

MODULE 2.1

Efficienza Energetica in EINSTEIN

Ottimizzazione di Processo e Recupero di Calore

FASE 7: configurazione delle proposte di risparmio energetico

EINSTEIN
thermal energy
industry audit

EINSTEIN pensa in modo logico,
per cui il risparmio energetico è al primo
posto!

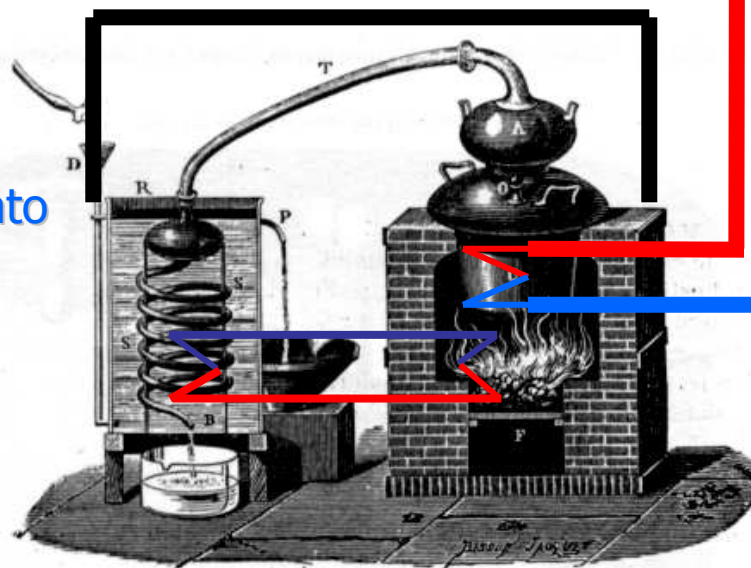
- ✓ Sul lato della domanda
- ✓ Sul lato dell'offerta

FASE 7: configurazione delle proposte di risparmio energetico

EINSTEIN
thermal energy
industry audit



Sistema di raffreddamento



Distillazione



energia rinnovabile

Ottimizzazione del processo

Impianto di riscaldamento



FASE 7: configurazione delle proposte di risparmio energetico

EINSTEIN
thermal energy
industry audit

Fasi del risparmio energetico

1. Riduzione della domanda di calore di processo mediante **Ottimizzazione del processo**
2. Riduzione della fornitura di calore mediante **Recupero del calore e Integrazione di processi**
3. Cogenerazione e poligenerazione
4. Tecnologie di fornitura di energia efficiente e fonti di energie rinnovabili **in base a considerazioni exergetiche**

FASE 7.1 e 7.2 : ottimizzazione del processo dal punti di vista della domanda di risparmio

EINSTEIN
thermal energy
industry audit

✓ OBIETTIVO

- Miglioramenti energetici dei processi produttivi
- Miglioramenti della domanda di energia degli edifici

Fonti di misure di efficienza energetica

- Documenti di riferimento per le BAT (BREF)
- Rapporto EINSTEIN su “*Prassi e strumenti di audit energetico*” (incl. strumenti per ottimizzazione edifici)
- **Banca dati** Einstein per ottimizzazione di processo

...

FASE 7.1 e 7.2 : ottimizzazione del processo e riduzione della domanda energetica

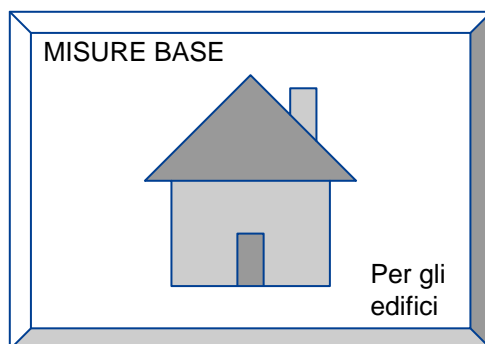
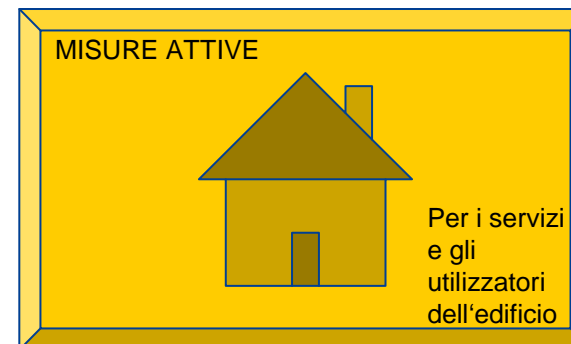
..una **Banca dati** per l'efficienza energetica

- ✓ Misure / metodologie generali di risparmio
 - Ad es. riuso dell'acqua di lavaggio, ecc.
- ✓ Diverse tecnologie possibili per 1 singola operazione
- ✓ Misure di efficienza che possono essere applicate a specifiche tecnologie
 - Ad es. recupero del calore di scarto, regolazione ottimizzata nell'essiccamento
- ✓ Applicabilità delle tecnologie/misure a diversi settori
 - Consentire sinergie tra soluzioni applicate in diversi settori

FASE 7.1 e 7.2 : ottimizzazione del processo dal punti di vista della domanda di risparmio

- **EINSTEIN** utilizza la domanda energetica degli edifici come input per l'ottimizzazione – no calcolo
- Per edifici, possono essere definite Misure di **BASE** e **ATTIVE** per sistemi di fornitura e utilizzatori

- ✓ ottimizzazione sistemi di riscaldamento
- ✓ Utilizzazione fonti di energia rinnovabili
- ✓ Ottimizzazione sistema di controllo riscaldamento
- ✓ Ottimizzazione sistemi di ventilazione
- ✓ Comportamento utilizzatori



- ✓ Isolamento esterno
- ✓ Ottimizzazione termica porte/finestre
- ✓ Ermeticità
- ✓ Schermatura esterna
- ✓ Raffrescamento/ventilazione naturale

FASE 7.1 e 7.2 : riduzione della domanda energetica negli edifici

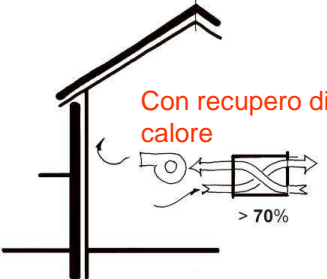



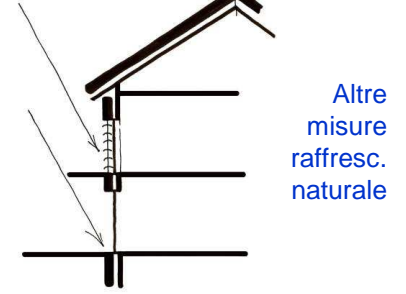
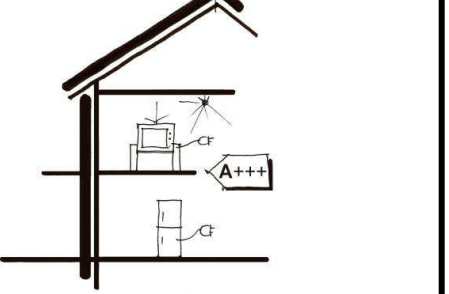
Le zone climatiche in EU possono dividersi in *calde, temperate e fredde* in funzione di:

- ✓ minime e medie temperature esterne durante il periodo di riscaldamento
- ✓ temperature medie esterne durante l'estate
- ✓ gradi giorno
- ✓ radiazione solare

