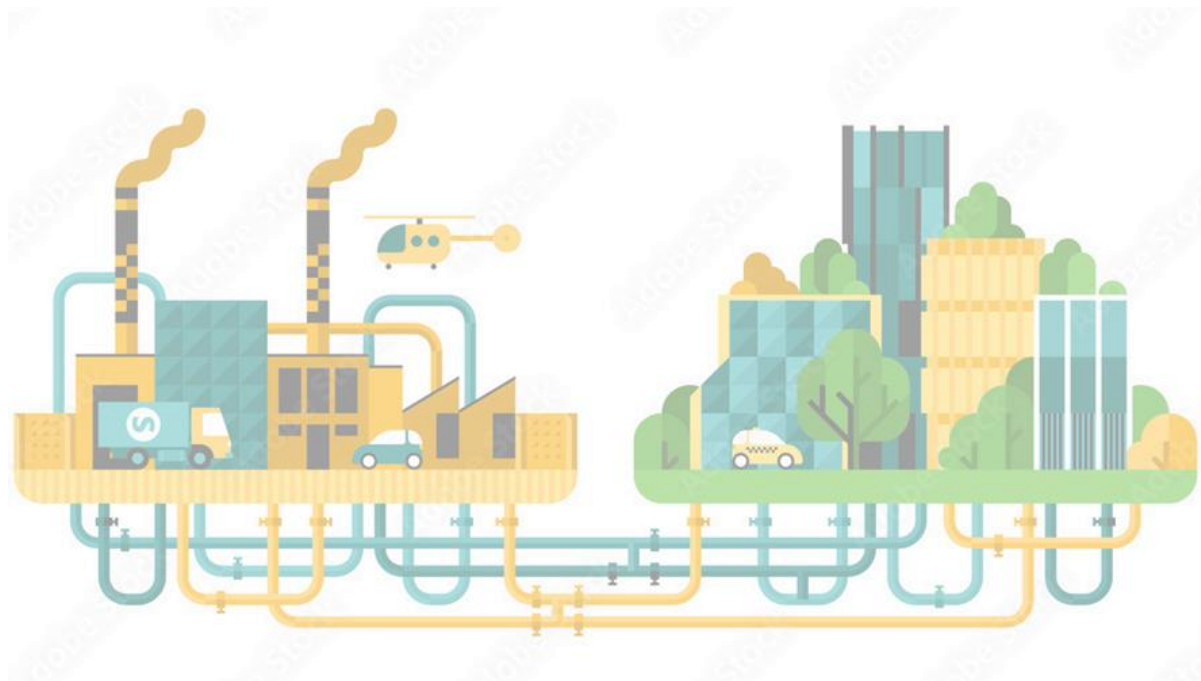




Opportunità per
l'efficienza energetica e la
decarbonizzazione

STATO DELL'ARTE DEL SETTORE INDUSTRIALE



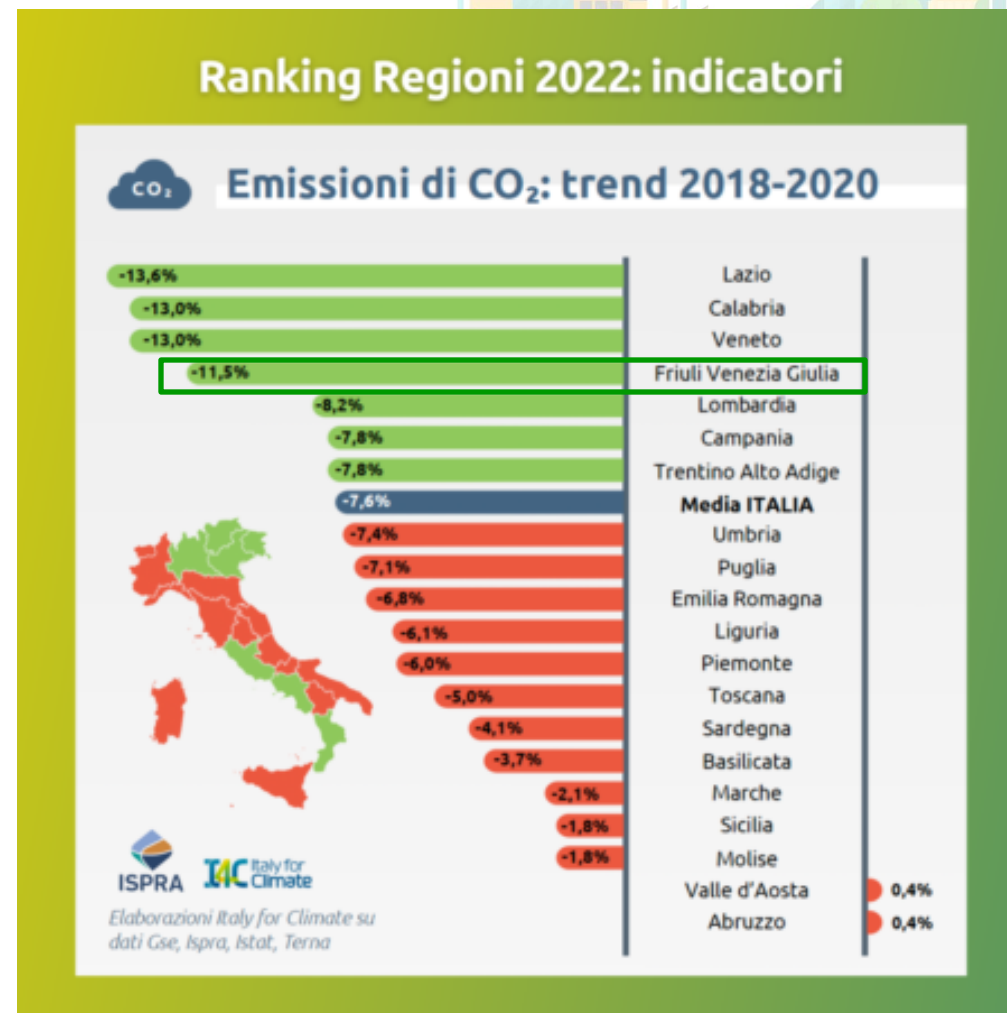
