

# Convegno Fabbrica Futuro

Idee e strumenti per l'impresa manifatturiera di domani

Torino, 10 giugno 2015

Soluzioni per l'efficienza energetica e l'uso  
ottimale delle risorse nei processi industriali

M. Masoero

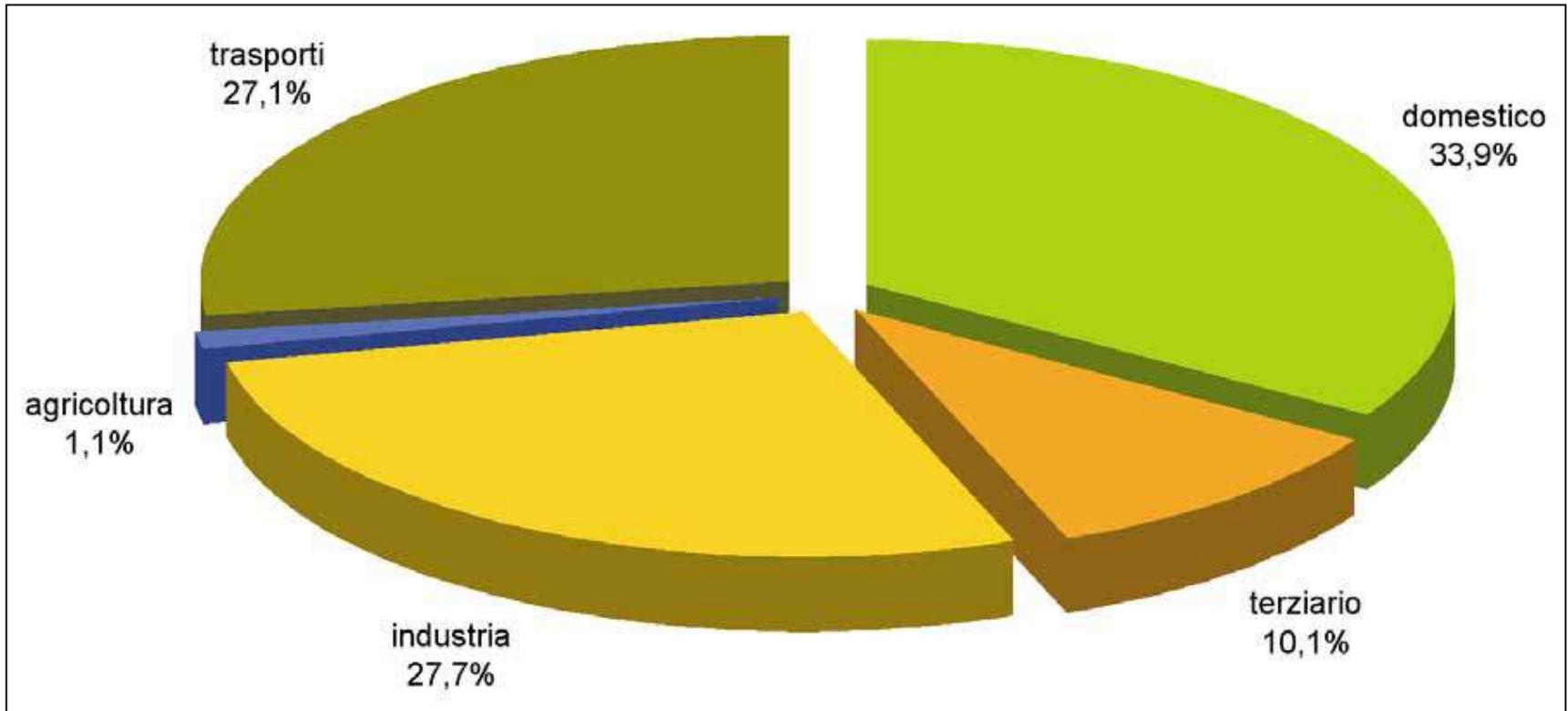
Dipartimento Energia – Politecnico di Torino



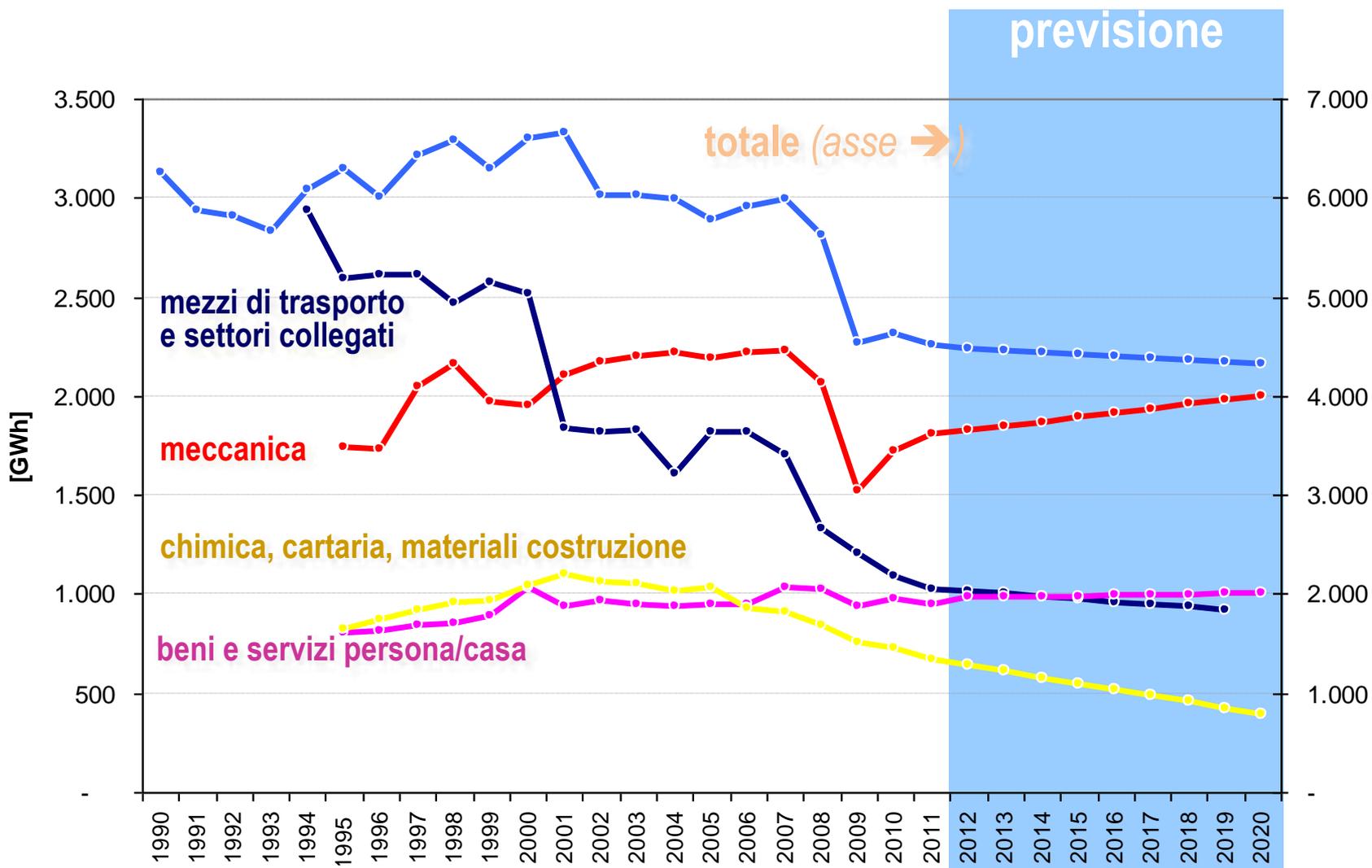
POLITECNICO  
DI TORINO

**Dipartimento Energia**

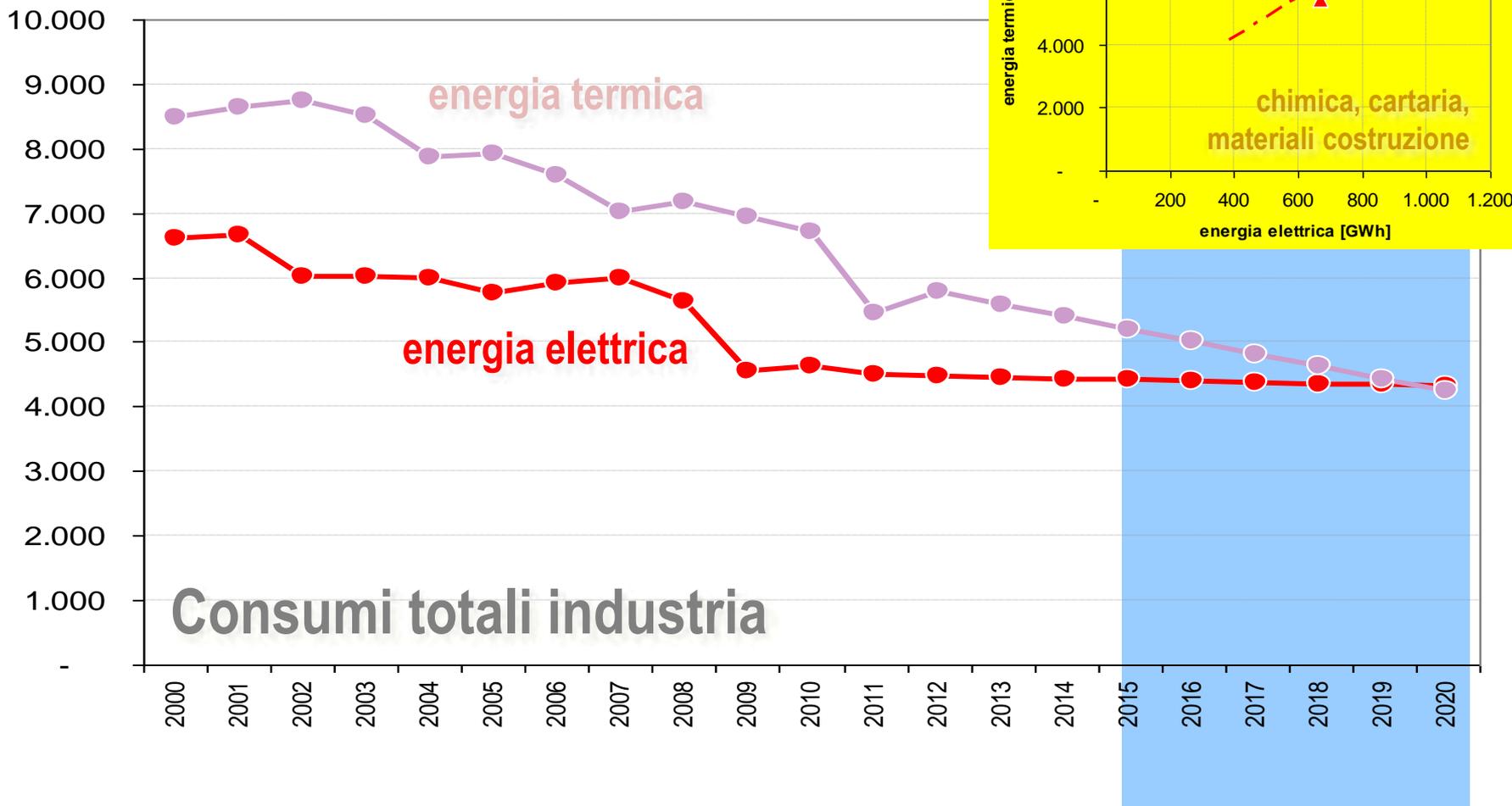
# Bilancio energetico nazionale



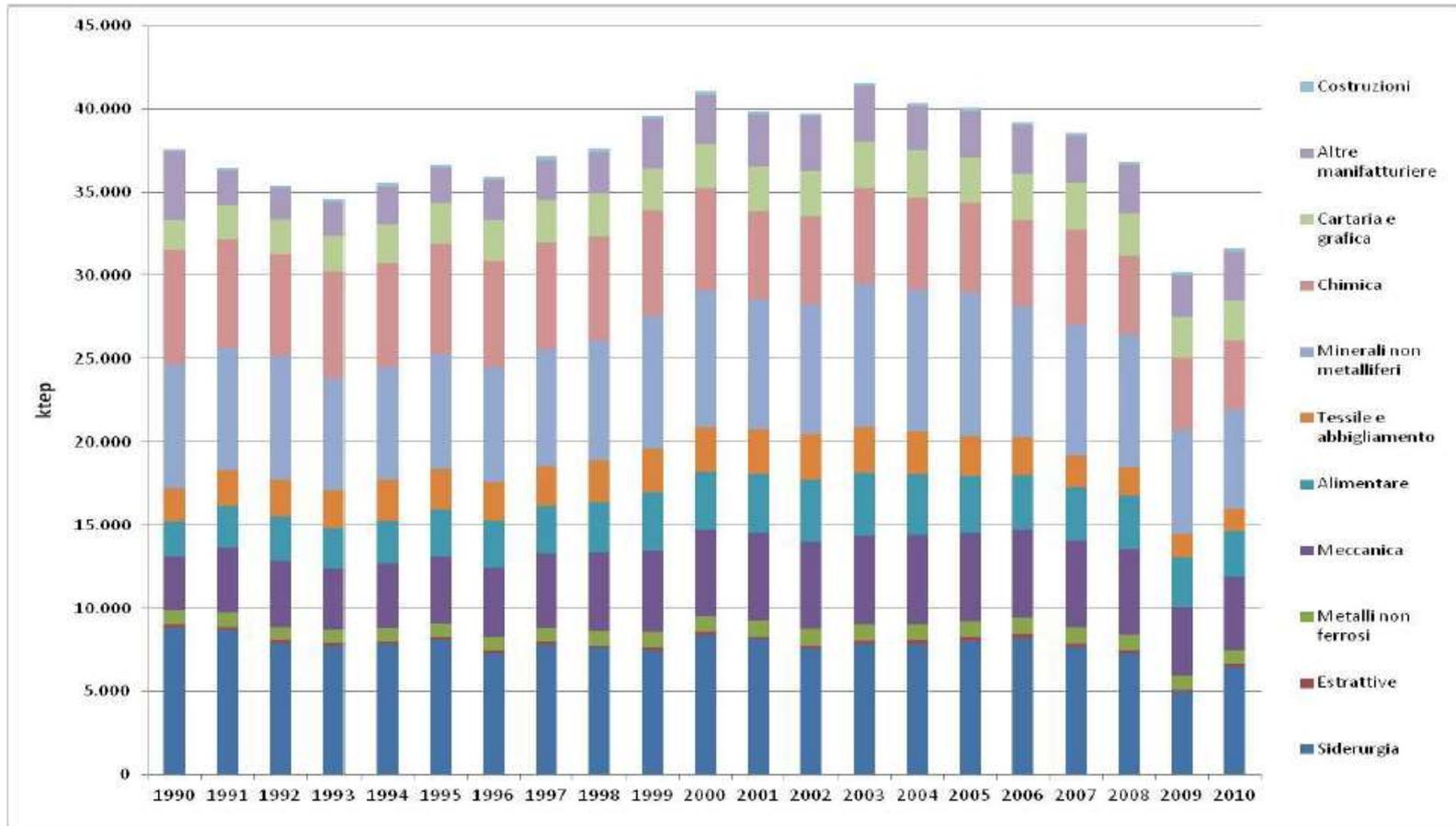
# Usi elettrici finali (Provincia Torino - Industria)



