



Expert-system for an INtelligent Supply of
Thermal Energy in Industry
and other Large Scale Applications

(Sistema esperto per una fornitura intelligente dell'energia termica
nell'industria e per altre applicazioni su larga scala)

**Guida agli
audit termo-energetici
con metodo EINSTEIN**



Guida agli audit termo-energetici EINSTEIN

Versione 2.0

Ultima revisione in inglese: 13/06/2012

Coordinatore:

Hans Schweiger

energyXperts.NET, Barcellona, Spagna/ Berlino, Germania

Autori (corrente versione):

Autore/i	Ente/impresa	Autore del/i capitolo/i	E-Mail
Hans Schweiger Claudia Vannoni Cristina Ricart	energyXperts.NET, Spagna / Germania	1, 2.1-2.4, 3.1-3.4, 3.5.1-3.5.3, 3.5.5-3.5.6, 3.6.1-3.6.4, 3.7.4,3.8, 3.10-3.12, 4.1, 4.2, 4.4	hans.schweiger@energyxperts.net claudia.vannoni@energyxperts.net
Bettina Muster Christoph Brunner	AEE Intec, Austria	2.5-2.6, 3.5.4, 3.7.1-3.7.3, 3.7.4.6, 3.9, 4.3	b.muster@aee.at c.brunner@aee.at
Konstantin Kulterer	Agenzia per l'Energia Austriaca, Austria	3.1	konstantin.kulterer@energyagency.at
Alexandre Bertrand Frank Minette	CRP Henri Tudor, Lussemburgo	Vari capitoli sul raffreddamento e condizionamento dell'aria	alexandre.bertrand@tudor.lu frank.minette@tudor.lu

Autori (precedente versione):

Autore/i	Ente/impresa	Autore del/i capitolo/i	E-Mail
Stoyan Danov	energyXperts.NET, Spagna /Germania	1, 2.1-2.4, 3.1-3.4, 3.5.1-3.5.3, 3.5.5-3.5.6, 3.6.1-3.6.4, 3.7.4,3.8, 3.10-3.12, 4.1, 4.2, 4.4	sdanov@gmail.com
Enrico Facci	Università di Roma, Italia	1, 2.1-2.4, 3.5.1-3.5.3, 3.6.1- 3.6.2, 3.7.4, 4.4	enrico.facci@uniroma1.it
Damjan Krajnc	Università di Maribor, Slovenia	3.5.4, 3.6.5	dkrajnc@uni-mb.si
Thomas Bouquet Stefan Craenen	COGEN Europe	3.7.4.3	thomas.bouquet@co g eneurope.eu stefan.craenen@cogeneurope.eu

Curatori della traduzione in Italiano:

Ilaria Piccinini, Andrea Mutti, Alessio Morimondi, Damiano Mangione - CESTEC S.p.A.

Marco Gerevini - Tecnoalimenti

Claudia Vannoni - energyXperts.NET

Revisione tecnica della traduzione in Italiano:

Claudia Vannoni - energyXperts.NET



La presente opera è coperta da licenza Creative Commons Attribution-Noncommercial-Share Alike 3.0 Unported License. Per visionare una copia della licenza, visitare <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>

Sei libero di:

Condividere – riprodurre, distribuire e comunicare al pubblico quest’opera

Rimaneggiare – modificare quest’opera

Alle seguenti condizioni:

Attribuzione. Devi attribuire la paternità del lavoro nei modi indicati dall’autore o da chi possiede la licenza (ma in modo da non suggerire che essi avallino te o il modo in cui tu usi l’opera).

Non commerciale. Non puoi usare quest’opera a fini commerciali.

Condividi allo stesso modo. Se alteri o trasformi quest’opera o la usi per crearne un’altra, puoi distribuire l’opera risultante solo con una licenza identica o equivalente a questa.

Limitazione di responsabilità

Gli unici responsabili del contenuto della presente pubblicazione sono gli autori. Questo elaborato non riflette l’opinione della Comunità. La Commissione Europea non è responsabile di qualsivoglia uso delle informazioni contenute nel presente documento.

Ringraziamenti

Il metodo e gli strumenti EINSTEIN sono stati sviluppati nel quadro del progetto europeo “EINSTEIN (expert-system for an intelligent supply of thermal energy in industry)” e “EINSTEIN-II (expert-system for an intelligent supply of thermal energy in industry and other large scale applications)” con il sostegno finanziario della Commissione Europea.

- EINSTEIN (Contract N°: EIE/07/210/S12.466708, Coordinatore: Christoph Brunner ,Joanneum Research - Institute for Sustainable Techniques and Systems, Austria), 2007-2009.
- EINSTEIN-II (Contract N °: IEE/09/702/SI2.558239, Coordinatore: Hans Schweiger, energyXperts.NET, Spagna), 2010 – 2012.

Parti del lavoro hanno beneficiato altresì del supporto di:

- *Generalitat de Catalunya* (Spagna), *Departament d'Educació i Universitats*. Sovvenzione *Beatriu de Pinòs* No. 2006 BP-B2 0033 and 2007 BP-B2 00012



- Ministero Spagnolo per la Scienza e l'Innovazione, Progetto N. DEX-590000-2008-84



- *Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft* (Società Austriaca per il supporto alla ricerca), Progetto N. 821907 (“EINSTEIN in Österreich”)



Sommario

Introduzione	7
1 Il metodo di audit termo-energetico EINSTEIN – nozioni fondamentali	9
1.1 <i>L'energia termica nell'industria e in altre applicazioni su larga scala</i>	9
1.2 <i>Campo di applicazione</i>	10
1.3 <i>Un approccio integrato all'efficienza energetica</i>	11
1.4 <i>I vantaggi della procedura di audit EINSTEIN</i>	11
1.5 <i>Il kit di strumenti EINSTEIN</i>	13
1.6 <i>Descrizione generale della guida</i>	14
2 $E = mc^2$. I concetti teorici alla base di EINSTEIN	15
2.1 <i>Energia, efficienza energetica e fonti energetiche rinnovabili</i>	15
2.2 <i>I flussi di energia: alcune definizioni</i>	18
2.3 <i>Livelli di temperatura dell'energia generata</i>	26
2.4 <i>Il modello del processo e il profilo della domanda</i>	27
2.5 <i>Integrazione del calore e analisi Pinch</i>	32
2.6 <i>Valutazione globale dei costi - TCA</i>	39
3 Come effettuare un audit energetico EINSTEIN	43
3.1 <i>Contatti preliminari: motivare</i>	45
3.2 <i>Acquisizione dati per l'audit preliminare</i>	47
3.3 <i>Preparazione dell'audit: elaborazione delle informazioni preliminari</i>	49
3.4 <i>Valutazione preliminare "quick and dirty"</i>	52
3.5 <i>Sopralluogo (o in alternativa: seconda acquisizione dati dettagliati a distanza)</i>	53
3.6 <i>Analisi della situazione attuale</i>	59
3.7 <i>Configurazione delle opzioni di risparmio e definizione preliminare degli obiettivi energetici</i>	67
3.8 <i>Calcolo del rendimento energetico e analisi ambientale</i>	94
3.9 <i>Analisi economico-finanziaria</i>	96
3.10 <i>Comunicazione dei risultati e presentazione</i>	98
3.11 <i>Apprendimento collettivo</i>	99
3.12 <i>Follow-up</i>	99
4 Esempi	101
4.1 <i>Procedura Generale</i>	101
4.2 <i>Controllo di coerenza e stima dei dati</i>	110
4.3 <i>Recupero di calore: esempio del caseificio</i>	118
Nomenclatura	125
ALLEGATO: Questionario di base EINSTEIN	126

“Non basta comprendere la scienza applicata affinché il proprio lavoro possa arrecare benefici all’uomo. L’interesse per l’uomo e il suo destino deve sempre essere al centro di qualsiasi impresa tecnica, l’interesse per i grandi problemi irrisolti dell’organizzazione del lavoro e della distribuzione delle risorse – affinché le creazioni delle nostre menti possano essere una benedizione e non una maledizione per l’umanità. Non dimenticatevene mai, mentre siete immersi in grafici ed equazioni.”

Albert Einstein

Tratto da un discorso agli studenti dell'Istituto Tecnico della California, 1931.

Introduzione

La domanda di energia termica (calore e freddo) nell'industria costituisce circa il 20% della domanda complessiva di energia finale in Europa. Il riscaldamento e il raffrescamento degli edifici contribuisce per un altro 27% alla domanda finale di energia. Nonostante il miglioramento dell'efficienza energetica nell'industria verificatosi negli ultimi decenni in Europa, vi è ancora un grande potenziale da sfruttare per ridurre la domanda di energia grazie alla combinazione intelligente di soluzioni e tecnologie esistenti. Per ottimizzare la fornitura di energia termica è necessario un approccio integrato che comprende la possibilità di ridurre la domanda recuperando calore, integrando i processi e combinando in modo intelligente le tecnologie esistenti per la fornitura di calore (e freddo), tenendo conto dei vincoli economici specifici.

La *metodologia EINSTEIN per gli audit termici* descritta nel presente documento è stata sviluppata nell'ambito del progetto europeo (Intelligent Energy Europe - IEE) EINSTEIN e EINSTEIN-II.

Questi progetti sono il frutto della precedente collaborazione tra i partner AEE INTEC (Austria), *energyXperts.NET* (Spagna) nel periodo 2003 – 2007 sviluppatasi all'interno del Task 33/IV dei programmi Solar Heating and Cooling e SolarPACES dell'Agenzia Internazionale dell'Energia (IEA), sul calore solare per i processi industriali (www.iea-ship.org). Gli elementi e i concetti base di questa metodologia erano già stati elaborati nel quadro del progetto europeo (5° programma quadro) POSHIP (The Potential of Solar Heat for Industrial Processes) e del progetto nazionale austriaco PROMISE (Produzieren mit Sonnenenergie).

Uno degli aspetti interessanti del gruppo di ricerca del Task 33/IV della IEA è stata la collaborazione interdisciplinare tra esperti in tecnologie per l'energia rinnovabile (energia solare) da un lato, ed ingegneri di processo dall'altro. Durante l'elaborazione di alcuni casi di studio relativi ad applicazioni nell'industria, è emersa la mancanza di strumenti di audit appropriati per valutare la fattibilità di sistemi appropriati di fornitura di energia termica nell'industria, e in particolare:

- * La complessità del problema dell'ottimizzazione della fornitura di energia termica richiede l'integrazione di conoscenze sulle tecnologie di processo, sull'integrazione dei processi e sulle tecniche di recupero di calore e un'ampia conoscenza delle diverse tecnologie di efficienza termo-energetica, compreso l'impiego delle energie rinnovabili.
- * Ciò spesso è in antitesi sia con la mancanza di tempo disponibile per effettuare un audit veloce o un primo studio di fattibilità rapido e sommario, sia con la mancanza di conoscenze da parte dei tecnici coinvolti. Nel caso specifico dei progetti sul calore di processo da energia solare studiati nel quadro del task 33/IV della IEA, la mancanza di conoscenze degli esperti in energia solare riguardava le tecnologie di processo, l'integrazione del calore e aspetti generali sulla fornitura di calore all'industria. Tuttavia, il problema è piuttosto generale: è molto difficile che un tecnico, specialmente se giovane come spesso accade nell'ambito delle consulenze energetiche, abbia una conoscenza generale dell'ampia gamma dei concetti tecnologici richiesti per ri-progettare soluzioni ottimizzate e complete.

Pertanto, sulla base dell'esperienza pratica maturata attraverso un elevato numero di diagnosi termo-energetiche in diversi settori industriali e in altre applicazioni su larga scala, come grandi edifici nel settore dei servizi, i diversi partner hanno sviluppato procedure di audit sempre più standardizzate, portando a quello che è di seguito descritto come il metodo di audit EINSTEIN.

Inoltre, sono stati sviluppati alcuni strumenti che consentono di avere un più rapido accesso alle informazioni richieste e di semi-automatizzare i calcoli e le decisioni progettuali (sistema esperto), passando da semplici fogli di calcolo a strumenti software in grado di affrontare aspetti specifici del problema. La maggior parte di questi strumenti sono stati integrati nello strumento software EINSTEIN, su cui si basa il metodo di audit EINSTEIN. Il fatto che questa nuova procedura abbia portato alla realizzazione di un kit di strumenti di audit, compreso un software, la rende facile da usare e facile da distribuire, consente di ridurre i tempi (e dunque i costi) e di aumentare la standardizzazione (e quindi la qualità) degli audit termo-energetici.

Il software EINSTEIN, insieme ad alcune banche dati complementari, è in fase di sviluppo come progetto di software libero e open source, disponibile in tutte le lingue dei paesi coinvolti¹ sul sito web del progetto o richiedibile a qualsiasi membro del consorzio. Auspichiamo che questa modalità di distribuzione porti a

¹ Inglese, Bulgaro, Ceco, Francese, Tedesco, Italiano, Polacco, Slovacco, Sloveno, Spagnolo.

diffonderne l'uso tra i consulenti energetici, gli ingegneri, i tecnici e i ricercatori che si occupano di fornitura di energia termica ai settori industria e servizi, e che questa versione possa essere continuamente arricchita con nuove esperienze e contributi dalla comunità.

1 Il metodo di audit termo-energetico EINSTEIN – nozioni fondamentali

1.1 L'energia termica nell'industria e in altre applicazioni su larga scala

La domanda di energia termica (calore e freddo) nell'industria (dati del 2002: circa 2.300 TWh/ 8.400 PJ) costituisce circa il 28% della domanda complessiva di energia finale (Tabella 1) e il 21% delle emissioni di CO₂ in Europa². Il riscaldamento e il raffrescamento degli edifici contribuisce per un altro 27% alla domanda finale di energia [DG INFSO 2008].

Tabella 1. Distribuzione della domanda di energia finale nell'UE nel 2002. Fonte: Libro Verde della UE sull'efficienza energetica.

2002	Buildings (residential and tertiary)		Industry		Transport		All final demand sectors	
	Mtoe	% of final demand	Mtoe	% of final demand	Mtoe	% of final demand	Mtoe	% of final demand
Solid fuels	12.2	1.1	38.7	3.6	0.0	0.0	50.9	4.7
Oil	96.8	8.9	46.9	4.3	331.5	30.6	475.2	43.9
Gas	155.6	14.4	105.4	9.7	0.4	0.0	261.5	24.2
Electricity (incl. 14 % from RES)	121.3	11.2	91.2	8.4	6.0	0.6	218.5	20.2
Derived heat	22.8	2.1	7.5	0.7	0.0	0.0	30.3	2.8
Renewables	29.0	2.7	16.2	1.5	1.0	0.1	46.2	4.3
Total	437.8	40.4	306.0	28.3	338.9	31.3	1082.6	100.0

Nonostante il miglioramento negli ultimi decenni dell'efficienza energetica nell'industria in Europa, vi è ancora un grande potenziale da sfruttare per ridurre la domanda di energia grazie alla combinazione intelligente di soluzioni e tecnologie esistenti. Nel Libro Verde della UE sull'Efficienza Energetica, si stima che un potenziale di risparmio nell'industria (co-generazione esclusa) di circa 350 TWh/ 1.260 PJ. [Commissione Europea, 2005]. Inoltre, secondo il piano d'azione per l'efficienza energetica della Commissione Europea, il 40% degli obiettivi di Kyoto dell'UE deve essere raggiunto attraverso l'efficienza energetica.

Il miglioramento dell'efficienza energetica non solo comporta ovvi benefici ambientali, ma è anche attraente da un punto di vista economico per le aziende: in molti casi è possibile recuperare l'investimento in un periodo che va da alcuni mesi a qualche anno. In una tipica piccola-media impresa, l'energia rappresenta tra il 3 e il 12% dei costi operativi con un potenziale di risparmio energetico compreso tra il 15 e il 30% [Progetto IEE, E-Check 2006]. Ciò nonostante, spesso gli investimenti necessari non sono fatti per alcuni dei motivi a seguire:

- × Le aziende non conoscono le possibili soluzioni di risparmio energetico.
- × I costi energetici, sebbene importanti, non sono una priorità per le aziende. Gli investimenti in energia competono con gli investimenti per migliorare la produzione e i prodotti: ciò comporta che spesso si decida di non investire in efficienza energetica, sebbene tali operazioni siano spesso economiche in sé, semplicemente perché il denaro disponibile viene reinvestito in altri comparti.
- × Inoltre, la maggior parte delle aziende non considera l'energia come un centro di costo a sé stante, ma come una componente di altre aree più vaste, come il costo della produzione, il soddisfacimento dei requisiti di impatto ambientale, la sicurezza e la produttività. L'efficienza energetica è in

² Il dato comprende la generazione di elettricità nell'industria. Fonte: <http://ghg.unfccc.int>. Consumo totale di combustibile nell'industria manifatturiera e nell'edilizia nell'UE nel 2002: 583.070 Mt CO₂

competizione con le limitate risorse di un'impresa. Sebbene il capitale sia la risorsa più importante, il tempo a disposizione del personale può esserlo altrettanto, se non di più. Il ridimensionamento delle aziende, inoltre, ha fatto sì che vi sia meno personale disponibile, quindi, ad occuparsi di tutte le problematiche.

- * Budget ridotto (o uguale a zero) per gli audit energetici.
- * Anche nei casi in cui si effettuano audit energetici, i consulenti tecnici spesso hanno una conoscenza limitata delle possibilità tecnologiche e non osano, o non hanno gli strumenti, per proporre soluzioni innovative di tipo non convenzionale.

Il metodo di audit termo-energetico EINSTEIN mira a superare alcune delle barriere succitate e a contribuire a diffondere l'adozione di soluzioni integrate per migliorare l'efficienza energetica nella fornitura di energia termica.

1.2 Campo di applicazione

Il metodo di audit termo-energetico EINSTEIN è applicabile nelle industrie e per altre applicazioni su larga scala con una forte domanda di energia termica (calore e freddo) a temperatura bassa e media, fino a 400°C, come:

a) settori industriali

- * l'industria alimentare
- * l'industria chimica
- * l'industria della carta
- * la produzione di macchinari, strumenti e automobili
- * l'industria di lavorazione della plastica
- * l'industria di lavorazione del legno:
- * il trattamento superficiale delle parti metalliche
- * l'industria tessile
- * molti altri settori industriali.

b) applicazioni non-industriali

- * le reti di teleriscaldamento e raffreddamento, compresa la co-generazione centralizzata di elettricità e calore nei distretti industriali o nei distretti territoriali dove le reti di teleriscaldamento sono utilizzate per soddisfare in modo integrato il fabbisogno energetico sia dell'industria sia di altri utilizzatori;
- * edifici del settore terziario, come i grandi edifici che ospitano uffici, centri commerciali, alberghi, ospedali, centri congressi, scuole, centri benessere, ecc.;
- * altri impianti che consumano energia termica, come quelli di desalinizzazione dell'acqua di mare, di trattamento delle acque, ecc..

Il vantaggio di EINSTEIN è particolarmente evidente nelle piccole-medie imprese, dove i costi per una diagnosi energetica convenzionale sono un ostacolo importante all'introduzione di tecnologie più efficienti.

1.3 Un approccio integrato all'efficienza energetica

Per ottimizzare la fornitura di energia termica, è necessario un **approccio integrato** (Figura 1) comprendente:

- × la possibilità di **ridurre la domanda** ottimizzando il processo e utilizzando tecnologie competitive che consumino meno energia;
- × **misure di efficienza energetica** attraverso recupero di calore e integrazione dei processi;
- × una **combinazione intelligente tra le tecnologie per la fornitura di calore e freddo disponibili** (caldaie e bruciatori efficienti, co-generazione, pompe di calore) e l'uso di **energie rinnovabili** (particolarmente rilevanti per usi termici sono la biomassa e l'energia solare);
- × l'analisi dei vincoli economici specifici.

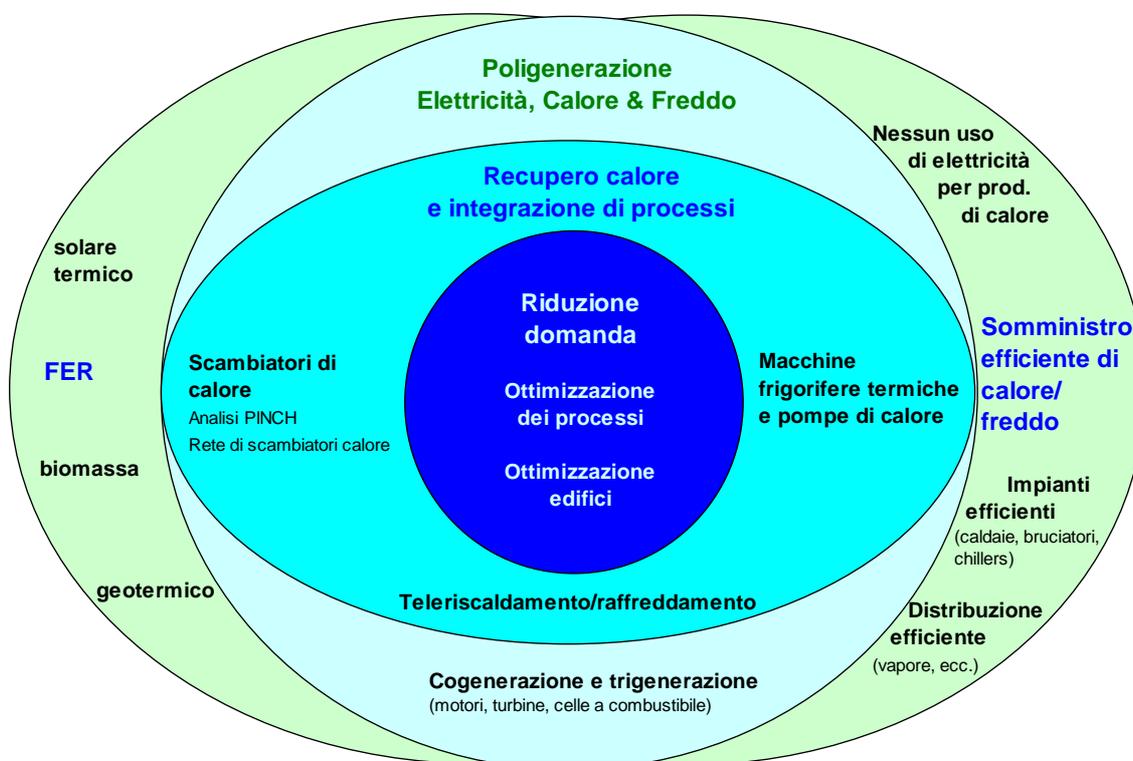


Figura 1. Approccio integrato agli audit termo-energetici ("guardare con l'occhio di EINSTEIN") che combina la riduzione della domanda, il recupero di calore e l'integrazione dei processi con l'utilizzo intelligente delle tecnologie di fornitura di calore/freddo.

1.4 I vantaggi della procedura di audit EINSTEIN

Diversamente da molti aspetti del consumo di elettricità come pompe, motori, illuminazione, ecc. dove spesso un elenco di raccomandazioni e di misure standard può portare a buoni risultati, il compito di ottimizzare la fornitura di energia termica nell'industria è piuttosto complesso dal punto di vista tecnico:

- × In molte aziende, specialmente in quelle medio-piccole, vi sono solo poche informazioni complete sul consumo reale di energia (fatture del combustibile, dati tecnici delle caldaie, ecc.). Il consumo dei singoli processi e sotto-processi deve dunque essere stimato o calcolato con misurazioni costose e che richiedono molto tempo.

- × Lo sfruttamento del potenziale energetico associato al recupero del calore residuale spesso richiede l'integrazione di diversi processi a diversi livelli di temperatura, e con diversi orari di funzionamento (integrazione di scambiatori di calore e di accumulo di calore). È necessario combinare diverse tecnologie disponibili per la fornitura di calore per ottenere soluzioni ottimali.

La complessità tecnica del problema da gestire si contrappone all'esigenza di adottare un metodo di valutazione economicamente accettabile, e quindi necessariamente rapido. Questo, è uno dei principali motivi per cui il potenziale di risparmio energetico nel comparto termico è ancora investigato e praticato in maniera ridotta rispetto alle misure di risparmio adottate per il comparto elettrico.

Per superare questi vincoli, il kit di strumenti EINSTEIN usa i concetti di seguito descritti e consente di elaborare i dati e di formulare proposte per PMI, con sistemi energetici di media complessità, con 4-8 ore di lavoro di un esperto junior.

I principali vantaggi del kit di strumenti EINSTEIN, riassunti nella Figura 2, sono i seguenti:

- × **Standardizzazione del problema e delle possibili soluzioni:** sia per l'acquisizione dei dati sia per la generazione della proposta si utilizzano modelli standardizzati per singole operazioni (processi), che rappresentano un processo industriale generico o differenti tipologie di edifici, e per i sottosistemi di fornitura di calore e freddo.
- × **Stime "rapide e sommarie": un aiuto per stimare e calcolare i dati necessari, ma non disponibili** sulla domanda di calore. In molti casi, è possibile ottenere dati quanto meno approssimativi sulla domanda di calore dei diversi processi, combinando informazioni diverse – spesso incomplete, frammentarie e a volte solo qualitative – raccolte durante le visite e le interviste con il personale tecnico di un'impresa. I calcoli necessari successivamente per elaborare i dati raccolti spesso richiedono molto tempo. Utilizzando, invece, un limitato set di dati da inserire nella procedura di calcolo standardizzata implementata in EINSTEIN, tale fase può essere velocizzata di molto. Grazie a questo metodo, infatti, meno di un'ora di calcoli può sostituire spesso le misurazioni effettuate in loco, almeno nella fase di progettazione preliminare. Il grado di precisione conseguibile è da ritenersi sufficientemente affidabile anche grazie ad una procedura di controllo incrociato dei dati raccolti, interna all'algoritmo di calcolo.
- × **Procedura di audit e generazione della proposta semi-automatizzate:** il software EINSTEIN comprende banche dati (ad es. su parametri tecnici dei componenti standard), e strumenti di supporto alla decisione, fruibili anche da tecnici non specializzati nella gestione di problemi complessi. Valori di riferimento aiuteranno l'utente a esaminare la situazione prima e dopo gli interventi proposti. Il software comprende anche check-lists e misure di risparmio energetico standardizzate. Lo strumento genera automaticamente un documento con i risultati della procedura di audit in un formato tale da poter essere direttamente consegnato al cliente.
- × **Fornitura dati on-line o per mezzo di un breve questionario:** considerato che in molti casi per una valutazione rapida e sommaria è sufficiente elaborare pochi dati, è stato formulato un breve questionario per la raccolta dati. Ciò consente all'utente di raccogliere dati in loco, e in caso di necessità, di completarlo ulteriormente mediante intervista telefonica. Tale questionario può essere inviato all'impresa via e-mail in formato elettronico per la compilazione a distanza.

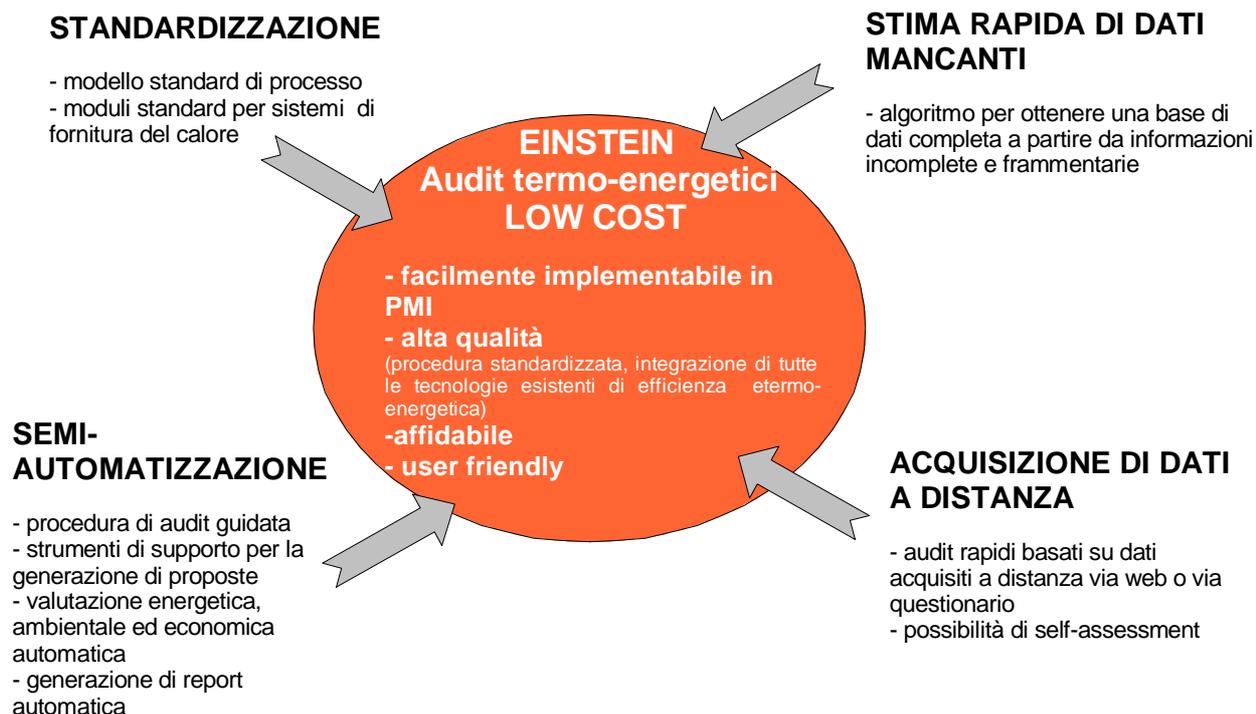


Figura 2. Panoramica delle funzioni di EINSTEIN per ottenere audit termici rapidi ed economici, ma qualitativamente alti.

1.5 Il kit di strumenti EINSTEIN

La metodologia di audit EINSTEIN costituisce un **sistema esperto³ completo per gli audit termo-energetici** basato su un software che aiuta a prendere le decisioni e sulle presenti linee guida. Il software, insieme alla guida agli audit EINSTEIN, costituisce la “valigetta degli attrezzi” che accompagna il consulente lungo tutta la procedura di diagnosi energetica: dall’audit (preparazione della visita e acquisizione dati), all’elaborazione dati, alla progettazione ed infine alla valutazione (energetica ed economica) quantitativa delle alternative di risparmio energetico.

Il software e il manuale sono disponibili gratuitamente sotto forma di **progetto software open source** (www.sourceforge.net/projects/einstein). Questo tipo di sviluppo software si è dimostrato molto efficace per diffondere le conoscenze, e per garantire la manutenzione continua, l’eliminazione dei *bugs* informatici, l’aggiornamento e il miglioramento del software con il contributo degli utenti [FLOSS 2002].

Il kit di strumenti EINSTEIN consente di elaborare soluzioni per risparmiare energia termica e denaro grazie ad un software con interfaccia intuitiva e facile da gestire.

Il software comprende i seguenti moduli:

a) Modulo per l’acquisizione e l’elaborazione dati

L’acquisizione dati si basa essenzialmente su un breve questionario. Un ulteriore modulo aiuta l’analista a stimare i dati non disponibili. Una base di dati di benchmarks aiuta l’utente a valutare la situazione attuale dell’impresa.

b) Modulo per la generazione di una nuova proposta

Questa funzione comprende un modulo di ottimizzazione del processo, un modulo di recupero del calore

³ An expert system is a “class of computer programs (...) made up of a set of rules that analyse information (usually supplied by the user of the system) (...), provide analysis of the problem(s), and (...) recommend a course of user actions (...).” (wikipedia.org). Un sistema esperto è “un tipo di software (...) costituito da una serie di regole che analizza le informazioni (generalmente fornite dall’utente del sistema) (...), analizza il/i problema/i e (...) raccomanda determinate azioni all’utente (...).”

residuale, che aiuta a progettare e ottimizzare una rete di scambiatori di calore idonea per recuperare calore e integrare i processi, e un modulo per la fornitura di calore e freddo, che aiuta a scegliere e dimensionare l'impianto di fornitura e i sistemi di distribuzione di calore e freddo più appropriati.

c) Modulo per la valutazione energetica, economica e ambientale della nuova proposta

La performance energetica del sistema è calcolata grazie a un modulo di simulazione del sistema. Sulla base della prestazione energetica, il modulo di analisi economica genera automaticamente la valutazione economica (ed ambientale) delle proposte formulate .

d) Modulo per la generazione di report per la presentazione della nuova proposta all'impresa

Alla fine della procedura di valutazione e comprazione viene generato automaticamente un report in formato tale da poter essere direttamente presentato all'impresa. Il report contiene informazioni sulla configurazione tecnica della nuova proposta, sul costo d'investimento della misura e una roadmap economica per la sua attuazione.

Il sistema esperto supporta l'analista in qualsiasi decisione da prendere, attraverso un menù di aiuto, suggerimenti sulle opzioni migliori da scegliere, ecc. Questi strumenti di supporto, tra cui la presente guida, rendono EINSTEIN accessibile anche ad utenti non esperti.

1.6 Descrizione generale della guida

Il capitolo 2 della guida riporta un'introduzione ai concetti teorici impiegati nel metodo EINSTEIN. Questo capitolo è fondamentale per capire le diverse fasi dell'audit e le procedure di calcolo nel dettaglio.

Il capitolo 3 descrive il metodo di audit EINSTEIN passo per passo, in ordine cronologico dal primo contatto con l'impresa alla consegna del report, alle eventuali attività di follow-up. Per ciascuna fase dell'audit, si sottolineano gli aspetti principali cui prestare attenzione.

Il capitolo 4 descrive l'applicazione del metodo di audit EINSTEIN ad alcuni casi studio esemplificativi.

Nel software è incluso un manuale d'uso mentre in allegato alla presente guida si trova il questionario per la raccolta dati.

Riferimenti bibliografici Capitolo 1:

- European Commission (2005): "Doing more with Less: Green Paper for Energy Efficiency", Brussels, p.31.
- E-Check in CRAFT-SME (2006): Energy Checks from Small and Medium Craft Enterprises. IEE project EIE/04/066/S07.38641.
- DG INFSO (2008). European Commission – DG INFSO: Impacts of Information and Communication Technologies on Energy Efficiency. Final Report, September 2008
- FLOSS (2002). Free/Libre and Open Source Software: Survey and Study. Final report. International Institute of Infonomics, University of Maastricht, The Netherlands, Berlecon Research GmbH, Berlin, Germany June 2002 European Project No. IST –29565 (5th FP).

2 $E = mc^2$. I concetti teorici alla base di EINSTEIN

2.1 Energia, efficienza energetica e fonti energetiche rinnovabili

2.1.1 Consumo di energia per tipo di energia e per tipo di uso finale

L'energia nell'industria e nel settore dei servizi è consumata prevalentemente sotto forma di elettricità, combustibili (combustibili fossili, come il gas naturale, l'olio combustibile, ma anche biomassa e biogas) e, in alcuni casi sotto forma di calore o freddo (generati all'esterno) forniti dalle reti di teleriscaldamento e raffreddamento.

Il consumo di energia si può esprimere in termini di energia finale e di energia primaria:

- × *Energia finale*: è la quantità di energia contenuta nelle diverse fonti di energia che arrivano all'impresa, sotto qualsiasi forma (il contenuto di energia dei combustibili in EINSTEIN si calcola in termini del loro potere calorico inferiore o PCI, in inglese LCV).
- × *Energia primaria*: è la quantità totale di energia necessaria per generare questa fornitura di energia, considerando le perdite nelle diverse fasi della lavorazione, dall'estrazione, alla trasformazione, al trasporto. La differenza tra contenuto di energia finale e primaria è particolarmente significativa nel caso dell'elettricità: allo stato attuale della tecnologia della fornitura di elettricità in Europa, sono necessarie da 2,5 a 3 unità di energia primaria per generare un'unità di elettricità.

L'energia si può impiegare per usi termici e non termici. La procedura di audit termo-energetico EINSTEIN riguarda l'uso termico dell'energia. Gli usi termici dell'energia presi in considerazione in EINSTEIN sono:

- × riscaldamento e raffreddamento di processo (compresa l'energia per le reazioni chimiche prodotte utilizzando calore)
- × riscaldamento e raffrescamento di edifici (uffici e spazi destinati alla produzione)
- × domanda di acqua calda sanitaria (p. es. docce, cucine, ...).

Gli usi non termici sono:

- × consumo di energia elettrica (e non) per l'illuminazione, i macchinari (ad es. motori, compressori) e altre apparecchiature elettriche, esclusi: il condizionamento dell'aria, il raffreddamento e i riscaldatori elettrici, che sono inclusi nel computo della domanda di energia termica.

I seguenti usi non sono considerati in EINSTEIN, ma da ritenersi ugualmente importanti per il bilancio energetico globale:

- × uso non energetico dei combustibili, ad es. in forma di materie prime per i processi chimici
- × consumo di energia per il trasporto di materie prime e prodotti finali, trasferimento dei dipendenti da casa al lavoro e viceversa
- × energia contenuta nelle materie prime e nei prodotti semi-lavorati (dalle fasi di lavorazione precedenti).

Il consumo di energia per usi termici nell'industria europea ammonta a circa il 70% del consumo totale in termini di energia finale, e ad oltre il 50% in termini di energia primaria. Anche negli edifici, oltre il 50% dell'energia totale viene consumata per il riscaldamento e il raffreddamento degli ambienti e per la produzione di acqua calda sanitaria.

2.1.2 Fonti di energia rinnovabile

Le fonti energetiche rinnovabili più importanti per la trasformazione diretta nei sistemi industriali di fornitura di calore e freddo sono:

- × l'energia solare (compresa la co-generazione solare per la produzione di elettricità e calore)
- × la biomassa e il biogas
- × l'energia geotermica.

Tutte le altre tecnologie basate su energie rinnovabili hanno un'importanza indiretta, perché possono ridurre l'impatto del consumo di elettricità solo su scala globale (oltre i confini della singola impresa). Lo stesso vale per i sistemi fotovoltaici, anche se installati sul tetto di un'impresa, poiché questi sistemi generalmente sono collegati alla rete e non contribuiscono direttamente al consumo di elettricità.

L'energia usata dalle imprese sotto forma di energia rinnovabile non è considerata nel consumo di energia primaria. Tuttavia, è necessario tener conto della differenza tra le fonti di energia rinnovabile e i contributi delle diverse fonti, che in EINSTEIN sono considerati separatamente:

- × l'energia solare è un'energia praticamente inesauribile e infinitamente rinnovabile
- × la biomassa e il biogas sono fonti di energia rinnovabili, ma finite. L'uso di questa energia per usi termici può essere in competizione con l'uso dello stesso materiale per altre finalità (p. es. in gruppi elettrogeni, per la trasformazione in bio-combustibili, ecc.) ed anche con l'uso dei terreni per la produzione agricola.

2.1.3 Impatto ambientale dell'uso di energia nelle aziende

Il consumo di energia nelle industrie europee costituisce circa il 28% del consumo totale di energia finale (senza considerare il consumo di energia dei trasporti legati alla produzione industriale)⁴. Il riscaldamento e il condizionamento degli edifici contribuisce un altro 27% alla domanda complessiva di energia.

L'impatto ambientale dell'uso di energia nelle industrie è dovuto a diversi fattori, quali:

- × emissioni di varie sostanze dovute alla trasformazione dell'energia (CO₂, emissioni di altri gas ad effetto serra (GHG), NO_x, CO, emissioni radioattive, rifiuti nucleari, ecc.)
- × consumo di risorse finite e non rinnovabili (combustibili fossili, materie prime)
- × rischio legato alla fornitura di energia e al sistema di trasformazione (ad es. incidenti nucleari, trasporto di carburanti, ecc.)
- × consumo idrico (ad es. torri di raffreddamento)
- × uso del territorio (ad es. uso di terreni per produrre bio-combustibili o biomassa piuttosto che prodotti agricoli).

Una valutazione esaustiva dell'impatto ambientale considerando tutti i fattori succitati trascende l'ambito di indagine di EINSTEIN. Pertanto, come principali indicatori per la valutazione dell'impatto ambientale in EINSTEIN sono stati presi in considerazione i seguenti parametri:

- × consumo di energia primaria quale indicatore principale per la valutazione ambientale
- × generazione di CO₂
- × produzione di rifiuti nucleari altamente radioattivi (HR) (associata al consumo di elettricità)
- × consumo di acqua.

⁴ *Dati tratti da EuroStat (2004).*

2.1.4 Strategie di riduzione del consumo di energia sul lato domanda e sul lato offerta

Il consumo di energia nelle imprese non è un'esigenza in sé, ma in genere è un modo per raggiungere un obiettivo, come ad esempio:

- × mantenere una superficie o una macchina pulita,
- × separare due fluidi tramite distillazione.

Lo stesso obiettivo, ad es. la pulizia, spesso può essere conseguito in modi diversi e, quindi, con diversi livelli di consumo dell' energia. Ad es.:

- × Riscaldare grandi quantità d'acqua fino a 80 o 90 °C per il lavaggio giornaliero
- × Lavare ad una temperatura inferiore, ma usando un detergente o fluido in pressione
- × Ridurre l'esigenza di pulire collocando un processo che genera elevate quantità di polvere in una zona isolata
- × Ecc...

In questo senso, come già sottolineato nel paragrafo 1.3, all'inizio di ogni audit EINSTEIN si cerca per prima cosa di ridurre la domanda di energia. Questo in genere è il modo più economico, e al contempo più rispettoso dell'ambiente, per risparmiare energia.

A valle di questo primo passo, solo la domanda di calore e freddo rimanente (ed in genere inferiore) dovrà essere soddisfatta da un sistema di fornitura di calore e freddo ottimizzato dal punto di vista energetico e ambientale.

2.2 I flussi di energia: alcune definizioni

Per analizzare i sistemi termo-energetici, EINSTEIN utilizza le seguenti quantità:

- Consumo totale di Energia Finale (FEC) e consumo di Energia Finale per usi Termici (FET): consumo di combustibili (in base al potere calorifico inferiore, PCI), di calore e di elettricità (per usi termici).
- Calore/freddo Utile Fornito (USH/USC): calorie o frigorie prodotte dal sistema di generazione di calore o di raffreddamento (caldaie, bruciatori, refrigeratori, ecc.) e fornite ai diversi utilizzatori (ad es. processi) in forma di vapore, aria calda, acqua calda, acqua fredda, ecc.
- Calore/freddo Utile di Processo (UPH/UPC): calorie o frigorie trasferite ad un processo (misurate in ingresso allo scambiatore di energia del processo). Coincide con la domanda di energia termica di un processo.

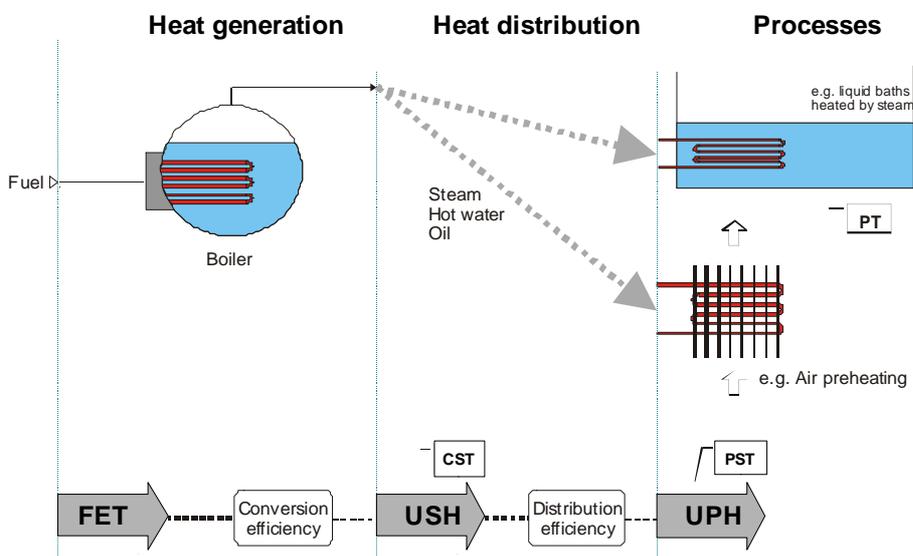


Figura 3. Definizione dei flussi di energia in un sistema di fornitura di calore (uno schema analogo vale per il raffreddamento).

