

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica

Relazione per la prova finale

ENERGIA NUCLEARE E COGENERAZIONE: POTENZIALI  
SOLUZIONI PER LA RIDUZIONE DI CO<sub>2</sub> E IL RAGGIUNGIMENTO  
DEGLI OBIETTIVI DELL'AGENDA 2030

Tutor universitario: Prof. Piergiorgio Sonato

Laureando: *Vittorio Scanferla*

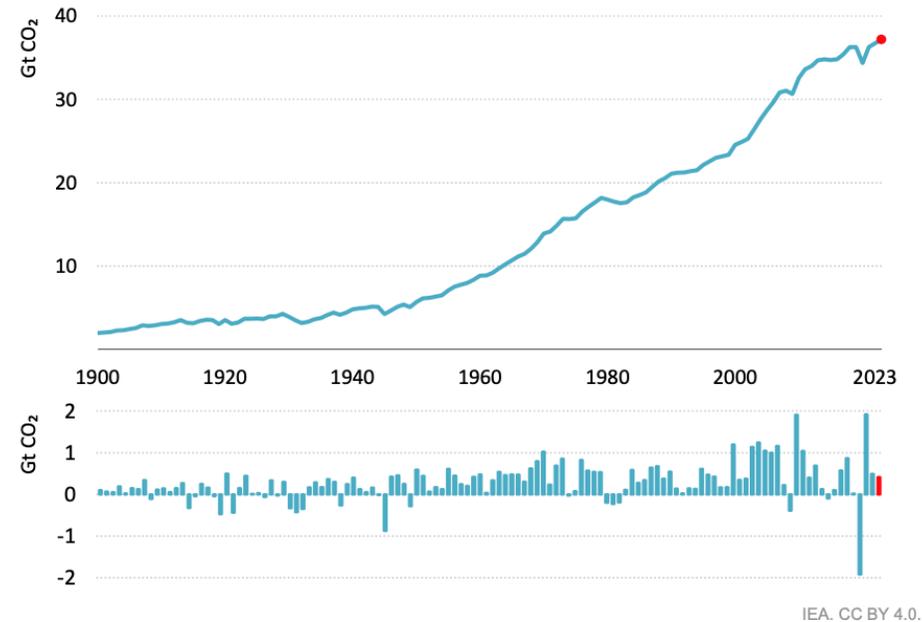
Padova, 20/09/2024

Il cambiamento climatico è un argomento di grande attualità, poiché rappresenta una minaccia che, senza azioni immediate, avrà un impatto rilevante sulle vite delle generazioni future. L'incremento della temperatura globale provoca un aumento degli eventi meteorologici estremi, lo scioglimento dei ghiacciai con conseguente innalzamento del livello del mare e una riduzione della biodiversità. Per affrontare questa crisi, sono stati sottoscritti accordi internazionali volti a proteggere l'ambiente.

- Accordi di Parigi, 2015 (COP21): obiettivo della **Net Zero Emission 2050**, volta alla decarbonizzazione.
- **Agenda 2030**: obiettivi per lo sviluppo sostenibile (riguarda anche lo sviluppo dal punto di vista umano, economico e tecnologico) da raggiungere entro il 2030