# Consumi termici-elettrici



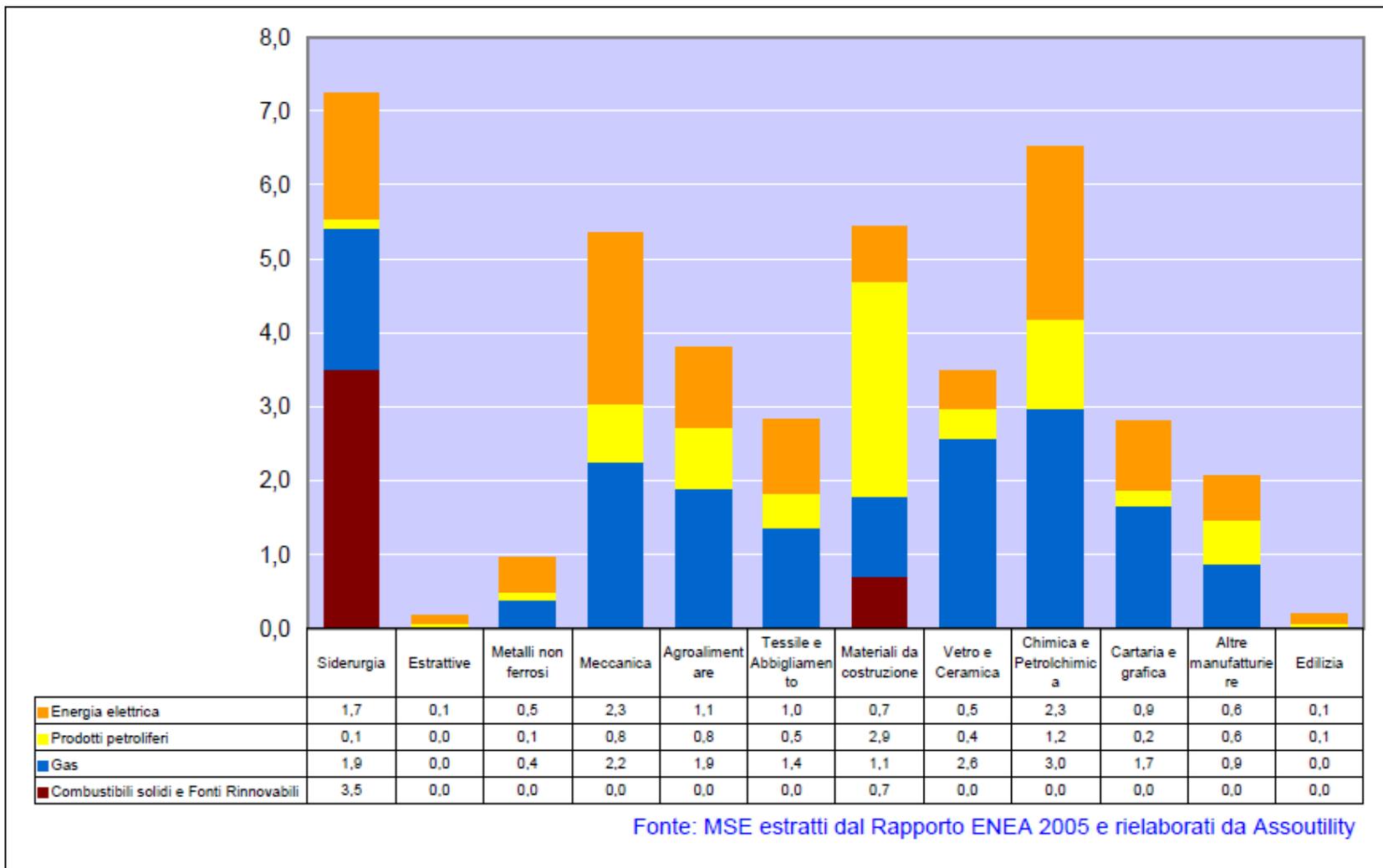
# Consumi totali per settore industriale



Fonte:elaborazione ENEA su dati MSE



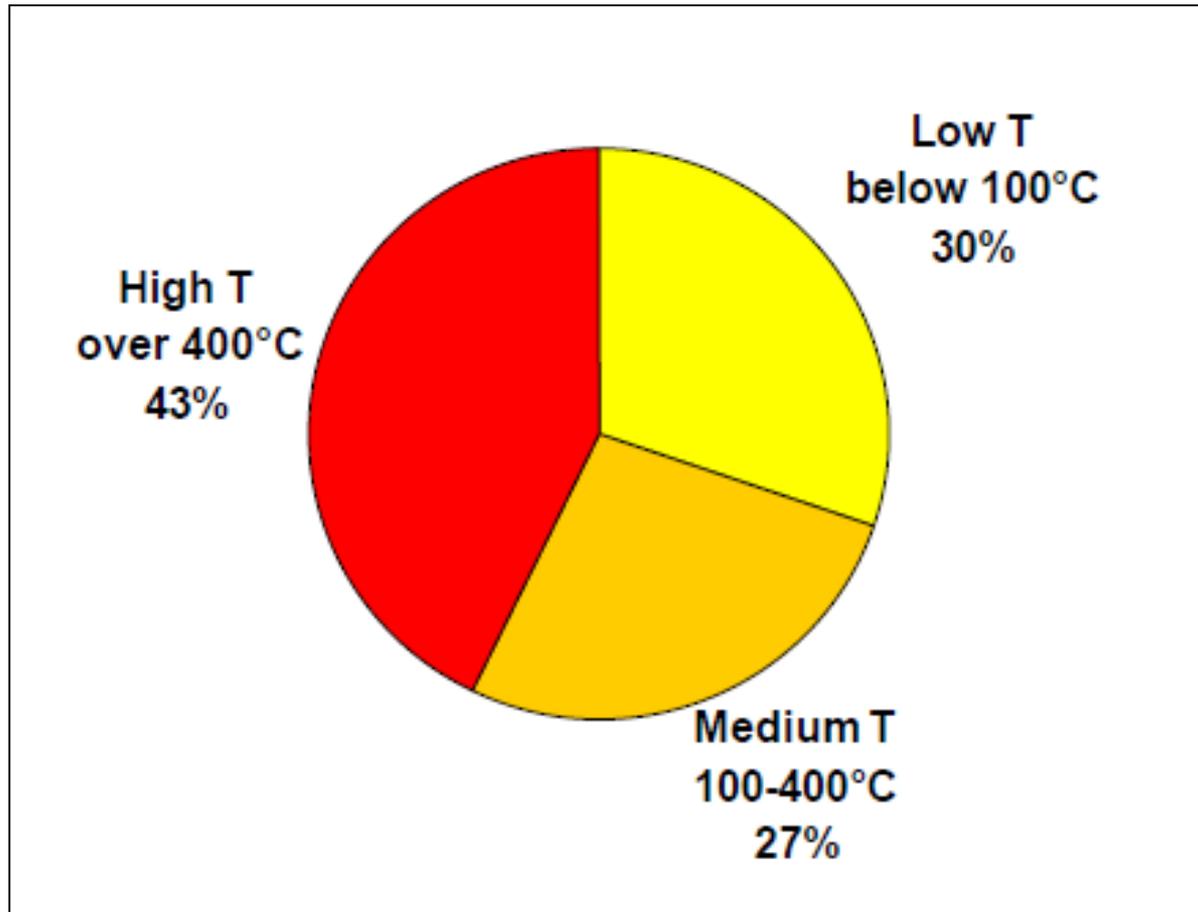
# Consumi per fonte e per settore industriale



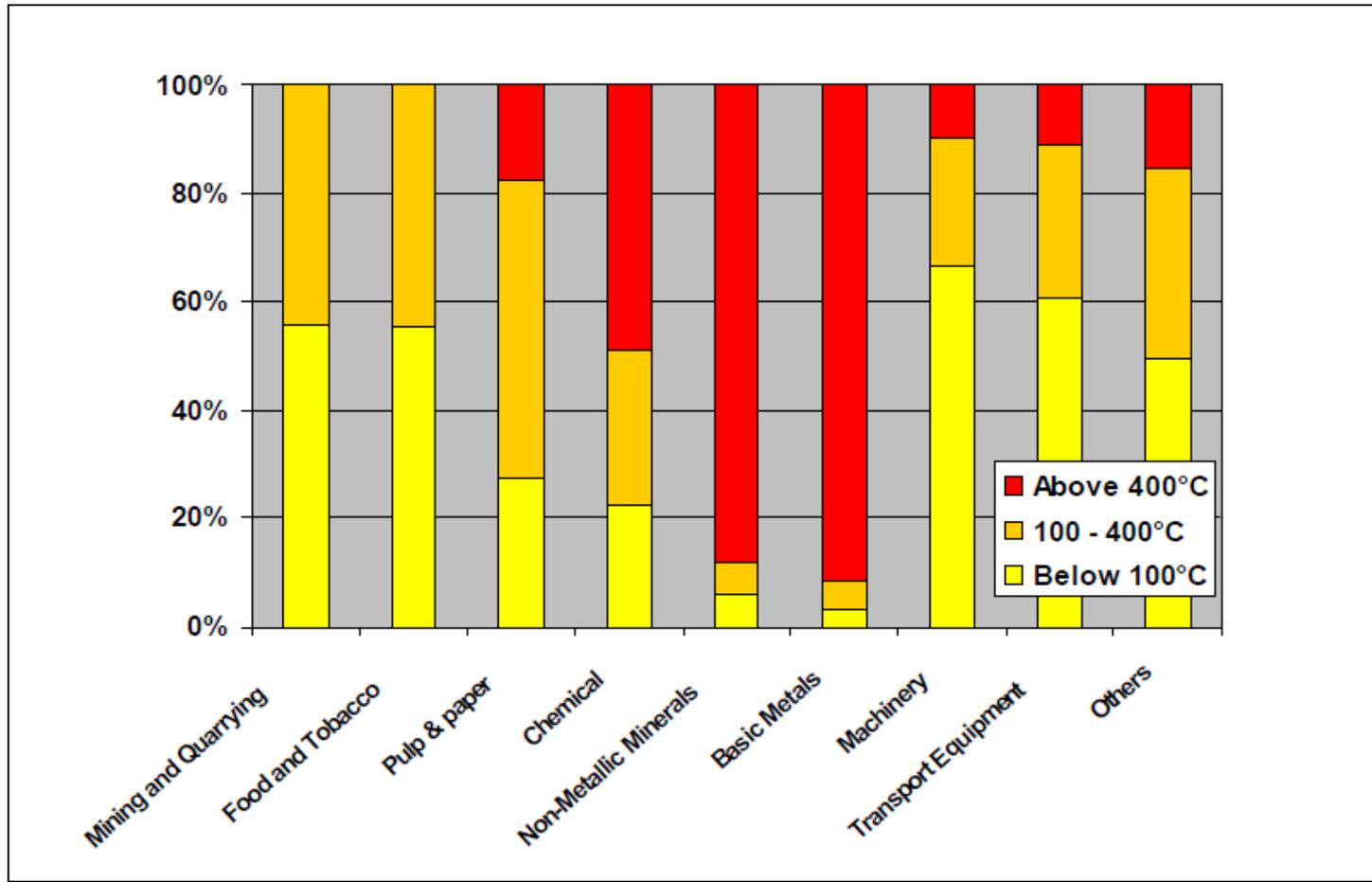
Fonte: MSE estratti dal Rapporto ENEA 2005 e rielaborati da Assoutility



# Settore Industriale: Consumo % di calore richiesto per livello di temperatura



# Settore Industriale: Fabbisogno di calore % per livelli di temperatura e per settore



# Best Available Techniques Reference Documents BREFs

<http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/>



JOINT RESEARCH CENTRE

Institute for Prospective Technological Studies (IPTS)