FASE 7.1 e 7.2 : riduzione della domanda energetica negli edifici

...per riscaldamento/raffrescamento in diverse fasce climatiche

EINSTEIN thermal energy industry audit

...riguardo*	C (caldo)	T temperato	F freddo
Riscaldamento	<p>Isolamento, ermeticità e ottimizzazione ventilazione</p>  <p>Con recupero di calore > 70%</p>	<p>Isolamento, ermeticità e ottimizzazione ventilazione e sistema riscaldamento</p>  <p>con distribuzione basse temperature... 25-55°C utilizzo ne fonti rinnovabili con recupero di calore</p>	<p>Isolamento, ermeticità e ottimizzazione ventilazione e sistema riscaldamento</p>  <p>Con recupero di calore utilizzo ne fonti rinnovabili</p>
Raffrescamento	<p>Raffrescamento naturale, schermatura esterna, comportamento utilizzatori e ventilazione ottimizzata</p>  <p>raffrescamento non forzato</p>	<p>Schermatura esterna, comportamento utilizzatori</p>  <p>Altre misure raffresc. naturale</p>	<p>Comportamento utilizzatori e schermatura esterna</p>  <p>A+++</p>

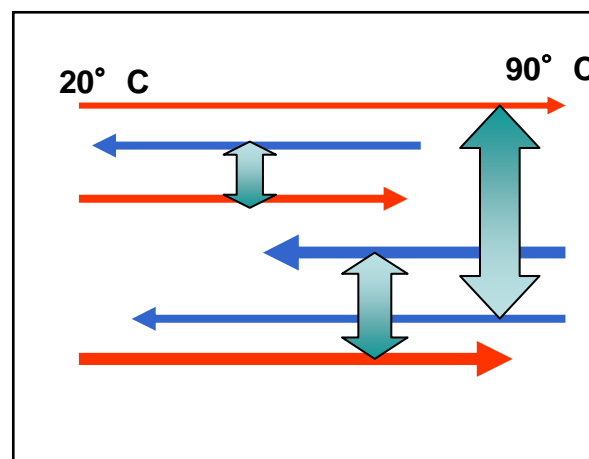
FASE 7.3 e 7.4 : potenziale teorico di RE e progettazione preliminare di rete SC e accumulo energia

7.3 Recupero di calore POTENZIALE

- ✓ Analisi di una domanda minima esterna di calore e freddo
- ✓ Potenziale di recupero del calore

7.4 Progettazione di una rete di scambiatori di calore

- ✓ Progettazione e ottimizzazione di una rete di scambiatori di calore,
- ✓ Riduzione della domanda di energia e dei livelli di temperatura richiesti -> base per l'integrazione exergetica ottimizzata della fornitura di calore e freddo



FASE 7.3 e 7.4 : potenziale teorico di RE e progettazione preliminare di rete SC e accumulo energia

EINSTEIN
thermal energy
industry audit

- ✓ Dove si valuta il recupero di calore nell'ambito di una diagnosi energetica:
- ✓ Prima del calcolo di un nuovo sistema di approvvigionamento energetico
- ✓ Possibile ri-calcolo a valle del nuovo sistema di approvvigionamento
 - I flussi energetici collegati con i sistemi di generazione del caldo/freddo possono cambiare

Fase 7.3: potenziale di recupero del calore

Obiettivo:

Potenziale teorico del risparmio energetico mediante recupero del calore (prima della progettazione di sistemi di fornitura dell'energia)

- Risparmiare combustibili e evitare il sovradimensionamento degli impianti di generazione

Metodologia

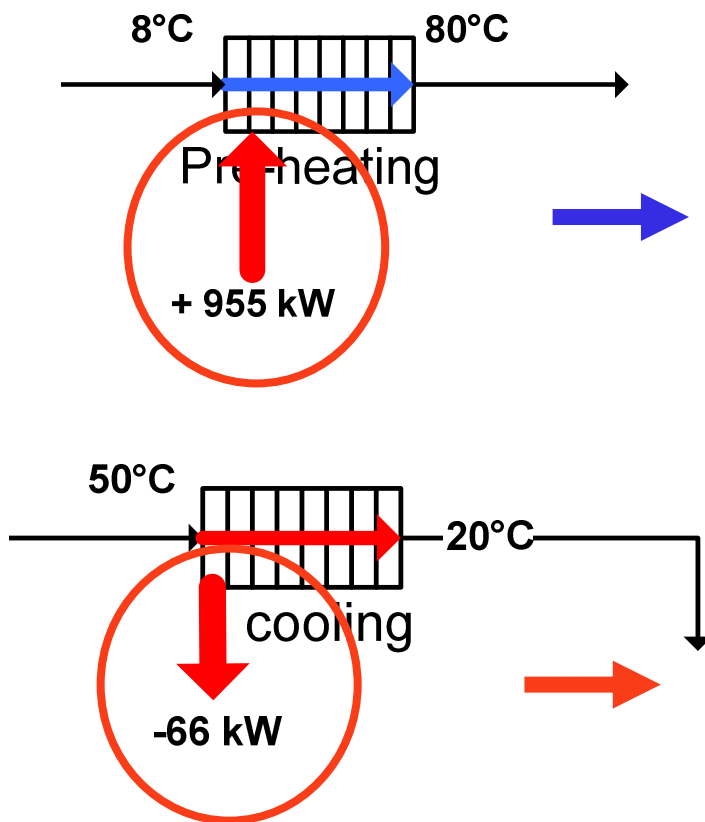
- Dalla fornitura di energia e dai processi a “flussi”
- Pinch Analysis
 - Curva composita lato caldo e lato freddo
 - Grand composite curve

Risultati

- Potenziale teorico di recupero del calore
- Fornitura esterna del calore/freddo necessaria a diversi livelli di temperatura

Flussi di energia (*energy streams*)

EINSTEIN
thermal energy
industry audit



I „*flussi freddi*“ devono essere riscaldati

Qualsiasi processo in cui è **necessario un apporto di energia** per riscaldare il fluido/mezzo di processo

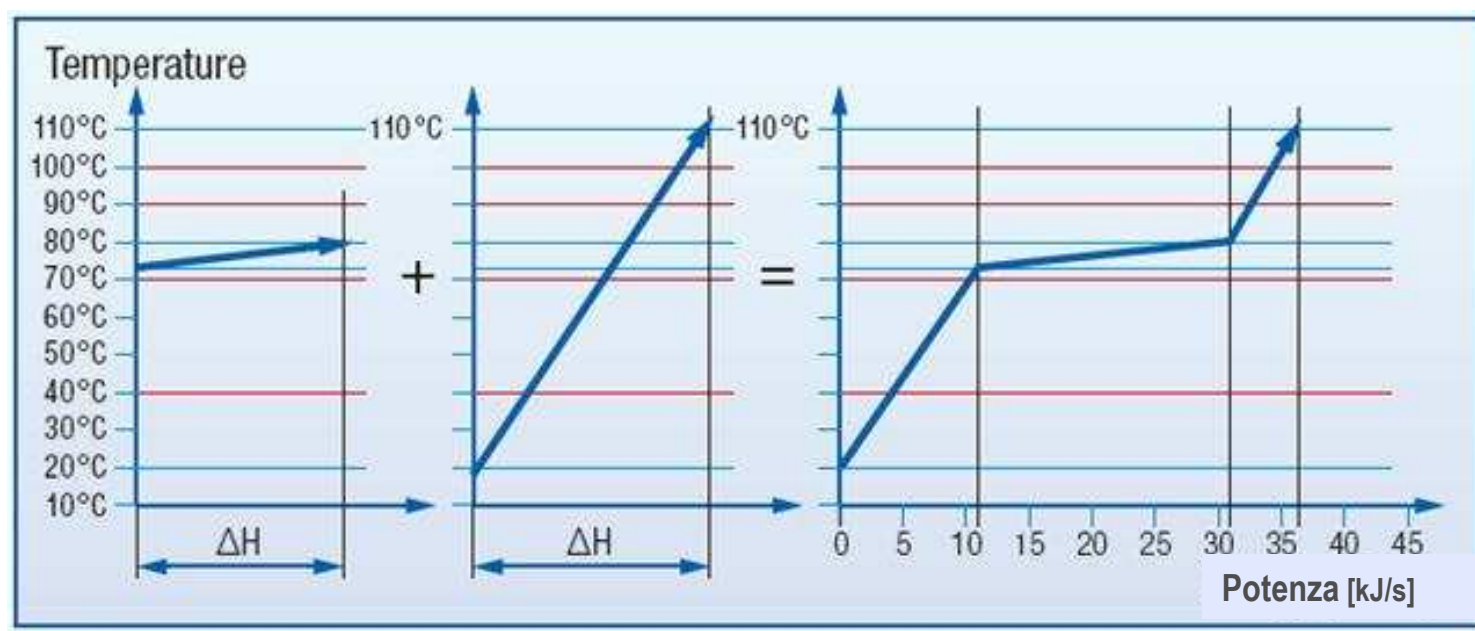
I „*flussi caldi*“ devono essere raffreddati