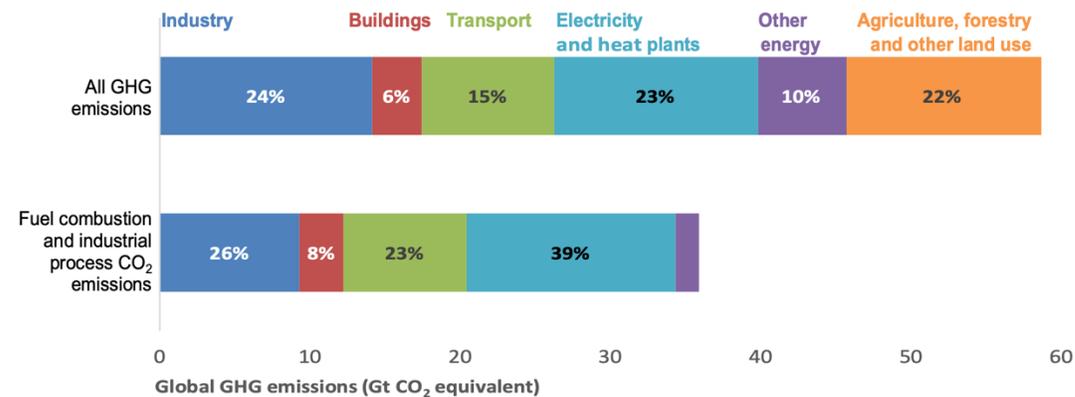


Le emissioni continuano ad aumentare e i piani internazionali non sono abbastanza per contenere i danni entro fine secolo. Si vuole dimostrare l'utilità dell'**energia nucleare** a favore dell'abbattimento del cambiamento climatico. Questa si vedrà può dare aiuto sia alla decarbonizzazione con **generazione di elettricità e cogenerazione** di elettricità e calore, ma anche a più punti dell'Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile.

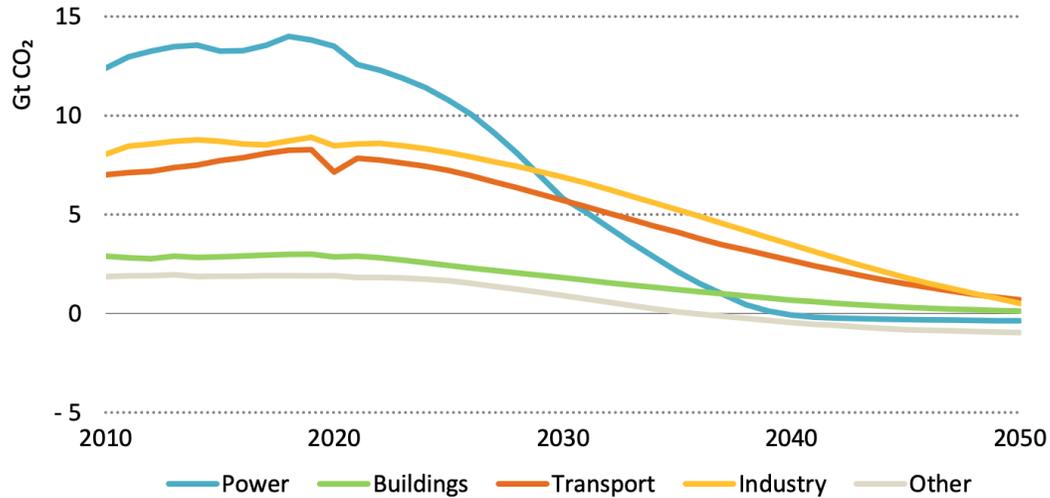


Energia ed emissioni di gas serra:

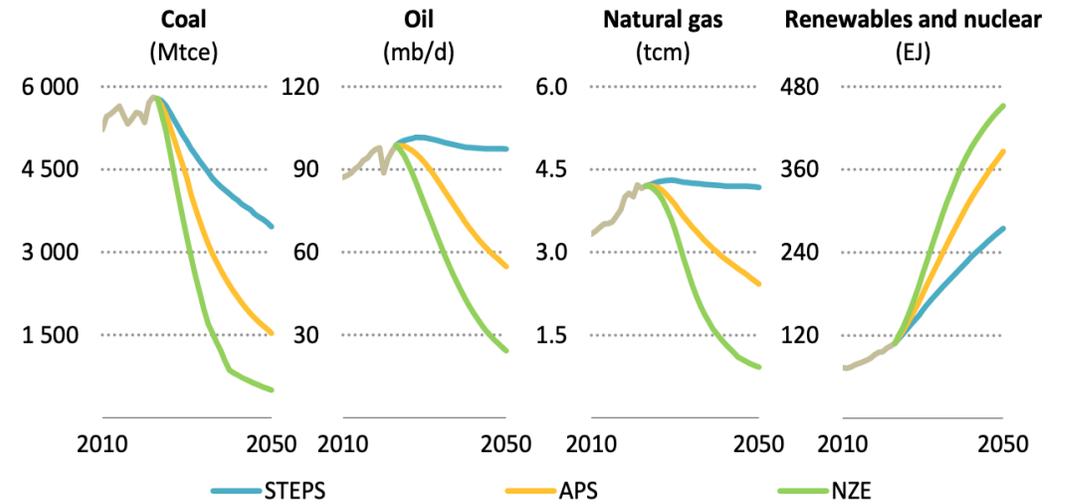
- Per **fonte**: 80% combustibili fossili. In particolare, l'elettricità è prodotta al 60% da fonti fossili, al 10% da energia nucleare e al 30% da fonti rinnovabili.
- A livello **geografico**: due terzi da paesi in via di sviluppo, un terzo economie avanzate. 50% dall'Asia, ma le emissioni pro capite dei paesi con economia avanzata è più alta (USA maggiore).
- Dividendo in **settori**:



Scenario NZE 2050 con emissioni divise per settori.

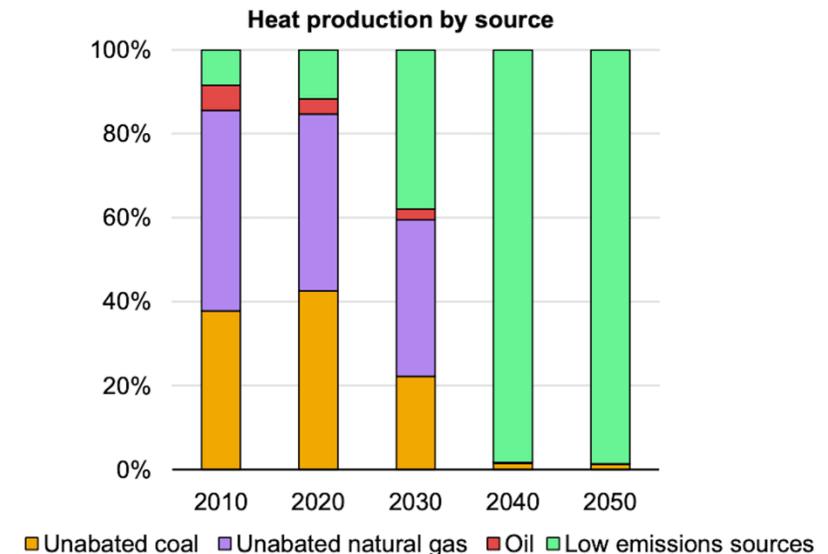
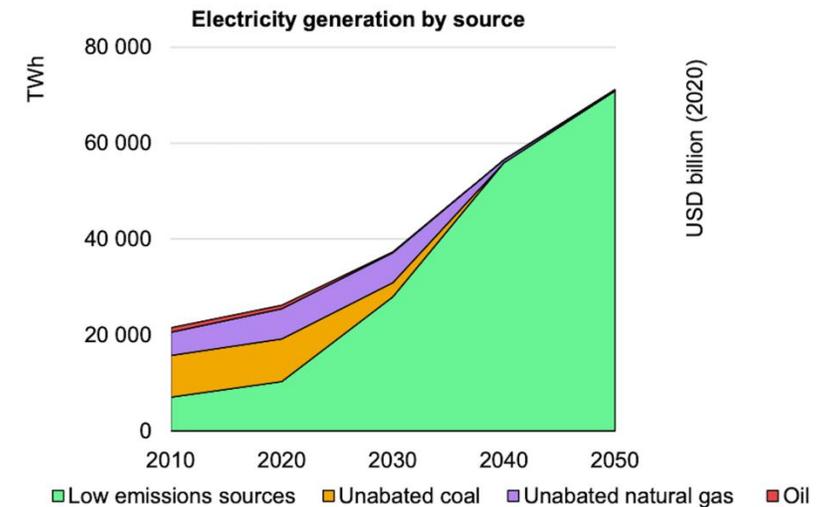