EUROPA > European Commission > JRC > IPTS > SPC > EIPPCB



Energy Efficiency

Code	Adopted/Published Document	Formal draft (*)	Meeting report	Estimated review start (**)
ENE	BREF (02.2009)			



POLITECNICO  
DI TORINO

Dipartimento Energia

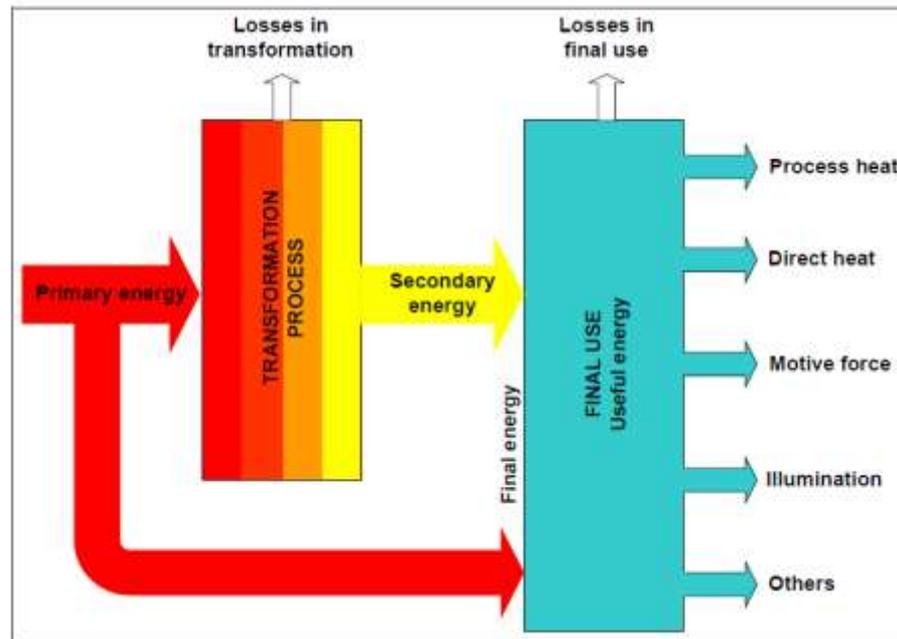
# Energy Efficiency in industry

[http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/ENE\\_Adopted\\_02-2009.pdf](http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/ENE_Adopted_02-2009.pdf)

Reference Document on Best Available Techniques for

## Energy Efficiency

February 2009



# Indicatori di efficienza energetica

- Specific Energy Consumption (SEC)

$$SEC = \frac{\text{energia utilizzata}}{\text{prodotto}} \text{ (GJ/ton)}$$

- Energy Intensity Factor (EIF)

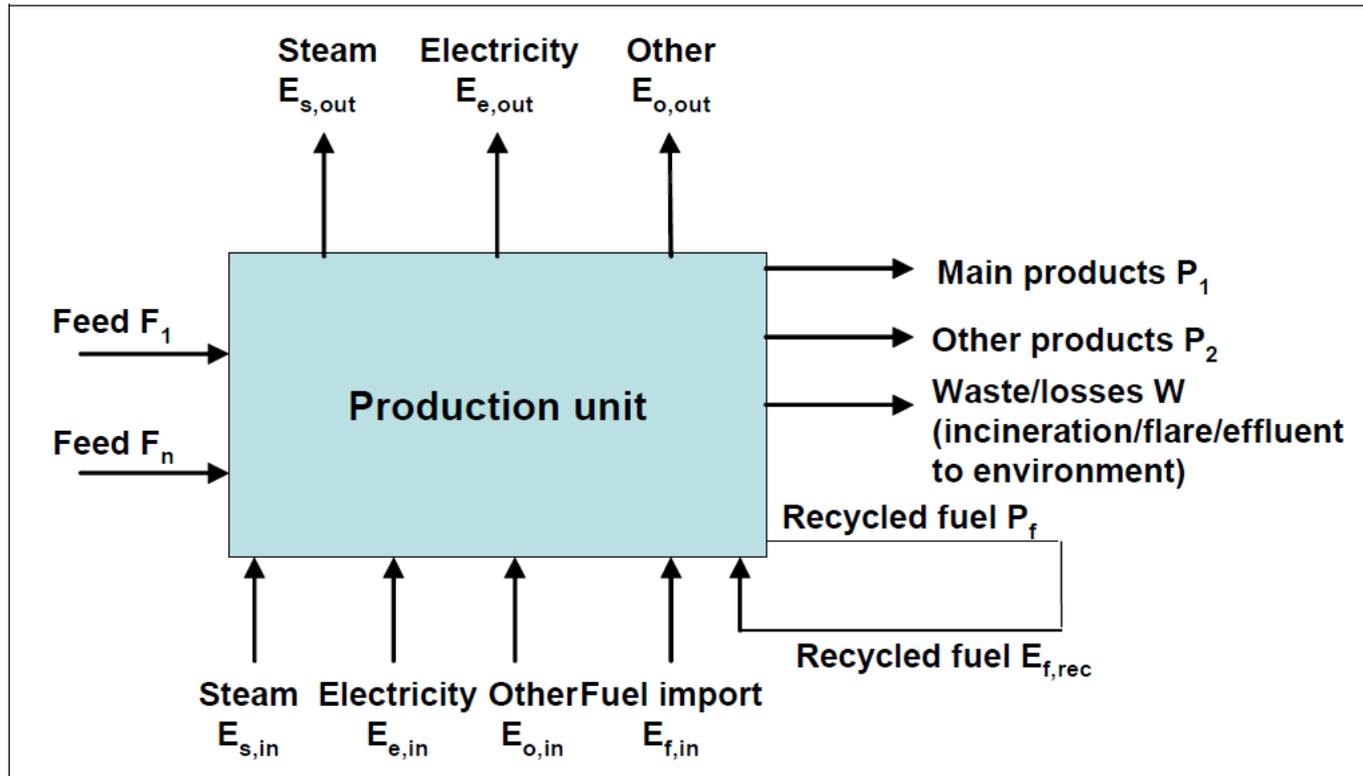
$$EIF = \frac{\text{energia utilizzata}}{\text{fatturato prodotto dall'impianto}} \text{ (GJ/eur)}$$

N.B.

*energia utilizzata = energia importata – energia esportata*



# Esempio di definizione di SEC



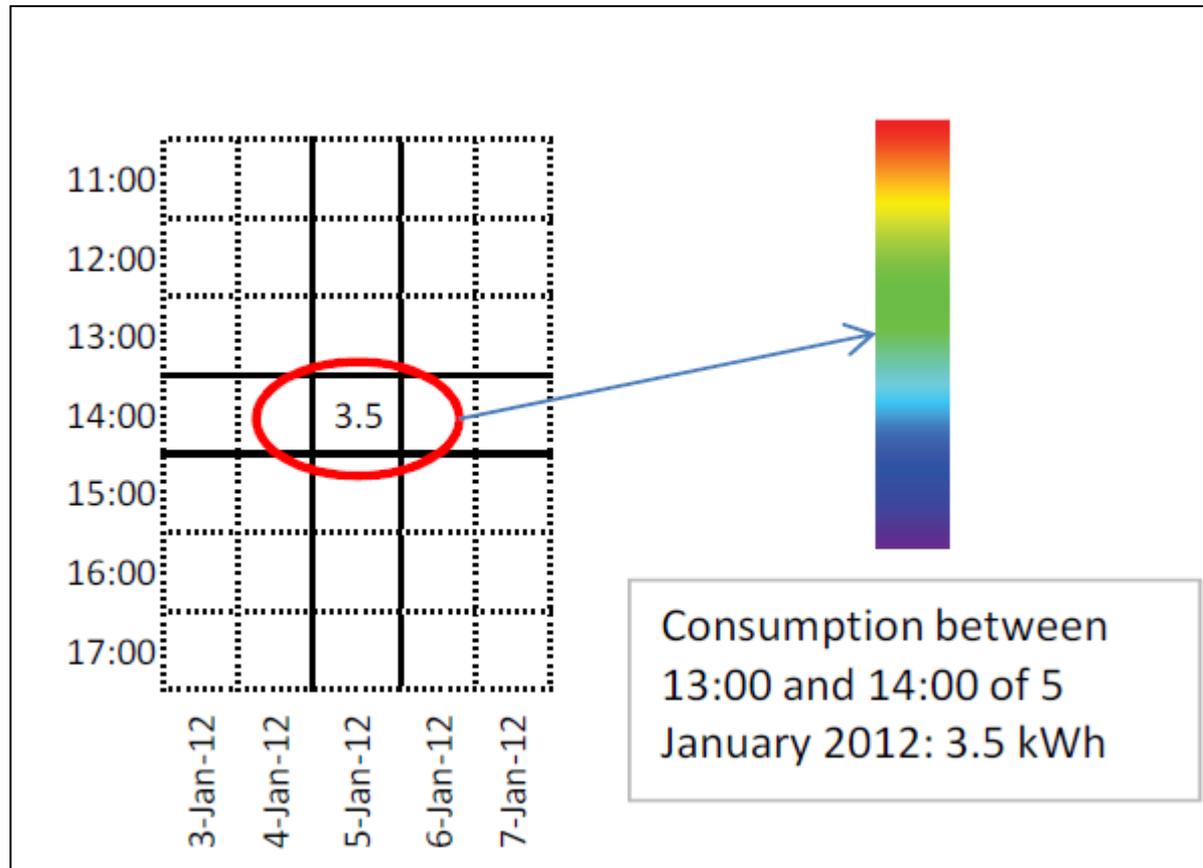
$$SEC = \frac{(E_{s,in} + E_{e,in} + (E_{f,in} + E_{f,rec}) + E_{o,in}) - (E_{s,out} + E_{e,out} + E_{o,out})}{P_1}$$

# Tecniche utilizzabili per l'efficienza energetica a livello di impianto

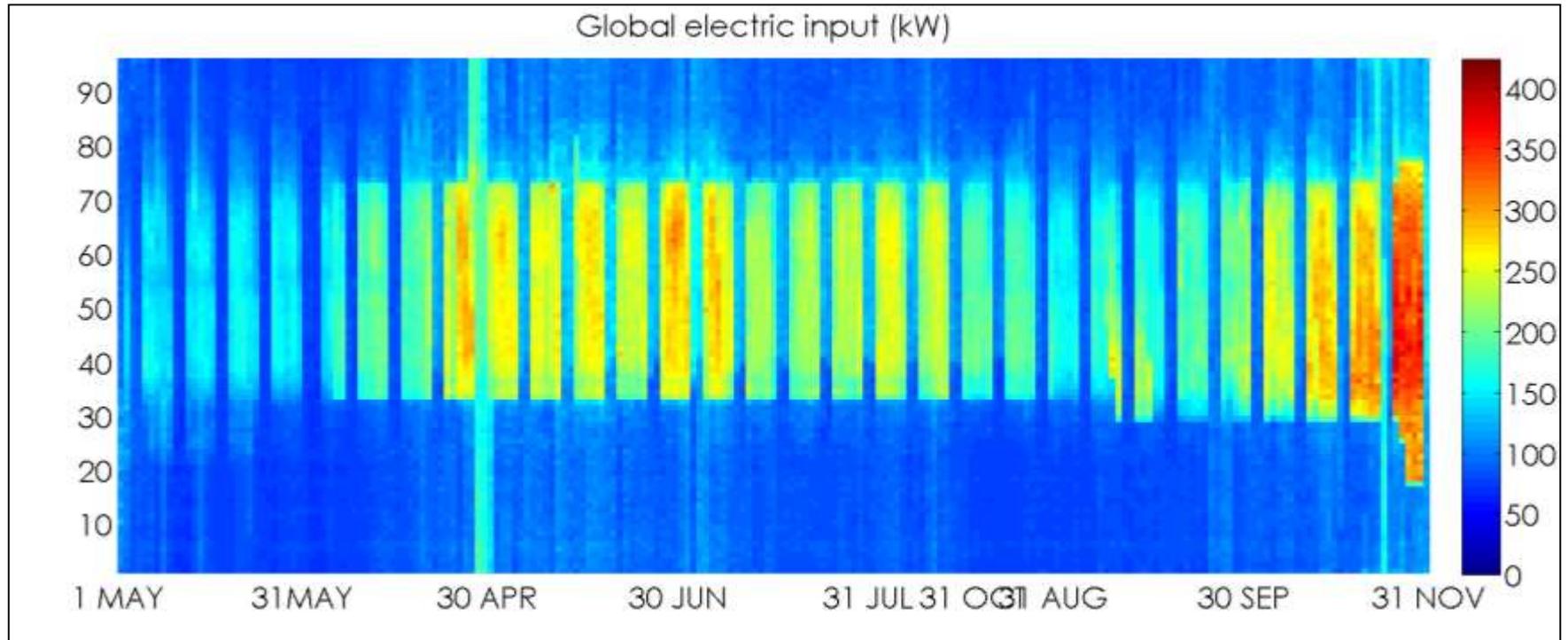
- ENEMS (Energy Efficiency Management System)
- Pianificazione degli obiettivi
- EED (Energy Efficient Design)
- Formazione e valorizzazione delle risorse umane
- Comunicazione
- Controllo di processo
- Manutenzione
- Energy audit e tecniche di analisi energetica



