni operative che indichino un percorso di azioni da compiere:

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- Obiettivo: produrre un rapporto aggiornato per la fine del 2011;
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. Questo è un lavoro da svolgere in collaborazione con l'industria (vedi punto successivo);
4. **creare un coordinamento forte** che metta in comunicazione università, enti di ricerca e industria per
 - avere un monitoraggio periodico delle risorse disponibili affinché siano utilizzate con la maggiore efficacia
 - anticipare per tempo i punti di maggiore criticità e avviare azioni correttive
 - individuare aree di investimento dove far crescere risorse umane per aumentare la presenza del tessuto industriale italiano nel mercato nucleare internazionale.

Infine, una considerazione che va al di là del tema della formazione in ambito nucleare per attingere invece al problema più generale della formazione scientifica nel nostro paese. Abbiamo già detto che quanto al numero di laureati in ingegneria nucleare c'è un problema *quantitativo*, essendo oggi meno di un terzo dei 300 della metà degli anni 80. C'è però, nel confronto con quegli anni, anche un problema *qualitativo* di livello di preparazione degli studenti, che non è più lo stesso. Pur con evidenza solo aneddotica, il livello di preparazione e conoscenza in campo nucleare degli studenti che escono dalle università non è più lo stesso degli anni 70 e 80. A ciò contribuiscono varie cause tra cui, per certo, il depauperamento del corpo insegnante. Occorre un impegno convinto su questo fronte, da parte dei ministeri competenti, con un forte rafforzamento non solo dei corsi di laurea ma anche del corpo docente, eventualmente ricorrendo, come è prassi in molti paesi avanzati, a personale proveniente dall'estero.

Bibliografia

1. **IAEA.** *Nuclear Safety Infrastructure for a National Nuclear Power Programme* . Vienna : s.n., 2008. INSAG Series No. 22. Supported by the IAEA Fundamental Safety Principles.
2. —. *Workforce Planning for New Nuclear Power Programmes*. January 2010. Nuclear Energy Series No. NG-T-3.3.
3. **LOUVAIN, UNIVERSITE CATHOLIQUE DE.** RAINING SCHEMES ON NUCLEAR SAFETY CULTURE (TRASNUSAFE) . [Online] http://cordis.europa.eu/fetch?CALLER=FP7_PROJ_FR&ACTION=D&DOC=7&CAT=PROJ&QUERY=01246bb2f582:eeda:05739cff&RCN=96640.
4. **IAEA.** *Nuclear Technology Review*. 2010.
5. US NRC Organisation. <http://www.nrc.gov/about-nrc/organization.html>. [Online]
6. This is STUK. http://www.stuk.fi/stuk/en_GB/index/. [Online]
7. **Cogent.** *Next Generation, Skills for New Build Nuclear*, . March 2010. Renaissance Nuclear Skills Series n.2.
8. **The European House-Ambrosetti.** *Il nucleare per l'economia, l'ambiente e lo sviluppo*. 2010.
9. *Benchmarking Nuclear Plant Staffing*. **Peltier, Dr. Robert**. s.l. : POWER Magazine, 1 April 2010, PE, Power.
10. **IAEA.** *Human Resources for Nuclear Power Expansion - NTR2010 Supplement*. 2010.
11. **NEA OECD.** *Nuclear Education and Training, Cause for Concern?* . 2000.
12. **Long, Robert L.** A Lifetime of Challenges in Nuclear Education & Training. www.if.pw.edu.pl/~pluta/konw/k310506/k310506a.ppt. [Online] May 31, 2006.
13. **PETRUS II (FP7)**. [Online] <http://www.enen-assoc.org/en/training/for-nuclear-community/efts-fp7/petrus.html>.
14. **Cogent.** *Power People, The Civil Nuclear Workforce 2009-2025*. September 2009. Renaissance Nuclear Skills Series n.1.
15. *Staffing R&D while Providing Safety and Security for the new Italian Nuclear Program*. **G. Buceti, G. Forasassi, S.Monti, M.Ricotti**. Bled, Slovenia : International Conference Nuclear Energy for New Europe, Settembre 2009.
16. **Association, World Nuclear.** Canada Country Profile. <http://www.world-nuclear.org/>. [Online] updated August 2010.
17. **Berrigan, Carol L.** Blue Ribbon Commission on America's Nuclear Future. s.l. : Subcommittee on Reactor and Fuel Cycle Technology, August 31, 2010.
18. **G. Forasassi, R. Lo Frano.** *Formazione Universitaria in Ingegneria Nucleare in Italia*. s.l. : CIRTEN, 2010.
19. **Stefania Baccaro, Paolo D'Atanasio.** *Qualificazione di sistemi e componenti in ambito nucleare*. s.l. : ENEA, 2010.
20. European Nuclear Education Network . [Online] <http://www.enen-assoc.org/>.
21. About the Skills Academy. <http://www.nuclear.nsacademy.co.uk/about-us/about-skills-academy>. [Online]
22. French Council for Education and training in Nuclear energy. [Online] <http://www.cfenf.fr>.
23. **Environment, APS Panel on Public Affairs Committee on Energy and.** *Readiness of U.S. Nuclear Workforce for 21st Century Challenges*. June 2008.

Appendice 1 - L'esperienza inglese - Il rapporto Cogent

Si è già fatto cenno al lavoro di indagine svolto dalla società britannica 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 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 blu del carattere.

Un particolare ringraziamento va a Brian Murphy, Director of Science and Research della Cogent inglese, per aver consentito la pubblicazione di ampi estratti del loro rapporto.

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 centrale. 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 una **Nuclear Energy Skills Alliance** con l'obiettivo di prendere in carico collettivamente il tema delle risorse umane per il nuovo programma nucleare.*

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 reattore 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'**AP1000 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 centrale con 2 reattori richiederà all'incirca 12.000 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 **2.200 addetti per anno**. Va comunque considerato che nella fase di costruzione molte occupazioni sono temporanee e sono disponibili per un periodo più breve del programma di costruzione. Il numero di persone che verrà quindi coinvolto sarà perciò significativamente maggiore.

Produzione industriale

Con produzione 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 vessel 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 centrale a 2 reattori è di circa **3.200 anni uomo**, di cui:

- 500 per componentistica di ingegneria civile,
- 2.100 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,...).

Esercizio della centrale

Nel primo rapporto è stato stimato che l'attuale forza lavoro nucleare in Gran Bretagna è di 44.000 unità comprendendo sia i 20.000 che sono nelle ditte appaltatrici che i 12.000 che sono nel decommissioning, oltre ai 7.400 nella generazione di elettricità e 4.600 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 1.000 addetti per anno tra turnover e nuovo organico.