Il rapporto tra USH/FET (o USC/FET) e tra UPH/USH (or UPC/USC) definiscono rispettivamente l'efficienza di conversione e l'efficienza di distribuzione del sistema (Figura 4).

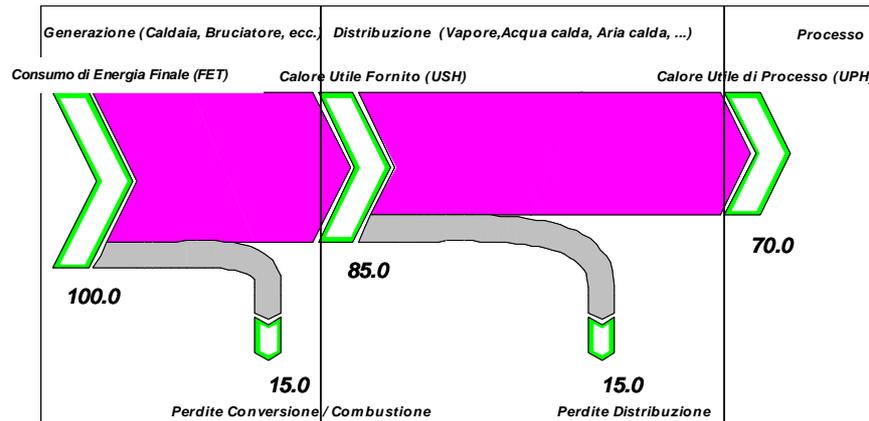


Figura 4. Diagramma di Sankey dei flussi di energia con valori tipici delle efficienze di conversione e distribuzione.

Se a quelli già descritti aggiungiamo anche i diversi flussi di calore o freddo di scarto, lo schema diventa un po' più complesso (Figura 6). La Figura 5 illustra un esempio di processo industriale con diversi tipi di recupero del calore di scarto.

In EINSTEIN chiamiamo Calore Residuale Disponibile (QWH) un flusso di energia prodotto da qualsiasi sottosistema (generazione/distribuzione/processi/altro) che non sia l'output principale di quel sistema. Esempi di flussi di calore di scarto possono essere:

- * il calore contenuto nei gas di scarico di una caldaia o nel fluido di raffreddamento di un sistema di refrigerazione
- * la condensa recuperata dal circuito di distribuzione del vapore
- * il calore contenuto nelle acque reflue di un processo di lavaggio.

Analogamente, ci possono essere diverse sorgenti di freddo recuperabile (QWC) come ad es. l'aria fredda esausta in un sistema di condizionamento degli ambienti, ecc..

Chiamiamo invece Calore (QHX) o Freddo (QCX) Residuale Recuperato un flusso di energia usato come alimentazione di qualsiasi sottosistema (generazione/distribuzione/processi) derivante dal sistema di recupero del calore di scarto (compresa aria circostante e terreno). Esempi di flussi di energia di scarto recuperata possono essere:

- * il pre-riscaldamento dell'aria di combustione e/o dell'acqua di alimentazione di una caldaia
- * il pre-riscaldamento dell'acqua all'inizio di un processo di lavaggio
- * il pre-riscaldamento dell'acqua (di ritorno) in un circuito di distribuzione di acqua calda
- * preraffreddamento di aria in ingresso ad un processo di germinazione nella produzione di malto.

Nelle sezioni a seguire si definiscono matematicamente le quantità usate nei bilanci energetici alla base del modello utilizzato in EINSTEIN.

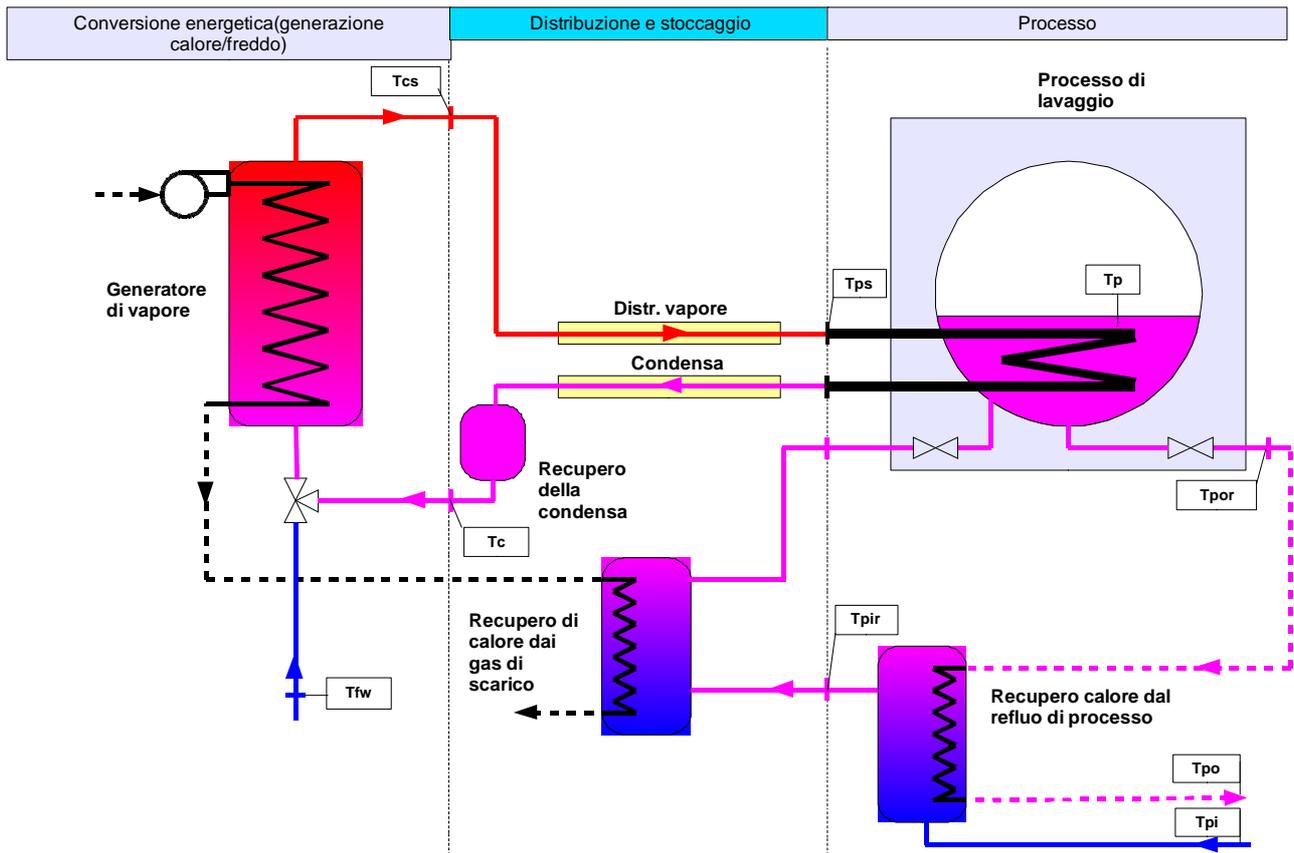


Figura 5. Esempio di processo di lavaggio industriale secondo la schematizzazione adottata in EINSTEIN, con diversi tipi di recupero di calore: recupero di calore dal gas di scarico della caldaia per il pre-riscaldamento dell'acqua; recupero di calore dalle acque reflue per il pre-riscaldamento dell'acqua; recupero di condensa per il pre-riscaldamento dell'acqua di alimentazione della caldaia.

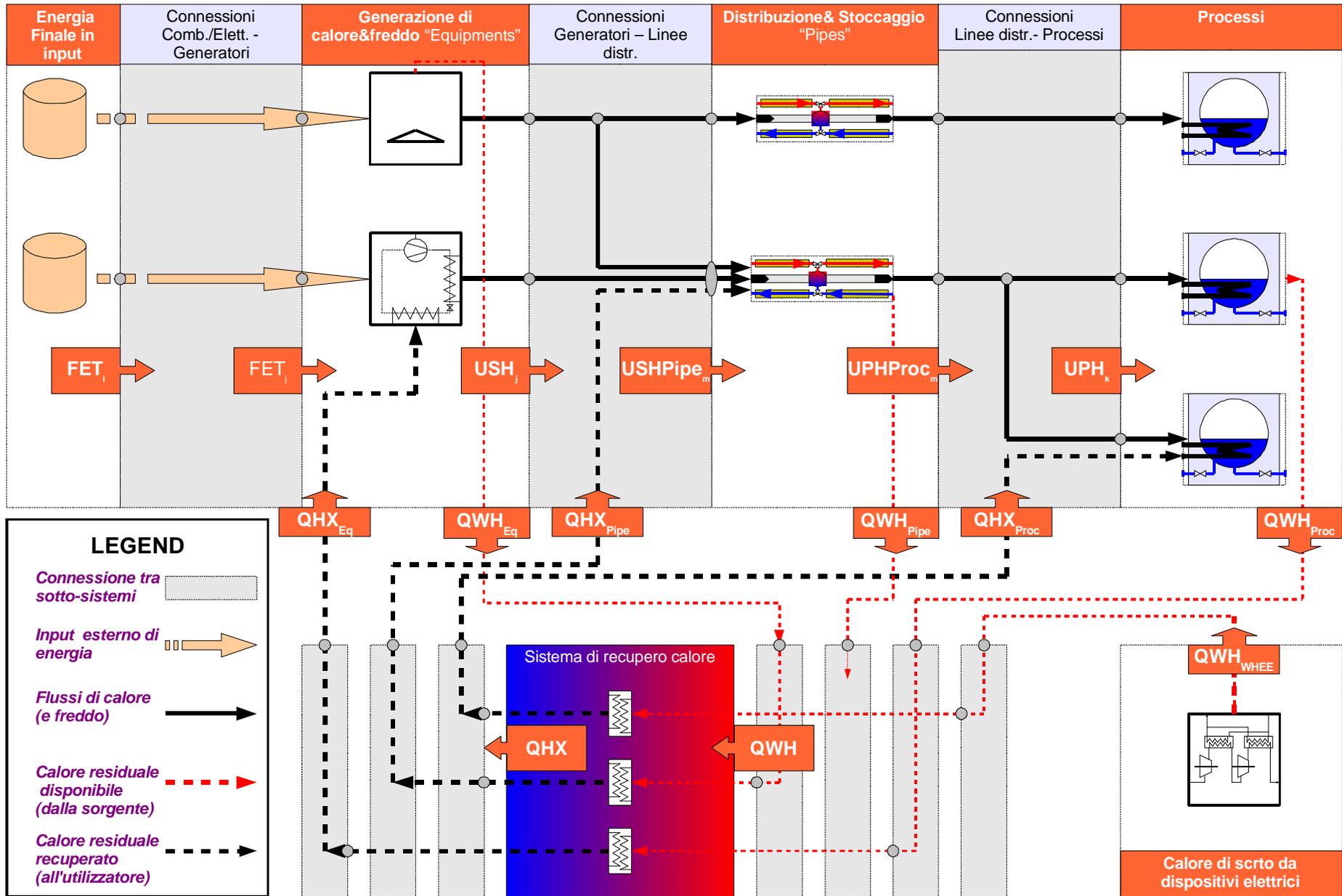


Figura 6. Schematizzazione in EINSTEIN di un sistema di generazione e di recupero del calore (vale un analogo schema per un sistema di raffreddamento)

2.2.1 Consumo di energia finale e primaria

Il Consumo totale di Energia Finale (FEC) si usa per calcolare l'energia finale totale che entra nell'impresa sotto forma di combustibili (espressi in termini di PCI), elettricità e calore dalla rete.

$$E_{FEC} = E_{FEC,el} + \sum_{i=1}^{N_{fuels}} E_{FEC,fuel(i)} + E_{FEC,heat} \quad (2.1)$$

Il consumo di energia primaria (PEC) si ottiene applicando i diversi fattori di conversione per ciascun tipo di energia:

$$E_{PEC} = f_{PE,el} E_{FEC,el} + \sum_{i=1}^{N_{fuels}} f_{PE,i} E_{FEC,fuel(i)} + f_{PE,heat} E_{FEC,heat} \quad (2.2)$$

Dove $f_{PE,el}$ è il fattore di conversione dell'energia primaria per l'elettricità e $f_{PE,i}$ è il fattore di conversione dell'energia primaria per i diversi tipi di combustibile (vedi tabella 2 per i valori tipici)

Table 2. Fattori di conversione in energia primaria tipici di alcune fonti di energia⁵

Tipo di combustibile	Fattore di conversione in energia primaria
Legno	0,2
Teleriscaldamento con 70% di cogenerazione con gas naturale	0,6
Gas naturale	1,1
Olio combustibile	1,1
Elettricità	3,0

L'energia è consumata per usi termici (riscaldamento o raffreddamento) e non termici (illuminazione, azionamenti elettrici, ecc.). L'elettricità usata sia nei chillers per il condizionamento dell'aria e per il raffrescamento sia negli impianti di riscaldamento elettrici è considerata energia per uso termico.

Le quantità di energia in gioco sono denominate rispettivamente:

- × PET/FET: Energia Primaria/Finale per usi Termici
- × PEO/FEO: Energia Primaria/Finale per Altri Usi (non termici)

Ne consegue che l'Energia Finale Totale è calcolabile mediante la seguente equazione (e analogamente per l'energia primaria):

$$E_{FEC} = E_{FET} + E_{FEO} \quad (2.3)$$

L'Energia Finale complessiva per usi Termici è data dalla somma dell'energia consumata in tutti gli impianti di riscaldamento e raffreddamento:

$$E_{FET} = \sum_{j=1}^{N_{eq}} E_{FET,j} \quad (2.4)$$

⁵ Schramek E.-R. (editor), Recknagel, Springer, Schramek – Taschenbuch für Heizung- und Klimatechnik 07-08, Oldenburg editions, 2007

dove N_{eq} è il numero di dispositivi di generazione di calore/freddo (caldaie, chillers, motori per la co-generazione, ecc.).

Il caso speciale della co-generazione

In EINSTEIN, la co-generazione è trattata come un dispositivo di generazione di calore (per maggiori dettagli, cfr. il paragrafo 3.7). Il consumo di energia degli impianti di co-generazione è calcolato come consumo netto dato dalla somma del consumo di combustibile e del consumo negativo di elettricità auto-generata:

$$E_{FET,j} = E_{FET,fuel(j)} - E_{FET,elgen,j} \quad (2.5)$$

Nota. Se l'efficienza di conversione elettrica di un impianto di co-generazione è maggiore del valore di riferimento del sistema elettrico nazionale (η_{SEN}), il consumo di energia di un impianto di co-generazione in termini di energia primaria può essere negativo !!!

2.2.2 Calore e Freddo Utile Fornito (USH/USC)

Il Calore (USH) o il Freddo (USC) Utile Fornito è l'energia fornita dagli impianti di generazione (caldaie, bruciatori, ecc.), misurato all'uscita dell'impianto (sala macchine). Il bilancio energetico è ottenuto come segue:

$$\dot{Q}_{USH,j} = \dot{Q}_{USH,eq,j} + \dot{Q}_{QHX,j} \quad (2.6)$$

dove $\dot{Q}_{QHX,j}$ è il Calore Residuale Recuperato usato nell'impianto (ad es. per il pre-riscaldamento dell'aria di combustione o dell'acqua di alimentazione) e $\dot{Q}_{USH,Eq,j}$ è il calore addizionale generato dall'impianto mediante, ad esempio, la conversione dell'energia chimica contenuta nei combustibili (conversione di Energia Finale secondo la terminologia EINSTEIN)..

L'efficienza di conversione netta dell'impianto, è definita come:

$$\eta_{conv,j} = \frac{\dot{Q}_{USH,eq,j}}{\dot{E}_{FET,j}} \quad (2.7)$$

Il calore totale immesso nelle diverse linee di distribuzione è dato da:

$$\dot{Q}_{USH,pipe,m} = \dot{Q}_{USH,m} + \dot{Q}_{QHX,m} \quad (2.8)$$

dove $\dot{Q}_{USH,m}$ è il Calore Utile fornito dal dispositivo di conversione al condotto m , e $\dot{Q}_{QHX,m}$ è il Calore di Scarto Recuperato ed immesso direttamente nel condotto m (ad es. pre-riscaldamento di una linea di ritorno).

Il contenuto di calore nei sistemi di generazione di calore che non sono chiusi (ad es. distribuzione di vapore senza recupero della condensa, preparazione e distribuzione diretta dell'acqua calda) è definito sulla base di una temperatura di riferimento (esterna) predefinita (temperatura dell'acqua di rete, temperatura dell'aria esterna):

$$\dot{Q}_{USH,pipe,m} = q_{m,o} h_o - q_{m,ret} h_{ret} - q_{m,i} h_i \quad (2.9)$$

dove i pedici si riferiscono rispettivamente a uscita (o), ritorno (ret) e entrata (i), essendo quest'ultimo il riferimento esterno in caso di sistemi aperti. Per i sistemi chiusi dove $q_m = q_{m,o} = q_{m,ret}$ il tutto si semplifica come segue:

$$\dot{Q}_{USH,pipe,m} = q_m (h_o - h_{ret}) \quad (2.9a)$$

Equazioni analoghe si applicano nel caso del Freddo Utile Fornito (USC).

2.2.3 Calore e freddo Utile di Processo (UPH/UPC)

La domanda di Calore Utile netto di Processo (UPH) è definita come la differenza tra la domanda di calore totale (lorda) del sistema (UPH_{gross} , cfr. il paragrafo 2.4) e il calore recuperato internamente⁶ al processo

⁶ La distinzione tra recupero di calore interno ed esterno dipende dai confini specifici del processo e si usa per impianti compatti con scambiatori di calore interni: ad es. la domanda di calore lorda in un pastorizzatore che processa latte freddo sarà dato dall'energia necessaria per il riscaldamento il latte da 4 °C a 72 °C, mentre la domanda di calore netta sarà data dal solo riscaldamento a valle del recupero interno di calore, ad es. da 50 °C a 72 °C.

stesso.

$$Q_{UPH} = Q_{UPH, gross} - Q_{HX, internal} \quad (2.10)$$

D'altro canto, il calore utile (netto) di processo si ottiene anche come calore totale apportato dall' esterno al processo, sia dal sistema di fornitura di calore ($Q_{UPH, Proc}$) sia tramite recupero esterno del calore ($Q_{HX, Proc}$):

$$Q_{UPH} = Q_{UPH, Proc} + Q_{HX, Proc} \quad (2.11)$$

Anche in questo caso, le equazioni analoghe valgono sia per la domanda di raffreddamento di processo (UPC) che per il Freddo Residuale Recuperato (QCX).

2.2.4 Calore/Freddo Residuale Disponibile (QWH/QWC) e Calore/Freddo Residuale Recuperato (QHX/QCX)

Per calcolare il potenziale di recupero di calore è importante distinguere tra la quantità totale di calore di scarto e quei flussi di calore residuale che sono tecnicamente recuperabili. Per i flussi residuali utilizzati come sorgenti per altri processi, la quantità di calore recuperabile è limitata, oltre che dalla fattibilità tecnica dell'intervento, dalla temperatura finale alla quale è possibile raffreddare tali flussi, e che ne determina l'entalpia minima h_{min} . In particolare, il calore di scarto recuperabile da un dato (flusso di) processo ($Q_{QWH, Proc}$) è dato da:

$$Q_{QWH, Proc} = m_o (h_{po} - h_{min}) \quad (2.12a)$$

La quantità di calore di scarto disponibile dagli impianti ($Q_{QWH, Eq}$, ad es. gas di scarico) o dalle linee di distribuzione ($Q_{QWH, pipe}$, ad es. condensa) si calcola allo stesso modo, prendendo come temperatura di riferimento la temperatura del fluido in ingresso, in circuiti aperti.

Oltre ai flussi di energia, il calore di scarto può anche essere immagazzinato nella massa termica degli impianti di processo e/o dei fluidi di processo che permangono all'interno dei macchinari di processo. La quantità totale di calore di scarto si può calcolare come segue,:

$$Q_{QWH, Proc} = m_o (h_{po} - h_{min}) + mc_p (T_p - T_{min}) N_s \quad (2.12b)$$

dove N_s è il numero totale di avviamenti – e di conseguenza di interruzioni – del processo.

Equazioni analoghe valgono per il raffreddamento..

In un sistema complesso con domanda sia di riscaldamento sia di raffreddamento, può esistere la possibilità di scambio termico diretto tra flussi che devono essere raffreddati ad alta temperatura e flussi che devono essere riscaldati a bassa temperatura. Per tenere in considerazione questo potenziale, la domanda di raffreddamento di tutti i sottosistemi (processi, tubi, attrezzature), $Q_{D, cooling}$, deve essere considerata come potenziale fonte di calore, e viceversa, la domanda di calore di tutti sottosistemi, $Q_{D, heating}$, deve essere considerata come potenziale sorgente fredda.

Il calore di scarto realmente recuperato $Q_{QH, h}$ dipende dalla configurazione del sistema di recupero del calore ed è sempre inferiore o uguale alla disponibilità totale di calore, in forma di calore di scarto e di domanda di raffreddamento: .

$$\sum_{h=1}^{N_{HX}} Q_{QH, h} \leq \sum_{source} Q_{QWH, source} + \sum Q_{D, cooling} \quad (2.12b)$$

e alla domanda totale di calore.

$$\sum_{h=1}^{N_{HX}} Q_{QH, h} \leq \sum_{source} Q_{QWC, source} + \sum Q_{D, heating} \quad (2.12c)$$

2.3 Livelli di temperatura dell'energia generata

In EINSTEIN, non si considera solo la quantità di energia in ciascun sotto-sistema, ma si analizza con particolare attenzione il livello di temperatura (qualità) dell'energia (domanda e produzione di energia termica).

Sebbene ciò renda l'analisi della domanda di calore molto più complessa, tenere i diversi livelli di temperatura in considerazione è assolutamente necessario per progettare soluzioni efficienti dal punto di vista energetico. Infatti:

- × il potenziale di recupero di calore e l'integrazione di calore dipendono fortemente dai valori di temperatura richiesta e fornita al fluido termovettore (calore o freddo di scarto disponibile);
- × molte delle tecnologie di conversione efficienti dal punto di vista energetico, come la co-generazione, le pompe di calore, e le fonti di energia rinnovabili (energia solare) sono (in pratica) limitate a temperature medio-basse. Per questo progettare un sistema energetico che possa utilizzare al massimo le fonti a bassa temperatura è un presupposto necessario per l'uso di queste tecnologie;
- × diminuendo il valore di temperatura richiesto, si migliora l'efficienza di conversione degli impianti termici convenzionali e si ottiene una diminuzione delle perdite di calore negli impianti di distribuzione, accumulo e produzione;
- × la generazione frigorifera è tanto più efficiente quanto più la temperatura di somministro è elevata, e la temperatura del circuito di dissipazione del calore bassa.

Tabella 3. Classificazione delle tecnologie di generazione del calore esistenti per livello di temperatura.

Intervallo di temperatura [°C]	Livello di temperatura del calore	Tecnologia di produzione del calore applicabile
< 60	Basso	Pompe di calore a bassa temperatura Solare a bassa temperatura
< 90	Medio-basso	Calore di scarto dai motori per la co-generazione (acqua di raffreddamento) Limite pratico per il solare a pannelli piani Pompe di calore ad alta temperatura
< 150	Medio	Vapore a bassa pressione
< 250	Medio-alto	Limite per il solare a temperatura media
< 400	Alto	Limite pratico per il calore di scarto da turbine a gas, biomassa, ...

In EINSTEIN sono state individuate le seguenti temperature:

- × Temperatura di processo (PT): temperatura del fluido operante in un processo.
- × Temperatura di somministrazione al processo (PST): temperatura del fluido termovettore usato per il riscaldamento e il raffreddamento del processo (ad esempio: temperatura del vapore all'entrata dello scambiatore di calore del processo).
- × Temperatura di generazione (CST) (in uscita dal sistema di generazione centrale): temperatura del fluido termovettore all'uscita del sistema di generazione centrale di caldo o freddo (ad es. in uscita dalla caldaia, dal refrigerator). La differenza tra CST e PST è di norma riconducibile alle perdite termiche lungo la linea di distribuzione.

2.4 Il modello del processo e il profilo della domanda

2.4.1 Il modello del processo

Tutti i processi nell'ambito della metodologia EINSTEIN sono modellati mediante la rappresentazione di un unico processo generico, elaborato nell'ambito del progetto POSHIP⁷ (Figura 7). Di seguito viene descritto il modello valido per un generico processo di riscaldamento, ma lo stesso modello - con segno inverso - è applicabile a processi di raffreddamento. La maggior parte dei processi richiede il riscaldamento (raffreddamento) sia di un fluido in circolazione (ad es. aria calda, acqua calda o fredda, rinnovo dell'acqua nelle vasche, ecc.), sia del macchinario, di un serbatoio ecc. (ad es. forni, vasche ecc.). Questa seconda circostanza può essere suddivisa in due fasi distinte, di pre-riscaldamento (pre-raffreddamento), prima che il processo vero e proprio giunga a regime, e di mantenimento della temperatura (compensazione delle perdite termiche) durante il funzionamento.

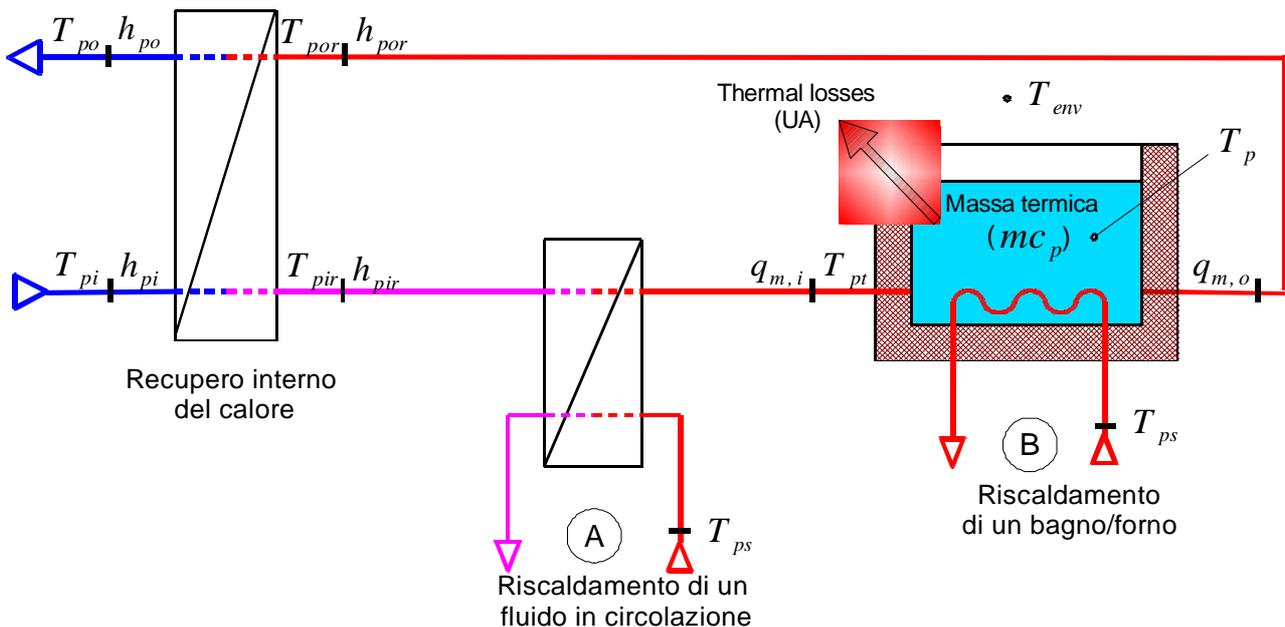


Figura 7. Modello di processo generico in EINSTEIN con un solo flusso in entrata e un solo flusso in uscita.

La domanda totale di calore di un processo è dunque suddividibile concettualmente in tre diverse componenti:

a) *Calore di circolazione (UPH_c):*

È il calore necessario a riscaldare il fluido in circolazione dalla temperatura iniziale fino alla temperatura di processo, indipendentemente dal luogo fisico dove si fornisce calore (prima o durante il processo). È possibile definire il calore di circolazione sia per processi continui sia a lotti indipendentemente dall'intervallo temporale in cui circola il fluido termovettore. Il tempo di circolazione può essere diverso dal tempo di funzionamento.

Il calore lordo correlato al fluido circolante si può calcolare come:

$$Q_{UPH,c}^{gross} = m_c c_p (T_p - T_{pi}) \quad (2.13)$$

⁷ POSHIP: il potenziale del calore da energia solare per i processi industriali. Progetto finanziato dalla Commissione Europea – Direzione Generale per l'energia e i trasporti. Programma ENERGIE (5° programma quadro per l'energia, l'ambiente e lo sviluppo sostenibile), Progetto n. NNE5-1999-0308.

dove m_c è la massa totale di fluido di processo circolante nel periodo considerato (un giorno o un anno).

Il calore utile netto di processo associato al fluido in circolazione si ottiene sottraendo a quello lordo il calore recuperato internamente:

$$Q_{UPH,c} = Q_{UPH,c}^{gross} - Q_{HX,internal} = m_c c_p (T_p - T_{pir}) \quad (2.14)$$

b) Calore di start-up o all'avviamento (UPH_s)

Il calore di start-up è dato dalla quantità di energia necessaria per portare il fluido di processo che resta all'interno dei macchinari alla temperatura di processo dopo l'interruzione del medesimo processo (ad es. pausa notturna o per il fine settimana; interruzioni fra un ciclo produttivo e il successivo). L'equazione utilizzata per calcolare la domanda di calore di start-up è la seguente:

$$Q_{UPH,s} = N_s (mc_p)_e (T_p - T_s) \quad (2.15)$$

dove $(mc_p)_e$ è la massa termica di processo effettiva o equivalente, considerata l'inerzia termica non solo del fluido contenuto nel processo, ma anche dell'impianto circostante, e N_s è il numero di avviamenti in un dato periodo di tempo.

c) Calore di mantenimento (UPH_m)

È il calore necessario per mantenere costante la temperatura di processo. Equivale alle perdite di calore tra processo e ambiente e/o al calore latente necessario per l'evaporazione del fluido di processo e/o per processi chimici (endotermici):

$$Q_{UPH,m} = [(UA)(T_p - T_{env}) + \dot{Q}_L] t_{op} \quad (2.16)$$

dove (UA) è il coefficiente di perdita termica tipico del macchinario di processo, T_{env} è la temperatura ambiente di processo (generalmente la temperatura interna dello stabilimento), \dot{Q}_L è la potenza richiesta per il cambio di fase o per le reazioni chimiche, ed infine t_{op} è il tempo di operazione.

Per riassumere, il calore utile di processo totale netto si può calcolare a partire dai tre componenti sopra descritti come segue:

$$Q_{UPH} = Q_{UPH,c} + Q_{UPH,m} + Q_{UPH,s} \quad (2.17)$$

Il modello di processo proposto da EINSTEIN può essere facilmente esteso a processi con più flussi in entrata e in uscita (Figura 8).

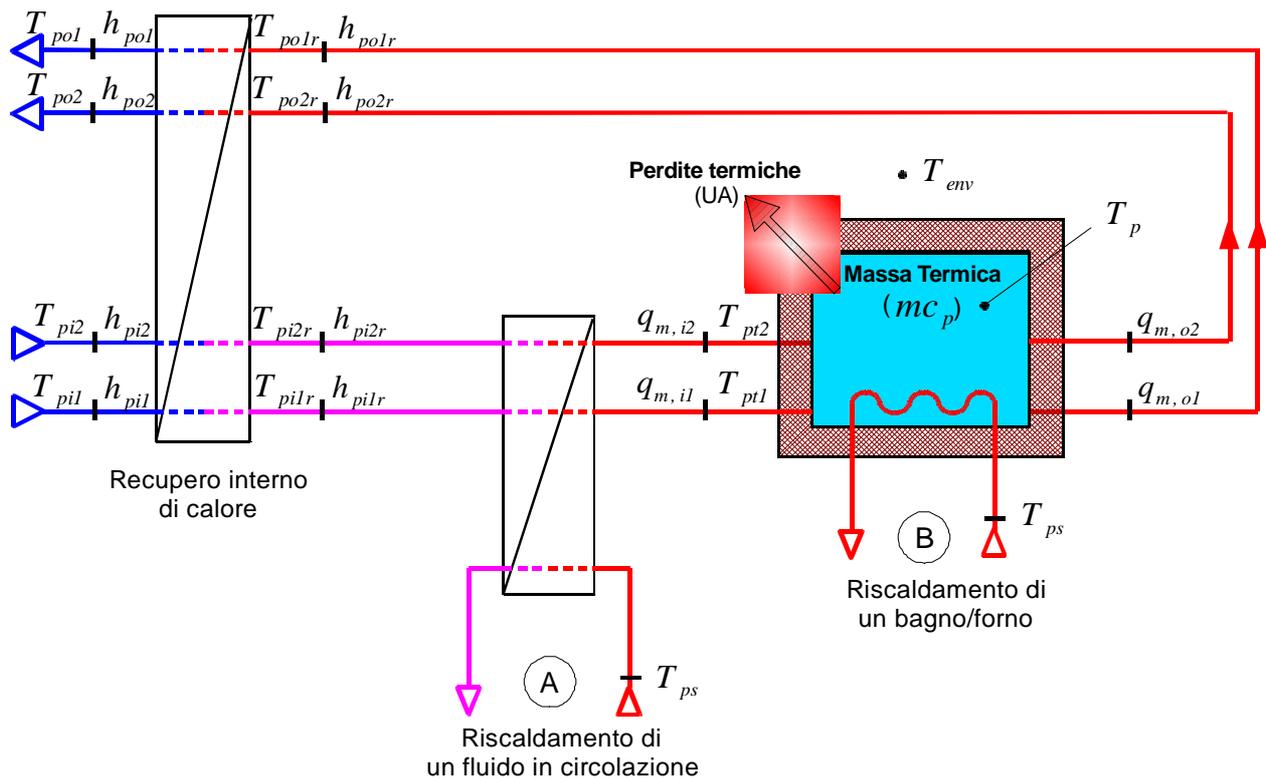


Figura 8. Modello di processo standard EINSTEIN con più flussi in entrata e in uscita.

2.4.2 Semplificazione delle ipotesi per un audit rapido con EINSTEIN

Per velocizzare l'analisi e ridurre il numero di dati iniziali richiesti, nel modello EINSTEIN sono state fatte le seguenti ipotesi semplificative:

- ✘ valori di temperatura costanti: tutte le temperature in entrata, le temperature di processo e le temperature del flusso residuale in uscita sono considerate costanti
- ✘ la dipendenza temporale è dettata esclusivamente dal tempo di operazione del processo. Tutte le componenti della domanda di calore variano proporzionalmente nel tempo.

Per la maggior parte dei processi industriali considerare il livello di temperatura costante nel tempo è una approssimazione soddisfacente. I processi reali con temperature variabili possono essere riprodotti nel modello suddividendo il processo reale in due o più sotto-processi.

2.4.3 Profili della domanda standard

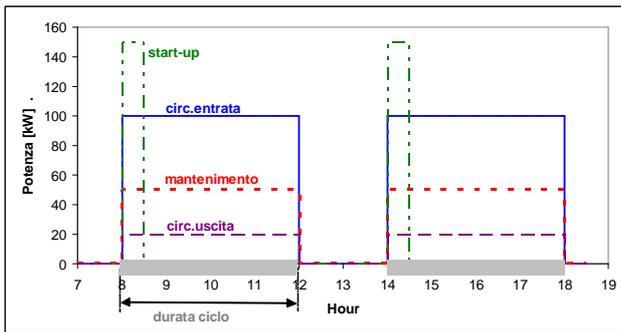
La domanda di calore e la disponibilità di calore di scarto nel tempo nel modello di processo generico di EINSTEIN sono caratterizzate dai seguenti parametri temporali:

- ✘ durata di funzionamento del processo: il periodo in cui una data temperatura costante T_p deve essere mantenuta;
- ✘ orario del riscaldamento all'avviamento (start-up): il momento in cui inizia il riscaldamento all'avviamento;
- ✘ durata dei flussi in entrata;
- ✘ durata dei flussi in uscita.

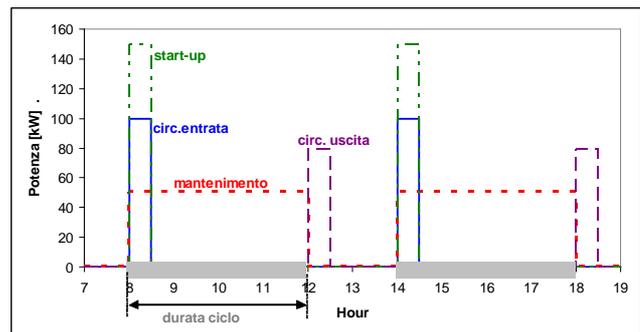
Se non si fornisce nessun periodo temporale preciso nel questionario di base EINSTEIN (cfr. Allegato), il software EINSTEIN al suo interno utilizzerà gli orari predefiniti riportati in Tabella 3 dipendenti dal tipo di processo, continuo o *batch* (discontinuo).

Tabella 4. Durate predefinite di un processo standard.

	Processo continuo	Processo batch
Circolazione (in entrata)	Continuo durante il t_{op}	Il primo 20% della durata totale <u>entro</u> il t_{op}
Avviamento (start-up)	Il primo 20% della durata totale <u>entro</u> il t_{op}	Il primo 20% della durata totale <u>entro</u> il t_{op}
Mantenimento	Continuo durante t_{op}	Continuo durante t_{op}
Evacuazione del fluido (in uscita)	Continuo durante t_{op}	Il primo 20% della durata totale <u>dopo</u> il t_{op}



(a)



(b)

Figura 9. Profilo standard della domanda per i processi (a) continuo e (b) batch. Esempio: processo con $t_{op} = 2 \times 4$ ore.

2.4.4 2.4.4 Domanda di riscaldamento e raffrescamento degli edifici in EINSTEIN

La domanda di riscaldamento e raffrescamento degli edifici può essere rappresentata in EINSTEIN come caso speciale del modello di processo generico (Tabella 5).

Tabella 5. Rappresentazione della domanda di riscaldamento e raffrescamento degli edifici come processo in Einstein

Componenti domanda	Riscaldamento ambienti	Raffrescamento ambienti	Acqua calda sanitaria
Circolazione (in entrata)	Riscaldamento aria fresca	Raffreddamento aria fresca Deumidificazione aria fresca	Riscaldamento acqua fredda
Avvio (start-up)	Riscaldamento iniziale / raffreddamento prima dei periodi di occupazione -		-
Mantenimento	Domanda energetica per riscaldamento / raffreddamento eccetto aria rinnovata		-
Circolazione (in uscita)	Aria esausta (utile per il recupero in ventilazione controllata)		Acqua di scarto
Temperatura Processo	Temperatura interna desiderata		Temperatura acqua calda (punti di consumo)
Temperatura somministrato	Temperatura del fluido termovettore in entrata agli impianti di riscaldamento / di raffreddamento (es. acqua calda/ aria fredda)		Temperatura acqua calda (distribuzione)

2.5 Integrazione del calore e analisi *Pinch*

Il modo corretto di integrare il calore (di scarto) in un sistema è descritto dalla teoria cosiddetta *Pinch* [Ferner, Schnitzer, 1990] sviluppata soprattutto da Linhoff negli anni '70. Con l'analisi *Pinch* la domanda di calore e freddo di un intero sistema è illustrata in un semplice diagramma che mostra la domanda di energia (di riscaldamento o raffreddamento) dei processi e a quali temperature è richiesta tale energia. Da questa analisi si possono trarre alcune informazioni molto importanti:

- * Quanta energia è teoricamente possibile risparmiare recuperando calore
- * A quanto ammonta l'apporto di freddo dall'esterno al processo produttivo? A che temperatura è richiesto tale energia frigorifera?
- * A quanto ammonta l'apporto di calore dall'esterno al processo produttivo? A che temperatura è richiesto tale calore?

L'analisi è dunque uno strumento valido per un primo calcolo del potenziale di risparmio energetico attraverso il recupero di calore (che deve successivamente essere adattato per motivi pratici e/o economici). Inoltre, l'analisi illustra molto bene a che temperatura si richiede il calore/freddo dall'esterno – un'informazione questa particolarmente importante ai fini dell'integrazione ottimale di nuovi sistemi energetici.

2.5.1 Analizzare un sistema con l'analisi *Pinch*

La teoria *Pinch* separa i flussi di calore di un sistema, in funzione dei livelli di temperatura, in una parte fredda con un surplus di energia e che quindi necessita di essere raffreddata, e in una parte calda che necessita di essere riscaldata. Questo processo prevede la combinazione delle curve di temperatura-entalpia di tutti i flussi da riscaldare (*Cold Composite Curve* - curva composta del freddo) e di tutti i flussi da raffreddare (*Hot Composite Curve* - curva composta del caldo) in un unico diagramma temperatura – lavoro (cfr. la Figura 10 per la combinazione dei flussi "freddi"). Si considera come flusso di processo (process stream) qualsiasi flusso di massa che deve essere riscaldato (flusso freddo) o raffreddato (flusso caldo). Si possono includere nell'analisi anche flussi che non sono strettamente richiesti dal processo in sé (come le acque reflue che scorrono verso lo scarico), se possono essere usati come fonte di raffreddamento o riscaldamento per altri flussi.

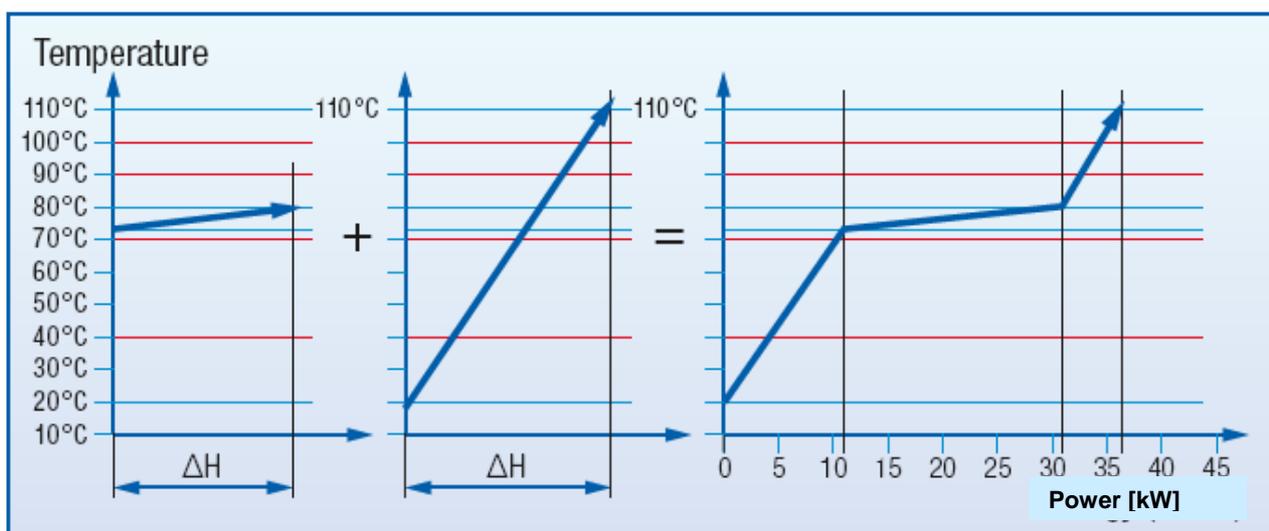


Figura 10. Combinazione termodinamica di flussi freddi. La curva composta è costruita sommando i valori di entalpia dei singoli flussi in ciascun intervallo di temperatura.

