

MODULO M2.2

Progettazione ed ottimizzazione della fornitura di caldo e del freddo

FASE 7.5: progettazione preliminare di sistemi energetici alternativi

→ Dopo l'ottimizzazione del processo e il recupero del calore

Obiettivo

- ✓ Minimizzazione del consumo di energia primaria e dell'impatto ambientale

Ambito di applicazione delle misure

- ✓ Modifiche degli impianti di generazione di calore
- ✓ Utilizzo di combustibili alternativi
- ✓ Modifiche al sistema di distribuzione

FASE 7.5: progettazione preliminare di sistemi energetici alternativi

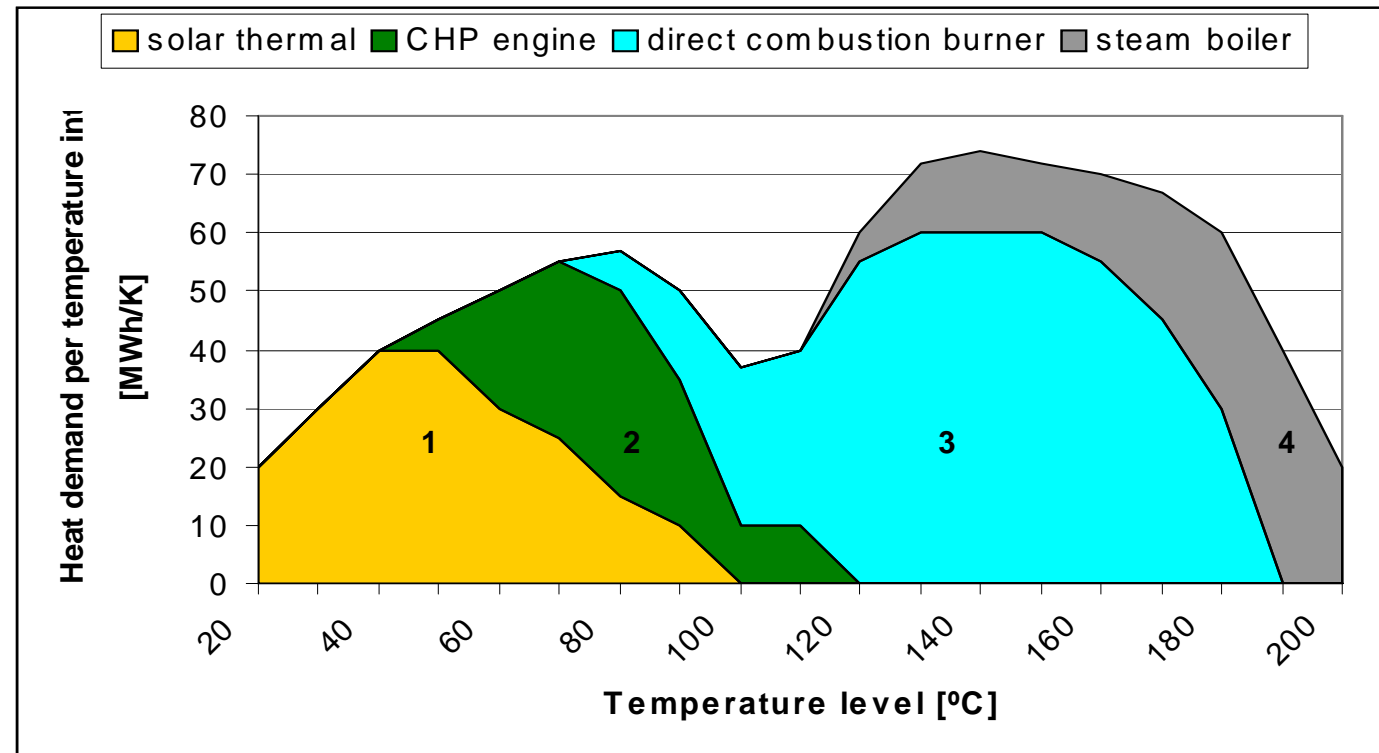
Punto di partenza

- ✓ L'analisi della domanda aggregata di energia (suddivisione statistica) tenendo conto di:
 - livello di temperatura della domanda residua di calore
 - quantità della domanda e disponibilità di calore di scarto
 - distribuzione temporale della domanda e del calore di scarto
 - disponibilità di spazio
 - disponibilità di fonti di energia alternative e relativo costo (biomasse, solare termico...)

