

Scenari di transizione verso la neutralità climatica in Piemonte

Valentina D'Alonzo, Matteo Prina

Torino, 15/04/2025

Eurac Research

Eurac Research è un centro di ricerca fondato nel 1992 a Bolzano. La nostra ricerca affronta le **maggiori sfide che ci attendono in futuro**: mantenere le società in salute, favorire ambienti intatti, promuovere l'energia sostenibile e sviluppare sistemi politici e sociali ben funzionanti.



Credits: Eurac Research/O. Dariz - Eurac Research headquarter in Bolzano

Eurac Research

Istituto per
l'ambiente alpino

SHOW

Istituto di
linguistica applicata

SHOW

Istituto per lo
studio delle mummie

SHOW

Center for
Autonomy Experience

SHOW

Center for
Migration and Diversity

SHOW

Istituto di
biomedicina

SHOW

Istituto per il
management pubblico

SHOW

Istituto per lo
sviluppo regionale

SHOW

Center for
Climate Change and
Transformation

SHOW

terraXcube

SHOW

Istituto sui
diritti delle minoranze

SHOW

Istituto per
la medicina d'emergenza
in montagna

SHOW

Istituto di
studi federali comparati

SHOW

Center for
Sensing Solutions

SHOW

Research
Across Institutes

SHOW

Istituto per le
energie rinnovabili

SHOW

Istituto per
l'osservazione della
Terra

SHOW

Center for
Advanced Studies

SHOW

Centro per la
salvaguardia delle aree
montane

SHOW

L'Istituto per le Energie Rinnovabili

L'Istituto per le energie rinnovabili conduce **ricerca applicata per accelerare la transizione** verso una società a basse emissioni di carbonio.

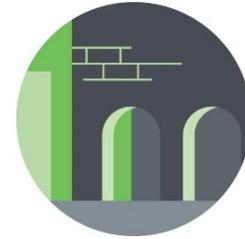


Credits: Eurac Research/O. Diodoro

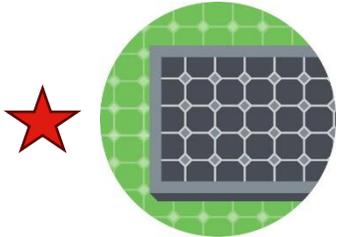
I nostri 6 campi di ricerca



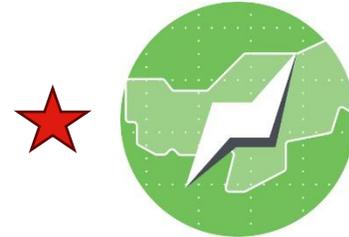
Sistemi di riscaldamento e raffrescamento sostenibili



Riqualificazione energetica degli edifici storici



Sistemi energetici fotovoltaici



Sistemi energetici urbani e regionali



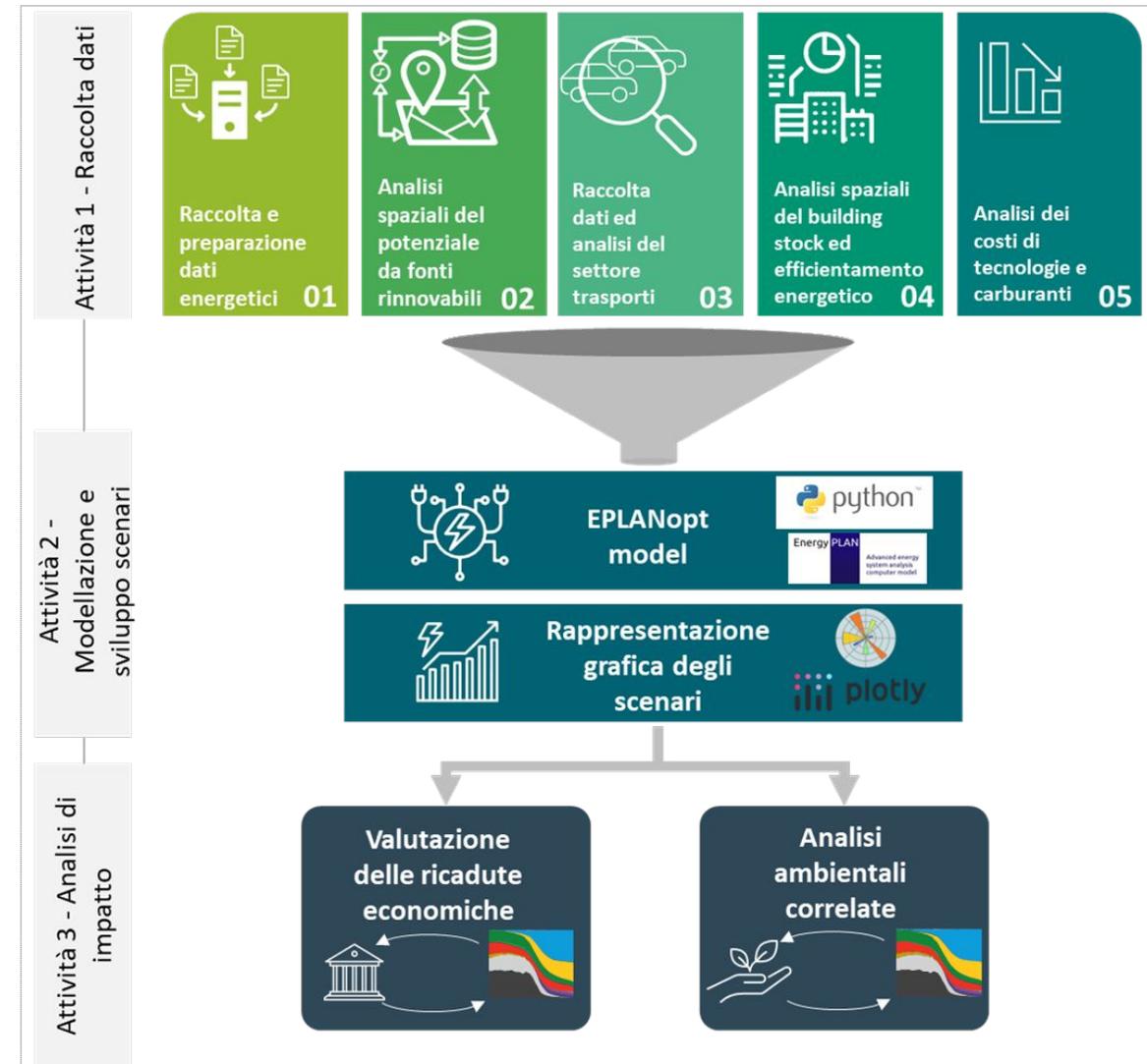
Edifici energeticamente efficienti



Modellazione del sistema energetico e mobilità elettrica

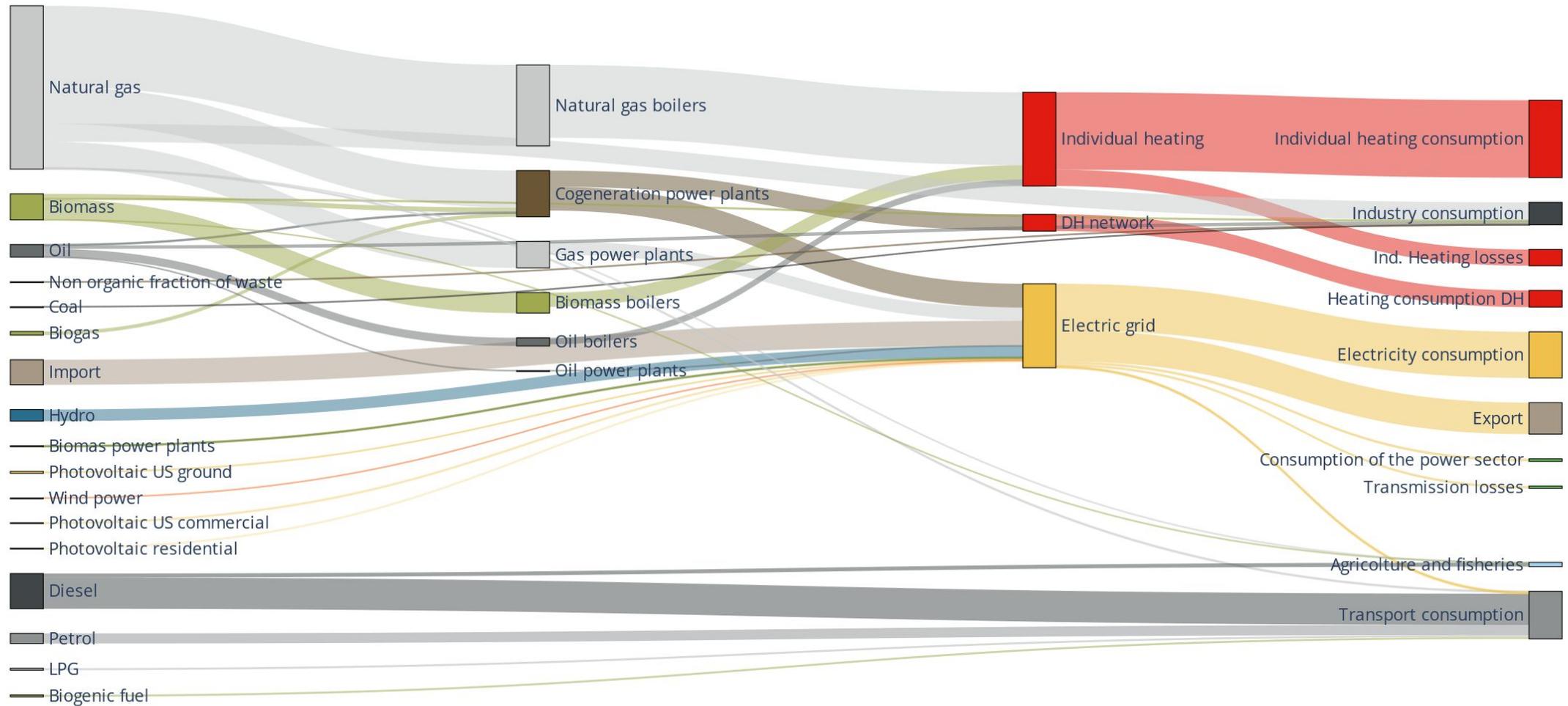
Domande di ricerca e struttura del lavoro

- Qual è la **configurazione ottimale futura** del sistema energetico regionale per il Piemonte al 2030, 2040 e 2050?
E il **costo** del sistema energetico risultante?
- **Dove, quanto e cosa bisogna installare** per raggiungere la neutralità climatica del sistema energetico regionale?
Come cambierà la **struttura dei costi** del sistema energetico?
- In che modo la **transizione energetica** regionale può rappresentare un'**opportunità** (dal punto di vista economico e ambientale)?



