

soluzione flessibile, modulabile e che consente potenzialmente l'ottimizzazione delle rotte e dei carichi per efficientare il costo del trasporto. Il trasporto via nave della CO2 rappresenta una modalità di trasmissione cruciale per la decarbonizzazione dell'industria pesante del centro-sud Italia e delle isole. Infatti, sulle lunghe distanze offre un collegamento flessibile, maturo e con un impatto territoriale ridotto, oltre a tempi di realizzazione notevolmente ridotti. Da evidenziare che emettitori dei poli industriali di Taranto, Priolo-Augusta e Cagliari, fra i principali in Italia, sono localizzati in corrispondenza di infrastrutture portuali che ne potranno abilitare il collegamento via nave con lo stoccaggio su Ravenna CCS.

I siti localizzati nella Pianura Padana potranno essere collegati tramite rete di trasporto onshore di CO2 il cui progetto prevede una rete di pipeline atte a collegare i principali cluster industriali con l'infrastruttura di stoccaggio a Ravenna. È previsto uno sviluppo modulare della rete a partire dal Ravennate verso il resto della Pianura Padana. La prima fase di sviluppo della rete collegherà le aree di Ravenna di Ferrara. Ulteriori sviluppi seguiranno due direttrici principali: una da Ravenna verso il Nord-Est e l'altra risalendo la Pianura Padana in direzione Ovest. Tali direttrici verranno sviluppate con tempistiche, tracciati e dimensionamenti da affinare in linea con il quadro normativo ed in base alle richieste del mercato.

Al 2030 tenuto conto delle attuali stime sul profilo temporale della capacità di iniezione nel sito di stoccaggio di Ravenna, degli sviluppi infrastrutturali attesi si stima di poter catturare 4 Mt di CO2 da emettitori dei settori industriali Hard to Abate, dell'incenerimento dei rifiuti e della produzione termoelettrica a gas localizzati nel bacino padano e alcuni grandi poli industriali dislocati in corrispondenza di infrastrutture portuali del paese.

❖ **ENERGIA NUCLEARE: POTENZIALE RUOLO NELLA STRATEGIA A LUNGO TERMINE PER RAGGIUNGERE IL NET ZERO AL 2050**

Nell'ambito dell'aggiornamento della "Strategia Italiana di Lungo Termine sulla riduzione delle emissioni di gas a effetto serra", da finalizzare entro il prossimo anno, potrebbe avere un ruolo rilevante la ripresa sul territorio italiano della produzione di energia da fonte nucleare, ove reso possibile a seguito delle necessarie modifiche dell'ordinamento nazionale in materia.

Il settore elettrico svolgerà un ruolo fondamentale nel raggiungere gli obiettivi di neutralità climatica al 2050, anche perché l'elettrificazione dei consumi finali e la produzione di idrogeno ed *e-fuel* per decarbonizzare i settori *hard-to-abate* richiederanno grandi quantità di energia elettrica, a sua volta decarbonizzata. La letteratura scientifica internazionale è concorde nell'affermare che un sistema elettrico interamente basato su fonti rinnovabili, in particolare non programmabili, è **possibile, ma non economicamente efficiente**, in quanto più ci si avvicina al 100% di quota rinnovabile, più i costi di sistema (ad es. per lo sviluppo dei sistemi di accumulo e delle reti) crescono rapidamente. Occorre quindi disporre di una certa quota di generazione elettrica programmabile esente da emissioni di gas climalteranti, che potrebbe includere il nucleare, in grado di **affiancare le fonti rinnovabili non programmabili** per garantire una loro migliore integrazione nel sistema.

In tale contesto, nell'ambito della *Piattaforma Nazionale per un Nucleare Sostenibile (PNNS)*, tre specifici gruppi di lavoro, coordinati dal MASE con RSE ed ENEA, si sono occupati di:

- valutare disponibilità, potenziali di sviluppo, costi e prestazioni, rispettivamente, dei **nuovi piccoli reattori modulari a fissione e dei reattori a fusione** su un orizzonte temporale fino al 2050;
- in base a tali parametri, realizzare **analisi di scenario sul medesimo orizzonte temporale** per valutare il contributo che tali tecnologie potrebbero fornire per raggiungere gli obiettivi di neutralità climatica.

