



Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma

Commissione Gestione Impianti Nucleari

Area Nucleare

Seminario

**Reattori in esercizio e in costruzione per la
produzione di energia elettronucleare**

- Survey internazionale -

Presentazione del Quaderno Io Roma N. 4S/2023

Commissione Ricerca e Reattori Innovativi
Area Nucleare

**Presentazione Rapporto sullo sviluppo nucleare
italiano nel quadro di un mix energetico ottimizzato
(Commissione Ricerca e Reattori Innovativi)**

**Piano energetico con produzione di energia elettronucleare
(paragrafo 3 del Quaderno Io Roma N. 4S/2023,
a cura degli Ingg. Massimo Sepielli e Alessandra Di Pietro)**

Ing. Alessandra Di Pietro

Indice

- Perché l'idea di elaborare un Rapporto sullo sviluppo nucleare italiano nel quadro di un mix energetico ottimizzato
- Analisi del contesto italiano e geopolitico
- Criteri ingegneristici per la progettazione di un piano energetico
- Il concetto di efficienza energetica della tecnologia preposta alla produzione di energia
- Richiesta e consumi di energia elettrica in Italia
- Elettricità prodotta in Italia per fonte dal 1990 al 2020
- La potenza elettrica istantanea richiesta in rete in Italia
- Il mix energetico italiano e fonti impiegate
- Caratteristiche geologiche e climatiche del territorio italiano
- Le risorse del territorio italiano in termini di materie prime; risorse fossili
- Le materie prime utilizzate per le tecnologie delle fonti rinnovabili; il solare FV
- Le materie prime utilizzate per le tecnologie delle fonti rinnovabili; l'eolico
- Le fonti rinnovabili italiane in termini di risorse; l'idroelettrico, la geotermia, il biogas
- Confronto tra le potenze elettriche da FER (fotovoltaico, eolico e biomassa) e da nucleare in termini di erosione del territorio e resa energetica
- Bilancio energia; richiesta di energia elettrica nell'anno 2022
- La potenzialità della rete elettrica nazionale: la gestione delle sottoreti in un sistema complesso e integrato
- La stabilità della rete elettrica nazionale
- Il mix energetico ottimale in Italia
- La quota di tecnologia nucleare nel mix energetico proposto
- Aspetti di rilevante importanza di un impianto nucleare per la produzione di energia elettrica nel contesto energetico
- Aspetti ingegneristici e di sicurezza nella progettazione del reattore nucleare a fissione
- La sicurezza negli impianti nucleari: la difesa in profondità
- Le soluzioni a breve, medio e lungo termine; pianificazione di un nuovo piano energetico
- Bibliografia essenziale e iconografia
- Contatti Ing. Alessandra Di Pietro



Perché l'idea di elaborare un Rapporto sullo sviluppo nucleare italiano nel quadro di un mix energetico ottimizzato

La consapevolezza che oggi, più che in passato, l'energia è diventata una fonte vitale, inalienabile, da garantire con sicurezza, efficacia e prontezza di fruibilità, attraverso una tecnologia efficiente, a basso impatto ambientale e la crisi energetica italiana e il contesto internazionale geopolitico hanno indotto la Commissione Ricerca e Reattori Innovativi ad elaborare per il nostro Paese una proposta di un piano energetico su larga scala basato su un mix energetico diversificato tecnologicamente e geograficamente in grado di garantire costanza e indipendenza di approvvigionamento.



Rapporto sullo sviluppo nucleare italiano nel
quadro di un mix energetico ottimizzato

Un piano energetico efficiente e sostenibile deve essere un reale beneficio per il presente e per il futuro e deve tenere in considerazione oltre agli aspetti tecnologici, quelli legati alle caratteristiche geomorfologiche del territorio e alle esigenze socio-economiche nella consapevolezza che ogni intervento in questo ambito come in tutti gli altri ambiti progettuali dell'ingegneria è destinato a cambiare per sempre, in varia misura, l'ambiente.

Analisi del contesto italiano e geopolitico

Gli obiettivi di decarbonizzazione della transizione energetica attesi al 2050 e la forte spinta verso una società digitalizzata, imporranno un grande sforzo da parte dei Tecnici che dovranno inserire progressivamente accanto alle attuali tecnologie prevalentemente basate sull'utilizzo di fonti fossili ad alto impatto ambientale, quelle più innovative e a basso impatto ambientale.

L'Ingegnere nella progettazione di un piano energetico **deve saper cogliere ogni aspetto della realtà**, comprendere i **cambiamenti socio economici propri della sua epoca** e le **opportunità offerte dal progresso tecnologico**.

Nei prossimi anni sarà fondamentale conciliare:

- fabbisogno crescente di energia;
- efficienza energetica e sostenibilità ambientale e alte performance tecnologiche nell'edilizia, nell'industria, nel terziario e nei trasporti, settori che impattano, in diversa misura, sui consumi energetici e sull'immissione di inquinanti in atmosfera.



Criteri ingegneristici per la progettazione di un piano energetico

La scelta di una tecnologia ecosostenibile dal punto di vista dell'efficienza e del risparmio energetico, a seguito di un'attenta analisi di impatto ambientale, deve essere fatta in base al criterio della diversificazione tecnologica e geografica:

ciò che può essere adatto per una determinata area geografica, può non esserlo per un'altra.

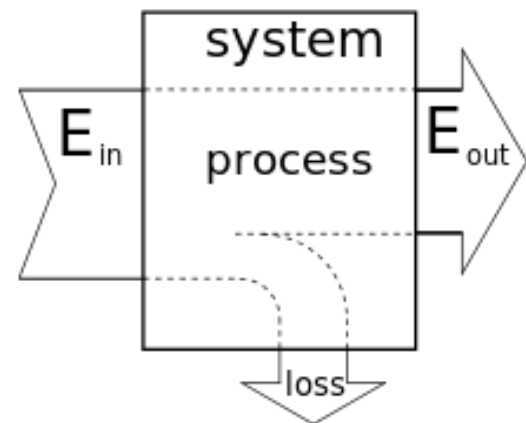
In particolare, bisogna tenere presente il fattore di capacità della tecnologia, ossia il rapporto tra l'energia che effettivamente produce e quella che avrebbe prodotto se avesse lavorato sempre alla potenza nominale.

Fattori fondamentali da tenere in considerazione per la progettazione di un piano energetico efficiente:

- caratteristiche geomorfologiche del territorio;
- condizioni climatiche;
- quantità e qualità delle risorse (materie prime);
- fabbisogno energetico;
- infrastrutture presenti e potenzialità della grande rete di distribuzione dell'energia;
- condizioni economiche e capacità nel tempo di investire su scelte energetiche competitive;
- contesto urbanistico.

Il concetto di efficienza energetica della tecnologia preposta alla produzione di energia

Una tecnologia energetica risulta realmente efficiente quando l'energia primaria, a fronte della trasformazione, garantisce una energia finale massima con il minimo impiego di combustibile e con perdite il più possibile contenute e quando il suo funzionamento sia in sinergia con la potenzialità del territorio e della rete di distribuzione dell'energia.



Il bilancio costi-benefici di una fonte energetica e della tecnologia preposta per il suo utilizzo deve trovare sempre un giusto compromesso tra fattori tecnologici e socio-economici. Tra questi:

- Sicurezza
- Basso rischio per l'ambiente
- Efficienza e disponibilità costante
- Semplicità di gestione del sistema energia nel suo complesso
- Durevolezza
- Costi economici accettabili e ritorno dell'investimento nel lungo termine
- **Indipendenza di approvvigionamento delle materie prime**
- Crescita economica e sviluppo tecnologico

Richiesta e consumi di energia elettrica in Italia

L'energia elettrica totale richiesta in rete è pari a **318,6 TWh** (con perdite in rete di circa 21,2 TWh), di cui l'88% è prodotto internamente e il restante 12% circa importato dall'estero. L'importazione di elettricità è di circa **44 TWh annui**.