Schema sintetico delle attività

Baseline 2021 – diagramma Sankey



Variabili decisionali

Tecnologie strategiche per la decarbonizzazione del sistema energetico della Regione Piemonte

- PV su tetto residenziale
- PV su tetto non residenziale (comm., ind., ed. pubblici)
- PV a terra con tracker monoassiale
- Agrivoltaico
- Eolico
- Batterie al litio stazionarie
- E-methane da immettere nella rete del gas
- Biometano da immettere nella rete del gas
- Pompe di calore per il teleriscaldamento
- Storage termico per il teleriscaldamento
- Elettrolizzatore per generazione idrogeno
- Storage idrogeno
- Pompe di calore per riscaldamento individuale
- Efficientamento energetico degli edifici
- Pompe di calore industriali per processi industriali con $T < 100^{\circ}\text{C}$
- Fornaci elettriche per processi industriali con $T > 100^{\circ}\text{C}$
- Produzione di idrogeno per processi industriali con $T > 100^{\circ}\text{C}$



Valori
[min, max]
*nel 2021 potenziale
stimato*



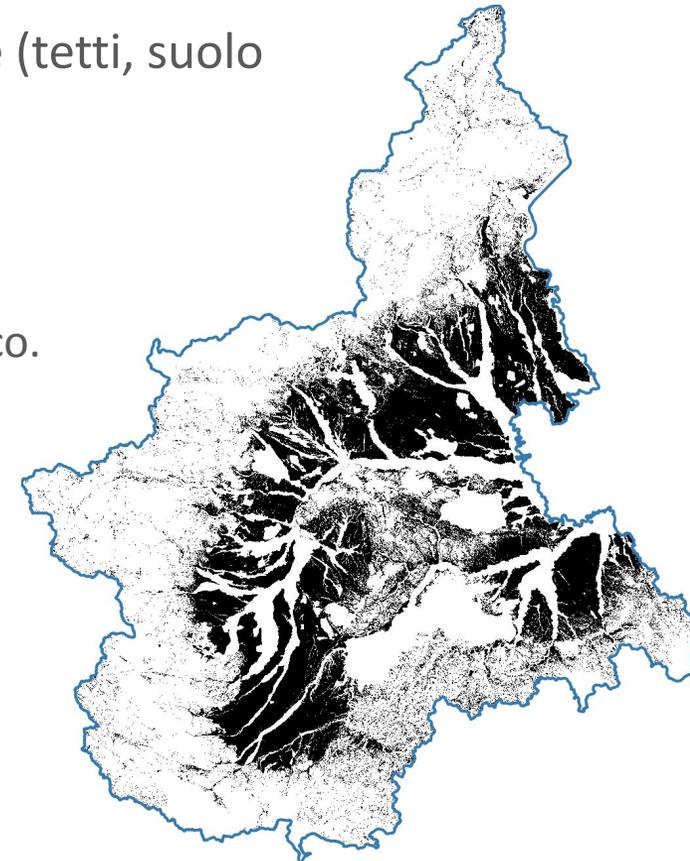
Processo iterativo in cui i risultati preliminari degli scenari hanno modificato la raccolta dei dati, lo sviluppo del modello e la lista delle variabili decisionali.

Scenari di potenziale per FV a terra e agrivoltaico

- PV su tetto residenziale
- PV su tetto non residenziale (comm., ind., ed. pubblici)
- PV a terra con tracker monoassiale
- Agrivoltaico
- Eolico
- Batterie al litio stazionarie
- E-methane da immettere nella rete del gas
- Biometano da immettere nella rete del gas
- Pompe di calore per il teleriscaldamento
- Storage termico per il teleriscaldamento
- Elettrolizzatore per generazione idrogeno
- Storage idrogeno
- Pompe di calore per riscaldamento individuale
- Efficientamento energetico degli edifici
- Pompe di calore industriali per processi industriali con $T < 100^{\circ}\text{C}$
- Fornaci elettriche per processi industriali con $T > 100^{\circ}\text{C}$
- Produzione di idrogeno per processi industriali con $T > 100^{\circ}\text{C}$

- Esclusione aree sottoposte a vincoli (**aree inidonee**)
- Inclusione aree **impermeabilizzate** (tetti, suolo urbanizzato)
- **Scenario S1**: SOLO aree agricole che ricadono nella solar belt e nelle fasce intorno alle autostrade: solo agrivoltaico.
- **Scenario S2**: TUTTE le aree agricole: solo agrivoltaico.

...in linea con il Decreto aree idonee (2 luglio 2024)

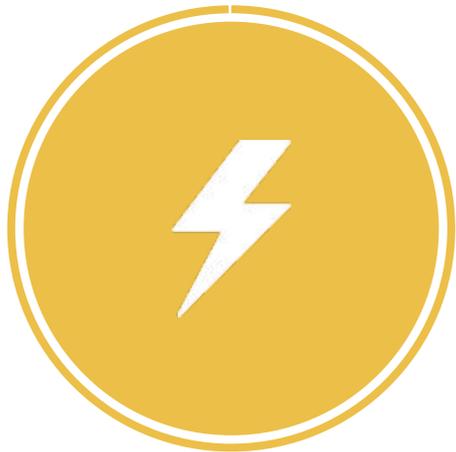


Maschera dei vincoli per fotovoltaico a terra e agrivoltaico (in nero le aree libere da vincoli)

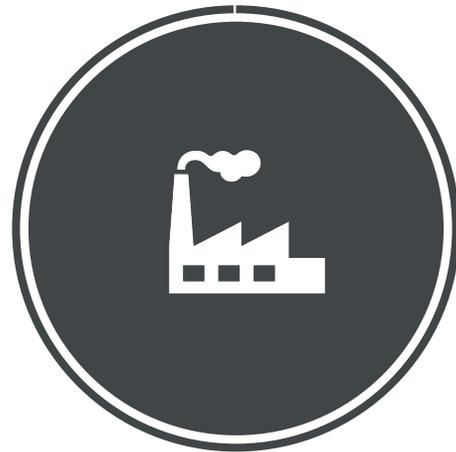
Settori considerati

La modellazione usata in questo studio considera l'accoppiamento dei principali settori energetici, la generazione e la domanda a livello orario.

Elettrico



Industria



Termico



Trasporto



Modello di ottimizzazione

Modello n obiettivi – Eurac Research

Modello di simulazione



EnergyPLAN
(Aalborg University)

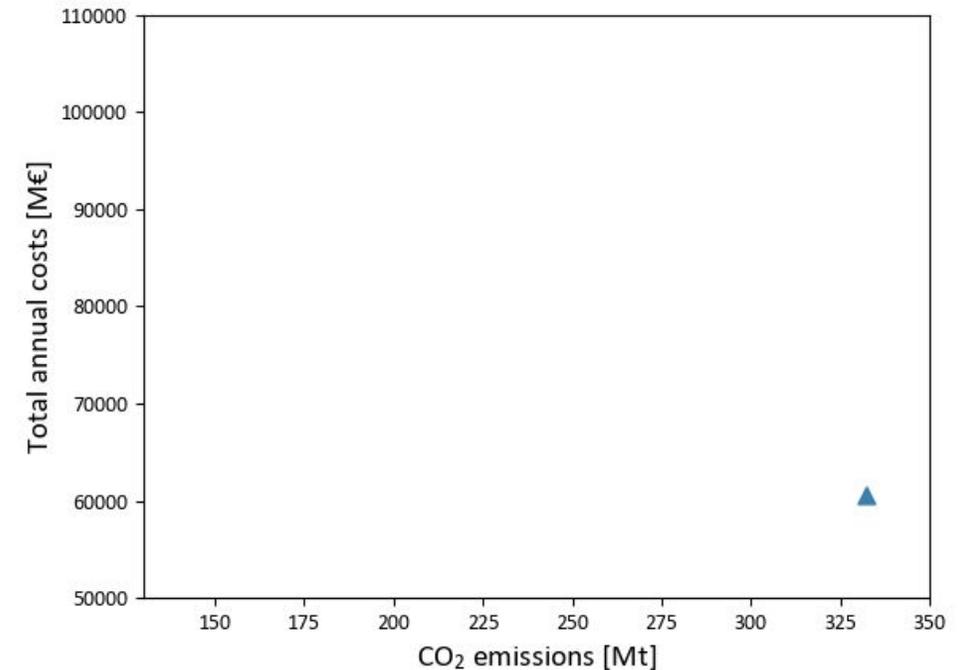
+

Modello di ottimizzazione



Multi objective evolutionary algorithm (MOEA)

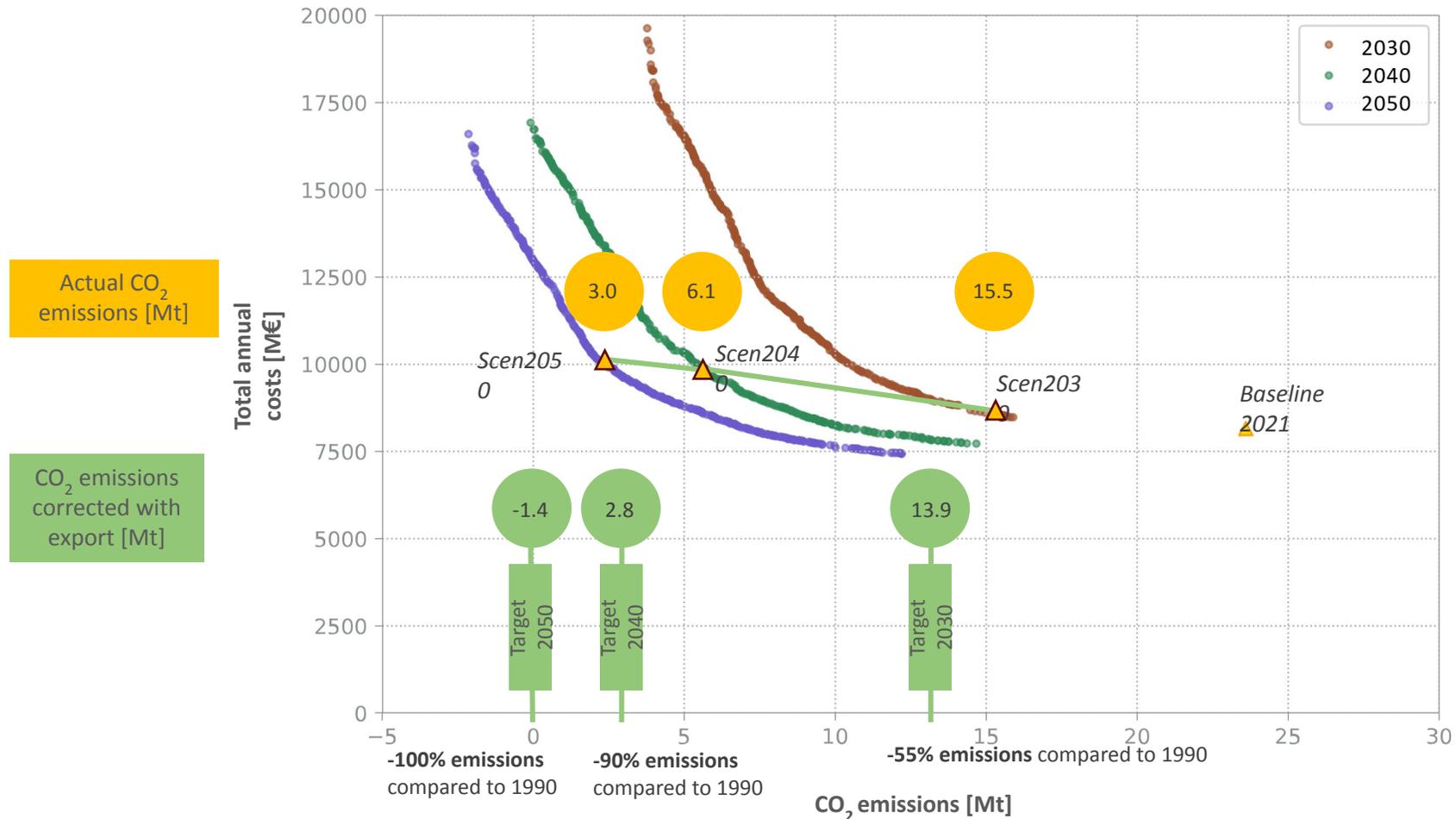
Ogni punto sul grafico mostra i costi totali e le emissioni di CO₂ per ogni combinazione di tecnologie del sistema energetico.