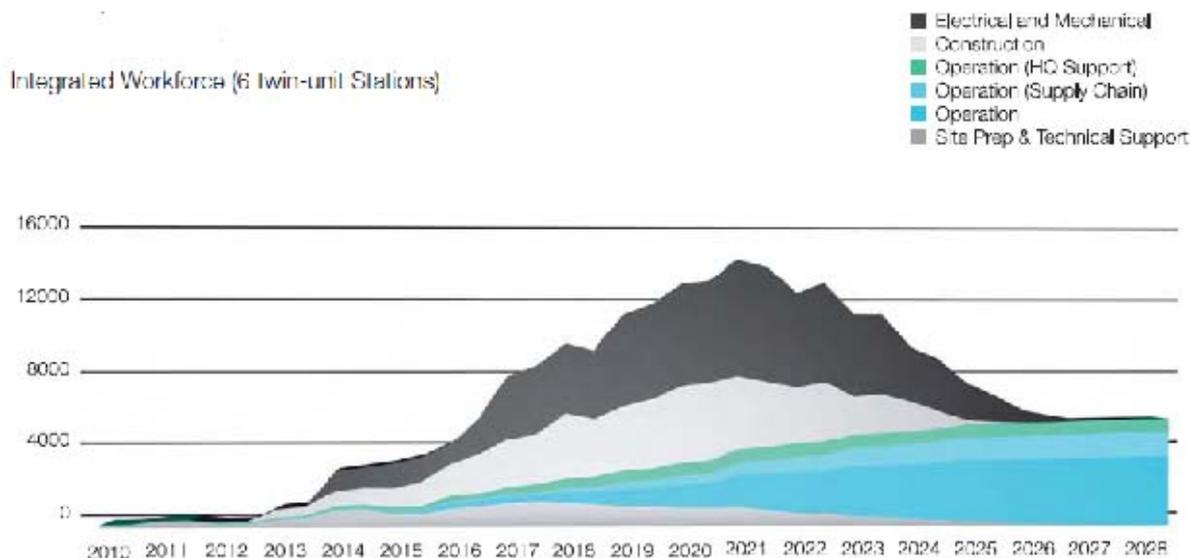
Sulla base dei **dati storici** di Sizewell B, l'unica centrale con dati utili alla comparazione, le necessità di personale sono di **500 addetti per unità** cui aggiungere eventuali **altri 350 nel caso di secondo reattore nella stessa centrale**.

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 5.000 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.

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.



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 analogia 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 engineer
3. Project manager e first line supervisor
4. Planner/estimator/cost control staff
5. Ingegneri nella produzione di componenti
6. ingegneri meccanici ed elettrici con competenze aggiornate alle ultime evoluzioni tecnologiche.

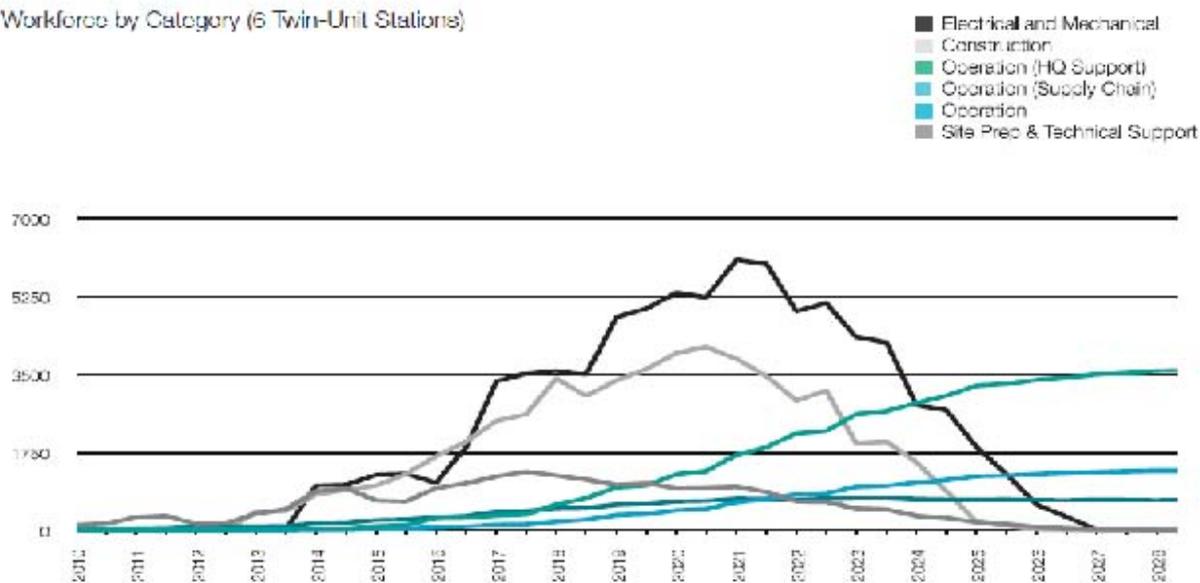
In tabella viene proposta una possibile metrica della forza lavoro che permette di vedere a colpo d'occhio il ruolo rilevante della fase di costruzione.

16 GWe	6 Twin-Unit	Station	Construction ^a	Manufacture	Operation
Person years	110,000 - 140,000	21,200	13,000	3,200	5,000 ^b
Timeframe	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

Tabella 1: Metrica della forza lavoro per un nuovo programma nucleare

Nella figura successiva 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)



Profilo temporale disaggregato della domanda di forza lavoro

Il *Risk Register of Critical Skills*, mette graficamente 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.	Project and Programme Managers	25	3	3	9	High
Design & Planning	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
	Design Engineers (various) ²	50	3	3	9	High
Equipment Manufacture	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
	Non-Destructive Engineer ³	20	3	2	9	Medium
3.	Planners/Estimators	100	3	3	9	High
Engineering Construction	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.	Energy Production Operations	150	1	2	2	Low
Commissioning Operation	Maintenance Operations	150	1	2	2	Low
	Maintenance	Safety & Security	100	1	2	2
(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.	The basic requirements of working on nuclear sites in the UK	1,000	2	3	6	Medium
General Nuclear Culture and Experience of the Workforce	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

Appendice 2 – Human Resources Country Profiles **Allegato al Nuclear Technology Review 2010, pubblicato dalla IAEA**

Human Resources for Nuclear Power Expansion

A. Introduction

The Nuclear Technology Review 2009 had a short section on human resources for nuclear power. It indicated there were no good estimates of the human resource requirements associated with the Agency's high and low growth projections for nuclear power and that data were scarce on the number of trained people and the capacities of relevant programmes around the world. It also stressed that the situation is different in different countries.