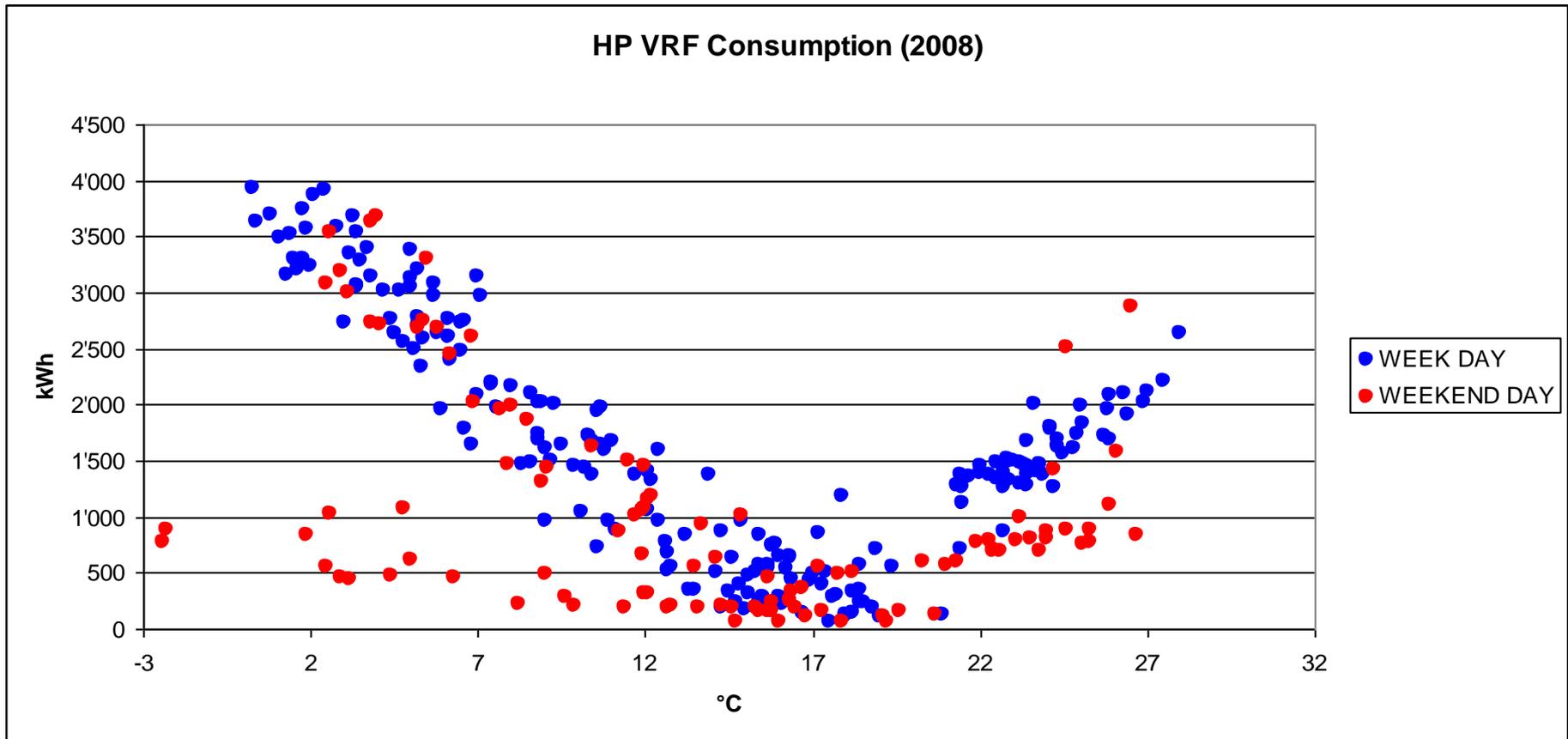
# Monitoraggio dei consumi: carpet plot



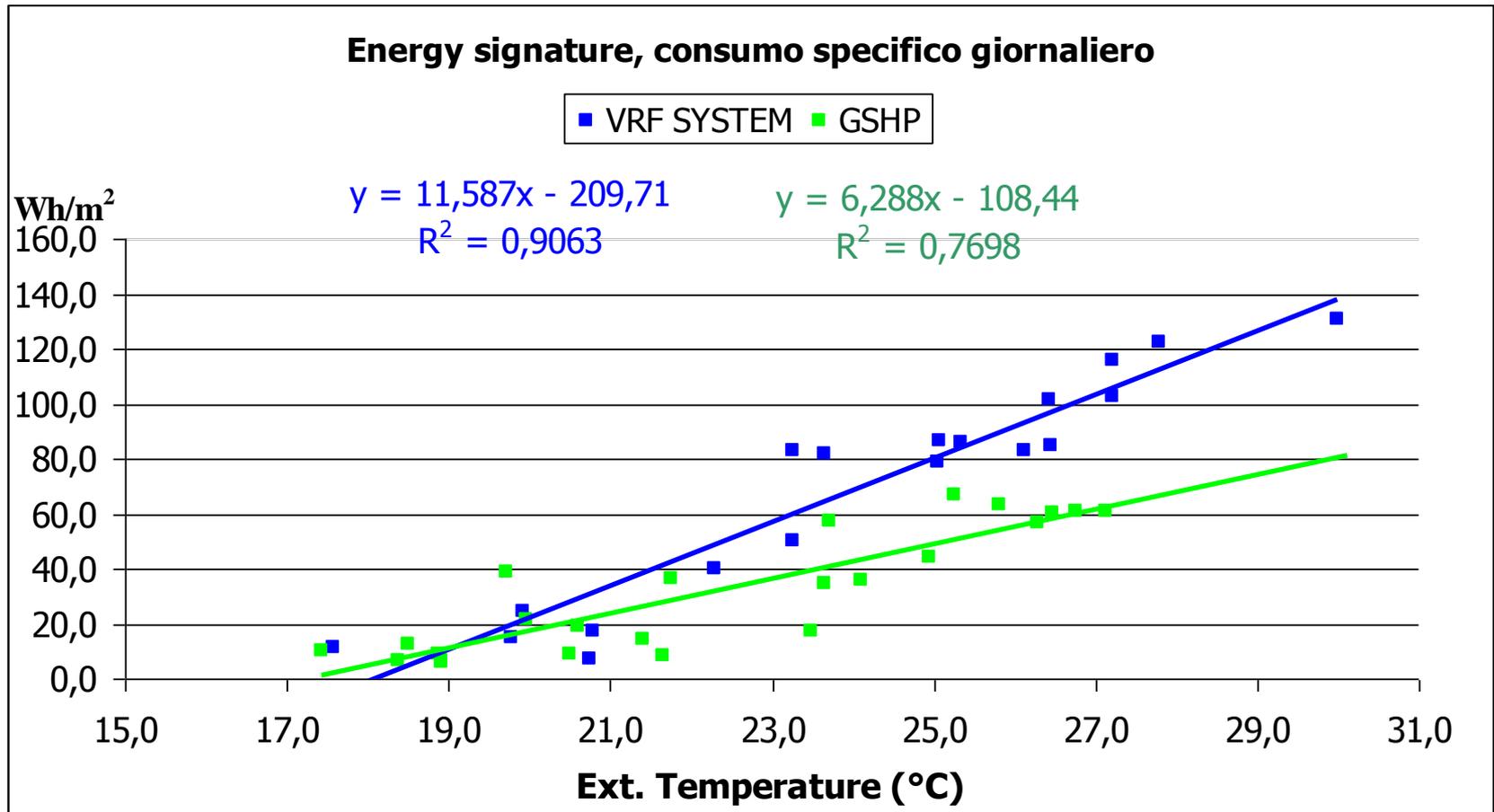
# Carpet plot di un impianto di condizionamento



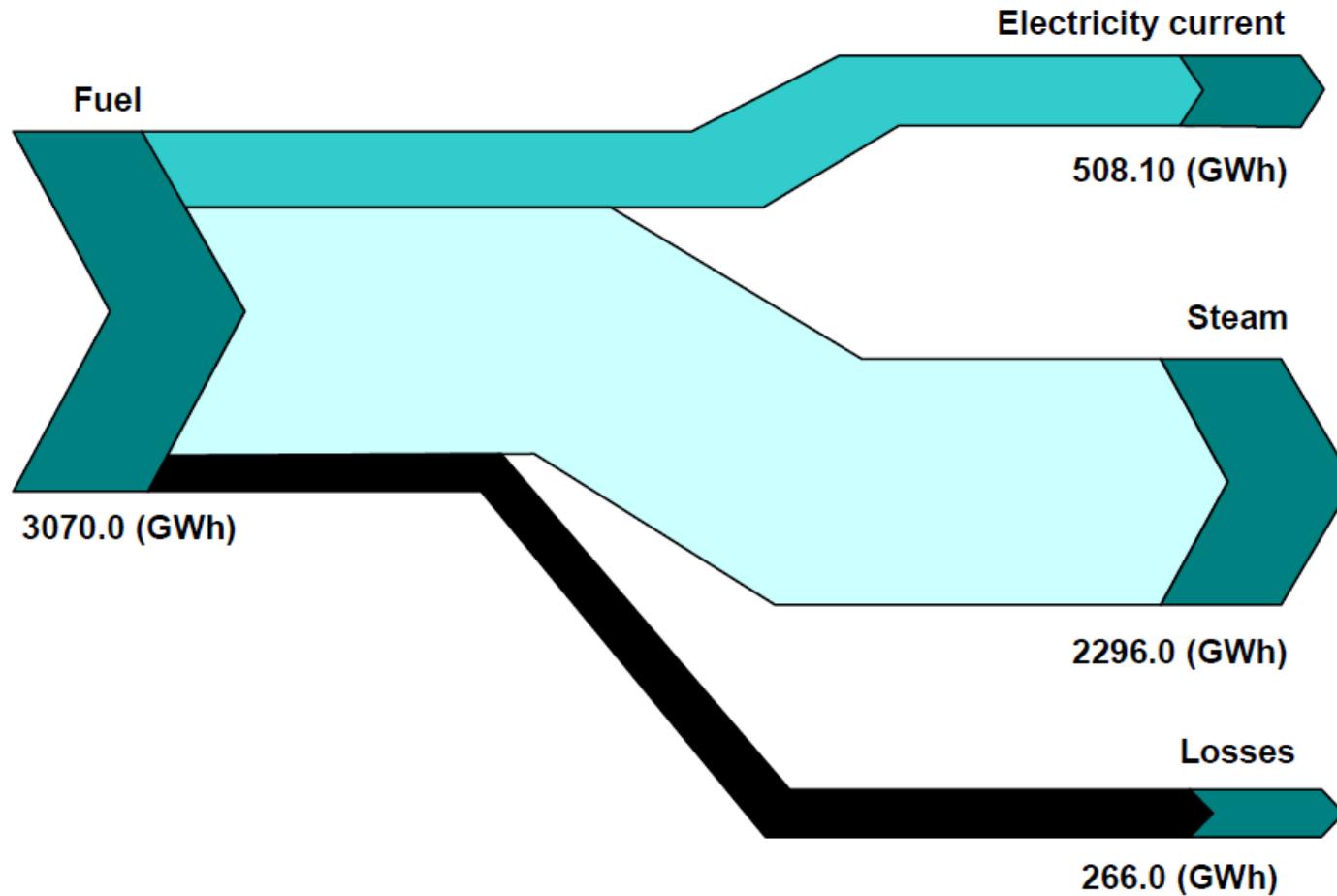
# Energy signature di impianto a pompa di calore aria-aria



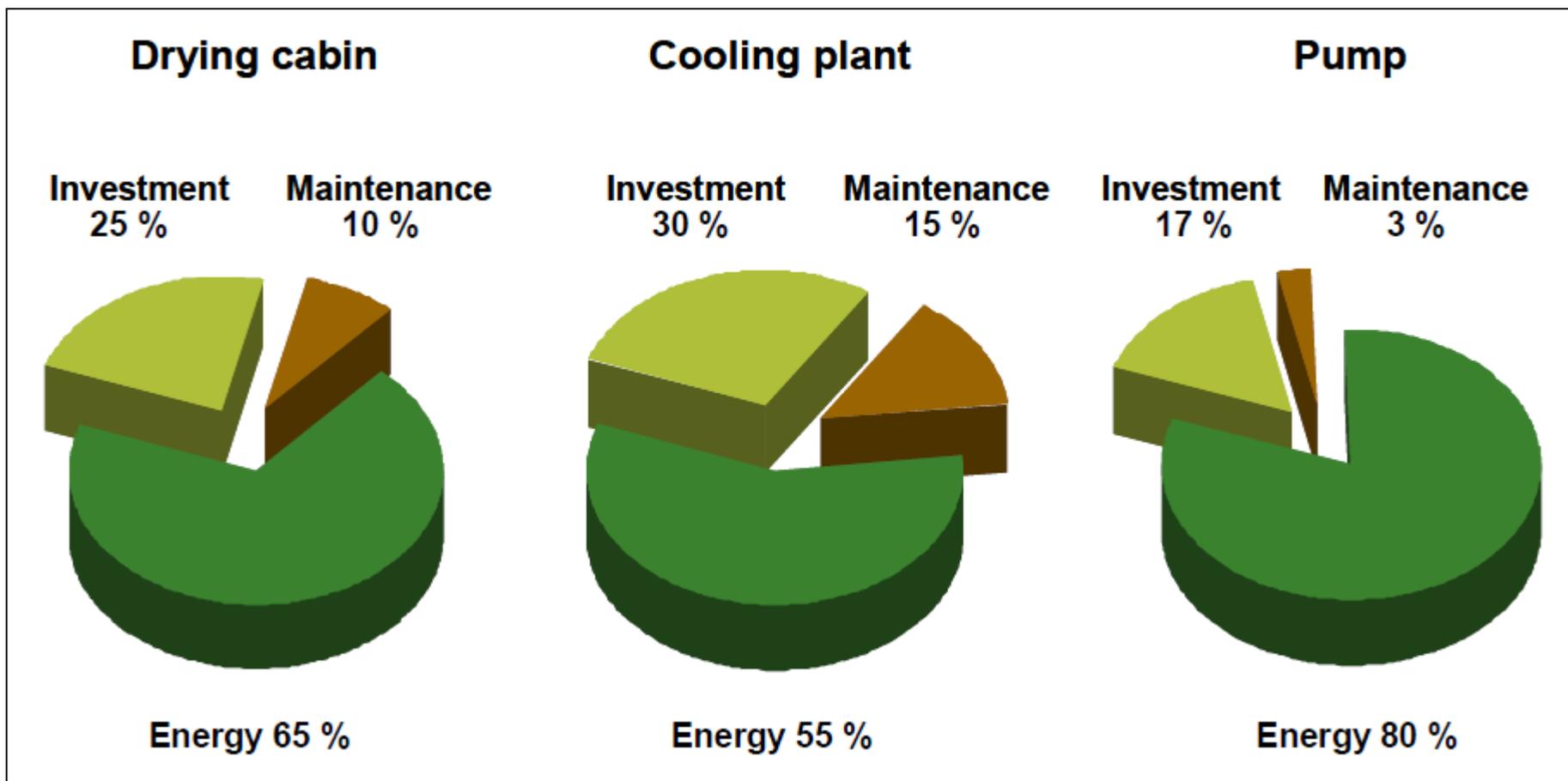
# Confronto pompa di calore aria-aria e geotermico