Per ogni combinazione di tecnologie del sistema energetico sono stati simulati i bilanci orari di generazione e consumo.

Risultati – Scenario 2, caso A

Scenario 2: Utilizzo di aree urbanizzate e di tutte le aree agricole, dove si prevede l'installazione esclusivamente di sistemi agrivoltaici.
Caso A: Gli scenari selezionati sui 3 fronti di Pareto sono quelli in cui il valore delle emissioni di CO₂ (aggiustato con le esportazioni) soddisfa gli obiettivi per il 2030, 2040 e 2050 al minor costo possibile.

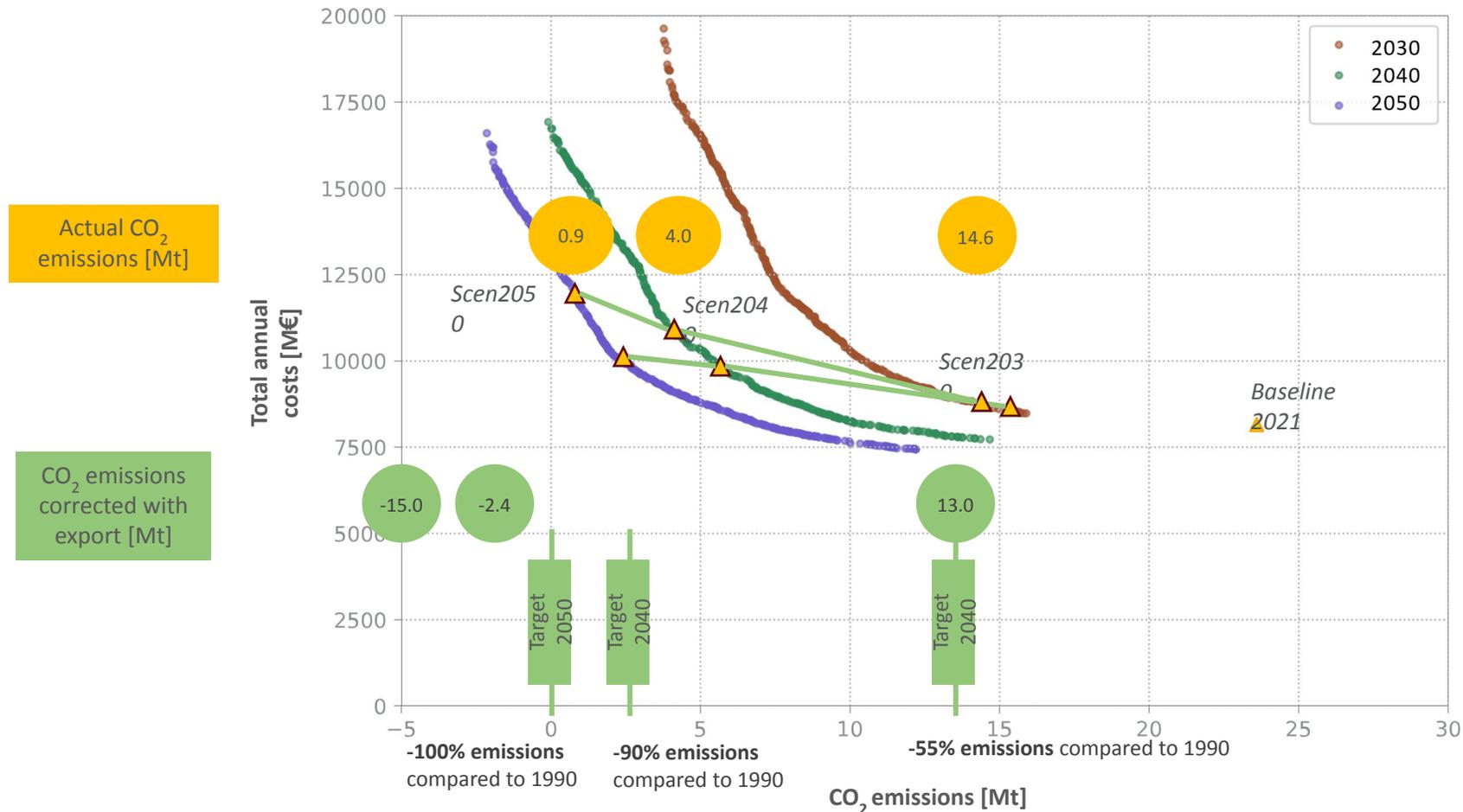


Valori delle principali tecnologie nei 3 orizzonti temporali

	<i>MW</i>	<i>MW</i>	<i>MW</i>	<i>MW</i>	<i>MW</i>	<i>GWh</i>	<i>GWh</i>	<i>GWh</i>	<i>MW</i>	<i>GWh</i>	<i>MW</i>	<i>GWh</i>	%	%	%	%	%
2021	0	1000	1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S2_A 2030	0	7000	1000	5000	1000	2	0	0	1000	2	0	0	100	15	100	0	0
S2_A 2040	1000	7000	1000	11000	1000	9	0	7	500	3	0	0	100	50	100	0	0
S2_A 2050	2000	7000	1000	15000	1000	17	0	9	500	4	2000	1	100	50	100	0	50

Risultati – Scenario 2, caso B

Scenario 2: Utilizzo di aree urbanizzate e di tutte le aree agricole, dove si prevede l'installazione esclusivamente di sistemi agrivoltaici.
Caso B: Gli scenari selezionati sono più ambiziosi del caso A (ovvero il valore delle emissioni di CO₂ aggiustato con le esportazioni è inferiore agli obiettivi per il 2030, 2040 e 2050).

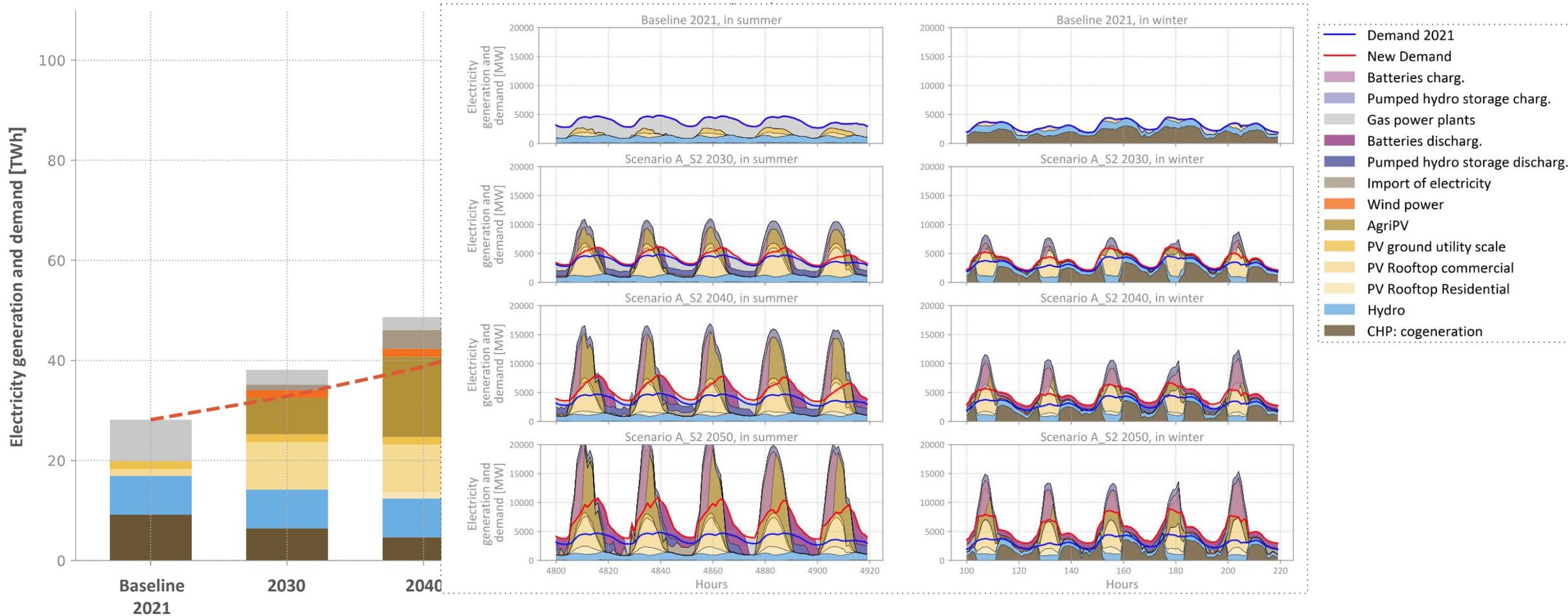


Valori delle principali tecnologie nei 3 orizzonti temporali

	<i>MW</i>	<i>MW</i>	<i>MW</i>	<i>MW</i>	<i>MW</i>	<i>GWh</i>	<i>GWh</i>	<i>GWh</i>	<i>MW</i>	<i>GWh</i>	<i>MW</i>	<i>GWh</i>	%	%	%	%	%
2021	0	1000	1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S2_B 2030	0	7000	1000	5000	1000	2	0	0	500	10	0	0	100	25	100	0	0
S2_B 2040	2000	7000	1000	24000	1000	15	0	7	1000	10	4000	8	100	55	100	0	100
S2_B 2050	2000	7000	1000	44000	1000	20	4	10	1000	10	7000	10	100	55	100	0	100