Since then, more data have become available, more programmes have been put in place, and there is more information. Over the past several years, the IAEA has worked with universities and other educational and training organizations in Member States to address future workforce demand development and the quality and quantity of education and training programmes to support nuclear power. IAEA activities have focused on curricula for nuclear education, on networking among universities and on internet platforms for nuclear education. University networks that are supported include the World Nuclear University (WNU), of which the IAEA is a founding supporter, the European Nuclear Education Network Association, the Asian Network for Education in Nuclear Technology and other national and regional initiatives. The Agency also supports the development of policies and strategies in nuclear education and training. It fosters strong regional and interregional nuclear education networks. It facilitates the harmonization of curricula and promotes the awareness and use of nuclear facilities and simulators to enhance education and training. It also provides consultancy services to address issues related to nuclear education and training.

Several Agency technical meetings in 2008 and 2009 reviewed the status of nuclear education in over thirty Member States and five educational networks. In 2010, the Agency will publish a technical report entitled Status and Trends and Best Practices in Nuclear Education, which will consolidate information from many different countries.

This additional documentation for the Nuclear Technology Review 2010 includes selections from different categories of countries, i.e. countries with existing nuclear programmes that are continuing to expand, countries with programmes that have only recently renewed expansion plans, countries with phase-out policies, and countries whose nuclear programmes are growing rapidly. This additional documentation provides information on the status and challenges of the selected countries.

B. Summary information on selected countries

B.1. Argentina

Argentina's nuclear power programme developed rapidly in the 1960s and 1970s. Since then until recently, it has been largely on a plateau. Two nuclear power plants are in operation, providing 6.2% of the country's electricity. Atucha1 was connected to the grid in 1974 and Embalse in 1983. Construction started on a third reactor, Atucha2, in 1981. Construction was halted in the 1990s and restarted in 2007. A feasibility study is underway for a fourth reactor intended to start operation around 2015. Argentina is also developing a prototype small (25 MW(e)) pressurized water reactor called CAREM. There are five operational research reactors.

As a result of the number of current projects, the demand in Argentina for qualified nuclear engineers has increased in recent years. However, even during the past two decades of slow global growth in nuclear power, graduates of Argentina's principal nuclear training institute, the Balseiro Institute, never had difficulties securing jobs in the nuclear field. In particular, graduates from the Balseiro Institute played important roles in designing and constructing research reactors for INVAP, an Argentina based company that exported research reactors to Algeria, Egypt, Peru and, recently, Australia. At present, INVAP is the world leader in designing and building research reactors. Graduates of the Balseiro Institute also found employment in the nuclear medicine sector and at the

country's uranium enrichment demonstration plant, as well as in non-nuclear fields such as scientific satellites and airport radar systems.

The Balseiro Institute runs three degree programmes — in nuclear engineering, mechanical engineering and physics. It also offers a postgraduate certificate in technological applications of nuclear energy, master's degrees in physics, medical physics and engineering, and PhDs in physics, engineering sciences and nuclear engineering. The Institute takes students from all Latin American countries, most commonly Bolivia, Brazil, Chile, Colombia, Ecuador and Peru. It has special agreements with Argentina's most important technological companies, both nuclear and non-nuclear. Approximately 10% of the Institute's students have fellowships from these companies. In September 2009, the Balseiro Institute became part of the IAEA's network of Collaborating Centres, which helps develop human resources for nuclear technology.

Specific training in metallurgy and materials science started in the Materials Department of the Constituyentes Atomic Centre (CAC) of the National Atomic Energy Commission (CNEA) in 1955. In 1993, this spawned the Sabato Institute through an agreement between CNEA and the San Martín National University (UNSAM) to train students in materials science and technology. This institute is an efficient mechanism for technology transfer and supplying specialists to institutions and companies involved in research and development or producing high-technology products. These include nuclear enterprises like Embalse, Atucha-2, CONUAR, which manufactures nuclear fuel elements, and Fabricación de Aleaciones Especiales, which manufactures zircaloy tubes for fuel elements.

Since 1993, the Sabato Institute has graduated 80 materials engineers, 115 masters of science, 38 PhDs and 20 graduates with certificates in non-destructive testing. About 75% of these graduates are working in Argentina, with the remaining 25% completing studies or working abroad. In Argentina, in addition to the nuclear enterprises mentioned above, many graduates from the Sabato Institute join CNEA research groups on mechanical properties, irradiation damage, hydrogen damage, diffusion, electron microscopy, corrosion, phase transformation, defect theory and continuous mechanics.

A third institute, the Dan Beninson Institute of Technology, was created more recently, in 2006, and offers postgraduate certificates in radiochemistry and nuclear applications, and in nuclear reactors and the fuel cycle.

B.2. China

A survey conducted on behalf of the Chinese Commission of Science, Technology and Industry for National Defence during 2004–2005, based on China's 11th National Plan (2006–2010), estimated that approximately 20 400 additional graduates and 'high' professional staff would be needed in the nuclear field (10 000 nuclear technology applications graduates, 8169 nuclear energy industry graduates, and 2235 professionals for nuclear power plant operations, assuming 96 nuclear professionals per 1000 MW(e) unit). This was based on China's plans for 40 GW(e) of new nuclear power on-line by 2020, with a further 18 GW(e) under construction. China therefore estimated (in 2005) that each year 1200 students should graduate in nuclear engineering and technology.

There has also been some consideration of a target of 70 GW(e) of new nuclear power on-line by 2020, with 32 GW(e) under construction. China estimates this would require a 30% increase in industry professional staff (11 030, up from 8169, allowing an additional 5% for retirement and alternative employment) and a doubling of plant operating staff (4500 from 2235). This gives a total of 25 500, 5100 more than for the 40 GW(e) estimate.

From 1998 to 2006 China had only one nuclear specialization for undergraduates, nuclear engineering and technology. However, in 2007, the Ministry of Education added five other undergraduate specializations, nuclear technology, radiation protection and environment engineering, nuclear chemistry and fuel engineering, nuclear reactor engineering, and nuclear physics. There are now 23 universities offering nuclear related specializations for undergraduates.

In 2007, there were 1483 undergraduates enrolled in nuclear courses. In 2008, this rose to 1957, of which 1151 were in nuclear engineering and technology, 219 in nuclear technology, 200 in radiation

protection and environment protection, 183 in nuclear chemistry and fuel engineering, 80 in nuclear reactor engineering, and 124 in nuclear physics.

China, like some North American and European countries, faces challenges in attracting students into specialist nuclear power fields. The biggest demand for the industry is in the field of nuclear engineering and technology, where enrolment currently matches demand. However, demand for graduates in nuclear chemistry and the fuel cycle is the hardest to fulfil, mainly because the investment needed to establish the necessary faculties is large and in some universities, due to the difficulty in attracting students, the specialization has been cancelled. This has been identified as a priority area for the next national plan.

