



# Industria ed energia: strategie e tecnologie per ridurre i costi senza compromettere la produttività

Webinar, 20 maggio 2025

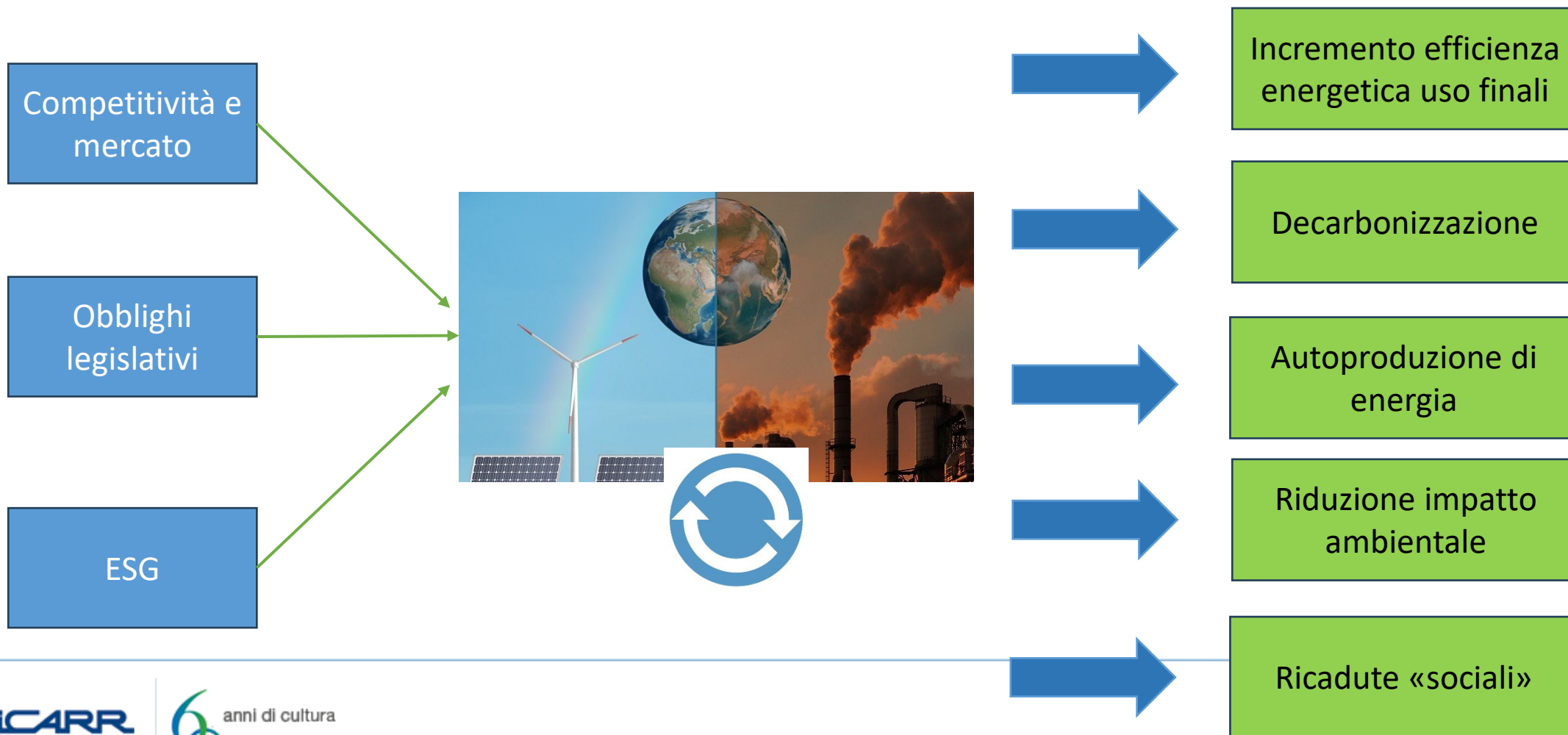


**AICARR**

Cultura e Tecnica per Energia Uomo e Ambiente



# Energia e industria: sguardo al futuro





## Le tecnologie chiave

La riduzione dei consumi sugli usi finali nell'industria può sfruttare diverse opzioni tecnologiche, dalle più semplice alle più complesse:

- Riduzione perdite, isolamento termico, eliminazione utilizzi impropri
- Motori ad alta efficienza e regolazione
- Automazione controlli avanzati
- Ottimizzazione riscaldamento ambienti industriali
- Recupero termico
- Pompe di calore ad alta temperatura