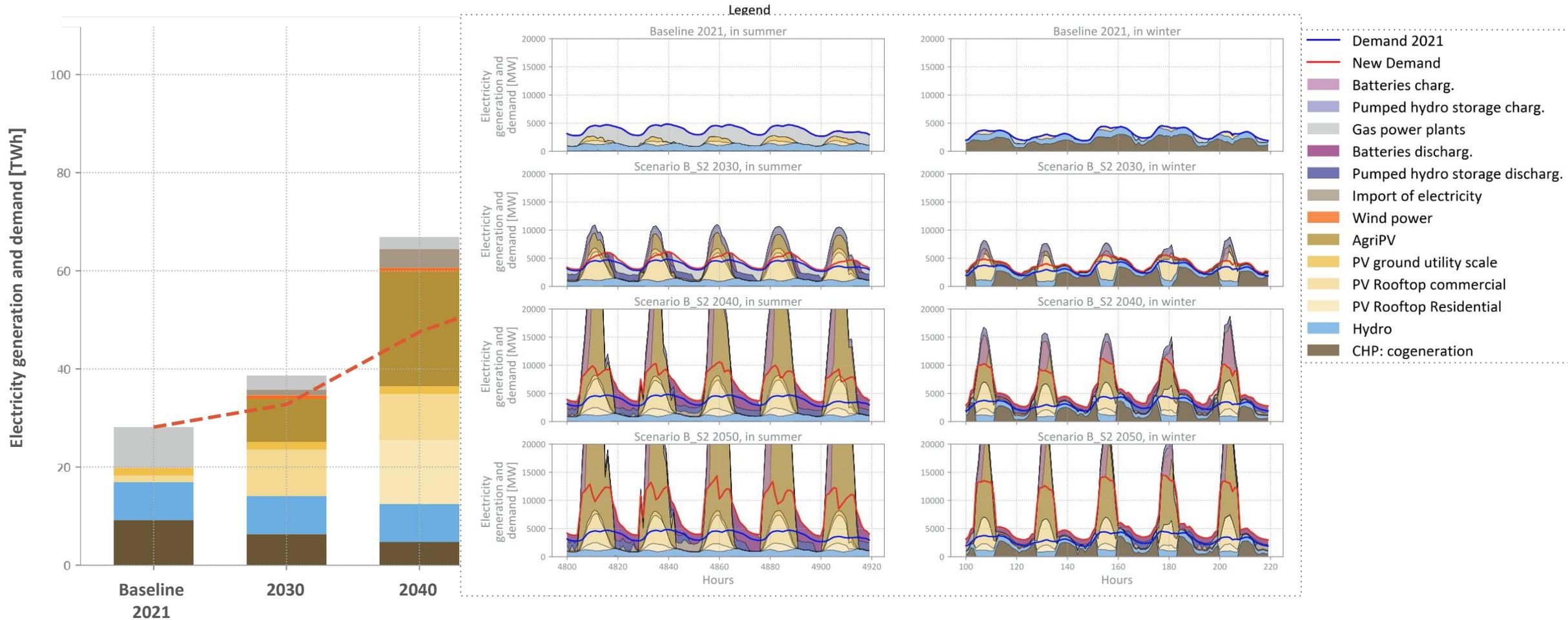
Risultati – Scenario 2, caso A

Mix per la generazione di elettricità, valori annuali e orari: Il **consumo e la produzione complessiva di elettricità aumentano** a causa dell'elettrificazione della mobilità, del settore del riscaldamento e dei settori industriali. La **quota di rinnovabili aumenta** con la riduzione delle importazioni di combustibili fossili.



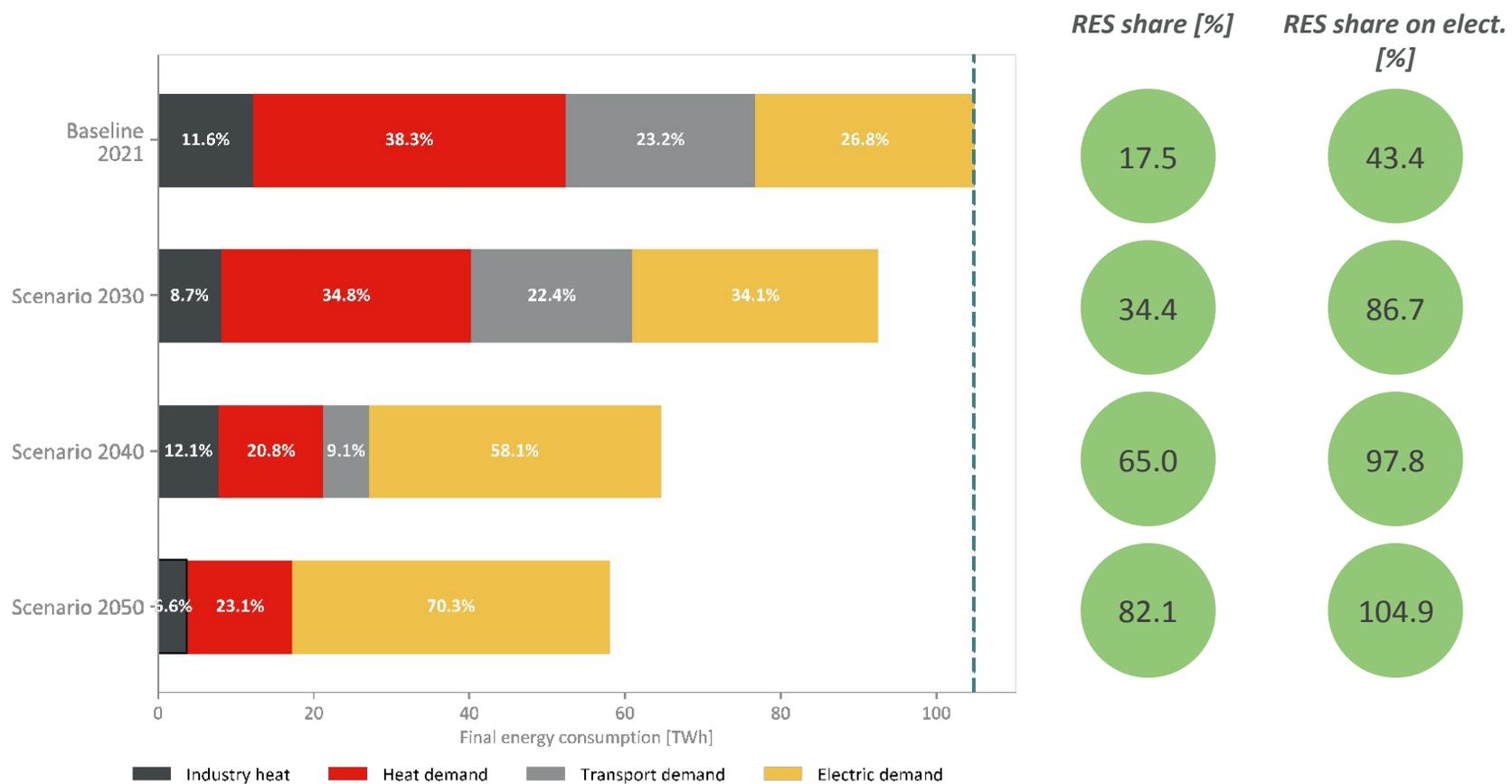
Risultati – Scenario 2, caso B

Mix per la generazione di elettricità, valori annuali e orari: Il **consumo e la produzione complessiva di elettricità aumentano** a causa dell'elettrificazione della mobilità, del settore del riscaldamento e dei settori industriali. La **quota di rinnovabili aumenta** con la riduzione delle importazioni di combustibili fossili.