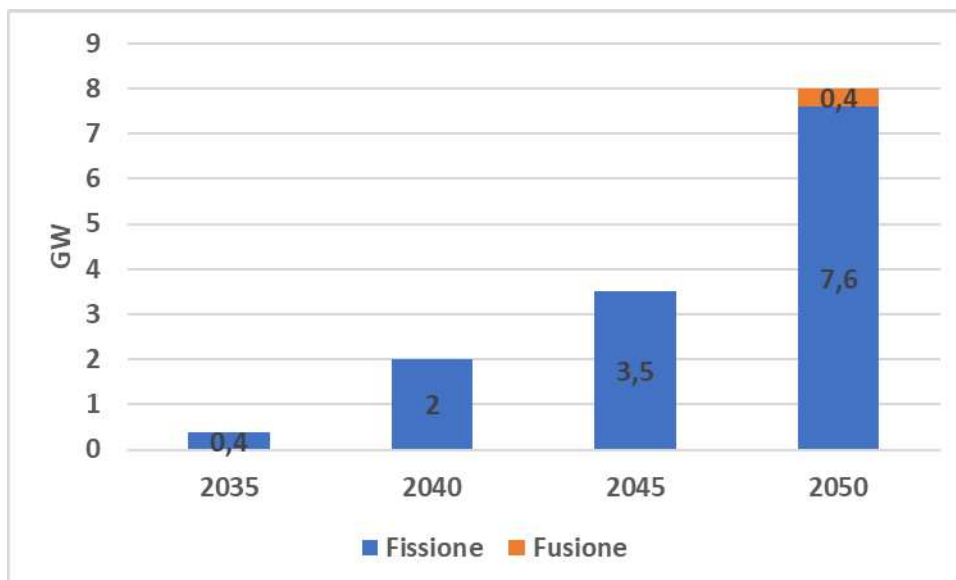
In particolare, mediante il modello del sistema energetico nazionale "TIMES_RSE", utilizzato anche per definire gli scenari alla base del PNIEC, è stato realizzato un primo scenario esplorativo così caratterizzato:

- stessi *driver* della domanda di servizi energetici (popolazione, PIL, prezzi dei combustibili fossili, prezzi dei permessi di emissione di CO₂) utilizzati per lo scenario "di policy" del PNIEC, definiti dalla Commissione Europea fino all'anno 2050;
- configurazione del sistema energetico al 2030 corrispondente allo scenario "di policy" del PNIEC;
- obiettivo "Net Zero" al 2050 per l'intero sistema energetico, e, in particolare, anche per il solo sistema elettrico;
- possibilità di installare gli impianti nucleari, negli anni dal 2035 al 2050, fino al massimo potenziale definito dalla PNNS, in funzione della disponibilità delle tecnologie e della filiera di produzione industriale e del combustibile.

Il modello, dati gli obiettivi, individua la **traiettoria ottimale di minimo costo complessivo del sistema energetico** per raggiungerli. Il risultato dell'esercizio scenaristico ha mostrato che il potenziale stimato di sviluppo degli impianti nucleari verrebbe completamente utilizzato in tutti gli anni considerati: ciò significa che **il modello ha ritenuto le tecnologie nucleari sia economicamente che energeticamente¹³ convenienti.**

Accertata in tal modo la convenienza del ricorso alle tecnologie nucleari, si è proseguito, con un approccio maggiormente concreto, a concentrare l'analisi su uno **scenario nucleare "conservativo"**, caratterizzato da uno sviluppo di impianti nucleari dell'ordine della metà del potenziale massimo installabile, come mostrato nella seguente Figura 6.

Figura 6 – Sviluppo della capacità di generazione nucleare nello scenario considerato, rappresentata unicamente da nucleare avanzato (in particolare i piccoli impianti modulari: SMR, AMR e microreattori) e, in anni prossimi al 2050, da una quota di energia da fusione.



