

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria dell'Energia

***Relazione per la prova finale
«Simulazione di scenari elettrici
italiani a bassa emissione di gas
serra»***

Tutor universitario: Prof. Giuseppe Zollino

Laureando: *Alessandro Corà*

Matricola: 2010362

Padova, 19/03/2023

Nell'ambito dell'accordo di Parigi, il Parlamento europeo ha adottato una risoluzione che chiede all'UE di fissare come obiettivo a lungo termine la neutralità climatica entro il 2050

Obiettivo: Analisi di sensitività per la valutazione dell' impatto tecnico ,economico e ambientale della fusione in scenari elettrici italiani al 2050 a bassa emissione di gas serra

Metodologia:

- Formulazione delle ipotesi e dei vincoli per gli scenari
- Utilizzo del codice COMESE sviluppato presso il Consorzio RFX-Università di Padova per la creazione degli scenari
- Analisi degli scenari
- Confronto degli scenari
- Conclusioni

IPOSTESI:

- Domanda elettrica in Italia nel 2050 pari a 650 TWh/y
- Assenza di idrogeno
- Limitata disponibilità di siti competitivi per installare le seguenti tecnologie. Si ipotizzano le potenze installate:
 1. Fotovoltaico sui tetti: 100 GW
 2. Eolico a terra: 34,9 GW
 3. Geotermico: 1,2 GW
 4. idroelettrico : 5,32 GW fluente + 10,54 GW a bacino + 9 GW di accumulo
 5. Combustione R.S.U: 0,11 GW
- Assenza di limiti per il trasporto dell'energia elettrica

VINCOLI PER LA CREAZIONE DEGLI SCENARI:

- Massimo 1 ora di domanda non soddisfatta
- Biogas Massimo 45 TWh, in quanto è una tecnologia che presenta una prospettiva di incremento limitata e i suoi usi non si limitano alla produzione di energia elettrica

Costi per le tecnologie libere di variare la potenza installata:

- Fotovoltaico a terra con tracking : 550 €/kWh
- Batterie come sistema di accumulo nelle ore di sovrapproduzione : 1600 €/kWh
- Eolico galleggiante : 3000 €/kWh
- Biogas : 550 €/kWh
- Fusione nucleare : 6000 €/kWh

Copertura del fabbisogno elettrico:

- Base Load (fusione, geotermico , combustione R.S.U, idroelettrico fluente)
- Rinnovabili aleatorie (eolico, fotovoltaico)
- Modulabili (biogas, idroelettrico a bacino)
- Sistemi di accumulo (batterie, idroelettrico con impianto di pompaggio)

Funzionamento del codice COMESE:

INPUT: Intervalli di potenza installabile per le tecnologie libere di variare la potenza installata

OUTPUT:

- Quantità di potenza da installare, per ogni tecnologia considerata, per ottenere LCOTE minimo e rispettando le ipotesi e i vincoli

$$LCOTE = \frac{\sum_{i=1}^{N_p} (LCOE_i \times E_i) + C_{stor} + C_{grid}}{E_{load}}$$

dove:

$LCOTE$: costo in ce di un kWh nello scenario considerato

$LCOE_i$: costo di generazione di un kWh per la i -esima tecnologia in ce

E_i : quantità di energia prodotta dalla i -esima tecnologia in kWh

C_{stor} : costi dovuti ai sistemi per l'immagazzinamento dell'energia

C_{grid} : costi per la fortificazione del sistema elettrico

E_{load} : totale energia richiesta

- Profilo orario : simulazione oraria della domanda e come viene soddisfatta dalle potenze installate

4 differenti scenari:

1. Potenza di fusione ottimale: il mix energetico per ottenere LCOTE minimo senza vincoli sulla quantità di potenza da fusione nucleare installabile
2. Potenza di fusione imposta al 150% rispetto alla potenza di fusione ottimale
3. Potenza di fusione imposta al 50% rispetto alla potenza di fusione ottimale
4. Solo fonti rinnovabili: il mix energetico per ottenere LCOTE minimo utilizzando solo le energie rinnovabili

Analisi dei dati : per ogni scenario si valutano

- Profilo orario del carico per dieci giorni di luglio e dieci giorni di dicembre
- LCOTE
- Energia Tagliata
- Potenze Installate
- Emissioni CO₂/ Territorio Occupato/ Richiesta di materiali

Il life cycle assessment per la valutazione dell'impatto ambientale degli scenari:

DEFINIZIONI:

- Emissioni [g-CO₂-Eq/kWh]: Potenziale di riscaldamento globale, espresso in g di CO₂ equivalenti, prodotto nel ciclo vita di una tecnologia in relazione ai kWh che questa riuscirà a produrre
- Territorio Occupato [m²*year/kWh]: metri quadri di territorio occupato per la produzione di un kWh in un anno
- Richiesta materiali [Kg Sb-Eq] : La riduzione delle risorse utilizzate in relazione alla disponibilità di antimonio