# Recupero termico nell'industria

Numerosi studi evidenziano l'elevato potenziale del recupero termico nell'industria, e di fatto il sotto-sfruttamento di questa risorsa

Settore industriale	Potenziale di recupero calore [%]
Ferro e acciaio	11,40%
Chimico e petrolchimico	11,00%
Metalli non ferrosi	9,59%
Minerali non metalliferi	11,40%
Alimentare e tabacco	8,64%
Carta (produzione e stampaggio)	10,56%
Legno e prodotti dal leggio	6,00%
Tessile e conciario	11,04%
Altri	10,38%

(Panayiotou et al, 2017)



# Recupero termico nell'industria

Il recupero si può classificare in funzione di:

- temperatura del calore di scarto disponibile
- caratteristiche del fluido che costituisce il flusso sui cui recuperare calore

Origine del calore di scarto	Fluido	Temperatura fluido [°C]	Contaminazione/pulizia
Fumi da forni o generatori per riscaldamento	fumi	316-1100 [4]	dipende dal processo
Circuiti di raffreddamento	acqua, olio, miscele	20-80	nella maggior parte dei casi puliti
Calore di condensazione circuiti frigoriferi	refrigerante	45- 80	nessun problema pulizia
Superfici calde	-	65-316 [4]	nessun problema pulizia
Prodotti caldi	-	100-1370 [4]	nella maggior parte dei casi puliti
Condense	acqua	65-260 [4]	nella maggior parte dei casi puliti
Perdite di vapore e scarichi di vapore	vapore	120-316 [4]	nella maggior parte dei casi puliti
Recupero calore da sistemi aria compressa	olio o aria compressa	40-80	nessun problema pulizia
Sistemi di abbattimento emissioni	fumi	65-816 [4]	nella maggior parte dei casi puliti



# Recupero termico nell'industria

E' possibile considerare due categorie di recuperi termici:

- recuperi termici direttamente utilizzati per aumentare l'efficienza energetica del processo da cui il calore di scarto è originato (es. economizzatori per generatori ecc.)
- recuperi termici destinati a produrre energia termica o elettrica per utilizzi esterni al processo stesso



# Recupero termico nell'industria

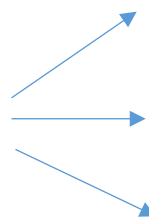
Il calore recuperato può essere



Utilizzato direttamente (uso diretto fumi, o su scambiatore di calore)



Trasformato



In energia frigorifera (macchine ad assorbimento/adsorbimento)

In energia termica a livello più elevato (con pompe di calore)

In energia elettrica (ORC ecc.)



Stoccato e poi utilizzato (attraverso accumuli, PCM, ATES, BTES)





# Recupero interno al processo: generatori

- In qualunque generatore di calore a combustione sono presenti fumi di combustione che possono essere impiegati per:
  - Preriscaldare l'aria comburente (in questo caso tuttavia bisogna fare attenzione all'aumento della concentrazione di NOx conseguente)
  - Preriscaldare l'acqua di alimento (nel caso di generatori di vapore), tramite il cosiddetto economizzatore
  - È possibile infine applicare un ulteriore condensatore





# Recupero esterno al processo: scambiatori

Un elemento sempre presente in un sistema di recupero termico industriale di tipo indiretto è sicuramente lo scambiatore di calore che consente di trasferire l'energia termica utile al fluido di processo interessato.

Le possibili situazioni sono:

- Scambiatori flat heat pipe per applicazioni ad alta temperatura
- Scambiatori fumi/aria
- Scambiatori fumi/acqua
- Scambiatori liquido/acqua (o altro liquido)



# Recupero esterno al processo: scambiatori

Lo scambiatore di calore è un elemento quasi sempre presente ed essenziale nel recupero termico. Tipici processi che consentono recuperi:

- recupero da forni industriali per produrre acqua calda/altri fluidi con scambiatori fumi acqua
- recupero da circuiti raffreddamento aria compressa
- recupero su UTA di processo (negli impianti più datati molto spesso è assente il recupero termico)
- recupero reflui termici da processi chimici, alimentari ecc.