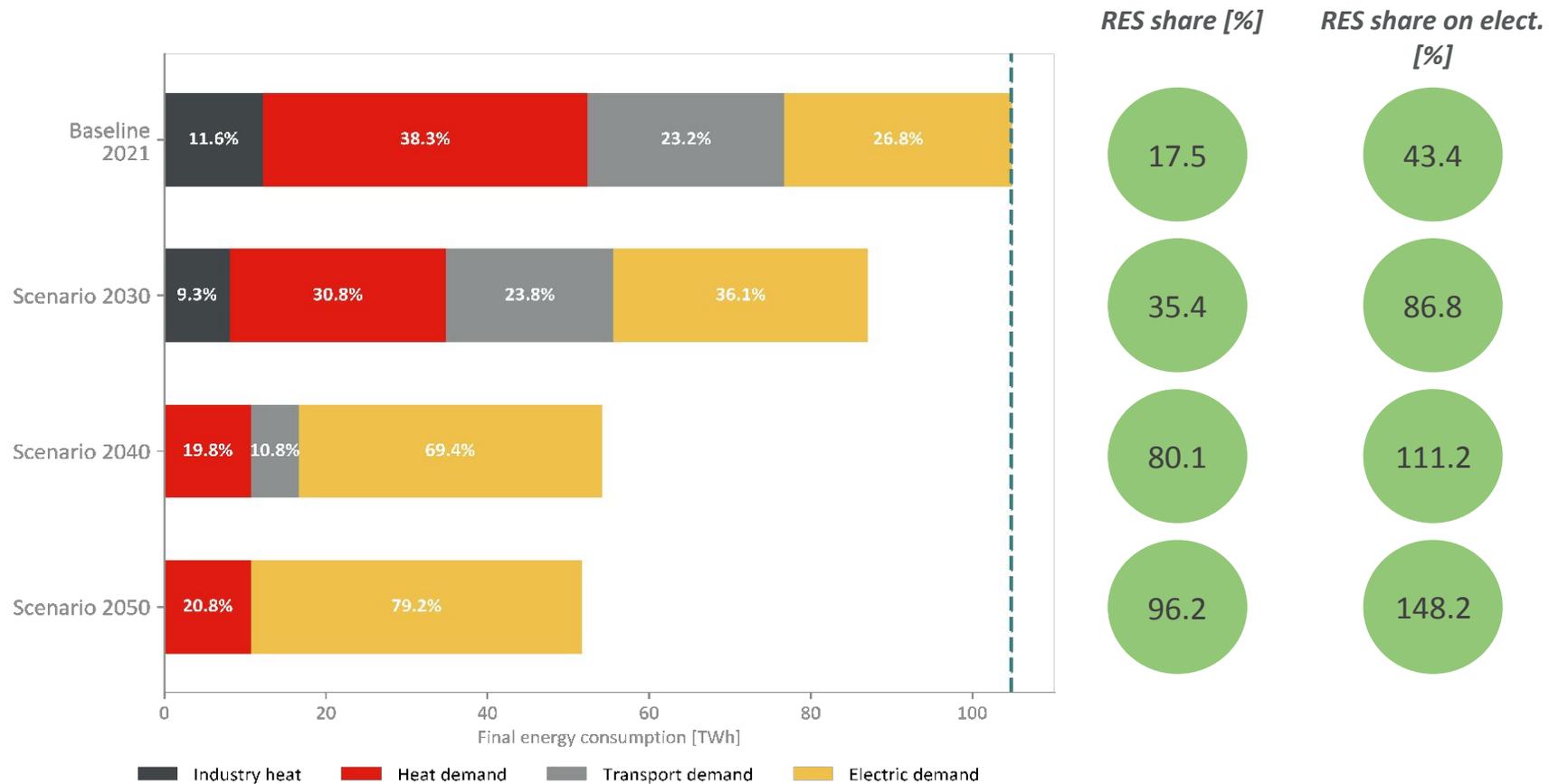
Risultati – Scenario 2, caso A

Consumo finale di energia: Il **consumo finale complessivo di energia diminuisce** nei tre scenari. Questo è dovuto alle misure di efficienza energetica nei settori dell'edilizia e dell'industria e all'elettrificazione dei veicoli.



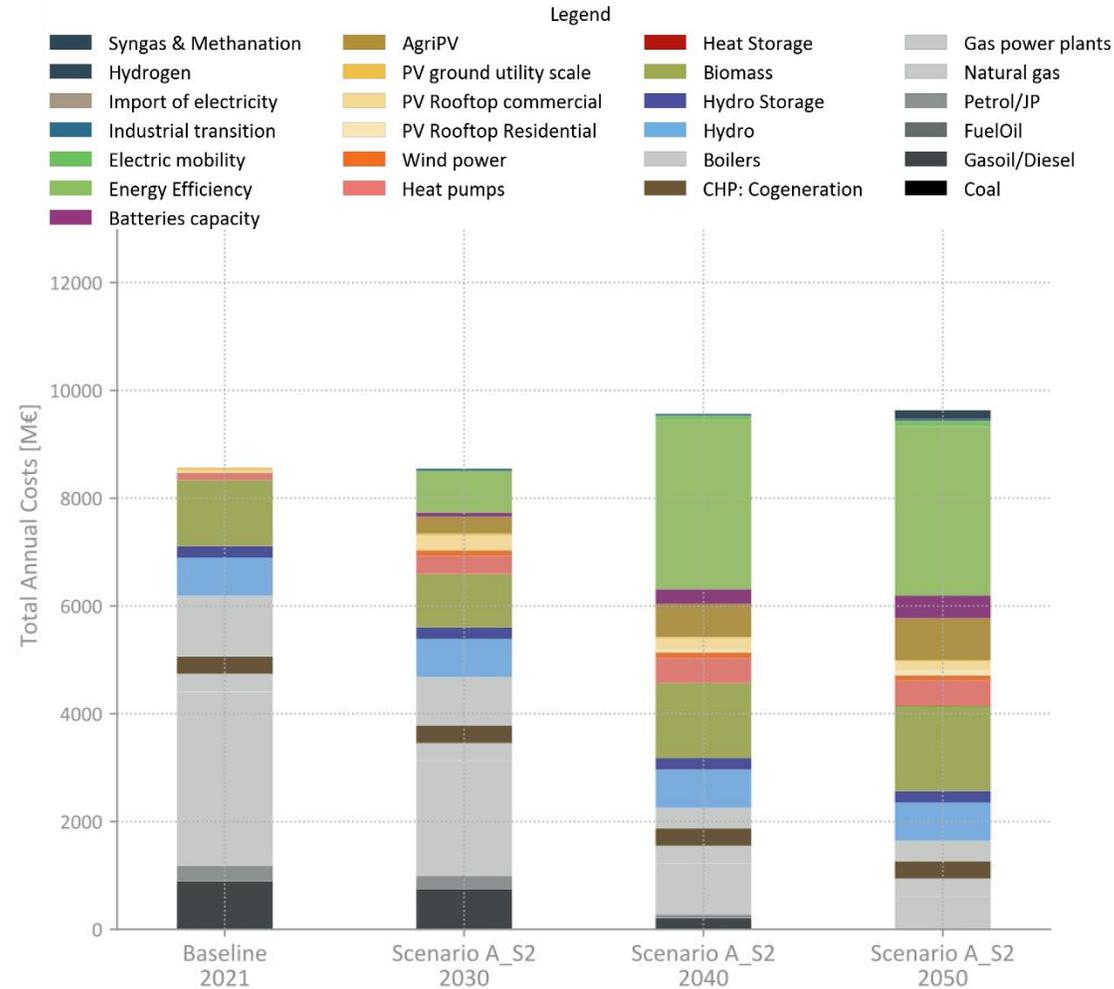
Risultati – Scenario 2, caso B

Consumo finale di energia: Il **consumo finale complessivo di energia diminuisce** nei tre scenari. Questo è dovuto alle misure di efficienza energetica nei settori dell'edilizia e dell'industria e all'elettrificazione dei veicoli.



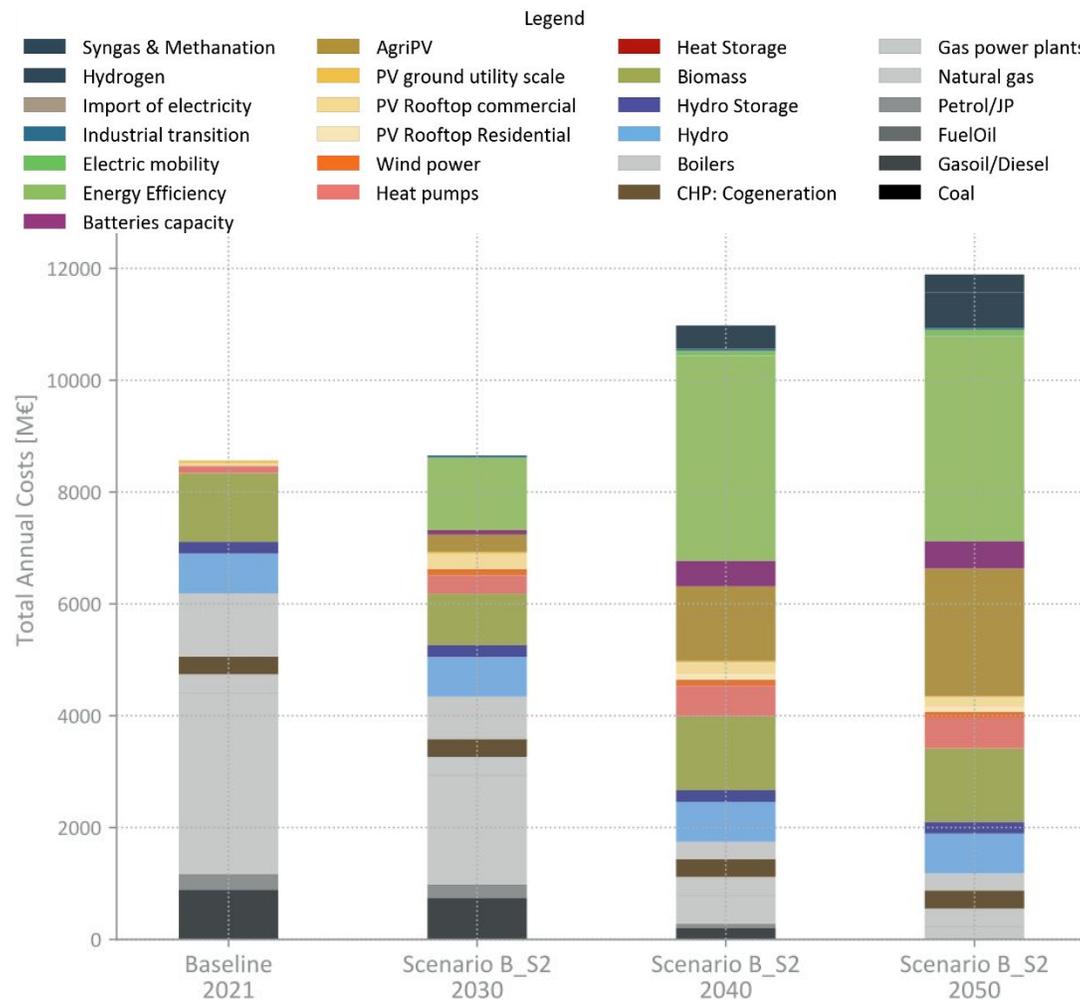
Risultati – Scenario 2, caso A

Ripartizione dei costi: **Costi decrescenti** per i combustibili fossili e **costi crescenti** per l'efficienza energetica negli edifici, le pompe di calore, il fotovoltaico, l'elettromobilità, la transizione industriale e l'idrogeno.