TABELLA 1

	land occ.	Emission	Mineral and Materials
Per kWh generato	[m ² *year]	[gCO ₂ -Eq]	[Kg Sb-Eq]
PV_roof ¹	0,0080	37,6000	0,0000072100
PV_land ¹	0,0150	36,7000	0,0000044500
Wind_onshore ¹	0,0010	12,4000	0,0000006750
Wind_offshore ¹	0,0008	13,3000	0,0000009770
hydro_RotR MW ¹	0,0290	10,7000	0,0000000606
hydro_DAM MW ¹	0,0100	147,0000	0,0000006060
BioGas ²	0,0005	132,0000	0,0011200000
Fusion ¹	0,0007	5,2900	0,0000003330
Bio_RSU ¹	0,0010	430,0000	0,0000002430
GeoThermal ³	0,000174	477,0000	0,0000011300
B_storage ⁴		20,0000	0,00003296
Hydro_Pumped ⁵		65	

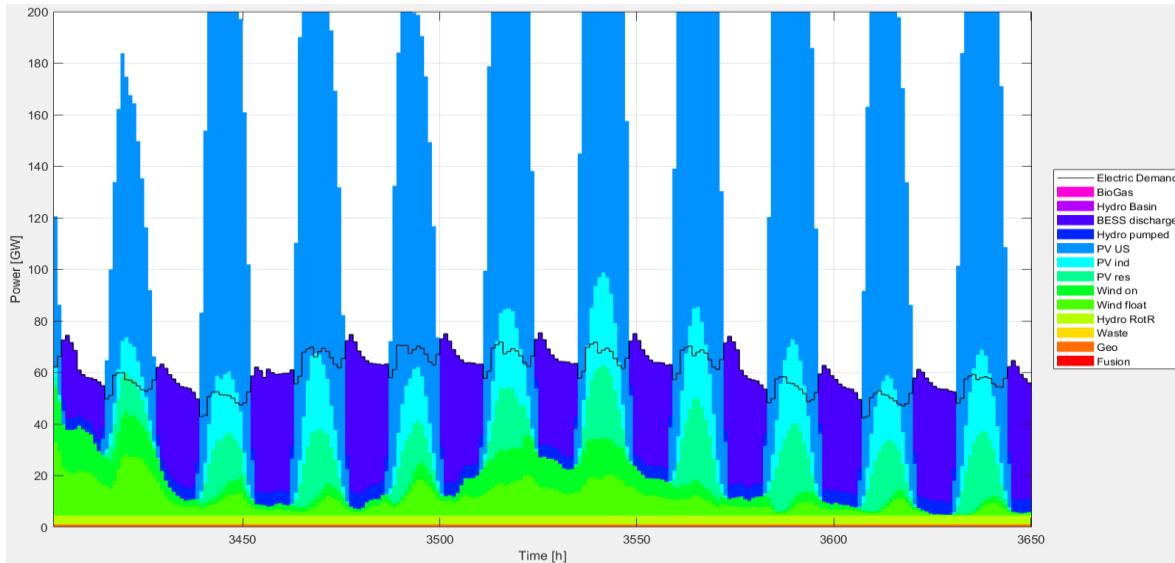
(1): UNECE, i dati derivano da studi sul territorio Europeo

(2): Tesi magistrale Unipd, utilizza come caso di studio l'impianto di Sant'Anna di Padova

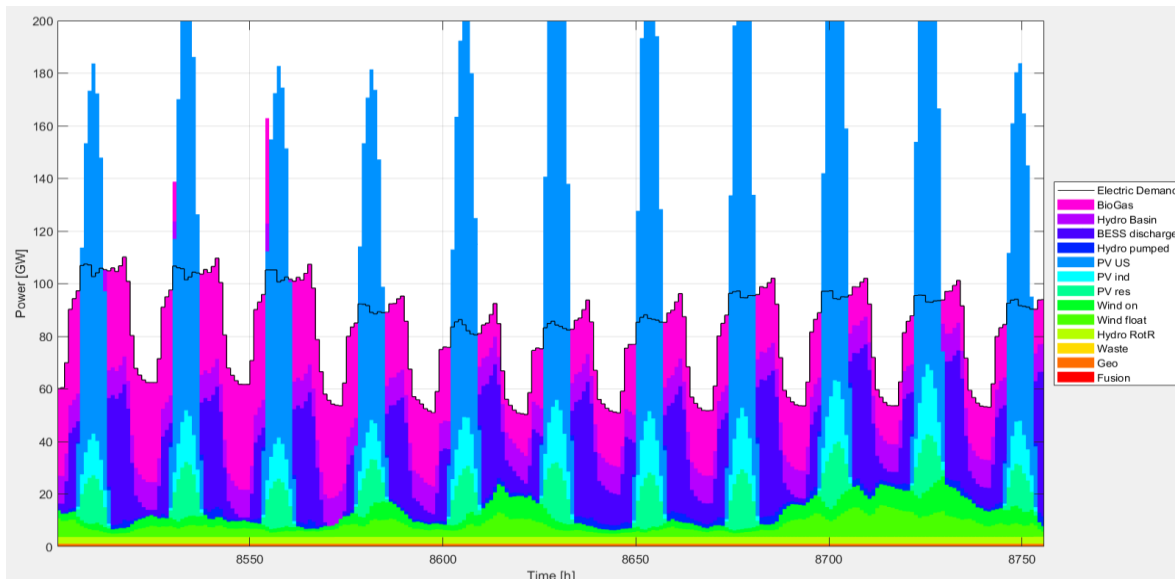
(3): Grocentre, il dato fa riferimento alla centrale di Chiusdino