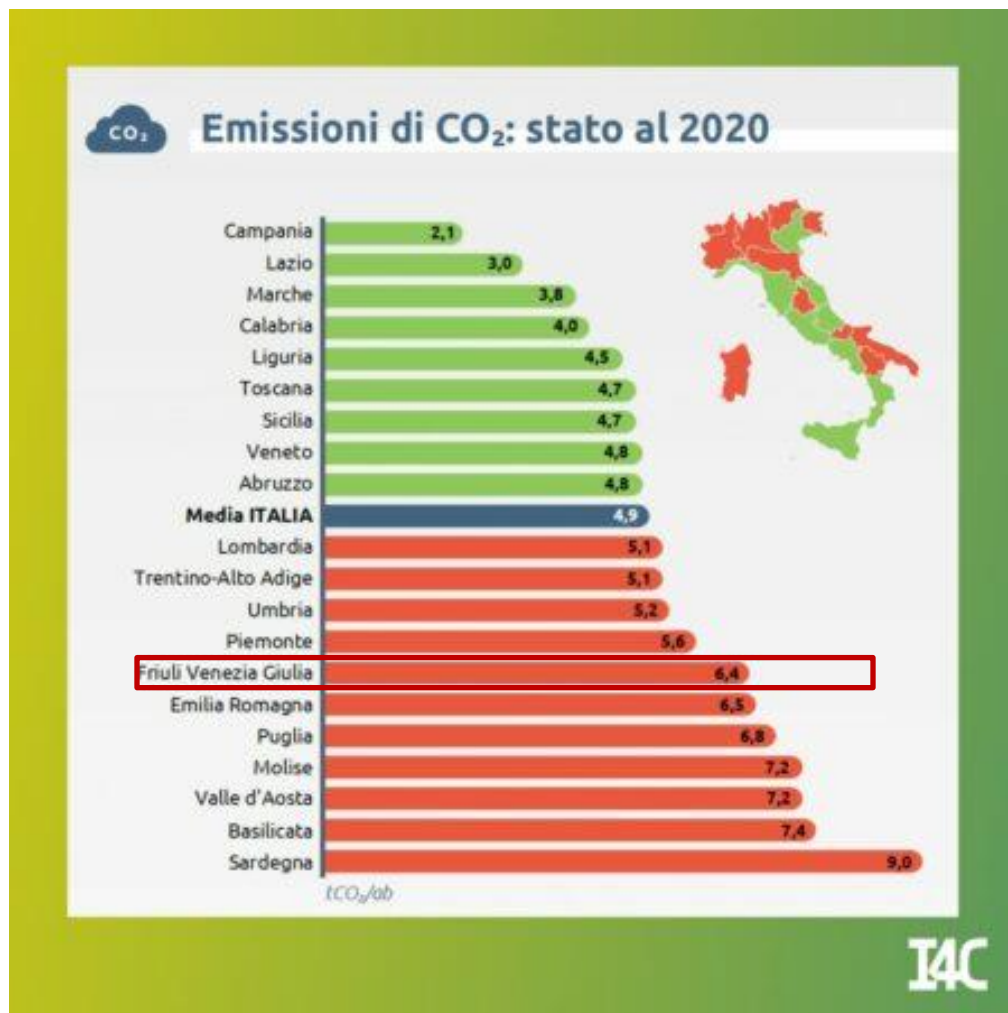
Damiana Chinese

Dipartimento Politecnico di Ingegneria e Architettura
Università di Udine

Piano energetico regionale -Il ruolo dei settori civile e industriale nella transizione energetica