¹³ Il modello ha individuato anche uno specifico mix ottimale di installazione di tali impianti tra versione cogenerativa e non cogenerativa.

È interessante notare che, in base ai dati forniti dalla PNNS, è possibile prevedere una piccola quota di energia da fusione a ridosso dell'anno 2050, quando potrebbero essere disponibili i primi impianti. L'energia da fusione è quindi prevista potersi sviluppare maggiormente, a livello mondiale, nella seconda metà del secolo, non in alternativa ma in sinergia con l'energia da fissione nucleare e con le altre fonti di energia.

Come accennato sopra, per ragioni di efficienza economica è vantaggioso affiancare alle fonti rinnovabili non programmabili una quota di generazione elettrica programmabile e senza emissioni di CO₂. Negli scenari "Net Zero" al 2050, in assenza di nucleare, tale quota è soddisfatta dagli impianti idroelettrici a bacino e a serbatoio, da impianti di generazione a bioenergie e da impianti di generazione a gas naturale con cattura e sequestro della CO₂ (CCS). Poiché la tecnologia CCS non è in grado di catturare il 100% della CO₂ emessa, per conseguire il "Net Zero" sull'intero parco di generazione è necessario applicare la CCS anche a parte degli impianti alimentati a bioenergie, ottenendo in tal modo emissioni "negative". Peraltro, tali emissioni "negative" nel settore elettrico sono necessarie anche a compensare emissioni residue dei settori industria e trasporti per la parte non completamente decarbonizzabile, con orizzonte 2050.

Sulla base di tali ipotesi, partendo dai dati forniti dalla PNNS, con specifico riferimento alle tecnologie dei piccoli reattori modulari a fissione (con installazione a partire dal 2035) e dei reattori a fusione (con installazione a partire dalla seconda metà del decennio 2040-50), il modello del sistema energetico nazionale "TIMES_RSE" **trova conveniente ricorrere al nucleare**, riducendo in parte la necessità di ricorrere alla generazione sia a gas che a bioenergie dotata di CCS¹⁴.

Si è quindi proceduto a confrontare due scenari, i cui risultati sono riportati nelle seguenti Figura 7 e Figura 8:

- **Scenario "Senza nucleare"**, in cui sono incluse tutte le tecnologie (comprese rinnovabili e gas/bioenergie con CCS), **senza la possibilità di ricorrere al nucleare**;
- **Scenario "Con nucleare"**, in cui sono incluse tutte le tecnologie (comprese rinnovabili e gas/bioenergie con CCS), **in cui è anche possibile inserire una quota di generazione nucleare, autolimitata alla metà del potenziale installabile** (vedi sopra), che raggiungerebbe gli 8 GW¹⁵ al 2050.

