www.dii.unipd.it

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria dell'Energia

Relazione per la prova finale «Analisi energetica ed economica di alcune tecnologie per la transizione energetica»

Tutor universitario: Prof. Angelo Zarrella

Laureando*: Tellan Eric 2000294*

Padova, 08/07/2025

INTRODUZIONE

www.dii.unipd.it

Negli ultimi anni, a causa del **cambiamento climatico**, si è imposta sempre di piu la necessità di ridurre il nostro **impatto ambientale**.

Ottimizzare e **decarbonizzare** il settore della produzione energetica è fondamentale se vogliamo contribuire ad un sistema piu sostenibile.

OBIETTIVI DEL LAVORO

www.dii.unipd.it

L'obiettivo di questa tesi è quello di confrontare costi, impatti ambientali e ruolo futuro delle principali tecnologie per la transizione energetica.

Per fare questo sono stati utilizzati diversi metodi di lavoro:

- Analisi **economica**: LCOE
- Analisi dell'impatto **ambientale**: Carbon footprint
- **Scenari** al 2050 studiati dall'IEA

LCOE

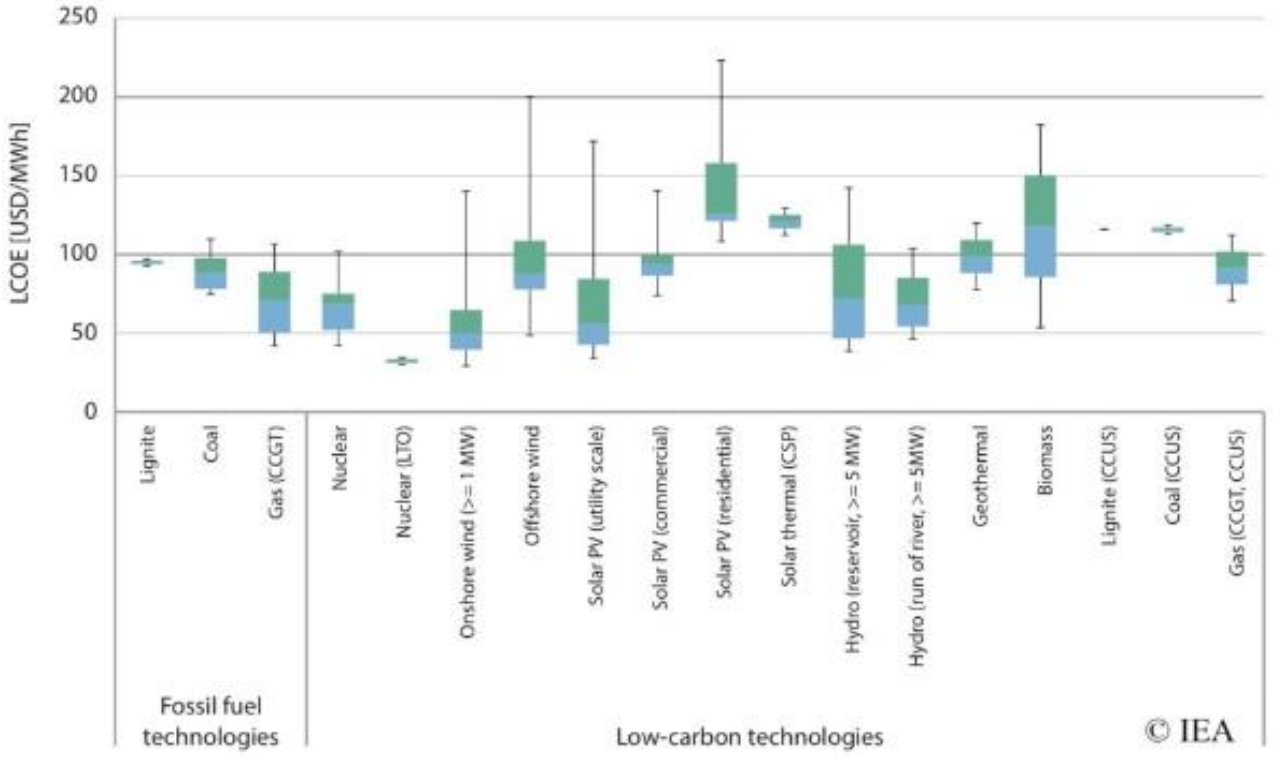
www.dii.unipd.it

L'LCOE (Levelized cost of electricity) è un indicatore economico che rappresenta il **costo medio**, per kW, necessario a coprire l'intero **ciclo di vita** di un impianto di generazione.