# Recupero esterno al processo: scambiatori

Categoria	Recupero sensibile	Recupero totale
SCAMBIATORI RECUPERATIVI	Scambiatore aria-aria a piastre	Scambiatore aria-aria a piastre a recupero totale
	Scambiatore a tubi di calore	
	Batterie accoppiate	
	Batterie accoppiate con fluido bifase	
SCAMBIATORI RIGENERATIVI	Rigeneratori rotativi	Ruote entalpiche
		Torri entalpiche accoppiate

## SCAMBIATORI ARIA-ARIA

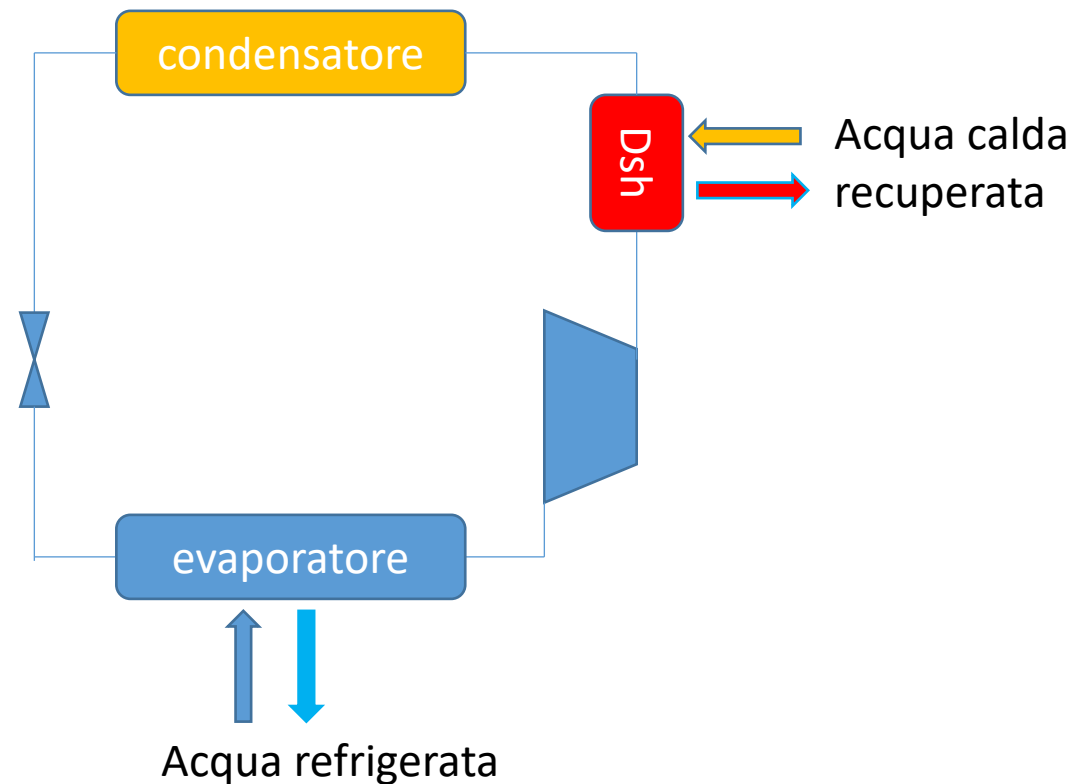
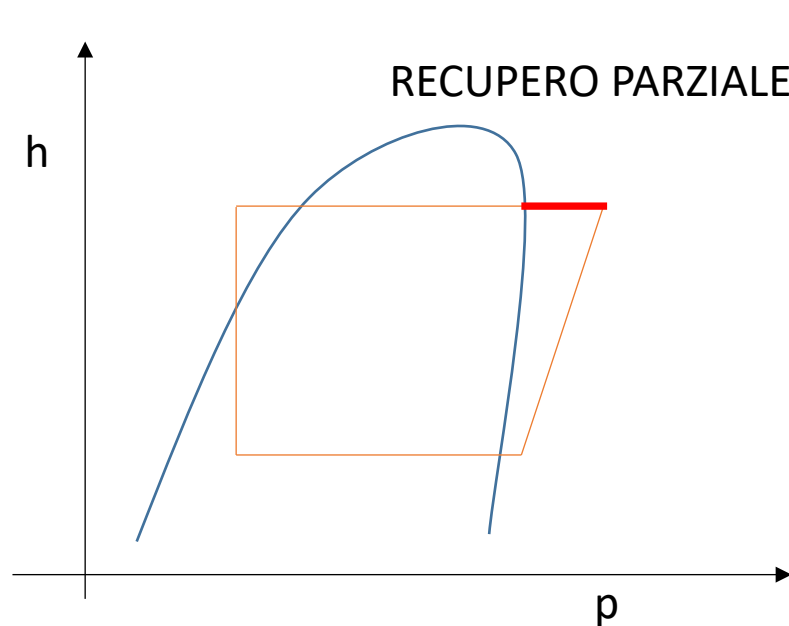
SCAMBIATORI LIQUIDO/LIQUIDO	tubi concentrici	fascio tubiero	piastre	serpentino immerso
coefficiente di scambio termico	***	***	****	*
perdite di carico	***	**	*	***
costo per unità di area	***	****	**	****
Immiscibilità	***	*	****	**
formazione di incrostazioni	***	**	***	
facilità di pulizia e manutenzione	***	**	****	**
Compattezza	**	***	****	***
resistenza alla pressione	****	***	*	**
resistenza alla temperatura	***	***	*	**