FASE 7.5: progettazione preliminare di sistemi energetici alternativi

Impianti in cascata: corretta scelta dell'impianto

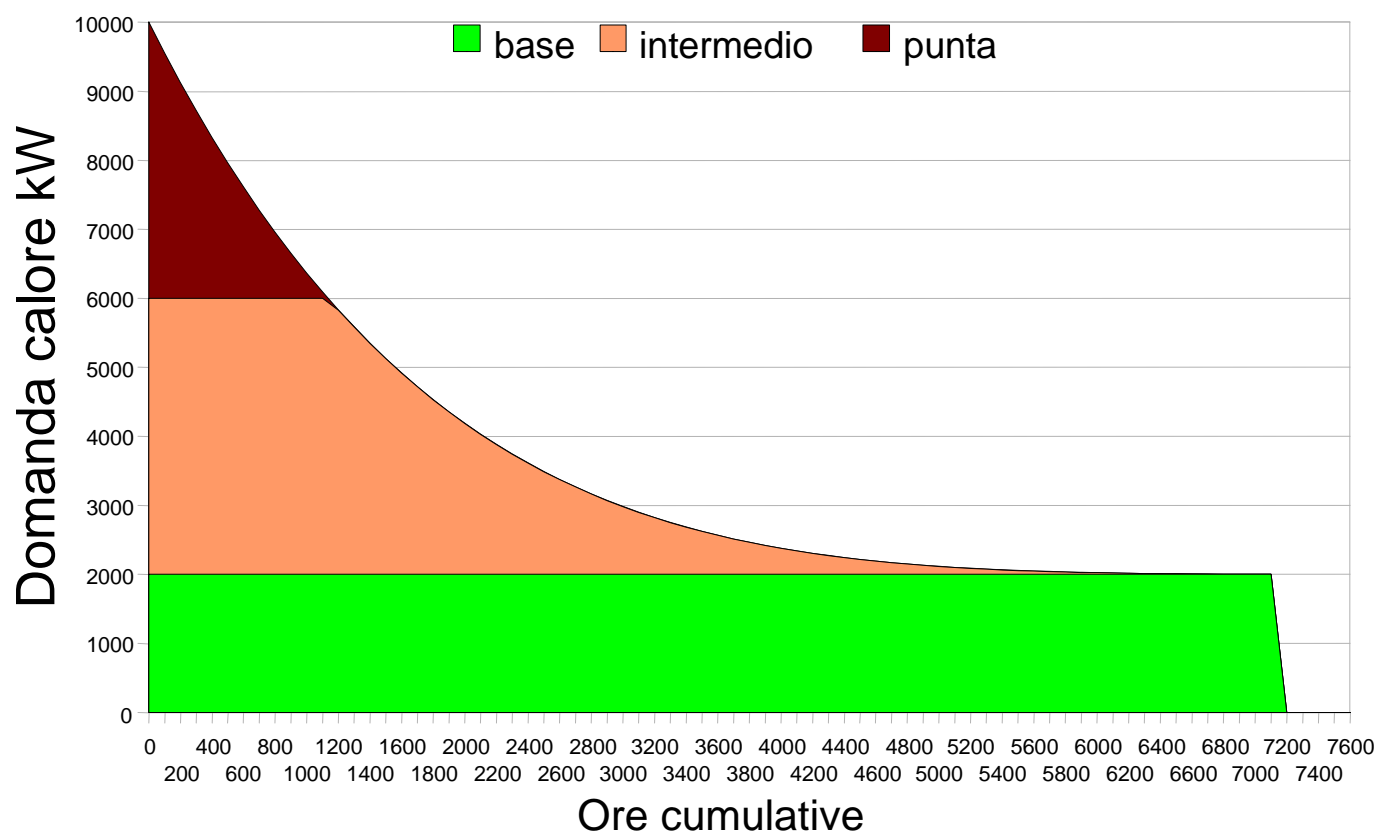
- L'impianto più efficiente copre il carico di base e i livelli bassi di temperatura (numero elevato di ore di esercizio)
- Carichi di punta e a temperature elevate vengono coperti con impianti adeguati anche se meno efficienti.



FASE 7.4: pre-design di sistemi di fornitura alternativi

EINSTEIN
thermal energy
industry audit

- ✓ Dimensionamento dell'impianto per il carico di base, intermedio e di punta.