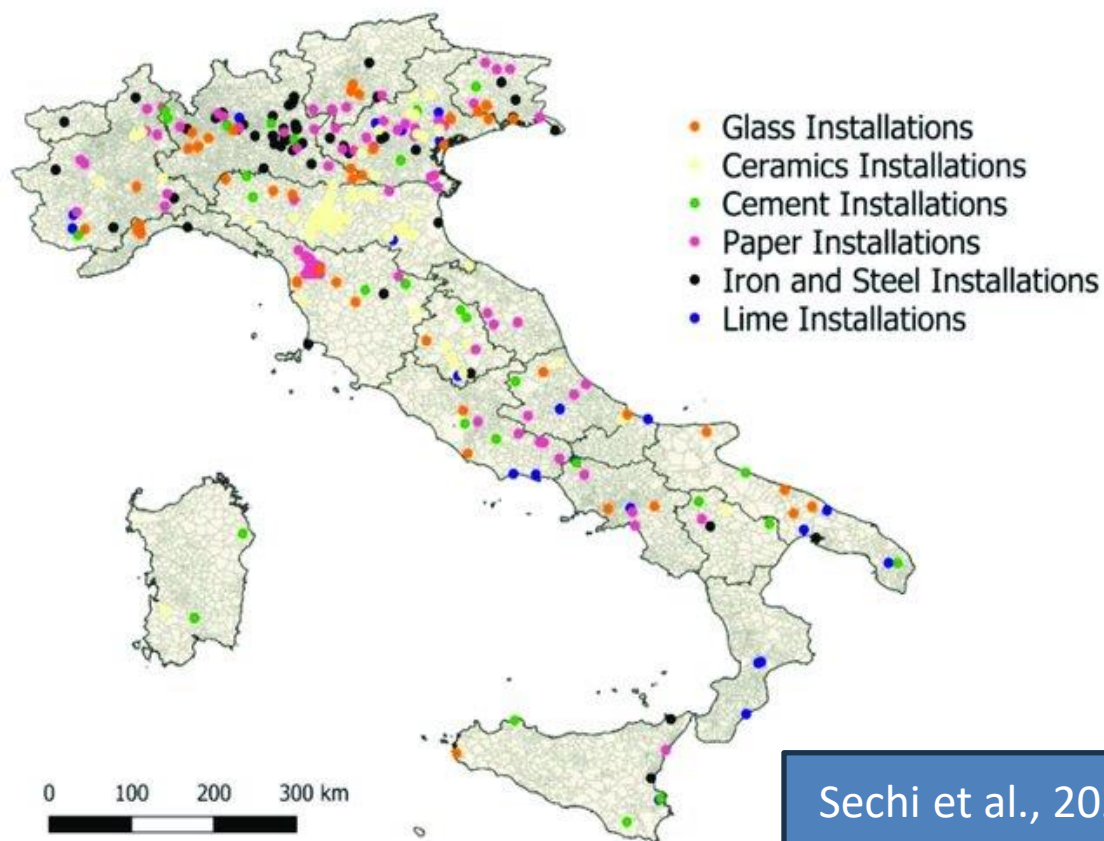
Trieste, 20 settembre 2023

Emissioni di gas serra per regione in Italia



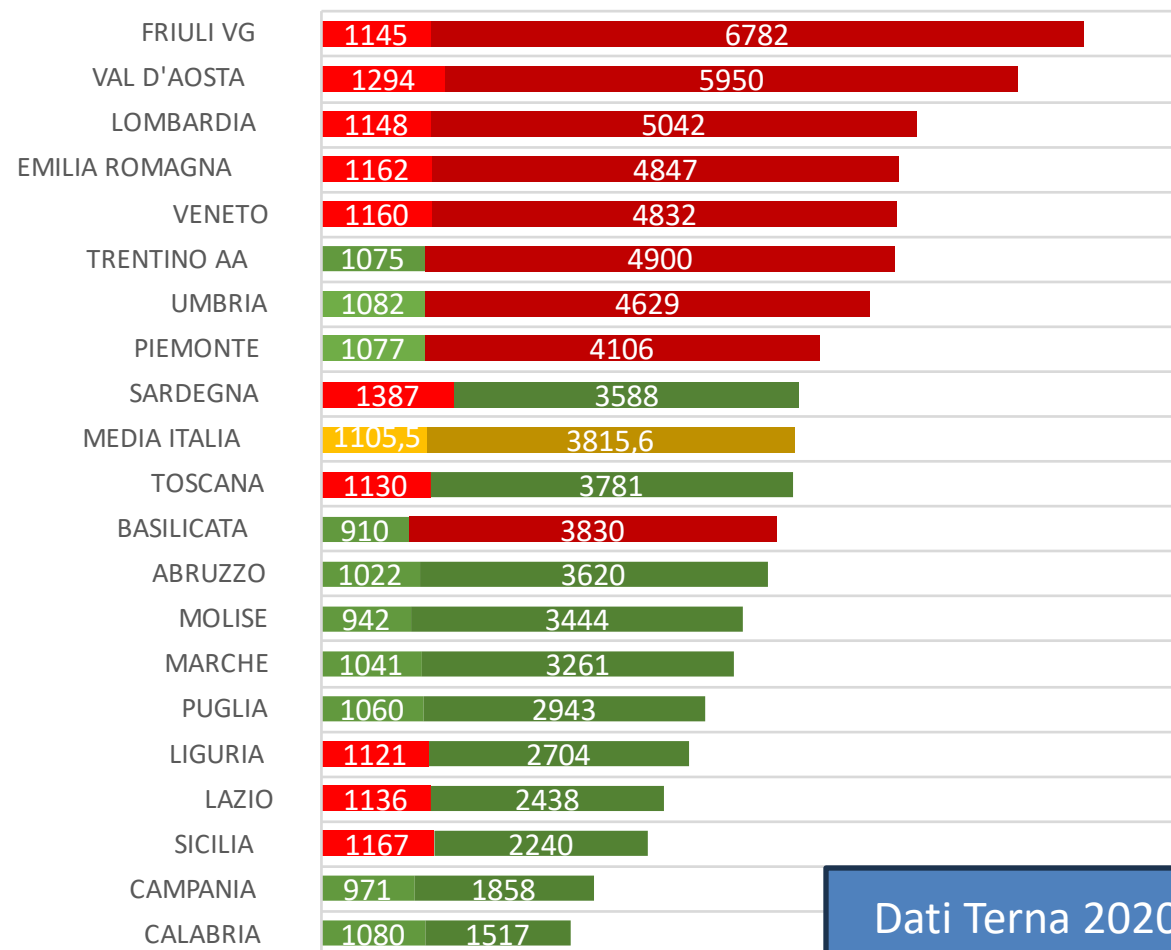
Fonte: Italy4Climate, 2022

Settore manifatturiero e intensità energetica



CONSUMI ELETTRICI PRO CAPITE 2020

■ kWh/ab domestici 2020 ■ kWh/ab non domestici 2020



Settori e aree di intervento

SET Plan Action 6 Implementation Plan – Revision 2021

Heat/cold – generation, upgrade and recovery

Systems

Cement*

Chemicals

Iron and Steel

Pulp and Paper*

*New in 2021

SET: European Strategic Energy Technology Plan per l'accelerazione dello Sviluppo delle tecnologie sostenibili. Action 6: Industrial Energy Efficiency

“The revised Action 6 IP and the IWG have increased in scope since its inception [...] to include emissions reductions as well as energy and resource efficiency to reflect changes in EU policy framework (such as the European Green Deal)”

Decarbonization of industrial sectors – next frontier McKinsey - 2018

Cement

Steel

Chemical → Ammonia

Chemicals → Ethylene

“Decarbonization of industry is technically possible through a combination of technical solutions, the optimum mix of which will vary widely between sectors and regions. ...In many cases decarbonized production processes are currently not cost competitive with conventional production technology”



Energia termica – produzione, upgrade e recupero



Attività

Caratteristiche tecniche

Opportunità/ Campi di applicazione

Barriere/limiti



Upgrading del calore da basse ad alte temperature

Da 50-100°C a 160-250°C, 1-3 MW di potenza termica resa

Recuperi interni
Industria chimica, materie plastiche, alimentare

Commerciali: 160°C
Temperature >: TRL 7 entro il 2025
Prezzo e origine kWh_{el}



Recupero termico per produzione di energia elettrica

T da 100-300°C → piccoli ORC
T > 400°C → CO2 supercritica e stoccaggio calore HT

Potenzialità di uso interno.
Trasversale per tipologie di industrie. Target: 10% calore LT, 20% calore HT.