(4): Forbes, Robert Rapier, metodo riadattato a batterie da 8h equivalenti con 85% di rendimento

(5): ACS publication



Profilo orario per dieci giorni di luglio

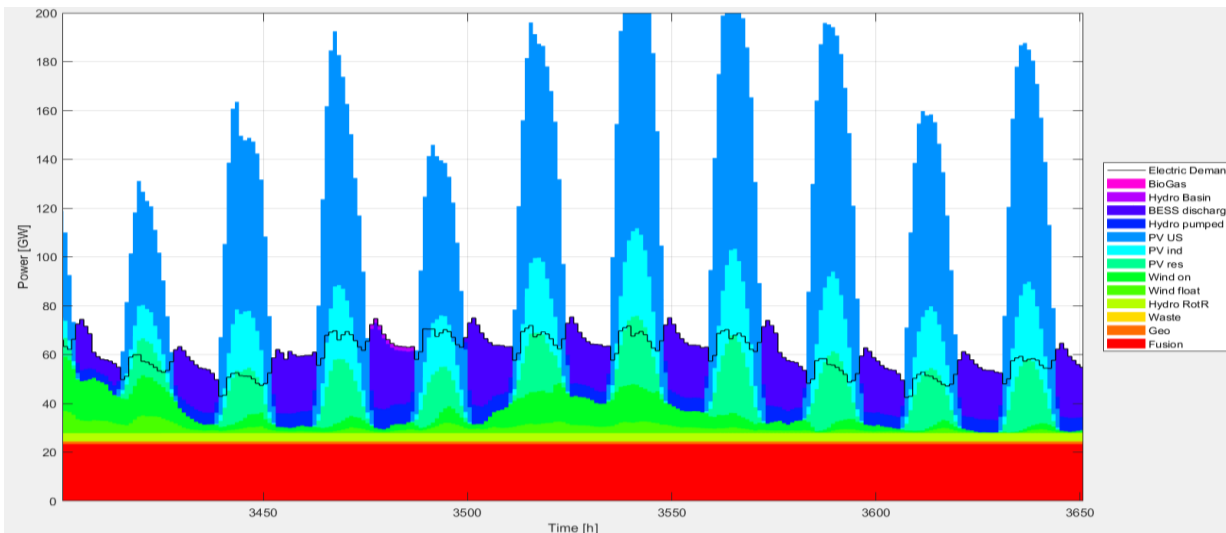


Profilo orario per dieci giorni di dicembre

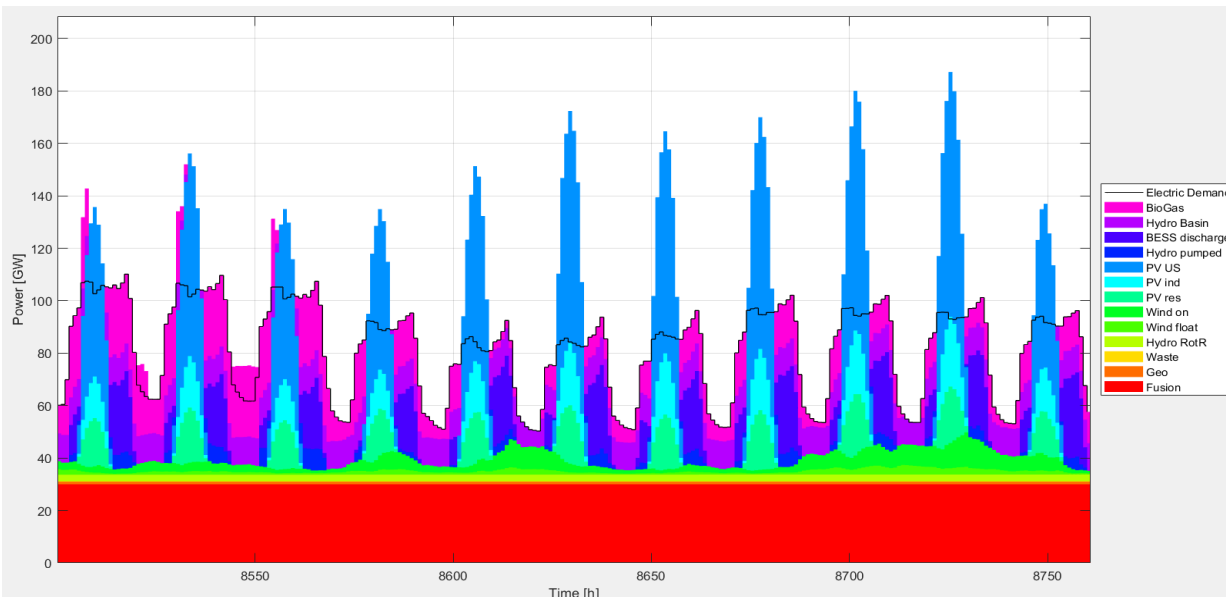
LCOTE [c€/kWh]	11,47
P_Fus [GW]	0,00
E_tagliata [TWh]	320,94
P_PV [GW]	450,86
P_BESS [GW]	76,72
P_Biogas [GW]	40,08
P_WindFloat [GW]	34,50
EMISSIONI CO2 [gCO2/kWh]	73,32
LAND OCCUPATION [m ² *year/kWh]	0,0171
MATERIAL REQUIREMENT [KgSbeq/kWh]	9,07E-05
E_BioGas [TWh]	44,88

Scenario che presenta:

- Produzione discontinua
- costo maggiore
- maggiore quantità di energia tagliata
- maggiore quantità di energia da biogas e batterie
- maggiore impatto ambientale



Profilo orario per dieci giorni di luglio



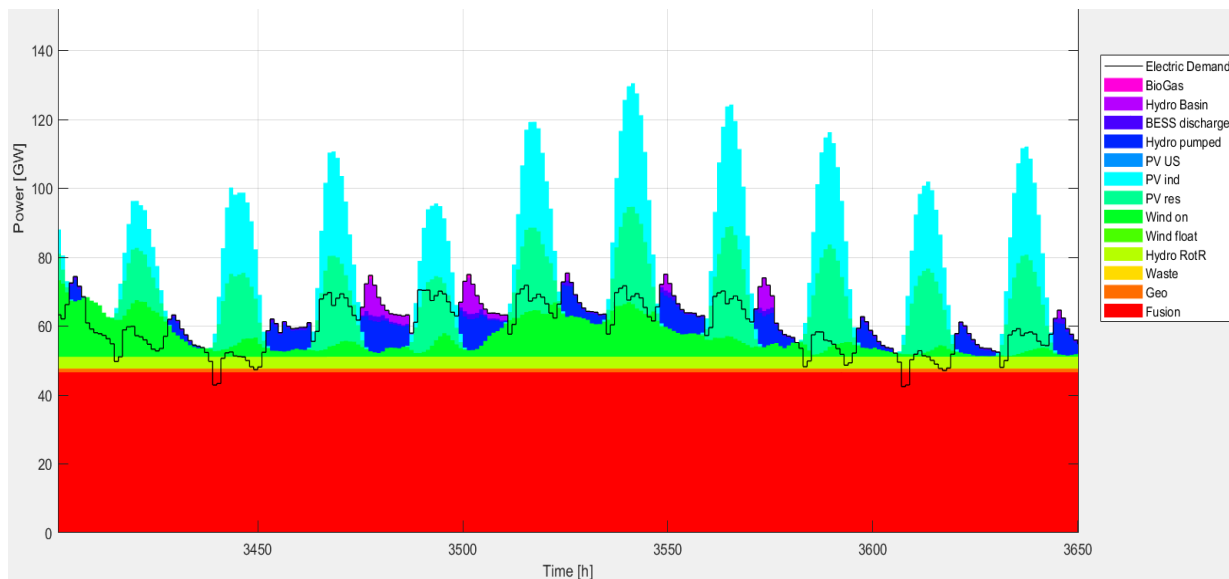
Profilo orario per dieci giorni di dicembre

LCOTE [c€/kWh]	9,59
P_Fus [GW]	33,29
E_tagliata [TWh]	160,23
P_PV [GW]	261,15
P_BESS [GW]	37,30
P_Biogas [GW]	27,14
P_WindFloat [GW]	10,45
EMISSIONI CO2 [gCO2/kWh]	50,66
LAND OCCUPATION [m ² *year/kWh]	0,0098
MATERIAL REQUIREMENT [KgSbeq/kWh]	6,57E-05
E_BioGas [TWh]	33,90