Scenari NZE, APS e STEPS divisi per fonti:



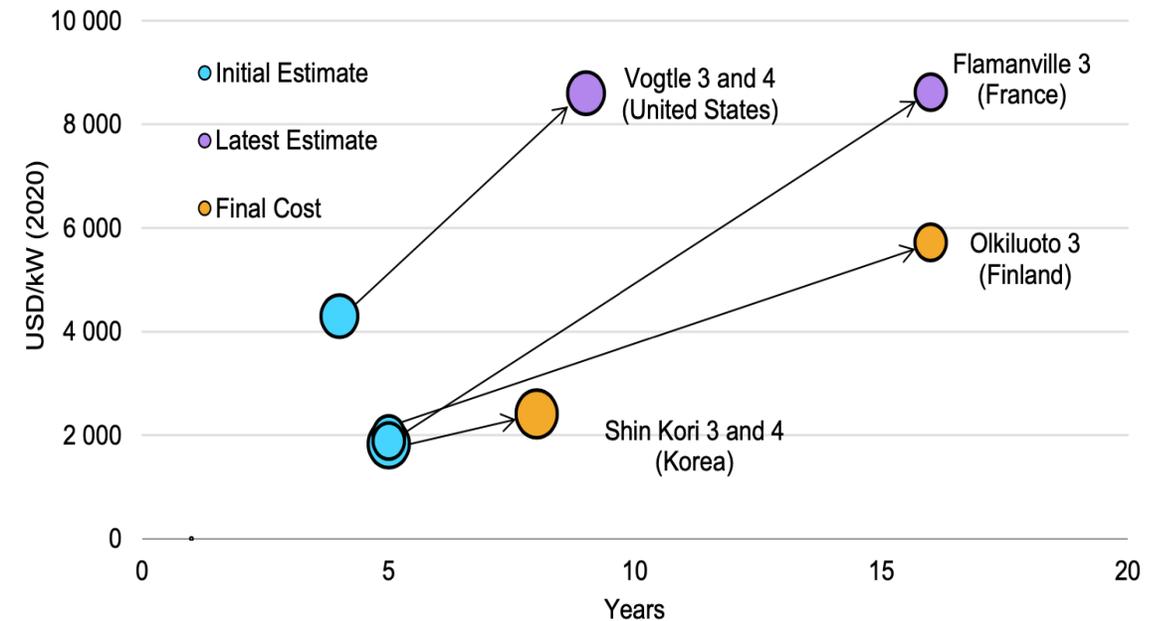
Ruolo per il cambiamento climatico:

- **Elettrificazione:** elettricità come soluzione parziale e conseguente aumento di domanda
- **Produzione di calore:** 90% da combustibili fossili
- **Flessibilità:** risposta pronta alla variazione della domanda
- Estensione ciclo vita: energia a basso costo
- Raggiungimento scenario NZE 2050: 70% della produzione nucleare nelle economie avanzate viene meno entro il 2040



Gli investimenti sugli impianti nucleari dipendono dallo sforzo per gestire i rischi quali: rischio di progetto, rischio d'impianto e tecnologico, rischi politici, normativi e operativi, i rischi di mercato e di prezzo. Gli impianti nucleari sono caratterizzati da lunghi tempi di realizzazione, costruzione complesse e richiedono grandi investimenti. Le **difficoltà principali**, quindi, sono economiche, anche se l'opinione pubblica è un altro fattore decisivo:

- I **tempi di costruzione** nelle economie avanzate stanno aumentando e con questi anche i prezzi. Senza un sussidio dai governi gli investitori non riescono ad affrontare le spese.
- Le incertezze legate a **sistemi di sicurezza**, smaltimento dei rifiuti e dismissione degli impianti sono temi molto delicati per l'opinione pubblica.