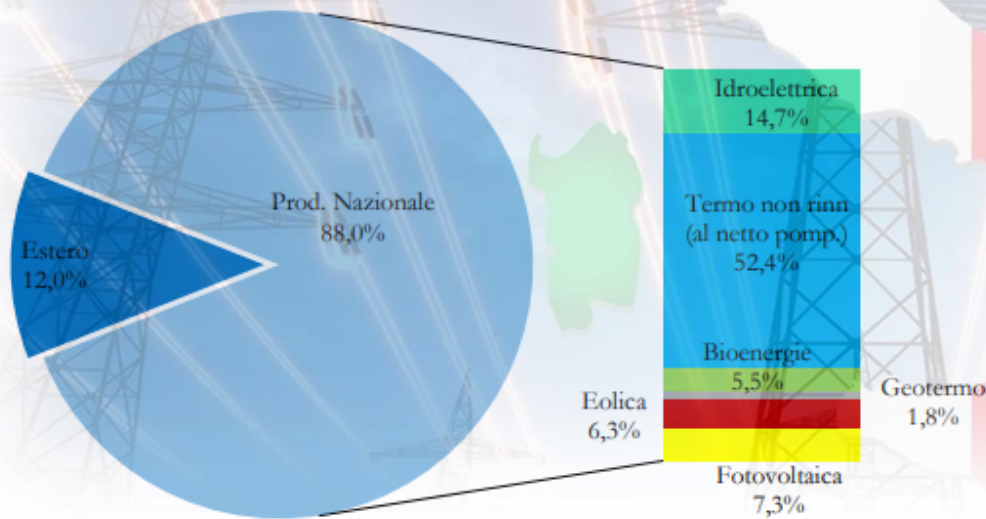
I 44 TWh annui di elettricità importati dall'estero sono prodotti da energia nucleare:

- 15,2 TWh provengono dalla Francia (il 5% circa);
- 28,2 TWh provengono dalla Svizzera (l'8,9% circa);
- 5,2 TWh provengono dalla Slovenia, 1,2 TWh dall'Austria.

Fonti: Ministero dello Sviluppo Economico - GSE - Eurostat

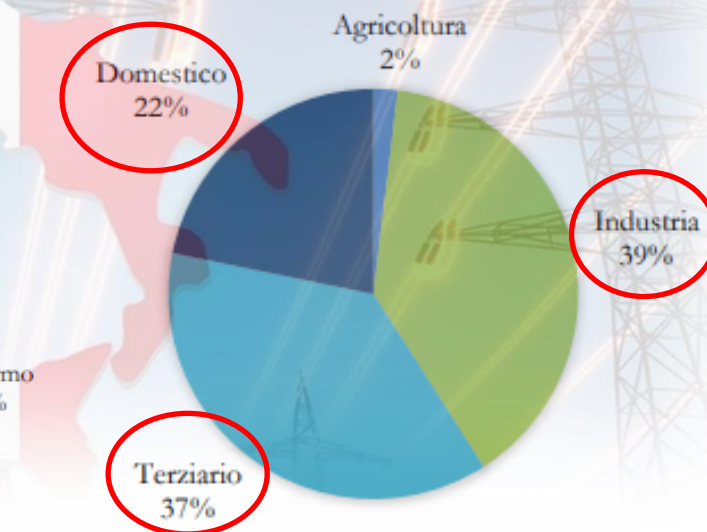
Dati aggiornati al 2019

Produzione energia elettrica per fonte - anno 2019

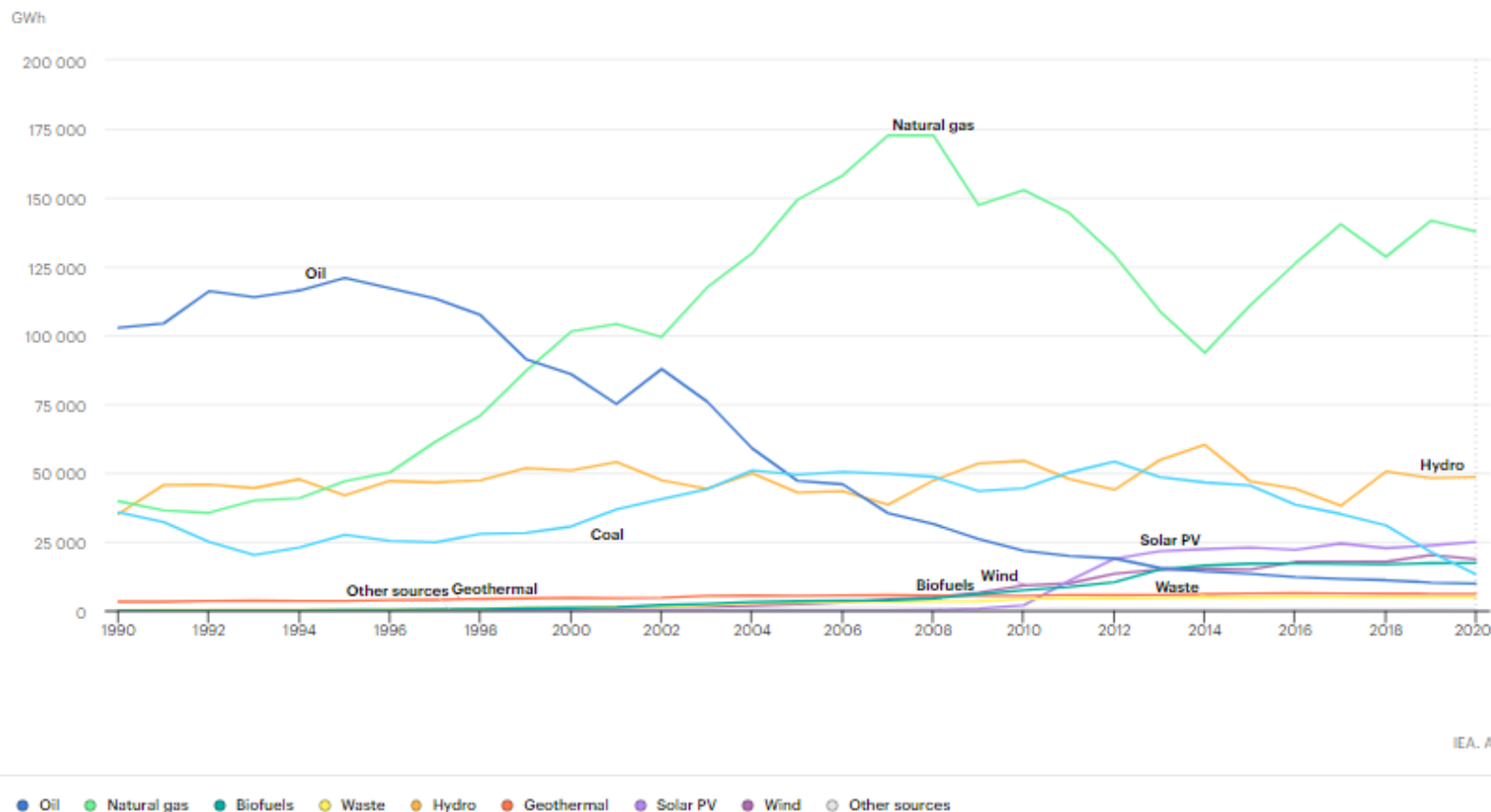


Fonte: Terna

Consumi elettrici per settore - anno 2019



Elettricità prodotta in Italia per fonte dal 1990 al 2020



L'utilizzo di **gas naturale** per la produzione di energia elettrica è **aumentato notevolmente** con un picco massimo nel 2008. In **calo netto** l'utilizzo del **petrolio**. Si attesta **costante** l'utilizzo dell'**idroelettrico** e si registra un **sensibile aumento delle rinnovabili** nell'ultimo decennio.