I flussi caldi si combinano allo stesso modo. Entrambe le curve sono poi riportate sullo stesso diagramma in modo che i flussi freddi siano a una temperatura più bassa di quelli caldi, in qualsiasi punto del diagramma. Ciò si ottiene traslando le due curve lungo l'asse dell'energia (asse x), dato che la differenza di entalpia rappresenta sempre una misurazione relativa e non assoluta.

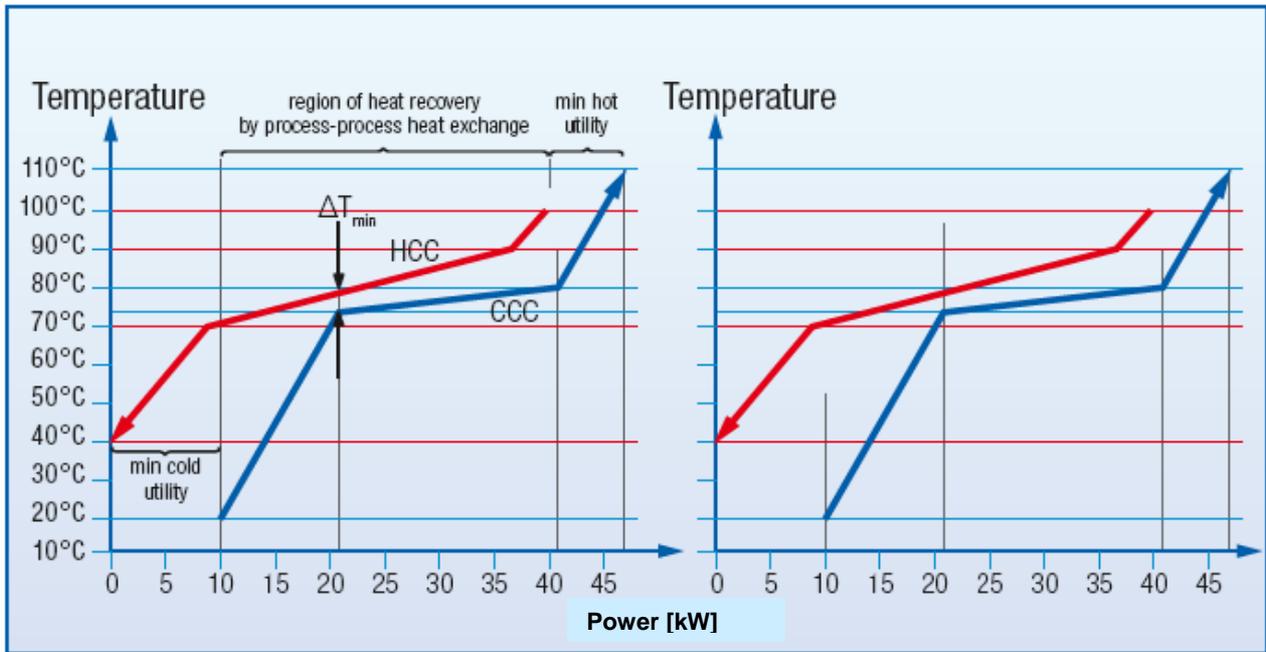


Figura 11. Illustrazione della combinazione delle curve composte fredda e calda.

Con l'aiuto di queste curve composte è possibile fare delle considerazioni importanti che riguardano il processo produttivo. In un determinato punto del diagramma, la differenza di temperatura tra le due curve è minima (ΔT_{\min}), scelto dall'utente quale ΔT minimo di un possibile scambiatore di calore nel sistema. Questo ΔT_{\min} definisce il livello di temperatura nel sistema che costituisce il "collo di bottiglia" termodinamico del processo (cfr. Figura 11), chiamato "Pinch".

La temperatura pinch taglia il grafico in due metà: nella zona al di sotto della temperatura pinch vi è un eccesso di calore che deve essere estratto mediante raffreddamento o dissipato nell'ambiente; e al di sopra della temperatura pinch vi è un deficit di energia che deve essere compensato con un riscaldamento aggiuntivo. Ne conseguono tre regole importanti per l'integrazione del calore:

- × Nessun apporto di calore dall'esterno al di sotto della temperatura pinch (è disponibile calore di scarto in quantità sufficiente).
- × Nessun raffreddamento esterno al di sopra della temperatura pinch (il raffreddamento si può ottenere cedendo calore ad altri flussi di processo).
- × Nessuno scambio di calore attraverso la temperatura pinch: non utilizzare una sorgente di calore (di scarto) al di sopra della temperatura di pinch (in un intervallo di temperature con deficit di calore) per riscaldare un utilizzatore al di sotto della temperatura di pinch (in un intervallo di temperature che presenta già un surplus di calore).

La sovrapposizione delle curve nella Figura 11 mostra il recupero massimo di calore di processo possibile. Dalla figura è anche possibile identificare la domanda di calore minima $Q_{H,\min}$ e la domanda di freddo minima $Q_{C,\min}$. La differenza di temperatura minima ΔT_{\min} è determinata sulla base di criteri di ottimizzazione economica, poiché un ΔT_{\min} più piccolo aumenta l'efficienza dello scambio di calore e quindi i costi. Differenze di energia tipiche ΔT_{\min} per processi tipici in differenti settori industriali sono mostrati nella Tabella 6.

Tabella 6. Valori ΔT_{\min} tipici di diversi tipi di processi [Linhoff, marzo 1998]

Settore industriale	Valori ΔT_{\min} tipici
Raffinazione del petrolio	20 – 40 °C
Petrochimico	10 – 20 °C
Chimico	10 – 20 °C
Processi a basse temperature	3 – 5 °C

I valori teorici di $Q_{C,min}$ e $Q_{H,min}$ nella pratica sono raramente conseguibili. Le ragioni risiedono nella difficoltà di gestire flussi di processo inquinati, corrosivi o semplicemente insoliti. Tuttavia, l'analisi Pinch dà un'idea esaustiva di ciò che sarebbe termodinamicamente possibile.

Un altro modo di graficare la domanda di calore dei processi in un sistema è la **Grand Composite Curve, GCC**. Per costruire la curva GCC, la curva composta del calore (HCC) e la curva composta del freddo (CCC) sono traslate l'una verso l'altra di $\frac{1}{2} \Delta T_{min}$, in modo da toccarsi nella temperatura pinch. La differenza orizzontale tra le due curve è quindi riportata in un nuovo grafico T-H da cui risulta la GCC. È un altro modo di illustrare il profilo fonte/utilizzatore di calore di un processo. Se il flusso di calore aumenta all'aumentare della temperatura, il processo funziona da utilizzatore di calore (a questa temperatura si richiede più energia di quella data). Se invece il flusso di calore aumenta al diminuire della temperatura, il processo può agire da fonte di calore.

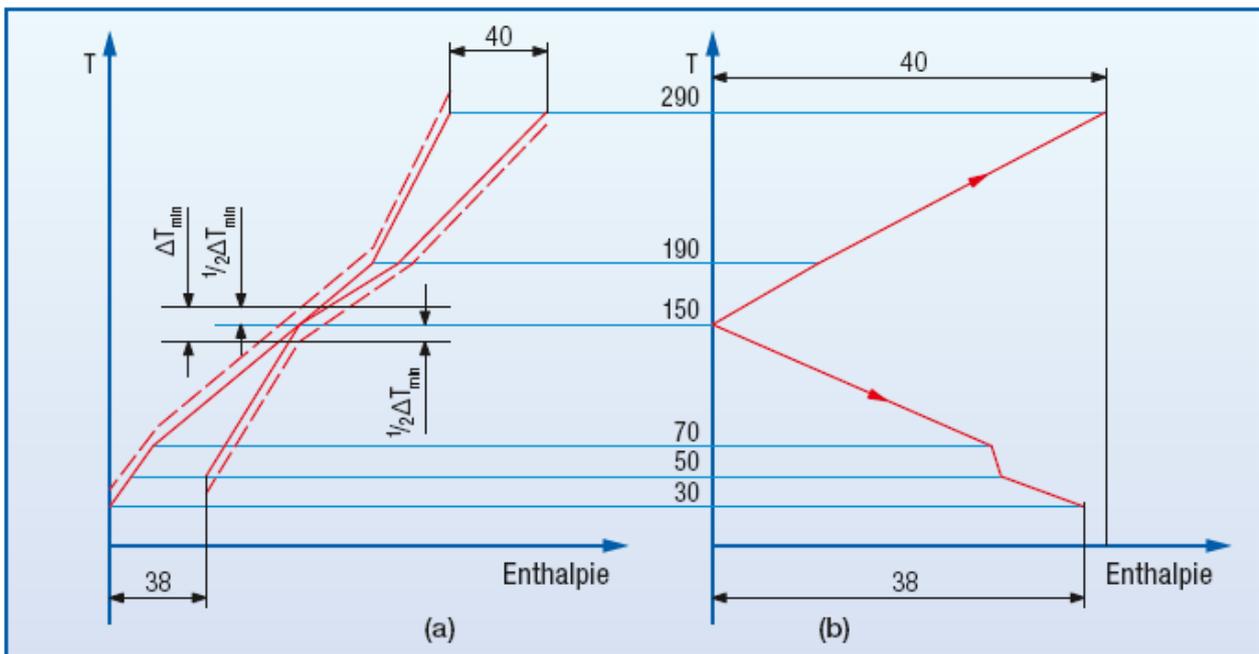


Figura 12. Sovrapposizione di HCC e CCC (a) e costruzione della GCC (b).

L'obiettivo principale della GCC è identificare le fonti di energia esterna ideali necessarie per riscaldare o raffreddare flussi diversi. Analizzando quali fonti di calore possono trasferire calore ai processi utilizzatori di calore, la domanda di calore rimanente è soddisfatta da fonti energetiche esterne solo se non vi è calore di scarto disponibile. È anche possibile vedere a quale temperatura la fonte esterna dovrebbe fornire calore (cfr. Figure 13 e 14). È importante sottolineare che la GCC dipende essenzialmente dalla scelta di ΔT_{min} .

2.5.2 Alcuni esempi di integrazione di sistemi di generazione di energia esterni sulla base della *Grand Composite Curve* (GCC)

Fornitura di calore

Per ottenere la massima efficienza, la fornitura di calore dovrebbe avvenire al livello di temperatura più basso possibile (cfr. Figura 13). Nel caso illustrato in figura, due livelli di temperatura sarebbero ideali per la fornitura di calore H1 e H2.

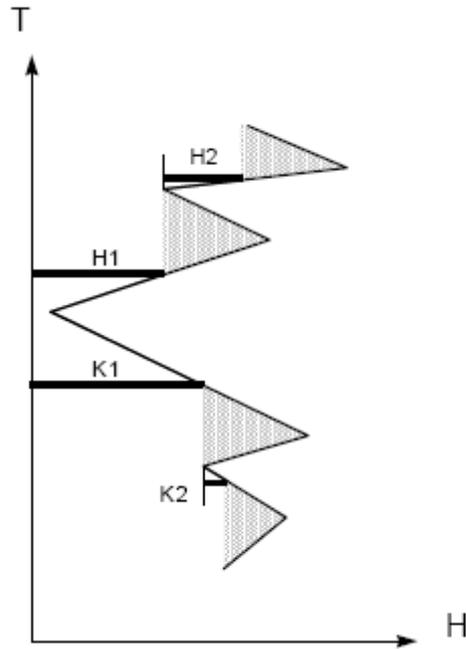


Figura 13. Integrazione di sistemi di generazione di calore e freddo. (Fonte: Morand et al., 2006).

Macchine frigorifere

Una situazione simile si verifica per la fornitura di freddo ai livelli di temperatura ideali. L'energia frigorifera dovrebbe essere integrata alla temperatura più elevata possibile. I livelli di temperatura degli impianti di raffreddamento dovrebbero dunque essere quelli corrispondenti rispettivamente a K1 e K2. (Cfr. Figura 13).

Pompa di calore

La *Grand Composite Curve* illustra anche le possibilità termodinamiche ideali di integrazione di una pompa di calore. Al di sotto del valore di Pinch è disponibile calore che può servire da sorgente fredda per una pompa di calore. Attraverso il lavoro di un compressore si produce quindi calore a una temperatura superiore a quella di Pinch proprio nella zona in cui si richiede energia. Il compressore della pompa di calore, come descritto in dettaglio nel paragrafo 3.7, lavora dunque attraverso la temperatura Pinch. L'energia elettrica insieme al calore a bassa temperatura costituisce la sorgente per la fornitura di calore ad alta temperatura, al di sopra del Pinch. Mediante queste relazioni è possibile identificare i livelli ideali di temperatura di una pompa di calore (Figura 14). Una pompa di calore che funzionasse ad una temperatura più elevata non si integrerebbe in modo ideale nel sistema e lavorerebbe con un COP minore, e consumi elettrici maggiori.

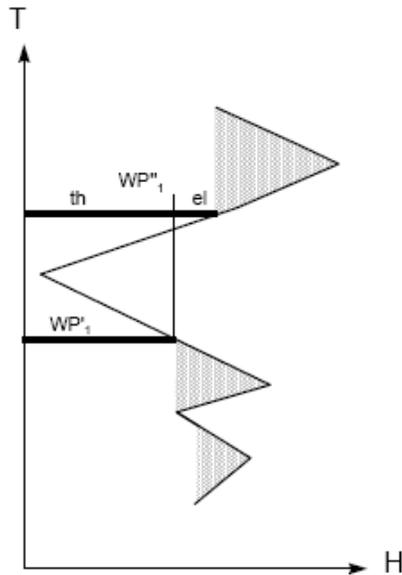


Figura 14. Integrazione di pompe di calore (Fonte: Morand et al. 2006).

2.5.3 Progettazione di scambiatori di calore

Per progettare gli scambiatori di calore nell'ambito dell'analisi Pinch la scelta del ΔT_{\min} è fondamentale. Più ΔT_{\min} è piccolo, più la temperatura finale del flusso di calore si può avvicinare alla temperatura iniziale del flusso caldo (ipotizzando uno scambio di calore contro-corrente). La figura a seguire lo illustra più chiaramente:

- × In uno scambiatore di calore contro-corrente, la temperatura finale del flusso freddo può raggiungere al massimo la temperatura iniziale del flusso caldo a meno di ΔT_{\min} .
- × In uno scambiatore di calore contro-corrente, la temperatura finale del flusso caldo può scendere al massimo fino alla temperatura iniziale del flusso freddo più ΔT_{\min} .

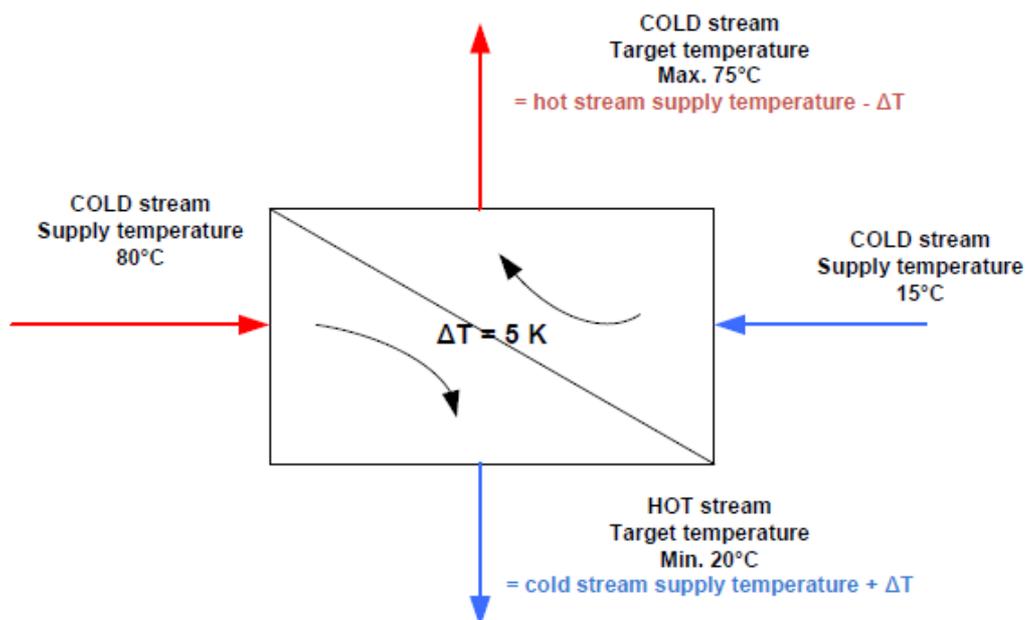


Figura 15. Influenza del ΔT_{\min} sulla progettazione degli scambiatori di calore (nella figura è rappresentato un flusso equi-corrente).

Ovviamente, la potenza che si scambiano il flusso caldo e quello freddo deve essere la stessa:

$$\dot{Q} = m_{hs} c_{p_{hs}} (T_{supply_{hs}} - T_{target_{hs}}) = m_{cs} c_{p_{cs}} (T_{target_{cs}} - T_{supply_{cs}}) \quad (2.18)$$

dove:

Indice Supply = temperatura iniziale

Indice Target = temperatura finale

Indice hs: flusso caldo = fonte di calore

Indice cs: flusso freddo = utilizzatore di calore

La formula base per calcolare l'area necessaria allo scambio di calore è data da:

$$\dot{Q} = UA \Delta T_m \quad (2.19)$$

dove:

A = area dello scambiatore di calore

ΔT_m = differenza di temperatura media logaritmica

U = trasmittanza termica.

2.5.4 Influenza del ΔT_{min} sull'analisi Pinch

Influenza sullo scambio di calore (termodinamico)

Come già spiegato, la scelta di ΔT_{min} è fondamentale per progettare una rete di scambiatori di calore. Più ΔT_{min} è piccolo, più la temperatura finale di un flusso di calore freddo si può avvicinare alla temperatura iniziale di un flusso caldo. Per spiegarlo ci avvaliamo di un semplice esempio: acque reflue a 50°C possono riscaldare l'acqua di rete fino a una temperatura di $(50 - \Delta T_{min})$ °C. Più basso è ΔT_{min} , più la temperatura dell'acqua di rete si può avvicinare a 50°C, dopo lo scambio di calore (naturalmente questo esempio è valido solo se la portata di acqua di rete è uguale o minore di quella del flusso residuale).

È dunque evidente che cambiando il ΔT_{min} cambia considerevolmente la scelta dello scambiatore di calore. Continuando con l'esempio del riscaldamento di acqua di rete attraverso il recupero di calore dalle acque reflue, se ΔT_{min} è impostato a 5°C, l'acqua di rete può essere riscaldata fino a 45°C. Nel caso in cui l'acqua debba raggiungere una temperatura di 60°C, si rende necessario trovare un altro flusso caldo più adatto a riscaldare il fluido da 45°C a 60°C. Se poi si porta ΔT_{min} a 7°C, ne consegue che l'acqua deve essere riscaldata da 43°C a 60°C. Ciò può incidere considerevolmente sulla scelta del flusso caldo che potrebbe soddisfare questa nuova domanda di calore. Per questo, se si cambia ΔT_{min} , una rete di scambiatori di calore dovrebbe sempre essere ricalcolata da zero.

Influenza sull'area dello scambiatore di calore e sui costi

Nell'analisi Pinch, i grafici delle curve composte del calore e del freddo sono generalmente illustrati in base a un valore generico di ΔT_{min} . Più avanti, nella fase di progettazione degli scambiatori di calore, il valore ΔT_{min} è impostato secondo le caratteristiche dei flussi. Un flusso gassoso avrà un valore ΔT_{min} superiore rispetto a un flusso liquido, poiché generalmente i liquidi hanno coefficienti di trasferimento del calore migliori. Nella sezione "Progettazione di scambiatori di calore" si è dimostrato che il valore ΔT_{min} specifico di uno scambiatore di calore incide sull'area richiesta per lo scambio di calore. Ne consegue che anche i costi dell'investimento cambiano.

In genere, nella fase finale della progettazione dell'area degli scambiatori di calore, ΔT_{min} si imposta raggiungendo un compromesso tra costi d'investimento e risparmio sui costi operativi. Maggiore è ΔT_{min} , minore è l'area dello scambiatore e minore sono i relativi costi d'investimento, ma minore sarà anche il risparmio energetico (Figura 16).

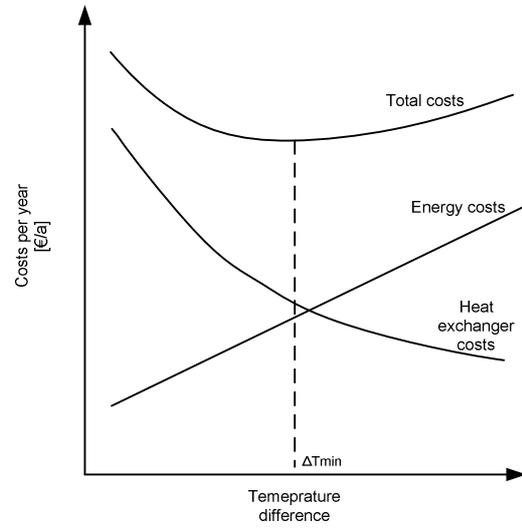


Figura 16. Costo complessivo in funzione del ΔT_{min} .

2.6 Valutazione globale dei costi - TCA

La valutazione globale dei costi è un metodo che consente un'analisi economica convenzionale basata su parametri micro-economici, ma che può essere usata anche per un'analisi più complessa e a più lungo termine che tenga conto altresì di parametri macro-economici considerando, per esempio, anche problematiche ambientali e di sicurezza. Ciò significa che una TCA può prendere in considerazione altre categorie di costo rispetto a un'analisi dei costi convenzionale includendo aspetti macro-economici (come i costi a lungo termine che divengono decisivi nell'arco della vita utile dell'oggetto dell'investimento).

Rispetto ad un'analisi convenzionale, una valutazione globale dei costi ha dunque le seguenti caratteristiche

- × *Categorie di costo*: oltre a tutti i costi considerati nell'analisi convenzionale, si considerano anche tutti i costi indiretti, i risparmi ed i ricavi, come i costi derivanti da perdite di immagine, ecc.
- × *Imputazione dei costi*: tutti i costi sono imputati precisamente all'investimento e non sono considerati spese di gestione
- × *Orizzonte temporale*: il periodo di tempo considerato nel calcolo del costo totale è più lungo rispetto alle analisi convenzionali, per tener conto degli effetti di lungo termine.
- × *Indicatori*: nel TCA, si usano indicatori economici in grado di dimostrare anche il rendimento economico a lungo termine di un investimento.

Ovviamente il metodo del TCA è utilizzabile anche per un'analisi convenzionale, cambiando alcuni parametri. Per questo motivo, EINSTEIN comprende un metodo applicabile alle analisi convenzionali che può essere eventualmente ampliato per tener conto di parametri macro-economici.

In generale, in EINSTEIN, le analisi economiche raffrontano i costi del processo esistente (fornitura di calore e freddo esistente) con l'investimento previsto e altri costi del sistema di fornitura di energia alternativo proposto. In genere, l'orizzonte temporale del calcolo economico considerato è la durata del progetto (la vita utile degli impianti del sistema di fornitura di energia), ma può essere modificato a piacere.

Analisi convenzionale dei costi in EINSTEIN (analisi micro-economica)

Il calcolo economico si basa sui costi del sistema di fornitura di calore e freddo esistente da sostituire e su quelli dell'alternativa/delle alternative proposta/e. Le principali categorie di costo comprendono il costo dell'investimento, i costi dell'energia, i costi di gestione e manutenzione, gli imprevisti e altri costi non ricorrenti.

Gli imprevisti sono eventuali costi o entrate che influenzano l'analisi economica, ad esempio un aumento della quota di mercato, sgravi fiscali previsti, ecc. Altri costi non ricorrenti includono costi sostenuti una sola volta in tutta la durata del progetto, ad esempio i costi per ottenere l'autorizzazione a realizzare l'investimento.

Per ciascuna proposta di nuovo sistema di fornitura di calore e freddo, il flusso di cassa è calcolato annualmente per tutta la durata del progetto usando l'equazione:

$$CF_t = \sum_{i=1}^n EX_i^t - \sum_{i=1}^n S_i^t \quad (2.20)$$

Dove:

t = l'anno di calcolo

CF_t = flusso di cassa al momento del calcolo

n = numero di categorie di costo

EX = la spesa netta del progetto, calcolata dai costi del processo proposto

S = i risparmi del progetto, calcolati dai costi del processo esistente da sostituire.

Poi, il valore attuale netto del progetto per la durata del progetto è calcolato usando la seguente equazione:

$$NPV_t = \sum_{i=0}^t \frac{CF_i}{(1+r)^i} \quad (2.21)$$

Dove:

t = l'anno di calcolo

NPV_t = il valore attuale netto del progetto nell'anno t

r = il tasso di interesse reale dei finanziamenti esterni

Uno dei parametri economici più importanti di qualsiasi progetto è il tasso interno di rendimento (IRR). L'IRR è definito come il tasso di rendimento effettivo totale annuo che è possibile realizzare sul capitale investito ed è quel tasso di sconto che rende pari a zero il valore attuale netto di una serie di flussi di cassa. Per ciascuna proposta, il tasso di rendimento interno (IRR) è calcolato per ciascun anno della durata del progetto dopo il periodo di recupero del capitale investito:

$$\sum_{i=0}^t \frac{CF_i}{(1+IRR_t)^i} = 0 \quad (2.22)$$

Dove:

t = l'anno di calcolo

IRR_t = il tasso interno di rendimento all'anno t

Nei calcoli TCA di EINSTEIN, il tasso interno di rendimento modificato (MIRR) si usa per determinare l'efficienza delle diverse alternative. Più del parametro IRR, il parametro MIRR tiene conto del potenziale di re-investimento dei flussi di cassa positivi intermedi. Per ciascuna alternativa, il MIRR è calcolato per ciascun anno della durata del progetto dopo il periodo di recupero del capitale investito:

$$MIRR_t = q_t^{1/t} - 1 \quad (2.22a)$$

Dove:

q = il valore all'anno t dei flussi di cassa positivi, calcolato secondo il tasso di re-investimento (qui abbiamo il tasso di sconto specifico dell'impresa), diviso per il valore attuale netto dei flussi di cassa negativi, calcolati secondo il tasso di finanziamento (qui abbiamo il tasso d'interesse dei finanziamenti esterni):

$$q_t = \frac{\sum_{i=0}^t CF_i^+ (1+d)^{t-i}}{-\sum_{j=0}^t CF_j^- (1+r)^j} \quad (2.22b)$$

Dove:

CF⁺ = flussi di cassa positivi

CF⁻ = negativi

d = il tasso di sconto specifico dell'impresa (tasso reale)

r = il tasso di interesse dei finanziamenti esterni (tasso reale)

Nel modulo TCA di EINSTEIN, il periodo di recupero del capitale investito (PBP) è calcolato anche per ciascuna attività. Il periodo di recupero del capitale investito si riferisce al periodo di tempo necessario affinché il rendimento di un investimento "ripaghi" la somma iniziale investita ed è calcolato come segue:

$$\sum_{i=0}^{PBP} \frac{CF_i}{(1+r)^i} = 0 \quad (2.23)$$

Un altro parametro considerato per ciascuna alternativa è il rapporto costi benefici (BCR).

Quale approccio alternativo, il costo totale (annuo) del sistema energetico, è calcolato come la somma del costo dell'energia per combustibili ed elettricità, dei costi di gestione e manutenzione (O&M) e della rata di ammortamento dell'investimento.

$$C_{Total} = C_{el} + C_{fuels} + C_{O\&M} + aI_0 \quad (2.24)$$

La quota di ammortamento a dell'investimento è ottenuta quale frazione A/I_0 del pagamento annuo (costante) A , richiesto affinché dopo un dato periodo tutti i debiti e i relativi interessi connessi all'investimento iniziale siano stati pagati⁸:

$$\sum_{i=1}^N \frac{a}{(1+r)^i} = 1 \quad (2.25)$$

Dove i parametri sono definiti come segue:

a : quota di ammortamento

N : periodo economico di ammortamento

Ampliamento dei parametri macro-economici per una TCA

Per tener conto di aspetti macro-economici, le categorie di costo: costi di gestione e manutenzione, imprevisti e altri costi non ricorrenti, possono essere ampliate per includere qualsiasi aspetto macro-economico possibile.

Nella valutazione dei costi di eventuali imprevisti che possono incidere su un nuovo sistema di fornitura di energia, si dovrà considerare un incremento della quota di mercato legato a miglioramenti macro-economici nella regione grazie ad una produzione più sostenibile. Una valutazione dei costi occasionali per l'attuale fornitura energetica, potrebbe comprendere una valorizzazione delle attività necessarie a compensare i rischi ambientali attribuibili alla stessa fornitura.

Punto di vista micro-economico o dell'impresa rispetto al punto di vista macro-economico o della pubblica utilità

Una delle differenze principali tra il punto di vista macro-economico o sociale e il punto di vista micro-economico o aziendale è il fatto di considerare (o meno) le sovvenzioni⁹ ed i fattori esterni nei calcoli economici:

- × Mentre per l'analisi costi-benefici aziendale, l'investimento netto (= investimento lordo – sovvenzioni) è il parametro di costo dell'investimento rilevante, da un punto di vista sociale è necessario considerare il costo dell'investimento (lordo) totale, poiché le sovvenzioni sono un costo reale per l'impresa. Nel caso in cui l'investimento proposto non si realizzi, l'ammontare delle sovvenzioni potrebbe essere usato per un'altra misura di tutela ambientale o di risparmio energetico alternativa.
- × D'altro canto, il costo dei fattori esterni (rischi ambientali, ecc. cfr. paragrafi precedenti) non compare nel bilancio societario, ma deve considerarsi in un bilancio sociale.

Vedi Tabelle 7 e 8 per una comparazione dei differenti punti di vista per l'ottimizzazione

Tabella 7. Parametri di costo maggiormente rilevanti in analisi economiche micro- e macro

⁸ Ciò equivale a dire che il valore attuale netto della serie di pagamenti annuali corrisponde all'investimento iniziale. L'equazione (2.25) vale solo se tutto l'investimento è realizzato in un anno (anno 0).

⁹ Analogamente, lo stesso ragionamento vale anche per altri meccanismi di aiuto pubblici come riduzioni delle imposte, incentivi, ecc.

Categorie di costo rilevanti	Analisi micro-economica (punto di vista dell'impresa)	Analisi Macro-economica (punto di vista della pubblica utilità)
Investimento	investimento netto (investimento lordo meno sovvenzioni/finanziamenti)	investimento lordo (il denaro dei finanziamenti potrebbe essere utilizzato per altre misure di tutela ambientale)
Costi dell'energia	i costi dell'energia compresi gli aumenti previsti	
Altri costi di esercizio e manutenzione	utenze, manutenzione, manodopera, adempimenti di legge	
Sopravvenienze	ad es. impatto positivo sulla quota di mercato, certificati di emissione di CO2, ecc.	
Costi non ricorrenti	Risparmio sui costi di riparazione che si produrrebbero se non si cambiassero gli impianti; costi autorizzativi (permesso a costruire)	

Tabella 8.Indicatori e funzione obiettivo maggiormente rilevanti e soggetti all'ottimizzazione in analisi economiche micro- e marco

	Impatto dei vincoli economici sui criteri di ottimizzazione	Analisi Macro-economica (punto di vista della pubblica utilità)
Obiettivo principale	Riduzione del costo energetico (bolletta energetica e rata dell'investimento)	Risparmio di energia primaria
Indicatori rilevanti	TIR / TIR mod. Tempo di ritorno VAN Rapporto B/C	Costo annuale addizionale dell'impianto energetico per unità di energia risparmiata (Min. TIR richiesto come INPUT)
Impatto dei vincoli economici sui criteri di ottimizzazione	Max risparmio assoluto vs. Max TIR/TIR mod.	Max risparmio assoluto di energia primaria vs. Min. costo annuale addizionale per unità di energia risparmiata

Referimenti bibliografici Capitolo 2:

- R. Morand, R. Bendel, R. Brunner, H. Pfenninger (2006): Prozessintegration mit der Pinchmethode, Handbuch zum BFE-Einführungskurs. Bundesamt für Energie, Bern, 2006.
- Schnitzer H., Ferner H. (1990): Optimierte Wärmeintegration in Industriebetrieben DBV Verlag, Graz, 1990.

3 Come effettuare un audit energetico EINSTEIN

L'audit termo-energetico e la progettazione di sistemi energetici ottimizzati EINSTEIN inizia al di fuori dell'impresa con alcune attività preliminari realizzabili dal proprio ufficio. La fase cosiddetta di "pre-audit" è molto importante perché vi offre l'opportunità di migliorare la vostra conoscenza sulla situazione corrente (vale a dire sul profilo della domanda di energia, sui processi termici in funzione degli impianti in uso, delle bollette dell'energia, ecc.), e di prepararvi prima di recarvi nell'impresa. Dopo una telefonata preliminare, dovrete solo inviare un questionario elettronico al vostro referente nell'impresa per l'acquisizione dati. Una volta compilato, questo documento può essere importato automaticamente in un software di calcolo per una prima valutazione sommaria della domanda di energia e delle aree di potenziale miglioramento.

Dunque, in questa fase preliminare avete l'opportunità di fare qualcosa di rapido, ma di fondamentale per risparmiare tempo successivamente: preparare l'impresa e voi stessi **all'audit energetico in loco**.

Questa secondo passo comprende due fasi attuative:

- * Un sopralluogo tecnico presso lo stabilimento
- * un'analisi dei risultati calcolati con il software EINSTEIN.

L'obiettivo del sopralluogo nello stabilimento è principalmente quello di acquisire le informazioni mancanti mediante interviste e misurazioni dirette, di ispezionare impianti e schemi idraulici, ecc. Grazie alla valutazione preliminare e alla definizione delle priorità da accertare durante l'audit, la visita in loco richiederà non più di qualche ora.

Una volta tornati in ufficio, è sufficiente accedere allo strumento di calcolo EINSTEIN. Tale strumento vi aiuterà a elaborare le informazioni raccolte e a stimare i risparmi energetici ed economici. Con l'aiuto di EINSTEIN sarete in grado di:

- * controllare la coerenza e la completezza dei dati acquisiti;
- * stimare (richiedere) i dati mancanti;
- * elaborare una suddivisione dettagliata del consumo di calore per processo, livelli di temperatura, combustibili, ecc.;
- * analizzare il reale rendimento operativo degli impianti esistenti;
- * confrontare con i dati di benchmark disponibili.

Quando avrete una visione chiara dei flussi di energia e delle inefficienze dell'impresa, potrete fare affidamento su EINSTEIN anche per attuare la fase tre della procedura di audit: **la progettazione e valutazione di alternative per migliorare l'efficienza energetica**. Questa attività vi porta a comparare diverse possibilità compiendo i seguenti passi:

- * progettazione preliminare di misure "integrali" per il risparmio energetico ed economico, e definizione degli obiettivi energetici;
- * calcolo del rendimento energetico e analisi dell'impatto ambientale delle soluzioni realizzabili;
- * analisi degli aspetti economici e finanziari.

Infine, avrete nel vostro PC tutte le informazioni necessarie per presentare in modo chiaro ed efficace i risultati della vostra analisi. La **comunicazione dei risultati** con EINSTEIN (fase quattro dell'audit) è semplice per chi effettua la diagnosi, e convincente per il cliente.



Figura 17. Fasi di un audit energetico EINSTEIN.

Le quattro fasi di un audit energetico EINSTEIN possono essere suddivise nei **10 passi** illustrati nella Figura 18. Ciascuno di tali passi è descritto nei paragrafi a seguire. Per ciascun passo dell'audit sono riportate le attività che lo compongono, indicazioni su come realizzare ciascuna delle attività e quale strumento del kit EINSTEIN si può utilizzare. Le istruzioni dettagliate sull'uso del software EINSTEIN sono riportate nel manuale d'uso.

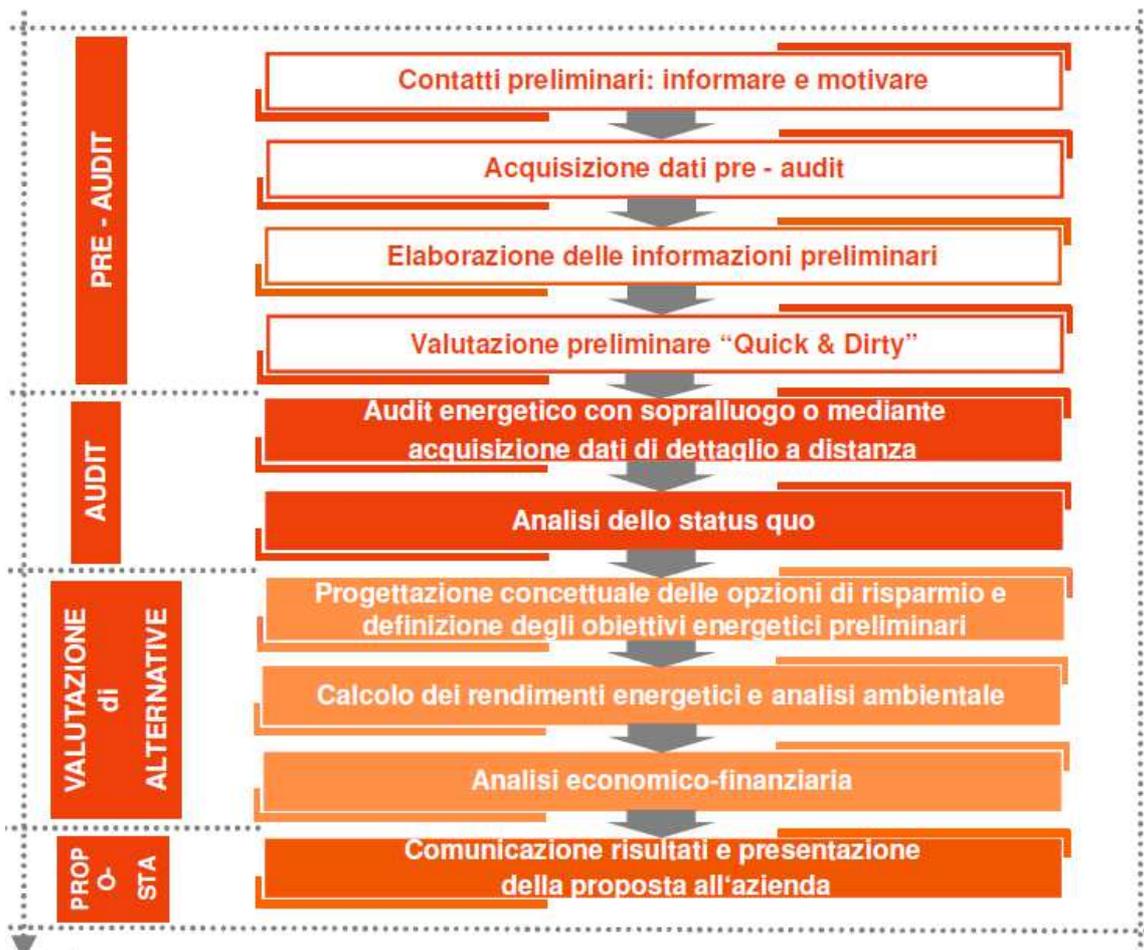


Figura 18. I dieci passi EINSTEIN verso l'efficienza energetica

3.1 Contatti preliminari: motivare

3.1.1 Contatto Iniziale

L'obiettivo del primo contatto è stimolare l'interesse del cliente, ottenere la disponibilità a fornire alcune informazioni preliminari e fissare un appuntamento.

Uno dei modi migliori per stimolare l'interesse è sfruttare i contatti personali che avete già. Probabilmente conoscete già aziende che desiderano migliorare il loro sistema termico o ampliare, ristrutturare, cambiare i loro impianti.

Inoltre, potreste citare EINSTEIN in occasione di presentazioni pubbliche o nelle conversazioni, distribuire la brochure EINSTEIN ed ottenere nuovi contatti, ad es. in occasione di fiere, nei corsi ai quali partecipate o eventi sul risparmio energetico nell'industria. Potreste anche contattare le associazioni di categoria locali o la camera di commercio, se sono interessati a sostenere il vostro lavoro (ad es. con un articolo nella loro newsletter, inviando la vostra offerta ai loro soci...).

Dovreste inviare materiale informativo ai vostri referenti o ai responsabili dell'energia di un gruppo specifico di aziende (ad es. ai diversi settori industriali: industria agro-alimentare, industria metallurgica, industria chimica, industria della carta, industria del legno, industria tessile e così via). Dato che l'audit EINSTEIN è un nuovo servizio per la vostra impresa di consulenza, potreste iniziare dai clienti già acquisiti.

Il materiale informativo dovrebbe affrontare gli aspetti principali trattati in EINSTEIN (come citato nella brochure EINSTEIN, comprese ad es. alcune statistiche sui costi dell'energia), ma anche le opportunità di assistenza finanziaria che potete offrire, ad es. attraverso gli incentivi di enti pubblici, della camera di commercio e così via.

Dopo una settimana o due dovreste contattare telefonicamente la persona cui avete inviato le informazioni. Il vostro obiettivo deve essere convincere l'impresa ad andare oltre e ad inviarvi i primi dati per darvi modo di controllare se l'impresa è un candidato possibile per un audit EINSTEIN. Dovreste anche cercare di ottenere un incontro presso l'impresa e/o la disponibilità a compilare il questionario.

Innanzitutto, controllate se la persona contattata è quella giusta. È possibile farlo anche anticipatamente raccogliendo informazioni in rete o nei report aziendali o ambientali, negli articoli di giornale e così via. Prima di contattare la persona che pensate sia quella giusta, dovreste conoscere il suo nome, titolo, funzione, numero di telefono, i prodotti e le dimensioni del sito industriale.

Dovreste prepararvi le prime frasi da dire, concentrarvi sui vantaggi e pensare delle risposte per controbattere eventuali: "Non ho tempo, non sono interessato, ci invii ulteriori informazioni...".

3.1.2 Appuntamento preliminare (facoltativo)

Se l'impresa è vicina al vostro ufficio potreste valutare una visita preliminare in loco per stabilire un contatto personale, presentare la vostra impresa e la metodologia EINSTEIN. In caso contrario, la vostra conversazione telefonica dovrà essere più dettagliata. Per l'appuntamento, controllate che le persone giuste siano presenti (ad es. il responsabile dello stabilimento, il tecnico della caldaia, il responsabile tecnico...). In questa fase, potreste anche inviare il questionario base (cfr. 3.2).

In genere, per il primo appuntamento dovreste raccogliere il maggior numero di informazioni possibili in rete. Dovreste anche cercare di capire chi è il cliente e quali sono le sue aspettative (ad es. se ha problemi tecnici, se i costi dell'energia sono troppo elevati, se vi sono specifici requisiti dell'impresa da soddisfare, se vuole distinguersi...). Poi, potete enucleare i principali vantaggi e attuare l'obiettivo dell'incontro: avviare l'audit EINSTEIN facendo un rapido giro dello stabilimento.

Per questo primo incontro, dovreste chiedere al cliente se vuole iniziare con una presentazione dell'impresa o se preferisce che siate voi a illustrare la vostra impresa. Poi, dovreste chiedere al cliente qual è la sua situazione, i suoi desideri, problemi, aspettative. Potreste parlare di problematiche che conoscete già o chiedere ad esempio: i costi dell'energia sono aumentati, perché? Il sistema termico è fonte di problemi tecnici o organizzativi, ad es. con gli enti pubblici o i vicini o le imprese di servizi energetici? Chi è responsabile della manutenzione? Quanti anni ha la caldaia? Mancano tempo, risorse, conoscenze? Avete

piani per il futuro? Chi sarebbe il responsabile di un possibile progetto di riqualificazione?