Costi di investimento
Intermittenza/basso numero di ore
Carnot



Recupero termico per produzione di energia frigorifera

Integrazione di fonti rinnovabili e calore in eccesso come input

Industria alimentare, farmaceutica, in parte siderurgica

Costi di investimento
Bassi COP



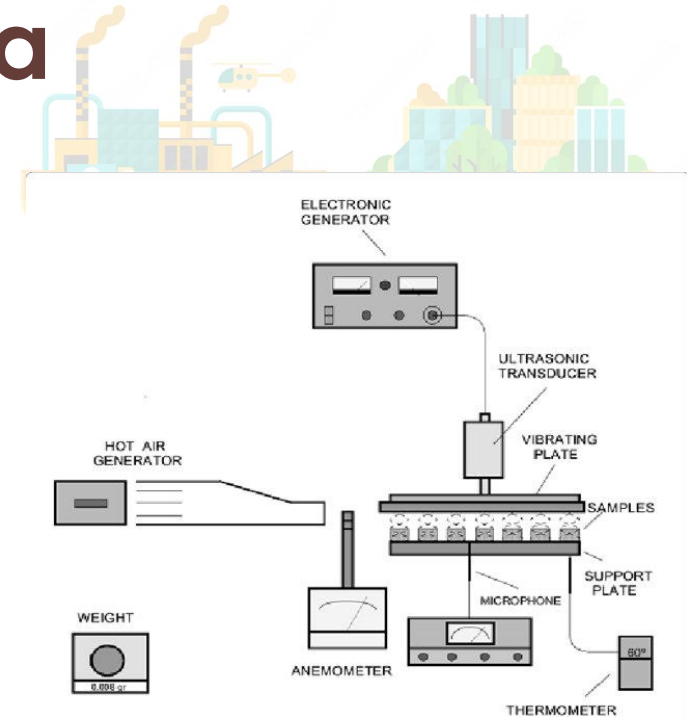
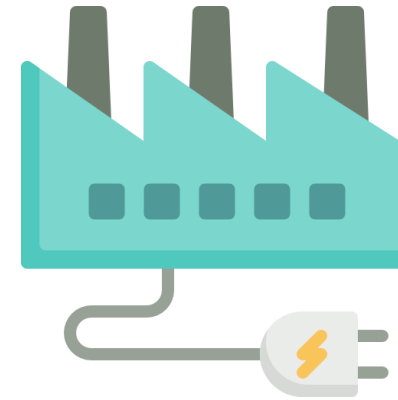
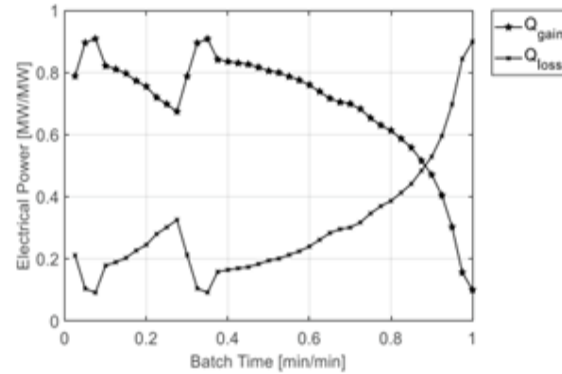
Poligenerazione (energia elettrica, calore e energia frigorifera) e integrazione del calore da fonti rinnovabili

Cogenerazione avanzata compatta per produzione simultanea di fluidi termovettori a vari livelli di T e p.

Commerciali, trasversali

Efficienza e performance in termini di emissioni CO2 rispetto al mix energetico alternativo

Integrazione – opportunità di sistema



Digitalizzazione della gestione di impianto e di processo

Esempio: Digital Twin EAF Acciai Speciali Terni
Risparmi 2-5%
[Hernandez et al., 2022]

Digitalizzazione per la progettazione con integrazione funzionalità LCA sin dalle prime fasi di progetto

Esempio: ANSYS Granta Eco-audit

Uso di fonti energetiche non convenzionali per favorire l'utilizzo di fonti rinnovabili (elettrificazione)

Esempi: ultrasuoni [essiccazione alimentare: Riera et al., 2021], microonde, plasma, laser

Cattura e utilizzo della CO₂ in processi industriali

Esempi: Mineralizzazione, e-fuels, Fermentazione di etanolo assistita da CO ArcelorMittal and LanzaTech Global, Ghent (B)

Integrazione - simbiosi industriale e urbana

La simbiosi prevede lo scambio di flussi:

→ Di **energia** (elettricità, calore, combustibili)

→ Di **materiali** (rifiuti, scorie, sottoprodotti)

Tra:

- uno o più siti o settori produttivi

(*simbiosi industriale*)

- un sito produttivo e una città o area urbana

(*simbiosi urbana*)