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^{n} \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^{n} \frac{E_t}{(1+r)^t}}$$

dove:

- I_t = Spese d'investimento nell'anno t
- M_t = Spese operative e di mantenimento nell'anno t
- F_t = Spese di combustibile nell'anno t
- E_t = Generazione di elettricità nell'anno t
- r = Tasso di sconto, che riflette il valore temporale del denaro
- n = Vita operativa del sistema (in anni)



Fonte: IEA – International Energy Agency, *Levelized cost of electricity by technology*, www.iea.org.

CARBON FOOTPRINT

www.dii.unipd.it

La carbon footprint è un parametro che viene utilizzato per stimare le emissioni gas serra prodotte.
Secondo il Protocollo di Kyoto, i gas serra che devono essere presi in considerazione sono: anidride carbonica (CO2), metano (CH4), monossido di diazoto (N2O), idrofluorocarburi (HFC), 11 perfluorocarburi (PFC) e esafloruro di zolfo (SF6).

Ci sono 3 categorie di emissioni:

DIRETTE

INDIRETTE

LEGATE ALLA CATENA DI FORNITURA

ENERGIE RINNOVABILI

www.dii.unipd.it

La produzione di energia da fonti rinnovabili è quella che ha avuto la maggiore crescita negli ultimi decenni.
Nella COP28 è stato fissato l'obiettivo di **triplicare** la capacità installata entro il 2030

PRO

- Costi bassi ed in calo
- Manutenzione semplice
- Fonte illimitata (sole, vento,…)
- Basse emissioni

CONTRO

- Intermittenza di produzione
- Basso capacity factor
- Necessità di sistemi di accumulo
- Criticità nella produzione ed il riciclo dei materiali

ENERGIA NUCLEARE

www.dii.unipd.it

L'energia nucleare rappresenta una risorsa strategica per la produzione di elettricità a **basse emissioni**, grazie alla capacità di fornire carico di base **continuo** e di contribuire alla stabilità e alla flessibilità operativa del sistema elettrico.

Attualmente copre una quota pari a circa il 9% della generazione elettrica globale.