Per illustrare la metodologia EINSTEIN potete usare il *roadshow* EINSTEIN, la brochure promozionale e la brochure tecnica (comprese nel kit di strumenti EINSTEIN), come anche alcuni risultati dell'analisi preliminare, se già effettuata.

Alcuni suggerimenti generici:

- × Iniziate la conversazione con informazioni che avete tratto dal sito-web o dite “La vostra pagina internet è molto interessante, chi è il responsabile...”.
- × Non rispondete mai direttamente a un'obiezione, ma chiedete se avete capito bene, prendete nota e prima pensateci. Cercate di definire altri vantaggi sostanziali.
- × Cercate di fare molte domande aperte, in modo da apprendere il più possibile.
- × Non parlate troppo. Limitatevi a presentare informazioni brevi e precise sui principali vantaggi per l'impresa.

EINSTEIN Passo 1: Contatti preliminari. Informare e motivare

> Materiale promozionale

> Possibilità di auto-valutazione

3.2 Acquisizione dati per l'audit preliminare

Prima di iniziare un audit energetico in un'industria (che generalmente richiede un contratto previo tra l'impresa e la impresa di consulenza) è molto utile raccogliere qualche informazione preliminare. Tali informazioni possono aiutare a decidere se vale la pena continuare o meno con la diagnosi energetica.

Preparare l'utente per tempo sul tipo di dati che gli saranno richiesti prima di una visita o di un colloquio telefonico dettagliato contribuisce a far risparmiare tempo all'utente e all'analista. Inoltre, in questo modo è più probabile raccogliere un set di dati completo e dettagliato.

In molti casi, l'acquisizione dati a distanza è già sufficiente per una valutazione rapida, e per suggerirvi qualche idea sulle possibili misure di risparmio energetico.

3.2.1 Preparazione dell'impresa

Per preparare l'impresa, è opportuno comunicare ai vostri interlocutori che tipo di dati si richiedono per elaborare le informazioni necessarie. Come primo passo, si fornisce una *check list* dei dati più importanti:

- × Situazione generale dell'impresa:
 - situazione economica (passata e presente)
 - prospettive future (evoluzione prevista del volume produttivo, altri cambiamenti o progetti importanti).
- × Fatture dei combustibili e bollette dell'elettricità:
 - farsi un'idea quantitativa del consumo di energia attuale e degli importi pagati
 - dati storici degli anni precedenti, se disponibili
 - dati mensili, se disponibili, o informazioni qualitative sulla stagionalità della domanda.
- × Descrizione del processo produttivo (diagramma di flusso):
 - quali linee di produzione ci sono nell'impresa
 - quali sono i flussi di prodotto e le diverse fasi di lavorazione.
- × Descrizione dei diversi processi:
 - quali processi consumano calore e freddo
 - qual'è la quantità di prodotto lavorato
 - quali sono i livelli di temperatura tipici (sia nella generazione di calore sia nel processo)
 - quanti cicli produttivi vengono azionati giornalmente e quanto dura ogni singolo ciclo.
- × Descrizione del sistema di fornitura di calore e freddo
 - dati tecnici sugli impianti (caldaie, macchine frigorifere, ecc.)
 - temperature e pressioni della distribuzione di calore, e dei processi.
- × Descrizione degli edifici, degli stabilimenti produttivi e dei magazzini:
 - dati sul consumo per il riscaldamento e il raffrescamento degli ambienti, se disponibili
 - superficie occupata.

La check-list per l'audit preliminare è disponibile nel *kit* EINSTEIN e può essere inviata all'impresa. Se decidete di fare una visita preliminare, potreste usare la check-list per raccogliere alcune delle informazioni già disponibili. In questa occasione, anche un breve giro dello stabilimento potrebbe essere d'aiuto.

3.2.2 Preparazione del personale che effettua l'audit

Generalmente, il consulente energetico EINSTEIN è un esperto di sistemi energetici (fornitura di calore e freddo), ma non può essere un esperto di tutti i settori industriali con i quali probabilmente verrà a contatto. Ciò nonostante, è importante capire a grandi linee i problemi specifici dei diversi settori, possibilmente ancor prima di prendere contatto con l'impresa, o quanto meno prima del sopralluogo.

Vi sono molte informazioni disponibili per la maggior parte dei settori e sotto-settori industriali ma, in molti casi, l'accesso alle informazioni d'interesse è difficile e richiede del tempo.

La cassetta degli attrezzi EINSTEIN può essere d'aiuto poiché fornisce link utili per avere accesso rapidamente e facilmente alle informazioni base sulla maggior parte dei settori. Successivamente, è possibile approfondire tali informazioni secondo il tempo disponibile e le esigenze specifiche, seguendo i riferimenti bibliografici e la sitografia forniti nella documentazione disponibile sul sito del progetto.

Il consulente energetico dovrebbe acquisire conoscenze base nei seguenti argomenti:

- × Quali sono i processi/utilizzatori più importanti dal punto di vista del consumo di energia termica di una industria o di un edificio?
- × Quali sono le migliori opzioni esistenti per le tecnologie di processo (Best Available Technologies – BAT) e i loro principali vantaggi e svantaggi?

3.2.3 Check-list e questionario base per l'acquisizione dei dati a distanza

Il metodo di audit EINSTEIN fa uso di una check list (vedi sezione 3.2.1) e/o di un questionario base per l'acquisizione dati che può essere completato successivamente con informazioni più particolareggiate ("allegati recanti informazioni dettagliate"). La check-list e il questionario possono essere inviati all'impresa insieme a un testo esplicativo per consentire a un tecnico di compilarlo. Il questionario è disponibile in formato sia stampabile sia elettronico (cfr. Allegato).

È importante considerare che è possibile fare una prima valutazione in modo semi-automatico con pochi dati, sebbene – come regola generale – l'affidabilità dell'analisi e le relative raccomandazioni migliorano quando il set di dati è completo.

Se i dati inseriti in EINSTEIN sono incompleti, lo strumento cerca di stimare quanto meglio possibile i parametri mancanti ed esegue i calcoli possibili con le informazioni disponibili. Dopodiché genera una check list dei dati mancanti più importanti che l'analista deve cercare di ottenere (vedere la descrizione del menù "Controllo di coerenza" nel manuale d'uso).

EINSTEIN Passo 2: Acquisizione di dati per il pre-audit

> Preparare l'azienda

> Preparatevi

> Acquisizione dei dati essenziali a distanza

3.3 Preparazione dell'audit: elaborazione delle informazioni preliminari

3.3.1 Elaborazione dei dati raccolti prima dell'audit

Grazie al software EINSTEIN è possibile controllare preventivamente in modo semplice i dati forniti dall'industria. Una volta inseriti i dati disponibili, viene automaticamente effettuato il controllo della coerenza dei dati ed elaborate le statistiche.

In questa fase di prima elaborazione dei dati raccolti nella fase di pre-audit è possibile ottenere le seguenti informazioni:

- × Un elenco di gravi incoerenze nei dati (ad es. si riporta il consumo di un tipo di combustibile che non si usa in nessun impianto, ...)
- × Un elenco di dati necessari ma mancanti che non possono essere né calcolati né stimati a partire dalle altre informazioni disponibili.

3.3.2 Completamento delle informazioni tramite intervista telefonica o tramite e-mail

Se durante l'elaborazione dei dati ottenuti prima dell'audit emergono incoerenze gravi o si riscontra la mancanza di informazioni strettamente necessarie per una prima valutazione sommaria, una telefonata o una email può aiutare ad acquisire dati aggiuntivi o a chiarire alcuni dubbi.

Dopo aver modificato il set di dati di base, bisogna ripetere il controllo di coerenza (paragrafo precedente).

Una volta completata questa fase, dobbiamo aver conseguito almeno le seguenti informazioni:

- × I prodotti principali e le quantità prodotte
- × Il consumo di energia totale in impresa per usi termici
- × I processi maggiori consumatori di calore e freddo, e almeno una stima sommaria del consumo di energia di ciascuno di essi
- × I principali impianti di generazione di calore e freddo e almeno le loro potenze nominali; la struttura per sommi capi del sistema di distribuzione di calore e freddo (ad es. quale caldaia fornisce calore a quale processo, ecc.)
- × Le temperature a cui viene somministrato e utilizzato il calore nei processi più energivori.

3.3.3 Acquisizione di dati di benchmark

In questa fase abbiamo già informazioni più dettagliate sull'industria, sui processi usati e sui prodotti e possiamo ottenere valori di benchmark da altre industrie simili.

Le fonti di informazione a riguardo sono le seguenti:

- × Il software EINSTEIN contiene una banca dati con i valori di benchmark che vi aiuta a trovare velocemente i valori di riferimento per diversi settori industriali
- × Ulteriori informazioni si possono ottenere dai documenti disponibili sul sito-web di EINSTEIN (ad es. si veda il documento di sintesi sulle procedure e sugli strumenti per le diagnosi termo-energetiche: ([Vannoni et al., 2008])).

Per ulteriori dettagli sulle attività di benchmarking si veda il paragrafo 3.6.5.

Riferimenti bibliografici Capitolo 3.3.3:

C.Vannoni et al. (2008): EINSTEIN Report: Review of Thermal Energy Auditing Practices and Tools.IEE Project EINSTEIN, Project deliverable D2.2. Disponibile sul sito www.einstein-energy.net

3.3.4 Acquisizione delle conoscenze di base del settore industriale o del tipo di servizio

Grazie alle informazioni raccolte sull'azienda (industria o impresa di servizi) che state analizzando, potrete approfondire le vostre conoscenze sui tipi di processi specifici e sui macchinari che incontrerete durante l'audit, come già sottolineato nel paragrafo 3.2.2.

Cercate, comunque, di:

- × Ottenere informazioni sui macchinari specifici usati e sulle alternative tecnologiche possibili
- × Ottenere informazioni sugli impianti e i sistemi energetici specifici in uso, e sulle alternative tecnologiche possibili.

3.3.5 Identificazione delle misure possibili

Con le informazioni già in vostro possesso sull'impresa, probabilmente potete già completare un ciclo di audit: dall'acquisizione dati alla formulazione di una proposta.

Sebbene i dati utilizzati siano ancora molto incompleti e i risultati attesi non potranno essere molto precisi, è comunque ragionevole sviluppare questa diagnosi preliminare per avere una prima idea dell'ordine di grandezza dei possibili risparmi, dell'ammontare degli investimenti necessari, ecc., informazioni che possono rivelarsi molto utili per un primo approccio con l'impresa durante il sopralluogo.

La modalità di audit "quick and dirty" non richiede molto tempo, dato che il software EINSTEIN la esegue (quasi) automaticamente.

Quando valutate i miglioramenti possibili, dovrete consultare anche la documentazione disponibile sulle *migliori tecnologie disponibili* (Best Available Technologies, BAT) per il settore d'indagine, e le specifiche problematiche. Il kit di strumenti EINSTEIN può aiutarvi ad accedere più facilmente alle informazioni disponibili.

3.3.6 Elenco delle priorità per ulteriori indagini e acquisizione dati

Se volete fare un *audit rapido*, dovete concentrarvi su ciò che è essenziale. Se volete fare un *audit di qualità*, non dovete dimenticare i dati importanti. In alcuni casi i due obiettivi possono essere in conflitto. Pertanto, una volta pensato che cosa volete proporre all'impresa, dovete mettere in ordine di priorità quali informazioni raccogliere per prime durante l'audit e su che cosa insistere, sebbene l'accesso alle informazioni potrebbe essere difficile.

Dopo l'audit dovrete avere tutte le informazioni necessarie per valutare la fattibilità delle soluzioni e delle tecnologie proposte (o escluse) e dovrete evitare di raccogliere dati non necessari, specialmente se avervi accesso è difficile. Ad esempio, se volete proporre un sistema solare per produrre calore di processo, dovrete ottenere tutte le informazioni disponibili sulle superfici in copertura e sui terreni disponibili, sui possibili problemi di ombreggiamento, sulla conformazione strutturale del tetto, ecc. necessari per valutare questa tecnologia. Se, invece, la soluzione a cui state pensando è uno scambiatore di calore per migliorare il recupero di calore in alcuni processi, chiedere all'impresa di cercare la pianta dettagliata del tetto potrebbe non essere la strategia migliore.... Così come potrebbe non valere la pena richiedere una serie di dettagli tecnici di un processo che consuma solo lo 0,3% della domanda totale di energia!

EINSTEIN Passo 3: Prepararsi all'audit. Elaborazione delle informazioni preliminari

> Elaborare i dati preliminari

> Contattare l'azienda per un controllo dei dati

> Confrontarli con i dati di benchmark

> Apprendere il funzionamento di specifici processi/aziende

> Identificare possibili interventi

> Fissare le priorità per l'audit

3.4 Valutazione preliminare “quick and dirty”

Dopo aver elaborato le informazioni preliminari è possibile fare una prima valutazione “quick and dirty” (rapida e sommaria). Questa valutazione dovrebbe condurvi a :

- × Identificare i principali processi che consumano calore e freddo, e quantificarne per sommi capi il consumo di energia
- × Una prima analisi quantitativa della domanda di calore e freddo per livelli di temperatura ed in funzione del tempo: curve cumulative della domanda di calore.

Quindi, sulla base di questa analisi della domanda di calore e freddo, potrete:

- × Identificare le opzioni tecnologiche possibili per una fornitura di calore e freddo efficiente
- × Determinare l'ordine di grandezza della potenza degli impianti richiesti
- × Stimare la resa energetica e la redditività economica previste.

Una prima bozza di “ciò che si potrebbe fare” in azienda aiuta sia l'analista sia l'utente a concentrarsi da quel momento in poi sulle informazioni necessarie per l'analisi delle opzioni tecnologiche più interessanti.

3.4.1 Come redigere una valutazione preliminare “quick and dirty”

Una prima valutazione “quick and dirty” può essere automaticamente generata utilizzando la funzione “report” (resoconto) del software EINSTEIN.

La qualità delle stime economiche relative ai sistemi proposti fornite dal software EINSTEIN è proporzionale ai dati sui costi dell'impianto e dei sotto-sistemi precedentemente inseriti nelle relative banche dati. Tali dati possono variare molto a seconda delle condizioni locali e del Paese. Pertanto, i valori predefiniti forniti dalle banche dati dovrebbero essere interpretati solo come quantità di riferimento orientative.

3.4.2 Non promettete troppo all'inizio!

Come già sottolineato in precedenza, in alcuni casi la presentazione di una prima valutazione all'impresa può rivelarsi molto utile per informarli in merito alle opzioni possibili e ai futuri passi da compiere. Dati orientativi possono aiutare il personale tecnico o i responsabili dello stabilimento a convincere i dirigenti dell'impresa a procedere con l'audit vero e proprio, ad approfondire l'analisi o addirittura a stanziare dei fondi o a richiedere un finanziamento.

Tuttavia, è necessario essere prudenti e non presentare dati troppo dettagliati (specialmente dati economici!) ancora privi di fondamenta solide. È comunque sempre necessario informare esplicitamente l'impresa che i dati presentati sono solo stime grossolane, che potrebbero cambiare notevolmente a seguito di un'analisi più approfondita.

EINSTEIN Passo 4: Resoconto della valutazione preliminare “quick & dirty”

> Creare un resoconto delle attività di valutazione preliminari

> Opzionale: presentarlo all'azienda

3.5 Sopralluogo (o in alternativa: seconda acquisizione dati dettagliati a distanza)

3.5.1 Facoltativo: presentare e discutere l'analisi "quick and dirty"

Se decidete di presentare alcuni risultati preliminari della vostra analisi "quick and dirty" all'impresa, allora forse questo è il momento di iniziare a parlare di un sopralluogo tecnico. Potete riassumere i risultati raccolti fino a questo momento a distanza e spiegare le vostre conclusioni preliminari all'impresa.

3.5.2 Interviste e visita dello stabilimento per raccogliere informazioni dettagliate

3.5.2.1 Raccolta dati in ufficio

La prima cosa da fare quando arrivate in un'impresa dovrebbe sempre essere sedere in ufficio, presentarsi e illustrare che cosa potete offrire all'impresa, raccogliendo le informazioni di base. Se possibile, qualche tecnico dell'impresa che conosce i dettagli tecnologici dei processi e degli impianti dovrebbe essere presente a questo primo incontro.

Potete seguire la struttura del questionario base o della check-list di EINSTEIN (portatene con voi una copia cartacea, magari già pre-compilata con le informazioni raccolte nelle fasi precedenti) per strutturare l'intervista e raccogliere le informazioni a seguire:

- × informazioni generali sull'impresa: che cosa producono e in che quantità; come si svolge il processo produttivo; quali sono i dati globali (fatturato, consumo di energia, numero di dipendenti); che turni fanno e quali sono i periodi di ferie, ecc. In questo contesto è anche importante ottenere informazioni sulle prospettive future dell'impresa: possibili piani di espansione che potrebbero cambiare radicalmente la domanda o, al contrario, rischio di chiusura di alcune linee di produzione o di tutto lo stabilimento a causa della concorrenza.
- × Fatture dei combustibili, bollette dell'elettricità e tariffe energetiche: cercate di ottenere informazioni relative a più anni e, se disponibili, informazioni già dettagliate su che percentuale di consumo è da riferirsi a quale impianto/processo/linea di produzione.
- × Dati sui processi: poiché in molte industrie si conosce solo il consumo di energia totale, ma non la sua suddivisione tra i diversi processi, informazioni dettagliate sui processi spesso sono l'unico modo per determinare la distribuzione della domanda di calore (i modi generalmente possibili per ottenere queste informazioni sono illustrati nella Figura 20). È importante capire in linea generale come funziona un processo, quali sono gli orari di funzionamento e la temperatura di processo;

Inoltre, è auspicabile raccogliere informazioni aggiuntive sui diversi componenti che contribuiscono alla domanda di calore del processo:

- entrata e uscita del fluido: volume o massa e livelli di temperatura (ingresso/uscita);
- massa o volume da riscaldare (o raffreddare) all'avviamento di un processo, numero di cicli o di interruzioni e temperatura di partenza da cui l'impianto deve essere riscaldato (o raffreddato);
- perdite di calore dell'impianto di processo in funzione: potenza richiesta per mantenere il processo ad una data temperatura. Questa potrebbe essere costituita dalla potenza richiesta per compensare le perdite di calore, dalla potenza richiesta per il cambiamento di fase dei fluidi operanti (evaporazione, essiccazione) o dalla potenza richiesta per le reazioni chimiche. Questa spesso è la parte più difficile da determinare perché in genere non si conoscono i coefficienti di perdita di calore degli impianti di processo. Per svolgere alcuni calcoli indicativi è possibile avvalersi di qualche metodo indiretto: ad es. se sapete che l'impianto dopo un dato periodo Δt (ad es. durante la notte) si raffredda dalla temperatura di processo T_p a una data temperatura finale T' , è possibile stimare il relativo coefficiente di perdita di calore; o se conoscete le dimensioni dell'impianto e lo spessore del rivestimento isolante, potete cercare di calcolarlo. Nei processi di essiccazione, invece, la differenza di umidità nel prodotto umido e asciutto può darvi un'idea di quanto calore è necessario per l'evaporazione, ecc.

Il software EINSTEIN vi aiuta a fare questo tipo di calcoli ausiliari in alcuni dei casi più frequenti.

- × Dati sugli impianti di generazione di calore e freddo: creare un inventario degli impianti esistenti con i relativi dati tecnici più rilevanti (compresa età e stato di conservazione) per decidere se ha senso suggerirne la sostituzione; cercare di ottenere almeno informazioni indicative non solo sulla potenza nominale, ma anche sull'energia (calore o freddo) prodotta dall'impianto (ore di funzionamento, fattore di carico parziale), anche se si tratta di informazioni prettamente qualitative come "lo usiamo solo per poche ore l'anno, ha soprattutto una funzione di riserva" o "le due caldaie lavorano quasi sempre a pieno carico e a volte il vapore è insufficiente..."; e non dimenticare di fare un diagramma a blocchi chiaro di quale impianto fornisce calore o freddo a quale processo.
- × Dati sulla distribuzione e l'accumulo di calore e freddo: lunghezza e diametro di tubature e condotti; livelli di temperatura, pressione e portata; individuare dove viene accumulato il calore (quantità, temperatura e livelli di pressione, isolamento). Laddove riuscite ad ottenere queste informazioni aggiuntive, potete farvi un'idea più precisa del consumo nella fabbrica;
- × Sistemi di recupero di calore esistenti: individuare gli scambiatori di calore esistenti per il recupero di calore, compresi i dati tecnici e le condizioni di funzionamento reali (tipiche) (portate e temperature sia lato caldo sia freddo).
- × Forni di energia rinnovabile: identificare lo spazio disponibile (tetto e terreno) per un possibile uso dell'energia solare termica (dimensioni, orientamento, statica del tetto, distanza dalla sala macchine e/o dai processi); valutare la disponibilità di biomassa e biogas (biomassa residua dal processo produttivo o da altri fornitori nelle vicinanze); sussiste un'altra motivazione per usare energie rinnovabili oltre alla possibilità di risparmiare (ad es. contribuire a salvaguardare l'ambiente, aspetti commerciali...)?
- × Domanda di calore e freddo degli edifici: la domanda di calore e freddo degli edifici in alcune aziende può costituire una parte importante del totale; fate un inventario degli edifici esistenti, dei sistemi di riscaldamento e condizionamento dell'aria impiegati; dei livelli di temperatura e dei tempi di accensione, ecc.. Laddove possibile si dovrebbero richiedere le piante degli edifici.
- × Parametri economici e finanziari: quali sono i costi di gestione e manutenzione dell'impresa (oltre alle bollette dell'energia); come si finanziano gli investimenti nell'area energetica (esternamente, internamente); quali sono i requisiti riguardanti il recupero dell'investimento o i tassi di rendimento.

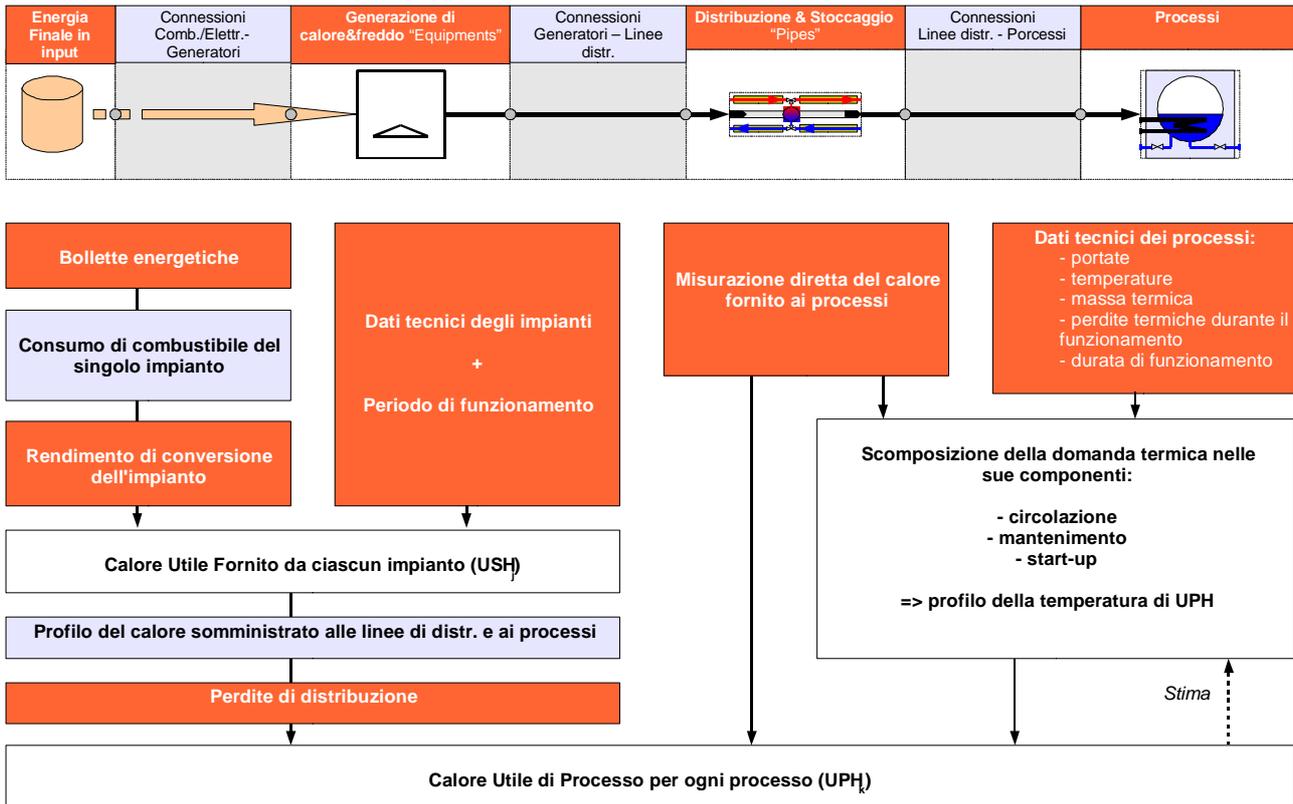


Figura 19. Percorsi possibili per calcolare la domanda di calore e freddo dei diversi processi.

Dovreste ricordare questi blocchi di dati in forma di una check list mentale (e magari anche scritta) al fine di non lasciare la fabbrica senza aver posto tutte le domande pertinenti. Tuttavia, nella maggior parte dei casi, l'intervista non segue il vostro ordine (mentale), ma in genere otterrete le informazioni in modo non strutturato durante una conversazione informale.

Per non perdere di vista il quadro d'insieme, aiuta prendere gli appunti durante la visita in modo strutturato, raggruppati secondo i blocchi precedentemente riportati. Pertanto, dopo una mezz'ora o un'ora di conversazione informale in cui avrete imparato molto sui diversi processi e impianti, potrete comunque ritornare sul tracciato e controllare rapidamente se avete tutti i dati necessari, o se (e dove) qualcosa di importante ancora manca.

3.5.2.2 Ispezione dello stabilimento

Quando avrete l'impressione di aver ottenuto tutto il possibile in ufficio, proponete una giro tra gli impianti dello stabilimento. Assicuratevi di visitare almeno tutti gli impianti di generazione del calore e di processo rilevanti. Laddove possibile, portatevi una macchina fotografica digitale e fate delle foto che vi aiuteranno a ricordare i particolari.

Sfruttate la visita per approfondire le vostre conoscenze sul funzionamento dei diversi processi e fate tutte le domande specifiche che non vi erano venute in mente durante la conversazione in ufficio.

Cercate di anticipare possibili difficoltà che potrebbero dover essere risolte in seguito alle modifiche del sistema cui state pensando:

- * Possibili punti di collegamento delle nuove linee o impianti di distribuzione di calore e freddo
- * Spazio disponibile per nuovi impianti o serbatoio di accumulo dell'energia.

Se in ufficio avete parlato solo col responsabile tecnico, cercate di sfruttare il giro per entrare in contatto con il personale della manutenzione dell'impresa che vi può fornire informazioni utili sulla base del loro lavoro quotidiano (ad es. fate domande come "... la mattina, quando arrivate in fabbrica, a quale temperatura trovate questo serbatoio", ecc.).

3.5.3 Rapido controllo di completezza e coerenza dei dati durante il sopralluogo

Se durante l'intervista avete usato un PC portatile e avete avuto l'opportunità di inserire qualche dato nel software EINSTEIN, potete usare la funzione "controllo di coerenza" del software EINSTEIN per controllare:

- a) se i dati sono coerenti o se vi sono contraddizioni nelle informazioni acquisite (ad es. confusione di unità di misura)
- b) se mancano dati rilevanti (e quali), per fare domande specifiche per ottenerli

A questo punto, forse avete già informazioni sufficienti per azionare la funzione di generazione automatica di una proposta, che vi darà un'idea dell'ordine di potenza dei possibili sistemi di fornitura alternativi (ad es. se sapete di quanto accumulo aggiuntivo avete bisogno per un determinato sistema, durante la visita potete già valutare se c'è lo spazio necessario...).

3.5.4 Misurazioni durante la visita

In molti processi produttivi, la domanda di energia totale annua (e spesso anche mensile) è calcolata sulla base delle bollette dell'impresa, ma non si è in grado di suddividerla tra impianti e processi specifici. Tuttavia, questa informazione – almeno per alcuni processi chiave e per i principali impianti di generazione di calore e freddo – è essenziale per applicare il metodo EINSTEIN.

Qualsiasi dato ricavato da misurazioni in loco presso l'impresa può aiutare ad analizzare i profili energetici dettagliati, compresi domanda di energia e disponibilità di calore di scarto. È, dunque, importante controllare insieme all'impresa quali dati sono già monitorati e quale combinazione di set di dati si può utilizzare per analizzare il flusso dell'energia.

In molte aziende saranno necessarie misurazioni aggiuntive per colmare la mancanza di dati. Secondo i processi, alcune misurazioni possono essere fatte già durante la prima visita presso l'impresa. Tra le misurazioni veloci e semplici per calcolare i flussi di calore e freddo durante l'ispezione nell'impresa ricordiamo:

Misurazioni della temperatura

Dispositivi a infrarossi usati per recipienti o tubature (non coibentati) possono darci una prima stima delle temperature durante il funzionamento. Se la temperatura di processo cambia, è possibile installare velocemente termocoppie dotate di datalogger e rilevare alcuni dati durante la durata della visita. Se applicate a recipienti o condotti coibentati, la temperatura misurata funge da base di calcolo per valutare le perdite di calore.

Se si conosce la portata dei condotti (dei flussi caldi o freddi, dei prodotti), misurare la temperatura della mandata e del ritorno nelle tubature per alcune ore ci fornisce informazioni sufficienti per calcolare il calore o il freddo forniti dalla tubatura.

Misurazioni della portata

È possibile installare facilmente dispositivi di misura senza contatto dei flussi idrici di fluido usando ad esempio i principi delle misurazioni a ultrasuoni, senza interferire con i processi. In combinazione con le misurazioni della temperatura è possibile calcolare velocemente i flussi di energia. Fate attenzione al fatto che le misurazioni brevi (ad es. per alcune ore) vi danno un quadro parziale dell'intera produzione, specialmente se i processi produttivi sono fortemente variabili nel tempo.

La misurazione dei flussi di energia si può fare sul lato primario della distribuzione (acqua calda, linea della condensa) o sul lato secondario (misurazione del fluido di processo). In genere la scelta dipende dalla disponibilità di punti di misurazione possibili (accesso alle tubature, coibentazione, stato del tubo, regolazione, ecc.). Un breve elenco (incompleto) delle misurazioni possibili dà un'idea all'utente dei possibili punti di misurazione:

1. *Misurazioni dal lato del fluido di processo ("lato secondario"):*

- × Misurazione del fluido di processo (acqua, aria, flusso di prodotto) riscaldato durante il processo

- × Misurazione dell'acqua di rete immessa ad es. in una vasca e costantemente riscaldata a una data temperatura (per es. negli impianti di lavaggio)

2. *Misurazioni dal lato della fornitura di calore ("lato primario"):*

- × Misurazioni della linea di distribuzione dell'acqua calda e delle temperature prima e dopo lo scambiatore di calore (per la fornitura indiretta di energia)
- × Misurazioni della linea di distribuzione dell'acqua calda e della temperatura dell'acqua calda (per la fornitura diretta di energia)
- × Misurazione della linea della condensa di un processo (o di più processi, se la disposizione è tale che successivamente è possibile attribuire i dati misurati a ciascun processo)
- × Misurazione dell'acqua di reintegro immessa nel sistema di generazione del vapore (per quantificare l'energia dispersa in un circuito del vapore aperto).

3.5.5 Programma delle misurazioni

Se avete notato che mancano alcune informazioni che non potete ottenere mediante misurazioni in loco, potete assegnare dei "compiti a casa" al personale dell'impresa:

- × Potete chiedere che trascrivano un registro delle temperature, delle pressioni o dei valori rilevati dai sensori esistenti, ad intervalli periodici
- × Potete anche lasciare all'impresa dei dispositivi di misurazione che avete portato con voi e chiedere loro di registrare i valori misurati durante un certo periodo
- × Potete definire alcuni semplici "esperimenti" che l'impresa potrà fare (ad es. determinare le curve di riscaldamento o raffreddamento di un impianto, ecc.)

3.5.6 Discutere ciò che avete rilevato durante la visita

Dopo una visita, dovrete dare qualche informazione all'impresa in merito alle vostre impressioni e a come pensate di procedere:

- × Definite e decidete insieme all'impresa quali delle misure possibili volete analizzare nel dettaglio e quali opzioni escludete a priori;
- × Stabilite un calendario per i passi futuri: scadenza per la consegna delle informazioni aggiuntive da parte dell'impresa; scadenza per la consegna dello studio.

EINSTEIN Passo 5: sopralluogo con audit

> Presentare all'azienda lo studio "quick and dirty"

> Effettuare interviste e visitare lo stabilimento

> Svolgere un controllo rapido dei nuovi dati acquisiti

> Effettuare delle misure

> Definire un programma di misurazioni

> Esporre le nuove conclusioni

3.6 Analisi della situazione attuale

3.6.1 Controllo della coerenza e della completezza dei dati

Un'analisi sistematica della situazione attuale è il punto di partenza per l'ulteriore identificazione di opportunità di risparmio energetico per l'impresa. Tuttavia, la suddivisione del consumo totale di energia nelle diverse componenti e la definizione dei principali flussi, fonti e utilizzatori di energia generalmente richiede l'acquisizione di un numero piuttosto elevato di dati. Oltre alla quantità, anche la precisione e la coerenza dei dati disponibili influiscono in modo significativo sull'affidabilità delle soluzioni alternative.

Come già sottolineato nel paragrafo precedente, spesso ci sono modi diversi per ottenere le stesse informazioni. Alcuni esempi (cfr. anche Figura 19):

- * il consumo di combustibile in una impresa può essere calcolato direttamente sotto forma di energia o inizialmente sotto forma di quantità di combustibile consumato (in m³, litri, ecc.) da cui si può successivamente calcolare il consumo di energia usando il PCI del combustibile.
- * Il calore prodotto da una caldaia ad acqua calda può essere determinato, da un lato, in base al combustibile consumato e dall'altro anche dalla quantità di acqua calda consumata; inoltre, ci può anche essere un contatore di calore che misura direttamente il calore fornito all'uscita della caldaia.

Nel raccogliere dati sullo "status-quo" (domanda di energia nella situazione attuale, ecc.) potreste incontrare – e dover risolvere – uno o entrambi i seguenti problemi:

- * *Informazioni ridondanti e possibili conflitti tra i dati.* Vi è ridondanza se, come negli esempi precedenti, ci sono due o più modi per determinare o calcolare lo stesso parametro. Se i diversi modi portano allo stesso risultato, non ci sono problemi: è la riprova che il valore ottenuto è corretto. Ma nella situazione contraria, se i diversi modi per calcolare una grandezza portano a risultati diversi, allora avete il problema della scelta (qual è quello giusto e quale quello sbagliato?) e – qualsiasi cosa decidiate – a seguito dell'incertezza, potreste dubitare di entrambi.
- * *Informazioni mancanti.* Potreste non avere a disposizione tutte le informazioni dettagliate che vorreste avere per fare un calcolo preciso. Ad es. conoscete la domanda totale di calore (calcolata dal consumo di combustibile) e la domanda del processo che consuma più calore, ma non avete informazioni su come la domanda rimanente è suddivisa tra altri due processi minori.

Controllare sia la ridondanza sia la completezza di un sistema complesso può essere difficile e richiedere molto tempo. In genere, per effettuare questo controllo avete a disposizione i seguenti strumenti:

a) Relazioni matematiche e fisiche tra le diverse quantità ottenute applicando le leggi fondamentali della fisica (conservazione dell'energia, seconda legge della termodinamica) e proprietà fisiche dei materiali:

- * Bilanci di energia e di massa di impianti e sotto-sistemi (entrata = uscita + perdite). L'efficienza di conversione o il rapporto tra le portate spesso devono avere un valore tra 0 e 1, in base alle leggi sulla conservazione.
- * Vincoli imposti dalla seconda legge della termodinamica. Il calore fluisce solo da una fonte calda ad una fredda. Ciò vi può aiutare a definire valori minimi e massimi possibili per alcune quantità (ad es. per le temperature).
- * Proprietà fisiche dei materiali, specialmente proprietà dei fluidi e dei combustibili. Ad esempio: l'energia trasportata da un fluido è legata alla portata e alla differenza di entalpia specifica tra mandata e ritorno, che a sua volta dipende dalla capacità termica specifica, dalla frazione di vapore e dal calore latente di evaporazione (in caso di cambio di fase).
- * Le ore di funzionamento di processi e impianti sono limitate dalla durata di un giorno (24 ore) e di un anno (8760 ore), e dai periodi di ferie e dai fine settimana specificati.

b) Conoscenza ingegneristica dei valori tipici o limiti pratici per alcune quantità:

- * Dal punto di vista matematico, l'efficienza di una caldaia deve essere tra 0 e 1 (o tra 0 e circa 1,1 se

come riferimento si usa il PCI). Tuttavia, in pratica, è molto strano trovare una caldaia con un'efficienza pessima quale 0,1 e anche 0,999 potrebbe non verificarsi mai. Pertanto, un intervallo di valori compreso tra 0,7 - 0,95 può essere considerato un limite appropriato per le caldaie non a condensazione. Un ragionamento simile si può fare anche per le efficienze di distribuzione nelle tubature e nei condotti.

- × I differenza di temperatura negli scambiatori di calore (LMTD) in teoria (in base alla seconda legge della termodinamica) deve essere superiore a 0 K. Tuttavia, nella pratica ingegneristica tale valore è maggiore di zero e compreso tra 3 e 5 K per gli scambiatori di calore liquido-liquido, e circa 10 K per gli scambiatori di calore liquido-aria o aria-aria. Un ragionamento simile si può fare per la differenza tra temperature di mandata e ritorno nei circuiti di distribuzione: raramente si progetta un circuito con una portata massica così elevato che la differenza di temperatura tra mandata e ritorno sia pari a 0,1 K . I limiti pratici anche in questo caso sono pari a circa 1 – 2 K.
- × Le perdite di calore di alcuni impianti di processo sono difficili da calcolare con precisione. Tuttavia vi è un limite superiore funzione della superficie totale dell'impianto (che si può stimare facilmente dalle dimensioni) e del fatto che il trasferimento totale di calore (irraggiamento + convezione naturale) da qualsiasi corpo non coibentato, e a temperature non troppo elevate (sotto i 100°C), è inferiore a circa 8 W/m²K all'interno e a 20 W/m²K all'esterno (compreso il vento), se non ci sono ulteriori perdite dovute al cambiamento di fase o a reazioni chimiche (ad es. ebollizione...).
- × Il tempo necessario a riscaldare o riempire/vuotare alcuni impianti di processo è raramente superiore al 50% della durata totale del lotto nei processi a lotti, o superiore a 2 – 3 ore nei processi continui che non operano durante la notte.

Mentre i vincoli matematici ci danno un'idea chiara e netta (sì/no) sul fatto che un dato valore di un parametro (nel contesto dell'intero set di dati) sia possibile o meno, i valori derivanti dalle conoscenze ingegneristiche sono meno precisi. In merito a questi vincoli ingegneristici, in EINSTEIN distinguiamo tra:

- × *Valori limite pratici*: si tratta della gamma ampia di valori possibili (da un punto di vista ingegneristico) che comprende il 99,9% dei casi pratici.
- × *Gamma di valori tipici*: si tratta di una gamma molto meno ampia di valori che dovrebbe valere nel 90% circa dei casi pratici (ma senza dimenticare che ci potrebbe essere un 10% di situazioni al di fuori di tale gamma).

In EINSTEIN, con controllo di coerenza s'intende la verifica che il set di dati raccolti risulti consistente rispetto alle relazioni fisico-matematiche applicabili e ai valori limite pratici derivati dalla conoscenza ingegneristica.

Grazie al software EINSTEIN, questo controllo di coerenza può essere svolto automaticamente. In caso di conflitto tra il set di dati inserito nel sistema e i valori limite, i dati sono corretti in automatico e contestualmente viene prodotto un elenco di messaggi di errore.

Inoltre, il modulo di controllo di coerenza interno al software EINSTEIN completa le informazioni disponibili con i dati non forniti esplicitamente mediante questionario ma calcolabili a partire dalle medesime correlazioni e vincoli.

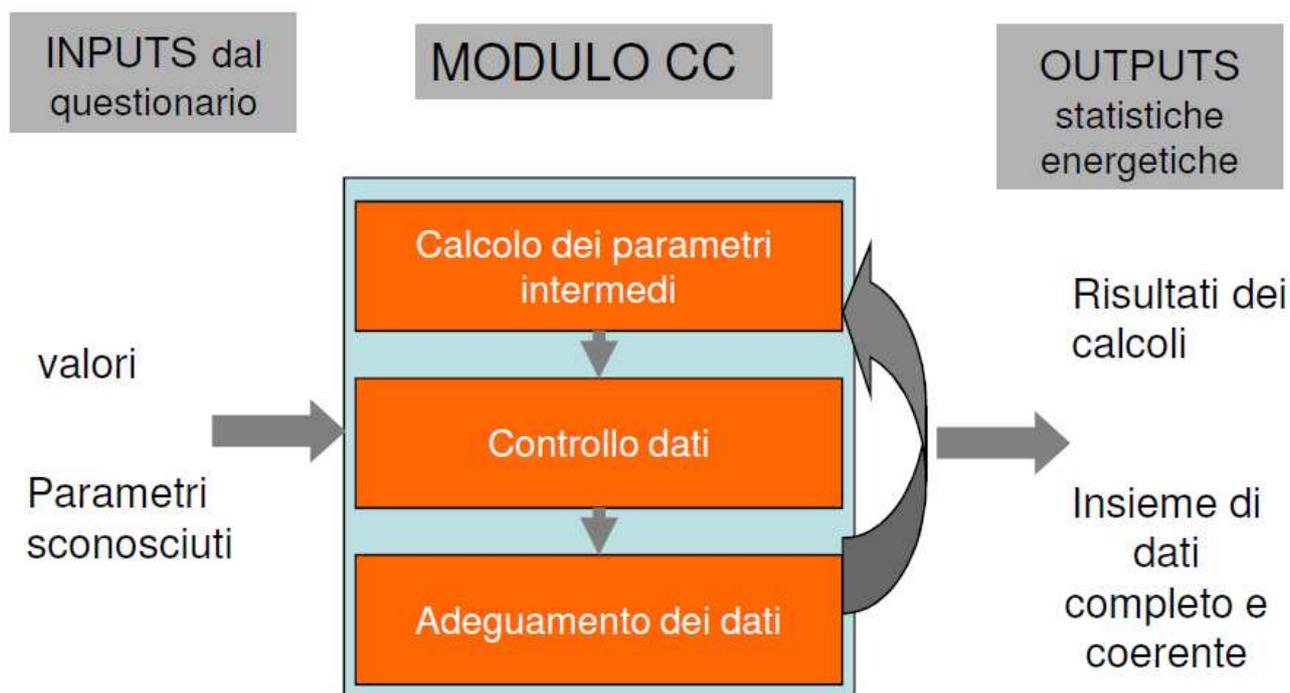


Figura 20: Schema della procedura di controllo di coerenza (Consistency Check module) nel software EINSTEIN.

3.6.2 Acquisizione delle informazioni mancanti

La quantità di informazioni e il grado di precisione necessari per un audit energetico dipendono dall'accuratezza dell'audit. Al fine di una valutazione preliminare (analisi quick and dirty), sono necessarie meno informazioni, mentre per un'analisi dettagliata è necessario considerare un grande numero di parametri.

Tuttavia, in molti casi, non è facile reperire tutti i dati richiesti in teoria. Talvolta, specialmente nelle piccole aziende, anche alcuni dati di base possono risultare difficili da reperire e dopo il controllo di coerenza e l'integrazione dei dati mancanti vi possono ancora essere delle lacune nel set di dati che possono essere determinati solo con un livello di accuratezza molto basso.