In 2009, China held its first National Meeting on Improving Education and Training for Chinese Nuclear Power Industry Personnel, supported by the IAEA. Its objective was to ensure that the different universities complement, rather than compete with, each other in terms of the range of nuclear related specializations offered. This is intended to become a regular event and eventually to include technical schools and industry training centres.

B.3. France

As of 1 January 2010, France had 59 operating reactors, one more under construction and produced three quarters of its electricity from nuclear power.

In its continuing use of nuclear power, France faces numerous challenges, including the operation and maintenance of its existing array of reactors, waste management, the decommissioning of obsolete reactors, and research and development for future nuclear systems.

These activities mean that all participants in the French nuclear industry must continually update their approaches and skills, with respect to both domestic and worldwide nuclear power development. This requirement calls for the hiring and training of thousands of scientists and engineers each year in France and its partner or customer countries.

An estimated 40% of the nuclear power staff within *Électricité de France* (EDF) (more than 4000 engineers and executives in operations, engineering and R&D) will retire within the next ten years. In addition to replacing retirees, EDF will need additional engineers for international projects.

In the past four years, EDF has therefore increased its recruitment levels substantially. In the nuclear field, EDF recruits 500 engineers per year in the different technical domains (operations, design processes, neutron and thermohydraulics physics, civil engineering, structures and materials, chemistry and environment, calculation codes and signal processing, instrumentation and control, etc.). EDF has also developed an internal ‘nuclear academy’ to train and qualify newly hired staff together with staff recruited from other parts of EDF, which will cover basic knowledge and nuclear culture training and more specialized job training.

AREVA has anticipated the nuclear revival by hiring more than 20 000 new staff members over the past four years, to achieve close to 50 000 nuclear staff in 2010, in line with market forecasts. AREVA also has developed in-house training programmes for new recruits: “The Campus Cycle”, for all new managers and engineers, is designed to develop group culture and networks, to develop an understanding of AREVA’s businesses, the main technologies and development prospects, and to consolidate the nuclear and occupational safety culture; “The Plants Cycle” is focused on engineers and designed to provide an overview of AREVA’s technology and core business and develop a collective working habit.

In order to ensure the availability of necessary human resources, the government established in 2008 the French Council for Education and Training in Nuclear Energy (CFEN) chaired by the High Commissioner for Atomic Energy. It includes representation from the nuclear industry, higher education institutes and research organizations: its mission is to improve the balance between the education options being offered, the number of students and the needs of industry.

Over the next ten years, domestic and international nuclear power activities in France will call for the recruitment of about 13 000 engineers with Master of Science or PhD degrees, and 10 000 science technicians and operators with Bachelor of Science degrees. The chief employers will be EDF, AREVA, GDF SUEZ, national agencies such as the National Agency for Radioactive Waste Management (ANDRA), sub-contractors, R&D agencies such as the French Atomic Energy and Alternative Energies Commission (CEA), and the technical safety organization, Institute for Radiological Protection and Nuclear Safety (IRSN).

In France in recent years about 25 000 students have graduated annually with an engineer's or master's degree. In 2006 about 300 of them graduated in nuclear engineering or a closely related field. This figure will reach 900 by July 2010, a three-fold increase over four years. In addition about 100 students per year obtain a PhD in nuclear energy science. The number of technicians graduating with a nuclear or closely related bachelor of technology degree currently amounts to about 450 per year.

Accordingly, a number of new nuclear related academic programmes have been opened. Two of them have been designed for international enrolment as they provide their courses in English. One is a new international Master in Nuclear Energy Science, run by a consortium of several academic institutions (Paris-Sud University, ParisTech, Supélec, École Centrale Paris and the National Institute of Nuclear Science and Technology (INSTN)) with the support of several industrial establishments (EDF, AREVA, GDF SUEZ). This training is aimed at French and non-French graduates holding a good bachelor's degree in the sciences. To foster the international dimension of this programme, the classes are conducted in English. Lasting for two years (around 1000 hours of training), the course will provide the knowledge required to pursue a successful career in the nuclear industry. The curriculum has a number of different modules: a foundation course in nuclear sciences, applied knowledge (e.g. safety and radiation protection) focusing on the nuclear industry, and a wide choice of specializations: engineering, design, operations, decommissioning and waste management, and the fuel cycle. An internship in the industry and the submission of a master's thesis to secure the degree will complete the programme. The whole programme became fully operational in September 2009 (90 students, more than 50% non-French coming from 19 countries).

The second programme is an international Master of Materials Science for nuclear energy at the Grenoble Institute of Technology, in partnership with EDF, INSTN, and McMaster University in Canada.

The nuclear industry also set up new education and training programmes. For example, AREVA is involved in the creation of the European Nuclear Energy Leadership Academy. Its Corporate University has a network of correspondents and collaborators in Germany (e.g. Munich University of Technology and Karlsruhe Institute of Technology), North America (e.g. Massachusetts Institute of Technology, Stanford University and Harvard University), South Africa (North-West University), Latin America, China and India.

Finally, France has also played a leading role in the launch, by the European Nuclear Education Network (ENEN) Association, of the European Master of Science in Nuclear Engineering (EMSNE), with participating universities in most EU member countries.

B.4. Germany¹

There are currently 17 reactors operating in Germany. In 2008, they produced 29% of Germany's electricity. The future prospects for nuclear power in Germany are in flux. In 2002, the Bundestag voted to phase out nuclear power, allowing an average lifetime of about 32 years for each operating reactor, but with the provision that kilowatt-hours could be traded between reactors. Based on recent planning, the remaining reactors would have to be shutdown between 2010 and 2022 (although the provision for trading kilowatt-hours makes it impossible to project precise shutdown dates). The new government elected in September 2009 has stated its commitment to rescind the phase-out policy and

¹ This section borrows heavily from Ref. [V-2].

reconsider nuclear power as a ‘bridging technology’. At the time of writing, the possibility of rescinding the phase-out policy was still under discussion.

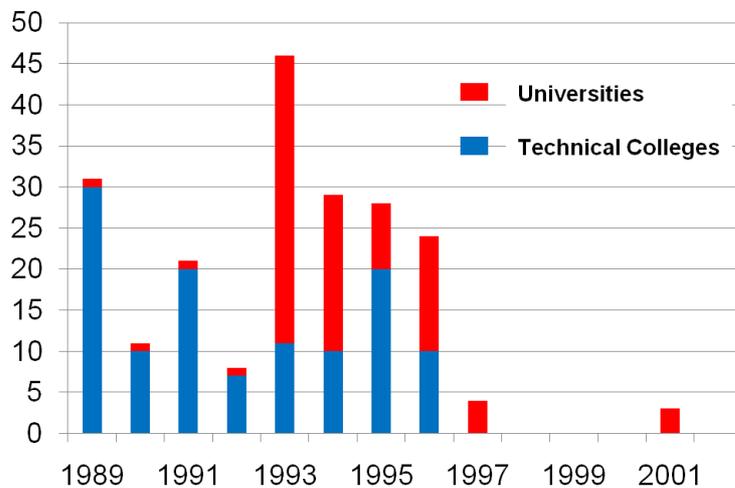


FIG. V-1: Graduates in nuclear technology in Germany [V-3].