La potenza elettrica istantanea richiesta in rete in Italia

La potenza elettrica istantanea richiesta in rete è pari a circa 50.000 MWe da garantire nell'arco delle 24 ore (15.000 MWe nelle ore notturne) e le centrali italiane esistenti sono in grado di erogare oltre 120 GW di potenza massima netta.

Fonte: Enel -Terna

La richiesta di energia elettrica è destinata a subire nel prossimo futuro **un aumento considerevole** in relazione a diversi fattori. Tra questi:

- la forte **spinta alla digitalizzazione** (servizi digitali, AI, smart city, telecomunicazioni, etc.);
- **crescita demografica** (flussi migratori, etc.);
- **elettrificazione dei trasporti** (autovetture elettriche).

TABELLA MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO

Tabella 9: Consistenza parco veicolare elettrico e consumi di energia elettrica su strada

	2017	2018	2019*
Consistenza parco veicolare alimentato ad energia elettrica (**)	20.070	30.426	49.949
- di cui autovetture BEV (elettriche pure)	7.560	12.156	22.728
- di cui autovetture PHEV (ibride plug-in)	5.268	9.871	16.313
- di cui altri veicoli (motocicli, autocarri, filobus, autobus)	7.242	8.399	10.908
Energia elettrica complessiva consumata su strada - GWh	82,9	99,0	136,6
Energia elettrica rinnovabile consumata su strada - GWh (***)	27,8	33,7	46,6

(*) Stime preliminari

(**) Elaborazioni GSE su dati ACI, ANFIA, Aziende di Trasporto Pubblico Locale.

(***) In ciascun anno t, il dato è calcolato applicando ai consumi complessivi la quota FER nel settore elettrico dell'anno t-2.

Fonte: GSE

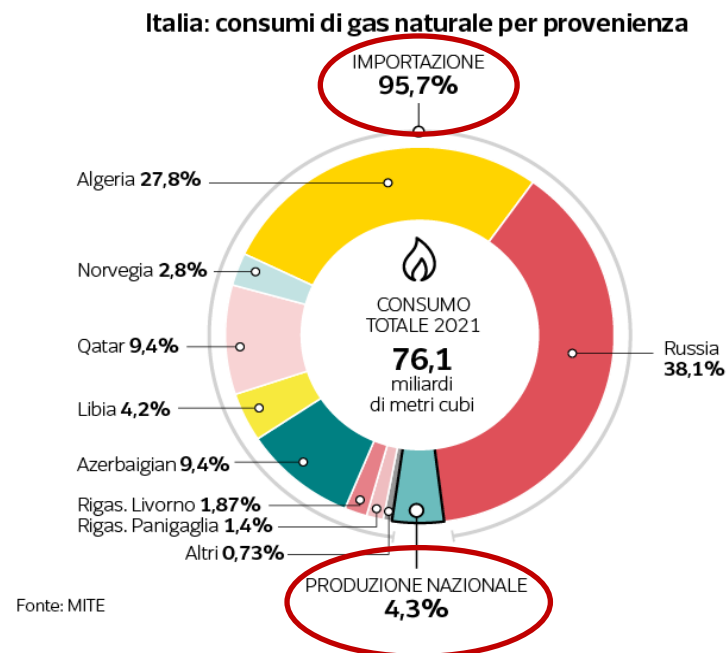
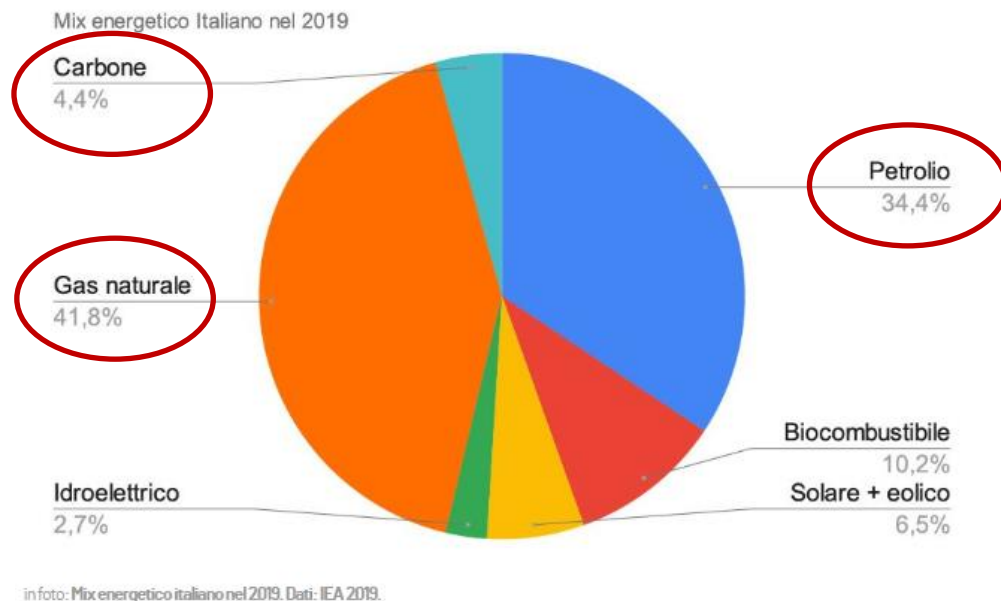


Fonte: qualenergia.it/articoli/mercato-globale-auto-elettriche

2035, stop graduale ai motori a combustione interna (MITE).

Il mix energetico italiano e fonti impiegate

La fonte primaria impiegata per produrre energia (elettrica e termica) è il gas naturale (41,8%) seguita dal petrolio (34,4%) per un totale di circa il **76% di utilizzo di fonti fossili**. Sommando la percentuale di **carbone del 4,4%** arriviamo all'80% di fonti fossili impiegate.



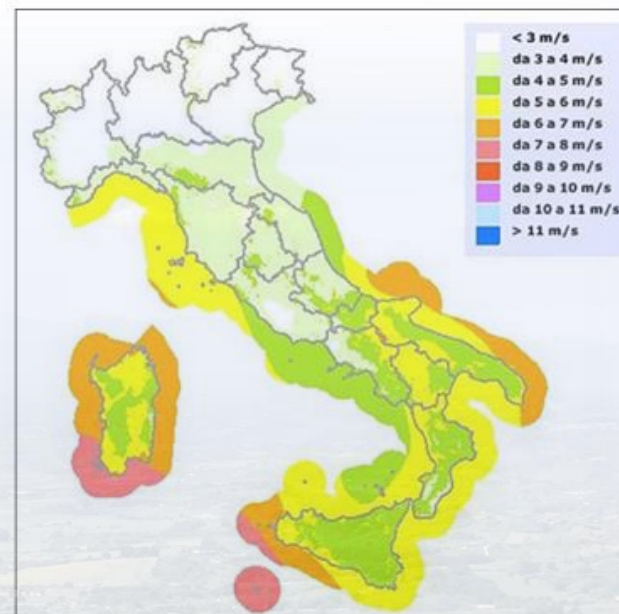
La quasi totalità dei consumi energetici del nostro Paese dipendono per il 95,7% dal gas naturale, dal 95% dal petrolio importati e per il 12% dal nucleare estero. Nel 2019 la quota delle importazioni nette rispetto al fabbisogno energetico nazionale è stata del 74,7%.

Caratteristiche geologiche e climatiche del territorio italiano

- **Superficie: 301.340 km²** (% delle acque 2,4) - **35,2% MONTAGNA - 41,6 COLLINA - 23,2% PIANURA** (1/4 del territorio italiano).
- **Clima: temperato, temperato freddo e freddo.**
- **Popolazione: 60.497.174 abitanti** con una densità di 200,76 ab/km².