Opportunità/Benefici

Crescita modulare

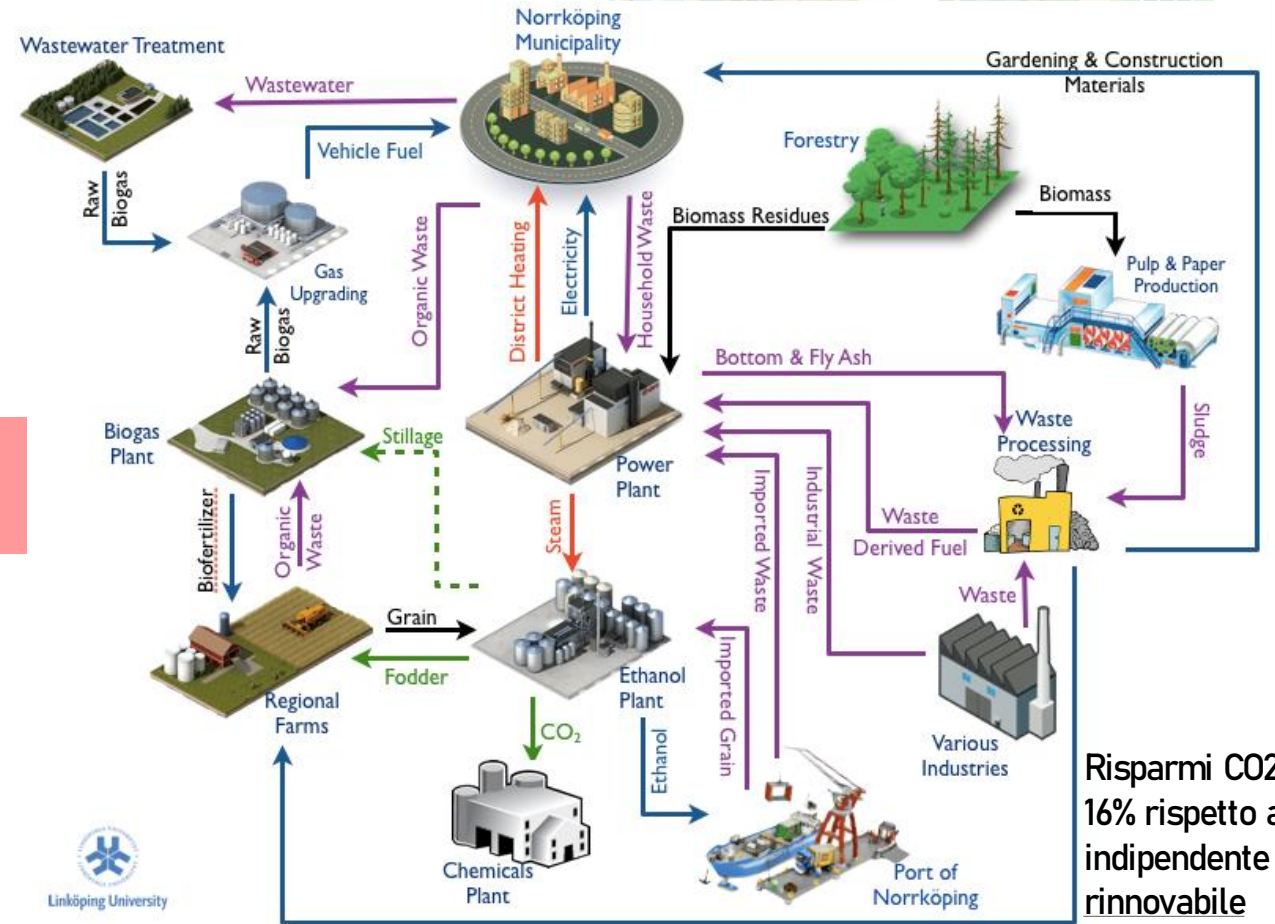
Riduzione consistente emissioni e consumo risorse

Teleriscaldamento: potenzialità di sostituire il gas naturale con un impianto semplice e compatibile con esistente

Limiti/Barriere

Fattori abilitanti: Fiducia, contratti a lungo termine, proprietà condivisa, performance economica, vincoli normativi

Teleriscaldamento: CAPEX vs. ore di funzionamento in contesto di efficientamento e cambiamento climatico. Monopolio naturale.



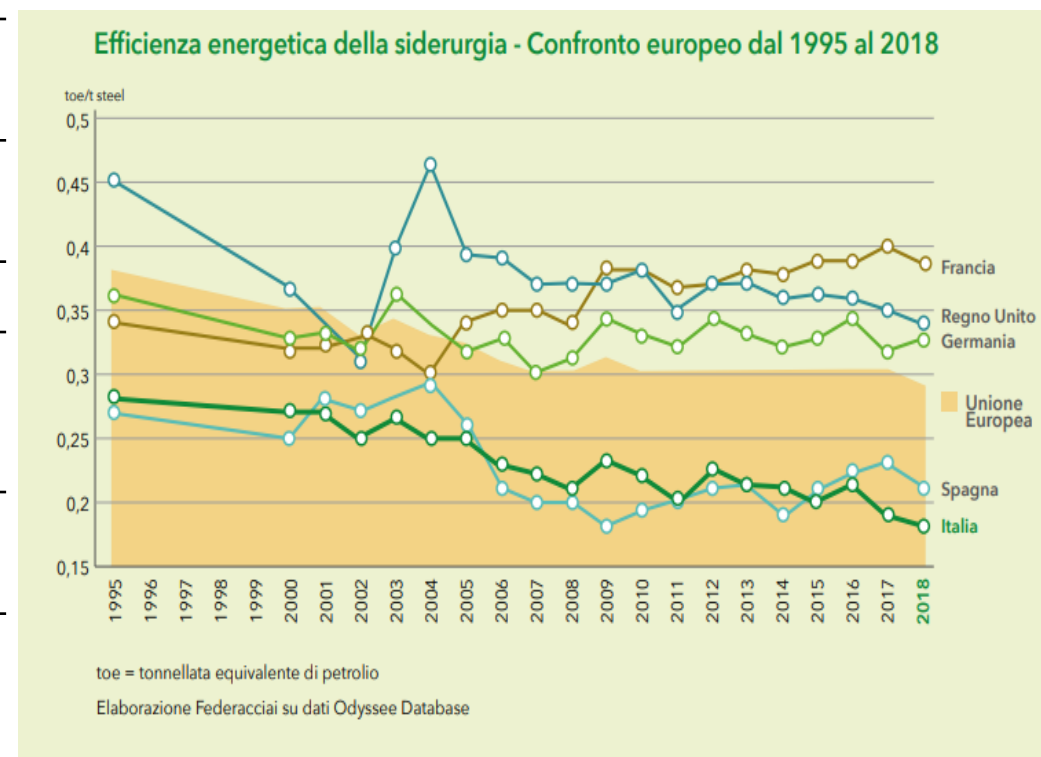
Risparmi CO₂:
16% rispetto a
indipendente
rinnovabile