FASE 7.5: progettazione preliminare di sistemi energetici alternativi

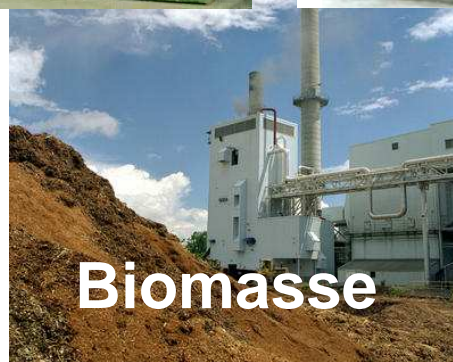
Fasi del processo di progettazione

- ✓ Selezione degli impianti da usare e definizione del corretto ordine di intervento
 - eseguiti manualmente dall'auditor o proposto dallo strumento EINSTEIN
- ✓ Dimensionamento di ciascun tipo di impianto nella catena
 - coadiuvato dallo strumento EINSTEIN “design assistant”
- ✓ Selezione della combinazione ottimale del “tutto”
 - eseguita essenzialmente per approssimazioni successive
- ✓ Ottimizzazione iterativa della sequenza recupero di calore – fornitura calore e freddo
 - poiché le variazioni nel sistema di fornitura possono comportare modifiche nel calore di scarto disponibile

EINSTEIN
thermal energy
industry audit

FASE 7.4: EINSTEIN – Le tecnologie

EINSTEIN
thermal energy
industry audit



FASE 7.5: progettazione preliminare di sistemi energetici alternativi

Accumulo di calore e freddo

- ✓ Gli accumuli di calore e freddo possono essere utilizzati per ridurre il picco della domanda.
 - Aumenta la frazione del carico di base
 - Permette di coprire una frazione maggiore di domanda mediante impianto ad alta efficienza garantendo più ore di esercizio.
- ✓ Permette di coprire la domanda di calore con il calore di scarto o di energia solare disponibile
 - Quando i tempi di generazione/utilizzo non coincidono

FASE 7.5: progettazione preliminare di sistemi energetici alternativi

Principali sistemi di accumulo del calore e del freddo:

- ✓ Accumulo di calore/freddo (C/F) sensibile sotto forma di acqua calda/fredda (calore: possibile fino a 150°C in serbatoi a pressione)
- ✓ Accumulo vapore saturo (calore latente)
- ✓ Accumulo olio diatermico
- ✓ Accumuli solidi (ceramica, letti di pietrisco,...)
- ✓ Accumulo di ghiaccio e accumulo di calore latente in altri materiali a cambiamento di fase.

FASE 7.5: progettazione preliminare di sistemi energetici alternativi

Distribuzione di C/F energeticamente efficiente

- ➔ *In molti casi la distribuzione di calore e freddo può concorrere a ridurre il consumo di energia.*
- ✓ Riduzione del livello di temperatura
 - Può servire a ridurre le perdite di calore nei tubi e nell'accumulo
 - Può essere necessaria per applicare tecnologie energeticamente efficienti (cogenazione, pompe di calore, solare)
- ✓ Combustione/raffreddamento diretto
 - Può aumentare l'efficienza energetica eliminando le perdite di distribuzione e usando il calore latente del vapore acqueo contenuto nel gas di scarico (ad es. nel riscaldamento di bagni)
 - Di solito possibile con combustibili puliti quali gas naturale o biogas.

Cogenerazione

FASE 7.5

EINSTEIN
thermal energy
industry audit

- ✓ La cogenerazione assicura la produzione di calore ed elettricità dal combustibile con elevata efficienza
 - Perdite di conversione dal 10 al 25% rispetto al 45% di sistemi per sola produzione elettrica.
- ✓ La cogenerazione può coprire anche la domanda di freddo (tri-generazione: elettricità + calore + freddo)
 - utilizzando macchine frigorifere ad assorbimento
- ➔ *Per massimizzare il risparmio energetico:*
- ✓ *la cogenerazione dovrebbe essere progettata in base al carico termico dell'utenza industriale in cui è collocata;*

L'elettricità in eccesso può essere ceduta alla rete pubblica.

Cogenerazione

FASE 7.5

EINSTEIN
thermal energy
industry audit

Il risparmio di energia primaria con la cogenerazione:

- ✓ approccio “simmetrico”
 - La direttiva 2004/8/CE in materia di cogenerazione mette a confronto i sistemi di cogenerazione con quelli per la produzione separata di calore ed elettricità (in base alle efficienze di riferimento)
- ✓ approccio “efficienza elettrica equivalente”
 - sottrae la quantità di energia che sarebbe necessaria per produrre il calore e calcola un'efficienza elettrica teorica.
- ✓ approccio termico EINSTEIN
 - consumo specifico di energia primaria netta per unità di calore prodotta con cogenerazione:

$$\frac{\Delta E_{PE}}{\Delta Q} = \frac{f_{PE}}{\eta_{th}^{CHP}} \left(1 - \frac{\eta_{el}^{CHP}}{\eta_{el}^{grid}} \right)$$