Risultati – Scenario 2, caso B

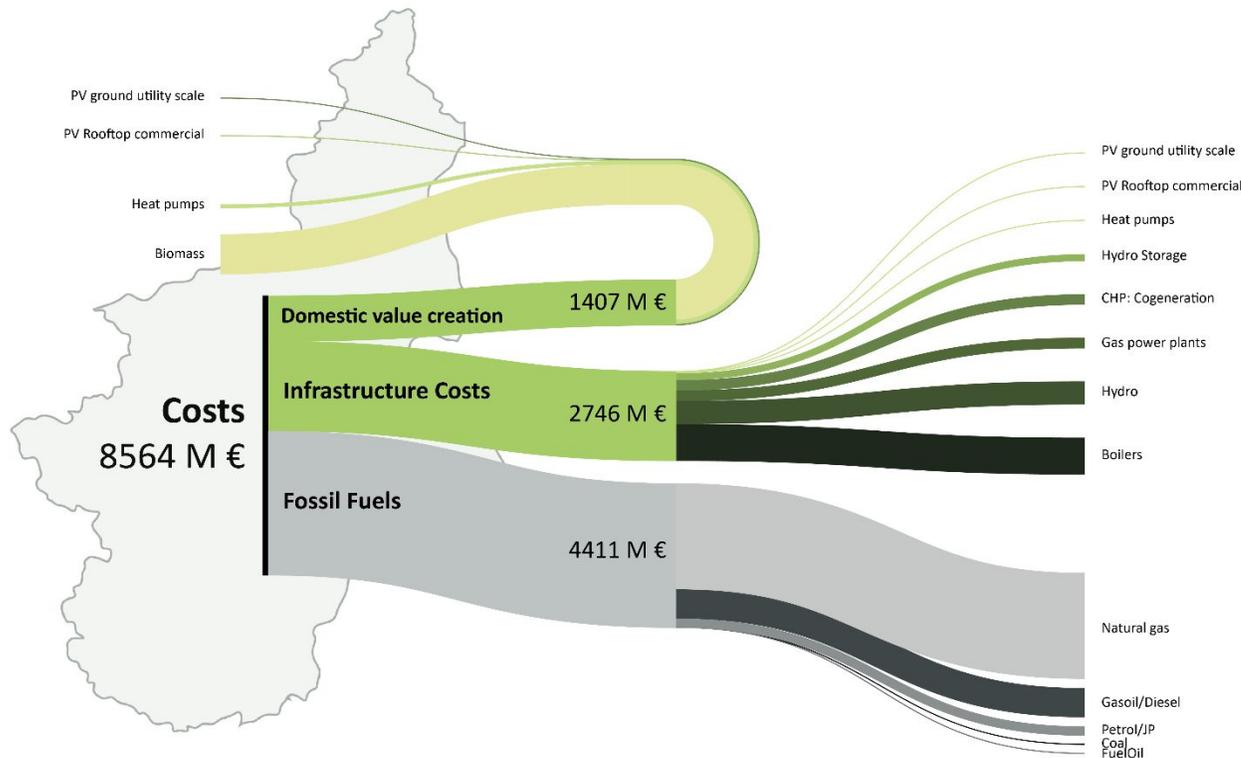
Ripartizione dei costi: **Costi decrescenti** per i combustibili fossili e **costi crescenti** per l'efficienza energetica negli edifici, le pompe di calore, il fotovoltaico, l'elettromobilità, la transizione industriale e l'idrogeno.



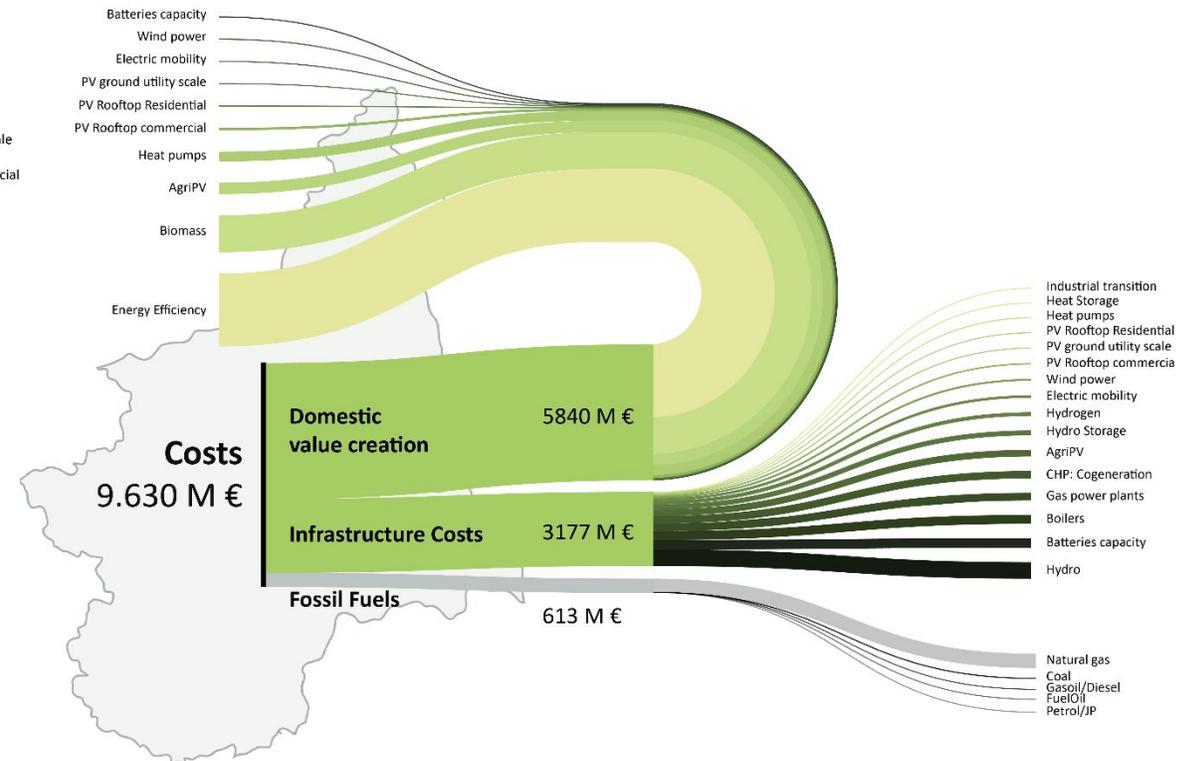
Risultati – Scenario 2, caso A

Analisi dell'impatto economico: Creazione di valore aggiunto locale.

Baseline 2021



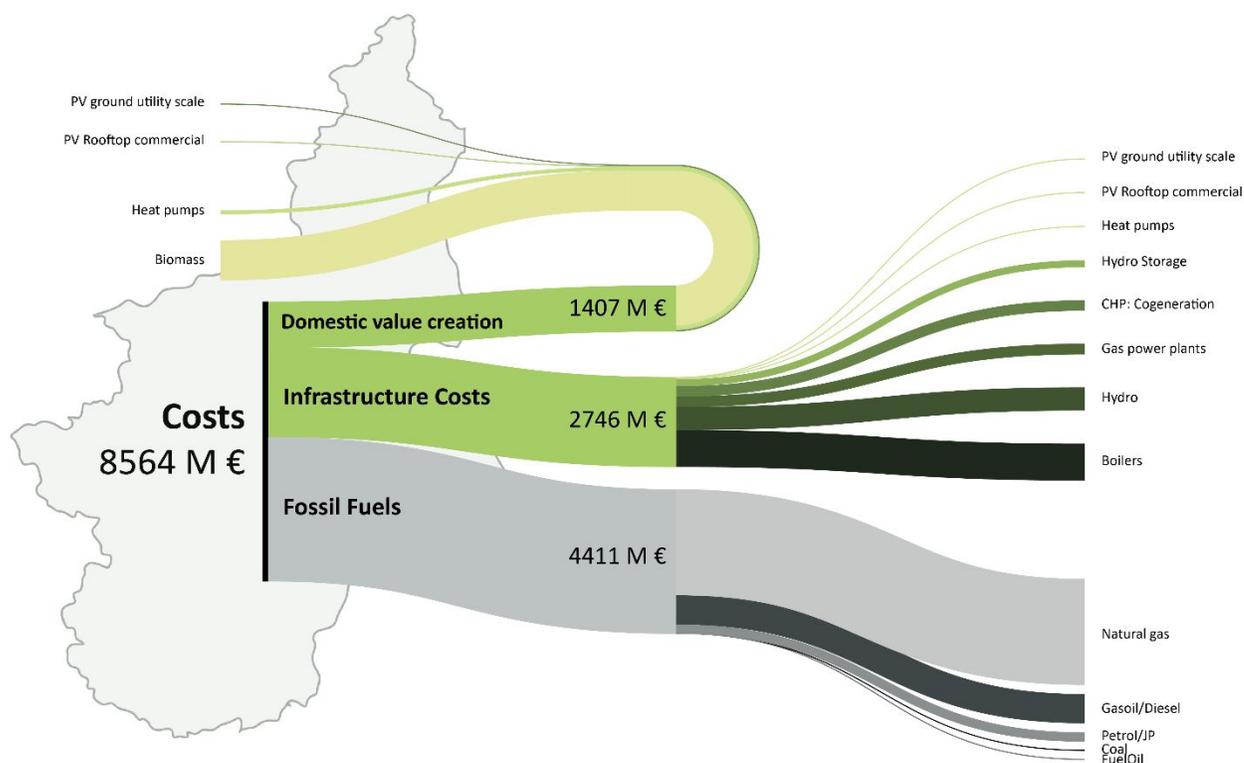
Scenario 2 – caso A, 2050



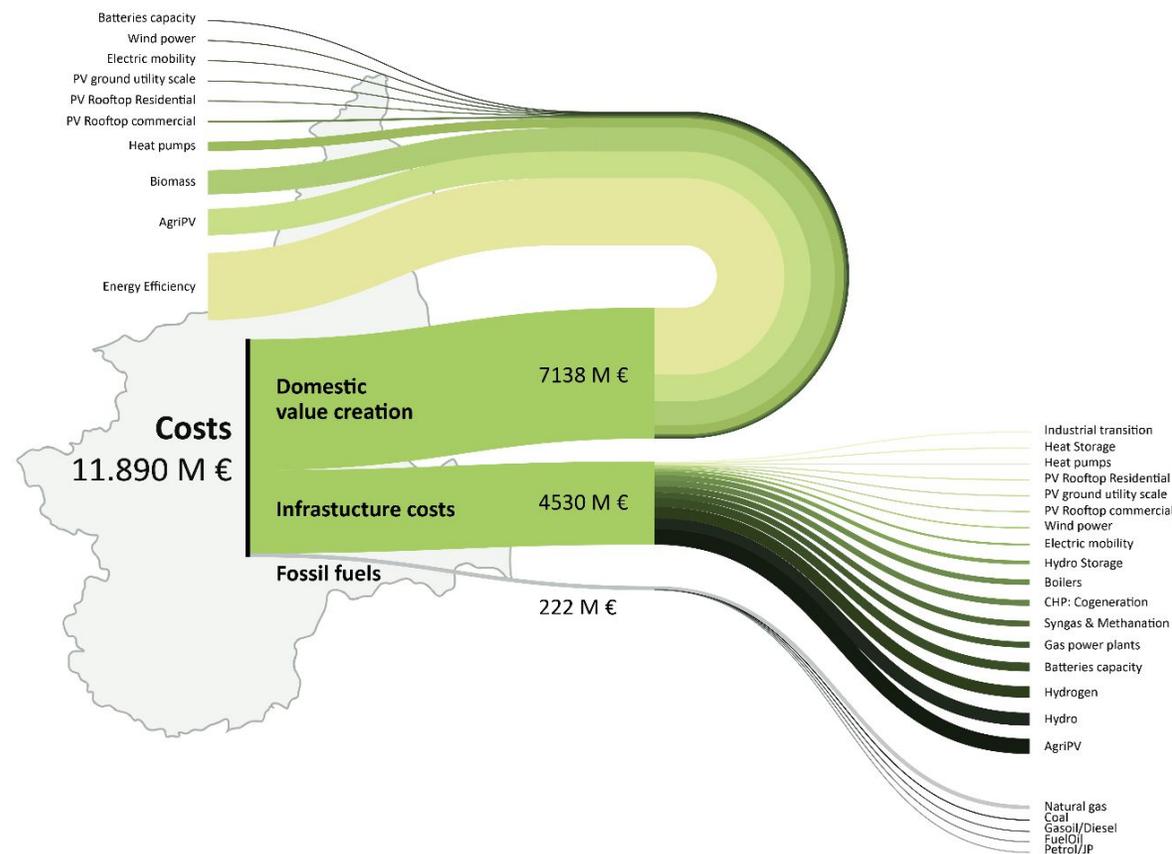
Risultati – Scenario 2, caso B

Analisi dell'impatto economico: Creazione di valore aggiunto locale.