Qualsiasi processo in cui è **necessario sottrarre energia** per raffreddare il fluido/mezzo di processo

Fase 7.3: potenziale di recupero del calore

✓ Curve composte (*Composite Curves*)

Somma di vettori (flussi di energia) nel piano (potenza, temperatura)

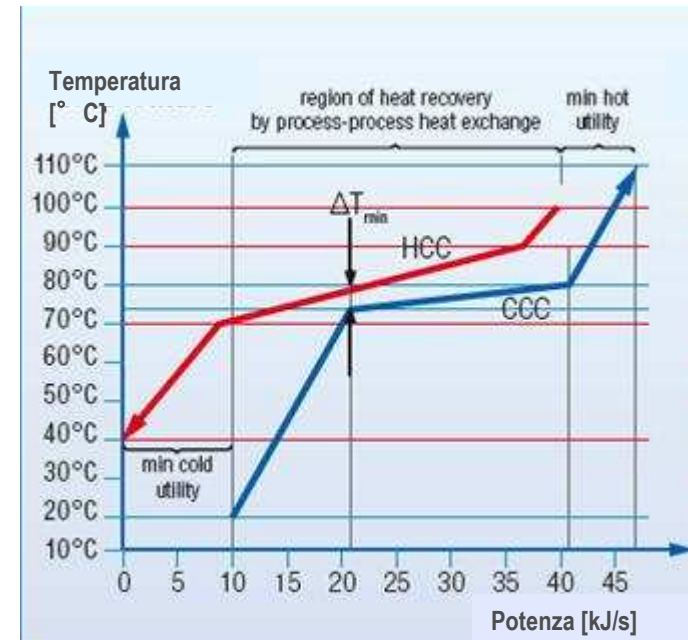


Fase 7.3: potenziale di recupero del calore

✓ **Curva composta “calda” HCC e curva composta “fredda” CCC**

✓ **Temperatura al pinch - separazione a metà del sistema analizzato:**

- Al di sopra del pinch - nessun apporto di freddo necessario
- Al di sotto del pinch - nessun apporto di calore necessario
- Nessuno scambio dovrebbe avvenire attraverso il pinch

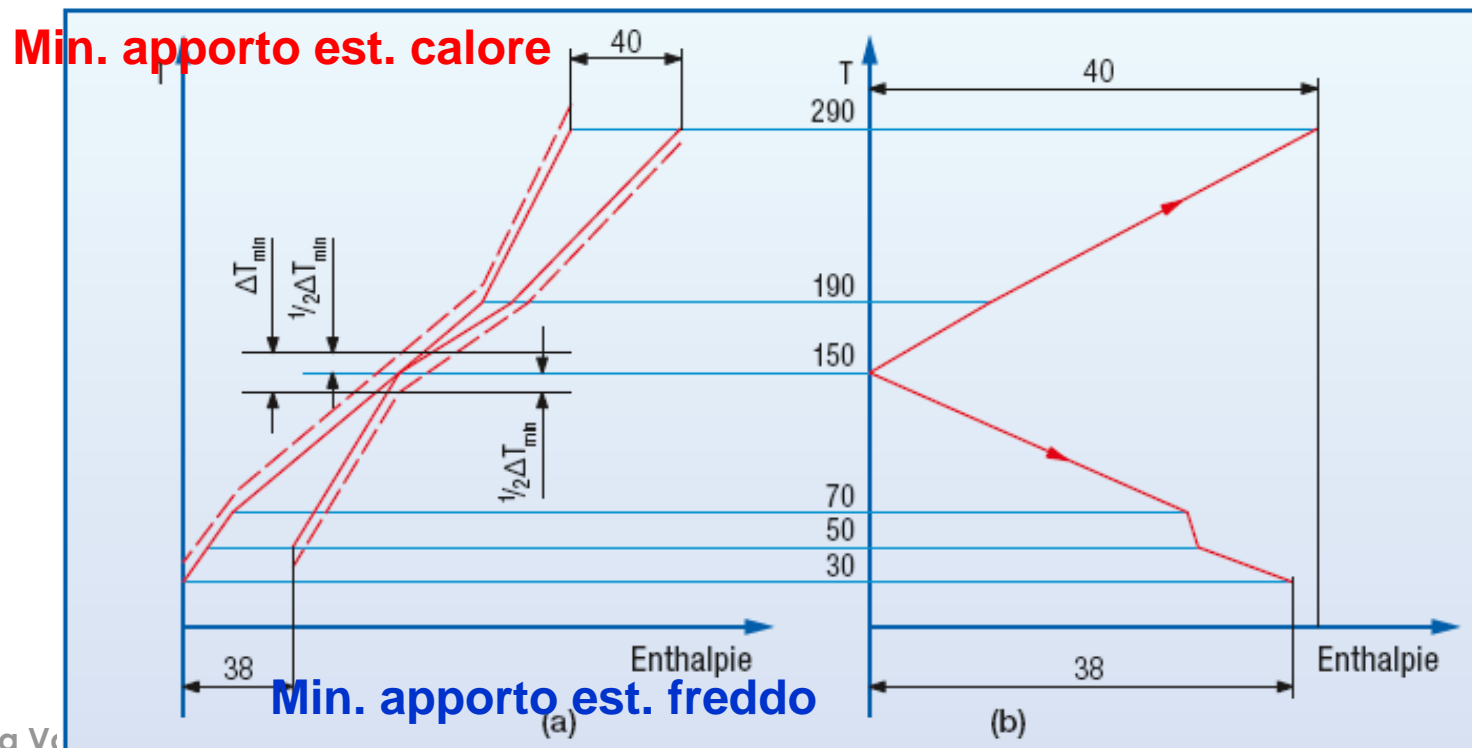


Fase 7.3: potenziale di recupero del calore

Grand Composite Curve (GCC)

✓ Mostra:

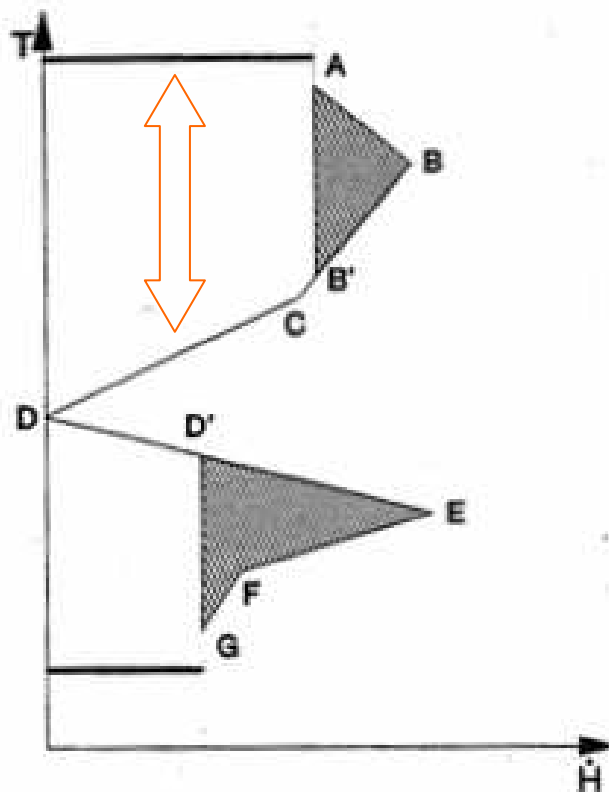
- L'apporto esterno di energia necessario per riscaldare o raffreddare i flussi
- A quale temperatura dovrebbe essere fornito il calore dall'esterna