Tecnologie cogenerative disponibili

FASE 7.5

Tecnologia di cogenerazione	Livello di temperatura	Efficienza (el./term.)
Motore a olio cobustibile o gas	< 95°C (acqua di raffreddamento) < 400 °C (gas di scarico)	(40% / 45%)
Turbina a gas	< 400 °C	(30% / 60%)
Turbina a vapore	< 250 °C (limite parziale; a seconda della contropressione)	(20-30% / 65%)
Ciclo combinato (turbina a gas + generatore di vapore a recupero calore + turbina a vapore)	< 250 °C (limite parziale; a seconda della contropressione nella turbina a vapore)	(50-55% / 35-40%)
Turbina ORC (ciclo organico Rankine)	< 250 °C	(27-50% / 30-55%)
Motore Stirling	< 90 °C	(10-25% / 60-80%)
Cella a combustibile	< 80 °C (tecnologia PEM) < 400 °C (tecnologia SOFC)	(45-60% / 30-50%)

POMPE DI CALORE

FASE 7.5

EINSTEIN
thermal energy
industry audit

Tipi di pompe di calore

- ✓ Pompe di calore a compressione di vapore
 - di solito ad azionamento elettrico
- ✓ Pompe di calore ad assorbimento
 - che utilizzano energia termica
- ✓ Pompe (di calore) a getto (*Steam jet pumps*)
 - che utilizzano il vapore per la compressione

POMPE DI CALORE

FASE 7.5

EINSTEIN
thermal energy
industry audit

Applicazioni industriali tipiche delle pompe di calore:

- ✓ Riscaldamento e raffreddamento dell'acqua di processo
- ✓ Processi di essiccamento
- ✓ Riscaldamento di ambienti
- ✓ Processi di evaporazione e distillazione
- ✓ Recupero del calore di scarto

POMPE DI CALORE

FASE 7.5

EINSTEIN
thermal energy
industry audit

Parametri rilevanti:

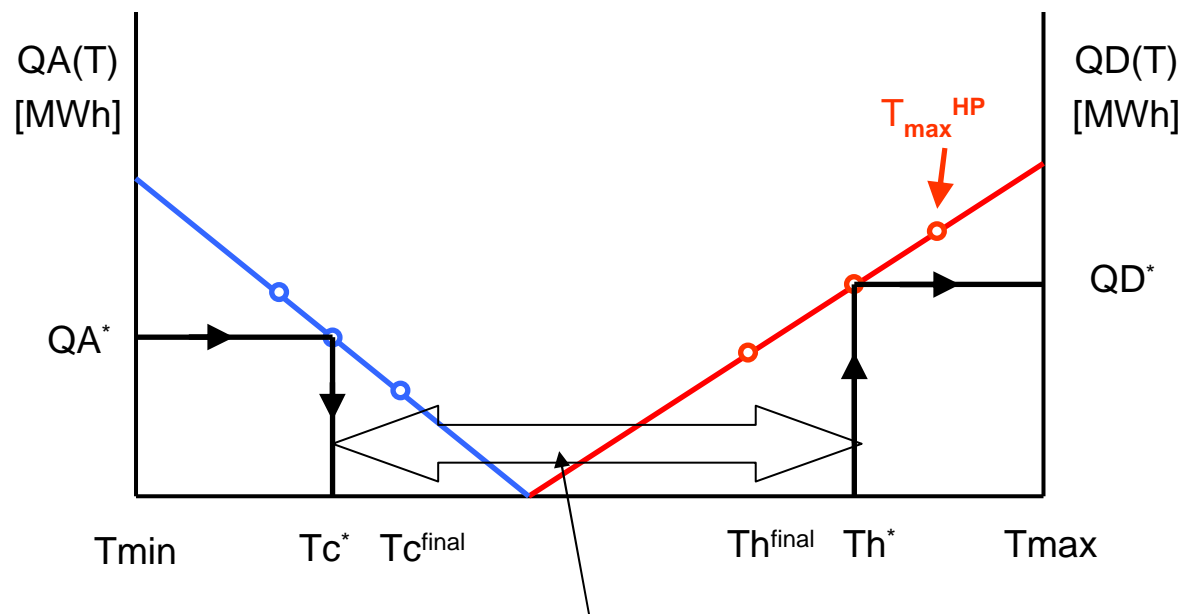
- ✓ Temperatura di erogazione del calore (normal. 55 - 120°C; 80 - 150°C con acqua come refrigerante)
- ✓ Elevazione di temperatura (*temperature lift*) (normal. 20 - 40 K)
- ✓ Ore di esercizio
- ✓ Temperatura al *pinch*
- ✓ Profilo delle curve di fornitura e domanda del calore