In questi casi, per i parametri non ancora noti possiamo usare ciò che chiamiamo la *gamma di valori tipici* derivante dalle nostre conoscenze ingegneristiche. Con l'aiuto di questi "valori tipici" riusciremo a colmare la maggior parte delle lacune, ma dobbiamo essere consapevoli del fatto che utilizzando queste stime, facciamo delle ipotesi che non necessariamente corrisponderanno al vero.

Pertanto, ogniqualvolta lo facciamo, dobbiamo evidenziarlo chiaramente nei documenti che presentiamo:

"Conclusioni valide esclusivamente in base alle ipotesi A, B e C..."

E, laddove possibile, dovremmo confermare, almeno a posteriori, se le ipotesi fatte erano corrette oppure no.

Se nonostante le vostre conoscenze ingegneristiche non riuscite a stimare almeno i dati di base necessari alla vostra analisi, potete fare due cose:

- a) Contattare l'impresa e dire loro che con le scarse informazioni in vostro possesso è impossibile avanzare qualsiasi proposta ragionevole.
- b) Formulare ipotesi e creare scenari: ipotizzate numeri che quantomeno appaiano ragionevoli. Potreste cercare di individuare i casi limite: uno scenario molto ottimista (per il sistema che intendete proporre), uno molto pessimista e uno intermedio.

A volte ciò è meglio di niente, ma tutte le avvertenze sopraccitate in questo caso devono essere ribadite due volte ed evidenziate in **grassetto**.

Quantità e accuratezza dei dati richiesti per i diversi livelli di analisi

Il metodo EINSTEIN distingue tra tre livelli di analisi, con un grado di accuratezza e di dettaglio crescente:

× *Livello 1: analisi quick and dirty*

Per l'analisi quick and dirty è sufficiente conoscere con un grado di precisione minimo¹⁰ il consumo di energia e la temperatura di processo dei processi che consumano più energia nell'impresa.

× *Livello 2: livello di analisi standard*

Per il livello di analisi standard di EINSTEIN è necessario conoscere almeno i seguenti parametri con un grado di precisione minimo:

- consumo di energia dei processi che consumano più energia e sua suddivisione in domanda di calore e freddo per la circolazione, mantenimento e start-up;

- tutti i livelli di temperatura (entrata, processo, uscita) e le ore di funzionamento di tali processi, e i relativi impianti di generazione di calore e freddo;

- i flussi di calore di scarto dai processi che consumano più energia.

× *Livello 3: analisi dettagliata*

Per un'analisi dettagliata è necessario disporre almeno delle informazioni contenute nel questionario di base EINSTEIN, al grado di accuratezza richiesto.

L'accuratezza dei dati disponibili, sia qualitativa ovvero in termini di affidabilità (li considerate attendibili o no) sia quantitativa ovvero in termini del margine di errore ($\pm xy\%$), dipende fortemente dai fattori a seguire:

× *La fonte delle informazioni.* Talvolta nelle grandi aziende i dati sul consumo di energia sono misurati direttamente con strumenti di misurazione precisi, e stoccati in sistemi sofisticati di gestione dell'energia. Al contrario, le piccole imprese spesso conoscono solo le condizioni di funzionamento medie degli impianti e il consumo totale di energia desunto dalle bollette. I dati annuali o anche mensili possono non essere molto rappresentativi del consumo medio futuro.

× *La procedura di acquisizione dei dati.* È facile commettere errori quando si compila un foglio di dati, si trascrivono dei numeri o si inseriscono dati in uno strumento di calcolo, ecc. (ad es. voi/l'impresa avete inserito correttamente i dati nel questionario? Ci potrebbe essere confusione con le unità di misura? Il questionario è stato compilato dall'impresa o li avete aiutati? ecc.).

× *Il livello di dettaglio.* Più l'analisi è approfondita, più si richiedono dati dettagliati e specifici, e dunque maggiore è il rischio di acquisire dati meno precisi (ad es. avete bisogno di dati su base annua? O su base oraria? Siete interessati al consumo complessivo di energia? O alla sua suddivisione tra i diversi processi? ecc.).

Se c'è un parametro della cui validità dubitate, dovrete evidenziarlo nel vostro resoconto, come descritto in precedenza relativamente ai valori stimati e ai valori ipotizzati nei diversi scenari.

3.6.3 Suddivisione dettagliata del consumo

La suddivisione del consumo di energia per processo, impianto, combustibile e livello di temperatura è molto importante per considerare tutti gli aspetti relativi all'uso dell'energia nell'industria analizzata. Le statistiche risultanti, relative alla situazione attuale, sono un punto di partenza per decidere in merito all'applicazione di

¹⁰ Per precisione minima si intende un margine di errore inferiore a +/- 50 % !

misure e tecnologie per risparmiare energia.

Il consumo totale di energia consente all'analista di inquadrare rapidamente la percentuale di consumo di energia e le opportunità di risparmio energetico (a priori) grazie a un confronto con i dati di riferimento disponibili per il settore industriale (benchmark). Quando si prendono in considerazione proposte alternative diverse per migliorare l'efficienza energetica, la domanda di energia attuale e la sua composizione si usano come riferimento per analizzare gli effetti delle misure di miglioramento proposte.

Seguono una descrizione delle principali statistiche energetiche e un commento sull'uso dei dati.

- * *Suddivisione del consumo di energia per processo, impianto e tipo di combustibile*: identifica i processi e gli impianti che consumano più energia e i tipi di combustibile responsabili delle fatture dagli importi più elevati. Gli sforzi di miglioramento che si concentrano su di essi avranno l'impatto maggiore.
- * *Analisi del consumo di energia per livello di temperatura*. Consente di valutare il potenziale di recupero di calore di scarto e di applicazione di tecnologie efficienti a basse temperature come l'energia solare, le pompe di calore, il calore contenuto nell'acqua di raffreddamento dei motori per cogenerazione (CHP), ecc.
- * *Analisi dell'impatto del consumo di energia in termini di energia primaria, CO₂ e altre emissioni*: consente di valutare l'impatto ambientale dell'industria.
- * *Calcolo di indicatori di consumo energetico specifico*: intensità energetica (EI) e consumo di energia specifica (SEC). Consentono il confronto con i valori di benchmark e la definizione di obiettivi di consumo energetico realistici.

Per approfondire ulteriormente le informazioni è molto utile elaborare le statistiche energetiche su basi temporali diverse:

- * I dati annui evidenziano i tipi di energia, i processi e gli impianti che consumano più energia; forniscono informazioni generali su dove dovrebbero concentrarsi le misure di efficienza energetica.
- * I dati mensili sono necessari per considerare le variazioni della domanda su base stagionale o in funzione della temperatura ambiente (quali il riscaldamento degli ambienti, i processi di asciugatura, le variazioni stagionali della produzione come accade nell'industria delle bevande, ...), e della energia somministrata (ad es. sistemi solari). Tali dati sono necessari per valutare la fattibilità di tecnologie specifiche.
- * I dati orari su domanda e fornitura di calore sono importanti per determinare i picchi di consumo di energia, per analizzare le eventuali possibilità di recupero del calore di scarto e in particolare per definire i requisiti del sistema di accumulo di calore e freddo.

Tutte queste analisi della domanda di energia possono essere fatte automaticamente con il software EINSTEIN, sia per quanto riguarda la situazione attuale dell'industria sia per gli scenari futuri, in funzione delle diverse proposte alternative.

3.6.4 Analisi del funzionamento reale degli impianti esistenti

I dati tecnici sugli impianti sono estremamente importanti per valutare il rendimento del sistema energetico. I parametri di rendimento più importanti sono le efficienze di conversione energetica e le potenze di riscaldamento/raffreddamento.

In molti casi, le uniche informazioni accessibili in merito a questi dati sono i valori nominali riportati nelle schede tecniche del costruttore o sulle targhe dei dispositivi.

Ciò nonostante, il rendimento reale di un impianto può essere parecchio diverso da tali dati a causa di malfunzionamenti, condizioni operative estreme in applicazioni specifiche o in virtù di una serie di altri fattori possibili. Per questo, ogniqualvolta siamo in possesso dei dati che ce lo consentono, è interessante comparare il rendimento reale degli impianti con i valori nominali.

Per valutare il rendimento reale è possibile misurare entrata/uscita. Ad es., se è possibile misurare il consumo di combustibile e la produzione di calore di una caldaia, è possibile anche calcolare l'efficienza di conversione media.

Per gli impianti a combustione, le misurazioni del gas di scarico sono un altro modo per ottenere informazioni sull'efficienza di conversione dei medesimi, poiché il calore contenuto nei fumi e l'incompletezza della combustione sono le principali cause di perdita nella conversione dell'energia.

Se sono disponibili misurazioni, il software EINSTEIN esegue i calcoli necessari in automatico e, in caso di differenze significative tra rendimento nominale e reale dell'impianto, avvisa l'analista visualizzando messaggi di avvertimento.

3.6.5 Confronto con i valori di benchmark

3.6.5.1 Che cos'è il benchmarking?

Il **Benchmarking** è un processo strutturato di confronto e analisi delle pratiche aziendali per migliorarne le prestazioni attraverso l'identificazione, la condivisione e l'uso delle migliori pratiche. L'obiettivo del benchmarking è consentire la valutazione dell'efficienza energetica di un'impresa rispetto a valori di benchmark o a target definiti.

In EINSTEIN si usano i seguenti valori di riferimento:

- × Un *benchmark* è identificato da un intervallo di valori compresi tra un minimo e un massimo (B_{\min} , B_{\max}), che descrive il consumo energetico attuale di industrie esistenti in un dato settore.
- × Un *target* è un valore a cui tendere (B_{tar}), in termini di intensità energetica o di consumo di energia specifica, raggiungibile se si usano le migliori tecnologie disponibili e applicabili dal punto di vista economico. Laddove non sono forniti valori obiettivo specifici, si presume che le industrie che adottano delle buone pratiche siano quelle il cui consumo di energia è contenuto nel 10% del limite inferiore dell'intervallo $B_{\min} \div B_{\max}$.
- × Le **buone pratiche** sono strategie e politiche usate dalle aziende di successo. È possibile identificarle attraverso interviste approfondite ai responsabili dell'energia, analizzando attentamente i documenti dell'impresa, la letteratura e le fonti secondarie.

3.6.5.2 Classificazione degli indicatori secondo la quantità di riferimento

Per il benchmarking si usano tre tipi di indicatori (rapporti) che dipendono dalla quantità usata come riferimento:

- × *Intensità energetica*: per intensità energetica s'intende il consumo di energia per unità di valore monetario del prodotto. Il valore del prodotto in questo caso si può esprimere sia in termini di fatturato (prezzo di vendita) sia in termini di costo di produzione (all'incirca il prezzo di vendita meno il profitto realizzabile). Laddove non esplicitamente specificato, si usa il fatturato (prezzo di vendita). Poiché questi valori di riferimento si riferiscono a unità monetarie, la valuta e l'anno dei dati devono essere chiaramente specificati.
- × *Consumo di energia specifica per unità di prodotto*. Il consumo di energia specifica per quantità di prodotto è il consumo di energia associato a una linea di produzione, rispetto alla quantità di prodotto fabbricata (misurata in unità, tonnellate, litri, ecc. Ad es., il consumo totale di energia per kg di succo concentrato; il consumo di energia per litro di prodotto chimico, ecc.)¹¹.
- × *Consumo di energia specifica per prodotto intermedio di una operazione (unit operation)*. Oltre ai quantità specifiche per prodotto finale, sono altresì interessanti il consumo di energia per unit operation (singola operazione). Il consumo di energia specifica per quantità di prodotto intermedio lavorato è pari al consumo di energia associato a questa singola operazione rispetto alla quantità di

¹¹ Il consumo di energia generico di un'impresa che non è associabile a una certa linea di produzione o a un prodotto dovrebbe essere imputato ai vari prodotti proporzionalmente al loro valore calcolato rispetto al fatturato totale.

prodotto lavorato (misurata in unità, tonnellate, litri, ecc.; ad es. il consumo di energia per kg o litro di soluzione distillata). Qualora vengano utilizzati questi indicatori, è buona norma esplicitare o identificare a quale valore si fa riferimento (ad es. in un processo di asciugatura, il consumo di energia si può indicare per kg di prodotto umido o per kg di prodotto asciutto. Considerare l'uno o l'altro può portare a valori numerici molto diversi).

3.6.5.3 Classificazione per tipo di energia

- * *Elettricità/combustibili*: nel modulo di benchmarking, i dati sul consumo di energia sono distinti in elettricità e combustibili, poiché questi dati sono più facilmente rilevabili nella pratica (dalle bollette dell'elettricità e dalle fatture dei combustibili dell'impresa) rispetto al consumo di energia suddiviso in usi termici e non-termici
- * *Consumo totale di energia finale*: i dati sul consumo totale di energia si ottengono sommando l'energia finale contenuta nell'elettricità e l'energia finale contenuta nei combustibili.
- * *Consumo totale di energia primaria*: consumo totale di energia in termini di energia primaria. Questo parametro dovrebbe essere usato ogniqualvolta disponibile per un confronto globale inter-aziendale.

3.6.5.4 La procedura di benchmarking in EINSTEIN

la valutazione dell'efficienza energetica di un'impresa si fa paragonando il valore reale dell'indicatore specifico I (ad es. il consumo di energia specifica per tonnellata di prodotto) con un target B_{tar} legato alla struttura del settore considerato. Ciò significa che sia I reale sia il riferimento B_{tar} sono influenzati in modo analogo dagli eventuali cambiamenti nella struttura del settore.

Il target di riferimento B_{tar} è definito come indicato in precedenza. La differenza tra I reale e il riferimento B_{tar} si usa come misura delle prestazioni energetiche, perché illustra quale livello di efficienza si raggiungerebbe nell'impresa se si applicassero le migliori pratiche. Minore è la differenza, migliore è l'efficienza energetica.

È possibile confrontare il rapporto (chiamato indice di efficienza energetica EEI, equazione 3.1) tra I reale e target B_{tar} di diverse aziende:

$$EEI = \frac{I}{B_{tar}} \cdot 100\% \quad (3.1)$$

dove I è l'indicatore specifico del consumo energetico e B_{tar} è il valore obiettivo di riferimento.

Se in un settore si usano solo le migliori tecnologie d'impianto, l'EEI è pari a 100. Un EEI di 105 significa che I in media è del 5% superiore al livello di riferimento, cosicché il 5% dell'energia si potrebbe risparmiare nella struttura di processo considerata usando la tecnologia del livello di riferimento.

3.6.5.5 Fonti dei dati di benchmark

I dati di benchmark sono stati estratti dai documenti BAT sulle migliori tecnologie disponibili (in inglese: BREFs) e da altre fonti di letteratura per creare la base di dati di indicatori (benchmark/target) del software EINSTEIN. In questa banca dati, per ciascun valore di riferimento è specificata la fonte.

I valori di benchmark sono disponibili in letteratura per settore industriale, per sotto-settore, per prodotto o per singole operazioni (unit operation).

a) Classificazione per settore e sotto-settore industriale

La banca dati predefinita di EINSTEIN comprende alcuni valori di riferimento per i settori industriali analizzati in EINSTEIN, ciascuno identificato dal relativo codice NACE. Altri settori potranno essere inclusi in futuro o aggiunti dall'utente.

b) Classificazione per singole operazioni (unit operation)

Nella produzione industriale di beni, una singola operazione costituisce una fase di un processo. Ad

esempio, nella lavorazione del latte, omogeneizzazione, pastorizzazione, raffreddamento e imballaggio sono singole operazioni collegate tra loro a formare il processo produttivo globale. Per ottenere il prodotto desiderato, un ciclo produttivo può essere composto da molte operazioni singole.

Riferimenti bibliografici Capitolo 3.6.5:

- BAT Reference Documents (BREFs) for different industrial sectors. Pubblicato dalla Unione Europea sul sito <http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>.
- Vannoni et al. (2008): Review of Thermal Energy Auditing Practice and Tools. IEE Project EINSTEIN Project, Deliverable D2.2, 2008. Disponibile sul sito www.einstein-energy.net.

EINSTEIN Passo 6: analisi dello "status quo" (stato attuale)

> Controllo di coerenza dei dati

> Stima e/o acquisizione dei dati mancanti

> Scomposizione della domanda

> Calcolo delle prestazioni reali degli impianti

> Confronto con i dati di benchmark

3.7 Configurazione delle opzioni di risparmio e definizione preliminare degli obiettivi energetici

Come già descritto nel paragrafo 1.3, l'analisi sistematica del potenziale di risparmio energetico implica le seguenti fasi:

- × Riduzione della domanda di calore e di raffreddamento del processo grazie all'ottimizzazione del processo
- × Riduzione della fornitura richiesta di calore e di raffreddamento attraverso recupero di calore e integrazione dei processi
- × Cogenerazione e poligenerazione
- × Copertura della domanda di calore e freddo rimanente con tecnologie efficienti dal punto di vista energetico, che utilizzino quanto più possibile fonti di energia rinnovabili.

Come primo passo, è necessario progettare e dimensionare un sistema alternativo di generazione di calore e freddo. È necessario elaborare diverse alternative possibili che nella fase successiva saranno confrontate tra loro in termini di rendimento energetico ed economico al fine di scegliere la soluzione ottimale.

L'analisi della domanda di calore e freddo e il potenziale di recupero di calore/integrazione dei processi consentono anche di stabilire a priori obiettivi energetici (target) che possono essere usati come riferimento per valutare il rendimento calcolato del sistema reale.



Figura 21. Fasi dell'elaborazione e valutazione di proposte alternative (audit EINSTEIN passi 7 – 9).

3.7.1 Lista di misure di risparmio energetico

Dopo aver raccolto e documentato i dati relativi alla domanda di energia, analizzato le statistiche ed effettuato il raffronto con i valori di benchmark, il prossimo passo consiste nel prendere in considerazione le possibili misure di risparmio energetico che potrebbero migliorare l'efficienza energetica dei processi produttivi.

Esistono molti manuali di efficienza energetica e casi di studio che descrivono il potenziale di risparmio conseguibile con misure che agiscono sul lato della domanda. Una lunga lista di rilevanti pubblicazioni è stata raccolta all'interno del resoconto pubblicato nell'ambito del progetto EIE, EINSTEIN, sulle pratiche e strumenti per l'audit termo-energetico [Vannoni et al. 2008]. In questo documento, le misure sono state elencate per settore produttivo e per tipo di impianto al fine di fornire al lettore un quadro strutturato delle opportunità di risparmio.

Opportunità di risparmio energetico risiedono in primo luogo nelle ordinarie attività di manutenzione e gestione che vengono svolte regolarmente e mai meno di una volta all'anno.

Di seguito ne sono riportate alcune:

- * regolare e stringere a fondo le valvole con particolare attenzione alle valvole che regolano il passaggio di aria esterna, miscelatrici e di by-pass
- * regolare la velocità di motori di ventole e pompe
- * sostituire i filtri dell'aria
- * spegnere i sistemi di trattamento dell'aria (esausta) quando i processi non sono in funzione
- * spegnere le luci e altri strumenti che producono calore quando non richiesto
- * verificare e ricalibrare i sistemi di controllo, come ad es. i termostati, le sonde per la misurazione della temperatura di aria e acqua; verificare le impostazioni dei timer
- * sostituire o inserire le coibentazioni danneggiate o mancanti nelle tubature e nei sistemi di canalizzazione
- * in caso di perdite, sostituire o riparare le condotte dell'aria
- * mantenere pulite le superfici degli scambiatori di calore, gli impianti di riscaldamento e le serpentine di riscaldamento
- * definire delle norme di comportamento negli ambienti al fine di ottimizzare i rinnovi di aria
- * stabilire temperature minime e massime per il riscaldamento e raffrescamento, e ricalibrare di conseguenza i sistemi di regolazione e controllo
- * adattare le portate d'aria alle diverse condizioni di occupazione ed uso degli ambienti .

Riferimenti bibliografici:

- C.Vannoni et al. (2008): EINSTEIN Report: *Review of Thermal Energy Auditing Practices and Tools*. IEE Project EINSTEIN, Project deliverable D2.2. Disponibile sul sito www.einstein-energy.net

3.7.2 Ottimizzazione del processo: elenco delle tecnologie efficienti per singole operazioni, opportunità di risparmio dal lato della domanda

3.7.2.1 Ottimizzazione dei processi industriali

Un secondo passo più approfondito per analizzare le possibilità di risparmio dal lato della domanda consiste nell'analizzare ogni singolo processo. Ogni unità operativa può essere valutata in relazione alla propria efficacia ed efficienza. Le misure possibili per migliorare i processi sono:

- cambiamento della tecnologia in uso
- miglioramento del processo attraverso una migliore regolazione.

Esistono numerose fonti di letteratura che descrivono le misure di efficienza energetica per i vari settori e i nuovi sviluppi realizzati da impiantisti, operatori, fornitori di tecnologia e ricercatori.

L'Unione Europea ha elaborato dei documenti settoriali che riassumono le attuali *migliori tecniche disponibili*¹² mirando, tra le altre cose, ad un uso efficiente dell'energia.

Questi documenti di riferimento sulle migliori tecniche disponibili (BREFs) nei diversi settori sono stati pubblicati dalla Commissione Europea sul sito: <http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>

Di particolare interesse per gli scopi di questo progetto sono i documenti su:

A. Efficienza energetica:

- *Integrated Pollution Prevention and Control, Draft Reference Document on Energy Efficiency Techniques, June 2008*

B. Sistemi di calore e di alimentazione a freddo:

- *Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), Reference Document on the application of Best Available Techniques to Industrial Cooling Systems, December 2001*
- *Integrated Pollution Prevention and Control, Reference Document on Best Available Techniques for Large Combustion Plants, July 2006*

C. Documenti specifici di settore per diversi altri settori industriali.

Nell'ambito del Task 33/IV della IEA sul calore solare di processo, è stata compilata una matrice di indicatori che riporta sistematicamente informazioni sia sull'ingegneria di processo sia energetiche relativamente ai settori industriali potenzialmente più idonei per l'applicazione di sistemi solari. L'obiettivo di tale iniziativa era quello di creare un sistema di supporto alle decisioni che fornisse all'utente una banca dati completa su tutte le fasi cruciali da considerare nella progettazione di un sistema solare termico per processi industriali. Tali passi prevedono la descrizione dei processi; la conoscenza di parametri importanti sulla fornitura di energia a singole operazioni, di benchmarks sul consumo di energia e di tecnologie competitive; schemi idraulici per l'integrazione del solare e casi studio di successo. Nella sezione sulle tecnologie competitive, le tecnologie di risparmio energetico sono elencate per diverse operazioni (unit operations). La matrice degli indicatori è stata succesivamente arricchita dall'istituto austriaco AEE INTEC e dalla Univeristy of Tecnology di Graz, ed

¹² Come stabilito nella nell'[Articolo 2.11](#) della Direttiva IPPC, per "migliori tecniche disponibili" si intende lo stadio più efficiente ed avanzato nello sviluppo di attività e metodi di esercizio che indicano l'idoneità pratica di determinate tecniche a costituire, in linea di massima, la base per i valori limite di emissione intesi ad evitare oppure, ove ciò non sia possibile, per ridurre le emissioni e l'impatto sull'ambiente nel suo complesso. "Tecniche" si intende sia le tecniche impiegate sia le modalità di progettazione, costruzione, manutenzione, esercizio e chiusura dell'impianto; "Disponibili" qualifica le tecniche sviluppate su una scala che consenta l'applicazione in un pertinente comparto industriale, in condizioni economicamente e tecnicamente valide, prendendo in considerazione i costi e i vantaggi, sia che le tecniche siano applicate o prodotte nello Stato membro Stato in questione o no, purché siano ragionevolmente accessibili all'operatore; "migliori" qualifica le tecniche più efficaci per ottenere un elevato livello di protezione dell'ambiente nel suo complesso.

é accessibile in forma di base di dati sul sito <http://wiki.zero-emissions.at>

Il software EINSTEIN ha costruito le proprie conoscenze su queste fonti di informazione (in parte raccolte proprio nell'ambito del progetto EINSTEIN) e le ha trasformate in una banca dati dove l'utente può cercare:

- a) Misure generiche di risparmio energetico
- b) Misure di risparmio specifiche per le singole operazioni di un sistema produttivo.

La struttura incentrata sulle singole operazioni e collegata in base alla rilevanza ai diversi settori produttivi consente di navigare nella banca dati per cercare tecnologie e pratiche efficienti valide per singole operazioni o misure di risparmio energetico relative a specifiche tecnologie. La Tabella 9 illustra la struttura della banca dati attraverso alcuni esempi (escluso il riferimento ai settori in cui queste tecnologie e misure di risparmio sono già applicate).

Tabella 9. Esempi informazioni contenute nella banca dati EINSTEIN sulle misure di risparmio energetico e le migliori tecniche disponibili per l'industria alimentare.

UNIT OPERATION	TYPICAL PROCESS	TECHNOLOGY	ENERGY EFFICIENCY MEASURE
01-CLEANING	0101-Cleaning of bottles and case	General measures	Install heat exchangers to recover thermal energy from condensate in its bottle washing section and fuel oil heater condensate
01-CLEANING	0101-Cleaning of bottles and case	Methodology	Cascaded use of wash water
01-CLEANING	0103-Cleaning of production halls	General measures	Low temperature detergents in washing: Use of final rinsing water for pre-rinsing, intermediate rinsing or the preparation of cleaning solution (often used in CIP systems); turbidity detectors can optimize the reuse of water
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Flash pasteurization	Reuse pasteurizing overflow water
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Tunnel pasteurization	Use store heat / solar heat for heating system for start up
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Tunnel pasteurization	High efficiency pumps, VS drives
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Tunnel pasteurization	Preheat incoming containers (ambient air, solar)
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Tunnel pasteurization	Local generation of hot water
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Tunnel pasteurization	Use of hot water instead of steam (no distribution losses, no HEX losses etc.)
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Tunnel pasteurization	Insulating high temperature zones of unit
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Tunnel pasteurization	Thinner glass / more conductive materials lower the driving temperature (temp drop across glass now: 5-15°C)
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Tunnel pasteurization	Even heating/cooling increase heat transfer and shorten process times
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Tunnel pasteurization	Immersion, spraying from below, or other heat transfer systems may increase internal convection and allow process time to be shorter
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Tunnel pasteurization	Aiming at very little temperature increase of containers leaving the unit (normally +20°C compared to entrance temp)
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Tunnel pasteurization	Evaporatively cooled water, absorption or ejector cooling with waste heat or other strategies may be used for cooling, if necessary
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Microwave pasteurization	Reuse pasteurizing overflow water
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Mechanical pasteurisation	Possible use in conjunction with heat recovery or at variable basis to achieve specified temperatures where variable heat sources are available or flow rates vary. Efficiency at 90% (conversion from electricity). Power from cogeneration can enhance economic/ecological performance. Reducing pressure drop over filters is decisive. Strategies using centrifuges
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Irridation for pasteurisation	
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Ultrasonic pasteurisation	
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Ultraviolet radiation for sterilization	
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Microfiltration for sterilization and clarification	
07-COOKING	0701-Cooking and boiling	General measures	Use of vapour condensers in wort boiling to collect hot water from condensate
07-COOKING	0701-Cooking and boiling	Wort boiling with mechanical vapour recompression	
07-COOKING	0701-Cooking and boiling	Wort boiling with thermal vapour recompression	
07-COOKING	0701-Cooking and boiling	Steineker Merlin wort boiling system	
07-COOKING	0701-Cooking and boiling	Brewing at high specific gravity	

La banca dati è strutturata in modo da riassumere le migliori tecnologie disponibili e le opportunità di ottimizzazione dei processi per le diverse operazioni, in diversi settori. Ciò consente all'utente di imparare da soluzioni applicate in altri settori industriali per risolvere problematiche simili.

Per ulteriori informazioni sulle tecnologie e sulle misure di efficienza proposte è possibile cliccare su un link ad una *Wiki Web on Energy Efficiency*. Nell'ambito di tale *Wiki Web* è pubblicata la matrice degli indicatori dei processi industriali (sviluppata nel Task 33/IV della IEA), mentre le sezioni sulle tecnologie competitive vengono continuamente ampliate per includere ulteriori dettagli sulle tecnologie efficienti e sulle migliori tecniche disponibili.

Strumenti e funzioni del modulo di ottimizzazione dei processi:

- × Banca dati sulle migliori tecnologie disponibili e sulle misure di ottimizzazione dei processi per le diverse operazioni (*unit operations*)
- × Strumento di ricerca delle possibilità di ottimizzazione della tecnologia e delle attrezzature usate nei processi.

3.7.2.2 Riduzione della domanda energetica negli edifici

Le principali misure di miglioramento dell'efficienza energetica negli edifici si possono suddividere in interventi BASE e ATTIVI (vedi figura 22).

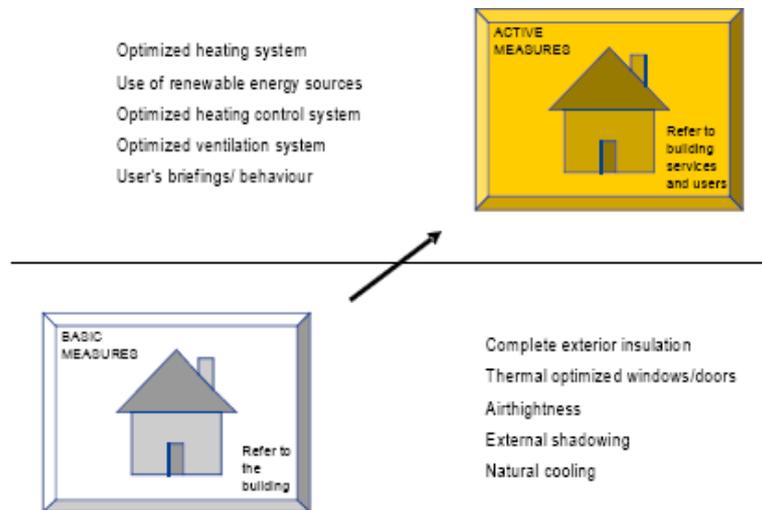


Figura 22. Interventi BASE e ATTIVI per il miglioramento della efficienza energetica e del comfort (Rif: AEE INTEC)

A seconda della posizione degli edifici in fasce climatiche calde, temperate o fredde (distinguibili in base alle temperatura esterna minima e media durante il periodo di riscaldamento, alla temperatura esterna media durante l'estate, ai gradi giorno e alla radiazione solare) possono essere suggerite sei misure principali al fine di ottenere una ottimizzazione dei sistemi di riscaldamento e raffreddamento degli edifici (misure suggerite per zone climatiche in Europa [Knotzer e Geier, 2010]).

Completo isolamento esterno

In tutti i climi vi è la necessità di edifici isolati: lo spessore dello strato varia da 5 cm nel Sud Europa sino a 40 cm nella parte nel Nord Europa. Prima di isolare è fondamentale indagare i componenti edilizi (le pareti, i soffitti ...) a fondo per individuare possibili infaltrazioni di umidità. Se ce ne sono, per prima cosa andrebbero sanificate. Per ragioni costruttive, lo strato isolante dovrebbe essere posizionato sul lato esterno della struttura portante. Così sarà più facile evitare ponti termici, isolare gli infissi e mantenere la massa termica dei componenti edilizi all'interno del guscio termico dell'edificio. L'isolamento interno viene utilizzato principalmente per gli edifici storici, ma in questo caso è più difficile gestire le problematiche legate al comportamento termico degli edifici. Con queste misure le perdite di calore di trasmissione possono essere ridotte e i ponti termici possono essere evitati con conseguente riduzione del fabbisogno energetico dell'edificio fino al 70%. Anche il comfort termico all'interno dell'edificio può essere migliorato.

Finestre e porte ottimizzate termicamente

In tutti i climi europei abbiamo la necessità di un migliore isolamento di finestre e porte. Questo è molto importante per i climi temperato e freddo, ma lo è sempre più spesso anche nei climi caldi. Non solo il valore di isolamento di porte e finestre in sé è molto importante per migliorare l'efficienza energetica degli edifici, ma anche il loro fissaggio nella guaina – lo strato di isolamento esterno dovrebbe coprire una parte importante del telaio della finestra (sul posto) per limitare dispersioni termiche e infiltrazioni di aria fredda. Con ciò possono essere ridotte le perdite per ventilazione e migliorato l'apporto solare passivo con conseguente riduzione della domanda energetica dell'edificio fino al 25%. Si migliorano in questo modo anche le condizioni interne, aumenta il comfort, diminuiscono le correnti di aria e le superfici fredde così come il rischio di condensa.

Ermeticità

In tutti i paesi europei, ma soprattutto in quelli a clima freddo e temperato, vi è la necessità di una costruzione con involucro a tenuta d'aria. La cosa più importante è decidere dove l'involucro a tenuta d'aria si trova (lato interno delle pareti esterne o tra facciata vecchia e nuova, ecc.) e come finestre, porte e fessure dell'edificio sono integrate in nell'involucro ermetico. Con tali misure, infiltrazioni / perdite per ventilazione

possono essere ridotti; possono essere migliorate le condizioni interne ed il comfort, e ridotti le correnti di aria e le superfici fredde così come il rischio di condensa.

Schermatura esterna

Questa misura è necessaria per mantenere il comfort termico durante la stagione calda. Naturalmente è importante in climi caldi, ma la sua importanza anche in climi freddi è notevolmente in aumento. Ci sono varie ragioni per questo fenomeno, come ad esempio un aumento del carico termico interno (dovuto ad attrezzature tecniche, illuminazione ecc.), alla realizzazione di grandi superfici vetrate senza possibilità di ombreggiatura, ecc. Con le schermature parasole possono essere ridotti la necessità di condizionamento estivo ed il consumo energetico per l'impiego di luce artificiale, sostituibile con luce naturale. Il comfort interno può essere quindi migliorato evitando il surriscaldamento estivo e impiegando luce naturale.

Raffrescamento naturale

Nei climi caldi europei, sia un tetto ventilato sia una copertura ed una facciata colorati di chiaro sono molto utili per proteggere l'edificio dal calore. La ventilazione naturale e il raffrescamento passivo (free cooling) di notte, combinati con l'isolamento esterno e lo stoccaggio di calore interno, sono utilizzati per controllare le condizioni climatiche interne nella stagione estiva anche in climi freddi. Con ciò la domanda di condizionamento può essere ridotta e il surriscaldamento evitato.

Informazione/ comportamento dell'utente

Ogni processo di ristrutturazione degli edifici comporta prima di tutto uno sforzo tecnico e organizzativo, ma anche un impegno sociale e comunicativo, nell'indirizzare i residenti (gli utenti) al miglioramento dell'efficienza e dell'ambiente interno. E' molto importante dare agli utilizzatori strumenti e informazioni tali da consentirgli di imparare a gestire le cose con cui avranno a che fare (servizi legati all'edificio, domanda di elettricità di diversi dispositivi, sistema di ventilazione, ecc.). In tal modo l'uso finale di energia diminuisce, aumenta l'efficienza e il clima interno diventa più stabile.

Il riscaldamento solare negli edifici nonresidenziali

In un edificio nonresidenziale la domanda specifica di energia per il riscaldamento varia a seconda della temperatura di comfort, del tasso di ricambio dell'aria, della qualità dell'isolamento e dei guadagni interni. Nell'ambito del Task 33/IV della IEA, AEE INTEC ha simulato diversi scenari per un edificio di riferimento in Austria (domanda di riscaldamento: 70 kWh/m²a; area di 1.000 m²; 6 m di altezza; 1 turno; 15 operai ed un guadagno per l'illuminazione interna di 5 W/m²). E' stato dimostrato che, rispetto all'edificio di riferimento, la domanda di riscaldamento può aumentare fino a 105 kWh/m²a riducendo l'isolamento e fino a 150 kWh/m²a se, oltre a ridurre l'isolamento, viene incrementato il tasso di ricambio d'aria. Attraverso i guadagni interni derivanti dal funzionamento delle macchine, la domanda di riscaldamento può essere invece ridotta fino a circa 50 kWh/m²a. Sulla base del lavoro condotto nell'ambito del Task 33/IV, si può concludere che l'energia solare termica può essere vista come una buona soluzione per il riscaldamento di edifici industriali se non il calore di scarto derivante dai processi non è sufficiente a coprire questo fabbisogno (per ulteriori informazioni vedere Jähmig e Weiss [2007]).

Per ulteriori approfondimenti:

- Knotzer, A., Geier, S. (2010): SQUARE - A System for Quality Assurance when Retrofitting Existing Buildings to Energy Efficient Buildings, Energy Improvement Measures and their Effect on the Indoor Environment, SQUARE project (EIE/07/093/SI2.466701), Work Package 5 Energy Improvement Measures, Deliverable 5.1 report, AEE INTEC, Gleisdorf, Austria
- Jähmig, D., Weiss W., (2007): Design Guidelines – Solar Space Heating of Factory Buildings – With Underfloor Heating Systems, Booklet prepared as part of the IEA Task 33/IV – Solar Heat for Industrial Processes, published by AEE INTEC, Gleisdorf, Austria

3.7.3 Progettazione preliminare della rete di scambiatori e di accumulo del calore

Dopo aver raccolto tutti i dati necessari e aver analizzato il potenziale di risparmio energetico grazie all'uso di tecnologie di processo efficienti, il passo successivo del metodo di audit è un'analisi strutturata dei risparmi energetici futuri potenziali tramite il recupero di calore. Questa fase è estremamente importante poiché l'applicazione di misure di efficienza energetica, prima di intervenire sull'impianto di generazione di energia, garantisce una base efficiente per la realizzazione di un sistema energetico sostenibile ed evita il sovra-dimensionamento dell'impianto stesso.

L'integrazione del calore è un metodo consolidato per ottimizzare i processi termici fin dagli anni '70 [Linnhoff and Hindmarsh 1983]. Con l'analisi Pinch (descritta nei particolari nel paragrafo 2.5) è possibile illustrare il recupero di calore potenziale conseguibile nell'ambito di un sistema di flussi di energia. Sulla base sia dei dati acquisiti sui processi e sugli impianti dell'impresa sia in base ai bilanci energetici, è possibile definire dei "flussi di entalpia" che illustrano rispettivamente la domanda di energia o la disponibilità di energia di un processo.

Come esempio, la Tabella 10 riporta i flussi di energia in una macchina lava-bottiglie caratterizzata dai seguenti parametri:

- * Volume della vasca interna alla macchina: 5 m³
- * Temperatura dell'acqua fredda = 10°C
- * Temperatura dell'acqua nella macchina = 60°C
- * Portata di acqua fredda in ingresso durante il funzionamento continuo = 10 m³/g
- * Potenza erogata durante il funzionamento (riscaldamento dell'acqua in entrata, perdite di calore, evaporazione trascurabile) = 90 kW
- * Orario di funzionamento: avvio dalle 6:00 alle 6:30; funzionamento continuo dalle 6:30 alle 16:00
- * Temperatura del acque reflue = 50°C
- * Temperatura a cui possono essere raffreddate le acque reflue: 5°C.

Tabella 10. Flussi di entalpia per una macchina lava-bottiglie.

Nome	Temperatura iniziale	Temperatura finale	Portata	Potenza richiesta/calore di scarto	Orario di funzionamento
	°C	°C	Kg/ora	kW	
Avviamento (Start up)	10	60	10.000	582	6:00 – 6.30
Riscaldamento continuo dell'acqua in entrata	10	60	1.053	61	Dalle 6:30 alle 16:00
Calore addizionale erogato durante il funzionamento (a causa delle perdite di calore)	60	60	-	29	Dalle 6:30 alle 16:00
Acqua di scarto	50	5	1.053	55	Dalle 6:30 alle 16:00
Acqua di scarto dopo lo spegnimento della macchina	50	5	10.000	524	16:00 – 16:30

Tali flussi si possono definire per qualsiasi processo e impianto. Ci si concentrerà dunque sui flussi più rilevanti dal punto di vista termico. Sulla base della precedente tabella dei flussi, è facile disegnare la curva composta di calore e freddo, ed illustrare il potenziale teorico massimo di recupero di calore per un dato ΔT_{\min} degli scambiatori di calore (cfr. anche il paragrafo 2.5).

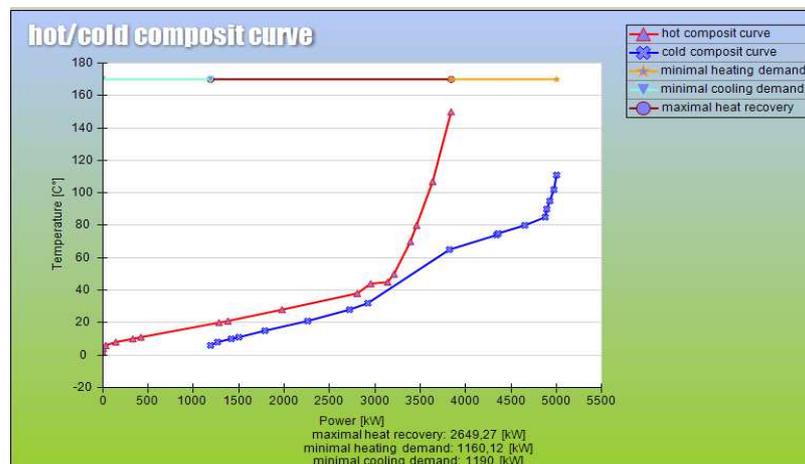


Figura 23. Curva Composita di Calore e Freddo per un'industria casearia produttrice di latte, formaggio, cagliata e burro

La Grande Curva Composita illustra il recupero di calore potenziale del processo in modo leggermente diverso, ma sulla base dei medesimi dati (cfr. il paragrafo 2.5 per maggiori dettagli). Essa riporta la differenza tra la Curva Composita del calore e quella del freddo, consentendo di individuare la quantità di calore/freddo necessaria dall'esterno, ai diversi livelli di temperatura.



Figura 24. Grande Curva Composita di un'industria casearia produttrice di latte, formaggio, cagliata e burro

Sulla base del potenziale teorico, si procede quindi a identificare una rete di scambiatori di calore realizzabile dal punto di vista tecnico ed economico. Per farlo, è necessario tenere conto di alcuni criteri generali:

- × Uso del calore ad una certa temperatura per riscaldare altri flussi a un livello di temperatura simile (bisognerebbe evitare di "distruggere" energia di alta qualità - a temperature elevate - per applicazioni a bassa temperatura)
- × Potenza dello scambio di calore
- × Energia totale trasferibile attraverso gli scambiatori di calore
 - Orari di funzionamento dei processi: quando quali flussi sono in funzione e si possono usare per uno scambio di calore diretto
 - Serbatoi di accumulo: sono necessari accumuli per lo scambio di calore tra due flussi? A quanto ammontano le perdite di accumulo e quanta energia si può trasferire in totale?
- × Bisogna dare priorità all'integrazione di calore all'interno dello stesso processo - uso diretto del

calore di scarto

- ✘ L'uso di calore di un flusso, che deve essere raffreddato da una macchina frigorifera, per riscaldare un altro processo aumenta il risparmio energetico sia grazie al recupero di calore sia perché ciò consente di ridurre l'energia (elettrica) necessaria per raffreddare il flusso
- ✘ La distanza fisica tra la fonte di calore (flusso caldo) e utilizzatore di calore (flusso freddo)
- ✘ Questioni pratiche, come i fattori di sporco, necessità di uno scambio di calore indiretto attraverso un fluido di trasferimento di calore, aspetti legati a temperatura e pressione, ecc.
- ✘ Costi di investimento e costi dell'energia risparmiata.