Mappa valori di gradi giorno (GG): un valore di gradi giorno basso indica un periodo di riscaldamento breve e temperature medie giornaliere prossime alla temperatura fissata per l'ambiente (20°C). Valori di gradi giorno elevati, indicano periodi di riscaldamento prolungati e temperature medie giornaliere inferiori rispetto alla temperatura di riferimento.



Mappa della velocità del vento: un generatore eolico sia ad asse verticale che orizzontale necessita di una velocità minima del vento (cut-in) di 3-5 m/s ed eroga la potenza di progetto ad una velocità del vento di 12-14 m/s.

Le risorse del territorio italiano in termini di materie prime; risorse fossili

Gas naturale: circa **350 miliardi di metri cubi** (stima giacimenti) per lo più presenti in Adriatico.

Si stima che dai pozzi non eroganti e da quelli già operativi si possa arrivare a **10 miliardi di metri cubi l'anno**.

Petrolio: riserva di petrolio di **1,5 -1,8 miliardi di barili di petrolio** prevalentemente in Basilicata.

Carbone: una sola miniera in Sardegna di **2,5 miliardi di tonnellate** in grado di fornire 1 milione di tonnellate annue.

Uranio: presente in Italia nella miniera di Novazza, frazione di Valgoglio, attualmente chiusa. Si stima possano essere ricavate circa 1300 tonnellate di ossido di uranio.



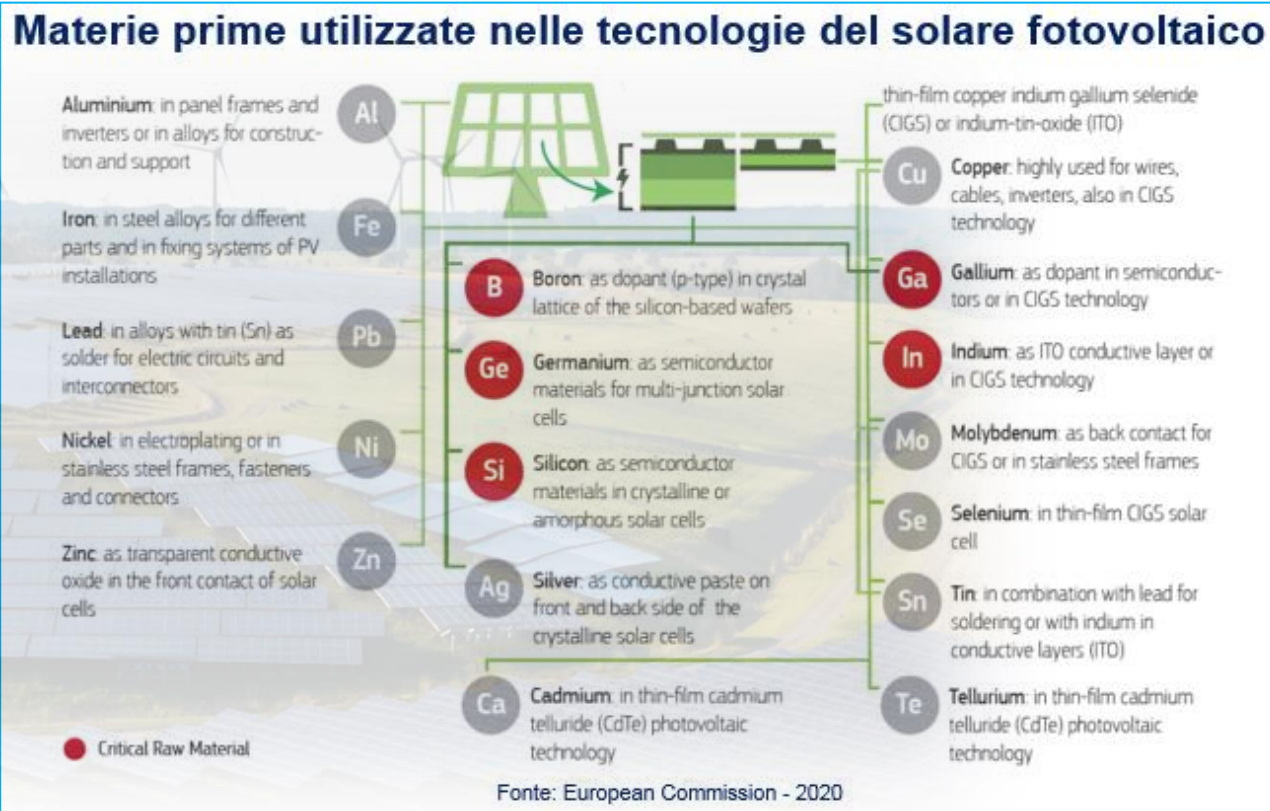
Fonte: Adriatic LNG terminal (foto: Hydrosebridge)

FONTE	DENSITÀ DI ENERGIA (MJ/kg)
Uranio	24.000.000
Gas	53,6
Carbone	32,5
Petrolio	41,87

Tabella 5 - Densità energetiche uranio, gas, carbone, petrolio - Fonte: Impianti Nucleari, Maurizio Cumo

Le materie prime utilizzate per le tecnologie delle fonti rinnovabili; il solare FV

L'Unione Europea fornisce il 6% delle materie prime utilizzate negli impianti fotovoltaici e ha una scarsa capacità di produrre celle solari.

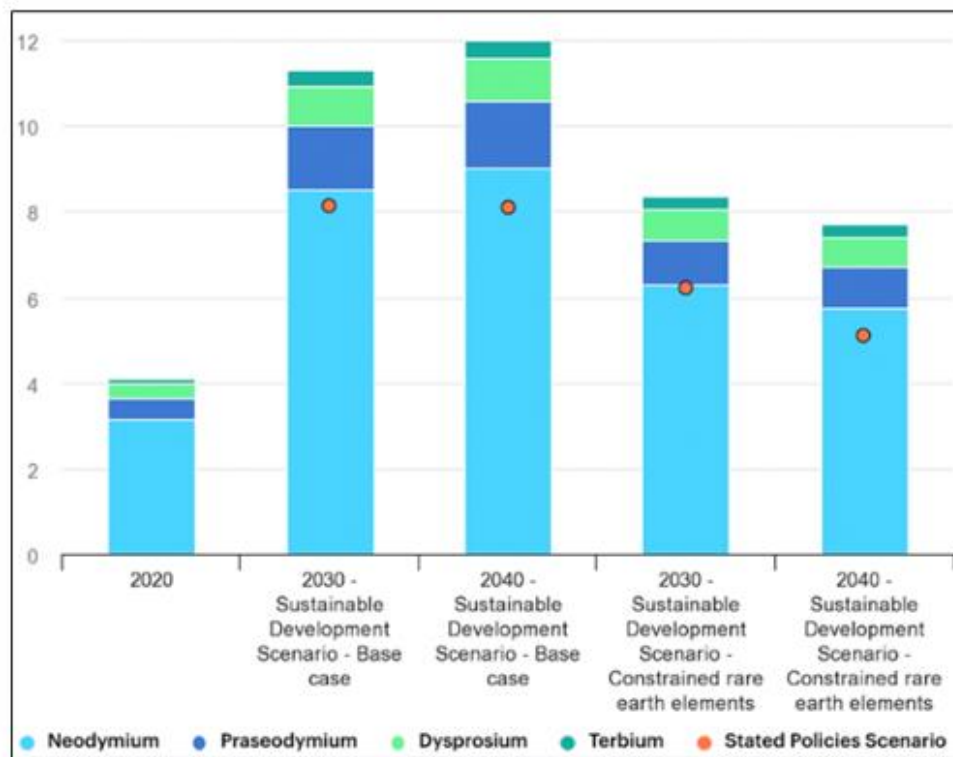


La Cina ha il monopolio in questo settore sia nella disponibilità di materie prime (silicio, argento, rame, alluminio, vetro) sia nella costruzione della componentistica. Nel 2020 ha prodotto circa il 70% dei pannelli solari a livello mondiale.