Una potenziale soluzione è rappresentata dagli Small Modular Reactors **SMR**. Gli SMR sono reattori nucleari di più piccola taglia, caratterizzati da capacità elettriche comprese tra 5 MW e 300 MW e potenze termiche dell'ordine dei 15 MW. Sono caratterizzati da refrigeranti quali acqua, vapore, metallo liquido e sale fuso.

Hanno vantaggi quali:

- Prefabbricati: sono assemblati in fabbrica, tagliando i costi di costruzione nettamente.
- Sistemi di sicurezza e cicli di refrigerazione passivi, eliminano quasi del tutto il rischio di fuoriuscita di radioattivo;
- Modularità e flessibilità, adatti a reti elettriche più piccole e si possono spargere per tutta la rete;
- Potenza e dimensioni minori che richiedono minori investimenti e rischi di progetto;

Dal punto di vista delle emissioni:

- Le dimensioni e la potenza li rende idonei alla sostituzione degli impianti a carbone;
- Sono adatti alla produzione di idrogeno verde tramite elettrolisi ad alte temperature;
- Tagliano i trasporti, in quanto possono essere situati vicino alle zone industriali grazie alla peculiare sicurezza;
- Hanno piani di smaltimento dei rifiuti radioattivi pianificati già dalla costruzione.

Poco meno del 90% della produzione di calore nel mondo è prodotto da fonti fossili (il 75% da cogenerazione): 45% da carbone, 41% da gas naturale, 8% da bioenergia. Questo causa l'emissione di 13 Gt di CO<sub>2</sub>. Dal nucleare proviene solo lo 0,1%.

La **cogenerazione nucleare**, ossia la generazione simultanea di elettricità e di calore di processo tramite energia nucleare, rappresenta un'alternativa a basse emissioni utile per la sostituzione dei carburanti fossili. Inoltre, la cogenerazione nucleare può essere usata in svariati ambiti utili all'evoluzione del sistema economico, tecnologico e al benessere dell'uomo:

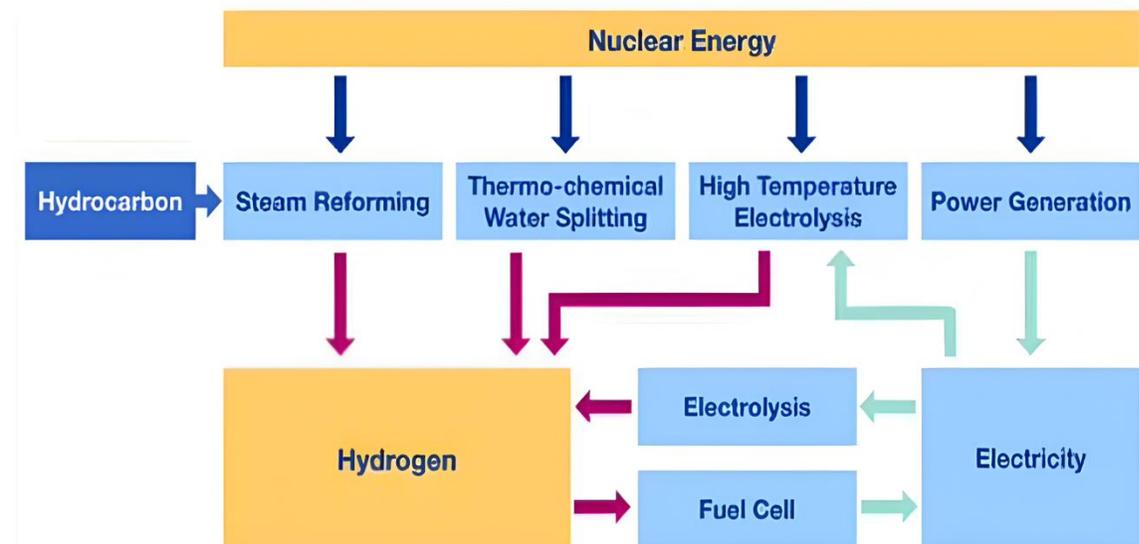
- Desalinizzazione;
- Settore navale;
- Decarbonizzazione dei carburanti per aerei;
- Produzione di idrogeno.