POMPE DI CALORE

FASE 7.5

Calcolo dei flussi di calore: fondamenti

Domanda e disponibilità di calore in un intervallo di tempo



Elevazione massima di temperatura

Generazione efficiente di freddo

FASE 7.5

EINSTEIN
thermal energy
industry audit

Tipi di impianti:

- ✓ **Torri di raffreddamento**
 - ✓ Ciclo aperto/chiuso, umido/secco/ibrido
- ✓ **Macchine a compressione di vapore**
 - A seconda del tipo di compressore: alternativo, scroll, a vite, centrifugo
 - Coefficiente di prestazione (COP) circa 4,0 o superiore in impianti più grandi
- ✓ **Macchine frigorifere...**
 - ad assorbimento e adsorbimento, jet pumps, etc.
 - Per la trigenerazione e il raffrescamento solare
 - COP da 0,5 a 0,8 per macchine ad assorb. a singolo effetto e da 1,0 a 1,3 per macchine a doppio effetto
 - Importante: usare l' energia primaria per confrontare macchine elettriche e termiche

Generazione efficiente di freddo

FASE 7.5

Considerazioni sulle applicazioni di sistemi frigoriferi:

- ✓ Riduzione della domanda di freddo mediante recupero di calore
- ✓ Utilizzo di calore di scarto delle macchine frig. (possibile fino 50° C)
- ✓ Utilizzo di raffreddamento libero (*free cooling*)

Utilizzo di refrigeratori in cascata se conveniente

- ✓ Alta temperatura di fornitura di acqua refrigerata
- ✓ Basse temperature re-cooling dell'acqua
- ✓ Riduzione del carico di lavoro dei refrigeratori

Sistemi solari termici

FASE 7.5

EINSTEIN
thermal energy
industry audit

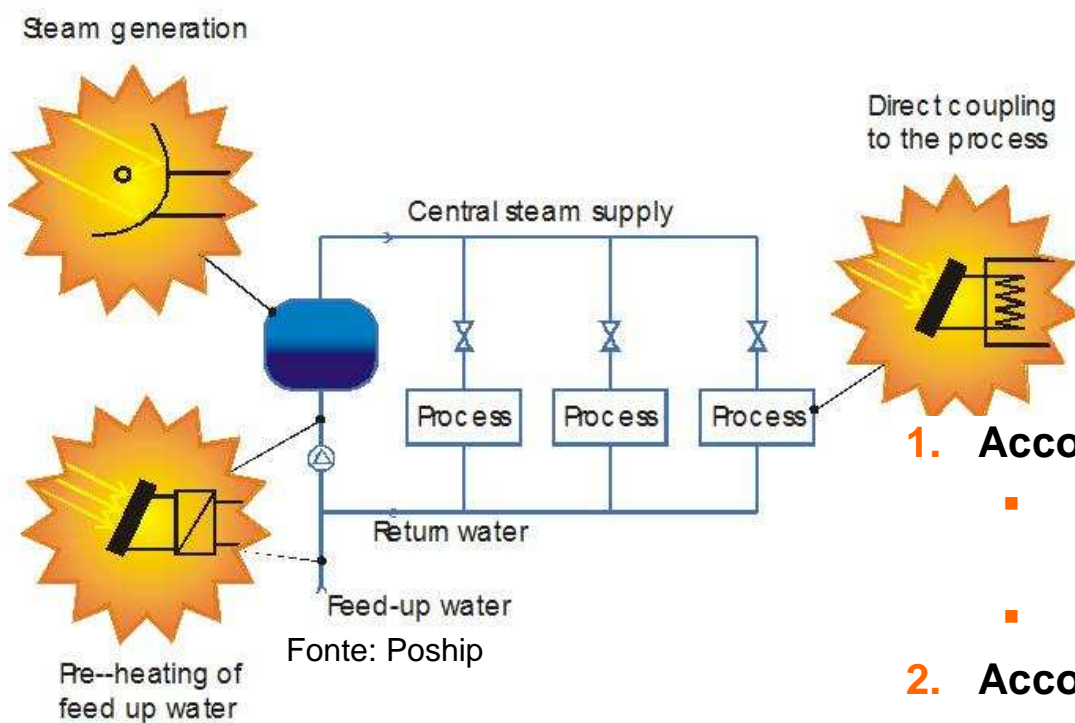


Sistemi solari termici

FASE 7.5

EINSTEIN thermal energy industry audit

Integrazione del solare termico nei processi



1. Accoppiamento al processo

- Preriscaldamento di un liquido circolante
- Riscaldamento di bagni

2. Accoppiamento alla caldaia

- preriscaldando l'acqua di alimentazione delle caldaie
- con un generatore solare di vapore