Le materie prime utilizzate per le tecnologie delle fonti rinnovabili; l'eolico

L'Unione Europea importa circa 16.000 tonnellate all'anno di magneti dalla Cina. La dipendenza e i rischi legati alla fornitura sono direttamente connessi con tale monopolio di mercato.

Domanda di terre rare nel settore eolico



Fonte: The role of critical Minerals in Clean Energy Transitions, IEA Publishing. Licence: www.iea.org/t&c

La Cina domina il settore sia per quanto riguarda l'estrazione di terre rare sia per quanto riguarda la produzione della componentistica; il 56% circa di pale e motrici, il 41% circa dei semilavorati e dei componenti quali magneti, cavi elettrici e fibre al carbonio.

Le fonti rinnovabili italiane in termini di risorse; l'idroelettrico, la geotermia, il biogas

Idroelettrico: le risorse idriche principali da destinare all'idroelettrico sono state già utilizzate.

- L'individuazione di nuovi corsi fluviali da destinare a questa fonte deve essere effettuata nel rispetto dell'ambiente e della biodiversità.

Geotermia: le principali regioni italiane in cui è sfruttabile l'energia geotermica ad alta entalpia (>150°C) sono la Toscana, il Lazio e la Sardegna.

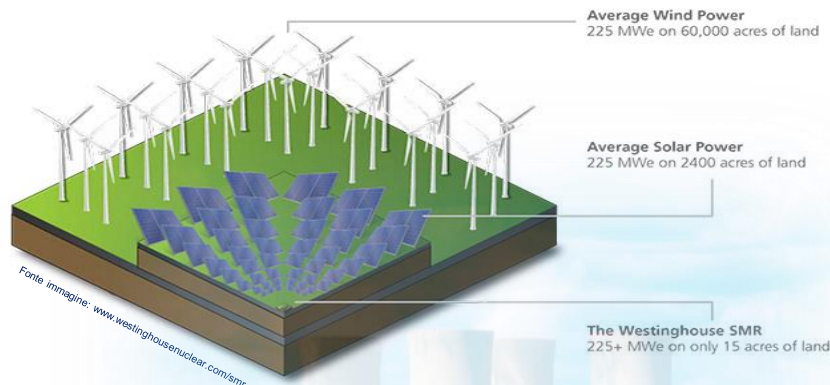
- La coltivazione di un campo geotermico (perforazioni) deve tenere presente gli aspetti geotecnici del territorio e gestire dal punto di vista di impatto ambientale le acque e i vapori geotermici.

Biogas: la produzione di biogas da scarti biologici, reflui zootecnici, etc., è direttamente connessa alla disponibilità di queste materie in termini di coltivazione/produzione sul territorio.



Confronto tra le potenze elettriche da FER (fotovoltaico, eolico e biomassa) e da nucleare in termini di erosione del territorio e resa energetica

Clean Energy Comparison



In un progetto energetico è importante mettere in relazione anche la disponibilità di territorio in termini di superficie con la scelta delle tecnologie in grado di produrla.

L'indipendenza energetica non deve eludere quella derivante dagli altri utilizzi del territorio; ad esempio l'utilizzo delle zone destinate a verde (agricoltura, allevamento, etc.).

- Una centrale nucleare da 1000 MWe come ordine di grandezza occupa qualche **decina di ettari di terreno**.
Il fattore di capacità è di circa il 90% e non è legato alle condizioni climatiche e geomorfologiche del territorio.
- Un campo fotovoltaico da 1000 MWe come ordine di grandezza occupa **migliaia di ettari di terreno**.
Il fattore di capacità è di circa il 13%.
- Un campo eolico da 1000 MWe come ordine di grandezza occupa **migliaia di ettari di terreno** in misura superiore al fotovoltaico con un ingente consumo di acciaio e calcestruzzo (*centinaia di tonnellate di acciaio e migliaia di tonnellate di calcestruzzo per generatore eolico*).
Il fattore di capacità è di circa il 22%.
- Un impianto di cogenerazione a biomassa per produrre 1000 MWe ha bisogno di bruciare il raccolto di **migliaia ettari di terreno**.

Bilancio energia; richiesta di energia elettrica nell'anno 2022

Bilancio Energia

[GWh]	Dicembre 2022	Dicembre 2021	%22/21	Gen-Dic 22	Gen-Dic 21	%22/21
Idrico Rinnovabile	2.299	2.824	-18,6%	27.959	44.878	-37,7%
Pompaggio in produzione ⁽²⁾	122	228	-46,6%	1.773	2.041	-13,1%
Termica	17.066	18.167	-6,1%	193.287	182.234	6,1%
di cui Biomasse	1.412	1.474	-4,2%	17.120	17.496	-2,1%
di cui Carbone	2.161	1.509	43,2%	20.768	12.868	61,4%
Geotermica	460	469	-1,9%	5.444	5.535	-1,6%
Eolica	1.720	2.836	-39,4%	20.358	20.724	-1,8%
Fotovoltaica	818	988	-17,2%	27.552	24.633	11,8%
Totale produzione netta	22.485	25.512	-11,9%	276.373	280.045	-1,3%
Energia destinata ai pompaggi	174	326	-46,6%	2.533	2.916	-13,1%
Totale produzione netta al consumo	22.311	25.186	-11,4%	273.840	277.129	-1,2%
di cui FER ⁽³⁾	6.709	8.591	-21,9%	98.433	113.266	-13,1%
di cui non FER	15.602	16.595	-6,0%	175.407	163.863	7,0%
Importazione	3.323	2.877	15,5%	47.391	46.572	1,8%
Esportazione	661	603	9,6%	4.404	3.782	16,4%
Saldo estero	2.662	2.274	17,1%	42.987	42.790	0,5%
Richiesta di Energia elettrica (1)	24.973	27.460	-9,1%	316.827	319.919	-1,0%

(1) Richiesta di Energia Elettrica = Totale produzione netta al consumo + Saldo estero, dove Totale produzione netta al consumo = Totale produzione netta - energia destinata ai pompaggi

(2) Quota di produzione per apporto da Pompaggio, calcolata con il rendimento medio teorico dal pompaggio in assorbimento

(3) Produzione da FER = Idrico Rinnovabile + Biomasse + Geotermico + Eolico + Fotovoltaico

Fonte: Terna

I 38,8 GWe di tecnologie rinnovabili ad oggi installate in Italia (escluso l'idroelettrico) equivalgono ad una produzione teorica annuale di circa 339888 GWh (38,8x365x24).

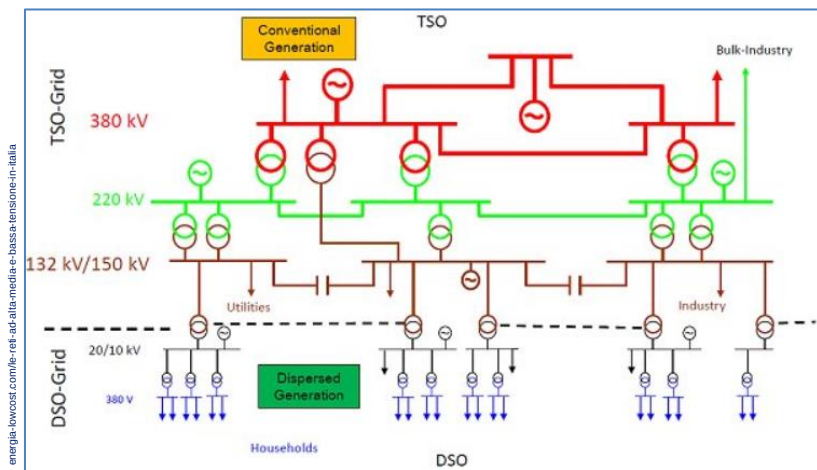
Dalla tabella Bilancio Energia anno 2022 si evince, tuttavia, che i 38,8 GWe corrispondono, tenendo conto dei parametri di funzionamento caratteristici delle FER (escluso l'idroelettrico), ad una produzione netta di energia di circa 70474 (98433-27959) GWh, ossia circa il 20% della suddetta produzione teorica annuale.