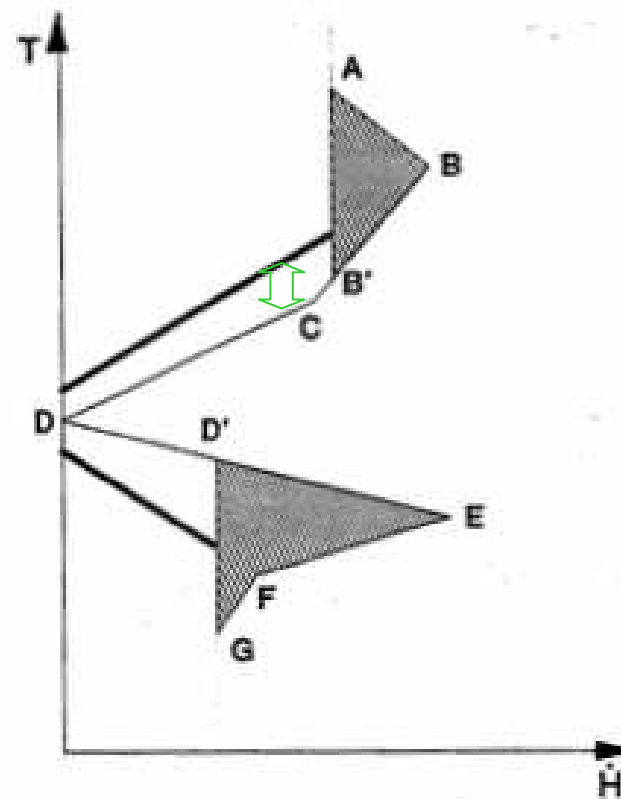
Fase 7.3: potenziale di recupero del calore

Grand Composite Curve (GCC) e fornitura del calore

(a) elevata perdita exergica



(b) livello di temperatura ideale



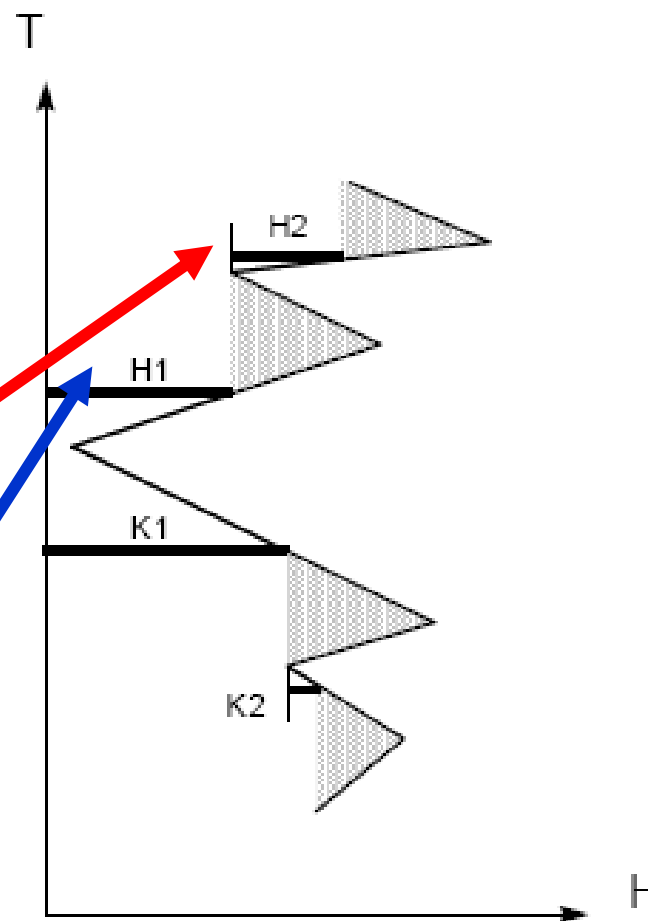
Fase 7.3: potenziale di recupero del calore

Grand Composite Curve (GCC) e fornitura del calore

Approssimazione alla temperatura ideale mediante il set appropriato di tecnologie:

H2: apporto di calore ad elevata temperatura

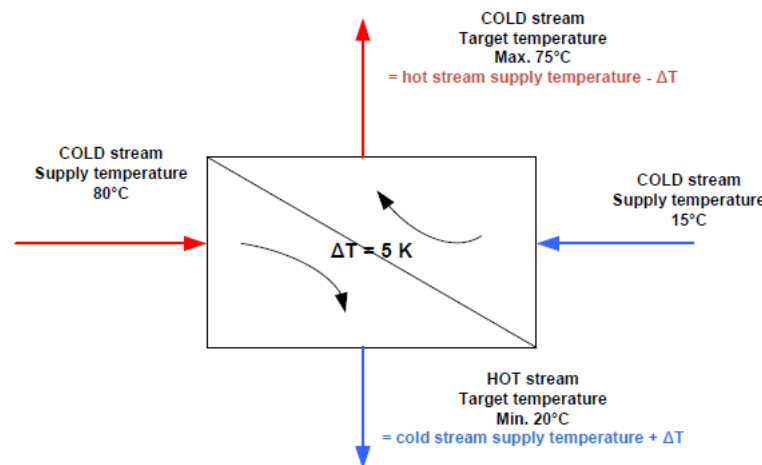
H1: apporto di calore a bassa temperatura



Dimensionamento degli scambiatori di calore

Scelta del ΔT_{\min} nel dimensionamento preliminare

- ✓ In uno scambiatore di calore in controcorrente la temperatura finale del flusso freddo può raggiungere al massimo la temperatura iniziale del flusso caldo meno ΔT_{\min} .
- ✓ In uno scambiatore di calore in controcorrente la temperatura finale del flusso caldo può raggiungere al massimo la temperatura iniziale del flusso freddo più

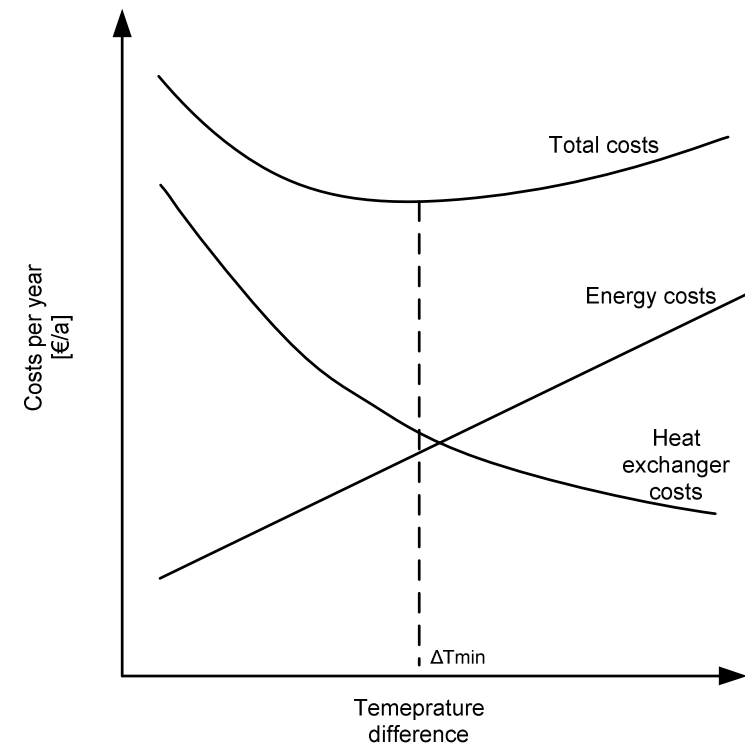


$$H[kW] = m_{hs} * c_{p_{hs}} * (T_{supply_{hs}} - T_{target_{hs}}) = m_{cs} * c_{p_{cs}} * (T_{target_{cs}} - T_{supply_{cs}})$$