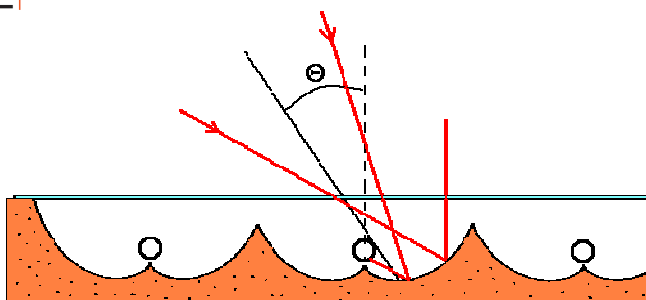
Sistemi solari termici

FASE 7.5

EINSTEIN
thermal energy
industry audit

Collettori solari termici per calore di processo

- ✓ Collettori piani vetrati (selettivi)
- ✓ Tubi sotto-vuoto
- ✓ Collettori a concentrazione
 - CPC
 - parabolici
 - Fresnel
 - altro



Claudia Vannoni
Hans Schweiger



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

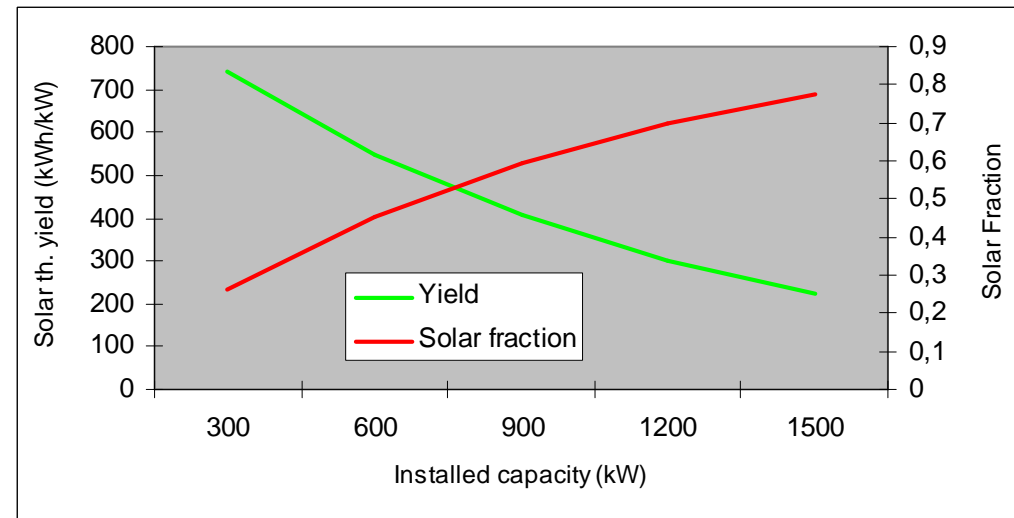
Sistemi solari termici

FASE 7.5

EINSTEIN
thermal energy
industry audit

Criteri di progettazione

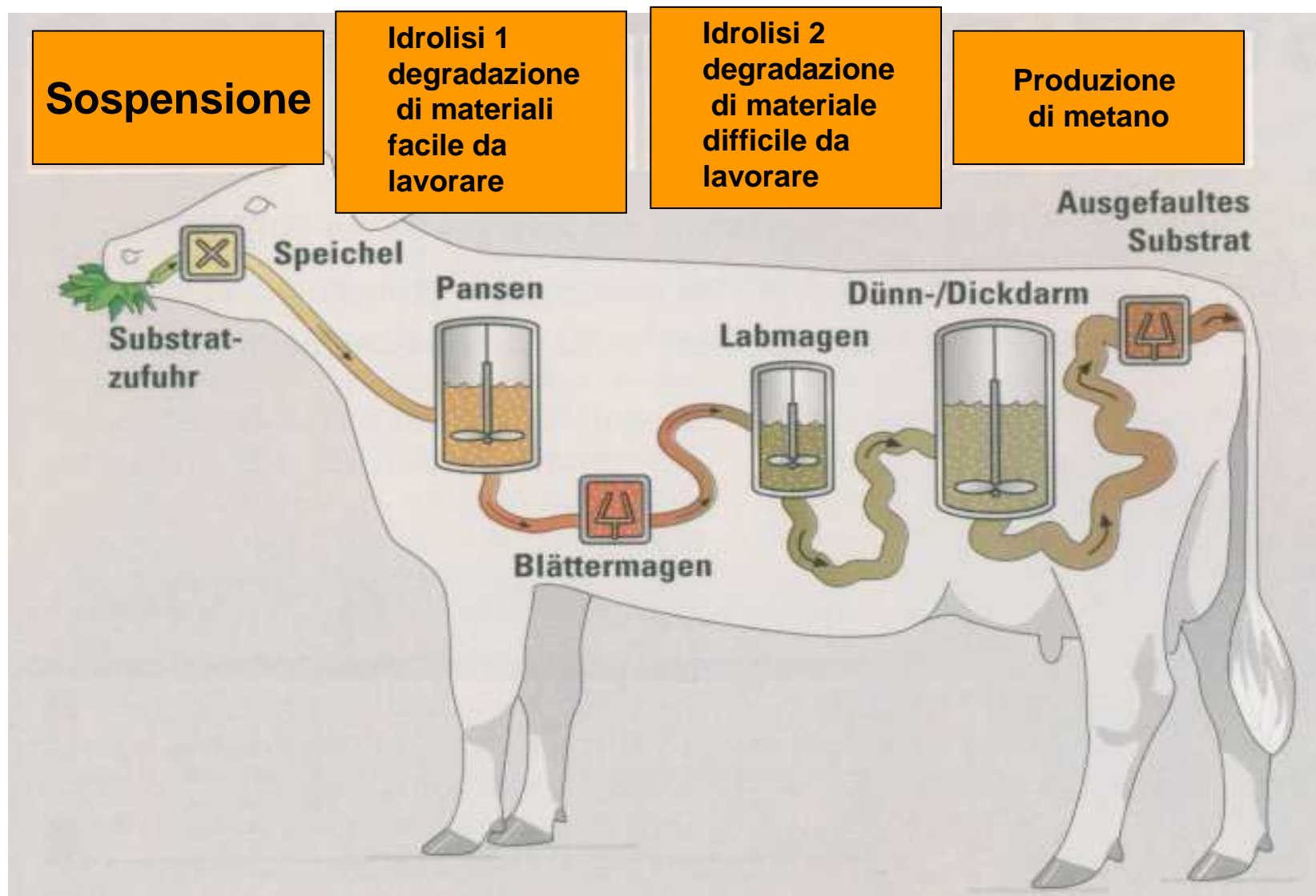
- ✓ Temperatura di esercizio
- ✓ Condizioni climatiche
- ✓ Profilo di carico
- ✓ Frazione solare e rendimento energetico
- ✓ Dimensione del sistema
- ✓ Integrazione dei processi
- ✓ Area disponibile e struttura del tetto



BIOGAS

FASE 7.5

EINSTEIN
thermal energy
industry audit



materie prime e pre-trattamenti dfferenti

FASE 7.5

Agriculture industry	Slaughter houses	Industry (e.g. food)	Canteen kitchen	commune
<ul style="list-style-type: none"> •Residues of harvesting •Energy plants •Liquid manure •Solid and liquid dong 	<ul style="list-style-type: none"> •Slaughter house waste water (grease,...) •Slaughter house solid waste (bowels) 	<ul style="list-style-type: none"> •mash •Brewer grains •yeast •Fruit pulp 	<ul style="list-style-type: none"> •Food residues •Kitchen waste •Waste grease 	<ul style="list-style-type: none"> •grass •Biogenic waste •Sewage sludge

Pre-treatment	examples
Mechanical/physical	Milling, chaffing, ultra sonic
chemical	Acids, base, wet oxidation
Bio-technological	Enzymes, fungi,
Thermal	Steam explosion, thermal pressure hydrolysis

CALDAIE e BRUCIATORI

FASE 7.5

EINSTEIN
thermal energy
industry audit

Criteri di risparmio energetico/economico per caldaie (1)

- ✓ Evitare il riscaldamento elettrico e utilizzare combustibili con minore impatto ambientale
- ✓ Gas naturale e GPL consentono utilizzo di tecnologie efficienti
- ✓ Pressione del vapore / temperatura inferiori riducono perdite e costi
- ✓ Evitare un fattore di carico basso (< 30%)
- ✓ Far funzionare le caldaie con maggiore efficienza per il carico base e le caldaie con efficienza inferiore per il carico di punta
- ✓ Evitare impianti sovradimensionati e/o di ridotta capacità
- ✓ Per basse temperature utilizzare caldaie ad acqua calda o a condensazione