## SCAMBIATORI LIQUIDO-LIQUIDO

Fonte: R. Lazzarin, Corso Gestione dell'Energia

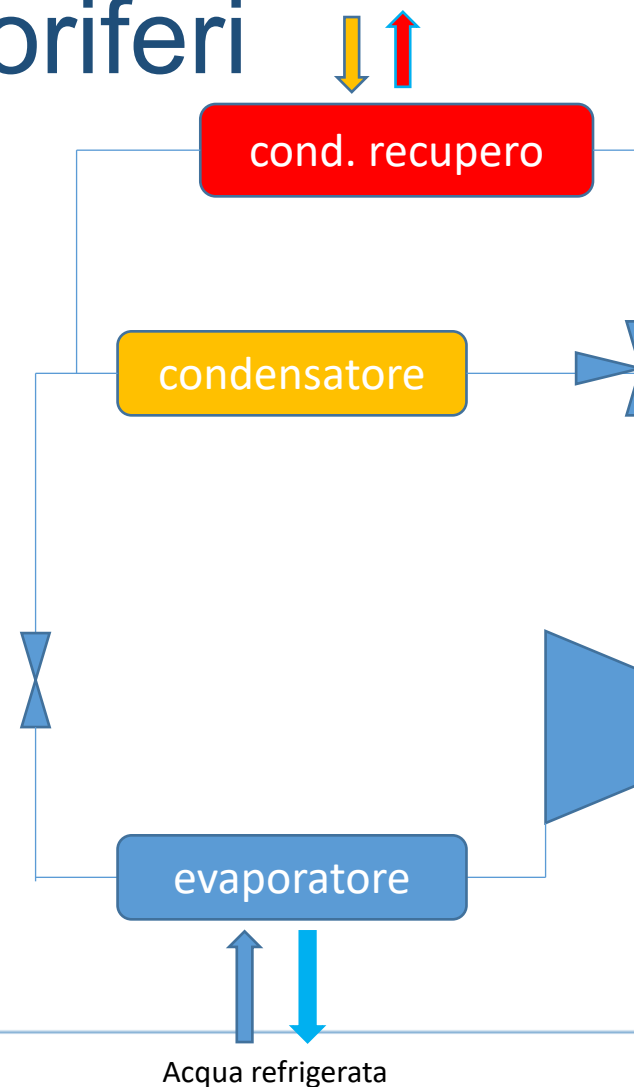
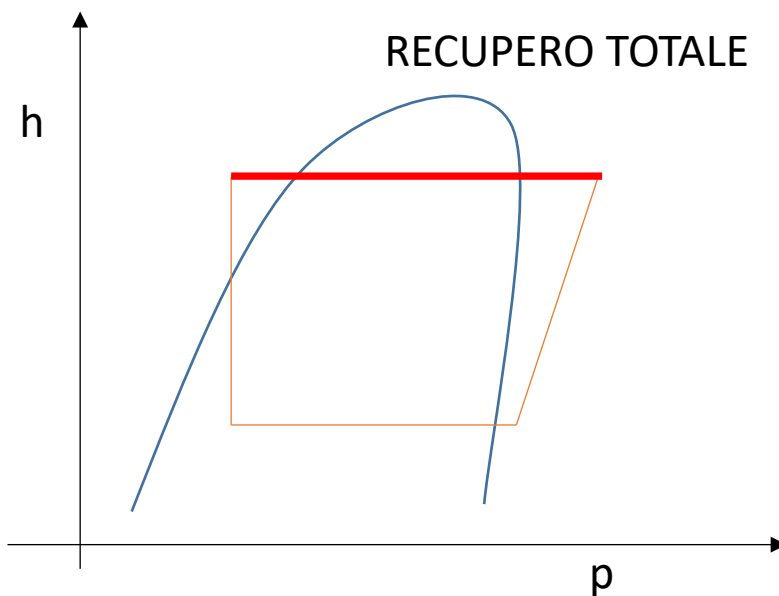