Partly as a result of the phase-out policy, there have been declines in the numbers of students and educational programmes in nuclear fields. A 2004 analysis of nuclear education concluded that the number of academic institutions teaching nuclear related matters was expected to decline from 22 in 2000 to 10 in 2005 and only five in 2010 [V-4]². As shown in FIG. V-1, the number of graduates receiving diplomas in nuclear technology dropped from 46 in 1993 to zero in 1998. From 1998 through 2002, only two students graduated in a nuclear technology.

In order to try to combat this decline, the Alliance for Competence in Nuclear Technology (Kompetenzverbund Kerntechnik) was created in 2000, representing nuclear research centres, universities, technical support organizations and federal ministries. In 2009, the Karlsruhe Institute of Technology also established the AREVA Nuclear Professional School, which enrolls 30 PhD students at a time, who are paid by AREVA and guaranteed a job when their training is completed [V-5].

B.5. Hungary

Hungary operates four reactors at the Paks nuclear power plant, which provide 37% of the country’s electricity. In 2008, the thermal power of Paks was updated by 8%, and the plant submitted a preliminary plan to extend the operation of its reactors beyond their original retirement dates of 2012–2017. In March 2009, Hungary’s parliament approved a decision in principle to construct two new reactors at Paks.

Hungary therefore needs new nuclear experts to replace retiring personnel in nuclear related organizations; to serve as new personnel to allow for the extension of the lifetimes of the existing Paks reactors; and to serve as new personnel to construct and operate the new reactors.

In 2006, the Hungarian Atomic Energy Authority conducted a survey to assess future workforce needs in the energy sector. It did not assess specific needs for nuclear power, but it included responses from five nuclear organizations which can be analysed separately. Overall, only 23 companies completed the survey, and it is estimated that real energy sector needs may therefore be twice or three times the estimates collected in the survey.

² Updated data are not available to check whether these forecasts have been realized.

Of 16 707 people employed by the respondents, 3881 had completed higher education in scientific and technical subjects. The age distribution of these employees is shown in FIG. V-2. It is very close to, indeed a little younger than, the age distribution for a hypothetical stable workforce in which all employees start working at 25 and retire at 60 [V-6].

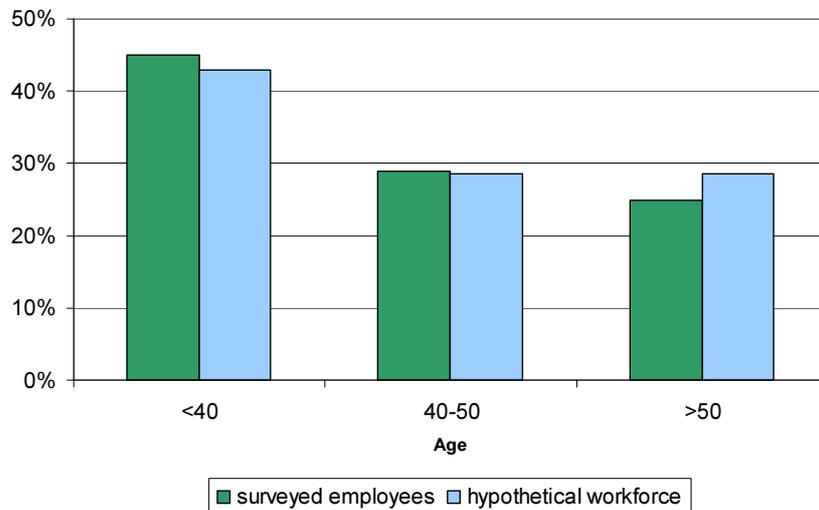


FIG. V-2: Age distribution of surveyed employees with higher education in science or technology (dark green) and a hypothetical stable workforce in which all employees work from 25 to 60 (light blue).

For the five nuclear organizations that were surveyed, Table V-1 shows the percentage of employees who are due to retire within ten years. In the hypothetical workforce described above the percentage would be 29%. Thus four of the five nuclear organizations have larger retirement cohorts than those of a hypothetical workforce, and the Paks nuclear power plant, at 44%, has the largest percentage of all.

Table V-1. Percentage of employees with higher education in science or technology who are due to retire within ten years

Paks nuclear power plant	44%
Research Institute for Electric Industry (VEIKI), Division of Nuclear Power	42%
Hungarian Atomic Energy Authority	39%
Radioactive Waste Treatment Ltd	31%
Budapest Research Reactor	23%

The results for all 23 survey respondents estimated a need, over the next ten years, for approximately 1120 new employees with higher education in science or technology. A little more than half would need bachelor of science degrees. The rest would need master of science degrees. Again, because of the limited survey response, the real need might be twice or three times as much.

The decision in principle for new units at Paks came after the survey, so workforce needs for the new reactors were not included in the responses. Separate estimates of workforce needs for two new units at Paks have, however, been made [V-7]. During the construction period, a direct work effort estimated at 11 000–13 500 person-years would be needed, plus an indirect workforce of about

16 500–20 300 person-years. The indirect workforce includes those not directly involved in the construction, but who deliver components, for example, or are otherwise indirectly involved.

After construction, an estimated 700–800 people would be needed for everyday operations and maintenance, about 30% of whom would need higher education. The new reactors will create additional work for the Hungarian Atomic Energy Authority and technical service organizations (TSOs), but it is difficult to estimate how much, particularly before the technology has been chosen.

Five universities in Hungary offer nuclear related courses. The Budapest University of Technology and Economics (BME) has the largest number of graduates with nuclear related degrees. In addition, the Paks nuclear power plant has its own education and training centre. This centre has a full-scale simulator for operator training and a maintenance training centre for technicians and maintenance workers.

All five universities cooperate with the nuclear industry. The broadest cooperation is between BME and Paks. BME offers a continuing education programme for professionals and serves as a TSO for Paks. Paks funds a foundation for BME to, among other things, promote student mobility, provide special scholarships, cover student travel expenses for conferences, and award scholarships and prizes recognizing exceptional work.

B.6. India

India plans a rapid expansion of nuclear power. At the end of 2009, it had 18 reactors in operation (3984 MW(e)) and 5 under construction. Projections made in 2004 included 29.5 GW(e) of installed nuclear power in 2022 [V-8], and higher numbers have been cited more recently: Indian Prime Minister Manmohan Singh, in opening the International Conference on Peaceful Uses of Atomic Energy in New Delhi in September 2009, said India could potentially install 470 GW(e) by 2050. Estimates based on adding 20 GW(e) of nuclear capacity by 2020 indicate that by 2017 India would need to add 3700 nuclear engineers, compared to an estimated 3180 today [V-9].