# Diagramma di Sankey



# Impatto dell'energia sul costo totale



# Ambiti applicativi per il risparmio energetico a livello di componente, impianto o processo

- Combustione
- Produzione del vapore
- Recupero termico e raffreddamento
- Cogenerazione
- Approvvigionamento di energia elettrica
- Sistemi azionati da motori elettrici
- Sistemi azionati da aria compressa
- Impianti di pompaggio
- Impianti di climatizzazione (HVAC)
- Illuminazione
- Processi di essiccazione, separazione e concentrazione



# Recupero termico nell'industria

- Riutilizzo tramite ottimizzazione di processo
- Riutilizzo dei cascami termici per:
  - Produzione di fluidi caldi tramite scambiatori di calore
  - Produzione di fluidi caldi tramite pompa di calore (calore di recupero = sorgente termica a bassa temperatura)
  - Produzione elettrica (impianto ORC)
  - Produzione del freddo (macchina ad assorbimento)
- Recupero rigenerativo da aria espulsa o cappe aspiranti per preriscaldamento dell'aria di ventilazione



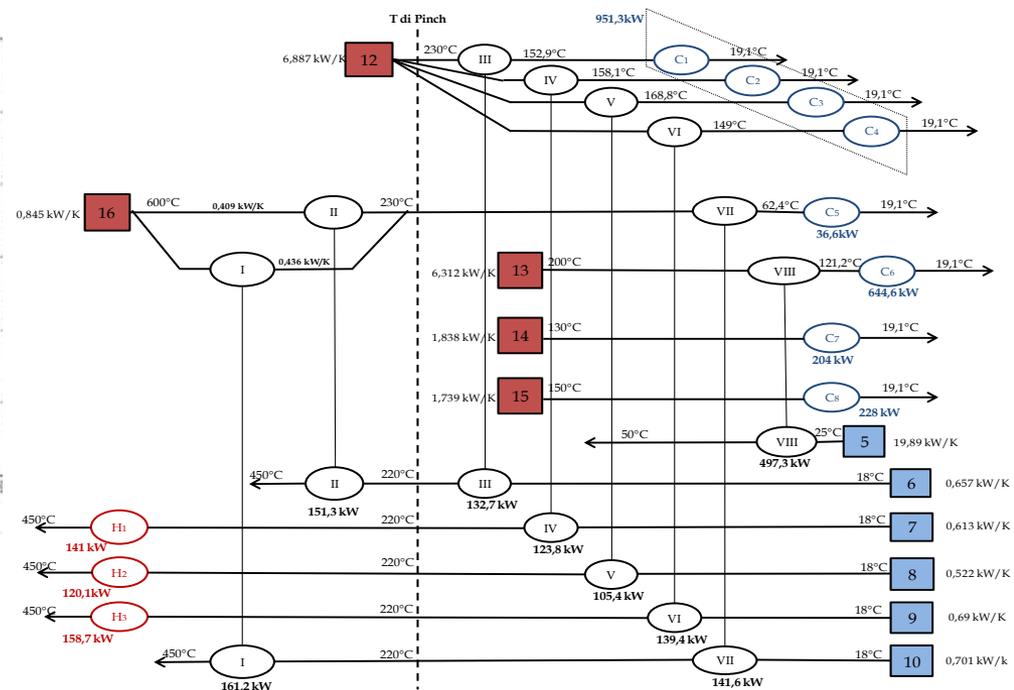
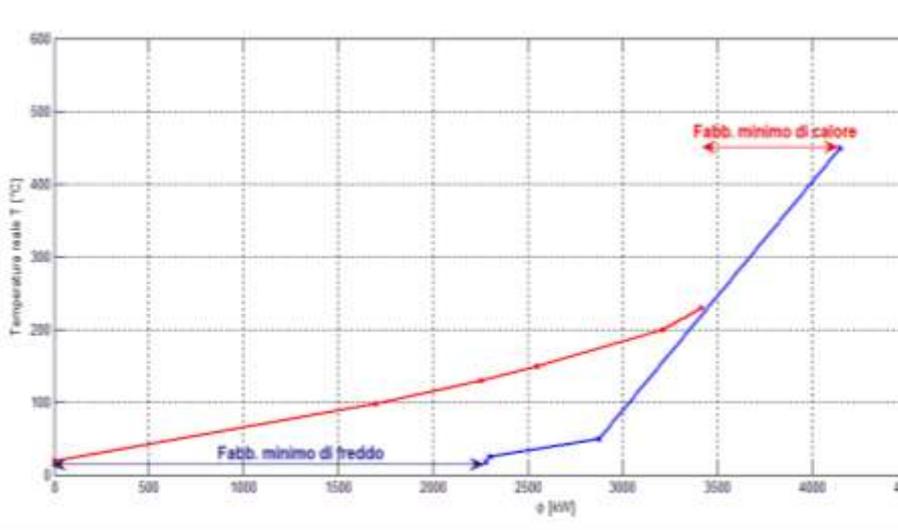
# Riutilizzo tramite ottimizzazione di processo

- Numerosi processi industriali presentano domanda contemporanea di calore e freddo.
- Esiste possibilità di scambio termico tra fluidi che devono essere raffreddati e fluidi che devono essere riscaldati.
- Si trae vantaggio da risorse che derivano dai processi produttivi riducendo la quantità di risorse esterne.
- Occorre prevedere un impianto di recupero termico costituito da un numero elevato di scambiatori di calore (rete di scambiatori)
- La verifica della fattibilità tecnica del recupero termico e il tracciamento della rete di scambiatori di calore possono essere ottenuti con la **pinch analysis**.



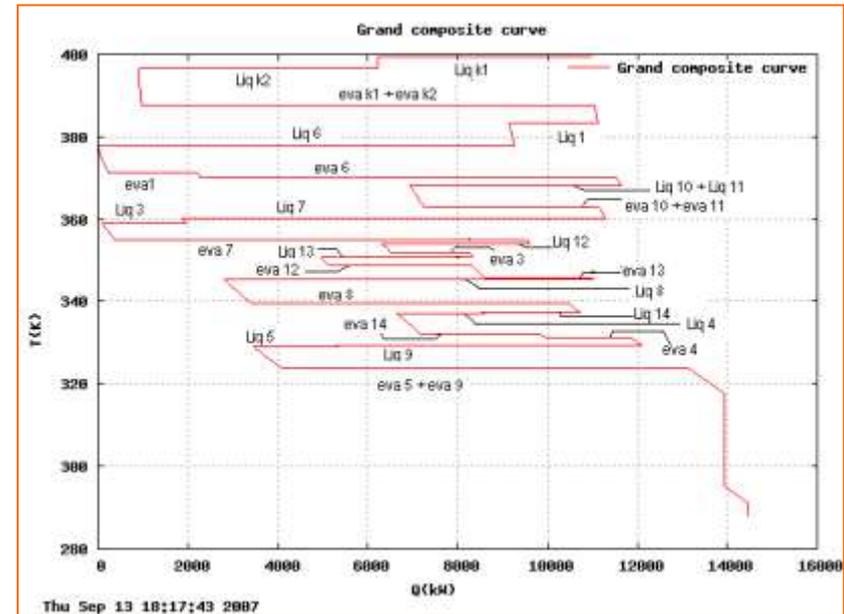
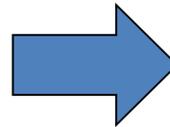
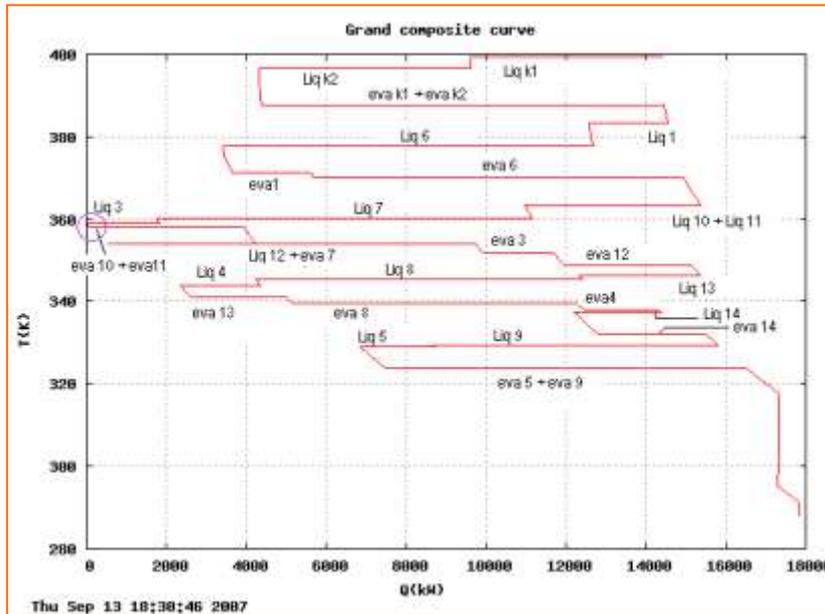
# Applicazione della pinch analysis a un processo metallurgico

Possibilità di ridurre di oltre il 50% il fabbisogno di calore e circa 30% il fabbisogno di freddo.

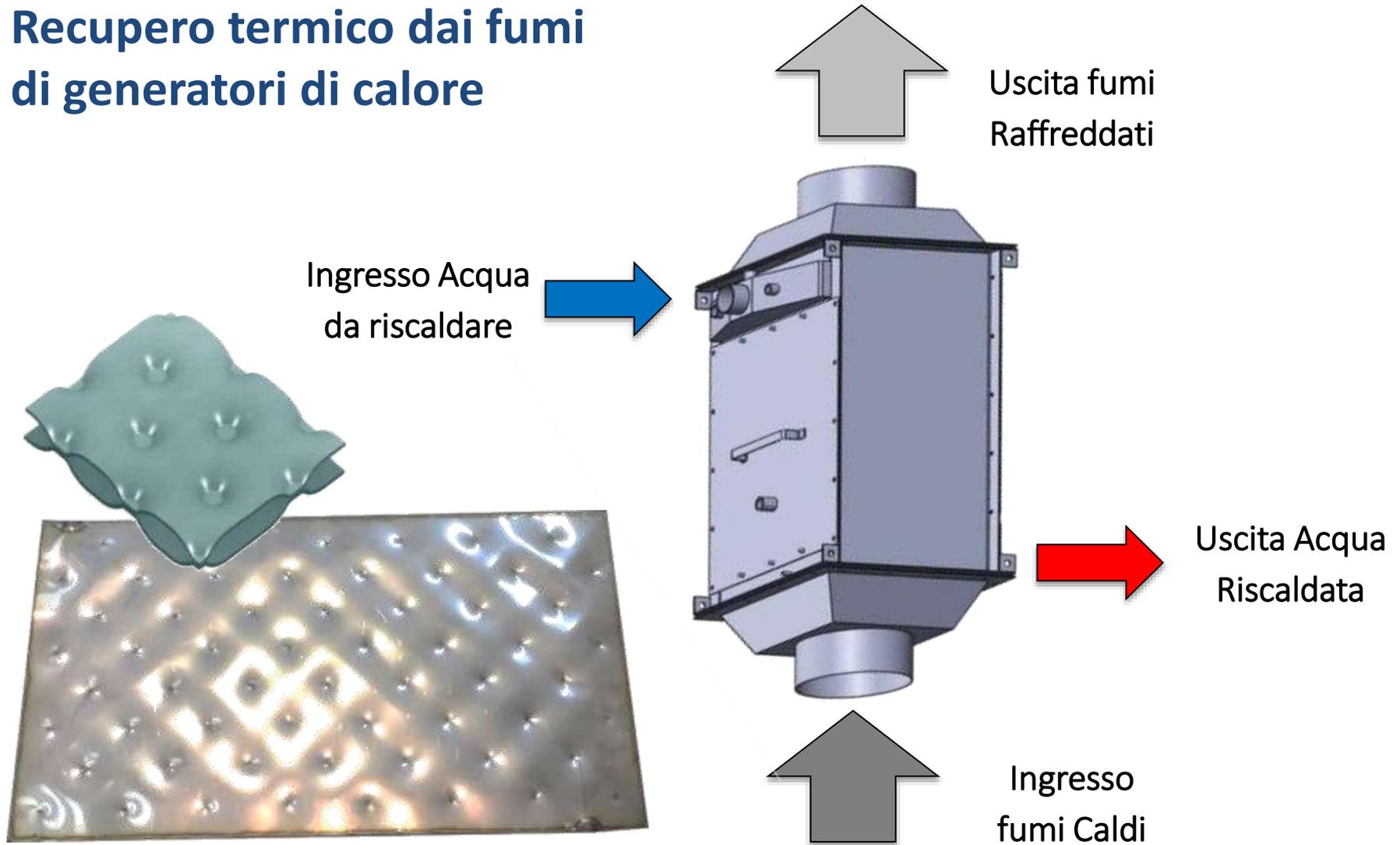


# Applicazione della pinch analysis a pulp and paper industry

Possibilità di ridurre significativamente il fabbisogno di energia primaria (21%), anche attraverso l'integrazione di pompe di calore nel processo industriale.