Esempio: Norrköping Industrial Symbiosis Network
Città portuale Svezia Meridionale, 130000 ab.

Siderurgia

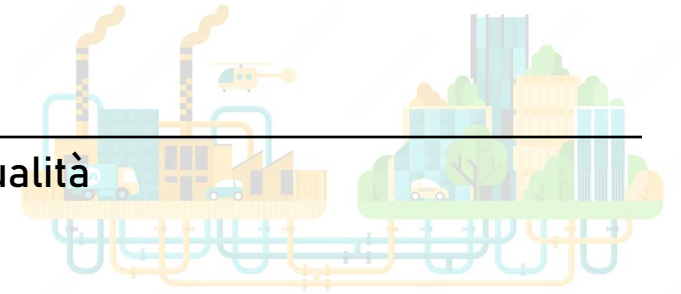


Fonte	Soluzioni/Esempi proposti	Campo di applicazione/sostituzione
SET Plan Action 6 Implementation Plan, 2021	DRI – Riduzione diretta minerale con idrogeno	BF/BOF
	DRI – Riduzione diretta minerale con elettricità	BF/BOF
	HISarna (riduzione per fusione)	BF/BOF
Mc Kinsey, 2018	Cattura e utilizzo CO2 da fumi	BF/BOF EAF? (scala, concentrazioni)
	Economia circolare: uso scorie, incremento %rottame	BF/BOF EAF
	Biochar al posto di carbone Biogas/biometano al posto di gas naturale	BF/BOF, EAF



Fonte: Federacciai, 2021

Siderurgia



Trattamento e valorizzazione del rottame di bassa qualità
Simbiosi industriale

Uso di biochar in sostituzione del carbone

Sostituzione polveri di carbone?

Direct carbon avoidance/elettricità rinnovabile

ESTEP WORKSHOP
«Green Steel by EAF»
2019

Recupero termico calore sensibile da off-gas (25% perdite EAF)

- produzione interna vapore
- teleriscaldamento (simbiosi)
- produzione di elettricità

EAF

Recupero termico da scoria ferrosa in fase di solidificazione

Technology process	Direct CO ₂ (t)/ Crude steel (t)	Direct and Indirect* CO ₂ / ton of crude steel	Energy Consumption (GJ/t)		Share of global steel production (%)
			International Energy Agency	Worldsteel**	
BF-BOF	1.2	2.2	21.4	22.7	73.2
DRI-EAF	1.0	1.4	17.1	21.8	4.8
Scrap-EAF	0.04	0.3	2.1	5.2	21.5

Source: IEA, World Steel Association, IEEFA calculation

6.9 media Italiana (3.3 da elettricità)
Sechi et al. 2022

Cemento



Attività

Obiettivi

Barriere/limiti



Efficienza nell'uso delle risorse: sostituzione del clinker e riciclaggio cemento

Più del 50% delle emissioni deriva dalle reazioni di calcinazione. Evitabile solo sostituendo clinker Portland con altri materiali

Destinati comunque a restare un mercato di nicchia (oggi 2% obiettivo 5%)



Efficienza nell'uso delle risorse: uso combustibili alternativi

Sostituzione del 60% del combustibile con combustibili alternativi (30% biomassa residuale) entro il 2030 (attualmente in EU: 48%)

Disponibilità materia prima
Vincoli di legge
Accettabilità sociale



Efficienza energetica

Incremento 4% efficienza termica
Recupero termico per elettricità
Uso riscaldatori elettrici

Uso del calore recuperato



Cattura e utilizzo CO2

Prototipi

Consumo energetico, utilizzo

Benchmark EU: 0.693 tCO2eq/t clinker

Fonte: SET Plan Action 6, McKinsey

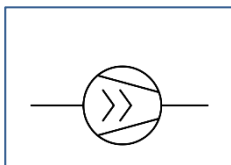
Carta

Attività

TRL

Opportunità/ Campi di applicazione

Barriere/limiti



Ricompressione meccanica del vapore e nuovi processi di essiccazione, fino a waterless papermaking

3

Sostituzione energia termica con energia elettrica
Risparmi stimati fino al 40% sul consumo energetico totale

Costo e origine energia elettrica
Efficienza CHP di alimentazione?