Dimensionamento degli scambiatori di calore

EINSTEIN
thermal energy
industry audit

- ✓ Ottimizzazione economica
 - ✓ Costi d'investimento: **superficie dello scambiatore di calore**, temperatura, pressione, materiale dello scambiatore di calore, allacci, ecc.
 - ✓ Risparmio energetico: **coefficiente di trasferimento termico** (caratteristiche del flusso, parametri del fluido, materiale, ecc.), **differenza logaritmica delle temperature** tra i fluidi, **superficie dello scambiatore di calore**

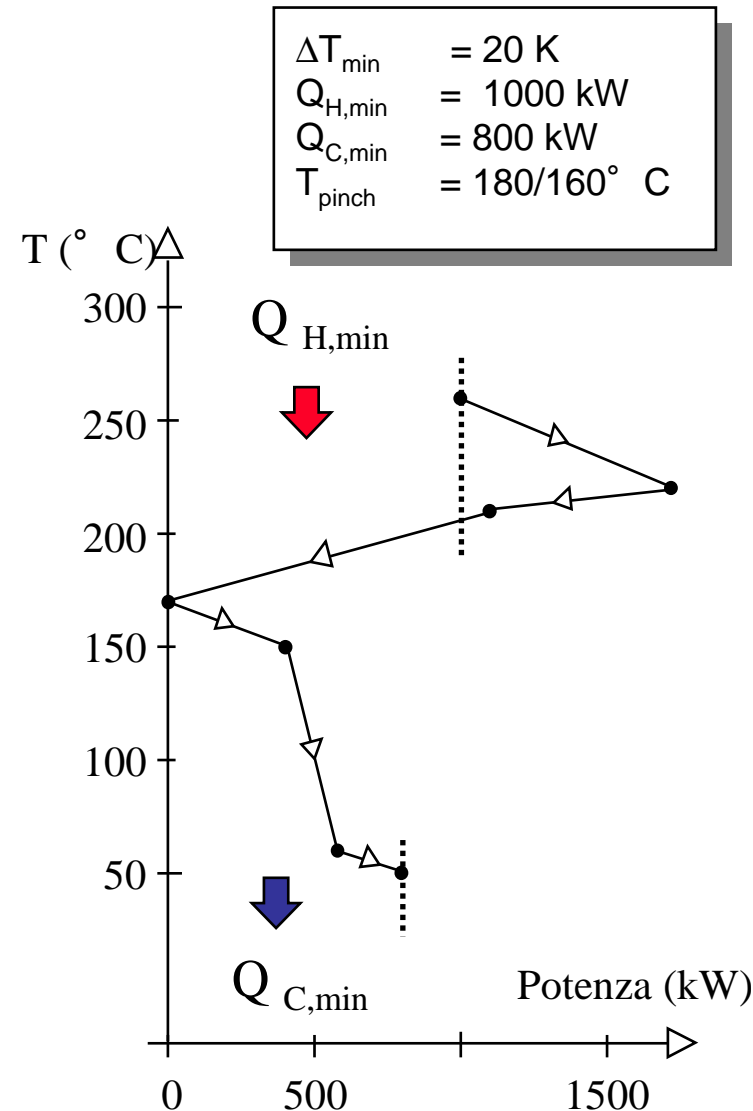
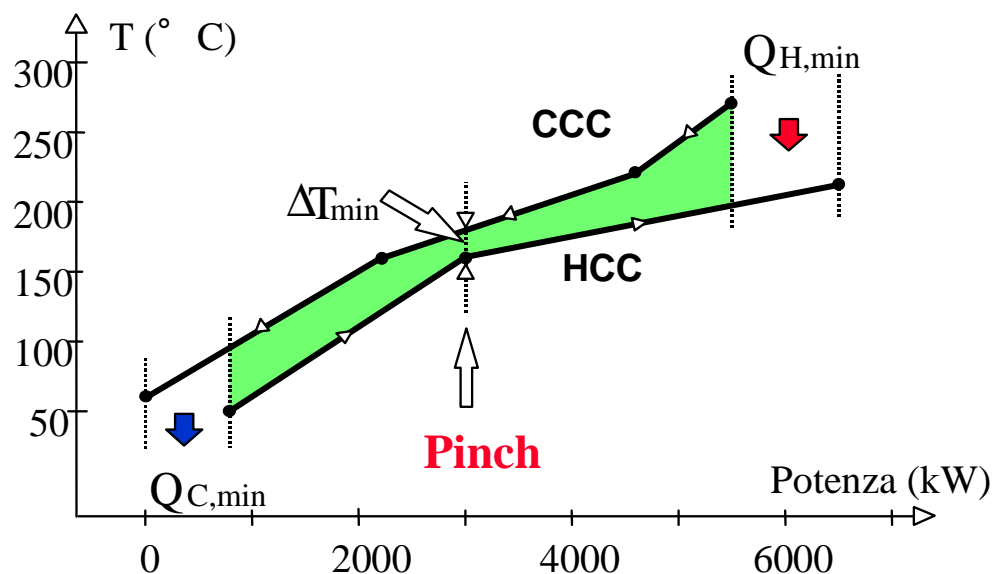