CALDAIE e BRUCIATORI

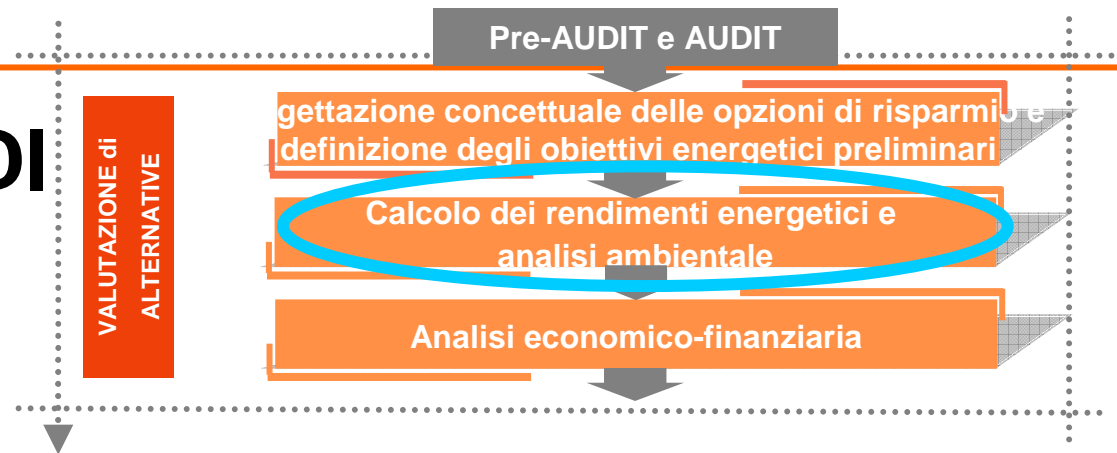
FASE 7.5

EINSTEIN
thermal energy
industry audit

Criteri di risparmio energetico/economico per caldaie (2)

- ✓ Ottimizzare la strategia di controllo
- ✓ Diminuire la temperatura del gas di scarico, regolare l'eccesso d'aria e isolare le caldaie
- ✓ Installare un economizzatore e/o un preriscaldatore d'aria (recuperatore)
- ✓ Recuperare la condensa
- ✓ Ridurre lo spurgo e recuperarne il calore
- ✓ Se le caldaie vengono spente regolarmente, utilizzare serrande

VALUTAZIONE DI ALTERNATIVE: FASE 8



EINSTEIN Fase 8: calcolo dei rendimenti energetici e analisi ambientale

> calcolo rapido

> sistema di simulazione con specifico software esterno

> analisi energetica e ambientale

FASE 8.1: simulazione in EINSTEIN

EINSTEIN thermal energy industry audit

Strumento di simulazione del software EINSTEIN

Basi del calcolo:

$$\dot{Q}_{D,j}(T,t) = \sum_{connected_pipes} \dot{Q}_{D,m}^{res}(T,t)$$

- ✓ domanda di calore per impianto j
somma della domanda residua di tutti i tubi di distribuzione connessi (indice m)
- ✓ produzione potenziale dell'impianto nella cascata
- ✓ la potenza fornita da un impianto in genere dipende dai livelli di temperatura (nel caso di pompe di calore anche dal calore disponibile)

Il calore utile fornito da un impianto j in cascata è il minimo tra la potenza massima in uscita e la

domanda: $\dot{Q}_{USH,j}(T,t) = \min[P_{j,max}(T,...), \dot{Q}_{D,j}(T,t)]$

FASE 8.2: valutazione delle prestazioni energetiche

Simulazione del sistema con software esterno

→ *Nei casi in cui è richiesta maggiore precisione utilizzare un software esterno di simulazione del sistema*

✓ Riferimenti contenuti in:

✓ *Review of Thermal Energy Auditing Practices and Tools (D2.2 progetto EIE EINSTEIN I).*

FASE 8.2: valutazione delle prestazioni energetiche

EINSTEIN
thermal energy
industry audit

Parametri per l'analisi ambientale

- ✓ Consumo di energia primaria quale principale indicatore
 - rappresenta una media ponderata dei diversi tipi di emissione
- ✓ Generazione di CO₂
 - trascura l'impatto di altri tipi di emissione come le scorie nucleari
- ✓ Generazione di scorie nucleari
 - associata al consumo elettrico
- ✓ Consumo di acqua

➔ *I parametri di conversione da utilizzare possono essere configurati nelle banche dati di EINSTEIN*