# Recupero da circuiti frigoriferi





Acqua calda  
recuperata





# Recupero esterno al processo: produzione di freddo

Se si dispone di acqua calda ad almeno 90 °C è possibile produrre energia frigorifera attraverso cicli ad assorbimento o adsorbimento

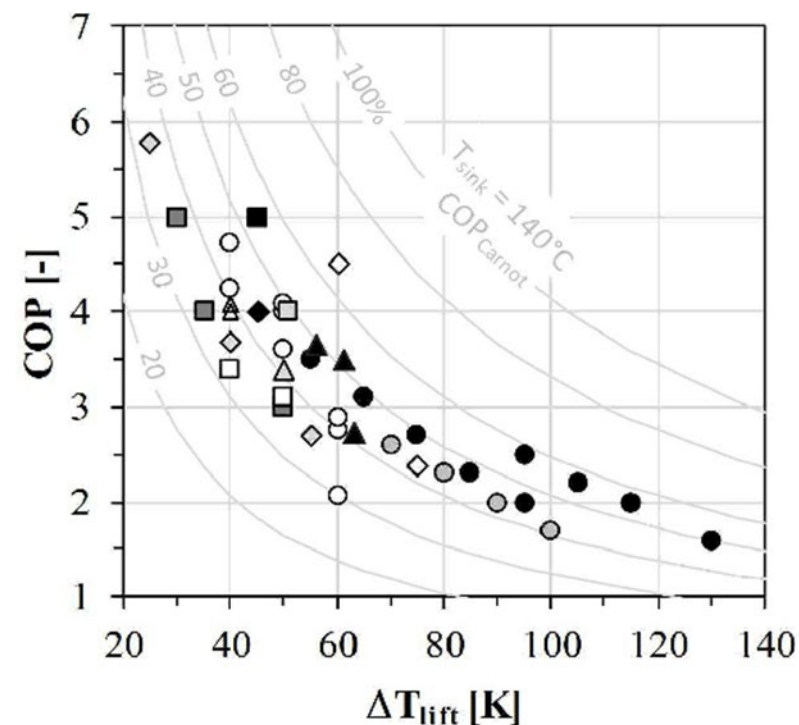
Tecnologia			temperatura generazione [°C]	temperatura acqua refrigerata [°C]	COPf
assorbimento	singolo effetto	LiBr- H2O	80-110	5-10	0,5-0,7
		H2O-NH3	120-150*	<0	0,5
	doppio effetto	LiBr- H2O	120-150	5	>1,2
		H2O-NH3	180-200	-10	0,8-1,2
adsorbimento		silica gel	60-90	5-10	0,45-0,7

\*sul mercato recentemente vi sono macchine che operano anche con acqua a 90 °C



# Recupero esterno al processo: pompe di calore

- Se si ha a disposizione calore a temperatura non utile per i processi interni (es. circuito di raffreddamento, scarico reflui depurazione ecc.), è possibile ipotizzare di utilizzarli come sorgente termica per una pompa di calore industriale
- Il futuro sviluppo delle pompe di calore nell'industria parte proprio da applicazioni con reflui termici disponibili: oggi si può arrivare anche a produrre vapore di processo

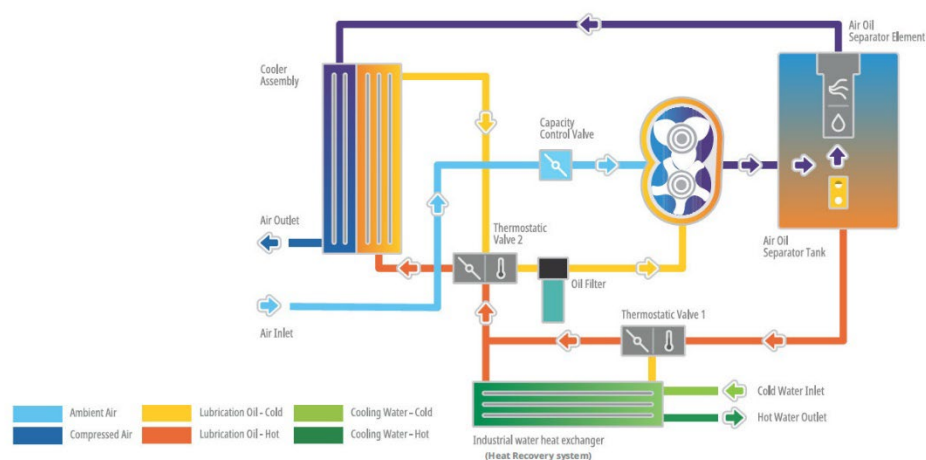






# Caccia alle sorgenti termiche...

- Il potenziale di recupero termico è come ben noto sottovalutato
- Alcune sorgenti molto spesso disponibili e con temperature quasi sempre non utilizzabili direttamente:



Recupero termico aria compressa (50-60 °C)



Circuiti di raffreddamento (25-30 °C o più elevate)



## Altre opportunità

- Le pompe di calore possono migliorare anche le prestazioni di sistemi di cogenerazione, valorizzando l'energia termica disponibile al secondo stadio degli intercooler nei motori (tipicamente a 35-40 °C)
- Se il cascame termico non è utilizzabile internamente, è possibile pensare di cederlo a reti di teleriscaldamento limitrofe (es. raffreddamento data center)

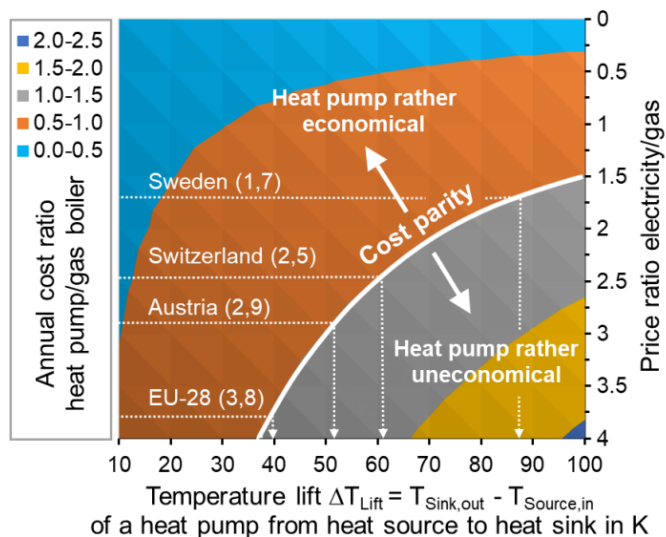


# Considerazioni economiche

Dal punto di vista economico

$$COP_{pdc} = \frac{Cost_{el}[Euro/kWh]}{Cost_{gas}[Euro/Sm^3]} \cdot PCI_{gas}[kWh/Sm^3] \cdot \eta_{caldaia}$$

## Economic evaluation – heat pump vs. gas boiler



Parity of annual costs  
with a heat pump and a gas boiler

Assumptions:	Heat pump	Gas boiler
Investment costs:	420 EUR/kW	60 Euro/kW
Interest on capital:	5%	5%
Useful life:	15 years	15 years
Annuity:	40.5 EUR/kW	5.8 EUR/kW
Maintenance costs:	2.5%	3% (Investition)
	15 EUR/kW	4,2 EUR/kW
2 <sup>nd</sup> law efficiency ( $\eta_{HP}$ ): <sup>1)</sup>	45%	
Gas boiler efficiency ( $\eta_{Boiler}$ ):		80%
Operating hours: <sup>2)</sup>	3'504 h/year	3'504 h/year
Gas price: <sup>3)</sup>		0,0301 Euro/kWh

<sup>1)</sup>  $COP_H = \eta_{HP} \cdot T_{Sink,out} / \Delta T_{Lift}$ ;  $T_{Sink,out} = 393,15$  (120°C)

<sup>2)</sup> 40% x 365 days x 24 h = 3'504 h

<sup>3)</sup> Eurostat, EU-28, 2016

Source: Arpagaus (2018)

Country	Electricity/Gas Price Ratio			Indicator
	Households	Small Enterprises	Large Enterprises	
Sweden	1,2	1,3	1,0	↑
Finland		1,8	1,2	↑
Bulgaria	1,9	2,6	2,0	↑
Netherlands	1,5	2,6	2,6	↑
France	1,4	2,7	2,5	↑
Slovenia	2,5	2,1		↑
Portugal	2,1	2,5	2,4	↑
Estonia	2,5	2,6	2,2	↑
Austria	2,8	2,7	2,0	↑
Poland	2,4	2,8	2,4	→
Lithuania	1,7	3,4		→
Croatia	2,6	2,6		→
Hungary	3,1	2,4	2,8	→
Latvia	2,2	3,5	2,7	→
Luxembourg	3,2	2,3		→
Slovakia	1,7	3,5	3,2	→
Denmark	4,2	1,9	2,7	→
Czech Republic	2,2	3,7	2,9	→
Spain	2,9	3,5	2,5	→
Greece	2,3	4,0		→
Italy	2,2	3,9	3,7	→
Romania	4,2	3,0	2,8	→
Belgium	2,8	4,0	3,2	→
Germany	3,0	4,0	3,5	→
Ireland	4,1	3,9		↓
United Kingdom	2,8	4,2	5,1	↓
EU-28	2,4	3,3	3,0	→