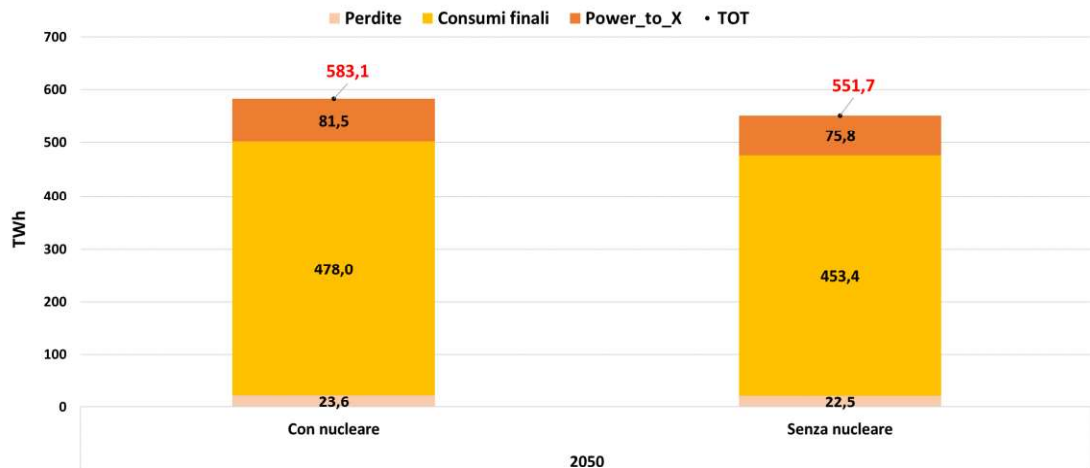
Nella seguente Figura 7 è riportata la richiesta di energia elettrica al 2050 negli scenari con e senza nucleare, che presentano entrambi un alto livello di domanda di elettricità, la quale comprende appieno il potenziale di sviluppo delle fonti rinnovabili, in particolare fotovoltaico ed eolico. Si nota che tale richiesta di energia elettrica è superiore nello scenario con nucleare: infatti, mentre lo scenario senza nucleare deve compensare una maggiore quantità di emissioni ricorrendo a quelle "negative", lo scenario con nucleare, potendo produrre energia elettrica a costi inferiori rispetto agli impianti convenzionali con CCS, decarbonizza i settori di uso finale ricorrendo ad una maggiore elettrificazione e produzione di idrogeno e combustibili sintetici¹⁶.

¹⁴ I costi e le prestazioni degli impianti di generazione dotati di CCS utilizzati nel modello derivano dal contributo fornito da RSE al tavolo di lavoro MASE "Studio CCUS D.I. Energia".

¹⁵ 8 GW è il valore medio considerato. L'intervallo di riferimento è 7,5 ÷ 8,5 GW. I dati forniti dalla PNNS derivano da analisi effettuate all'interno della PNNS e da dati internazionali di letteratura.

¹⁶ La domanda elettrica per produrre idrogeno e combustibili sintetici è indicata in figura con "Power_to_X".

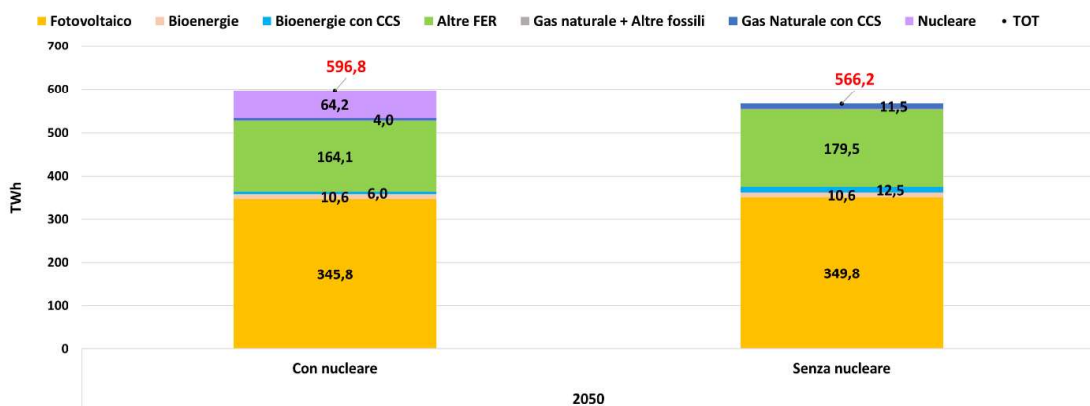
Figura 7 – Richiesta di energia elettrica al 2050 negli scenari con e senza nucleare.



Nella seguente Figura 8 è invece mostrata la produzione nazionale di energia elettrica negli scenari con e senza nucleare¹⁷. In termini di fonti rinnovabili non programmabili, entrambi gli scenari al 2050 sono caratterizzati da una capacità installata di circa 245 GW di fotovoltaico e circa 51 GW di eolico. In entrambi gli scenari è inoltre considerata una limitata quantità di energia importata, pari a 17,7 TWh, corrispondenti al valore assunto nello scenario "EURef2020", riferimento considerato anche per gli scenari alla base del PNIEC.