La potenzialità della rete elettrica nazionale: la gestione delle sottoreti in un sistema complesso e integrato

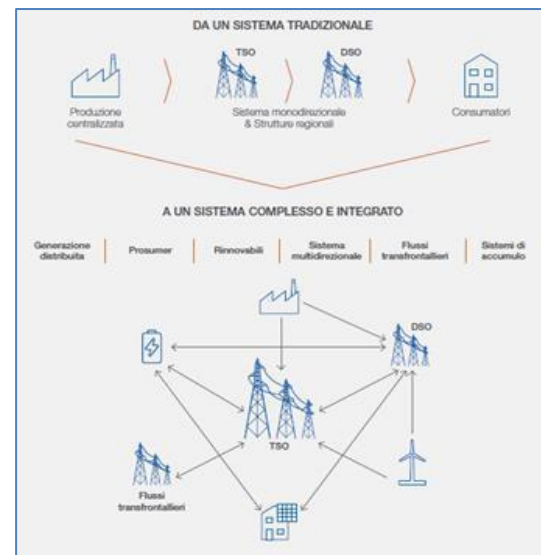
La rete deve garantire, istante per istante, che l'energia richiesta dai consumatori (famiglie, aziende, industrie, etc.) sia sempre in equilibrio con l'energia prodotta.

L'incremento delle reti e delle sottoreti derivanti dall'utilizzo delle fonti rinnovabili (solare-fotovoltaico, eolico, cogenerazione) su larga e piccola scala comporterà l'esigenza di far fronte contemporaneamente a svariate problematiche quali, ad esempio:

- la gestione complessa della produzione di energia elettrica e degli accumuli anche in relazione alla variazione di potenza da fonti rinnovabili non programmabili, quali fotovoltaico ed eolico;
- l'adeguamento della rete di distribuzione (unidirezionale) dell'energia elettrica;
- l'inquinamento elettromagnetico dovuto agli apparati elettronici di controllo;
- la messa in sicurezza della rete di distribuzione dai cyber-attacchi;
- i costi diretti e indiretti di adeguamento del sistema in toto e di manutenzione.



Schema della rete elettrica italiana: rete di trasmissione ad altissima e alta tensione (bidirezionale) in alto e di distribuzione (unidirezionale) a tensioni più basse in basso.



Fonte: Terna

La stabilità della rete elettrica nazionale

Un aumento di FER e della relativa elettronica di potenza richiederà una attenta valutazione del loro impatto in termini di stabilità della frequenza di rete dovuta ad una progressiva riduzione dell'inerzia rotante (motori e turboalternatori) al diminuire di impianti di generazione termica.

Si dovranno, inoltre, adottare soluzioni specifiche in grado di garantire la stabilità della frequenza di rete a seguito di eventi perturbativi poiché la rete elettrica non può offrire lo stesso livello di stabilità se il contributo delle FER aumenta oltre un certo livello (fattore di carico).

Questa evidenza prescinde dalla funzionalità e dalla qualità della rete elettrica nazionale che deve essere considerata una infrastruttura solida, resiliente e ad alta intensità di potenza.

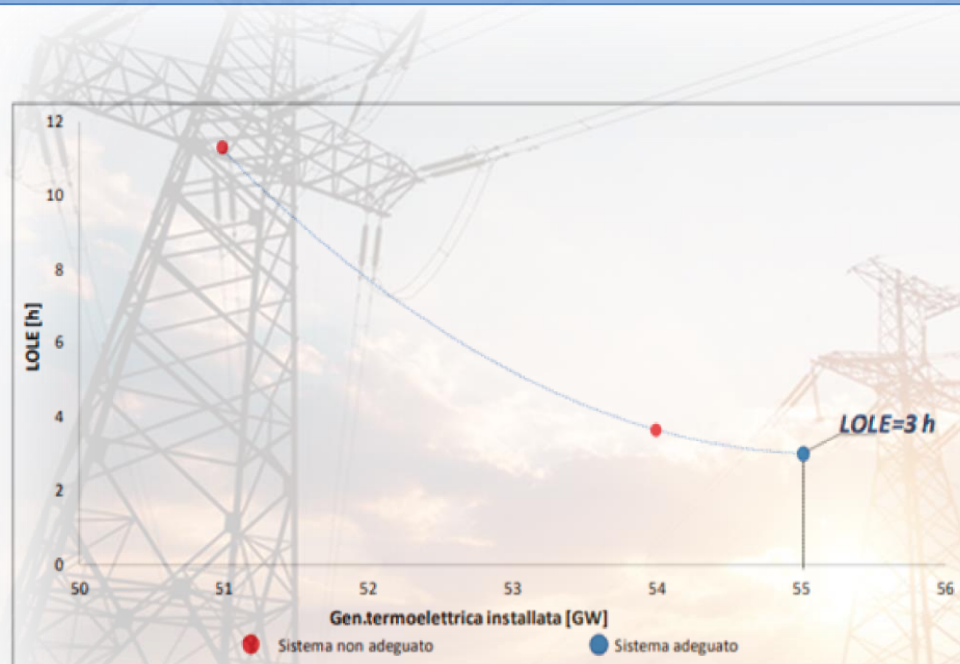


Figura 19 - RAPPORTO ADEGUATEZZA ITALIA 2019 - Fonte: TERNA

L'indicatore di adeguatezza denominato «**aspettativa di perdita di carico - Loss of Load Expectation - LOLE**» ovvero la media matematica (attesa) del numero di ore in cui si verifica un distacco di carico, **è fissato a 3 ore per anno (DM del 28/06/2019 MISE).**

La capacità di generazione termoelettrica necessaria per garantire un sistema adeguato risulta pari a 55 GWe.

Per un utile confronto si riportano le aspettative del Piano Nazionale Integrato Energia Clima - PNIEC 2030:

- Rinnovabili non programmabili circa **69 GWe**.
- 6 GWe di capacità di accumulo.
- Domanda complessiva pari a 330TWh.
- Uscita totale dal carbone.

Il mix energetico ottimale in Italia

Dalle valutazioni ambientali e strategiche preliminari condotte, basate sull'analisi del territorio, sulla stima delle materie prime, sul fabbisogno energetico in termini di TWh scaturisce la seguente proposta progettuale di **mix energetico diversificato tecnologicamente e geograficamente** da attuarsi in step progressivi nel medio e lungo termine. Ogni fonte è stata adeguatamente integrata in base alla sua potenzialità e l'intermittenza delle FER con questo mix potrebbe essere ben bilanciata.