To support its expansion plans, the Indian Department of Atomic Energy (DAE) has established a number of new institutes and educational programmes to augment its ongoing, well established nuclear training programmes (i.e. the one-year orientation course for engineering graduates and science postgraduates and the two-year DAE graduate fellowship scheme), mainly at the master's degree and PhD level, including:

- the Homi Bhabha National Institute in 2005, an umbrella for ten existing R&D and education institutions;
- the National Institute of Science Education and Research in 2007; and
- the Centre for Basic Sciences at the University of Mumbai in 2007.

The Nuclear Power Corporation of India Limited (NPCIL), the country's sole constructor and operator of nuclear power plants, also has its own nuclear training centres close to nuclear power plant sites. The majority of training for non-graduate technical staff as well as for new engineering graduates and other technical staff is provided through these centres.

More recently, some Indian universities too have begun courses in nuclear engineering, e.g. in 2008, the Jawaharlal Nehru Technological University started a two-year master's course in nuclear engineering for candidates holding engineering degrees in mechanical, chemical, civil or metallurgy fields.

B.7. Japan

Japan is the world's third largest producer of electricity from nuclear energy. It has plans both to further expand production and to expand its exports of nuclear related products and services.

The Nuclear Energy Human Resource Development Council of Japan is responsible for the medium and long term development of human resources for the Japanese nuclear industry. In April 2009, it

published a report entitled *Efforts for Nuclear Energy Human Resource Development* [V-10], based on interviews and surveys of industry, educational and research institutions, students and new employees.

Around 700–800 students major in nuclear subjects at the graduate level every year: 200–300 of those go on to further education, and some 500 find employment. About 40% of the 500 (i.e. 200) are employed by nuclear industry. Utility companies employ around 100 graduates every year, about 20% of whom majored in nuclear or related subjects. Manufacturers employ around 100–150 graduates every year, about 10% of whom majored in nuclear or related subjects. The report expressed no immediate concerns about the number of new graduates Japan was producing, but the survey gave rise to concerns about the quality of the graduates, particularly because the quality of education on nuclear subjects was seen to be weakening. FIG. V-3 indicates that the total number of nuclear related subjects in nuclear related university departments was reduced by half between 1979 and 2007. In the area of nuclear reactor physics, the number fell by two thirds. In the area of experiments and practical training, the number fell by 80%.

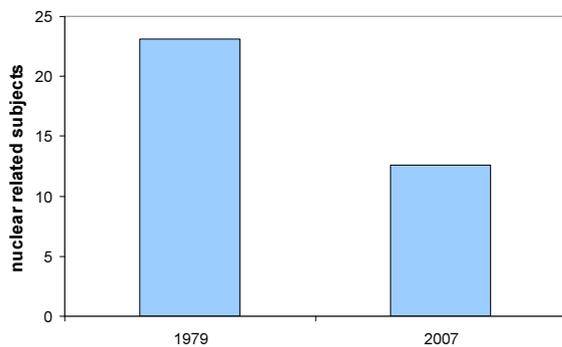


FIG. V-3: Total number of nuclear related subjects in nuclear related university departments in Japan.

The following actions have been adopted as a result of the survey findings:

For government:

- to implement nuclear human resources development programmes and continue to support activities in education; and
- to support energy and environment education at elementary and junior and senior high schools.

For universities:

- to assure that education incorporates industry needs;
- to assure, through strict management of educational curricula, the quality of master course students; and
- to develop young researchers in the area of basic engineering and technology.

For industry:

- to develop human resources through on-the-job training;
- to promote self-development by providing incentives for additional qualifications; and
- to cooperate with and support schools and universities.

B.8. United Kingdom

The UK nuclear energy industry currently has just over 10 GW(e) of installed capacity and employs 44 000 people (24 000 core nuclear staff and approximately 20 000 contractors) of which 7500 are employed directly in electricity generation.

In 2009, a national survey was conducted by Cogent³ [V-11] to address a lack of data to support long term skills planning. The survey identified three important skills drivers for the immediate future:

- an ageing workforce driving a demand for replacement skills;
- a shift in needed skills toward decommissioning; and
- new demand for skills to operate a fleet of new nuclear power stations.

If no new nuclear power reactors are built, and if current reactors are retired on schedule, the total workforce is estimated to decline by 58% by 2025. This in fact is the model that has driven workforce planning in the UK in recent years. However, subsequent to a 2008 Government energy review [V-12], the private sector announced intentions to build at least 12 GW(e) of new nuclear power capacity. This would create 4600 new jobs in generation alone.

These jobs would require diverse skills as shown in FIG. V-4. One of the largest categories is maintenance, where the majority of staff would not be university graduates, but vocationally qualified technicians.

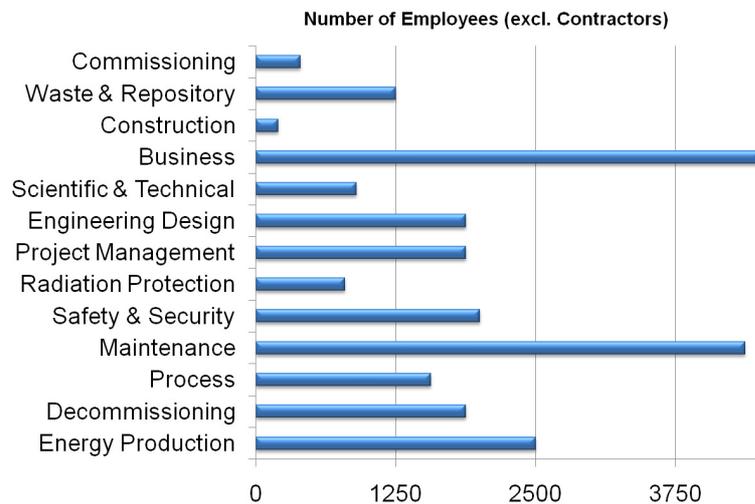


FIG.V-4: Job contexts for core nuclear industry staff

However, over the past 20 years, the UK has seen a dramatic reduction in the availability of traditional engineering apprenticeships, which would have been the ‘feedstock’ for maintenance and similar jobs. The National Skills Academy for Nuclear was established in 2008, at the request of nuclear industry employers, to address the key skills and training challenges facing the industry, but it is still too early to say whether it will be successful in meeting the needs of the industry.

A number of UK universities have also joined the European Nuclear Education Network (ENEN) Association, which, as noted earlier, launched a European master’s degree in nuclear engineering in 2005 to help alleviate the predicted shortage of professional staff.