La produzione di idrogeno ad oggi è condotta da carburanti fossili. Per la produzione di idrogeno verde tramite energia nucleare sono possibili più processi:

- Elettrolisi dell'acqua a bassa temperatura, con efficienza non molto alta;
- Elettrolisi del vapore ad alta temperatura;
- Scissione termochimica dell'acqua;
- Reforming del vapore con CCUS.

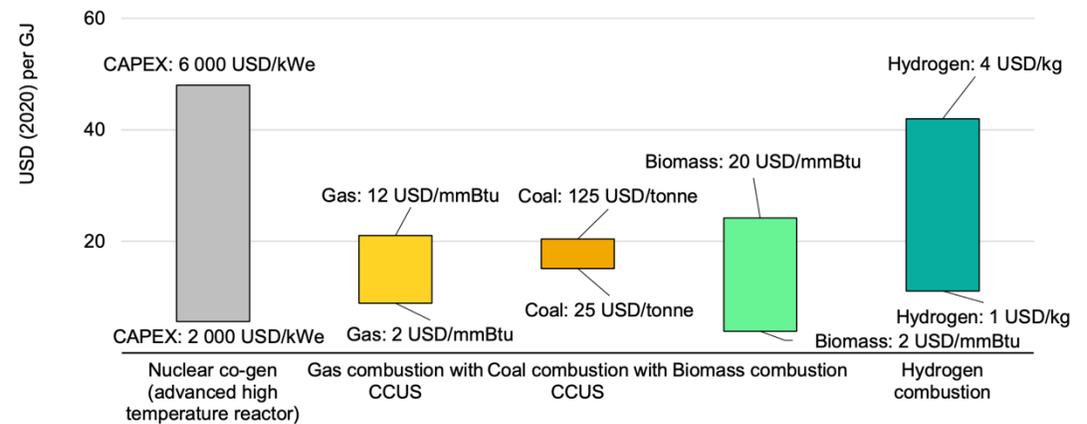
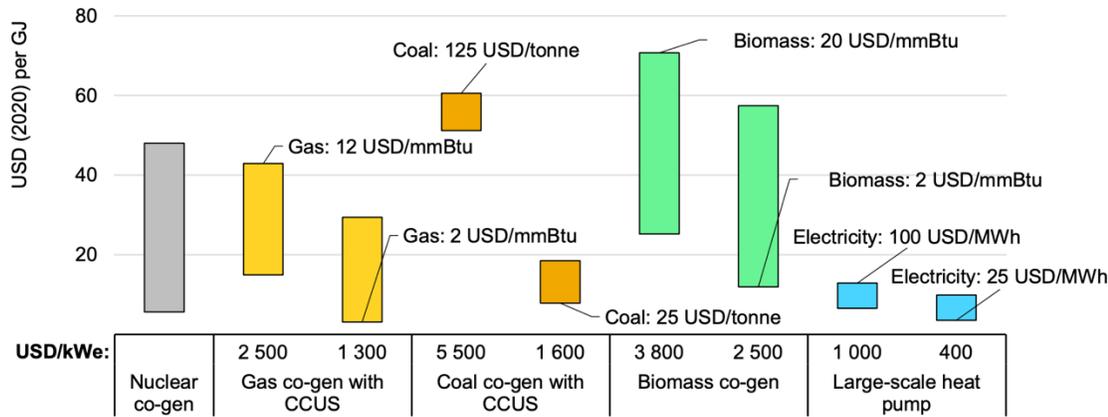
L'utilizzo del nucleare, però, è ancora molto costoso e poco conveniente in confronto a steam reforming con combustibili fossili e CCUS e a elettrolisi a basse temperature con elettricità da fonti rinnovabili.