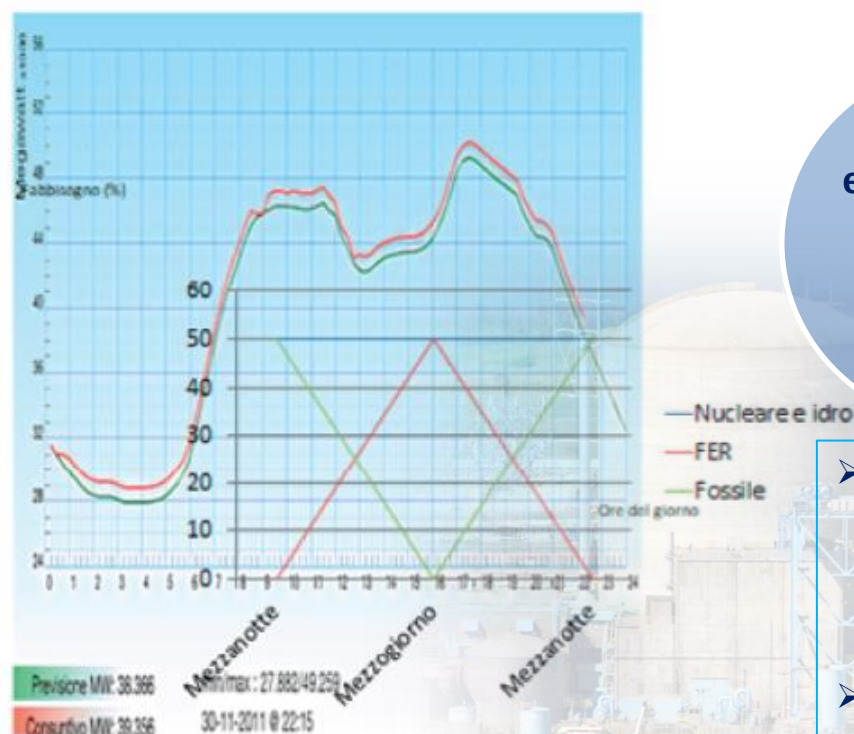


Figura 18 - Mix ottimale ingegneristico della produzione elettrica in Italia - Fonte: Ing. Massimo Sepielli - Commissione Ricerca e Reattori Innovativi - Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma

**50% Energia
elettronucleare
da fissione e
idroelettrica =
25 GWe**

CARICO DI BASE

50 GWe

**Picco potenza
massima
giornaliera
richiesta**

**50% Energia da
fonti rinnovabili
(solare fotovoltaico,
geotermia, eolico,
biogas) e fonti fossili
(gas naturale,
petrolio, carbone, in
% minima e made in
Italy)
= 25 GWe**

- La **linea celeste orizzontale** rappresenta il **carico di base** delle fonti primarie: **energia elettronucleare e idroelettrica**. Entrambe energie prontamente disponibili, decarbonizzate e a bassa immissione di inquinanti in atmosfera.
- La **linea viola** con punto di massima alle ore 12.00 a.m. ovvero **la parte variabile non programmabile rappresenta l'energia prodotta dalle FER**.
- La **linea verde** con punto di minimo alle ore 12,00 a.m. rappresenta **l'energia prodotta dalle altre fonti fossili**.

La quota di tecnologia nucleare nel mix energetico proposto

Il mix energetico proposto prevede **una quota di energia elettronucleare tale da coprire circa un terzo della potenza elettrica istantanea** che deve essere garantita in rete (50000 MWe) e tale da assicurare il fabbisogno notturno **che è di circa 15000 MWe**.



Si riporta la tabella dell’Allegato 2 del Quaderno IO Roma N 4S/2023 per un stima dei costi benefici relativi alla produzione di energia elettronucleare dei reattori ad acqua pressurizzata PWR in esercizio a Barakah negli Emirati Arabi.

Reattore	Potenza Netta (MW _e)	Investiment o totale (miliardi USD)	Unità Operative	Costo kW installato (USD)	Costo kWh (USD)
APR-1400	1345	24,4	4	4535	0,09

Tabella 14 - Costo del kWh per un reattore APR-1400 (considerando un fattore di capacità del 92% e un'inflazione media del 3%)

La localizzazione delle nuove centrali nucleari di potenza nell’ambito del mix energetico proposto, la cui scelta si potrebbe basare su tecnologie disponibili ed economicamente accettabili, **dovrà basarsi su requisiti minimi necessari al loro funzionamento** ovvero: presenza di sufficiente acqua per il raffreddamento, allaccio alla rete elettrica nazionale, idonee vie di accesso, etc.

Inoltre, **le aree del territorio nazionale**, in base a criteri predefiniti e condivisi anche a livello internazionale, dovranno essere, in via esemplificativa:

- **caratterizzate dal punto di vista geotecnico, sismico, idrologico, meteorologico;**
- **valutate dal punto di vista di impatto ambientale rispetto alle aree soggette a vincoli naturalistici.**

Aspetti di rilevante importanza di un impianto nucleare per la produzione di energia elettrica nel contesto energetico

I **numerosi vantaggi**, caratteristici della tecnologia nucleare preposta alla produzione di energia elettrica, comuni a tutte le tipologie di impianti nucleari, rendono questa tecnologia **ampiamente utilizzata nel mondo** con positive ripercussioni dal punto di vista sociale ed economico.

ASPETTI TECNICI ED ECONOMICI DI UN IMPIANTO NUCLEARE

Elevati standard di sicurezza

Sono garantiti dall'elevato livello di qualità che contraddistingue la progettazione e la costruzione di questi impianti e da attente valutazioni di impatto ambientale e da valutazioni ambientali strategiche.

Immissioni dirette di inquinanti in atmosfera pressoché nulle

Nel quadro generale della sicurezza nucleare si colloca la radioprotezione, il cui obiettivo è quello di assicurare, in ogni caso, attraverso un insieme di misure adeguate, la protezione sanitaria della popolazione e dei lavoratori.

Fattore di capacità di circa il 90%

Massima resa in termini energetici con il minor impiego di combustibile. Il fattore di capacità di un impianto nucleare, non è legato alle condizioni climatiche e geomorfologiche del territorio.

Ridotto impiego di superficie

Come ordine di grandezza, una centrale nucleare occupa qualche decina di ettari di terreno e lavora in sinergia con la grande rete di distribuzione di energia elettrica.

Durevolezza della tecnologia e basso costo del kW/h

La vita media di questa tecnologia è di circa 40-60 anni con un costo del kW/h competitivo rispetto ad altre tecnologie.

Processo tecnologico pianificato

Ogni step che porta alla realizzazione di un impianto nucleare è pianificato in fase progettuale: dal ciclo combustibile, alla fase di esercizio e manutenzione, al deposito per i rifiuti radioattivi.

Aspetti ingegneristici e di sicurezza nella progettazione del reattore nucleare a fissione

Il reattore nucleare deve essere dimensionato in base alla sua potenza ovvero all'energia che si genera dalla reazione di fissione. La potenza termica prodotta deve essere rigorosamente bilanciata da quella asportata dal refrigerante.

Devono essere dimensionati, in un rapporto di equilibrio e compensazione, il combustibile nucleare (nocciolo) sorgente dei neutroni, il refrigerante preposto all'asportazione del calore generato, il moderatore (quando necessario) preposto al rallentamento dei neutroni, i sistemi di controllo della reattività e il materiale strutturale.

Dato il forte rapporto di interdipendenza e di equilibrio richiesto tra gli elementi costituenti il reattore nucleare, la tecnica adottata per i calcoli del progetto nucleare è quella della separabilità e sovrapposizione degli effetti. Il risultato viene, poi, sempre implementato da fattori di sicurezza.