Ottimizzazione di processo ed elettrificazione

2-6

Controllo avanzato di processo, machine learning, accumulo di calore e demand side management

Costi di investimento
Intermittenza/basso numero di ore
Carnot



Bioraffineria per sottoprodotti ad alto contenuto di lignina

4

Fase di pulping.

I risparmi riguardano altri attori della filiera



Uso di fonti rinnovabili e incremento utilizzo bioenergia

5-7





Trasversali

Efficienza e performance in termini di emissioni CO2 rispetto al mix energetico alternativo

Benchmark EU: 0.254 tCO₂eq/t prodotto essiccato.
Attuale italiano: 0.4 tCO₂eq/t (Sechi et al., 2022)

Fonte: SET Plan Action 6

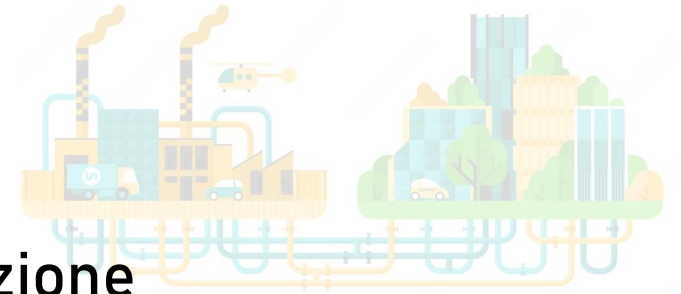
Vetro

	Attività	Caratteristiche tecniche	Opportunità/ Campi di applicazione	Barriere/limiti
	Recupero termico	Per preriscaldamento materia prima, combustibili, ossigeno. Teleriscaldamento	Risparmio combustibile 12-18%	Prevalentemente per vetro cavo
	Recupero termico per produzione di energia elettrica	ORC, Turbine a vapore, TEG (Effetto Seebeck)	ORC ha le migliori caratteristiche di costo/manutenibilità/range di temperature	CAPEX elevati, rendimenti bassi, payback lungo
	Efficientamento/intensificazione di processo	Electric boosting o fusione ibrida più controllo avanzato di processo	Tempi di recupero promettenti	Know how, costo e origine kWhel
	Uso combustibili alternativi	Sostituzione con e-fuels, Biogas, Elettricità (elettrodi sommersi), idrogeno	Bassi costi di manutenzione e mercato esistente	Disponibilità limitata di fonti rinnovabili, carico reti elettriche, costo e efficienza e-fuels, fiamma diversa, non per ogni tipo di vetro

Benchmark EU: 0.237 tCO₂eq/t vetro cavo colorato fino a 0.399 tCO₂/t vetro piano. Attuale italiano: 0.54 tCO₂eq/t vetro piano, 0.386 tCO₂eq/t vetro cavo (Sechi et al., 2022)

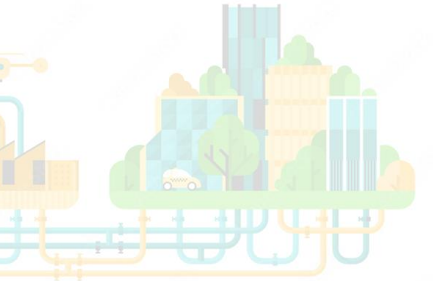
Fonte: Zier et al., 2021

Conclusioni



- Green deal: efficientamento energetico → decarbonizzazione
- Investimenti concentrati in tecnologie innovative per settori energy intensive o investimenti diffusi in tecnologie mature per i settori meno intensivi?
- Settori *hard-to-abate*:
 - Risparmiare energia elettrica → digitalizzazione/ottimizzazione di processo
 - Efficientamento energetico = recupero termico
 - Cosa fare con il calore recuperato? Upgrading, accumulo, produzione di energia elettrica, riscaldamento e raffrescamento degli edifici (→condizioni di lavoro estive)
 - Simbiosi = vivere insieme
- *Sector coupling* ovvero elettrificazione: costo, origine e trasporto del kWh e/

Hard-to-abate



*Fornaci di Davaras –
inizio XIX secolo –
Forni di Sopra*

*Roggia del Colvera –
1453
Percorso dell'arte
fabbrile, Maniago*



Aquileia – I-II sec. d.C.



Damiana Chinese –
Dipartimento Politecnico di
Ingegneria e Architettura
Università di Udine
damiana.chinese@uniud.it