# Recupero termico dai fumi di generatori di calore



# Impianti Ciclo Rankine a Fluido Organico (ORC)

Gli impianti ORC sono adatti a produzione elettrica da fonti di calore:

- a temperatura medio-bassa per le quali non sarebbe conveniente impiegare i cicli a vapore d'acqua tradizionali
- di limitata entità
- fortemente variabili

Tali impianti possono quindi essere alimentati sia da calore di recupero da processi industriali, sia da calore prodotto da fonti rinnovabili (ad es. Biomasse, geotermia a bassa entalpia, ecc.)



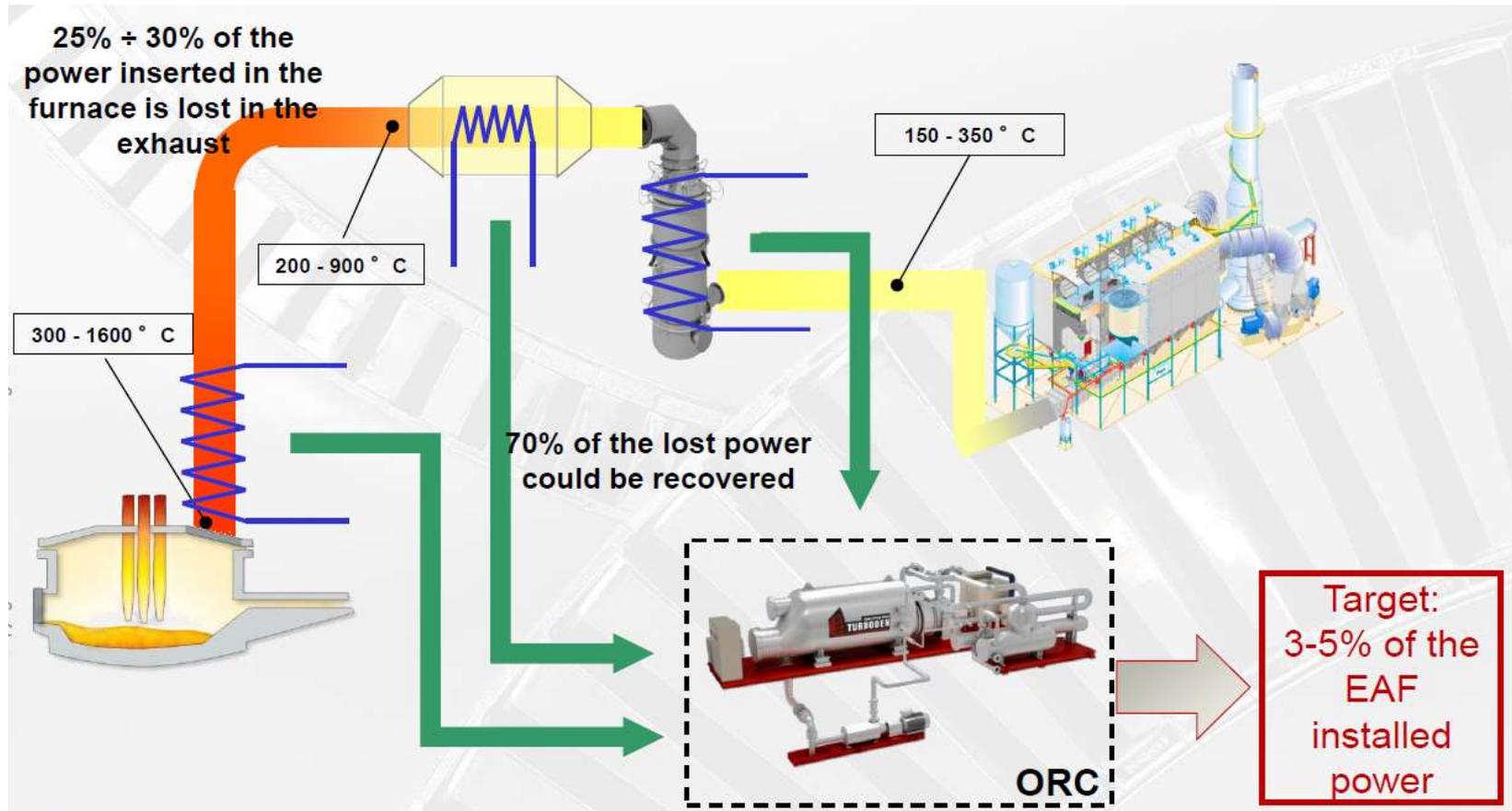
# Applicazioni ORC a recupero termico

- Recupero da gas caldi tramite fluido intermedio (olio diatermico, acqua pressurizzata o vapore)
- Recupero da effluenti liquidi: scambio diretto fra sorgente di calore primaria e fluido di lavoro ORC
- Inserimento del recuperatore in by-pass
- Fluidi di lavoro:
  - Polissilossani per  $T > 250^{\circ}\text{C}$
  - Fluidi refrigeranti per  $T < 250^{\circ}\text{C}$

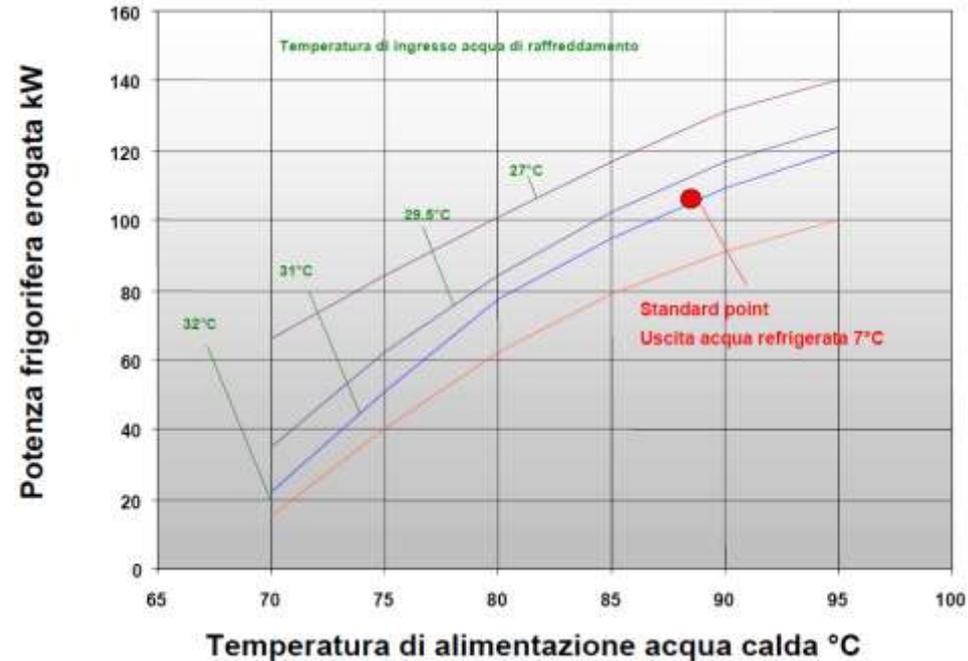




# ORC: Applicazione a un forno ad arco elettrico (Electric Arc Furnace)

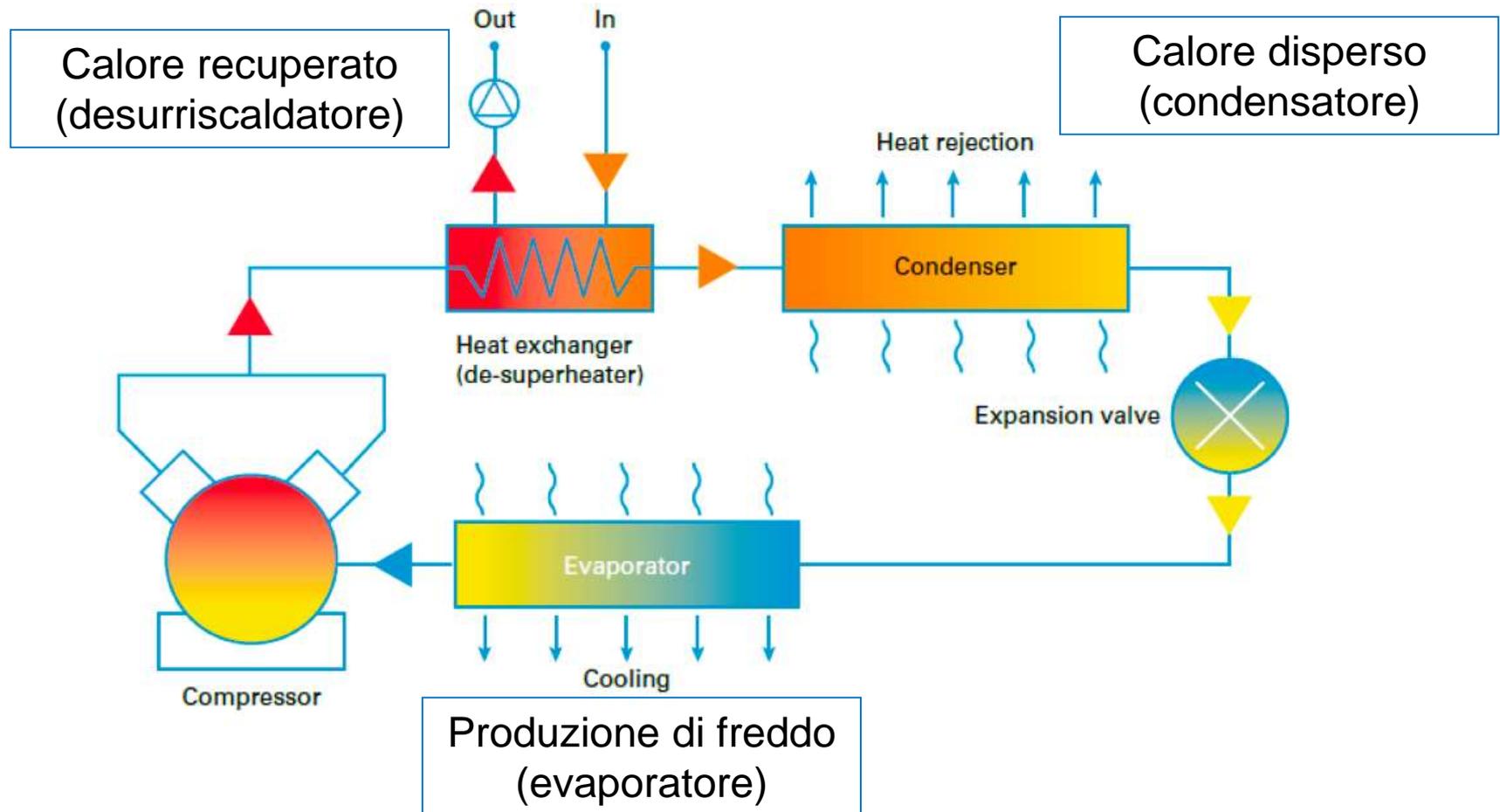


# Produzione del freddo con macchina ad assorbimento H<sub>2</sub>O-LiBr

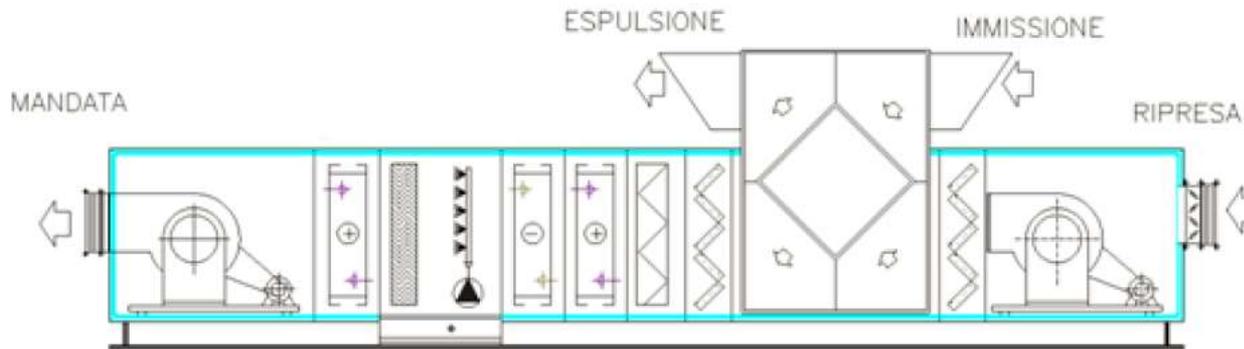


WFC SC 30 Bilancio termico			
	Calore	kW	kW
Generatore	in	150,6	
Condensatore	out		122,2
Evaporatore	in	105,0	
Assorbitore	out		133,4
		255,6	255,6