Fase 7.3: potenziale di recupero del calore

EINSTEIN thermal energy industry audit

Pinch Analysis

- Curva composita caldo e freddo
- Grand composite curve



Fonte: T. Gundersen. IEA. Process Integration, www.tev.ntnu.no/iea/pi

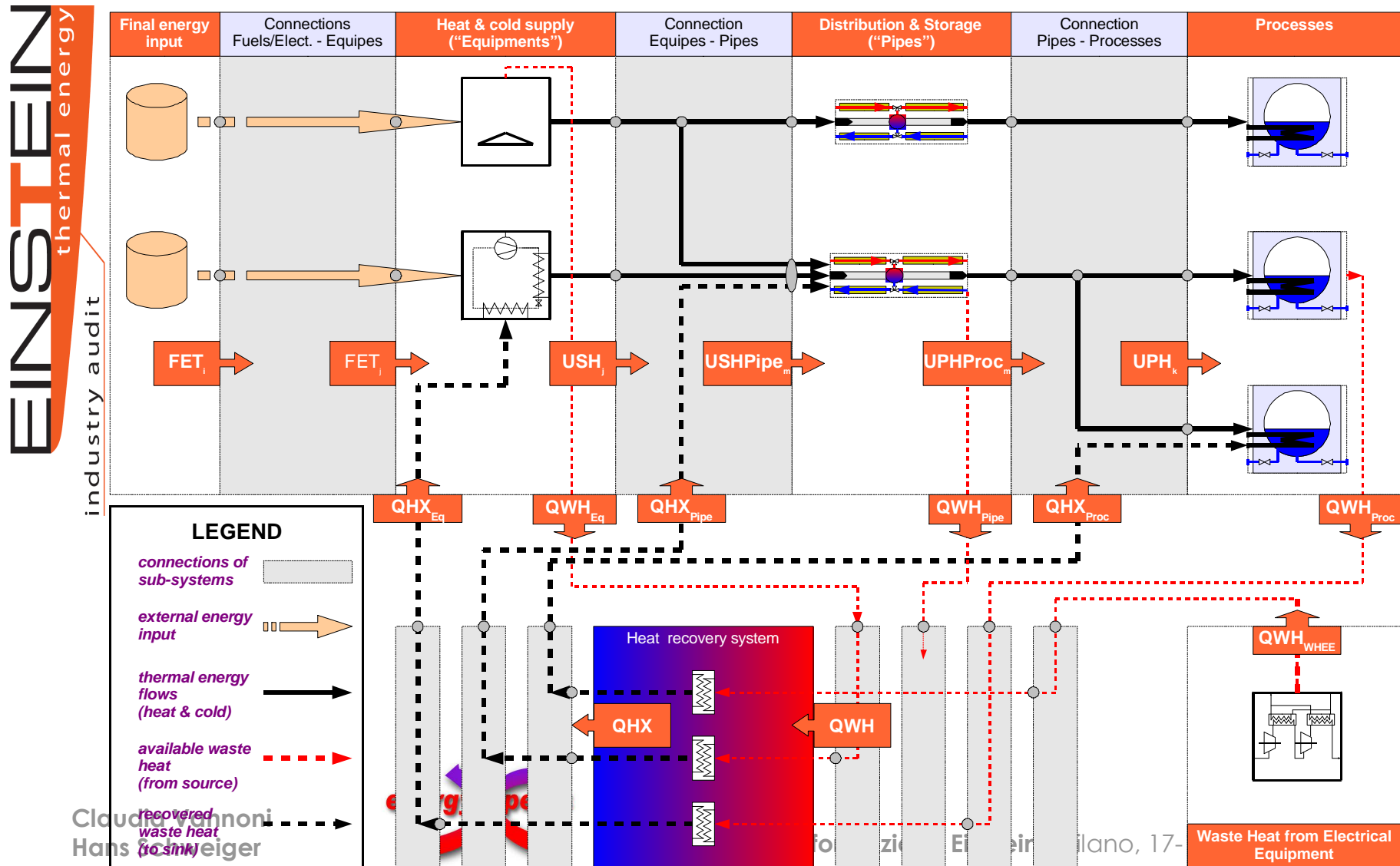
Claudia Vannoni
Hans Schweiger



Corso di formazione Einstein- Milano, 17-19 Maggio 2011

Steps 7.3 : theoretical HR potential

Flussi di energia in EINSTEIN



Fase 7.3: potenziale di recupero del calore

I seguenti flussi di entalpia sono considerati nella pinch analisi (lista non esaustiva):

✓ **Processi**

- Start up (riscaldamento all'avvio)
- Circolazione (riscaldamento del fluido di processo)
- Mantenimento (perdite termiche ed evaporazione)
- Flussi in uscita dal processo
 - Prodotti caldi
 - Acqua calda di scarto
 - Vapori
 - Ecc..

Fase 7.3: potenziale di recupero del calore

I seguenti flussi di entalpia sono considerati nella pinch analisi (lista non esaustiva):

✓ **Linee distribuzione**

- Condensa
- Flussi di scarto nella distribuzione (aria calda, acqua calda di scarto)
- Alimentazione caldaia acqua pre-riscaldata
- Ecc..

✓ **Impianti**

- Caldaie
 - Gas esausti
 - Aria di combustione
- Recupero di calore da chillers
- Domanda di calore di pompe di calore
- Ecc.

✓ **Impianti elettrici**

- Calore di scarto da compressori elettrici

Fase 7.3: potenziale di recupero del calore

✓ Dai sistemi di fornitura dell'energia e dai processi ai **flussi**:

✓ Processo = Lavaggio

- Volume del recipiente: 5 m³
- Temperatura acqua calda = 10° C
- Temperatura di processo = 60° C
- Ingresso acqua fredda = 10 m³/d
- Calore in ingresso durante l'operazione (riscaldamento di acqua in ingresso e perdite termiche, evaporazione trascurabile) = 90 kW
- Orario operazioni :
 - Inizio 6:00 h to 6:30 h
 - Operazioni continue 6:30 h to 16:00 h
- Temperatura acque di scarto = 50° C
- Temperatura alla quale le acque di scarto devono essere raffreddate:: 5° C.

Fase 7.3: potenziale di recupero del calore

- ✓ Dai sistemi di fornitura dell'energia e dai processi ai **flussi**:
- ✓ **Processo = lavaggio**

➔ **Entalpia dei flussi**

Nome	Temp. iniziale	Temp. finale	Portata massica	Potenza richiesta / calore di scarto	Orario di funzionamento
	° C	° C	kg/h	kW	
Avvio	10	60	10.000	582	6.00 – 6.30
Flusso continuo di acqua da riscaldare	10	60	1.053	61	6.30 - 16.00
Calore aggiunto durante il funzionamento per compensare le dispersioni termiche	60	60	-	29	6.30 - 16.00
Acqua reflua	50	5	1.053	55	6.30 - 16.00
Acqua reflua dopo arresto macchina	50	5	10.000	524	16.00 – 16.30

EINSTEIN
thermal energy
industry audit

Fase 7.4: progettazione preliminare di una rete di scambiatori di calore

✓ Obiettivo

- ✓ Integrazione del calore con approccio olistico
- ✓ Progettazione di una rete di scambiatori di calore

✓ Metodologia

- Proposta rete scambiatori di calore basata su *Pinch Analysis*
- Simulazione rete scambiatori di calore

✓ Risultati

- ✓ Rete di scambiatori di calore
- ✓ Profilo della domanda di energia e della disponibilità di energia (domanda energetica annua, livelli di temperatura)

Fase 7.4: progettazione preliminare di una rete di scambiatori di calore

Criteri generali per la rete di scambiatori:

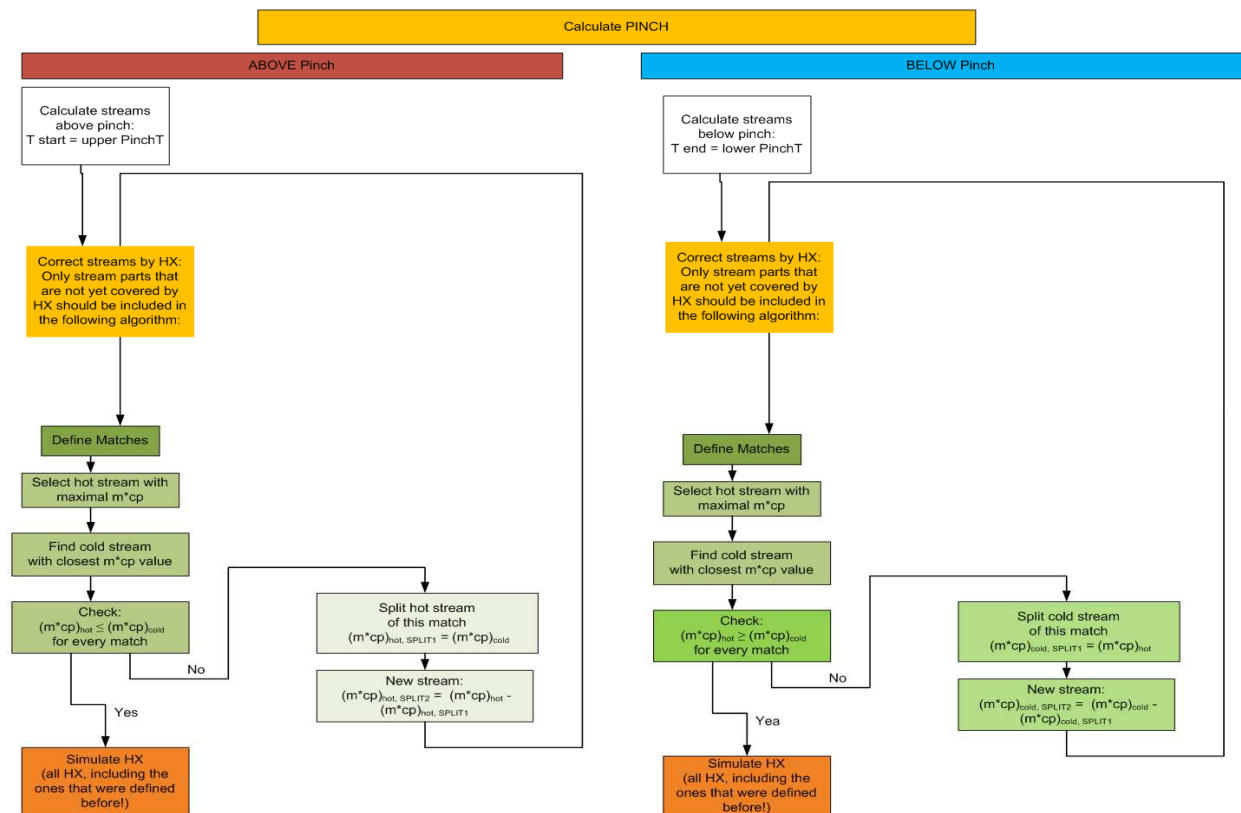
- ✓ Uso del calore a un certo livello di temperatura per riscaldare altri flussi ad un livello di temperatura simile
- ✓ Potenza intercambiata
- ✓ Energia totale trasferibile tramite gli scambiatori di calore
- ✓ Priorità all'integrazione di calore in seno allo stesso processo - uso diretto del calore di scarto
- ✓ L'uso di un flusso caldo che deve essere raffreddato attivamente da un chiller come fonte di calore per un flusso freddo aumenta il risparmio energetico perchè riduce sia la domanda di calore sia quella di freddo
- ✓ Distanza tra la fonte di calore (flusso caldo) e il flusso freddo
- ✓ Questioni pratiche, quali fattori di contaminazione, la necessità di scambio di calore indiretto mediante un mezzo di trasferimento di calore, aspetti legati a temperatura e pressione, ecc.