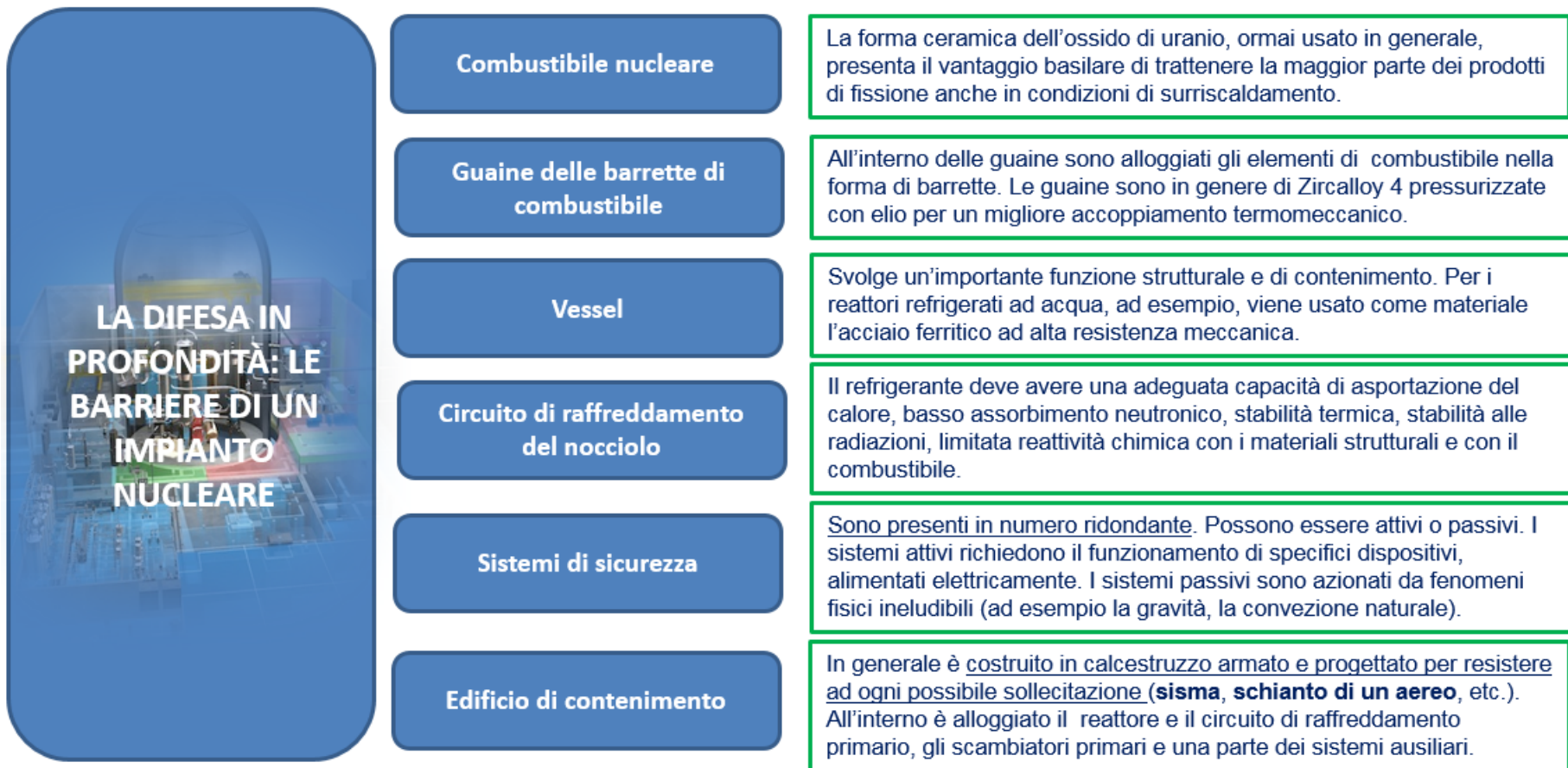
- ❑ **Mantenimento della reazione a catena** nel processo di fissione (controllo dei neutroni liberati durante il processo di fissione).
- ❑ **Calcolo e controllo della concentrazione isotopica** all'interno del reattore (prodotti di fissione e materiale fissile).
- ❑ **Calcolo e controllo del flusso neutronico** generato in relazione al volume di combustibile e quindi della **potenza termica**.
- ❑ **Controllo della reattività** (attraverso il calcolo del fattore di moltiplicazione K , che esprime il rapporto tra il numero di neutroni presenti in una generazione e quello della generazione precedente);
- ❑ **Feedback di reattività**.
- ❑ **Scelta dei materiali** e loro **dimensionamento** per lo **scambio termico**: combustibile, refrigerante, moderatore, etc..
- ❑ **Scelta dei materiali** per gli **elementi strutturali** del reattore (vessel) in grado di resistere a elevati stress termici e alla esposizione alla radioattività.

La sicurezza negli impianti nucleari: la difesa in profondità

Numerose barriere, almeno quattro, ed un certo numero di sistemi che si frappongono tra il reattore e il circuito primario e l'esterno. Il concetto di sicurezza di difesa in profondità è insito in tutte le tipologie di reattore.

Scopo della sicurezza nucleare, è quello di preservare, attraverso l'applicazione di normative riconosciute al livello internazionale, da eventi, anche estremi, sia l'interno che l'esterno dell'impianto nucleare.

Le strutture e i sistemi rilevanti sono realizzati in modo da mantenere **integra la loro funzione anche dopo il peggior terremoto prevedibile** assunto come «terremoto di progetto».



Le soluzioni a breve, medio e lungo termine; pianificazione di un nuovo piano energetico

Breve termine 5 anni

- **Aggiornare e semplificare la normativa e i processi autorizzativi per un nuovo piano energetico.**
- Diversificare l'approvvigionamento di gas naturale da Paesi esteri, aumentare la quota di import elettrico da fonte ecosostenibile, **aumentare la produzione di gas naturale nazionale.**
- Ripristinare il funzionamento delle centrali turbogas: manutenzione dei vecchi impianti.
- Progettazione eventuale di nuove centrali turbogas, nuovi rigassificatori per il gas liquido di importazione.
- Aumentare lievemente la produzione nazionale di petrolio e carbone.
- **Promuovere programmi di efficientamento energetico su edilizia, industria, terziario, trasporto**
- **Aumentare progressivamente la quota delle rinnovabili non programmabili in particolare per autoconsumo.**
- Adeguamento della rete elettrica.
- Progettare nuovi impianti ad energia rinnovabile di grandi potenze.
- **Promuovere piani di risparmio energetico e progettare piani di riciclo dei rifiuti** e delle tecnologie preposte alla produzione di energia dal loro smaltimento (termovalorizzatori di nuova generazione).
- **Apertura ad accordi internazionali.**
- **Avviare l'iter tecnico e amministrativo per la collocazione sul territorio dei reattori nucleari.**
- Potenziare piani nazionali di R&S.

Medio termine 10 anni

- Costruzione di nuove centrali turbogas e di rigassificatori per il gas liquido di importazione di nuova generazione a basso impatto ambientale.
- Apertura a investimenti e a collaborazioni estere.
- **Installazione di reattori nucleari commerciali di pronto uso** (fino ad un 20% circa della produzione elettrica di base).
- **Costruzione di nuovi impianti a energia rinnovabile di grande potenza** (in prevalenza campi fotovoltaici, impianti solari termodinamici, campi geotermici) con relativa installazione di sistemi di gestione e accumulo della potenza non programmabile.

Fonte immagine: Rivista EcoMobile n. gennaio-febbraio 2022

Bibliografia essenziale

- Quaderno Io Roma N. 4S 2023 - Rapporto sullo sviluppo nucleare italiano nel quadro di un mix energetico ottimizzato - Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma.
- Impianti Nucleari - Autore: Maurizio Cumo.
- Centrali Elettronucleari I - Autore: Luciano Sani.
- Quaderno Io Roma N.1/2019 - Tecnologie nucleari innovative: i reattori SMR: prospettive di utilizzo - Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma.

Iconografia

Le immagini sono prese da Internet (Wikipedia, siti, pubblicazioni) e dai Quaderni Io Roma in bibliografia e si intendono qui utilizzate per puri fini personali e non commerciali.

Grazie per l'attenzione

Contatti

Ing. Alessandra Di Pietro

Cell. 347.9926381

alessandra.dipietro@hotmail.it

info@geovaldi.com