# Recupero parziale del calore di condensazione da gruppo frigorifero



# Unità di trattamento aria (UTA) con recuperatore di calore



Recuperatore  
aria-aria



Recuperatore  
rotativo

Recupero di calore sensibile:

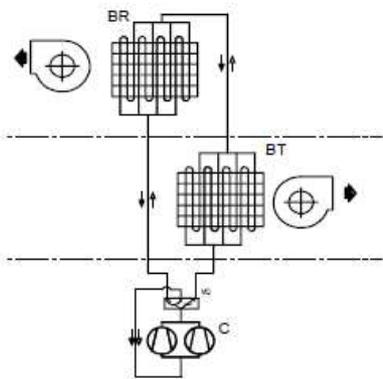
- aria-aria
- a fluido intermedio

Recuperatore sensibile + latente

- rotativo

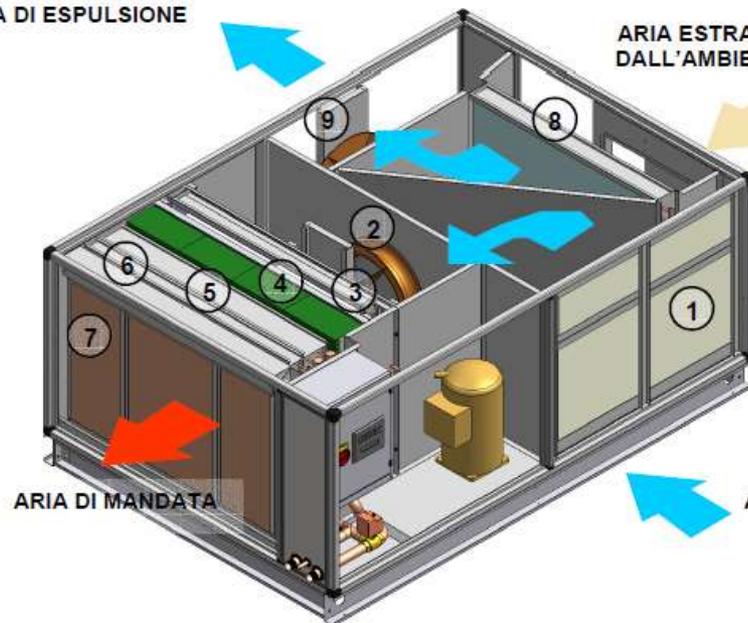
# Recupero di calore nella ventilazione: recupero “attivo” con pompa di calore

Una soluzione più evoluta è il recuperatore “attivo”, basato sulla pompa di calore aria-aria, in cui l’aria espulsa rappresenta la sorgente termica a bassa temperatura nel regime di riscaldamento e il pozzo termico ad alta temperatura nel regime di raffreddamento



ARIA DI ESPULSIONE

ARIA ESTRATTA  
DALL'AMBIENTE



1. Prefiltro aria esterna
2. Ventilatore di mandata
3. Batteria di ricupero (mandata)
4. Filtro elettronico/tasche
5. Batteria integrativa ad acqua calda o ad espansione diretta (accoppiamento con motocondensante Clivet MSAN)
6. Post-riscaldamento a gas caldo (attivo in funzionamento estivo)
7. Umidificatore (attivo in funzionamento invernale)
8. Batteria di recupero (espulsione)
9. Ventilatore di espulsione

ARIA DI MANDATA

ARIA ESTERNA

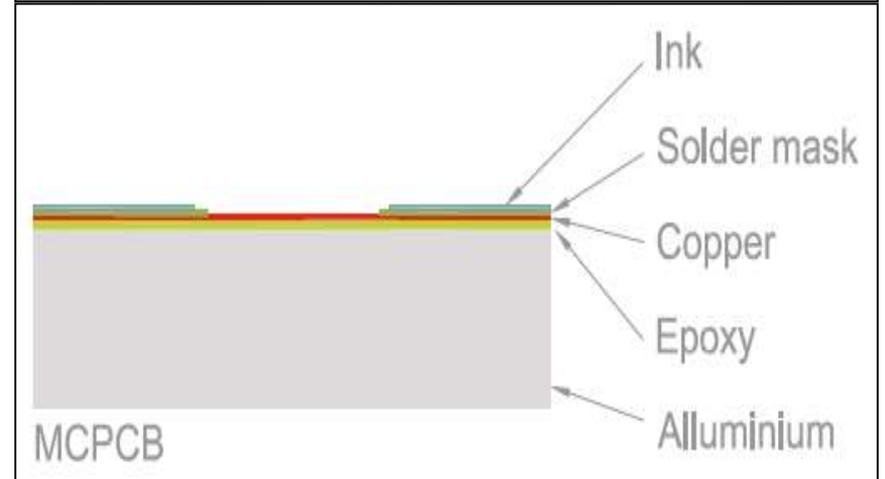
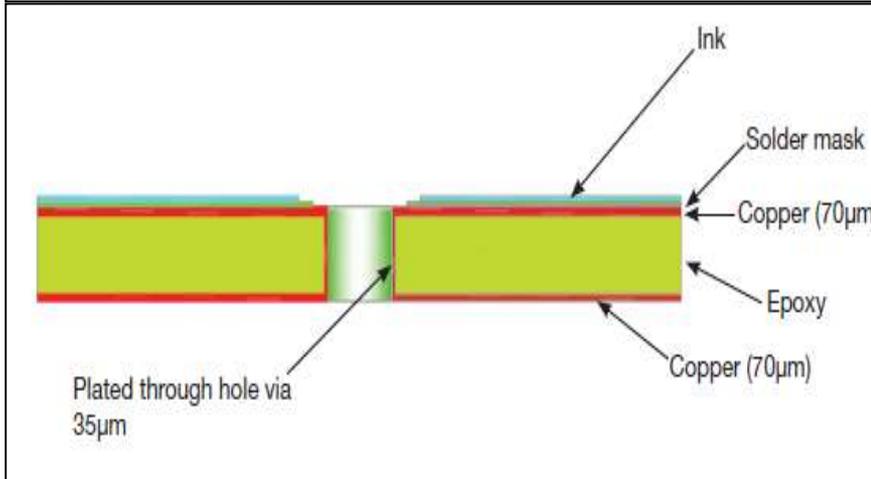
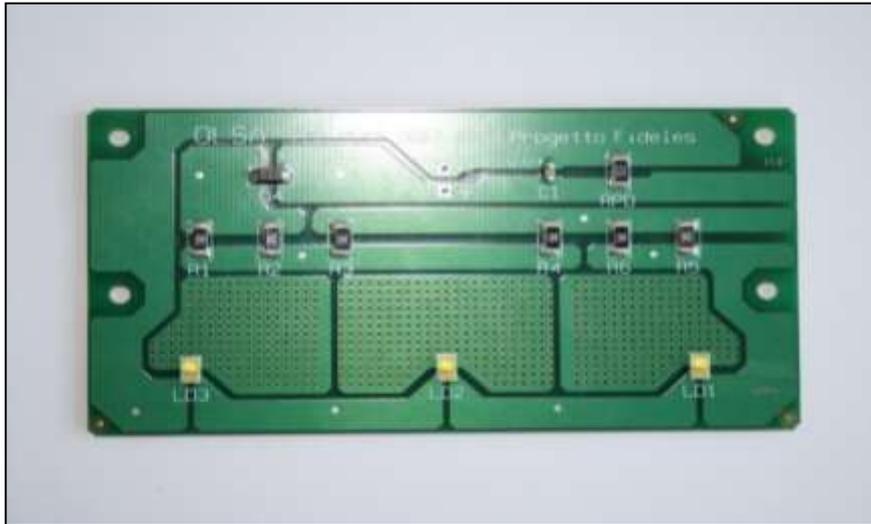
BR = SCAMBIATORE LATO RECUPERO/  
ESPULSIONE  
BT = SCAMBIATORE LATO TRATTAMENTO/PRESA  
ARIA ESTERNA  
C = COMPRESSORI  
VQ = VALVOLA INVERSIONE DI CICLO A QUATTRO  
VIE

# Energy Efficient Design

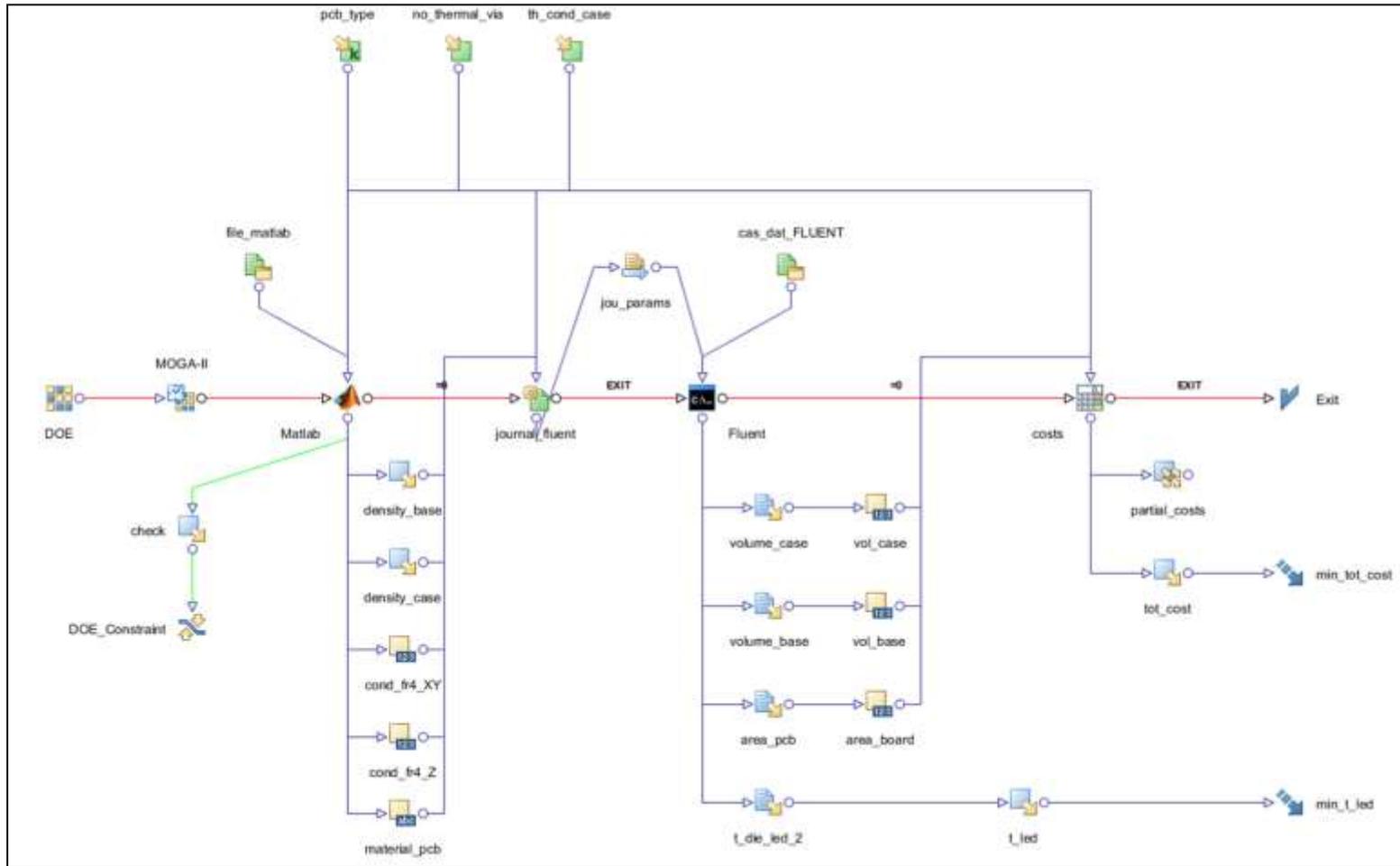
- Ottimizzazione di un prodotto industriale (DRL – Daylight Running Light con lampade a LED)
- Ottimizzazione tecnico-economica dei materiali e delle strategie di dissipazione del calore