Nonostante la non competitività del costo, da teoria può essere una tecnologia con più vantaggi, quindi è necessario investire sulla ricerca in questo campo.



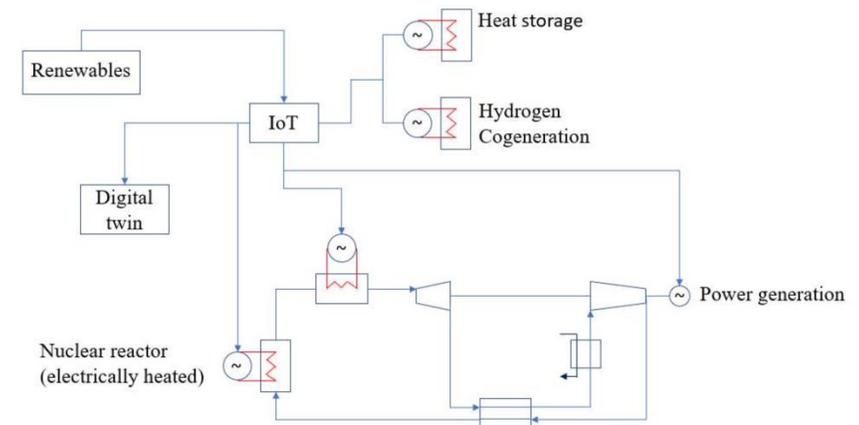
Il costo della cogenerazione è ancora troppo alto. I costi di cogenerazione dovrebbero scendere sotto i 3000 USD/kWe per far sì che questi diventino competitivi per l'utilizzo a medie o basse temperature o ad alte temperature.

La produzione di calore ed elettricità tramite nucleare a temperature medie o basse vengono battute da combustibili fossili in impianti con CCUS e pompe di calore. Per temperature alte sempre da combustibili fossili con CCUS, ma anche dalla combustione di idrogeno.



Anche in questo caso le caratteristiche degli SMR possono essere utili:

- Le dimensioni minori abbassano ad un terzo il calore generato.
- La diminuzione dei rischi di incidenti è minore perché la potenza generata è minore, quindi possono essere situati vicino alle zone industriali, essenziale per un impianto di cogenerazione.
- Utili in centri urbani remoti e navi.
- La flessibilità viene sfruttata per l'immagazzinamento del calore.
- Lavorano ad alte temperature (tra i 500°C e i 900°C).
- Si possono utilizzare più carburanti.



Gli SMR per la cogenerazione sono ancora in fase di test e alcuni aspetti tecnici prestazionali sono ancora da implementare con successo.

Sono necessarie fasi di sperimentazione come quelle svolte dall'Idaho National Laboratories, USA, dove opera il DETAIL (Dynamic Energy Transport and Integration Laboratory) o dalla JAEA.

In conclusione, l'energia nucleare offre una grande opportunità per la decarbonizzazione globale grazie alla sua affidabilità e alle basse emissioni: questa può essere fondamentale per raggiungere gli obiettivi del **Net Zero Emission 2050** e dell'**Agenda 2030**, ma occorre agire rapidamente per evitare di superare il limite di 2°C di riscaldamento globale. Gli **Small Modular Reactors (SMR)**, con la loro modularità e sicurezza, migliorano la competitività del nucleare rispetto ad altre tecnologie. La cogenerazione nucleare aumenta l'efficienza, permettendo di ridurre le emissioni e migliorare la sostenibilità in settori chiave come la desalinizzazione, i trasporti e la produzione di idrogeno.

L'innovazione tecnologica e l'abbattimento dei costi, però, sono ancora necessarie perché questo campo venga esplorato in tutto il suo potenziale. Progetti come **DETAIL** e iniziative come quelle JAEA e Rolls Royce sono infatti fondamentali per dimostrare il potenziale del nucleare, e soprattutto degli SMR.