B.9. United States of America

³ Cogent is the Sector Skills Council (SSC) for the Chemicals and Pharmaceuticals, Oil and Gas, Nuclear, Petroleum and Polymer Industries. It is licensed by the UK Government to provide employers in the sector with the opportunity for coherent leadership and strategic action to meet their skills needs.

The ageing workforce is also a key driver of recruitment needs in the USA. The Nuclear Energy Institute (NEI) biennially conducts a workforce analysis for the US nuclear power industry. Its 2009 survey is in progress. Its 2007 survey, for which 20 out of 26 utilities supplied data (representing 85% of utility employees), indicated that the age profile of the workforce has become older (see FIG. V-5):

- in engineering only 13% of employees were under 33 years old (compared to an expected value of 25% for a hypothetical stable work force of 22- to 62-year olds);
- in operations only 14% of employees were under 33 years old;
- in maintenance only 6% of employees were under 33 years old; and
- in radiation protection only 4% of employees were under 33 years old.

The survey also found that, for skilled trades, there were indications of increased shortages in welders, ironworkers and pipefitters.

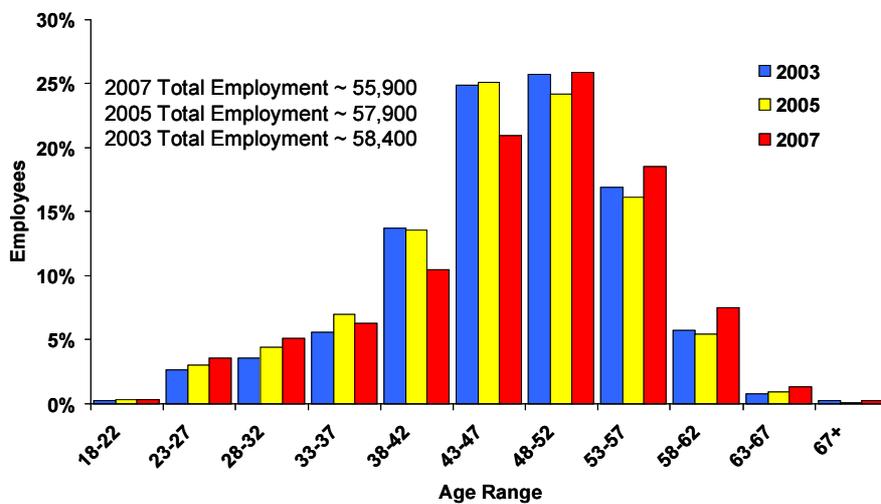


FIG. V-5: Age profiles of the workforce in the US nuclear power industry.

Many of the recent studies in the USA focus on university education. Funding for university nuclear science and engineering education relies heavily on government support, historically from the Department of Energy (DOE) and currently from the Nuclear Regulatory Commission (NRC). After the Three Mile Island and Chernobyl accidents, as the construction of new plants ceased, student enrolments in nuclear engineering programmes declined and DOE funding was steadily reduced. By the mid 1990s, anticipating a possible resurgence in nuclear energy, the DOE began reinvesting to rebuild the nuclear energy education infrastructure. The results of this reinvestment, in terms of increased student numbers can be seen in FIG. V-6 [V-13].

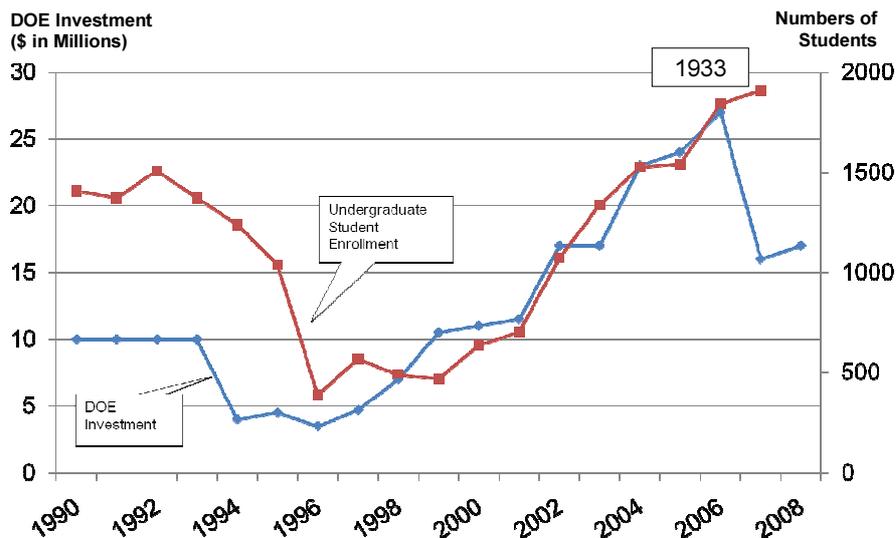


FIG. V-6: Undergraduate enrolments in nuclear engineering and DOE investments in university programmes

Approximately 450 bachelor’s degrees were granted in nuclear engineering in 2008, of which an estimated 60% continued with further education and 25% were hired by vendors and regulators, meaning that fewer than 100 were available to be hired by utilities. This is well short of utility estimates according to which approximately 500 new graduate recruits will be needed each year just to cover retirements and attrition. Building new nuclear power plants will require even more new recruits [V-14].

In those areas where government or other support has not been forthcoming, the situation is worse. FIG. V-7 highlights the decline in the number of PhDs awarded annually in nuclear chemistry. This is a very specialized area, but one which is fundamental for research and development.

The USA has had some success with partnering and outreach programmes, particularly in the area of associate’s degrees, which are two-year degrees for skilled workers. In these programmes, utilities work with local educational institutions to develop programmes targeted at meeting the utilities’ needs. FIG. V-8 indicates that, typically for the USA, staff with associate’s degrees make up around 70% of the workforce. An example of such a programme is the Nuclear Power Institute (NPI), a partnership between Texas A&M University, three US nuclear utilities and several other four-year universities and two-year community colleges. NPI is developing curricula to meet the full breadth of utility needs and has a significant outreach programme to engage high schools, teachers and students and attract students to nuclear power programmes.

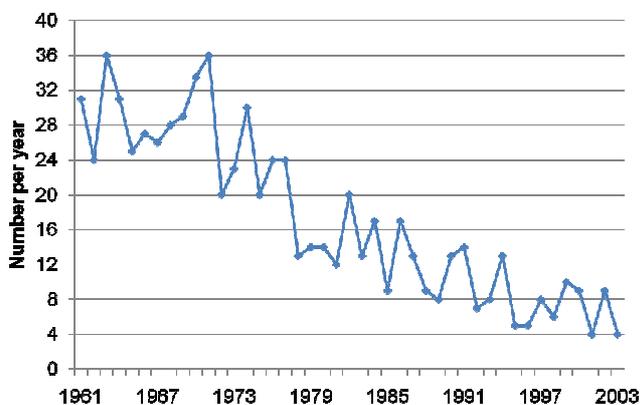


FIG. V-7: PhDs awarded annually in nuclear chemistry in the USA [V-14].