PRO

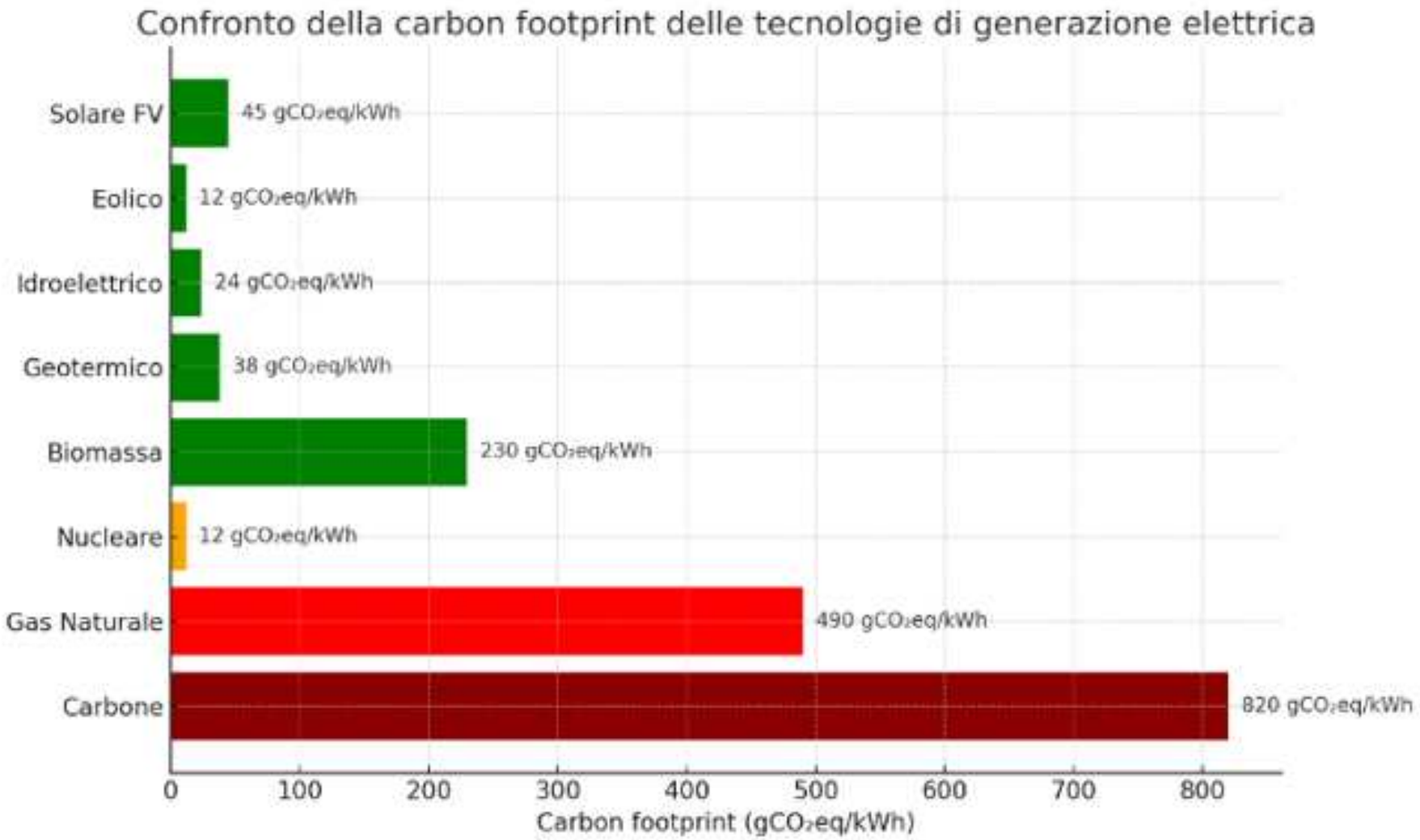
- Basse emissioni
- Produzione continua
- Alta affidabilità
- LCOE basso per centrali esistenti
- Nuove tecnologie in sviluppo

CONTRO

- Costi di costruzione e dismissione elevati
- Lunghi tempi di autorizzazione e costruzione
- Gestione delle scorie
- Distribuzione disomogenea dell'uranio