Baseline 2021

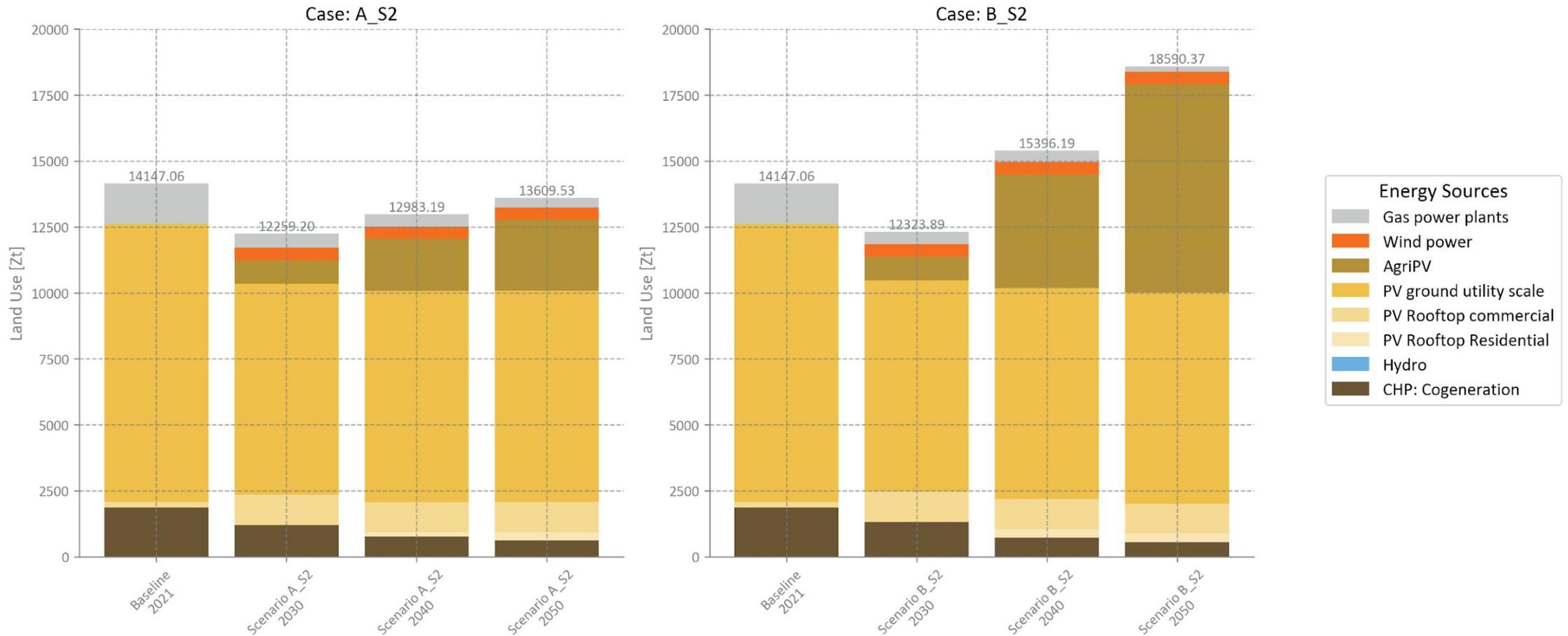


Scenario 2 – caso B, 2050



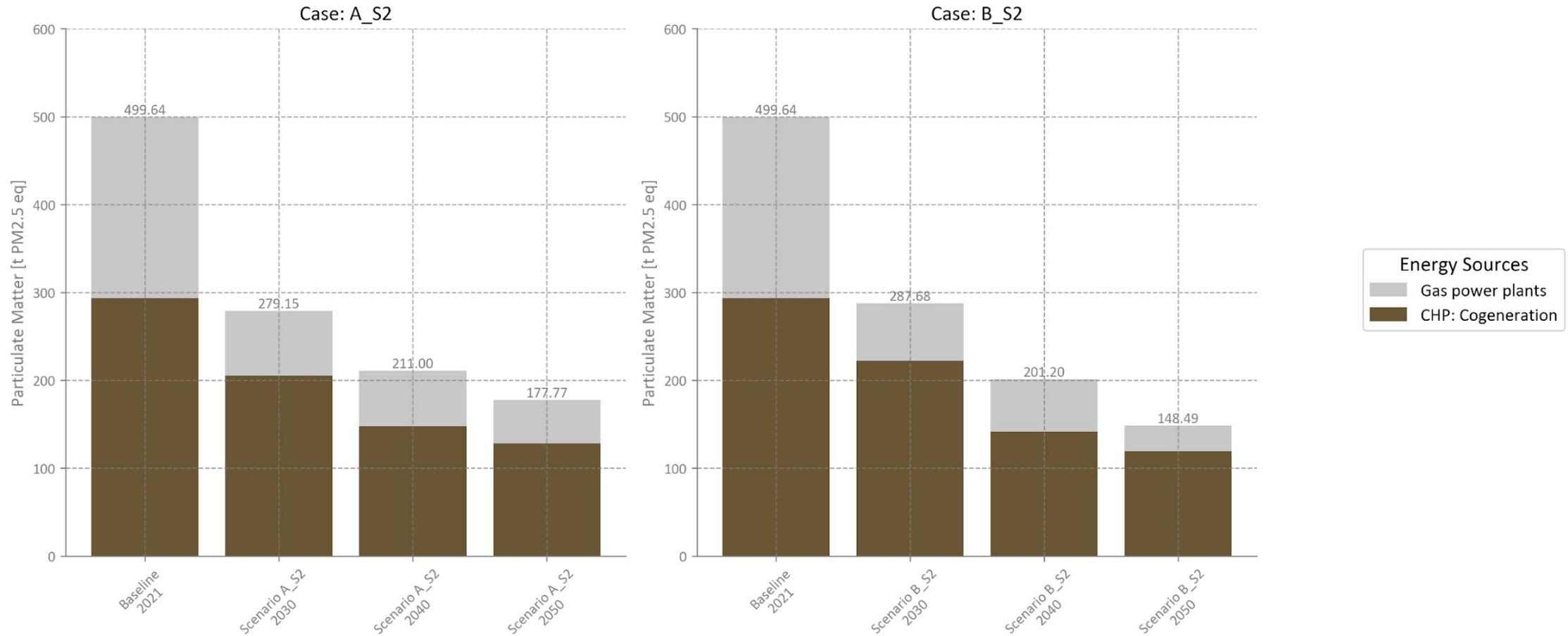
Risultati – Impatto su Uso del suolo

Analisi dell'impatto ambientale



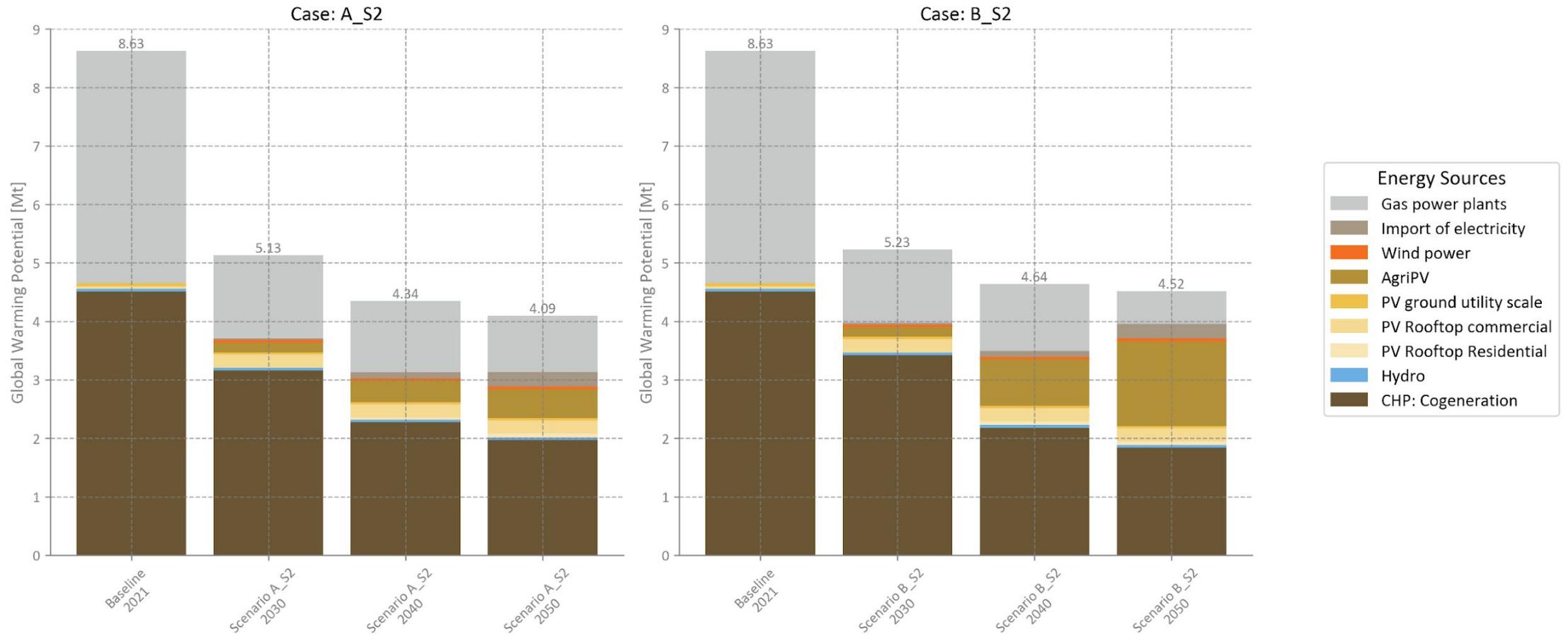
Risultati – Impatto su Emissioni particolato (PM2.5)

Analisi dell'impatto ambientale



Risultati – Impatto su *Global warming potential*

Analisi dell'impatto ambientale



Conclusioni

L'approccio basato sull'**analisi spaziale** applicato per lo studio del **potenziale fotovoltaico** ha permesso di comprendere quale tecnologia debba essere installata e dove per raggiungere la neutralità climatica del sistema energetico regionale.