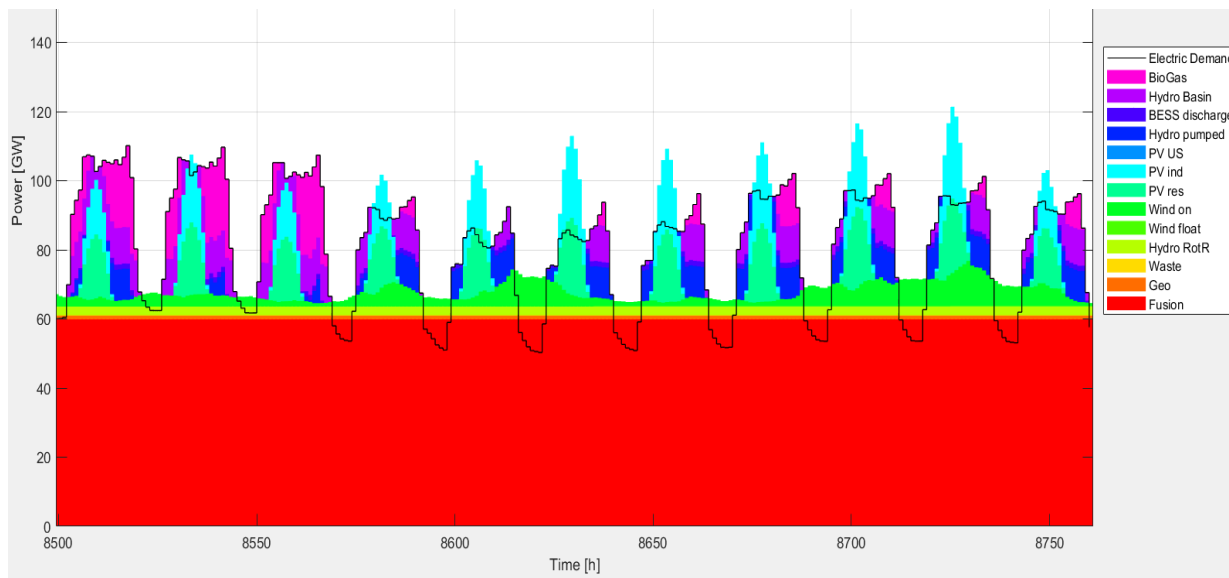
L'introduzione di 33,3 GW di fusione permette di diminuire la quota di potenza installata da energie rinnovabili ma ne rimangono ancora evidenti le criticità :

1. Produzione discontinua
2. Necessità di installare una capacità elevata di batterie e biogas

Miglioramento dei seguenti parametri: emissioni ,uso territorio, utilizzo dei materiali