CARBON FOOTPRINT

www.dii.unipd.it



IDROGENO

www.dii.unipd.it

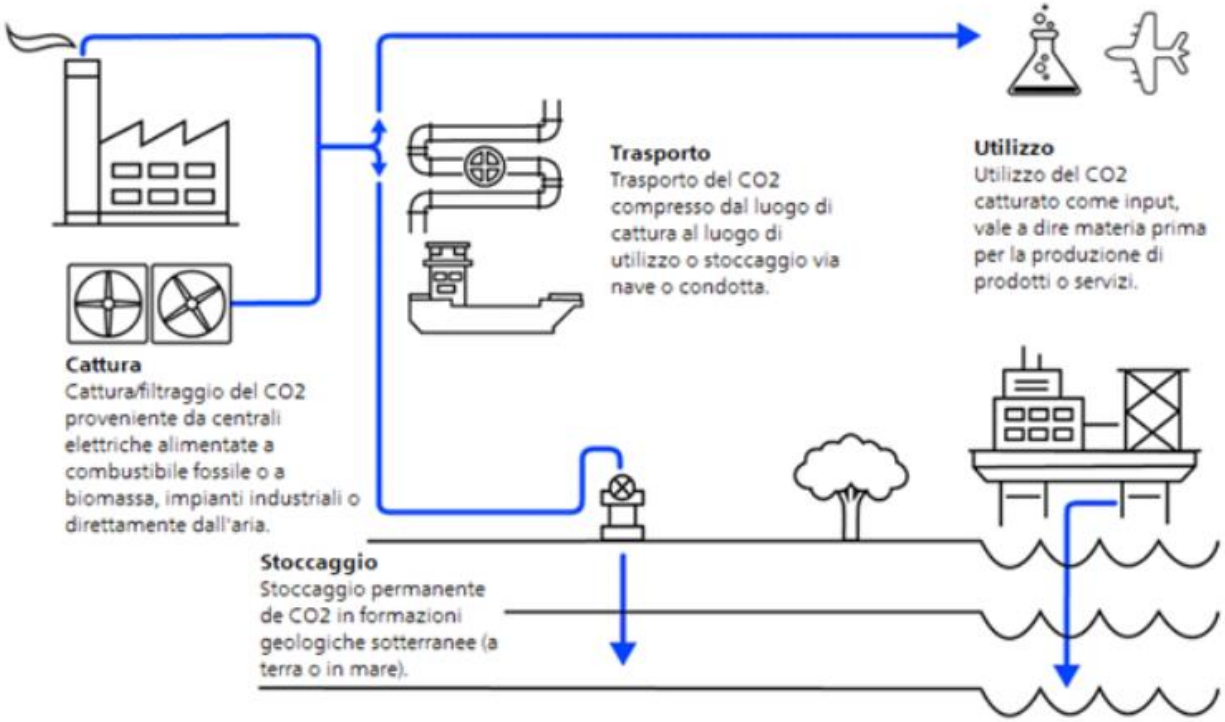
Viene classificato in diversi colori a seconda del metodo di produzione, quello verde, prodotto utilizzando esclusivamente energie rinnovabili, è l'unico ad emissioni potenzialmente nulle;
Tuttavia attualmente oltre il 95% dell'idrogeno è prodotto da fonti fossili.
Può essere utile per decarbonizzare i trasporti e i settori hard-to-abate.

Colore	Fonte	CO_2	Note
🟢 Verde	Rinnovabili (elettrolisi)	❌	Pulito, ideale.
🔵 Blu	Gas + CCS	⚠️	Transizione, cattura CO_2.
⚪ Grigio	Gas naturale	✅	Inquinante, comune oggi.
⚫ Nero	Carbone	✅ ✅	Molto inquinante.
🟤 Marrone	Lignite	✅ ✅	Peggio del nero.
🟡 Giallo	Rete elettrica mista	⚠️	Dipende dalla fonte.
🔴 Rosa	Nucleare (elettrolisi)	❌	Basso impatto, ma è nucleare.
🟣 Turchese	Pirolisi del metano	❌	Carbonio solido, emergente.

CCUS

www.dii.unipd.it

La **Carbon Capture, Utilization and Storage** è una tecnologia che viene già utilizzata nella produzione di energia elettrica e per la produzione di idrogeno, evidenziando anche la sinergia tra queste tecnologie.



Tuttavia, questa tecnologia ha ancora prezzi poco competitivi rispetto ad altre soluzioni, per cui la sua diffusione fa fatica ad accelerare

SISTEMI DI ACCUMULO

www.dii.unipd.it

Con l'aumento dell'uso delle energie rinnovabili, i sistemi di accumulo stanno assumendo un ruolo sempre piu rilevante.

Nonostante l'evoluzione tecnologica, il settore presenta ancora **criticità** significative, per esempio:

- **Costo** iniziale elevato
- Limitata **durata** dei cicli di vita delle batterie
- Complessa **integrazione** con l'infrastruttura elettrica esistente
- **Approvvigionamento** di materiali critici come litio, cobalto e nichel.

Le batterie agli ioni di litio, oggi le più diffuse, rappresentano una soluzione matura ma con dei limiti in termini di sostenibilità e costi, tuttavia l'utilizzo in **combinazione** con fonti rinnovabili ne riduce significativamente l'impatto.