Questi calcoli si possono fare a mano, ma per i sistemi complessi questa fase può richiedere molto tempo. Diversi gruppi di ricerca hanno sviluppato degli algoritmi in grado di elaborare una proposta automatica di reti di scambiatori di calore, tuttavia questi non tengono conto del tempo né contemplano la progettazione degli accumuli. Dare priorità al recupero di calore interno e puntare alla massimizzazione del risparmio globale su tutta la rete generalmente sono aspetti che non sono tenuti in considerazione.

All'interno del progetto EINSTEIN si applica un metodo basato sulla massimizzazione del recupero di energia [Kemp, 2007] che utilizza elementi di base della teoria *pinch* [Linhoff e Hindmarsh 1983] per la progettazione automatica di una rete di scambiatori di calore. Le dimensioni degli scambiatori di calore vengono determinate in base ai valori nominali della capacità termica ($q_m C_p$) dei flussi di energia disponibili. Successivamente, nell'ambito della fase di simulazione, le prestazioni dello scambiatore di calore vengono determinate sulla base di entalpie e temperature variabili nel corso del tempo. In questa fase, viene calcolata anche la dimensione approssimativa di un serbatoio di accumulo dell'energia.

Progettazione dell'accumulo d'energia

Per sviluppare reti di recupero di calore nell'industria è importante tenere in considerazione i processi discontinui a lotti e la progettazione dell'accumulo. Innanzitutto, è necessario definire gli orari di funzionamento dei diversi processi in una settimana tipo. Per avere l'orario di funzionamento reale, non sono importanti solo l'inizio e la fine dei turni, ma anche quanti lotti vengono operati, quanto dura un lotto, ecc. La Figura 25 illustra l'esempio di un fermentatore caseario.

In un fermentatore caseario del tipo descritto, per prima cosa il latte viene pre-riscaldato, poi viene lasciato nel fermentatore e parallelamente si aggiunge acqua di lavaggio pre-riscaldata, infine si estrae il siero e si raffredda. Per questo processo così delicato supponiamo che il fermentatore debba essere pulito dopo ogni due lotti. Se due linee di fermentazione funzionano in parallelo, l'orario diventa più continuo, perché le due linee parallele possono funzionare in maniera scaglionata.

Ovviamente, la gestione del funzionamento e una pianificazione intelligente della domanda di calore possono non solo ridurre i picchi di carico, ma anche aumentare la continuità dei flussi.

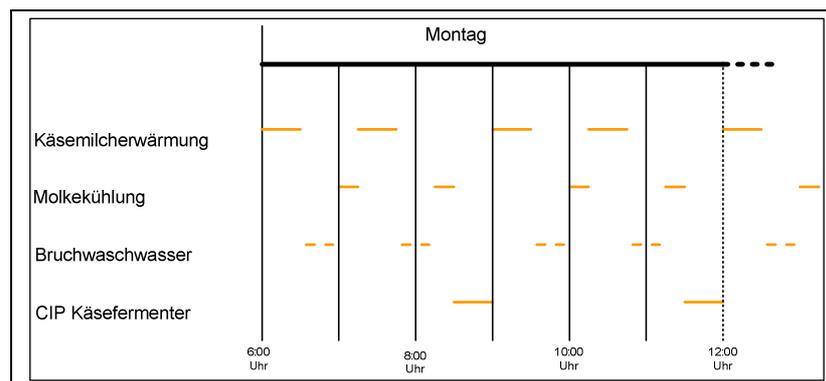


Figura 25. Orario di funzionamento di un fermentatore caseario

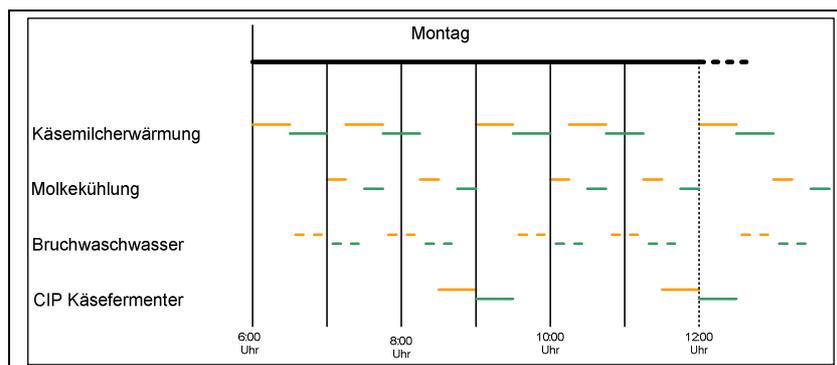


Figura 26. Orario di funzionamento di due fermentatori caseari in modalità scaglionata

Esistono, tuttavia, molti esempi in cui non è possibile ottenere una continuità assoluta dei processi. Nell'esempio del fermentatore, si nota che ci sono ancora interruzioni negli orari di produzione. Supponendo che vogliamo scambiare calore tra il latte da pre-riscaldare e il siero da raffreddare, non possiamo soddisfare tale scambio di calore senza accumulo.

Si può allora applicare un modello cosiddetto "time slice", ovvero di suddivisione del tempo in intervalli. Gli intervalli di tempo sono definiti secondo gli orari di inizio e fine dei processi. Esistono quattro tipi di intervalli di tempo:

1. è disponibile solo la fonte di calore
2. c'è solo richiesta di calore da parte dell'utilizzatore
3. fonte e utilizzatore funzionano contemporaneamente
4. assenza di flusso.

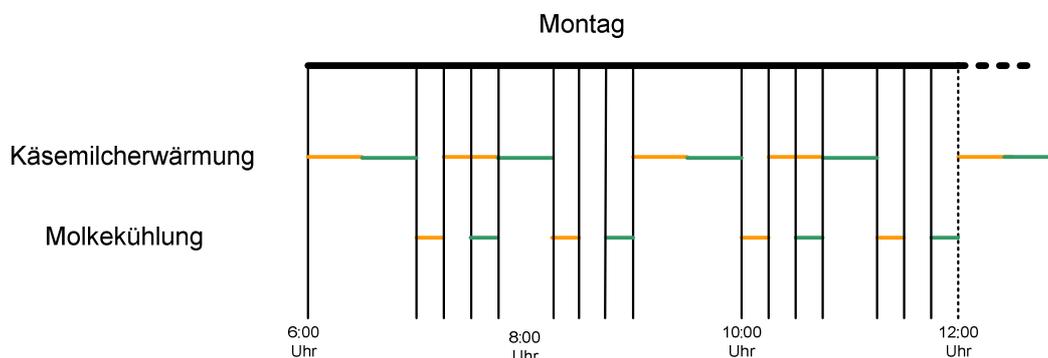


Figura 27. Modello time slice applicato al pre-riscaldamento del latte per la produzione di formaggio e al raffreddamento del siero

Esistono alcune metodologie che applicano "gli intervalli di tempo" all'intera rete di flussi e poi calcolano le reti di scambiatori di calore per ciascuna porzione temporale. Si propone qui una metodologia diversa, che prima sceglie due flussi per uno scambiatore di calore secondo alcuni dei criteri sopraccitati, ne calcola la capacità di accumulo usando il modello delle porzioni di tempo e, infine, calcola l'energia totale trasferibile tra i due flussi. Quanto sopra, si fa per molte combinazioni di flussi e alla fine si sceglie il migliore (maggior risparmio di energia con uno scambiatore di calore).

Per ciascun intervallo temporale è possibile calcolare la diversa domanda e disponibilità di energia. Queste eccedenze di energia o questa domanda di energia saranno la base per la progettazione dell'accumulo. Tale progettazione è il risultato di una simulazione che tiene conto dell'accumulo, delle sue dimensioni corrette, del volume di accumulo attuale e delle relative perdite, in ciascun intervallo di tempo.

È importante sottolineare che questa pre-progettazione dell'accumulo di energia si basa esclusivamente su una simulazione dell'energia per serbatoi standard, e mostra la quantità di accumulo proposta per ciascuno scambiatore di calore. Su questa base, l'esperto può scegliere quanti accumuli, a quali livelli di temperatura, installare.

Scambiatori di calore proposti e progettazione

Con l'obiettivo del maggior trasferimento di energia possibile, gli scambiatori di calore proposti in questa fase concettuale saranno tutti scambiatori di calore controcorrente.

Per poter fare una prima stima dei costi d'investimento negli scambiatori di calore, è necessario definire l'area dello scambiatore. Come specificato nel paragrafo 2.5, un compromesso tra energia risparmiata e costi d'investimento è possibile e dipende dalla scelta della ΔT_{\min} . In letteratura esistono valori standard in merito a quale ΔT_{\min} scegliere in base alla temperatura e allo stato fisico del flusso di massa (liquido, gassoso, condensato).

Inoltre, bisogna definire il coefficiente di scambio termico per calcolare l'area necessaria per lo scambio di calore. Per una prima stima, è possibile determinare valori medi per i diversi stati fisici dei flussi, che devono essere successivamente ricalcolati tenendo conto delle reali caratteristiche del flusso.

La tabella a seguire riassume alcuni valori standard applicati in EINSTEIN.

Tabella 11. Valori standard per ΔT_{\min} e per il coefficiente di scambio termico α

Stato fisico	ΔT_{\min} [°C]	Coefficiente di trasferimento di calore α αU [W/m [W/m ² K]
Liquido	5	5.000
Gassoso	10	100
Condensato	2,5	10.000

Nella pratica, i coefficienti di scambio termico globale $U = (1/\alpha_1 + s/k + 1/\alpha_2)^{-1}$ dipendono sia dal tipo di scambiatore di calore e dalla turbolenza creata, sia dal materiale con cui è costruito lo scambiatore di calore. Tuttavia, i coefficienti medi relativi a ciascun flusso nello scambiatore, riportati nella tabella precedente, costituiscono una buona base per stimare i coefficienti di trasferimento di calore totale per diversi tipi di scambiatori di calore. Come materiale per la determinazione di un valore di riferimento, si può scegliere l'acciaio inossidabile.

Tabella 12. Tipi di scambiatori di calore e coefficienti di scambio termico globale

Scambio di calore	Tipo di scambiatore di calore scelto in EINSTEIN	Coefficiente di scambio termico globale (materiale = acciaio inossidabile) U [W/m ² K]	Valori medi riportati nei Compendi sul calore della Associazione tedesca degli Ingegneri (VDI) [W/m ² K]
Liquido - liquido	Scambiatore di calore a piastra	2.143	1000 – 4000
Gassoso - liquido	A fascio tubiero	97	15-70
Condensato - liquido	A fascio tubiero	2724	500 – 4000
Gassoso - gassoso	A fascio tubiero	50	5-35
Condensato - gassoso	A fascio tubiero	99	20 - 60

Come si può notare, per una prima stima si considerano solo scambiatori di calore a piastra e a fascio tubero. Una volta stimata l'area per il trasferimento di calore, per una stima preliminare dei costi, è altresì importante la scelta del tipo di scambiatori di calore. A tal fine, si possono usare i metodi di calcolo dei costi presenti in letteratura o acquisire dati dai fornitori.

Domanda di calore e curve di disponibilità

Dopo aver progettato gli scambiatori di calore e definito i risparmi realizzabili grazie al recupero di calore, si possono determinare la domanda di calore rimanente e le curve di disponibilità che fungeranno da base per la progettazione ulteriore di sistemi di fornitura di energia. Le curve di carico annue costituiscono una buona base per la progettazione di nuovi impianti energetici, poiché evidenziano quanto calore è richiesto per quante ore all'anno. Su questa base è possibile determinare le dimensioni ideali dell'impianto e le rispettive ore a pieno carico.

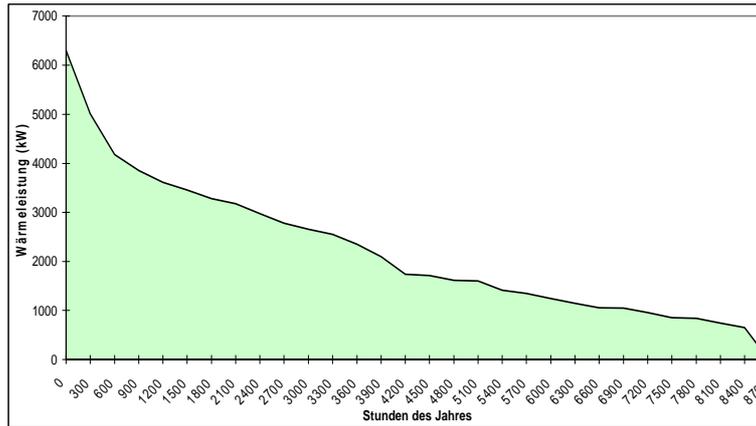


Figura 28. Curva di carico annua

Tali curve di carico possono essere determinate a valle dell'analisi Pinch sulla base dei dati sui flussi energetici e i relativi tempi di funzionamento. Poiché nei flussi energetici si definiscono anche le temperature, è possibile determinare le curve di carico della domanda di calore a diversi livelli di temperatura. In questo modo, l'esperto può progettare impianti di generazione adatti, secondo la domanda di calore esistente a diversi livelli di temperatura (per ulteriori informazioni, cfr. il paragrafo 3.7.4).

Riprogettazione della rete di scambiatori di calore in seguito al cambiamento dei sistemi di generazione dell'energia

In alcuni casi, potrebbe essere importante riprogettare la rete di scambiatori di calore dopo che sono stati cambiati gli impianti energetici, ad esempio, nel caso in cui in uno scambiatore di calore circoli il gas di scarico della caldaia esistente, che successivamente venga sostituita da una nuova caldaia a biomassa integrata ad un impianto solare. L'esperto deve sempre controllare la rete di scambiatori di calore proposta dopo aver modificato il sistema di generazione dell'energia. In EINSTEIN, è possibile rifare il calcolo della rete di scambiatori di calore sulla base del nuovo bilancio energetico effettuato considerando eventuali impianti alternativi.

Per approfondimenti e riferimenti :

- Brienza, Gandy, Lackenbach (Eds.) (1983): *Heat Exchanger Design Handbook*. Hemisphere Publishing, New York, 1983.
- Kemp, I.C. (2007): *Pinch Analysis and Process Integration*. Elsevier, Amsterdam, 2007.
- Linnhoff B., Hindmarsh E. (1983): *The Pinch Design Method for Heat Exchanger Networks*, Chemical Engineering Science 38, No.5, 745-763.
- Morand R., Bendel R., Brunner R., Pfenninger H. (2006): *Prozessintegration mit der Pinchmethode*, Handbuch zum BFE-Einführungskurs. Bundesamt für Energie, Bern, 2006.
- Schnitzer H., Ferner H. (1990): *Optimierte Wärmeintegration in Industriebetrieben*. DBV Verlag, Graz, 1990.
- Richard Turton, Richard C. Bailie, Wallace B. Whiting, Joseph A. Shaeiwitz (1998). *Analysis, Synthesis and Design of Chemical Processes*. Prentice Hall International Series, Old Tappan, 1998.
- Verein Deutscher Ingenieure (2006). VDI Wärmeatlas

3.7.4 Progettazione preliminare di possibili sistemi di fornitura alternativi (compresa la sostituzione dei combustibili e del sistema di distribuzione)

L'obiettivo

Una volta esaminate e applicate le opportunità di recupero di calore e di modifica della temperatura dei processi (che generalmente richiedono un investimento di capitale inferiore rispetto alle modifiche al sistema di fornitura di calore e di raffreddamento e possono portare a una riduzione sostanziale della domanda di energia), la successiva fase fondamentale del metodo di audit EINSTEIN consiste nella preparazione e progettazione preliminare di sistemi di produzione dell'energia alternativi per ridurre ulteriormente il consumo di energia.

Un'opzione o una proposta di fornitura di calore e di raffreddamento alternativa è data dall'insieme dell'impianto di generazione di calore e di raffreddamento e del sistema di distribuzione, in grado di sostituire quello esistente e che rispetto a quest'ultimo consente un risparmio energetico e dei benefici ambientali ed economici. La progettazione preliminare di questo sistema alternativo implica la scelta dell'impianto più adatto e la valutazione delle sue prestazioni energetiche, in base alla domanda di calore e raffreddamento, alla disponibilità dei processi e alla loro distribuzione temporale.

Il punto di partenza della progettazione di un sistema di fornitura di calore e freddo è, dunque, l'analisi (suddivisione) della domanda di energia complessiva a valle dell'ottimizzazione del processo, del recupero di calore e della progettazione preliminare dell'accumulo, tenendo in considerazione i seguenti aspetti:

- × Livello di temperatura della domanda di calore residuale (dopo il recupero di calore)
- × Ammontare della domanda di energia termica e del calore di scarto disponibile
- × Distribuzione temporale della domanda di energia termica e del calore di scarto disponibile
- × Spazio disponibile
- × Fonti di energia alternativa disponibili e relativo costo (biomassa...).

Approccio metodologico

L'ottimizzazione dell'intero sistema di fornitura di calore e freddo si basa sull'ipotesi di una fornitura di calore a cascata (heat supply cascade) per soddisfare la domanda totale di calore e freddo:

- × Gli impianti più efficienti soddisfano il carico di base (elevato numero di ore di funzionamento), e a livelli di temperatura relativamente bassi.
- × Il picco di carico e/o la domanda residuale, a elevate temperature, sono soddisfatti da impianti meno efficienti, adatti allo scopo.

L'approccio della fornitura di calore a cascata non porta necessariamente alla situazione ottimale e non tiene conto delle caratteristiche specifiche di un dato sistema di distribuzione del calore, ma consente di elaborare una buona proposta preliminare che può poi essere ottimizzata manualmente, e adattata al caso specifico, dall'analista secondo la sua esperienza.

La fase di progettazione del sistema di fornitura completo si compone dei seguenti passi:

- × Scelta del tipo di impianto da utilizzarsi nella fornitura di calore a cascata e ordine nella cascata. Questa fase deve essere completata manualmente dal consulente, sebbene il software EINSTEIN propone automaticamente un ordine consigliato degli impianti.
- × Scelta della potenza di ciascun impianto della cascata, uno ad uno. A questo fine, il software EINSTEIN per alcune tecnologie si avvale dell'"assistente di progettazione" (design assistant). Questa progettazione preliminare, automatica o semi-automatica, può poi essere modificata manualmente, se lo si desidera.
- × Scelta della combinazione ottimale globale. Questa fase si fa fondamentalmente a posteriori con una strategia "per tentativi": si possono progettare una dopo l'altra diverse combinazioni alternative di

tecnologie, e poi confrontare il rispettivo rendimento energetico, ambientale ed economico.

- × In molti casi, l'ottimizzazione del recupero di calore deve essere sequenziale – la fornitura di calore e freddo deve avvenire ripetutamente (ripetizione della medesima sequenza varie volte), poiché un cambiamento nel sistema di fornitura può portare a modifiche nel calore di scarto disponibile e dunque può influenzare anche il potenziale di recupero di calore di scarto.

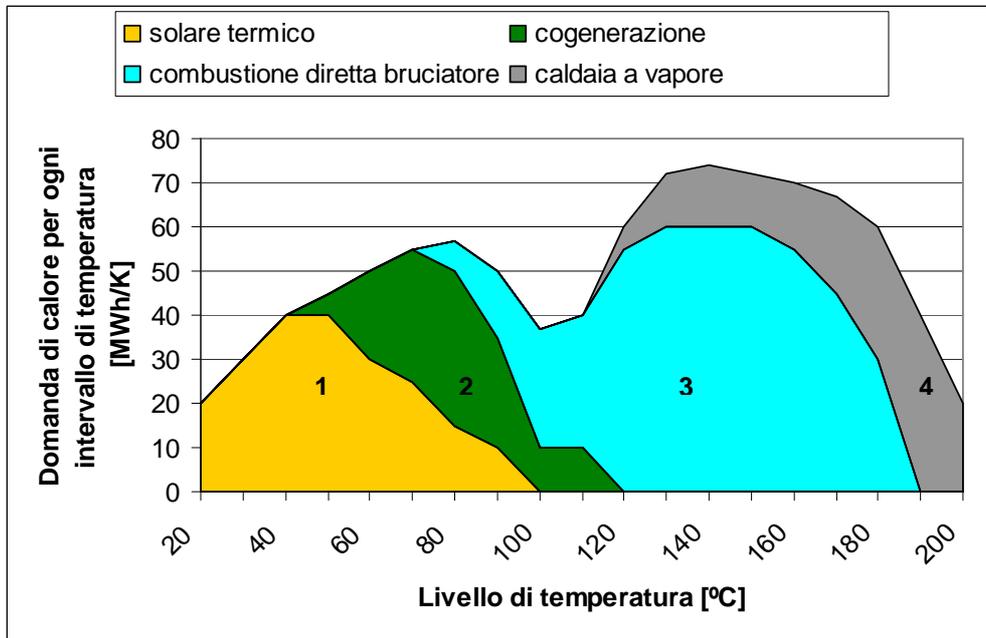


Figura 29. Esempio: contributo alla domanda aggregata di calore a diversi livelli di temperatura dei diversi tipi di impianti attraverso il modello a cascata

3.7.4.1 Accumulo di calore e freddo

Molte delle tecnologie di fornitura (di calore e freddo) ad efficienza energetica (come la cogenerazione, le pompe di calore, le energie rinnovabili, descritte nei paragrafi a seguire) si distinguono dalle tecnologie (attuali) "standard" in termini di:

- × Consumo di energia ridotto e dunque costi operativi ridotti
- × Costi d'investimento iniziali generalmente maggiori.

Mentre l'investimento iniziale è fisso (dipende solo dal tipo di impianto), il risparmio energetico aumenta con l'aumentare delle ore di funzionamento annue dell'impianto. Ciò significa che la fattibilità economica di queste tecnologie dipende molto dal grado di continuità di funzionamento (numero di ore di funzionamento).

Questi impianti dovrebbero dunque essere usati tipicamente per le applicazioni che gestiscono il carico di base, mentre il picco di carico può essere coperto in modo economicamente più vantaggioso da tecnologie meno costose, anche se meno efficienti dal punto di vista energetico.

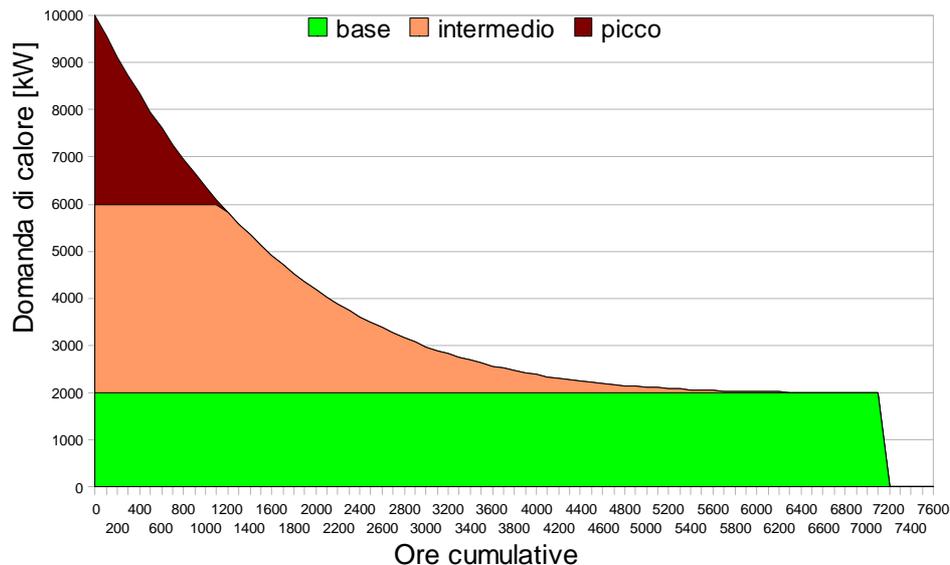


Figura 30. Scelta delle dimensioni dell'impianto per carico di base, intermedio e picco.

In molti casi si possono usare gli accumuli di calore e freddo per ridurre il picco di carico (visto dall'impianto di generazione) e aumentare la frazione del carico di base, consentendo così un aumento della percentuale di domanda totale da soddisfare con impianti efficienti dal punto di vista energetico.

Pertanto, un sistema di accumulo di calore e freddo ottimizzato non deve considerarsi in modo isolato, come tecnologia indipendente, ma come parte integrante di tutte le opzioni di produzione efficiente di calore e raffreddamento.

I sistemi di accumulo di calore e raffreddamento più importanti sono:

- × Accumulo di acqua calda/fredda (per l'accumulo di calore sensibile, nei serbatoi pressurizzati sono possibili temperature di accumulo fino a oltre 150°C)
- × Accumulo di vapore saturo
- × Accumulo di olio termico
- × Accumuli solidi (ceramica, pietrisco,...)
- × Accumulo di calore latente mediante materiali a cambiamento di fase (PCM)
- × Accumulo di ghiaccio e accumulo di freddo latente in altri PCM
- × Accumuli termo-chimici.

3.7.4.2 Efficienza energetica nella distribuzione di calore e freddo

In molti casi, una modifica del sistema di distribuzione di calore e freddo può contribuire a ridurre il consumo di energia. È auspicabile analizzare alcune delle possibilità di seguito riportate:

- × *Riduzione del livello di temperatura:* una riduzione del livello di temperatura nei sistemi di distribuzione può contribuire a ridurre le perdite nelle tubazioni e negli accumuli, e ad aumentare l'efficienza di conversione dei generatori (caldaie, ecc.). La riduzione del livello di temperatura può essere necessaria anche per applicare tecnologie efficienti dal punto di vista energetico (ad es. motori per la cogenerazione, pompe di calore, impianti solare termici).
- × *Combustione diretta:* in alcuni casi (ad es. processi di asciugatura, riscaldamento di vasche) la combustione diretta o l'uso diretto di gas di scarico (ad es. dalle turbine a gas) può aumentare l'efficienza del sistema, da un lato eliminando le perdite durante la distribuzione e dall'altro (ad es. nel mantenimento in temperatura di vasche) usando il calore di condensazione del vapore acqueo contenuto nel gas di scarico. Generalmente, la combustione diretta/uso diretto del gas di scarico è possibile solo con combustibili più "puliti", come il gas naturale o il biogas.

3.7.3.3 La generazione combinata di calore, freddo ed energia elettrica

Attualmente, la generazione combinata di calore ed energia elettrica (CHP) è il modo più efficiente di generare elettricità (ad esclusione dell'elettricità prodotta per mezzo di fonti rinnovabili), poiché consente di ottimizzare il processo di conversione da energia chimica, contenuta nei combustibili, sia in energia termica sia in elettricità, anziché solo calore o solo elettricità. In termini termodinamici, non esistono sistemi più efficienti di quelli combinati, poiché per qualsiasi quantità di combustibile immesso (che sia gas naturale o biomassa o qualsiasi altro combustibile liquido), i sistemi cogenerativi ad alta efficienza produrranno calore ed elettricità con perdite minime (in genere comprese tra il 10 e il 25%). I sistemi convenzionali che generano solo ad elettricità sono, invece, caratterizzati da perdite di conversione di almeno il 45%.

Per massimizzare i risparmi energetici, è buona regola progettare un impianto di cogenerazione che copra il carico di calore del sito industriale. In questo modo, si otterrà un sistema CHP ottimizzato. L'eventuale elettricità prodotta in eccesso, infatti, può essere ceduta nella rete elettrica ricevendo a cambio, in genere, incentivi o certificati (bisogna fare attenzione perché spesso le normative nazionali richiedono una specifica percentuale minima di auto-consumo di elettricità). Dal punto di vista dell'efficienza energetica, bisognerebbe evitare impianti di cogenerazione usati solo per generare elettricità che dissipano il calore in eccesso nell'ambiente, a meno che l'efficienza elettrica dell'impianto di cogenerazione non sia maggiore dell'efficienza di conversione media della rete elettrica di riferimento.

Vi sono molti modi per calcolare i risparmi in termini di energia primaria conseguibili grazie a impianti CHP: è possibile confrontare le quantità di energia risparmiate facendo un paragone con produzioni di calore ed elettricità separate che usano lo stesso combustibile (per esempio biomassa solida, se il sistema di cogenerazione è alimentato con biomassa solida), o si può fare riferimento ai dati medi della produzione di elettricità dalla rete (ad es., il parco di produzione nazionale o dell'UCTE). Poiché la cogenerazione produce sia calore sia elettricità, il risparmio energetico si può attribuire al calore prodotto, all'elettricità generata o in parte a entrambi. Attualmente in Europa¹³ sono in uso due approcci:

- * L'approccio della Direttiva 2004/8/CE sulla cogenerazione che compara i sistemi di cogenerazione alla produzione separata di calore e elettricità (sulla base di efficienze di riferimento per la produzione separata). Questo approccio si applica in maniera "simmetrica" a calore ed elettricità.
- * L'approccio dell'"efficienza elettrica equivalente", adottato in paesi come la Spagna e il Portogallo, che sottrae la quantità di energia che sarebbe necessaria per produrre calore in un sistema convenzionale dal consumo totale di combustibile, e poi calcola un'efficienza elettrica teorica (che può essere molto elevata, spesso ben oltre il 60%).

Poiché la principale preoccupazione di EINSTEIN è la produzione di energia termica e – come sopraccitato – il funzionamento ottimale dal punto di vista energetico degli impianti di cogenerazione dovrebbe essere determinato dalla *domanda di energia termica propria*, siamo interessati al consumo netto di energia primaria specifico per unità di calore prodotta mediante cogenerazione, calcolabile come:

$$\frac{\Delta E_{PE}}{\Delta Q} = \frac{f_{PE}}{\eta_{th}^{CHP}} \left(1 - \frac{\eta_{el}^{CHP}}{\eta_{el}^{grid}} \right) \quad (3.2)$$

Il consumo netto specifico di energia primaria può essere anche negativo (!), se la resa elettrica dell'impianto di cogenerazione è maggiore dell'efficienza elettrica media delle centrali elettriche usate dalla rete elettrica.

Tuttavia, sul medio periodo, la situazione è destinata a cambiare, poiché l'efficienza media nazionale di produzione elettrica sta aumentando (all'aumentare dell'efficienza delle centrali di potenza e – auspicabilmente – una frazione crescente di elettricità è generata da fonti di energia rinnovabili). Se rapportato ad una rete elettrica più efficiente, come quella attesa per il futuro, il risparmio relativo associato alla cogenerazione è possibile che diminuisca.

13

Per l'Italia si vedano il Decreto Legislativo n. 79 del 16 marzo 1999, le deliberazioni in materia di cogenerazione dell'Autorità per l'Energia Elettrica e il Gas e il Decreto Legislativo n. 20 dell'8 febbraio 2007.

Come nel caso degli impianti energeticamente più efficienti, per essere conveniente un sistema CHP deve funzionare per un elevato numero di ore (in genere oltre 4.000 ore/anno). Pertanto, la cogenerazione deve essere progettata per il carico di base e/o in combinazione con un accumulo di calore o freddo.

A parte la domanda di calore, la cogenerazione può soddisfare anche la domanda di freddo (la cosiddetta *tri-generazione* o cogenerazione di freddo, calore ed energia elettrica - *CCHP*) in combinazione con macchine frigorifere termiche (ad es. con chillers ad assorbimento e ad adsorbimento) che trasformano il calore in freddo. Tali refrigeratori con alimentazione termica generalmente richiedono calore in entrata a una temperatura compresa tra gli 80°C e i 180°C, a seconda della tecnologia impiegata.

La scelta della tecnologia più adatta per la cogenerazione dipende dalla quantità, dalla continuità e dalla temperatura della domanda di calore.

Tabella 13 Tecnologie di cogenerazione disponibili.

Tecnologia di cogenerazione	Livello di temperatura	Efficienza (el./termica)
Motore a gas o olio combustibile	< 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 pratico; secondo la contro-pressione)	(20 – 30 % / 65 %)
Ciclo combinato (turbina a gas + generatore di vapore per il recupero di calore + turbina a vapore)	< 250 °C (limite pratico; secondo la contro-pressione nella turbina a vapore)	(50 - 55 % / 35 - 40%)
Turbina ORC (Organic Rankine Cycle)	< 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 %)

Per ulteriori approfondimenti:

- OPET: Combined heat and power and district heating project. www.opet-chp.net.
- COGENchallenge: The European information campaign on small-scale cogeneration. www.cogen-challenge.org.
- COM 2004/8/EC: Directive on the promotion of cogeneration based on a useful heat demand in the internal energy market. www.managenergy.net/products/R81.htm.
- UK Department for Environment, Food and Rural Affairs: Action in the UK - Combined heat and power. www.defra.gov.uk/environment/climatechange/uk/energy/chp/index.htm.
- American Council for an Energy Efficient Economy: CHP – Capturing wasted Energy. www.aceee.org/pubs/ie983.htm

3.7.4.4 Pompe di calore

Le pompe di calore si usano per aumentare la temperatura di alcune fonti di calore residuali (o del calore estratto dall'ambiente: aria o terra) fino a un livello sufficientemente elevato da poter essere usate come sistema di produzione di calore.

Le pompe di calore possono variare sia nelle dimensioni sia nella concezione, ma i tipi più importanti di pompe di calore usati negli impianti industriali sono:

- × Pompe di calore a compressione meccanica, che in genere usano l'energia elettrica per produrre lavoro
- × Pompe di calore ad assorbimento, che usano l'energia termica sotto forma di acqua calda o vapore
- × Pompe a getto di vapore (*steam jet pump*), che usano il vapore per produrre lavoro.

Le applicazioni industriali tipiche sono il riscaldamento e raffreddamento dell'acqua di processo, i processi di asciugatura, il riscaldamento degli ambienti, i processi di evaporazione e distillazione e il recupero di calore di scarto.

Punti importanti da considerare in merito all'uso delle pompe di calore sono:

- * *Temperatura del calore fornito.* Dipende dal tipo di pompa di calore e dal fluido di lavoro, ma generalmente varia tra 55 e 120°C. A temperature più elevate, tra 80 e 150°C, si possono usare impianti a compressione che utilizzano l'acqua come refrigerante. In fase di test, si state raggiunte temperature anche di 300°C.
- * *Salto di temperatura.* Il coefficiente di prestazione (COP) delle pompe di calore dipende molto dalla *temperature lift*, vale a dire la differenza di temperatura tra la fonte e il calore fornito. I COP migliori si ottengono per piccole differenze di temperatura. Nella maggior parte degli impianti il salto di temperatura è compreso tra 20 e 40 K.
- * *Ore di funzionamento.* Le pompe di calore, come altre tecnologie efficienti fanno risparmiare energia e costi operativi, ma richiedono un investimento iniziale notevole. Pertanto, il loro uso è consigliato laddove la domanda di calore è continua e garantisce fattori di utilizzo maggiori.
- * *Temperatura pinch.* La temperatura pinch (cfr. paragrafo 2.5) divide la domanda totale di calore in due zone: alle temperature al di sopra del pinch si richiede calore dall'esterno, mentre al di sotto del pinch c'è un eccesso di calore (di scarto). Il posizionamento appropriato, dal punto di vista operativo, della pompa di calore è "attraverso il pinch": in questo modo infatti la pompa di calore può impiegare il calore a una temperatura sotto il pinch (dove vi è disponibilità in eccesso) come sorgente, e rilasciarlo a una temperatura più elevata, superiore al pinch dove è richiesto un input di calore esterno.
- * *La forma delle curve della disponibilità e della domanda di calore.* L'uso di una pompa di calore può essere opportuno se dopo il recupero di calore vi è ancora una sovrapposizione della domanda totale di calore e della disponibilità di calore di scarto, o se la differenza di temperatura (intervallo di temperatura richiesto) è sufficientemente ridotta.

Per ulteriori approfondimenti:

- Information on heat pump technologies and suppliers is available on the web site of the IEA Heat Pump Centre: www.heatpumpcentre.org

3.7.4.5 Energia solare termica

Integrazione tra impianto solare termico e processi

I sistemi di generazione del calore di tipo convenzionale spesso sono progettati per produrre energia termica a temperature molto più elevate (150-180°C) rispetto a quelle di processo (spesso $\leq 100^\circ\text{C}$). Al contrario, un sistema solare termico dovrebbe sempre essere accoppiato ai processi utilizzatori alla temperatura più bassa possibile. Ciò nonostante, va precisato che il calore solare dovrebbe intervenire solo a valle di un preriscaldamento del fluido di lavoro conseguito attraverso il recupero del calore di scarto. La combinazione di questi due interventi, infatti, offre risultati migliori rispetto a quelli conseguibili con un sistema solare termico che opera certamente a temperatura inferiore, ma senza sfruttare le potenzialità del recupero di calore. Il sistema solare termico può essere affiancato al generatore di calore convenzionale in diversi modi: sono previsti, infatti, l'accoppiamento diretto a un processo specifico, il pre-riscaldamento dell'acqua (di alimento di una caldaia o di un processo) e la generazione diretta di vapore.

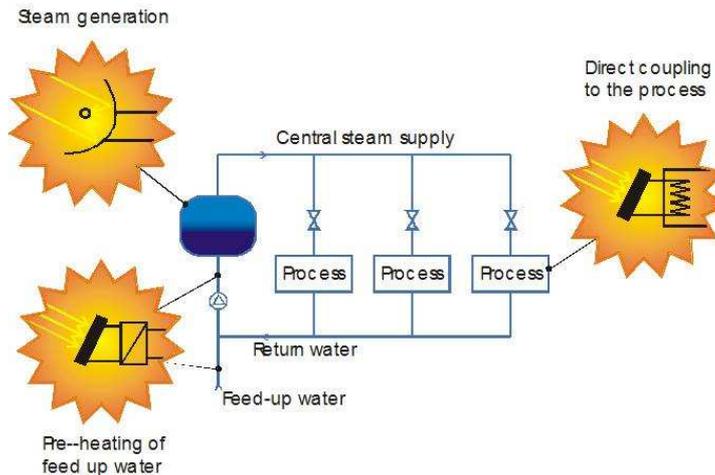


Figura 31. Possibilità di integrazione di un impianto solare termico in un sistema termo-energetico industriale [Schweiger et al. 1999]

Laddove possibile, è da preferirsi un abbinamento diretto tra un sistema solare termico e uno o più processi, poiché le temperature di esercizio sono inferiori. L'accoppiamento diretto a un processo si può realizzare principalmente nei seguenti modi:

- × Pre-riscaldamento di un fluido in circolazione (ad es. acqua di alimento, ritorno dei circuiti chiusi, pre-riscaldamento dell'aria, ecc.). In genere, in questa applicazione, la temperatura media del calore solare generato è inferiore rispetto alla temperatura finale di processo. Inoltre, se la circolazione è discontinua, è necessario considerare anche un serbatoio di accumulo del calore.
- × Riscaldamento di vasche, recipienti e/o ambienti (ad es. asciugatura). In questo caso, è necessaria energia termica sia per riscaldare il fluido alla temperatura operativa sia per mantenere costante la temperatura di processo. Gli scambiatori di calore esistenti integrati nei recipienti di processo generalmente sono progettati per funzionare a temperature troppo elevate per un impianto solare termico. Dove non è possibile modificare i macchinari esistenti per consentire l'apporto solare, a causa di vincoli tecnici, si può usare uno scambiatore di calore esterno abbinato a una pompa di circolazione. Se le vasche del processo sono ben coibentate, è possibile usarle per accumularvi il calore prodotto da energia solare. Per esempio, mantenendo la temperatura durante il processo di arresto (di solito durante il week-end), la domanda di calore all'avviamento (start up) può essere ridotto dal sistema termico solare.

Tra i processi che maggiormente si prestano all'accoppiamento con un sistema solare termico vi sono il lavaggio e il risciacquo, l'asciugatura, l'evaporazione e la distillazione, la pastorizzazione, la sterilizzazione, la cottura, la verniciatura, la sgrassatura e il raffreddamento. Oltre ai processi produttivi, anche il riscaldamento e il raffrescamento degli ambienti sono da considerarsi tra le applicazioni di interesse per il solare poiché richiedono energia a temperature medio-basse. In alcuni casi, gli impianti solari termici possono anche essere accoppiati a macchine frigorifere ad azionamento termico (*solar cooling*).

In quasi tutte le applicazioni, il solare termico può essere accoppiato alla caldaia, pre-riscaldandone l'acqua di alimento, con o senza recupero di calore. Impianti solari a elevata efficienza possono invece essere affiancati ai generatori di vapore poiché in grado di produrre calore a più elevata temperatura generalmente per la generazione di vapore. Si precisa che la generazione di vapore da energia solare è praticabile solo in luoghi con elevata radiazione solare (diretta), e impiegando collettori solari a concentrazione.

Collettori solari termici ad elevata efficienza per calore di processo

L'efficienza istantanea (η) di un collettore solare si definisce come segue:

$$\eta = c_0 - (c_1 + c_2 \Delta T) * \frac{\Delta T}{G_T} \quad (3.3)$$

dove c_0 è l'efficienza ottica, c_1 , c_2 sono i coefficienti di perdita termica lineare e quadratico (c_1 [W/m²K]; c_2 [W/m²K²]), ΔT [K] è la differenza tra la temperatura media del fluido nel collettore e la temperatura ambiente e G_T [W/m²] è l'irraggiamento.

In base a questa definizione è facile desumere che il rendimento di un collettore dipende dal sito (vale a dire dall'irraggiamento) e dalla temperatura di esercizio, che a sua volta determina l'entità delle perdite di calore nel collettore e nel circuito di distribuzione.

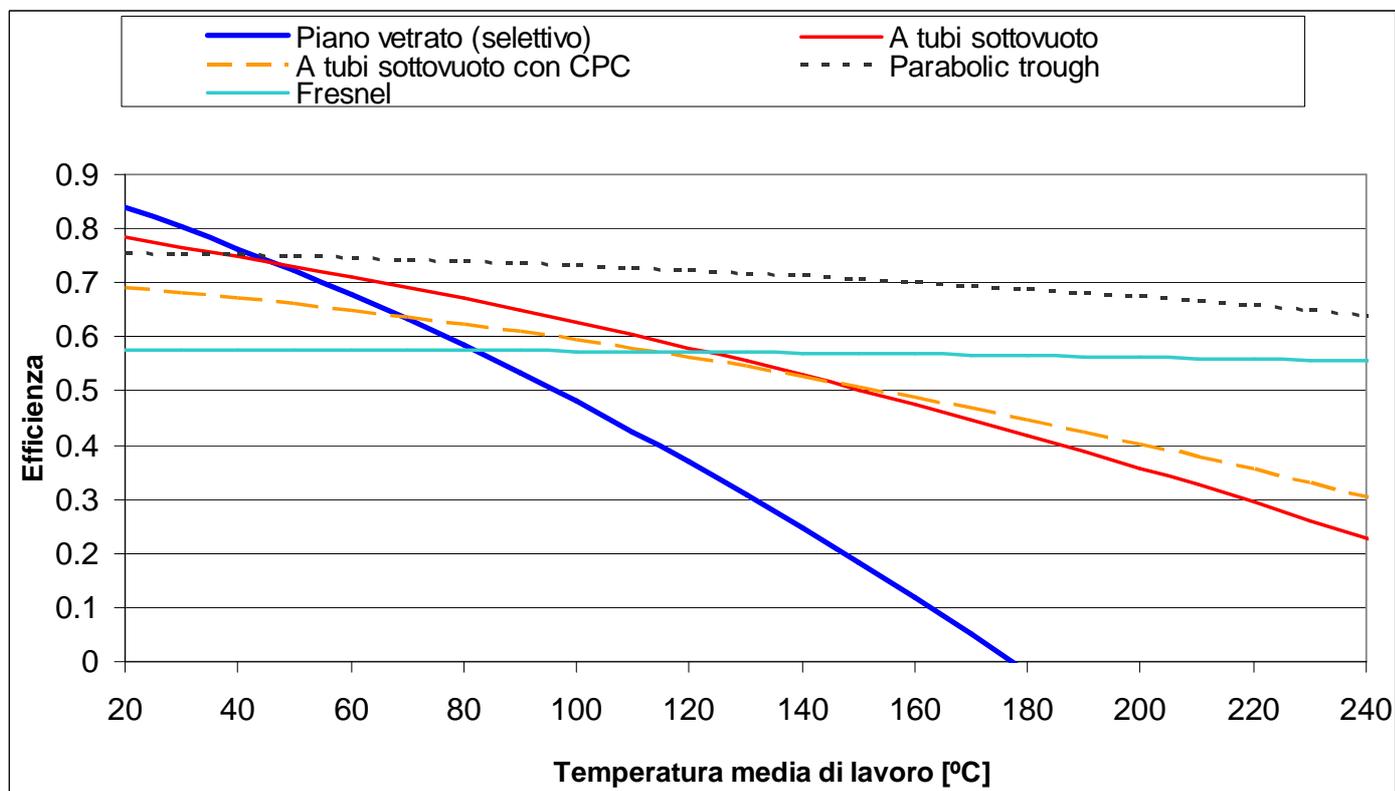


Figura 32. Efficienza istantanea per diversi tipi di collettori solari termici (dati riferiti all'area di apertura, radiazione diretta normale, $G_T = 1000 \text{ W/m}^2$) [energyXperts 2010].