Fase 7.4: progettazione preliminare di una rete di scambiatori di calore

Algoritmo EINSTEIN per la selezione di HX:

Basato su *Pinch Algorithm* (Kemp et al., 2007):

EINSTEIN thermal energy industry audit



Fase 7.4: progettazione preliminare di una rete di scambiatori di calore

EINSTEIN thermal energy industry audit

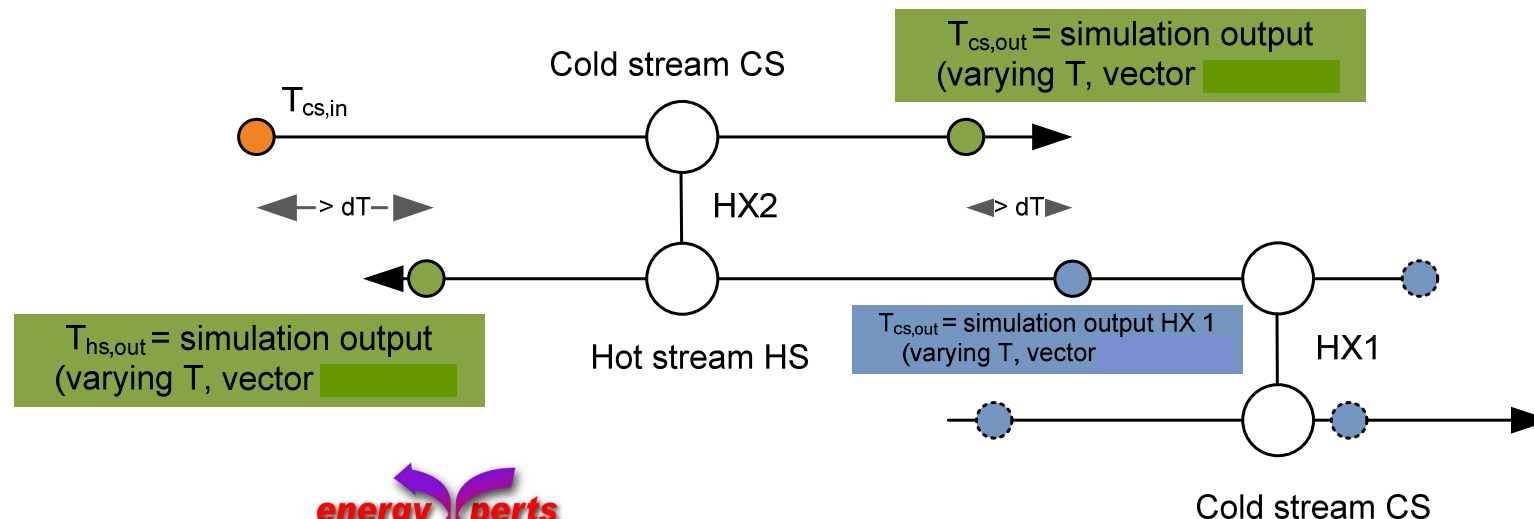
Simulazione della rete di HX in EINSTEIN:

✓ Valori iniziali per destinazioni e sorgenti:

- ✓ Q_t
- ✓ T_{start}
- ✓ T_{end}

✓ Risultati simulazione

- ✓ Q_{HX_t}
- ✓ T_{inlet_t}
- ✓ T_{outlet_t}



Fase 7.4: progettazione preliminare di una rete di scambiatori di calore

Simulazione di HX in EINSTEIN:

✓ Equazioni di base:

$$Q = m_{cs} * cp_{cs} * \Delta T_{cs} = m_{hs} * cp_{hs} * \Delta T_{hs}$$

$$\frac{\Delta T_{cs}}{\Delta T_{hs}} = \frac{m_{hs} * cp_{hs}}{m_{cs} * cp_{cs}}$$

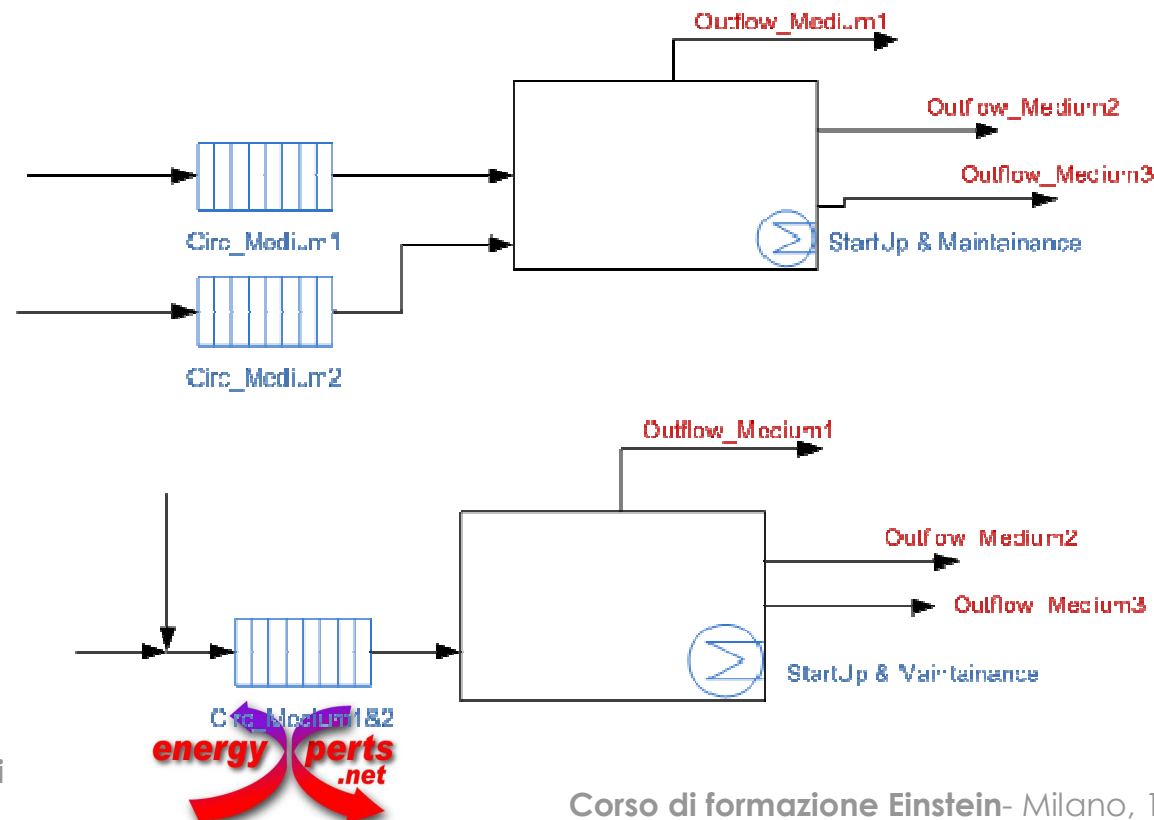
$$Q = U * A * \Delta T_{\log, hx}$$

$$\Delta T_{\log, hx} = \frac{(T_{hs, in} - T_{cs, out}) - (T_{hs, out} - T_{cs, in})}{\ln\left(\frac{T_{hs, in} - T_{cs, out}}{T_{hs, out} - T_{cs, in}}\right)}$$