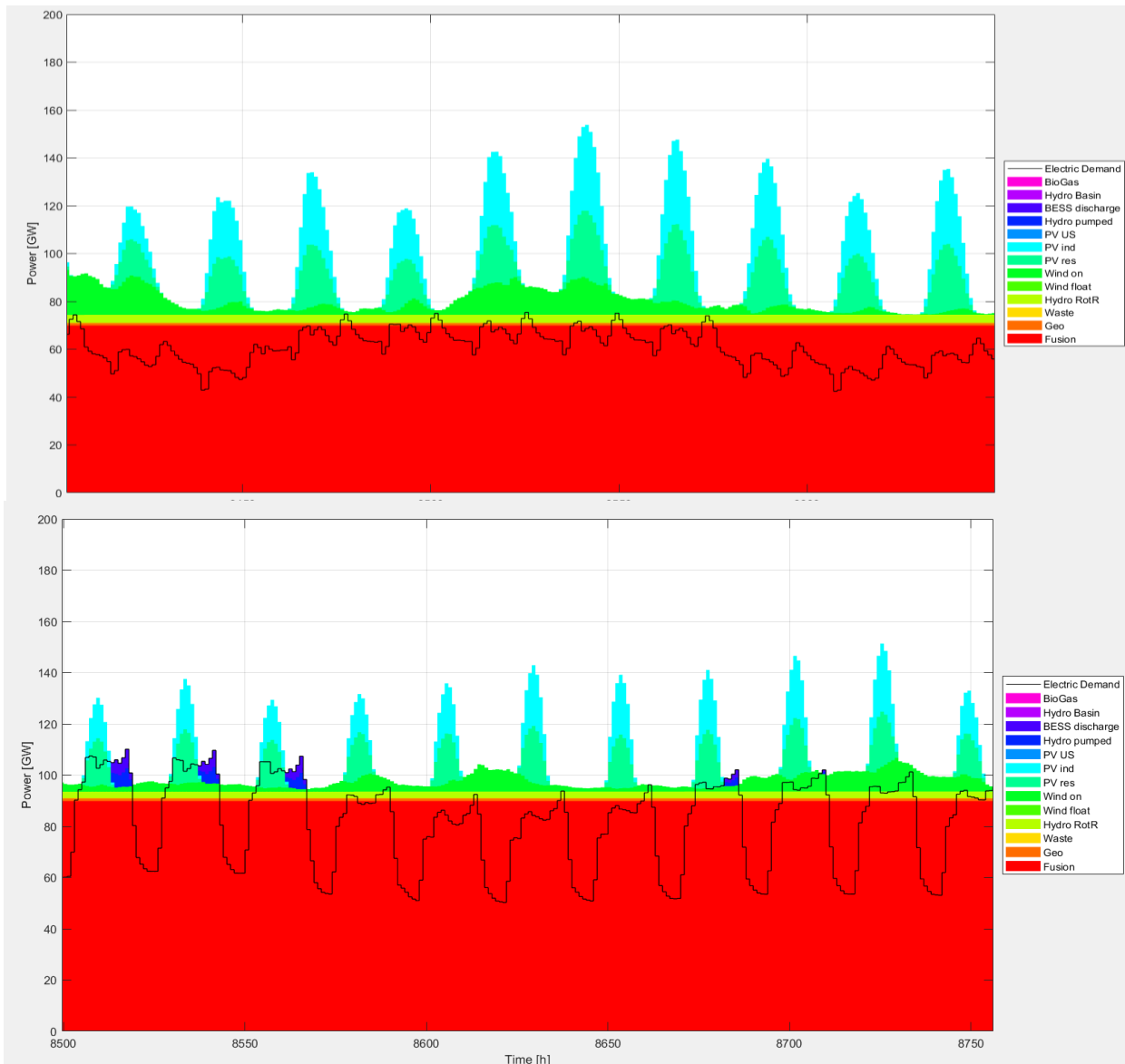
Profilo orario per dieci giorni di luglio



Profilo orario per dieci giorni di dicembre

LCOTE [c€/kWh]	8,30
P_Fus [GW]	66,57
E_tagliata [TWh]	74,81
P_PV [GW]	100,00
P_BESS [GW]	1,51
P_Biogas [GW]	2,57
P_WindFloat [GW]	0,00
EMISSIONI CO2 [gCO2/kWh]	28,782
LAND OCCUPATION [m ² *year/kWh]	0,0036
MATERIAL REQUIREMENT [KgSbeq/kWh]	2,20E-05
E_BioGas [TWh]	11,64

- Mix energetico che permette LCOTE minimo
- Copertura del fabbisogno in modo preciso, la quota di energia tagliata è la minore
- Piccola capacità installata di batterie
- 0 GW di fotovoltaico a terra con tracking e eolico galleggiante