Per temperature di processo basse (fino a circa 80°C), i collettori piani (selettivi o non) attualmente rappresentano la migliore soluzione. Altri tipi di collettori, usati principalmente a temperature più elevate (fino a 250°C) sono: i collettori piani a elevata efficienza (p. es. con doppio vetro anti-riflesso), i collettori a tubi sottovuoto, i collettori CPC (fissi, con basso fattore di concentrazione), i collettori a concentrazione lineari Fresnel e i cilindri parabolici di piccola taglia. Oltre a questi, sono allo studio altre tecnologie come, ad es., i collettori a concentrazione con riflettore fisso.

Dimensionamento di un impianto solare termico

In generale vi è una relazione inversa tra la frazione solare (cioè il contributo solare alla domanda generale di calore) e il rendimento specifico del sistema solare termico (calore solare prodotto per unità di potenza termica, o per unità di superficie installata). Pertanto, nel dimensionamento di un impianto solare termico è necessario ricercare le condizioni tecnico-economiche ideali. Come regola generale si ha che incrementando la frazione solare la resa specifica diminuisce a causa dell'aumento della temperatura operativa dei collettori solari termici, e del possibile esubero (più frequentemente in estate) di disponibilità di energia solare rispetto alla domanda.

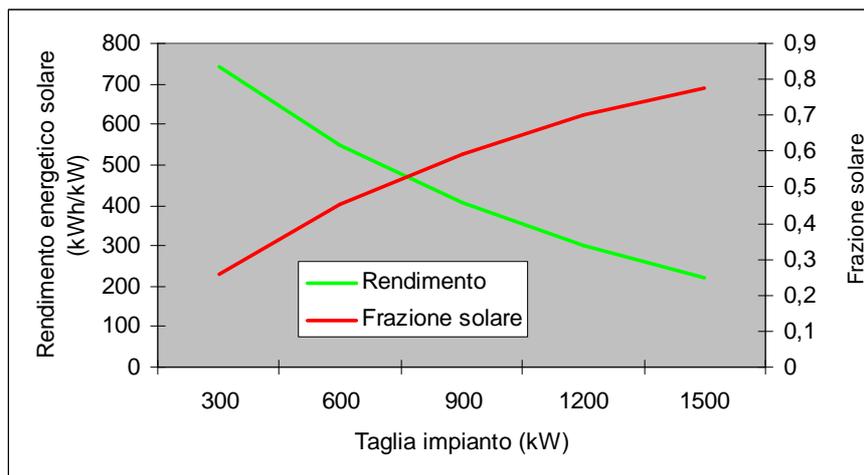


Figura 33. Andamento della frazione solare e rendimento energetico solare in funzione della taglia dell'impianto

Profilo di carico e accumulo di calore solare

Quando la domanda di calore del processo è continua durante il giorno e durante la settimana (ad es. senza pause durante il fine settimana), l'impianto solare non necessita di accumulo di calore e tutta l'energia prodotta può essere fornita direttamente all'utente finale. Chiaramente, questa è la situazione migliore, poiché più la configurazione dell'impianto è semplice, maggiore sarà il rendimento energetico totale e minori i costi d'investimento.

Nei casi in cui il carico settimanale è continuo, ma vi sono forti fluttuazioni della domanda giornaliera, si raccomanda un volume dell'accumulo di calore da 30 – 120 l/kW di collettori solari termici. Se il profilo della domanda è caratterizzato da interruzioni ancor più significative (ad es. durante il fine settimana), allora il volume dell'accumulo consigliato deve essere dell'ordine di 120 – 200 l/kW. L'accumulo di calore interstagionale è da prendersi in considerazione solo per sistemi di grandi dimensioni (> 3.000 kW).

In sintesi

Per valutare la fattibilità di un impianto solare termico per calore di processo non dimenticate di controllare:

- × Le temperature di processo
- × Il profilo di carico (a lotti, continuo)
- × La disponibilità di accumuli di calore intrinseci al processo (es. vasche, tubazioni)
- × La fattibilità tecnica dell'accoppiamento tra solare termico e impianti esistenti (ad es. agli scambiatori di calore, ai macchinari, ecc.)
- × Il potenziale di recupero del calore
- × La disponibilità delle superfici, in copertura o a terra, per l'installazione del campo di collettori (immagini satellitari possono essere utilizzati come supporto addizionale)

In merito all'ultimo punto, l'esperienza insegna che nei siti industriali la superficie disponibile per l'installazione è uno dei principali fattori che limitano la fattibilità degli impianti solari di grandi dimensioni. Ricordate dunque di valutare attentamente tutte le superfici che si potrebbero usare per l'installazione !

Tabella 14. Criteri di progettazione degli impianti solari termici per la produzione di calore di processo.

Criterio	Influenza sul rendimento energetico ed economico di un impianto solare termico
Temperatura di esercizio	Temperature d'esercizio non superiori a 200°C, rendimento migliore al di sotto dei 100°C
Clima	Condizioni molto buone nei paesi dell'Europa centro-meridionale
Continuità della domanda Variazione su base annua	Le pause durante l'estate riducono il rendimento del sistema. La riduzione nella resa energetica è più che proporzionale alla durata dell'interruzione.
Variazione su base giornaliera	Sono vantaggiose: una domanda continua o una domanda con picchi durante le ore di maggiore insolazione. È possibile tamponare brevi interruzioni (di alcune ore) con un accumulo di piccole dimensioni, con un aumento del costo del sistema trascurabile.
Dimensioni del sistema	Il rendimento economico dei sistemi solari termici dipende molto dalle dimensioni del sistema stesso. I costi dell'energia solare si riducono fino al 50% negli impianti di grandi dimensioni, rispetto a quelli di piccole dimensioni
Resa annuale	Un impianto solare termico dovrebbe produrre almeno 400 kWh/m ² all'anno per essere remunerativo.
Frazione solare	I sistemi dovrebbero essere progettati per frazioni solari non superiori a circa il 60% (per una domanda di acqua calda continua)
Superfici disponibili per l'installazione	Per ottenere frazioni solari da 5 a 60% per applicazioni industriali spesso è necessaria una superficie considerevolmente estesa. Un orientamento a Sud con un'inclinazione di circa (latitudine - 10°) è ottimale per massimizzare la produzione di energia annua. Deviazioni non significative da rispetto a questi valori sono accettabili (±45° dall'orientamento verso sud, ±15° dall'inclinazione ottimale). Linee di distribuzione troppo lunghe sono da evitare.
Statica del tetto	La necessità di rinforzare le strutture del tetto aumenta il costo del sistema e dunque riduce il rendimento economico. Il carico statico aggiuntivo dei collettori solari è di 25-30 kg/m ² per i collettori standard.
Recupero del calore	Per prima cosa è necessario valutare le possibilità di miglioramento dell'efficienza energetica globale recuperando calore di scarto. È bene progettare gli impianti solari termici per coprire parte della domanda di calore rimanente.

Per approfondimenti sulle tecnologie solari termiche per la produzione di calore di processo:

- C.Vannoni, R. Battisti, S. Drigo (2008): *Potential for Solar Heat in Industrial Processes*. Published by CIEMAT, Madrid (Spain) 2008. Website: www.iea-shc.org/task33/index.html
- D. Jaehnig, W.Weiss (2007): *Design Guidelines – Solar space heating of factory buildings. With underfloor, heating systems*. Published by AEE INTEC with financial support of the Austrian Ministry for Transport, Innovation and Technology, Gleisdorf (Austria) 2007. Website: www.ieashc.org/task33/index.html
- energyXperts.NET (2010): *Elaboration based on manufacturer data for group of best market available solar collectors in Spain*.
- ESTIF (2008): *Solar Thermal Action Plan for Europe (STAP)*. ESTIF Website: www.estif.org/281.0.html
- H.Schweiger et al. (2001), POSHIP (Project No. NNE5-1999-0308): *The Potential of Solar Heat for Industrial Processes*, Final Report.
Website: www.aiguasol.comenergyxperts.net/docs/poshipPOSHIP_FinalReport.ziphtm
- W. Weiss, M. Rommel (eds., 2007): *Process heat collectors*. State of the art within Task 33/IV, Editors: W. Weiss, M. Rommel, Published by AEE INTEC with financial support of the Austrian Ministry for Transport, Innovation and Technology, Gleisdorf (Austria) 2007. Website: www.ieashc.org/task33/index.html

3.7.3.6 Biomassa e biogas

Biomassa e biogas sono entrambe risorse in grado potenzialmente di fornire energie rinnovabili a gran parte dei processi industriali. La biomassa usata nei bruciatori industriali comprende essenzialmente trucioli di legno e pellet. Si usa anche la paglia, ma richiede attrezzature più sofisticate. È possibile usare qualsiasi altro residuo organico del processo produttivo, tuttavia, tale uso dipende molto dal potere calorifico ottenibile. Ciò a sua volta dipende molto dal contenuto di acqua e dall'efficienza del processo di essiccazione della biomassa.

In generale, le caldaie a biomassa per la produzione di acqua calda e surriscaldata rappresentano lo stato dell'arte. Vi è meno esperienza sulle caldaie a vapore alimentate a biomassa ma anche questi tipi di caldaie sono state impiegate con successo negli anni passati.

La fermentazione di residui organici per ottenere biogas apre nuove possibilità d'uso. Un grande vantaggio del biogas è che elimina l'esigenza di asciugare la biomassa prima della combustione. In questo caso, l'efficienza è legata al processo di conversione, al contenuto energetico del metano nella fase gassosa e alla necessità di purificare il biogas (soprattutto per poterlo usare nei motori). Oltre alla generazione di calore, il biogas può anche essere usato in varie tecnologie come gli impianti di cogenerazione a gas (o a gas-solido combinati), le turbine a gas e le celle a combustibile.

Il biogas nel dettaglio

Il biogas è una miscela di metano, CO₂, H₂S, acqua e altri gas in percentuale minore che è prodotta da materiali organici in condizioni anaerobiche ed in presenza di micro-organismi. Il processo per ottenere biogas è complesso e segue diverse fasi di fermentazione. La qualità del prodotto dipende dal tipo di materia prima, dai micro-organismi usati, dai parametri di processo (soprattutto le temperature ed il livello di pH) e dal trattamento del biogas grezzo prodotto.

Negli attuali impianti a biogas si usa una combinazione di diverse materie prime (co-fermentazione). Ciò significa fermentazione di fertilizzanti organici come il letame liquido insieme ad altri materiali organici non lavorati e di scarto. Per le applicazioni industriali, l'uso di questi materiali aggiuntivi ha un grande potenziale per la produzione di biogas in loco, e per diminuire la dipendenza dalla fornitura di energia dall'esterno. La Tabella 15 enumera le materie prime estraibili da diverse fonti.

Tabella 15. Materie prime estraibili da diverse fonti per ottenere biogas.

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 dung 	<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

Tabella 16. Tecnologie per il pre-trattamento del biogas.

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

Tabella 17. Composizione del biogas prodotto da diverse materie prime.

components	Wood gas		Sewage gas	landfill gas	biogas	Biogas av.
	air	steam				
CH ₄	3 – 6 % 12 – 16 %	9 – 11 %	60 – 75 %	45 – 55 %	50 – 75 %	55 %
CO ₂		20 – 25 %	30 – 40 %	30 – 40 %	25 – 45 %	43,9 %
H ₂ S			< 1 %	50 – 300 ppm	0 – 1 %	0,05 %
H ₂ O			saturated	saturated	saturated	saturated
H ₂	11 – 16 %	33 – 40 %	traces		0 – 1 %	0,5 %
O ₂			< 1 %		0 – 1 %	0,1 %
N ₂	45 – 60 %	< 3 %	< 4 %	5 – 15 %	0 – 3 %	0,4 %
NH ₃					0 – 0,5 %	0,05 %
CO	13 – 18 %	25 – 30 %	traces		-	-
Heating value [kWh/m ³]	1,1 – 1,7	3,3 – 4,2	6 – 7,5	4,5 – 5,5	5 – 7,5	5,5

* Vol% on dry gas

Le diverse tecnologie di processo come la fermentazione in una o due stadi, le condizioni mesofile o termofile e il tipo di fermentazione - umida o secca - influenzano la qualità e la quantità di prodotto. Il pre-trattamento delle materie prime, in special modo per i materiali celluloidi e semi-celluloidi, ha un grosso effetto positivo sul rendimento del biogas. La Tabella 16 illustra lo stato dell'arte delle tecnologie di pre-trattamento.

Al fine di aumentare il "valore energetico" del biogas e dipendendo dall'utilizzo finale del gas, nella maggior parte dei casi, il biogas grezzo deve essere condizionato. E' principalmente la rimozione di CO₂, H₂S e H₂O che contribuisce ad aumentare il potere calorifico del biogas e a renderlo quindi utilizzabile in diverse applicazioni. Il gas naturale ha un potere medio calorifico di circa 10 kWh/m³, mentre quello del biogas in genere si aggira intorno a 6 kWh/m³. Ciò significa che per la produzione della stessa quantità di energia (a parità di efficienza di conversione) è necessaria una quantità di biogas 1,7 volte superiore a quella di gas naturale.

Per approfondimenti:

Ross, Charles C.; T. J. Drake (1996): Handbook of Biogas Utilization Vol. III, Second Edition. Environmental Treatment Systems, Inc. July 1996.

3.7.3.7 Caldaie e bruciatori a elevata efficienza

Per valutare il rendimento complessivo di una caldaia in funzionamento, durante il sopralluogo finalizzato ad una diagnosi energetica, si consiglia di controllare: l'anno di installazione, i dati tecnici, lo stato della coibentazione, possibili perdite, la strategia di controllo della caldaia.

E' possibile adottare diverse misure per ridurre il consumo energetico di un sistema di generazione di calore nuovo o esistente (ad es. caldaie, caldaie a vapore, caldaie a condensazione, ecc.). In particolare, è necessario valutare quanto segue:

- * L'uso dell'elettricità per produrre calore di processo è estremamente inefficiente. L'efficienza di conversione dell'energia primaria in elettricità (comprese le perdite di distribuzione) è di circa il 30%, paragonata a oltre il 90% delle caldaie o dei bruciatori a gas ad alta efficienza.
- * Le caldaie che producono acqua calda hanno un'efficienza di conversione migliore dei generatori di vapore. A basse temperature, si possono utilizzare anche caldaie a condensazione e si riducono le perdite di calore durante la distribuzione. Inoltre, un circuito ad acqua calda consente di impiegare altre tecnologie efficienti come la cogenerazione, le pompe di calore e gli impianti solari termici.
- * Una pressione del vapore (e una temperatura) ridotte portano a una riduzione delle perdite di calore

e dei costi.

- × L'uso di gas naturale o GPL consente l'uso di tecnologie più efficienti come le caldaie a condensazione, la combustione diretta, ecc.
- × L'efficienza di una caldaia diminuisce rapidamente se questa lavora ad un carico inferiore al 30%: per coprire la domanda di calore totale può dunque essere opportuno quindi installare due o più caldaie in cascata. Il sovra-dimensionamento delle caldaie dovrebbe essere evitato. In particolare le caldaie ad elevata efficienza dovrebbero essere usate per coprire il carico di base, mentre quelle meno efficienti dovrebbero essere impiegate solo per i picchi di domanda.
- × Un'ottimizzazione del controllo può aiutare ad aumentare l'efficienza.
- × Se le caldaie o i forni industriali sono spenti regolarmente per un cambio carico, la perdita di calore causata dall'effetto camino che richiama aria fredda nella caldaia può essere significativamente ridotta utilizzando valvole di tiraggio.
- × I fattori che incidono maggiormente sull'efficienza sono le perdite associate ai fumi della combustione e all'irraggiamento attraverso le pareti. Una diminuzione della temperatura dei gas della combustione e la coibentazione della caldaia ne aumentano l'efficienza. Anche la regolazione dell'eccesso d'aria contribuisce a ridurre le perdite associate ai fumi e a migliorare l'efficienza della caldaia.
- × Il ritorno della condensa al generatore di vapore consente di recuperare l'energia ivi contenuta (fino al 15% dell'energia richiesta per generare vapore).
- × Per ridurre al minimo le perdite termiche associate allo spurgo di una caldaia (blow-down) è opportuno ridurre la portata di blow-down (mediante pre-trattamento dell'acqua di alimentazione) ed il calore contenuto dovrebbe essere recuperato. Il trattamento dell'acqua di alimentazione riduce, inoltre, il deposito di calcare, preservando un buono scambio di calore tra il gas di combustione e il fluido da riscaldare.
- × L'installazione di un economizzatore (uno scambiatore di calore aggiuntivo per pre-riscaldare l'acqua di alimentazione della caldaia mediante il recupero di calore contenuto nel gas della combustione) e/o di un pre-riscaldatore dell'aria (recuperatore) contribuisce ad aumentare l'efficienza totale del sistema, mediante il recupero dell'energia termica che andrebbe dispersa con i gas di scarico.

Per approfondimenti:

- The Energy Research Institute Department of Mechanical Engineering University of Cape Town. How to save money and energy in boiler and furnaces systems. Website: <http://www.3e.uct.ac.za>
- Lawrence Berkeley National Laboratory Washington, DC for DOE, Improving Steam system Performance a sourcebook for industry. April 2004. Website: <http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/pdfs/steamsourcebook.pdf>.
- Integrated Pollution Prevention and Control. Reference Document on Best Available Techniques for Large Combustion Plants. July 2006. Website: <http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>
- Ralph L. Vandagriff. Practical guide to industrial Boiler systems. 2001. Marcel Dekker, Inc. Website: www.dekker.com
- V. Ganapathy ABCO Industries. Industrial Boilers and Heat Recovery Steam Generators Design, Applications, and Calculations. 2003 Marcel Dekker, Inc. Website: www.dekker.com

3.7.3.8 Generazione di freddo energeticamente efficiente

Le macchine frigorifere per uso industriale si usano per il raffreddamento controllato di prodotti e macchinari o per il condizionamento dell'aria degli stabilimenti di produzione. Le macchine frigorifere si dividono in due gruppi, secondo il principio del ciclo di refrigerazione impiegato:

- × *Le macchine a compressione di vapore* per funzionare impiegano l'energia meccanica e sono azionate da motori elettrici (più comunemente utilizzati) o da turbine a vapore o a gas. In base al tipo

di compressore usato, si possono classificare in refrigeratori alternativi, a coclea, a vite e centrifughi. L'indice di efficienza energetica (EER) di grandi impianti con macchine a compressione di vapore è generalmente uguale o superiore a 4.

- * *Le macchine frigorifere ad azionamento termico* per funzionare impiegano l'energia termica fornita sotto forma di vapore, acqua calda o gas di scarico dalla combustione. Le macchine più usate sono quelle ad assorbimento. L'indice EER di tali dispositivi è compreso tra 0,5 e 0,8 (a singolo effetto), fino a 1,0 e 1,3 (a doppio effetto)¹⁴.

I refrigeratori rilasciano all'esterno l'energia assorbita dal fluido raffreddato, in atmosfera (raffreddati ad aria) o all'acqua (raffreddati ad acqua). Le macchine raffreddate ad acqua di solito necessitano di torri di raffreddamento umide che ne migliorano l'efficienza termodinamica rispetto agli impianti raffreddati ad aria a causa di una riduzione del livello di temperatura del calore di condensazione, ma tale sistema comporta costi aggiuntivi e un maggior consumo di acqua.

Punti importanti da considerare per l'uso e la progettazione delle macchine frigorifere sono:

- * *Temperatura di produzione del freddo.* L'efficienza di conversione della generazione di freddo dipende molto dalla temperatura di evaporazione (e, quindi, dalla temperatura di produzione del freddo). Maggiore è la temperatura di evaporazione, maggiore è l'efficienza energetica. In molte applicazioni, un refrigeratore fornisce energia frigorifera a più processi. Se vi sono processi con livelli di temperatura diversi, è opportuno raggrupparli per livelli di temperatura e fornire il freddo alla temperatura più elevata possibile a ciascun gruppo di utilizzatori. Una maggiore temperatura dell'acqua refrigerata consentirà anche maggiori possibilità di *free-cooling* (vedi sotto).
- * *Differenza di temperatura tra evaporazione e condensazione.* Una minore differenza tra la temperatura del frigorifero prodotta e la temperatura del circuito di dissipazione del calore comporta un più elevato EER. Una concezione adeguata della torre di raffreddamento e del circuito di dissipazione del calore (re-cooling) può migliorare l'efficienza. Nel caso in cui il calore prodotto dai refrigeratori venga disperso nell'ambiente, non è necessario che la temperatura di condensazione o la temperatura dell'acqua di raffreddamento che fluisce attraverso le torri di raffreddamento, asciutte o umide, siano mantenute costanti. Il livello di temperatura del fluido può essere adattato in funzione della temperatura esterna, al fine di ridurre la differenza tra evaporazione e condensazione del refrigeratore.
- * *Funzionamento a carico parziale - utilizzo di macchine in cascata.* La maggior parte dei refrigeratori soffre di una caduta di efficienza in condizioni di carico parziale. Se il carico è fortemente variabile, come per esempio nel caso del condizionamento estivo di un edificio, è consigliabile utilizzare uno o più refrigeratori che lavorino alla potenza nominale per coprire il carico di base, e utilizzare un refrigeratore (preferibilmente mediante un turbo-compressore, che ha un migliore comportamento a carico parziale) per coprire la domanda di picco. Il funzionamento a carico parziale può anche essere ridotto, e le ore di funzionamento possono essere aumentate utilizzando un serbatoio di accumulo (eliminazione dei picchi di domanda).
- * *Disponibilità di calore a bassa temperatura tra 80 e 90°C.* Calore a queste temperature può essere reso disponibile dal recupero di calore di scarto, dagli impianti di cogenerazione (ad es. motori) o da un impianto solare termico. In questi casi, è opportuno prendere in considerazione l'impiego di macchine frigorifere termiche, in particolare per applicazioni su vasta scala con fattori di utilizzo elevati.
- * *Possibilità di raffrescamento passivo (free cooling).* L'uso di macchine frigorifere andrebbe considerato solo in quei casi in cui la temperatura di raffreddamento necessaria non è raggiungibile scambiando direttamente calore con l'ambiente. In molti climi, per lunghi periodi (durante la notte e/o in inverno) la temperatura ambiente potrebbe essere inferiore alla temperatura della domanda. Esistono diversi tipi di "scambiatori" che consentono il raffrescamento passivo nei periodi in cui la temperatura esterna è bassa, grazie ad un circuito di scambio diretto tra fluido da raffreddare e aria esterna. L'uso di questo tipo di dispositivi può comportare un notevole risparmio di energia. Buoni

¹⁴ È necessario tenere in considerazione che le macchine ad assorbimento usano energia termica anziché energia elettrica o meccanica, come nel caso dei dispositivi a compressione di vapore. Pertanto, non si può fare un confronto diretto tra i rispettivi COP.

candidati per l'applicazione di metodi di raffrescamento passivo sono i processi con carichi relativamente costanti, in climi con basse temperature invernali o notturne.

- * *Uso di refrigeranti naturali ed ecologici.* Quando si scelgono impianti a compressione di vapore è necessario considerare gli aspetti ambientali connessi all'uso del refrigerante, e rispettare gli accordi internazionali in quest'ambito. È preferibile usare refrigeranti senza ODP (Ozone Depletion Potential) e basso GWP (Global Warming Potential) bassi, e prodotti naturali come l'ammoniaca, il anidride carbonica, che hanno eccellenti proprietà termo-fisiche e garantiscono un'efficienza operativa elevata.
- * *Uso di calore di scarto del refrigeratore.* Il calore di scarto proveniente dal condensatore dei refrigeratori, ed in alcuni casi dal raffreddamento del compressore, che generalmente viene dissipato nelle torri di raffreddamento, può essere invece ri-utilizzato per pre-riscaldare i fluidi a una bassa temperatura (fino a circa 50°C, usando la macchina frigorifera come pompa di calore. Sono possibili differenze di temperatura tra la temperatura dell'acqua raffreddata e la temperatura del condensatore fino a 40 K). Il livello di temperatura del calore da dissipare può essere ulteriormente aumentato utilizzando una pompa di calore supplementare.

Per approfondimenti:

- EU BREF *Reference Document on the application of Best Available Techniques to Industrial Cooling Systems.* December 2001. The European Commission.
- ASHRAE Handbook - HVAC Systems and Equipment. ASHRAE, 2008.

EINSTEIN Passo 7: configurazione delle opzioni di risparmio e definizione preliminare degli obiettivi energetici

> Check list di raccomandazioni per il risparmio energetico

> Ottimizzazione di processo e interventi dal lato della domanda

> Analisi del potenziale di recupero del calore

> Progettazione preliminare della rete di scambiatori e accumulo del calore

> Progettazione preliminare di sistemi energetici alternativi

3.8 Calcolo del rendimento energetico e analisi ambientale

Per calcolare il consumo energetico di un sistema di fornitura di calore e raffreddamento proposto, è necessario un modello di calcolo (simulazione) del sistema. A questo fine, il software EINSTEIN offre un modulo di simulazione del sistema per tutte le tecnologie.

3.8.1 Modulo di simulazione in EINSTEIN

Il calcolo interno del rendimento energetico in EINSTEIN si basa sulla domanda di calore e raffreddamento vista dalla rete di distribuzione del sistema, e sulla capacità potenziale degli impianti – ordinati in cascata - di somministrare calore e freddo.

La domanda di calore per ogni apparecchiatura dipende dalla temperatura e dal tempo, secondo le caratteristiche e la durata del processo: $\dot{Q}_{D,j} = \dot{Q}_{D,j}(T, t)$.

La potenza nominale P_{nom} erogata dai diversi impianti in genere dipende dalle temperature di somministro e, nel caso specifico delle pompe di calore, anche dal calore di scarto disponibile: $\dot{Q}_A = \dot{Q}_A(T, t)$

Il calore utile fornito da ciascun impianto, in una certa posizione j della cascata, può essere poi calcolato dalla domanda di calore e dalla potenza nominale:

$$\dot{Q}_{USH,j}(T, t) = \min[P_{nom}(T), \dot{Q}_{D,j}(T, t)] \quad (3.4)$$

dove

$$\dot{Q}_{D,j} = \dot{Q}_{D,j}(T, t) = \sum_{connected\ pipes} \dot{Q}_{D,m}^{res}(T, t) \quad (3.5)$$

e $\dot{Q}_{D,m}^{res}(T, t)$ è la domanda di calore o freddo residuale vista dalla dalla linea di distribuzione m , a valle del somministro di energia da parte degli impianti esistenti nella cascata da 1 a $(j-1)$.

Nell'ambito del modulo di simulazione EINSTEIN, i calcoli vengono effettuati di default in intervalli di tempo di 1 ora nell'arco di tutto l'anno, tenendo in considerazione la variazione della domanda nel tempo; la variazione della temperatura nelle diverse ore del giorno; le variazioni stagionali, i fine settimana e i periodi di ferie.

Il limite principale di questo metodo di calcolo risiede proprio nella "gestione" in cascata del somministro di calore e raffreddamento. In questo modo infatti i dettagli e le peculiarità del sistema di regolazione e della strategia di controllo reali non sono considerati nei calcoli energetici¹⁵ e possono solo essere approssimati mediante un ordinamento appropriato degli impianti nella cascata.

Per un calcolo più dettagliato e preciso è possibile usare un software esterno di simulazione.

3.8.2 Simulazione del sistema con un software esterno specifico

Nei casi in cui il modulo di simulazione del sistema EINSTEIN potrebbe non essere sufficientemente preciso è necessario usare un software esterno di simulazione del sistema. Alcuni riferimenti sugli strumenti di simulazione esistenti sono reperibili nel resoconto elaborato nell'ambito del progetto EINSTEIN sulle procedure e strumenti di auditing termo-energetico [Vannoni et al., 2008]

3.8.3 Analisi ambientale

Come già sottolineato nel capitolo 2.1, EINSTEIN usa i seguenti parametri quali indicatori principali per

¹⁵ Le perdite di calore nella distribuzione sono considerate con una certa approssimazione nei calcoli usando un'efficienza della distribuzione media totale.

l'analisi ambientale:

- * *consumo di energia primaria* quale indicatore principale per la valutazione ambientale
- * *generazione di CO₂*
- * *produzione di rifiuti nucleari altamente radioattivi (HR)* (associata al consumo di elettricità)
- * *consumo di acqua.*

La quantità dei parametri di impatto ambientale si ottiene direttamente dalla composizione del consumo di energia finale nell'industria risultante dall'analisi del rendimento energetico descritta nei paragrafi precedenti.

I parametri di conversione da usare possono essere configurati dall'utente nelle banche dati EINSTEIN per i combustibili e per il mix elettrico.

In termini generali, si può dire che il consumo di energia primaria rappresenta l'indicatore principale dell'impatto ambientale e che, pertanto, dovrebbe essere ridotto al minimo, poiché rappresenta una media (in qualche modo ponderata) dei diversi tipi di emissioni.

Il parametro emissioni di CO₂ – spesso usato come indicatore ambientale – non considera altri tipi di emissioni come i rifiuti radioattivi, e dunque sottovaluta l'impatto ambientale (generalmente negativo) di un passaggio da combustibile a elettricità, soprattutto in paesi in cui l'energia nucleare contribuisce molto alla produzione di elettricità.

Riferimenti bibliografici Capitolo 3.8.2:

- C.Vannoni et al. (2008): EINSTEIN Report: Review of Thermal Energy Auditing Practices and Tools. (IEE Project EINSTEIN, Project deliverable D2.2. Available for download on www.einstein-energy.net)

EINSTEIN Passo 8: Calcolo delle prestazioni energetiche e analisi ambientale

> Calcolo rapido

> Simulazione con software ausiliari esterni

> Analisi energetica e ambientale

3.9 Analisi economico-finanziaria

L'analisi economica del sistema di fornitura di energia proposto è uno degli aspetti cruciali per l'impresa. Per questo è necessario soffermarsi su questa fase: più dati particolareggiati si riescono ad ottenere e più i risultati saranno affidabili.

Per l'analisi economica di un nuovo sistema di fornitura di energia, i costi di gestione (dell'energia) devono essere confrontati con l'impianto attuale. Pertanto, un metodo corretto consiste nel calcolare tutti i costi che si dovranno sostenere in futuro con il sistema di fornitura di calore e freddo esistente e confrontarli con i costi d'investimento e i costi previsti per il sistema di fornitura di energia alternativo proposto. La differenza è il flusso di cassa previsto in seguito alla sostituzione dell'impianto di fornitura.

In genere si devono considerare le seguenti categorie di costo:

- × Costi d'investimento:
 - Offerte dei fornitori o uso di attrezzature di seconda mano
 - Sovvenzioni e finanziamento
 - Ricavi ottenibili dalla vendita delle attrezzature sostituite

- × Costi di gestione:
 - Costi dell'energia, compreso il rincaro previsto dei prezzi dell'energia
 - Manutenzione, manodopera, assicurazione, utenze, ecc.

- × Sopravvenienze
 - Nel caso in cui l'attuale sistema di fornitura non viene cambiato: svantaggi fiscali, costi per attività di risanamento, costi per adempimenti di legge, impatto negativo sulla quota di mercato, effetti dello scambio di quote di emissione di CO₂, ecc.
 - Nel caso in cui l'attuale sistema di fornitura viene cambiato: agevolazioni fiscali, impatto positivo sulla quota di mercato, miglioramento dell'immagine aziendale.

- × Costi non ricorrenti
 - Costi di riparazione delle attrezzature, sostituzione dei collettori, manutenzione straordinaria, permessi, spese legali, costi di prevenzione, ecc.

Nelle analisi dei costi convenzionali ci si concentra sui costi di investimento e sui costi di gestione. Tuttavia, per considerare i costi reali totali è necessario valutare anche gli imprevisti e i costi non ricorrenti che possono influire pesantemente sul risultato finale. L'analisi dei costi deve poter individuare tutti i parametri che influiscono sul rendimento economico dell'efficienza energetica e dell'installazione di sistemi di fornitura di energia nei processi industriali, oltre ai costi dell'energia.

Per una valutazione globale dei costi (TCA) che consideri un periodo più lungo di tempo e i parametri macroeconomici, è necessario includere gli imprevisti e i costi non ricorrenti.

Va da sé che i parametri a seguire sono fondamentali ai fini dell'esito dell'analisi dei costi:

- × Tasso d'interesse nominale dei finanziamenti esterni
- × Tasso di sconto specifico dell'impresa
- × Sviluppo previsto del prezzo dell'energia
- × Tasso generale d'inflazione
- × Orizzonte temporale scelto per l'analisi economica

Il risultato dell'analisi economica comprende l'investimento, il periodo di recupero del capitale investito e il rapporto costi-benefici, ma dovrebbe includere altresì parametri economici che illustrano il rendimento economico su un orizzonte temporale più lungo. In questo caso, il tasso interno di rendimento e l'evoluzione del valore attuale netto negli anni sono fondamentali. (Per ulteriori dettagli sui calcoli si veda il paragrafo 2.6).

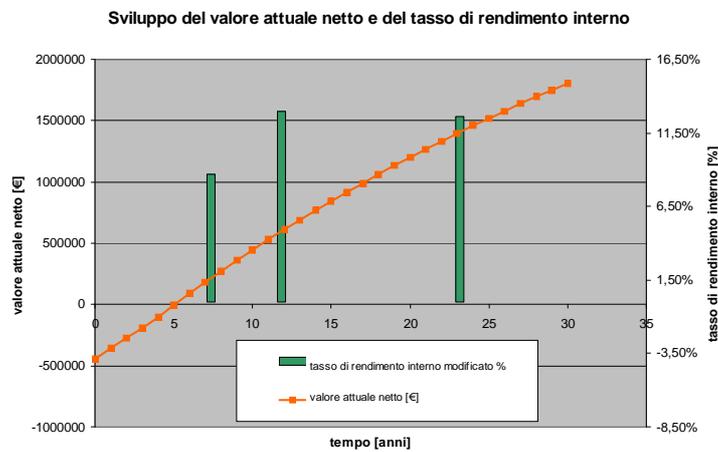


Figura 34. Risultato dell'analisi economica.

EINSTEIN Passo 9: Analisi economico-finanziaria

> **Calcolo dei principali parametri economici**

> **Valutazione della opportunità di finanziamento**

> **Elaborazione di un appropriato piano di finanziamento**

3.10 Comunicazione dei risultati e presentazione

3.10.1 Contenuto della relazione

A conclusione dell'audit si deve redigere una relazione finale. Tale relazione deve contenere (almeno) le seguenti informazioni:

- * Una sintesi che evidenzia i risultati principali dell'audit.
- * I dati raccolti e/o stimati durante il processo di audit e usati quale punto di partenza per l'analisi. In particolare, è necessario evidenziare chiaramente le stime e le ipotesi fatte dall'analista che non sono basate sui dati raccolti.
- * La suddivisione del consumo attuale di energia e il confronto con i valori di benchmark.
- * Una descrizione delle diverse proposte alternative analizzate, sottolineando le modifiche necessarie rispetto alla situazione attuale, e le caratteristiche di ciascuna alternativa proposta. Ciascuna proposta alternativa deve essere identificata con un acronimo breve, ma inequivocabile, da usarsi nelle tabelle comparative e nei grafici.

La descrizione delle proposte alternative dovrebbe essere accompagnata da disegni schematici (diagrammi a blocchi e/o schemi idraulici) che illustrino chiaramente dove si posizionerebbe il nuovo impianto nel sistema esistente.

- * Tabelle comparative e dati con i risultati principali (energetici, ambientali, economici) delle diverse alternative analizzate.
- * Presentazione di un'analisi finanziaria dettagliata della soluzione finale proposta (o delle soluzioni: in alcuni casi può essere opportuno proporre più di una alternativa come "migliore" lasciando all'impresa la scelta finale). In questa sezione, è opportuno menzionare anche la possibilità di un finanziamento tramite terzi, di altre possibili fonti di finanziamento e di incentivi.
- * Una relazione chiara che esponga i punti dubbi e le incertezze ancora presenti a conclusione dell'audit veloce, specialmente se queste potrebbero avere un impatto critico sulla fattibilità dei sistemi proposti. E' opportuno evidenziare gli aspetti che devono essere analizzati più in dettaglio prima di prendere una decisione riguardo al cambio di sistema.

Il software EINSTEIN genera automaticamente una relazione standard recante tutte queste informazioni. Tale relazione è generata in formato di foglio di calcolo (OpenOffice) che può essere modificato e integrato manualmente.

3.10.2 Presentazione all'impresa

La presentazione della relazione all'impresa dovrebbe sempre essere fatta di persona, laddove possibile, in modo da avere l'opportunità di spiegare le proposte, di evitare malintesi e di sottolineare i vantaggi della proposta a chi ha potere decisionale all'interno dell'impresa.

Tuttavia, la relazione EINSTEIN dovrebbe essere sufficientemente chiara da poter essere inviata per posta o per e-mail, laddove una presentazione di persona non è possibile (ad es. se la distanza dall'impresa e il budget limitato non consentono una seconda visita...).

EINSTEIN Passo 10: Preparazione della relazione tecnica e presentazione all'azienda

> Elaborazione di un breve ma chiaro resoconto

> Presentazione all'azienda

3.11 Apprendimento collettivo

3.11.1 Condividete la vostra esperienza con la comunità

Ciascun caso di studio condotto è una nuova esperienza, con caratteristiche proprie, che dovrebbe essere inclusa nel bagaglio di esperienze accessibile da voi o da altri consulenti per audit futuri. Questo processo di apprendimento collettivo può avvenire in modi diversi e a livelli diversi:

- × Condividete le informazioni all'interno della vostra impresa, istituto o rete di contatti. I dati, una volta inseriti nella banca dati EINSTEIN, sono accessibili per audit futuri, ad es. per poter essere usati quali ulteriori valori di benchmark per industrie simili, oppure come fonte di idee su che tipo di misure si possono proporre, ecc.
- × Condividete le informazioni con la comunità di utenti EINSTEIN. Nei prossimi aggiornamenti del kit di strumenti EINSTEIN saranno inseriti nuovi progetti sviluppati dagli utenti. La privacy può essere mantenuta rendendo i dati anonimi (lo strumento EINSTEIN offre diverse opzioni/livelli di riservatezza che eliminano in automatico alcuni dati dai progetti). I progetti possono essere presentati attraverso la pagina Internet di EINSTEIN www.einstein-energy.net, oppure via e-mail al gruppo di informatici del progetto EINSTEIN all'indirizzo: info@energyxperts.net
- × Gli utenti aiutano gli utenti: vi è un forum via e-mail per gli utenti EINSTEIN dove è possibile scambiarsi opinioni, ottenere aiuto o offrire assistenza ad altri. Basta iscriversi sul sito di EINSTEIN: <https://lists.sourceforge.net/lists/listinfo/einstein-users>

3.11.2 Contribuire a migliorare la metodologia e il software

EINSTEIN è quasi perfetto, ma non del tutto. C'è sempre qualcosa di migliorabile, nuove tecnologie o dati più aggiornati, aspetti non considerati, casi speciali che non è possibile rappresentare adeguatamente mediante gli schemi standard di EINSTEIN, ecc.

Usate il sito di EINSTEIN (Einstein.sourceforge.net) per comunicarci eventuali errori, suggerimenti migliorativi, ecc.

3.11.3 Diventa uno sviluppatore EINSTEIN

Lo strumento EINSTEIN continua a svilupparsi come progetto di software libero e open source. È possibile scaricare e modificare il codice sorgente, sviluppare e aggiungere i vostri moduli.

A valle di un controllo di qualità e compatibilità da parte del team di EINSTEIN, questi moduli potrebbero essere inseriti nella versione successiva di EINSTEIN.

Come? È sufficiente inviare una richiesta per diventare uno sviluppatore EINSTEIN al team EINSTEIN attraverso uno dei canali precedentemente menzionati.

3.12 Follow-up

3.12.1 Dall'audit all'installazione del nuovo sistema

Il follow-up è importante tanto quanto l'audit. L'obiettivo principale, naturalmente, è convincere l'impresa a realizzare l'investimento proposto e ad installare un nuovo sistema energeticamente più efficiente.

Ma si apprende e si fa esperienza anche dalle risposte negative: cercate di ottenere informazioni sul perché una proposta, che secondo voi era fattibile dal punto di vista energetico ed economico, non è stata realizzata. Se nel caso specifico non sarà possibile cambiare la decisione dell'impresa, almeno potrete far tesoro di questa esperienza quando presenterete l'analisi successiva.

3.12.2 Rendimento previsto e reale dei nuovi sistemi

Se tutto è andato bene e avete svolto un buon lavoro, alla fine l'impresa migliorerà il suo sistema termo-

energetico installando (completamente o in parte) il nuovo impianto da voi proposto. Potete distendervi, rilassarvi, godervi il successo e dopo qualche tempo...iniziare a lavorare sul prossimo audit.

Tuttavia, dovrete sfruttare questa esperienza pratica monitorando l'impianto almeno per alcuni anni dopo il suo avvio (perché alcuni problemi per certe tecnologie possono emergere solo dopo qualche tempo). Il modo migliore per farlo è un follow-up sistematico:

- * La cosa migliore è cercare di firmare un contratto di manutenzione per avere un contatto diretto con lo stabilimento durante i primi anni di funzionamento.
- * Chiamate l'impresa ad intervalli regolari e fate domande circa la loro esperienza.
- * Se riuscite anche a rilevare alcune misurazioni del rendimento del sistema, tanto meglio. Usate questi dati per paragonare le vostre previsioni al comportamento reale.
- * Tenete un registro dei vostri contatti, dei problemi riferiti, delle vostre riflessioni su come tali problemi avrebbero potuto essere evitati, ecc.

4 Esempi

4.1 Procedura Generale

Punto di partenza:

Dopo una presentazione delle misure di efficienza energetica e delle energie rinnovabili avete un breve incontro con la signora Cleanton il Direttore Tecnico della società EINSTEIN Container Washing SpA .

La signora Cleanton vi racconta che è molto interessata al potenziale che offrono le energie rinnovabili per ridurre i suoi costi energetici, poiché a causa dei recenti aumenti delle tariffe energetiche il costo dell'energia ha iniziato ad essere un fattore di costo significativo per la società. Vi scambiate, quindi, i biglietti da visita e le promettete di mandarle ulteriori informazioni.

4.1.1 EINSTEIN Fase 1: Motivare

Una volta rientrati in ufficio, inviate una breve e-mail alla sig.ra Cleanton allegando il materiale informativo su EINSTEIN.

Dopo alcuni giorni la chiamate al telefono. Lei vi conferma che è molto interessata ad un audit energetico EINSTEIN e vi propone di venire a visitare l'azienda, che purtroppo si trova nella città ferroviaria a circa 150 km di distanza dal vostro ufficio. Sei d'accordo con lei, che invierà alcuni dati e alcuni disegni del processo produttivo in anticipo, in modo che sia possibile elaborare una proposta preliminare prima della visita.