Fase 7.4: progettazione preliminare di una rete di scambiatori di calore

Simulazione di HX in EINSTEIN:

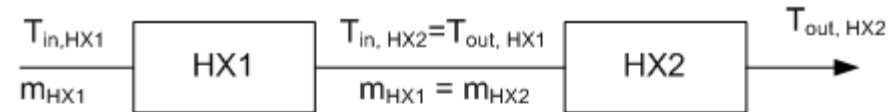
- ✓ Diverse sorgenti e destinazioni possono essere combinati in uno scambiatore di calore:



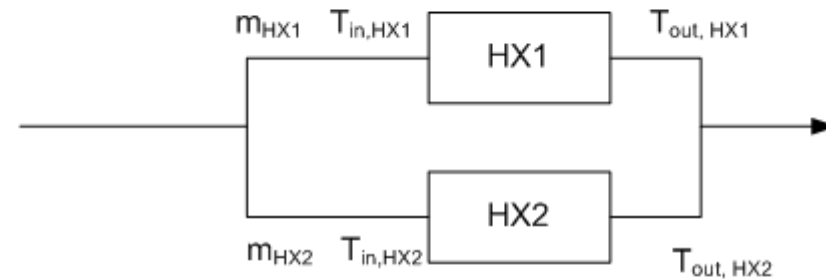
Fase 7.4: progettazione preliminare di una rete di scambiatori di calore

Possibili connessioni:

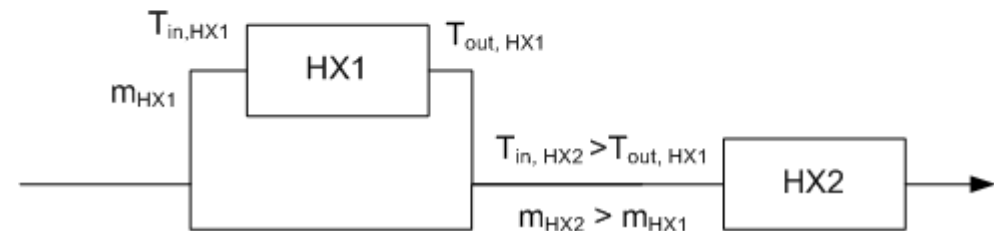
✓ Connessione in serie



✓ Connessione in parallelo

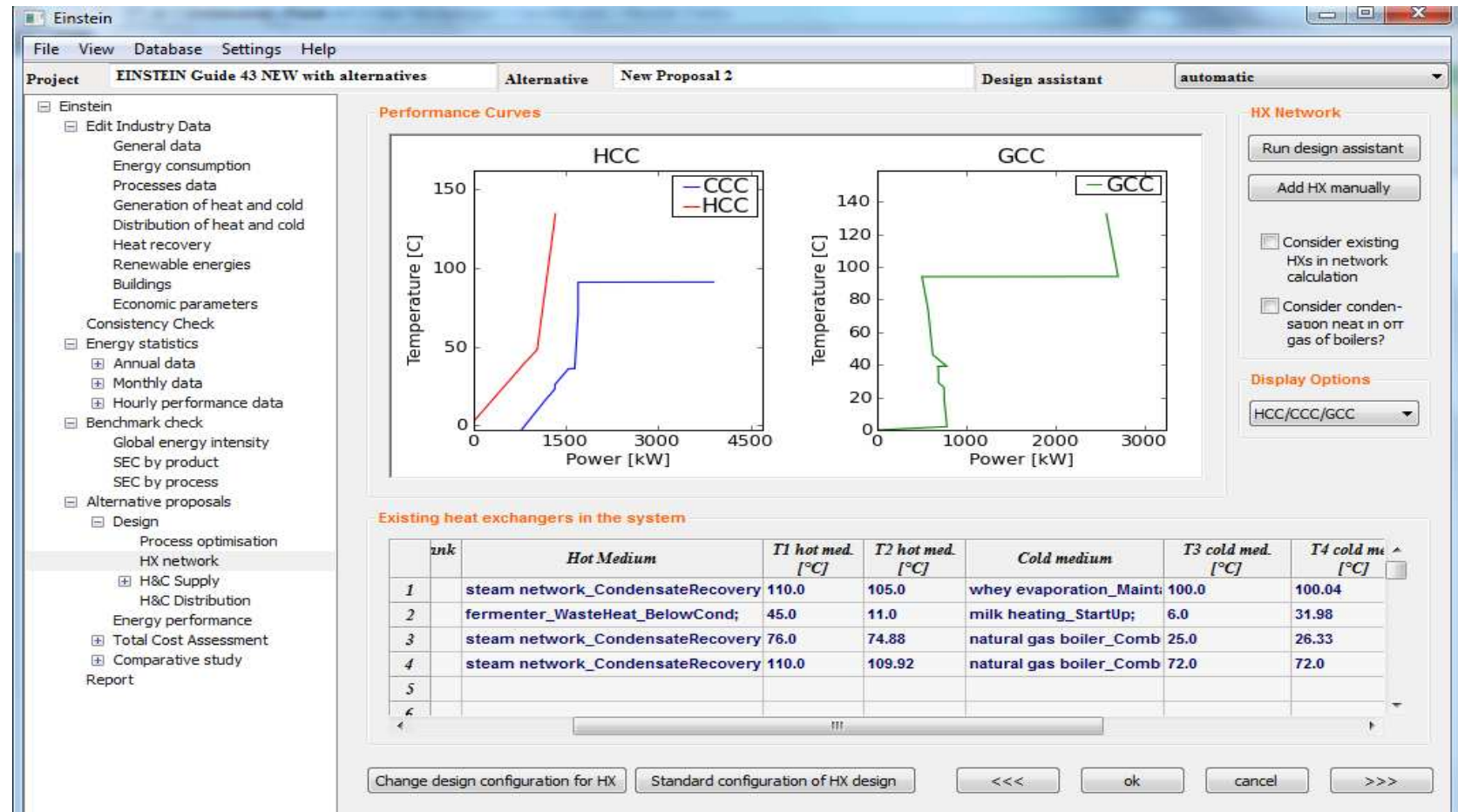


✓ Connessione in serie con bypass



Fase 7.4: progettazione preliminare di una rete di scambiatori di calore

EINSTEIN thermal energy industry audit



Hot and cold composite curve, grand composite curve e proposta di rete di scambiatori di calore

Fase 7.4: progettazione preliminare di una rete di scambiatori di calore

Valori standard per ΔT_{min} e il coefficiente di scambio termico α :

Physical state	ΔT_{min} [°C]	Heat transfer coefficient α [W/m²K]
Liquid	5	5.000
Gaseous	10	100
condensation	2,5	10.000

Tipi di scambiatori di calore e coefficienti di scambio termico:

Heat exchange	Heat exchanger type chosen in EINSTEIN	Overall Heat transfer coefficient (material = stainless steel) α [W/m²K]	Average values given in VDI Heat Compendia [W/m²K]
Liquid - Liquid	Plate heat exchanger	2.143	1000 – 4000
Gaseous – liquid	Shell&tube	97	15-70
Condensation – liquid	Shell&tube	2724	500 – 4000
Gaseous – gaseous	Shell&tube	50	5-35
Condensation – gaseous	Shell&tube	99	20 - 60