Si nota come **al 2050**, nello scenario "Con nucleare", **la produzione da nucleare copra circa l'11% della richiesta di energia elettrica**. Oltre a soddisfare una maggiore richiesta, il nucleare riduce la necessità di ricorrere sia alla generazione a gas naturale con CCS, che passa da 11,5 a 4 TWh, sia alla produzione da bioenergie con CCS, che passa da 12,5 a 6 TWh.

Figura 8 – Produzione nazionale di energia elettrica al 2050 negli scenari con e senza nucleare.



Degli 8 GW di capacità di generazione nucleare al 2050, circa 1,3 GW funzionano in modalità cogenerativa, fornendo al settore industriale calore per un ammontare pari a 16 TWh termici.

Rileva sottolineare che, senza la limitazione sulla capacità nucleare alla metà del potenziale installabile, considerando quindi lo sviluppo dell'intero potenziale di reattori ricavato dalla

¹⁷ Aggiungendo alla produzione nazionale di Figura 88 il saldo import-export e sottraendo le perdite nei sistemi di accumulo si ottiene la richiesta di energia elettrica di Figura 77.

Piattaforma, lo scenario "**Con nucleare**" arriverebbe a coprire circa il 22% della richiesta nazionale di energia elettrica (circa 16 GW di capacità nucleare al 2050).

Il modello "*TIMES_RSE*" minimizza il costo complessivo dello sviluppo dell'intero sistema energetico sull'orizzonte temporale considerato, allo scopo di raggiungere gli obiettivi che lo scenario si prefigge. Come si può notare dal diverso livello di richiesta di energia elettrica nei vari scenari, i diversi costi di generazione che derivano dalla presenza o meno del nucleare impattano anche sullo sviluppo dei settori di uso finale dell'energia, e quindi sui costi sostenuti per l'installazione e l'utilizzo delle relative tecnologie di consumo. Per confrontare dal punto di vista economico gli scenari con e senza nucleare, è necessario quindi mettere a confronto i costi complessivi dell'intero sistema, e non solo quelli sostenuti per generare energia elettrica. Al riguardo, il modello "*TIMES_RSE*" è in grado di fornire il costo totale del sistema sostenuto sull'intero orizzonte temporale considerato, attualizzato ad oggi. Inoltre, le analisi sono state arricchite utilizzando un ulteriore modello specifico per il settore elettrico, mediante il quale è stata effettuata una simulazione del sistema focalizzata sull'anno 2050, partendo dai risultati del modello energetico "*TIMES_RSE*" relativi a domanda e offerta di energia elettrica, anche in questo caso mettendo a confronto gli scenari "*Con nucleare*" e "*Senza nucleare*". Tale analisi ha consentito di valutare:

- l'eventuale presenza di "*energia non fornita*", ossia l'incapacità del sistema di alimentare tutta la domanda in specifiche ore;
- l'eventuale presenza di "*overgeneration*", ossia di eccesso di generazione (tipicamente da fonti rinnovabili non programmabili) rispetto alla domanda in specifiche ore.

Confrontando i valori di costo per gli scenari considerati, pertanto, risulta che lo scenario conservativo "*Con nucleare*" sarebbe in grado di raggiungere l'obiettivo "*Net Zero*" ad un costo stimato di circa 17 miliardi di € inferiore al costo dello scenario senza nucleare, su tutto l'orizzonte temporale preso a riferimento.

Giova infine sottolineare che:

- i valori presentati nel presente paragrafo saranno successivamente consolidati in vista dell'aggiornamento della **Strategia di Lungo Termine**, da finalizzare entro il prossimo anno;
- l'ipotesi di scenario nucleare di cui al presente paragrafo **non modifica né inficia in alcun modo le ipotesi 2030 alla base di questo aggiornamento PNIEC e le relative conclusioni**, ma si limita ad evidenziare, a valle delle analisi portate avanti all'interno della PNNS, un potenziale ruolo dell'energia nucleare per contribuire al "*Net Zero*" al 2050.