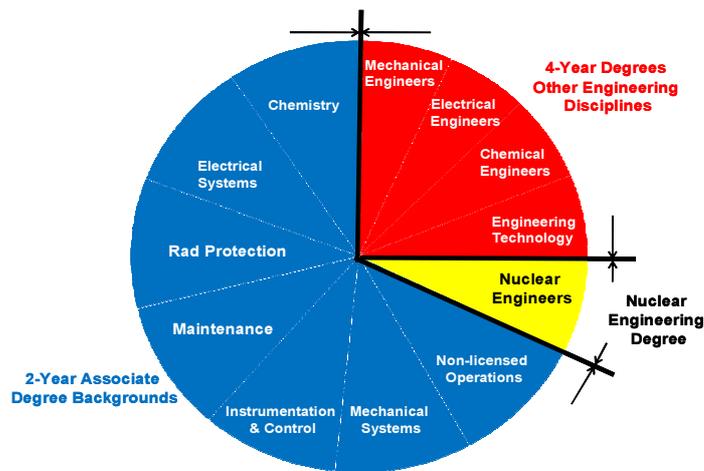


FIG. V-8: Example of distribution of disciplines for the nuclear workforce.

C. Concluding remarks

As noted at the outset, the basic conclusions on human resources for nuclear power have not changed from the *Nuclear Technology Review 2009*. The concerns about possible shortages of qualified people remain although the situation is different in different countries. For countries with expanding nuclear power programmes the challenge is to scale up existing education and training in order to have the required qualified workforce on time. Countries planning to supply nuclear technology to others not only have to meet their national human resource needs but must also be able to transfer education and training capacity together with the technology they transfer. Countries embarking on nuclear power will need to rely significantly on their technology supplier to help provide qualified people for construction, licensing and start-up until their national capacities to train comparable workforces domestically are established.

Assembling and analysing the data for more comprehensive conclusions on global human resources for nuclear power will require an international effort. With cooperation from the OECD/NEA, the World Association of Nuclear Operators, the World Nuclear Association, the Nuclear Energy Institute and Los Alamos National Laboratory in the USA, the Japan Atomic Energy Agency, the Cogent Sector Skills Council in the UK and others, the IAEA announced the launch of such an effort at the International Conference on Human Resource Development for Introducing and Expanding Nuclear Power Programmes, in March 2010 in Abu Dhabi. It is planned that, as a result of this initiative, the following activities will be undertaken at a global scale: a survey of human resources at existing nuclear power plants, including contractors and suppliers; a survey of the demand and supply of human resources for nuclear regulatory bodies; a survey of educational organizations and programmes that support nuclear power; the development of workforce planning tools for countries considering or launching new nuclear power programmes; and integration of the above into an accessible database that can be used to model global or national supply and demand of human resources.

REFERENCES

- [V-1] BONNET, M., “Skills renewal in nuclear — an industrialist’s point of view”, presented at a post-FISA workshop (25 June 2009) following the FISA 2009 — Seventh European

- Commission conference on Euratom research and training in reactor systems (22-24 June 2009).
- [V-2] SCHNEIDER, M., THOMAS, S., FROGGATT, A., KOPLOW, D., HAZEMANN, J., *The World Nuclear Industry Status Report 2009: With Particular Emphasis on Economic Issues*, Paris (August 2009), Commissioned by German Federal Ministry of Environment, Nature Conservation and Reactor Safety, Contract no. UM0901290 (http://www.bmu.de/english/nuclear_safety/downloads/doc/44832.php).
- [V-3] HAHN, L., “Knowledge Management for Assuring High Standards in Nuclear Safety”, presented at the IAEA International Conference on Nuclear Knowledge Management: Strategies, Information Management and Human Resource Development (7-10 September 2004).
- [V-4] FRITZ, P., KUCZERA, B., “Kompetenzverbund Kerntechnik — Eine Zwischenbilanz über die Jahre 2000 bis 2004”, *Atomwirtschaft* (June 2004).
- [V-5] *Nature* 459, 124-125 (6 May 2009).
- [V-6] Aszódi, A., Energetikai szakemberigények Magyarországon, (Needs of energy experts in Hungary), in Hungarian, http://www.reak.bme.hu/fileadmin/user_upload/felhasznalok/aszodi/letoltes_eloadasok/Aszodi_szake_igenyfelm_Szakujsagirok_20080415_v3.pdf
- [V-7] Új atomerőművi blokkok létesítésének előkészítése, (Preparation for new NPP units), edited by MTA KFKI AEKI (2009), in Hungarian.
- [V-8] DEPARTMENT OF ATOMIC ENERGY, Government of India, *A Strategy for Growth of Electrical Energy in India*, Document no. 10 (August 2004).
- [V-9] SURI, A.K., GROVER, R.B., Bhabha Atomic Research Centre, Mumbai, “Human Resource Development for an Expanded Nuclear Programme”, presented at IAEA Workforce Planning Workshop, Vienna (March 2009).
- [V-10] NUCLEAR ENERGY HUMAN RESOURCE DEVELOPMENT COUNCIL, Japan Atomic Industrial Forum, Inc., *Efforts for Nuclear Energy Human Resource Development*, (April 2009).
- [V-11] COGENT, *Renaissance Nuclear Skills Series: 1 — Power People — The Civil Nuclear Workforce 2009–2025* (September 2009).
- [V-12] UK DEPARTMENT FOR BUSINESS, ENTERPRISE & REGULATORY REFORM, *Meeting the Energy Challenge: A White Paper on Nuclear Power*, (January 2008).
- [V-13] APS PANEL ON PUBLIC AFFAIRS, COMMITTEE ON ENERGY AND ENVIRONMENT, *Readiness of the U.S. Nuclear Workforce for 21st Century Challenges: A Report from the APS Panel on Public Affairs, Committee on Energy and Environment* (June 2008) (<http://www.aps.org/policy/reports/popa-reports/upload/Nuclear-Readiness-Report-FINAL-2.pdf>).
- [V-14] BURCHILL, W.E., “Knowledge Transfer: The Key to Continuing Operations Excellence” presented at American Nuclear Society 2008 Utility Working Conference, Amelia Island, Florida (3-6 August 2008).

Edito dall'ENEA
Unità Comunicazione
Lungotevere Thaon di Revel, 76 - 00196 Roma
www.enea.it

Revisione editoriale: Giuliano Ghisu
Copertina: Bruno Giovannetti

Stampato presso il Laboratorio Tecnografico ENEA - Frascati
Finito di stampare nel mese di gennaio 2011