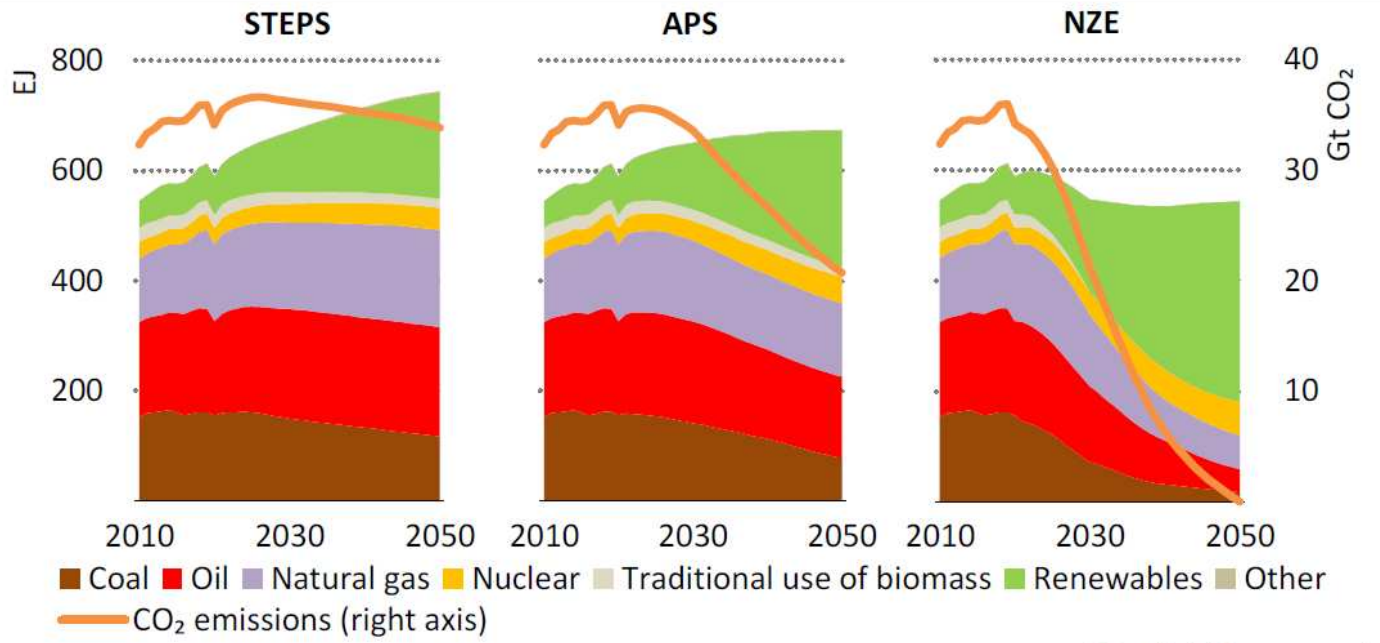
SCENARI AL 2050

www.dii.unipd.it

L'IEA propone 3 scenari:

a) Stated Policies Scenario (STEPS)
b) Announced Pledges Scenario (APS)
c) Net Zero Emission by 2050 Scenario (NZE)

Figure 4.1 ▷ Total primary energy supply by fuel and scenario



IEA. All rights reserved.

Fonte: IEA – International Energy Agency, Total primary energy supply by fuel amd scenario, www.iea.org.

CONCLUSIONI

www.dii.unipd.it

La **domanda globale di energia** crescerà in modo deciso nei prossimi decenni, spinta da dinamiche demografiche, industriali e climatiche.

Dall'analisi condotta emerge come il **nucleare**, nonostante le criticità legate agli elevati costi iniziali e alla complessità regolatoria, rappresenti una risorsa fondamentale per la transizione energetica.

Il confronto con le altre tecnologie evidenzia il ruolo complementare delle **rinnovabili**, in particolare fotovoltaico ed eolico, tuttavia, la loro natura intermittente richiede l'integrazione con fonti stabili o sistemi di accumulo.

La transizione verso un sistema energetico sostenibile non può basarsi su un'unica soluzione tecnologica, ma su un **mix intelligente di risorse**.

www.dii.unipd.it

GRAZIE PER L'ATTENZIONE