Figure 3-5: Electricity/Gas Price Ratios in the EU [Source Wolf 16-10a]

Valori un po' datati



## Il tema economico: incentivazione

- In questa fase in cui i risparmi economici possono essere critici, per la diffusione delle pompe di calore ad alta temperatura nell'industria, è fondamentale il sostegno di meccanismi incentivanti

INCENTIVAZIONE DISPONIBILE SU ORIZZONTE  
TEMPORALE LIMITATO



TRANSIZIONE 5.0  
BANDI PNRR TRANSIZIONE INDUSTRIALE  
BANDI REGIONALI (POR FESR ecc)  
ZES

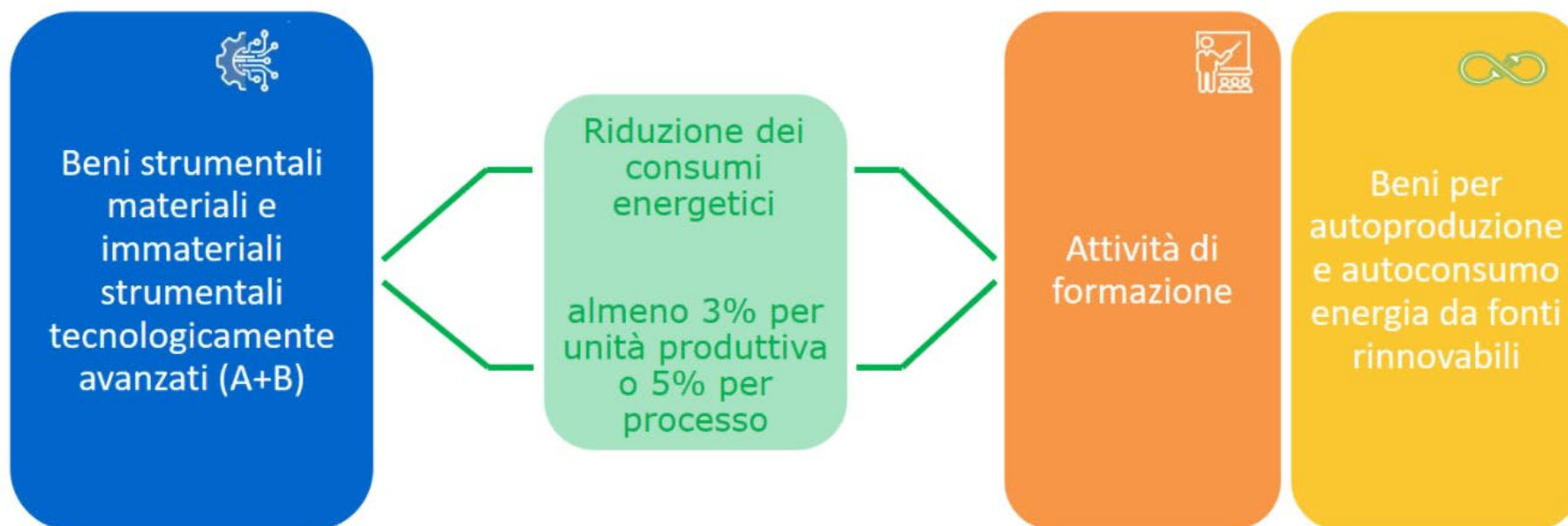
INCENTIVAZIONE «STRUTTURALE»  
(nei limiti del possibile in Italia...)



CERTIFICATI BIANCHI  
CERTIFICATI BIANCHI CAR (D.M. 5 SETT. 2011 e sm.i.)  
CONTO TERMICO 3.0 (in arrivo)  
...