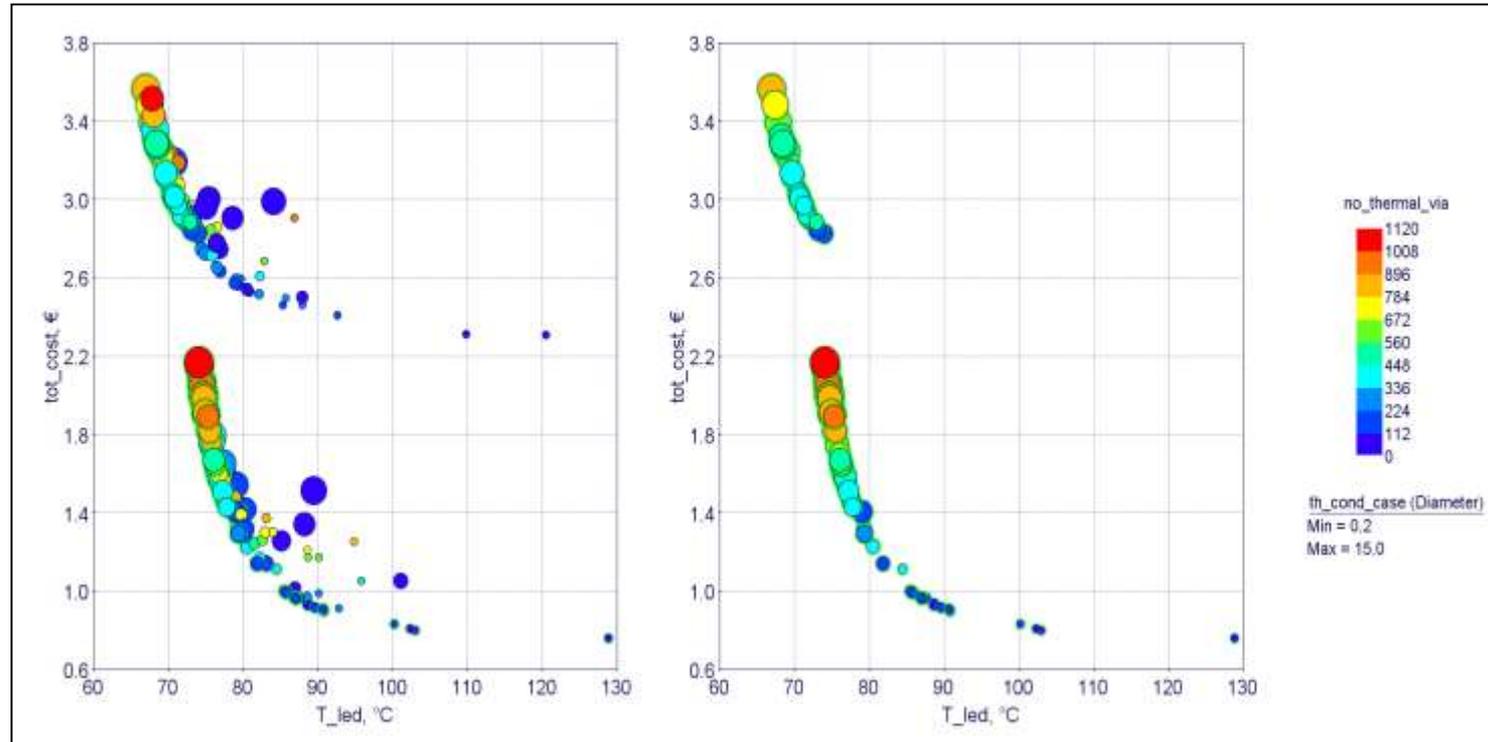
# Soluzioni per il circuito stampato (PCB): FR4 (sx) IMS (dx)



# Ottimizzazione con SW modeFRONTIER®



# Confronto fra soluzioni



Risultati ( $T_j$  vs costo) per le due soluzioni di PCB (sx) e relativi fronti di Pareto (dx)  
Le soluzioni con PCB tipo IMS cadono nella parte alta del grafico, mentre quelle con il PCB tipo FR4 sono nella parte bassa, quindi con costi più bassi

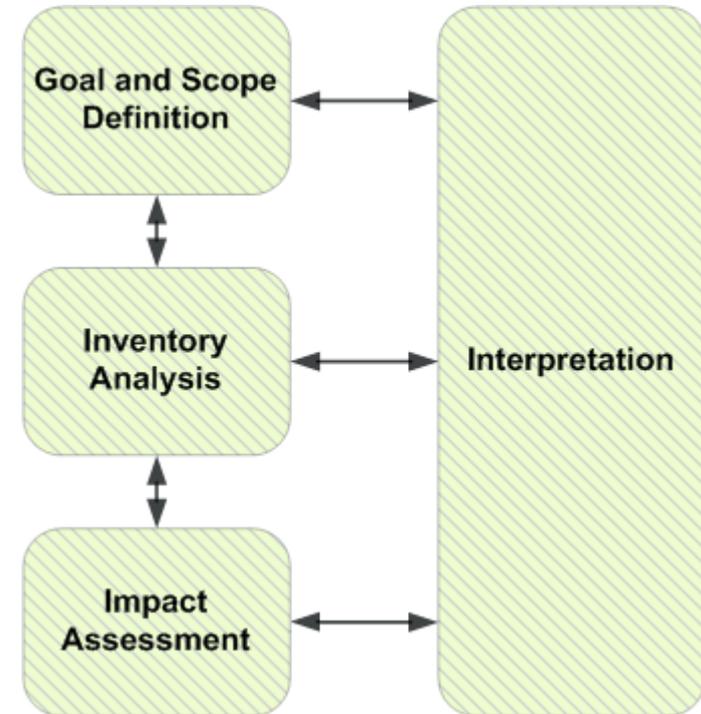
# Life-Cycle Analysis / Assessment

- **Life-Cycle Analysis (LCA)** è una tecnica di valutazione degli impatti ambientali associati a tutte le fasi di vita di un prodotto “dalla culla alla tomba” (dall'estrazione delle materie prime, alla lavorazione, distribuzione, utilizzo, manutenzione e dismissione / riciclo).
- Considera gli impatti nei confronti della salute umana, della qualità dell'ecosistema e dell'impoverimento delle risorse anche sotto il profilo economico e sociale



# Fasi della LCA

1. Goal and Scope Definition
2. Life Cycle Inventory Analysis (LCI)
3. Life Cycle Impact Assessment (LCIA)
4. Interpretation
5. Applicable standards
  - ISO 14040 (2006): Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework
  - ISO 14044 (2006): Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines

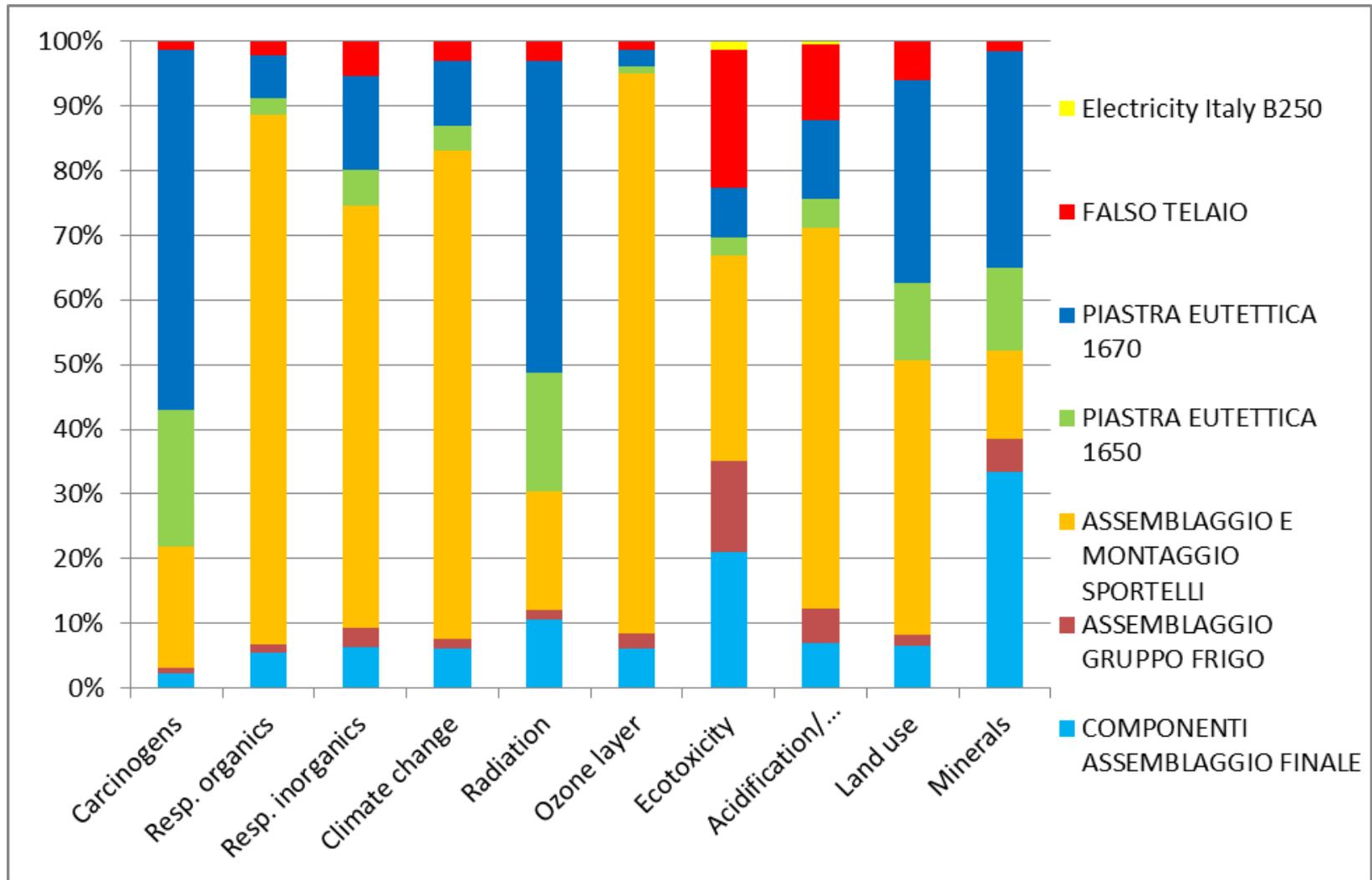


# Caso studio: trasporto refrigerato

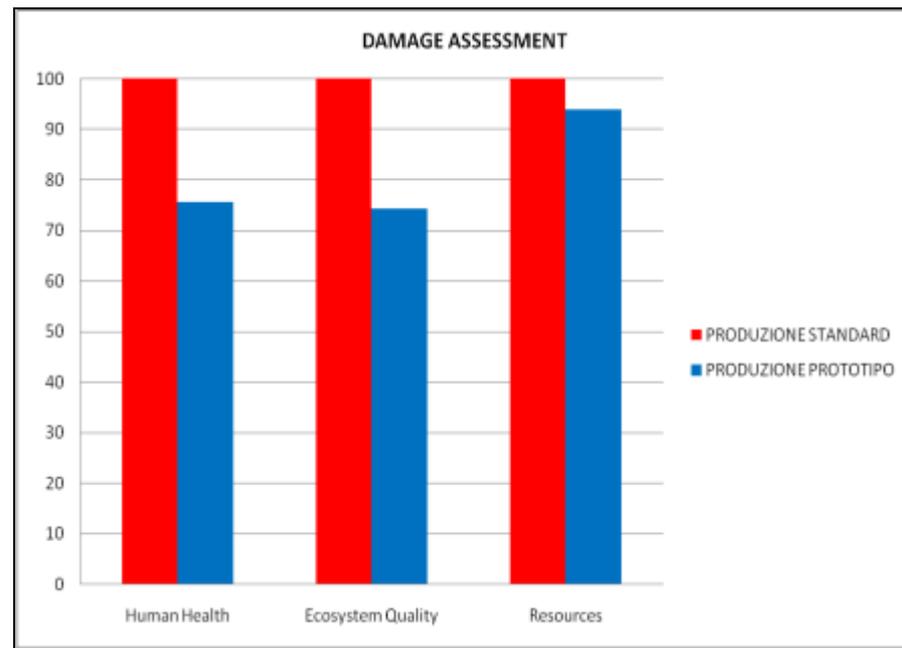
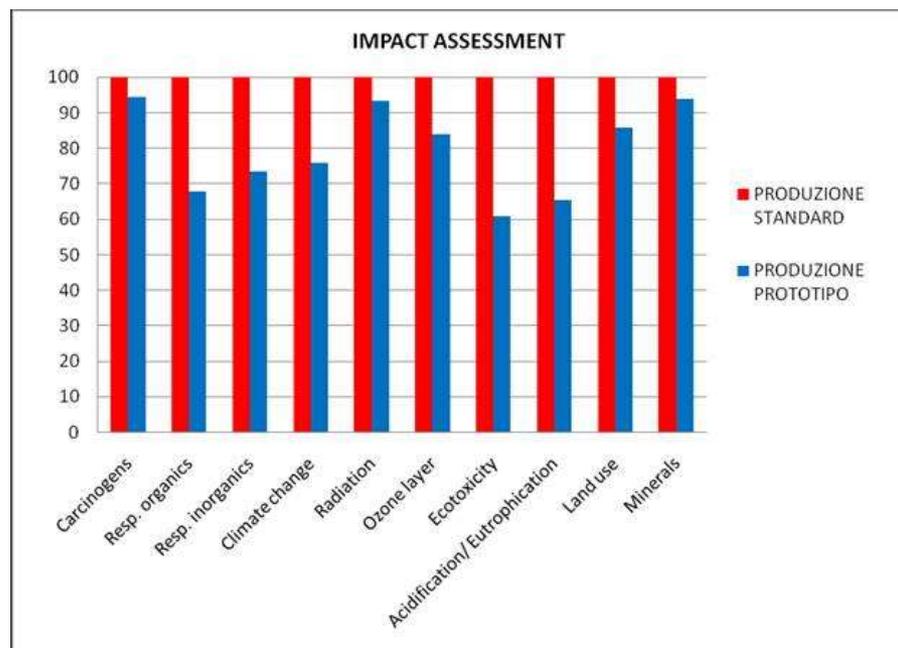
- Confronto fra due soluzioni progettuali (Prodotto Standard e Prototipo) riguardante:
  - Spessore e materiali isolanti dei pannelli di parete
  - Accessori e modalità di assemblaggio delle porte
  - Elementi strutturali e costruzione della carrozzeria



# Valutazione degli impatti



# Confronto fra le soluzioni progettuali



Rispetto al prodotto Standard, il Prototipo determina una riduzione significativa di determinati impatti e una riduzione del danno alla salute umana, alla qualità dell'ecosistema e alle risorse

**Grazie per l'attenzione!**

[marco.masoero@polito.it](mailto:marco.masoero@polito.it)



POLITECNICO  
DI TORINO

**Dipartimento Energia**