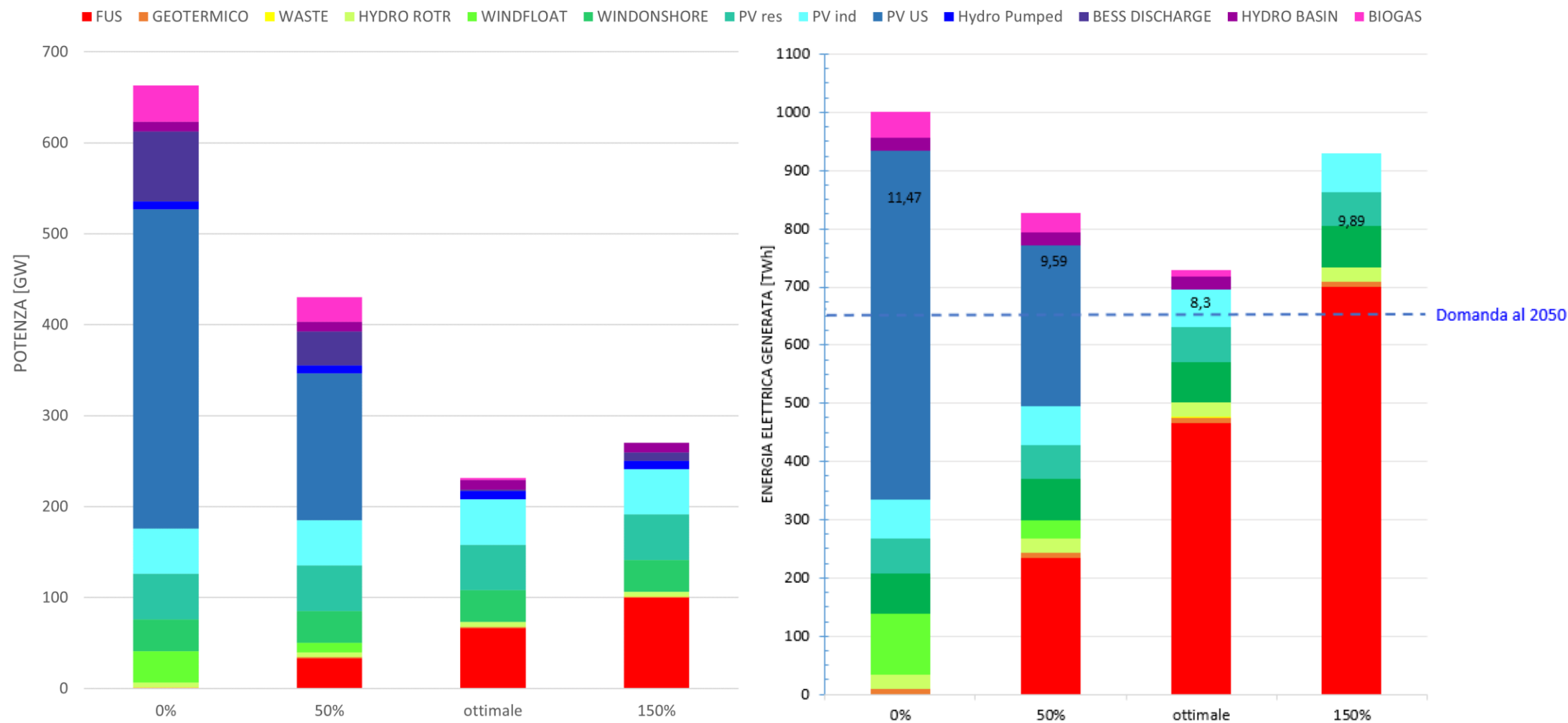


Profilo orario per dieci giorni di luglio

Profilo orario per dieci giorni di dicembre

LCOTE [c€/kWh]	9,82
P_Fus [GW]	99,85
E_tagliata [TWh]	279,36
P_PV [GW]	100,00
P_BESS [GW]	9,24
P_Biogas [GW]	0,00
P_WindFloat [GW]	0,00
EMISSIONI CO2 [gCO2/kWh]	21,71
LAND OCCUPATION [m ² *year/kWh]	0,0035
MATERIAL REQUIREMENT [KgSbeq/kWh]	1,89E-06
E_BioGas [TWh]	0,00

- Domanda quasi interamente soddisfatta da fusione.
- 0 GW di fotovoltaico a terra con tracking e eolico galleggiante
- Maggiore quota di potenza di batterie
- minore richiesta di biogas con conseguente diminuzione delle emissioni, del territorio occupato e del fabbisogno di materiali