# Transizione 5.0



Fonte:



Ministero delle Imprese  
e del Made in Italy



# Certificati bianchi: recupero termico

Aux kWe	Potenza recupero kWt	tep/anno ottenibili			
		ore			
		2000	4000	6000	8000
3	200	36	73	109	145
6	400	73	145	218	290
9	600	109	218	326	435
12	800	145	290	435	580
15	1000	181	363	544	725
rendimento base	0,92				

$$RISP^* = \frac{E_{termica}}{\eta_{baseline}} \cdot f_t - E_{el} \cdot f_e$$

Il consumo di baseline è pari al consumo che sarebbe stato necessario nella situazione di baseline per produrre l'energia recuperata nella situazione post intervento



- **Rapporto** tra la totalità dell'energia termica prodotta e la totalità dell'energia del combustibile in ingresso
- **Prova fumi** più recente
- **Consumo di riferimento** qualora il rendimento ex ante sia maggiore del rendimento di riferimento



# Certificati bianchi: recupero termico

**NOTA BENE**

22

Qualora l'energia termica all'interno dello stabilimento venisse prodotta da più sistemi, **il rendimento da considerare potrebbe essere quello del sistema che presenta il valore più conservativo.**

Nel caso di **presenza di un impianto di cogenerazione** potrebbe essere necessario determinare l'eventuale mancata produzione di energia elettrica in seguito alla diminuzione della richiesta di energia termica all'impianto di cogenerazione.

Deve essere calcolato **considerando esclusivamente l'energia termica recuperata effettivamente trasmessa alle utenze.**  
In tali casi è necessario prevedere nell'algoritmo di calcolo, l'introduzione di un **parametro di controllo** che consenta di verificare che al recupero termico sia associato un equivalente risparmio di energia primaria.





### Elenco degli interventi non ammissibili al meccanismo dei Certificati Bianchi

Impianti di produzione di energia termica, compresi i generatori di aria calda

1. sostituzione di bruciatori;

Gruppi frigo e pompe di calore, ivi compresi gli impianti di surgelazione e refrigerazione

1. sostituzione della tipologia di fluido refrigerante;
2. sostituzione di scambiatori;

Installazione o sostituzione di inverter

Adozione di tecniche di “pinpointing” di tipo acustico e non acustico per la localizzazione delle perdite idriche

Installazione o sostituzione di UPS



Risulta ora incentivabile la tipologia **“Altri sistemi di free-cooling”**  
con vita utile di 3 anni nei settori



# Certificati bianchi: pdc industriali

NEL CASO DI POMPE DI CALORE INDUSTRIALI IN SOSTITUZIONE DI COMBUSTIBILI FOSSILI

$$RISP^* = \frac{E_{termica}}{\eta_{baseline}} \times f_t - E_{e\_pdc_c} \times f_e$$

SE SI RICAVALA ANCHE UN EFFETTO UTILE FRIGORIFERO  
(«POLIVALENZA O RECUPERO TOTALE/PARZIALE»)

$$RISP_{PDC_i}^* = \frac{ET_{PDC_i}}{rend_{t\_baseline}} \cdot f_t + \frac{EF_{PDC_i}}{EER_{baseline}} \cdot f_{el} - E_{el\_PDC_i} \cdot f_{el}$$

PER LE POMPE DI CALORE VI SONO DEI VALORI MINIMI DI COP DA RISPETTARE  
EVENTUALMENTE DA RICONDURRE CON CARNOT AI PUNTI DI LAVORO PREVISTI

PER LE PDC OPERANTI SUL SECONDO STADIO INTERCOOLER O SUI RECUPERI DA COGE  
DEVONO ESSERE GESTITI CON I CB CAR (SI CONSIDERA IL CALORE RECUPERATO  
ALL'EVAPORATORE)

SONO POSSIBILI ANCHE NUOVE INSTALLAZIONI SENZA SOSTITUZIONE FISICA O  
FUNZIONALE – IN QUEL CASO SI DEVONO CONSIDERARE RENDIMENTI DI BASELINE E  
ALGORITMI COME DA LINEE GUIDA



GENERIAMO IDEE PER UN'ENERGIA SOSTENIBILE



**GRAZIE PER L'ATTENZIONE**



CO<sub>2</sub>

Seguici su



[aicarr.org](http://aicarr.org)



**AiCARR**

Cultura e Tecnica per Energia Uomo e Ambiente

*Il presente documento è il risultato di una libera e personale interpretazione dell'autore. In nessun caso le idee espresse dall'autore possono essere considerate come parere di AiCARR. Le fonti esterne (di immagini, materiali, schemi, idee, ecc.) sono state opportunamente citate, dove note. Immagini e disegni sono tratti nella maggior parte dei casi da Internet e si ricollegano a concetti e definizioni di senso comune. Nel caso che qualche diritto di autore sia stato involontariamente leso, si prega di contattare l'autore della presentazione, al fine di risolvere ogni possibile conflitto.*