La stretta **collaborazione** e lo scambio di conoscenze tra **ricercatori** e il settore dell'amministrazione regionale **Sviluppo energetico sostenibile** hanno permesso di:

- acquisire una migliore comprensione del **contesto regionale**, delle **priorità** e dei **vincoli**, consentendo lo sviluppo di **raccomandazioni più mirate e fattibili** per l'implementazione di tecnologie specifiche e la loro distribuzione spaziale e temporale;
- aumentare l'**impatto** del nostro lavoro sulle politiche regionali.

Partecipazione alla **conferenza ECEMP 2024** (*European Climate and Energy Modelling Forum*) + redazione di un **articolo** con i funzionari regionali coinvolti.

Spunti per una proposta progettuale per il bando LIFE CET-LOCAL □ progetto **LIFE PLANtoACT** finanziato, inizio: 1 Ottobre 2025.

Grazie per l'attenzione!

Valentina D'Alonzo, Matteo Prina

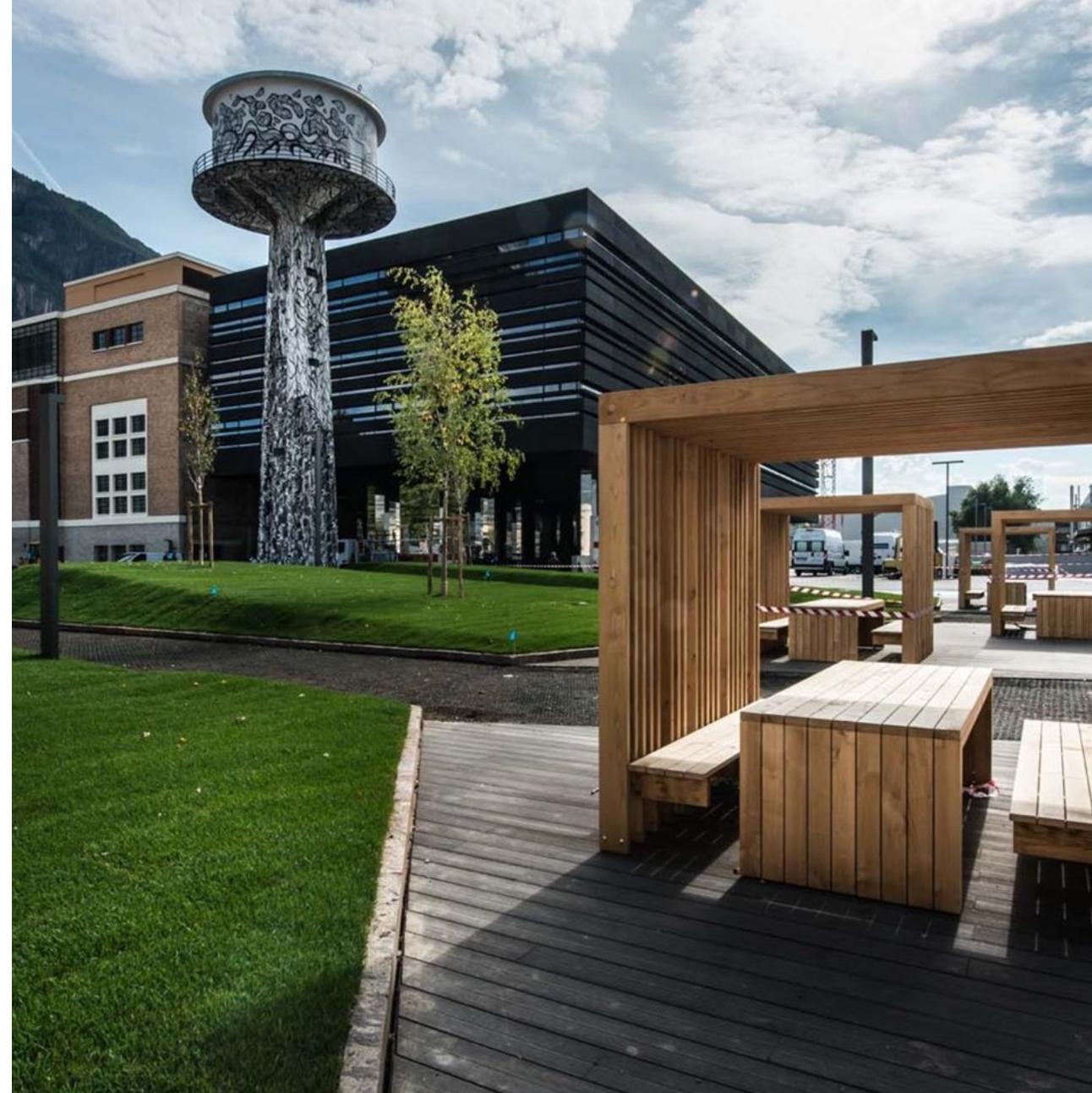
valentina.dalonzo@eurac.edu

matteogiacomo.prina@eurac.edu

Istituto per le Energie Rinnovabili

www.eurac.edu

Follow us!



Credits: NOI Spa - NOI TechPark Bolzano

Dettaglio variabili decisionali

Sector	Type	Name	Unit	Current state	Max potential, scenario S1	Max potential, scenario S2
Power sector	Generation source	Residential Rooftop PV		233.2	12722.8	12722.8
		Non-residential Rooftop PV	MW	1020.8	6739.5	6739.5
		Ground-mounted PV with Single-axis Tracker	MW	537.5	866.9	866.9
		Agrivoltaics	MW	0	17451.9	73013
		Onshore Wind Power	MW	18.8	500	1000
	Balancing & storage	Electric Storage (Lithium-ion Batteries)	GWh	0	100	100
		E-methane for Gas Grid Injection	TWh	0	20	20
		Biomethane for Gas Grid Injection	TWh	0	10	10
		Electrolyzer for Hydrogen Generation	MW	0	20000	20000
	Hydrogen Storage	GWh	0	200	200	
Heating sector	Generation source	Heat Pumps for District Heating	MW_th	0	5000	5000
		Thermal Storage for District Heating	GWh	0	10	10
		Heat Pumps for Individual Heating	%	0	100	100
	Energy refurbishment	Energy efficiency of of individual buildings	%	0	70	70
Industry sector	Generation source	Industrial Heat Pumps for Low-Temperature Processes	%	0	100	100
		Electric Furnaces for High-Temperature Processes	%	0	100	100
		Hydrogen for High-Temperature Industrial Processes	%	0	100	100

Dettaglio analisi potenziale FV

Uso suolo	Sottoclasse	Area idonea [m ²]	Perc. sottoclasse [%]	Scenario 1 (S1)	Scenario 2 (S2)	S1: Riduzione tecnico economica	S2: Riduzione tecnico economica	S1: Area [m ²]	S2: Area [m ²]	Efficienza	Indice di Copertura del Suolo	S1: Potenziale [MW]	S2: Potenziale [MW]
tetto_pubblico	out	4481900	64.59			0.7	0.7	1344570	1344570	0.20	0.5	134.5	134.5
tetto_pubblico	centro	2457000	35.41			0.7	0.7	737100	737100	0.20	0.5	73.7	73.7
tetto_residenziale	out	135133025	74.73			0.7	0.7	40539908	40539908	0.20	1.0	8108.0	8108.0
tetto_residenziale	centro	45700625	25.27			0.7	0.7	13710188	13710188	0.20	1.0	2742.0	2742.0
tetto_residenziale_misto	out	21469450	68.78			0.7	0.7	6440835	6440835	0.20	1.0	1288.2	1288.2
tetto_residenziale_misto	centro	9743525	31.22			0.7	0.7	2923058	2923058	0.20	1.0	584.6	584.6
tetto_capannone	out	69413700	98.25			0.7	0.7	20824110	20824110	0.22	0.5	2290.7	2290.7
tetto_capannone	centro	1239550	1.75			0.7	0.7	371865	371865	0.22	0.5	40.9	40.9
tetto_altro	out	61030450	87.19			0.7	0.7	18309135	18309135	0.20	1.0	3661.8	3661.8
tetto_altro	centro	8965150	12.81			0.7	0.7	2689545	2689545	0.20	1.0	537.9	537.9
agricolo_seminativo	in_solar_altaqualita	1104458975	24.75	si_agripv	si_agripv	0.75	0.75	276114744	276114744	0.15	0.4	16566.9	16566.9
agricolo_seminativo	in_solar	2429875	0.05	si_agripv	si_agripv	0.75	0.75	607469	607469	0.15	0.4	36.4	36.4
agricolo_seminativo	out_solar_altaqualita	3349061925	75.04	no	si_agripv	1	0.75	0	837265481	0.15	0.4	0.0	50235.9
agricolo_seminativo	out_solar	7264100	0.16	no	si_agripv	1	0.75	0	1816025	0.15	0.4	0.0	109.0
agricolo_frutteti	in_solar_altaqualita	26644750	13.35	si_agripv	si_agripv	0.5	0.5	13322375	13322375	0.15	0.4	799.3	799.3
agricolo_frutteti	in_solar	42075	0.02	si_agripv	si_agripv	0.5	0.5	21038	21038	0.15	0.4	1.3	1.3
agricolo_frutteti	out_solar_altaqualita	172705275	86.56	no	si_agripv	1	0.5	0	86352638	0.15	0.4	0.0	5181.2
agricolo_frutteti	out_solar	120575	0.06	no	si_agripv	1	0.5	0	60288	0.15	0.4	0.0	3.6
agricolo_altro	in_solar_altaqualita	386425	14.59	si_agripv	si_agripv	0.5	0.5	193213	193213	0.15	0.4	11.6	11.6
agricolo_altro	out_solar_altaqualita	2262225	85.41	no	si_agripv	1	0.5	0	1131113	0.15	0.4	0.0	67.9
parcheggio_piazza_rotatoria	out	14399900	91.37			0.5	0.5	7199950	7199950	0.22	0.5	792.0	792.0
parcheggio_piazza_rotatoria	centro	1360750	8.63			0.5	0.5	680375	680375	0.22	0.5	74.8	74.8
parcheggio_piazza_rotatoria_altr	o	1425	100			0.5	0.5	713	713	0.22	0.5	0.1	0.1
Totale [MW]												37745	93342
Totale [GW]												38	93