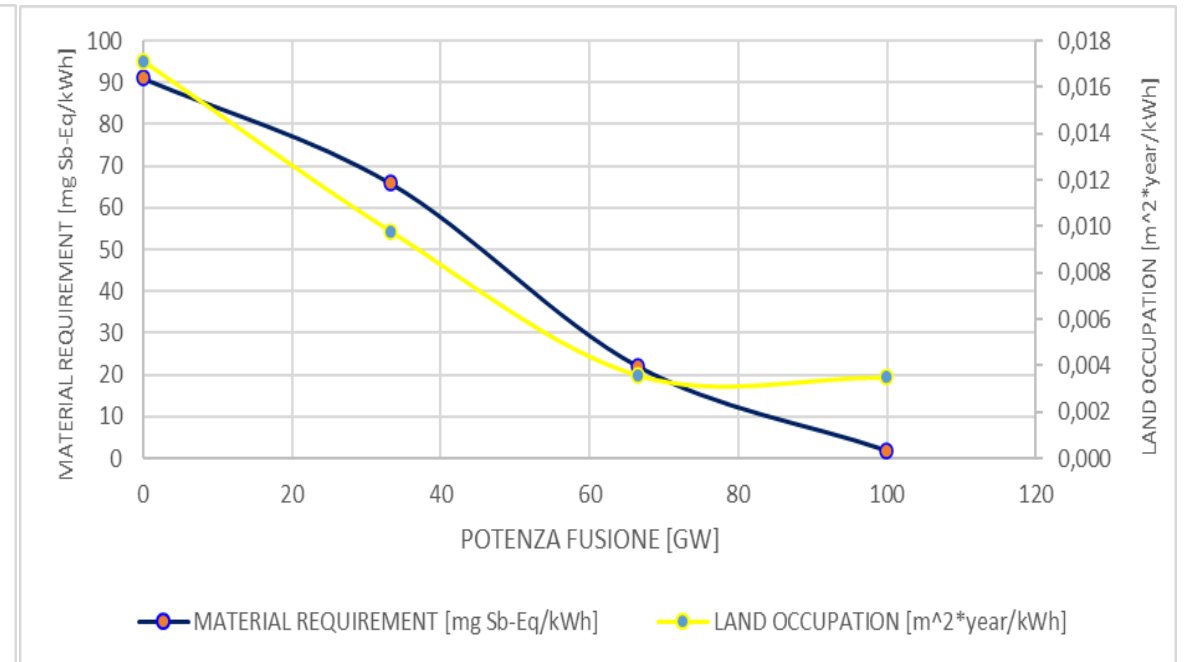
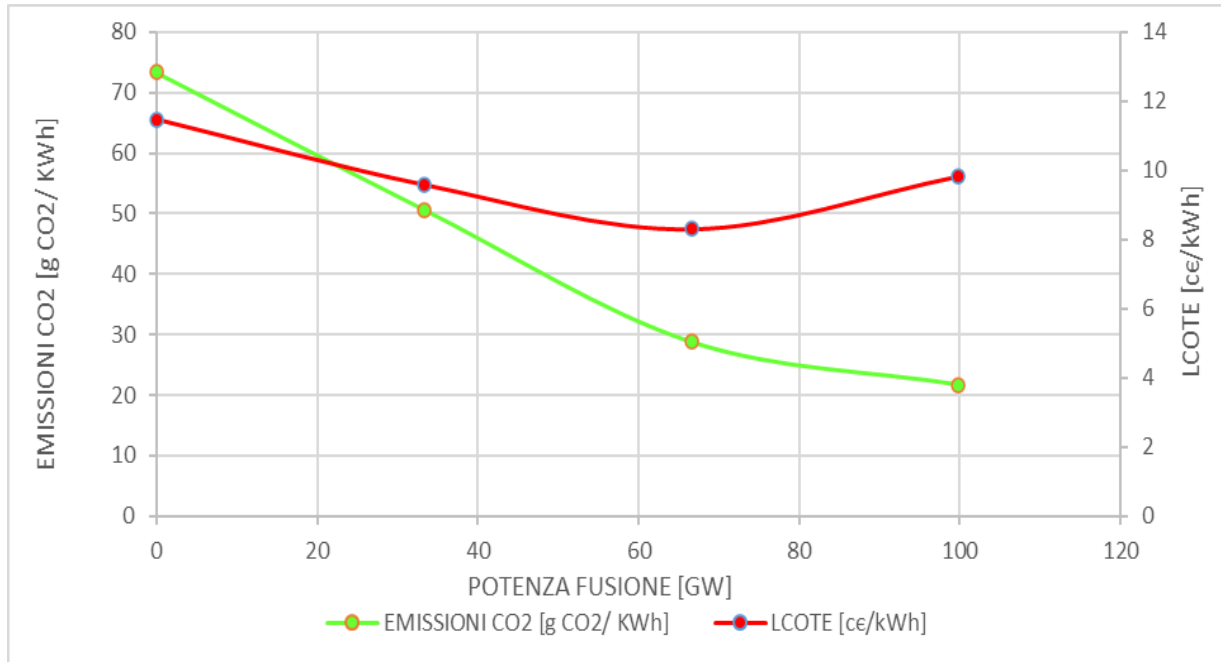


Per valutare LCOTE e LCA (Tabella 1) degli scenari sono state utilizzate queste formule:

$$LCOTE = \frac{\sum_{i=1}^{N_p} (LCOE_i \times E_i) + C_{stor} + C_{grid}}{E_{load}}$$

$$LCA, \text{ scenario } \left[\frac{\dots}{KWh} \right] = \frac{\sum_{i=1}^n LCA_i * En.generata_i}{E_{load}}$$

LCOTE e impatto ambientale in funzione della potenza da fusione nucleare installata:



Dal confronto degli scenari la fusione nucleare emerge come una prospettiva promettente per permettere una transizione energetica economicamente conveniente e ambientalmente sostenibile, offrendo una produzione di energia elettrica costante e affidabile. Al contrario, le fonti rinnovabili, sebbene siano essenziali, presentano alcune limitazioni, come la loro irregolarità, e un maggiore impatto ambientale

Uno scenario energetico alimentato da sole fonti rinnovabili risulta maggiormente utopico se si considera che l'obiettivo della decarbonizzazione riguarda tutto il mondo e l'irreperibilità dei materiali creerebbe un problema consistente

La tecnologia della fusione nucleare per la generazione di energia elettrica è ancora in fase di perfezionamento, ma i suoi potenziali benefici sono indiscutibili. È cruciale investire nella ricerca e nello sviluppo per affrontare le sfide globali legate all'energia e assicurare un futuro sostenibile.