4.1.2 EINSTEIN 2° passo: acquisizione dati preliminari

Inviare alla signora Cleanton la check-list di EINSTEIN per fornirle un'idea del tipo di informazioni che dovrete acquisire, ne discuterete poi in dettaglio durante la visita. Insieme alla check list, mandate anche il questionario base di EINSTEIN chiedendole di compilarlo e di rimandarvelo per fax o per mail.

Dopo alcuni giorni ricevete il questionario compilato con pochissimi dati:

Alcune informazioni generali sull'impresa:	dati amministrativi, fatturato, ecc.
Periodo di produzione:	260 giorni/anno, 10 ore/giorno, 2 turni/giorno
Processi produttivi:	lavaggio container
Fabbisogno di acqua calda:	100 m ³ /giorno a 80 °C
Modalità di generazione del calore:	generatore di vapore, senza alcun dato aggiuntivo
Combustibili impiegati:	gas naturale, senza alcun dato relativo ai consumi

Sebbene il caso di EINSTEIN Container Washing Spa possa sembrare piuttosto semplice, cercate di reperire informazioni su processi simili e controllate le raccomandazioni (BAT) contenute in EINSTEIN per vedere se riuscite a trovare qualche idea su possibili miglioramenti. Tra le proposte più adatte al vostro caso troverete:

Ottimizzazione dei processi di lavaggio:

- "controllare se il consumo idrico e/o la temperatura dell'acqua possano essere ridotte usando altri detersivi"
- "controllare se è possibile operare il recupero delle acque reflue oppure utilizzare un circuito idraulico chiuso"

Raccomandazioni riguardanti la fornitura di calore:

- "controllare la possibilità di recuperare calore dalle acque reflue"
- "controllare se la temperatura dell'acqua di processo è appropriata per l'impiego di sistemi solari termici"

4.1.3 EINSTEIN 3° passo: elaborazione dati preliminari

Come prima cosa inserite i dati nel software EINSTEIN per valutare, in base ai dati a vostra disposizione, con quale livello di dettaglio sia possibile fornire informazioni di massima all'impresa. Dalla vostra esperienza sapete che, a partire dalle informazioni fornite dall'impresa, dovrete fare delle stime sull'opportunità di utilizzare il calore di scarto. Per una prima approssimazione, si può supporre quanto segue (sebbene consapevoli che questi dati potrebbero essere inesatti e dovranno essere confermati prima di presentare una proposta all'impresa):

- Quantità di acque reflue = alla quantità di acqua calda consumata: 100 m³/giorno
- Temperatura delle acque reflue: 50 °C
- Assumete le tariffe energetiche riscontrate in industrie di grandezza analoga:
 - o gas naturale: 30 €/MWh
 - o prezzo dell'elettricità 85 €/ MWh
- Distribuzione del calore: vapore a 2 bar, temperatura di mandata 104°C, temperatura di ritorno 60°C, 100% recupero di condensa

(Vedere progetto esempio: *EINSTEIN Guide 41 Preliminary step*)

Poiché il vostro obiettivo è di effettuare semplicemente un pre-audit veloce, utilizzate EINSTEIN in modalità automatica con il livello di precisione impostato su "quick & dirty". Con tali impostazioni, otterrete i seguenti risultati:

- Fortunatamente: i dati sono sufficienti e coerenti per una prima analisi di tipo, "quick & dirty"
- Per un'analisi più accurata, è invece necessario conoscere la potenza nominale della caldaia attualmente installata
- Il fabbisogno di energia termica per il processo è stimato in 2.118 MWh annui pari ad un consumo stimato di combustibile di 2.552 MWh. Il 71% della domanda di calore pari a circa 1.500 MWh ha una temperatura inferiore a 60°C
- Con recupero di calore, il somministro esterno di energia può essere ridotto a 1.327 MWh
- Come misure di efficienza energetica addizionali ottenete le seguenti proposte:
 - a) un sistema solare termico con potenza nominale di 693 kW con un fattore di copertura pari al 51% della domanda di calore residua
 - b) un impianto di cogenerazione con potenza nominale di 333 Kw con un fattore di copertura pari al 70% della domanda di calore residuale
 - c) una pompa di calore con potenza nominale di 300 Kw con un fattore di copertura pari al 20% della domanda di calore residuale
 - d) una nuova caldaia con efficienza maggiore

In tutti i casi, la vecchia caldaia è stata sostituita con una più efficiente. I risultati sono mostrati nella figura 35.

(Vedere progetto esempio: *EINSTEIN Guide 41 Auto-Pilot Results*)

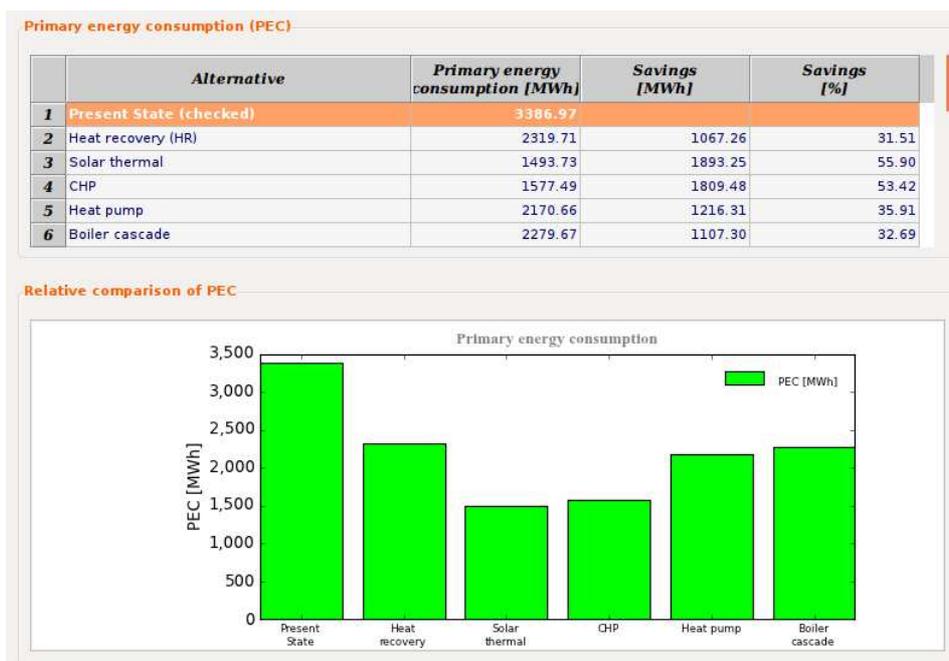


Figura 35. Confronto tra il consumo attuale di energia primaria stimato e il potenziale di riduzione conseguibile adottando diverse misure di efficienza energetica.

Per confermare questi risultati preliminari, chiamate l'impresa e chiedete quale è la potenza nominale della caldaia installata. Vi dicono che nello stabilimento è installato un generatore di vapore da 3 MW.

Poiché non siete un grande esperto di energie rinnovabili, chiamate un collega che lavora in questo campo per ottenere ulteriori informazioni.

Ora che avete un'idea generale del consumo di energia dell'impresa, potete cercare dei valori di riferimento per sapere se il consumo di energia attuale rientra nelle buone pratiche.

In seguito alle possibili misure che avete identificato durante l'analisi "quick & dirty", stabilite le seguenti priorità per l'acquisizione di ulteriori dati:

Come risultato delle possibili misure che potrebbero essere identificate nel corso dello studio preliminare, si fissano le seguenti priorità con lo scopo di acquisire ulteriori dati:

- Determinare la temperatura delle acque reflue e il grado di contaminazione (possibili problemi per il recupero di calore)
- Determinare le superfici disponibili e le caratteristiche strutturali dei tetti per l'eventuale installazione di un sistema a energia solare
- Determinare l'efficienza di conversione energetica, l'età e lo stato di conservazione della caldaia esistente per decidere se sostituire il generatore di vapore

4.1.4 EINSTEIN 4° passo: valutazione preliminare "Quick & Dirty"

In questo caso, i dati disponibili sono sufficienti per formulare una prima proposta "quick & dirty" da presentare e discutere con l'impresa. Pertanto, stampate il report standard dell'audit elaborato dal software EINSTEIN. Decidete di non inviarlo via e-mail, ma di presentarlo personalmente durante la visita allo stabilimento.

4.1.5 EINSTEIN 5° passo: visita presso lo stabilimento

All'arrivo nell'impresa siete ricevuti dalla sig.ra Cleanton, accompagnata da un operatore dell'impianto di lavaggio. Presentate e spiegate l'analisi preliminare e ricevete conferma del fatto che l'impresa è molto interessata ad applicare le misure di risparmio energetico proposte, in particolare quelle che sembrano poter

garantire il potenziale di risparmio maggiore: recupero di calore ed energia solare.

Pertanto, vi concentrate sulla raccolta di informazioni ulteriori, specialmente appuntate nella vostra lista delle priorità. Ottenete le seguenti ulteriori informazioni:

- Il generatore di vapore esistente è molto vecchio e l'impresa stava già pensando di sostituirlo. La sig.ra Cleanton nel frattempo è riuscita a raccogliere ulteriori informazioni dalle bollette energetiche: il consumo di gas naturale negli ultimi tre anni è stato tra 2.700 e 3.100 MWh per anno.
- Lo stabilimento ha un tetto piano in calcestruzzo di circa 2.000 m² che non presenta particolari problemi statici rispetto all'installazione di un impianto di collettori solari termici.
- Le acque reflue vengono inizialmente depurate in un impianto di trattamento per la separazione dei prodotti chimici e di altre sostanze inquinanti e quindi sono raccolte in un serbatoio. Non riuscite ad ottenere ulteriori informazioni sulla temperatura dell'acqua reflua. Vi dicono tuttavia che le acque reflue non sono corrosive e sono prive di quantità significative di altri inquinanti o materiali in sospensione, quali fibre, che potrebbero costituire un problema per gli scambiatori di calore.

(Vedere progetto esempio: *EINSTEIN Guide 41 Visit On-Site*)

Dato che avete il computer portatile, che avevate portato con voi per la presentazione, cogliete l'opportunità di inserire nel software EINSTEIN le nuove informazioni raccolte e di controllare se sono coerenti con quelle preliminari; il software fornisce una risposta affermativa. In questo caso si ha la conferma che i dati sono coerenti tra loro. Tuttavia, i nuovi dati sul consumo energetico mostrano che la caldaia esistente è molto inefficiente (efficienza di conversione stimata della caldaia pari al 74%!).

Durante il sopralluogo nello stabilimento, effettuate misurazioni sulla temperatura delle acque reflue nel serbatoio di raccolta. Eseguite due misurazioni, una all'inizio e l'altra alla fine della visita, poco prima di lasciare l'impresa. Ottenete i seguenti valori:

- Temperatura acque reflue misurata nel serbatoio: (a) 51,3°C (mentre erano in corso tre processi di lavaggio funzionanti in parallelo); (b) 42,8°C (nel momento in cui c'era un solo processo di lavaggio attivo).

I valori non si discostano troppo dalla vostra stima iniziale. In ogni caso, consigliate alla responsabile dell'impresa di tenere sotto controllo ed effettuare misurazioni di questa temperatura per una settimana, allegando a queste gli orari di inizio e fine dei cicli di lavaggio e relativi consumi idrici.

Dopo la visita, riferite brevemente le vostre osservazioni alla sig.ra Cleanton, segnalando che gli aspetti principali dello studio di pre-fattibilità presentato all'inizio rimangono validi. Sugerite di aspettare le misurazioni mancanti. L'operatore della linea di lavaggio promette di occuparsene la settimana seguente e voi comunicate alla sig.ra Cleanton che tra due settimane consegnerete il report definitivo dell'audit.

4.1.6 EINSTEIN 6° passo: analisi della situazione attuale

Dopo aver analizzato i risultati delle misurazioni fatte dall'impresa, che vi sono state inviate via fax, ottenete una temperatura media delle acque reflue di 45,2°C. Per l'analisi definitiva da consegnare all'impresa, decidete così di correggere la stima iniziale da 50 a 45°C. Si ottiene la suddivisione del consumo di calore di processo in funzione di varie fasce di temperatura, come illustrato nella Figura 36.

Inoltre, il software conferma che l'attuale sistema di produzione del calore sta lavorando con una efficienza molto bassa (circa il 75%).

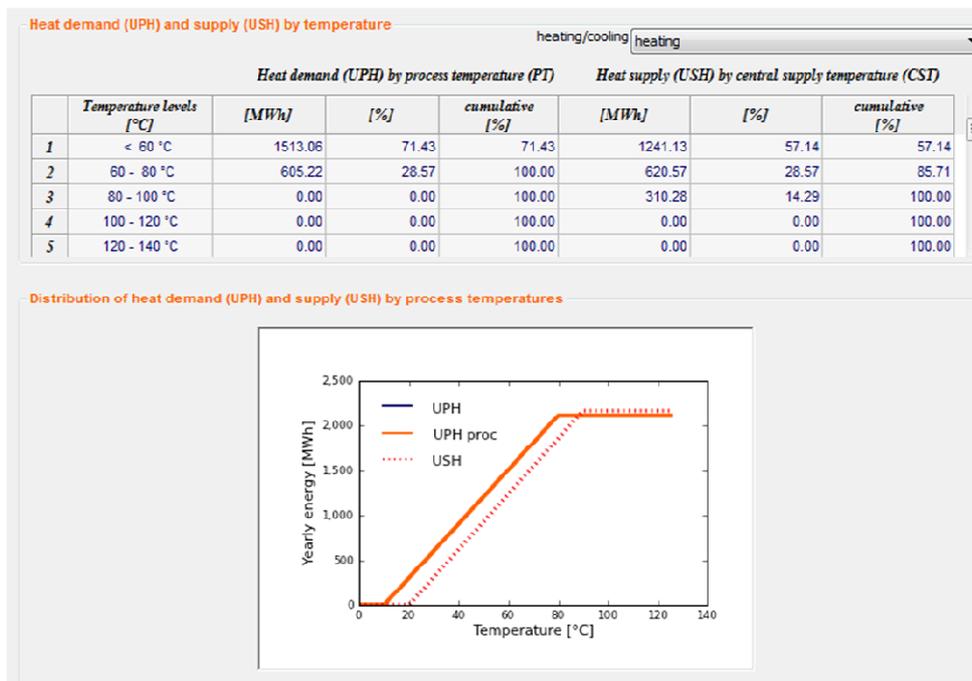


Figura 36. Suddivisione del consumo di energia (esempio): calore di processo e calore somministrato per livello di temperatura (N.B. Nel caso del calore fornito viene riportata la temperatura minima richiesta e non l'attuale temperatura del vapore generato).

4.1.7 EINSTEIN 7° passo: elaborazione delle opzioni di risparmio

4.1.7.1 Ottimizzazione del processo

Dopo aver discusso con il personale dell'impresa, siete giunti alla conclusione che per il caso considerato non vi è possibilità di ottenere miglioramenti di efficienza energetica sul processo di lavaggio. Decidete quindi di concentrarvi sul recupero di calore e sull'ottimizzazione di generazione e fornitura del calore.

4.1.7.2 Recupero di calore

Come prima misura per migliorare l'efficienza energetica globale suggerite all'impresa di recuperare calore dalle acque reflue per pre-riscaldare l'acqua di alimentazione. Usate il software EINSTEIN per progettare correttamente lo scambiatore di calore e l'accumulo termico. La domanda di calore rimanente è successivamente utilizzata come base di partenza per tutte le possibili proposte di ottimizzazione energetica.

4.1.7.3 Fornitura di calore

Visto che volete realizzare un audit veloce, decidete di lavorare su alcune delle soluzioni generate automaticamente dal software EINSTEIN. Tuttavia, fate qualche messa a punto della proposta combinando un sistema di recupero di calore con un impianto solare termico, e sostituendo la caldaia attuale, inefficiente e sovradimensionata, con una nuova più piccola.

La proposta generata automaticamente prevede un impianto solare termico da 624 kW con collettori a tubi sottovuoto (ETC). Si decide di modificarla manualmente:

- Arrotondate i risultati a 600 kW e 40 m³ di accumulo del calore
- Fate un raffronto tra tipi di collettori diversi: piani (FPC) e a tubi sottovuoto (ETC)
- Studiate una terza soluzione con un impianto solare termico più piccolo (FPC da 300 kW).

(Vedere progetto esempio: *EINSTEIN Guide 41 Detailed*)

La progettatazione automatica del software EINSTEIN vi propone per tutti e 3 tipi di impianti solari termici una

nuova caldaia con una potenza nominale di 650 kW.

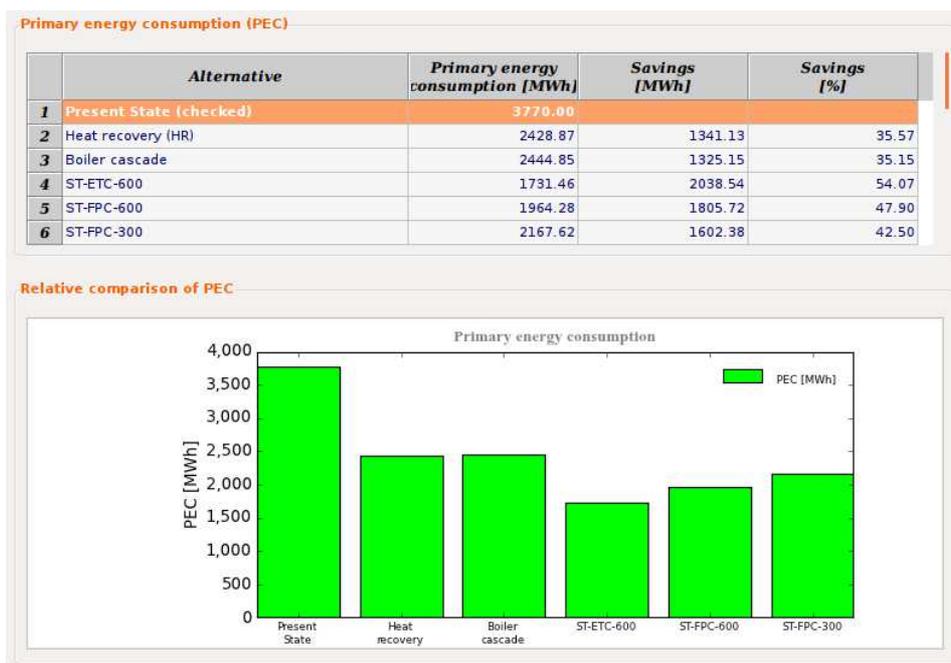


Figura 37. Confronto tra il consumo attuale di energia primaria e il potenziale di riduzione conseguibile adottando diverse misure di efficienza energetica. Tutti i sistemi solari termici proposti sono basati sull'alternativa "Heat Recovery" e includono il recupero di calore e la sostituzione della caldaia.

4.1.8 EINSTEIN 8° passo: calcolo della prestazione energetica



Figura 38. Fornitura di calore settimanale per tipo di impianto. Alternativa "ST-ETC-600".

Per conoscere la resa media mensile dell'intero sistema, si esegue una simulazione utilizzando il modulo del software EINSTEIN per il calcolo delle prestazioni energetiche. Dai grafici è possibile evincere la produzione energetica settimanale del sistema (Figura 38).

4.1.9 EINSTEIN 9° passo: analisi economico-finanziaria

Infine, vengono confrontate le alternative proposte dal punto di vista economico. Per una valutazione rapida potete utilizzare i calcoli automatici dell'investimento e i costi O&M disponibili nel database di EINSTEIN e poi aggiungere manualmente i valori stimati per il sistema di recupero del calore.

Come risultato dell'analisi economica ottenete i dati riportati nelle Figure 39, 40 e 41. In particolare, nella figura 39 vengono riportati i costi di investimento e le sovvenzioni.

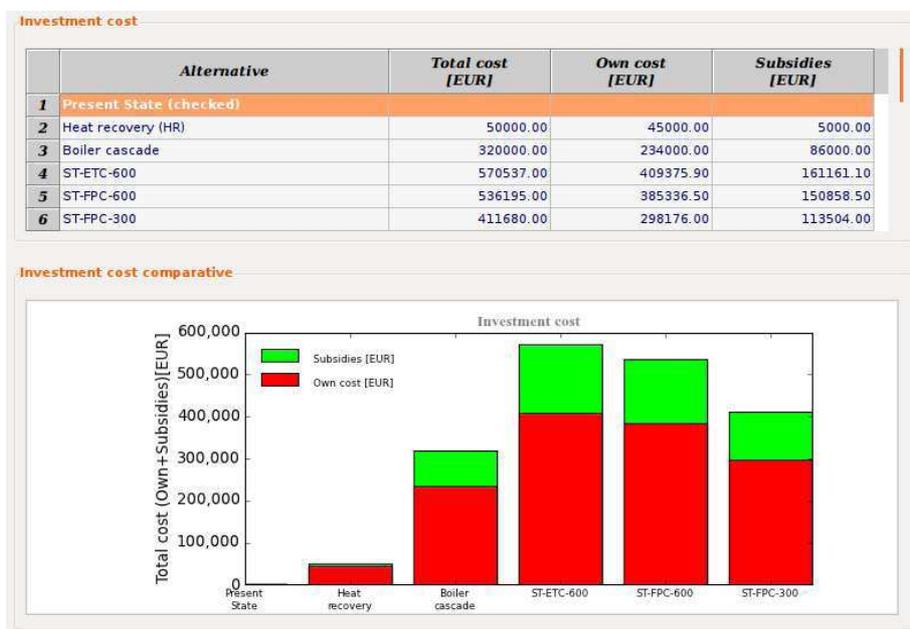


Figura 39.. Confronto tra i costi di investimento delle differenti misure di efficienza energetica. Tutti i sistemi solari termici proposti sono basati sull'alternativa "Heat Recovery" e includono il recupero di calore e la sostituzione della caldaia.

La Figura 40 mostra il costo annuale totale dei vari sistemi energetici comprendente i costi energetici (bollette), i costi di funzionamento e manutenzione, la rata di ammortamento e deprezzamento dell'investimento iniziale. Il costo minimo è ottenuto per l'alternativa "Heat Recovery" con un risparmio potenziale di energia primaria moderato, mentre i costi delle alternative che prevedono un impianto solare termico più grande, e anche risparmi di energia primaria totale più elevati, i costi aumentano soprattutto in virtù della quota di ammortamento dell'investimento iniziale.

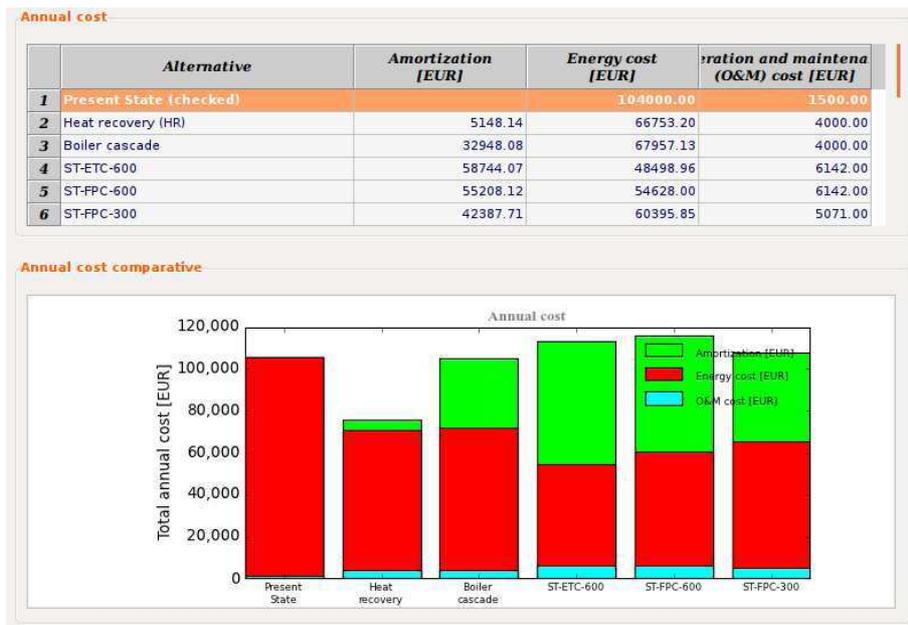


Figura 40. Confronto tra i costi annuali (incluso la rendita dell'investimento iniziale) delle differenti misure di efficienza energetica. Tutti gli impianti solari termici sono basati sull'alternativa "Heat Recovery" ed includono il recupero di calore e la sostituzione della caldaia.

La figura 41 mostra il costo addizionale annuo per unità di energia risparmiata. L'alternativa di "Heat Recovery" prevede sia la riduzione del consumo di energia primaria che la riduzione del consumo energetico totale annuo dell'impianto. Le alternative che includono impianti solari (ST) generano un risparmio di energia primaria superiore ma a prezzo di un maggiore costo annuale. La alternative FPC-ST-300 conduce a un risparmio di energia primaria molto alto essendo quasi neutra rispetto ai costi.

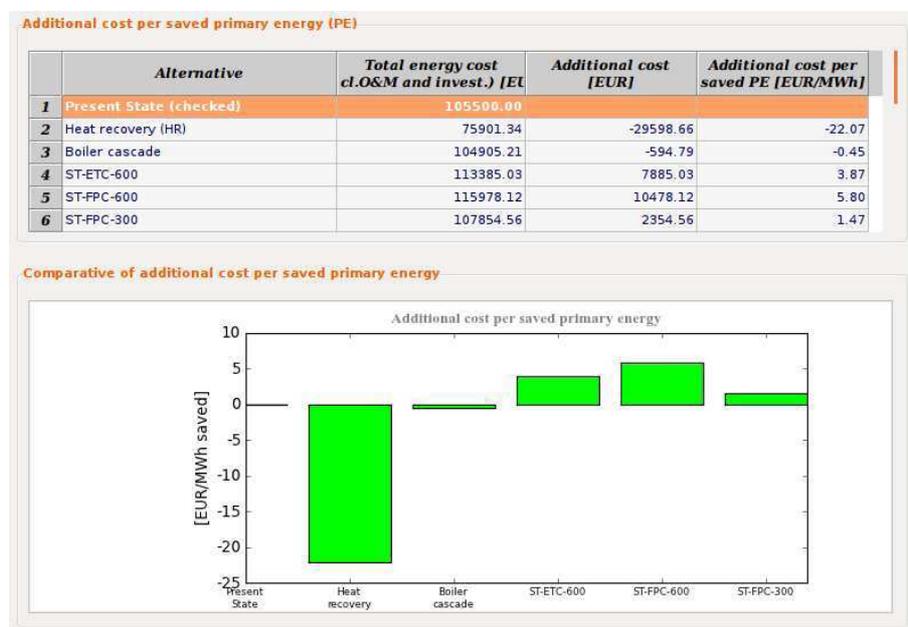


Figura 41. Confronto tra i costi addizionali annuali per unità di energia risparmiata delle differenti misure di efficienza energetica. Tutti gli impianti solari termici sono basati sull'alternativa "Heat Recovery" ed includono anche il recupero di calore e la sostituzione della caldaia.

4.1.10 EINSTEIN 10° passo: comunicazione dei risultati e presentazione

I risultati ottenuti sono soddisfacenti. Vi sembra che la proposta ST-FPC300 sia allettante e che l'impresa adottandola potrebbe ridurre i costi del 42,5% circa. Stampate il report dell'audit EINSTEIN, generato automaticamente dal software, e chiamate la sig.ra Cleanton per fissare un incontro ed esporle i vostri risultati.

4.2 Controllo di coerenza e stima dei dati

In questa sezione troverete alcuni esempi su come usare il software EINSTEIN per controllare la coerenza interna dei dati acquisiti nell'impresa. Verrà utilizzato un modello semplificato di caseificio con tre soli processi produttivi allo scopo di dimostrare le principali proprietà di questo strumento. Gli esempi discussi in questa sezione sono inclusi nella database di progetti predefiniti di EINSTEIN.

4.2.1 Descrizione del caseificio di riferimento

4.2.1.1 Processi

Si considerano tre processi tipici di un caseificio:

- × Pastorizzazione (processo 1)
- × Coagulazione (cagliatura) (processo 2)
- × Filatura della mozzarella (processo 3).

La pastorizzazione è il processo che consuma più energia. Nell'esempio considerato, il caseificio funziona 280 giorni l'anno e produce principalmente due prodotti: formaggio e mozzarella. Prodotti intermedi sono: latte pastorizzato (dalla pastorizzazione), siero e cagliata (entrambi dalla coagulazione).

Pastorizzazione

La pastorizzazione è un processo di riscaldamento controllato, usato per eliminare i microrganismi, patogeni o che possono deteriorare l'alimento, che potrebbero essere presenti nel latte. La pastorizzazione rapida ad alte temperature di tipo High Temperature/ Short Time (HTST) avviene tra i 72 e i 75°C per un periodo di tempo che va dai 15 ai 240 secondi. Per la pastorizzazione continua si usano scambiatori di calore (a fascio tubiero o a piastre), con sezioni di riscaldamento, mantenimento e raffreddamento.

La pastorizzazione prevede sia recupero di calore interno sia apporto di calore dall'esterno, per riscaldare prima, e raffreddare poi, un fluido in circolazione (latte). La quantità giornaliera di latte pastorizzato è 400 m³. Il processo è continuo e dura 5 ore/giorno, dalle 6 alle 11. Il fluido termovettore è acqua calda.

Il latte entra nel macchinario a 4°C, poi scorre in uno scambiatore di calore interno in controcorrente dove il latte caldo in uscita pre-riscalda il latte freddo in entrata fino a 38°C. Il latte pre-riscaldato è poi ulteriormente riscaldato fino a 72°C dall'acqua calda; quindi, nello scambiatore, è mantenuto per qualche istante a questa temperatura, per poi essere nuovamente raffreddato a 38°C dal latte fresco in ingresso. La richiesta di energia riconducibile alle perdite di calore nel pastore e all'avviamento si considera trascurabile.

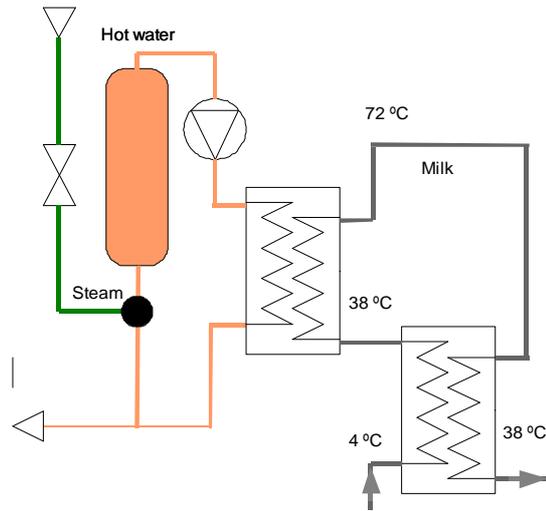


Figura 42. Schema semplificato del pastorizzatore.

Coagulazione

La coagulazione, chiamata anche cagliatura, nella produzione dei formaggi, è necessaria per separare la cagliata dal siero. La cagliatura avviene in appositi tini o vasche dove vengono aggiunti al latte starter e altri ingredienti per produrre un *coagulo*. Il siero è successivamente raccolto e inviato alle lavorazioni successive. La temperatura è uno dei fattori chiave che incidono sulla cagliatura del latte. Il valore di temperatura richiesto si ottiene con l'impiego di scambiatori di calore o tramite iniezione diretta di vapore nel tino di cagliatura.

La cagliatura è un processo a lotti e, nel nostro caso, si assume che ogni lotto abbia una durata di 1,5 ore. Ogni giorno si lavorano 4 lotti, dalle 10 alle 16. All'inizio di ciascun lotto, è necessaria una quantità di calore sufficiente a riscaldare il latte dalla temperatura di ingresso (37°C) alla temperatura di processo (40°C). Durante la coagulazione, è necessaria ulteriore energia termica per mantenere la temperatura di processo costante a 40°C.

L'intera quantità giornaliera di latte da trattare, pari a 400 m³, passa alla coagulazione in seguito a pastorizzazione. Come risultato del processo si ottengono per separazione 240 m³/giorno di siero a 37°C.

Filatura della mozzarella

La filatura della mozzarella comprende riscaldamento e fusione. La cagliata è posta in un bollitore e miscelata con acqua calda ad alta temperatura, generalmente 75-95°C. L'acqua calda si usa essenzialmente per sciogliere il *coagulo*. Una certa percentuale di acqua di processo è assorbita dalla cagliata per aumentarne l'elasticità. L'acqua calda è ottenuta attraverso scambio termico con il fluido termovettore, o tramite iniezione diretta di vapore.

Anche la filatura è un processo a lotti e, in questo caso, ciascun lotto dura 1 ora. Ogni giorno si lavorano 4 lotti, dalle 12 alle 18. Qui l'energia termica è necessaria per aumentare la temperatura dell'acqua di processo da 10°C fino a 90°C. Il 50% del latte pastorizzato quotidianamente è usato dopo la coagulazione per produrre mozzarella. Supponendo che per 100 l di latte siano necessari 26 l di acqua calda (per produrre 13 kg di mozzarella), per 200 m³/giorno di latte pastorizzato saranno necessari 50 m³ di acqua al giorno a 90°C. La temperatura di uscita delle acque reflue è 70°C, mentre il flusso si presume essere l'80% della quantità giornaliera in ingresso, vale a dire 40 m³.

4.2.1.2 Generazione e distribuzione del calore

La Figura 43 illustra lo schema di generazione e distribuzione del calore, formato da due generatori di vapore alimentati a gas naturale, e tre linee indipendenti per il trasporto del vapore ai tre processi.

La caldaia B1 (potenza nominale 3 MW) alimenta solo il processo di pastorizzazione (P1). L'efficienza media

è 80%, il fattore di utilizzazione medio è 80%, mentre il consumo nominale di gas naturale è di 301.8 kg/h. La caldaia B1 funziona 6 ore al giorno, dalle 5:00 alle 11:00 del mattino.

La caldaia B2 (potenza nominale 2 MW) alimenta tutti e tre i processi (P1: pastorizzazione, P2: coagulazione, P3: filatura della mozzarella). L'efficienza media è 88%, il fattore di utilizzazione medio è 59,4% e il consumo nominale di gas naturale è di 182,9 kg/h. La caldaia 2 funziona 8 ore al giorno, dalle 10:00 alle 18:00.

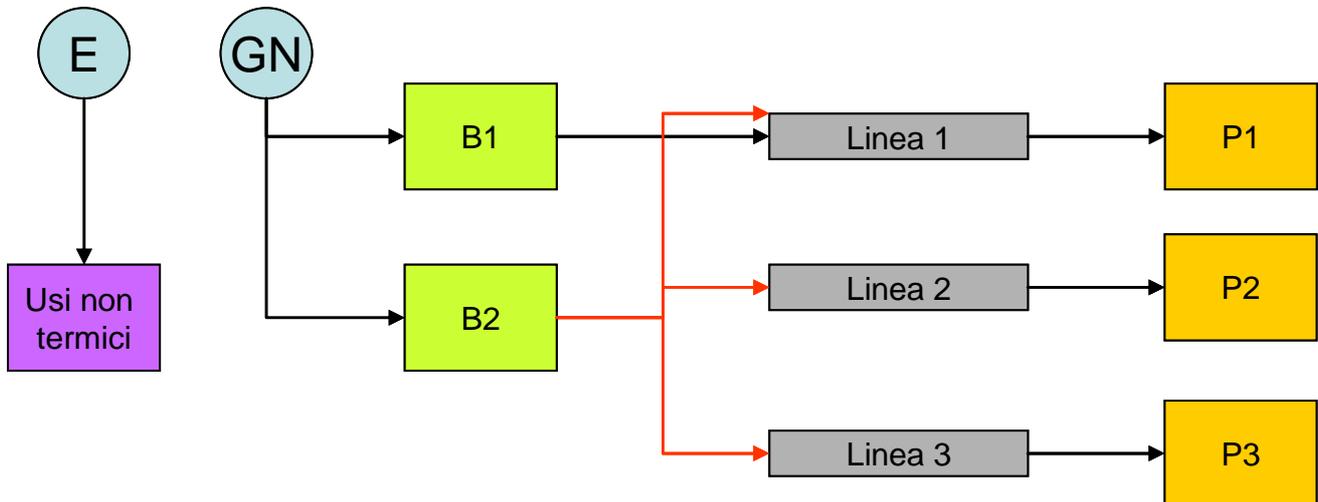


Figura 43. Diagramma a blocchi del sistema di generazione e distribuzione del calore e dei processi termici nel caseificio.

Il fluido termovettore usato è vapore a bassa pressione (2 bar) a 140°C, mentre la temperatura di ritorno della condensa è 60°C. La lunghezza della linea di distribuzione è 200 m (solo andata), mentre le linee 2 e 3 misurano 100 m ciascuno.

Dalle fatture dell'energia si desume che la quantità annua di combustibile (gas naturale,) consumata è di 811.200 m³. Il consumo di energia finale di gas naturale (NG) per usi termici (consumo annuale pci) è di 8.063 MWh.

Il consumo di elettricità, necessaria per usi esclusivamente non termici, è approssimativamente pari a 400 MWh: 300 MWh per il funzionamento dei macchinari e 100 MWh per l'illuminazione.

4.2.1.3 Il caso base: ripartizione del consumo di energia mediante il software EINSTEIN.

Dopo aver inserito tutti i dati nello strumento software EINSTEIN ed eseguito il controllo di coerenza, sono stati ottenuti i risultati mostrati nella Figura 44.

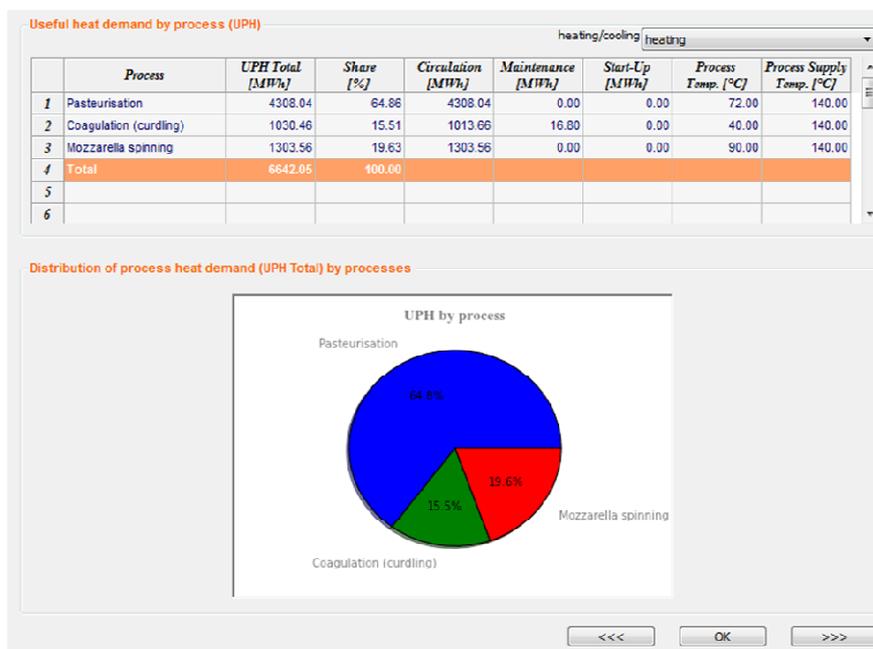


Figura 44. Suddivisione del consumo di calore di processo per il caseificio preso a modello (nome del progetto esempio inserito nel software: "EINSTEIN Audit Guide 42 Base Case").

Se i dati sono stati inseriti correttamente nel software EINSTEIN, è possibile ottenere una suddivisione completa del consumo di energia come rappresentato in Figura 44. I principali flussi di energia del sistema sono illustrati nella Figura 45.

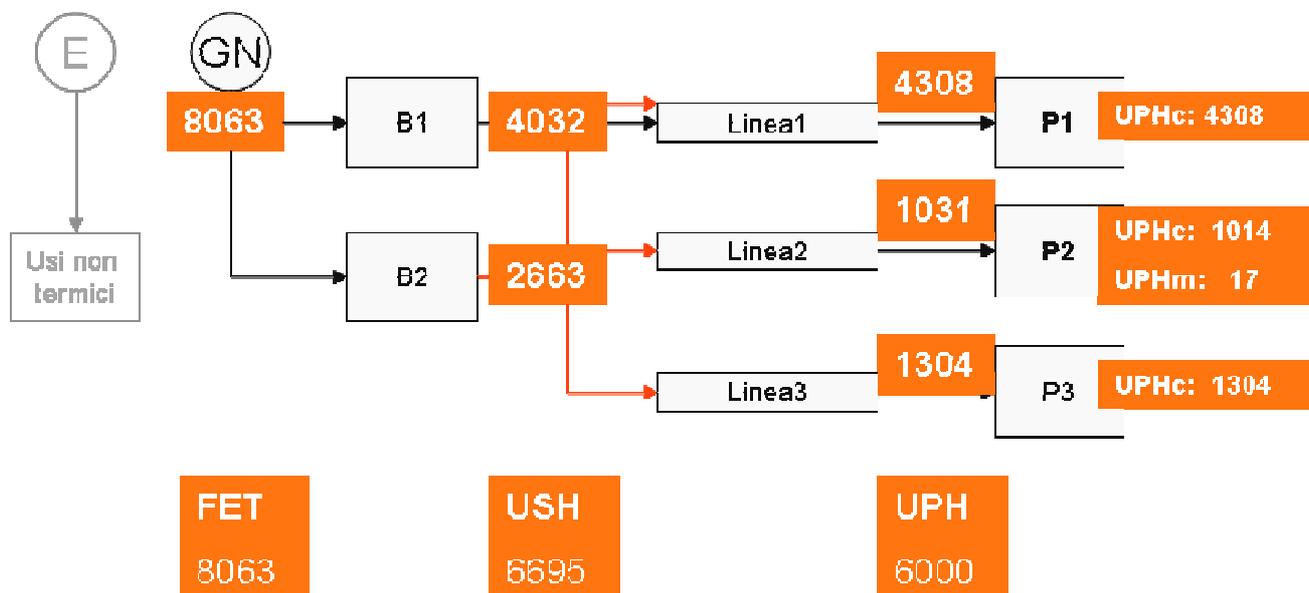


Figura 45. Flussi di energia del sistema (caso base).

4.2.2 Individuazione delle incoerenze interne nel set di dati

Come già spiegato nel capitolo 2, uno dei primi passi nel controllo dei dati consiste nel verificare se i dati disponibili sono coerenti o se ci sono contraddizioni interne. Illustreremo questa procedura con due esempi.

4.2.2.1 Conflitto tra due dati diversi che identificano la stessa grandezza

Un esempio di conflitto molto semplice può emergere tra i dati inseriti per esempio a causa di errori nelle unità di misura (es. si usano kWh invece di MWh). Nel caso considerato, il consumo totale di energia è pari a 8.063 MWh corrispondente ad un consumo di gas naturale di circa 811.200 m³. Se, per esempio, l'utente inserisce erroneamente 8.063 kWh al posto di 8.063 MWh, l'errore è facilmente identificabile dal software EINSTEIN (Figura 46).

conflicts in parameter specifications			
	parameter (values in conflict)	data group (accuracy)	description (calculated from)
1	FECFuel	Fuel[1]	total own fuel consumption (LCV)
2	8.063 MWh	+/- 0.10%	FECFuel;
3	8063.328 MWh	+/- 0.00%	MFuelYear;
4	MFuelYear	Fuel[1]	annual consumption
5	648960.000 kg	+/- 0.00%	MFuelYear;
6	648.934 kg	+/- 0.10%	FECFuel;
7			

Figura 46. Messaggio di errore del software EINSTEIN in caso di dati contraddittori rispetto al consumo di combustibile (Vedere progetto esempio : "EINSTEIN Audit Guide 42 1a").

4.2.2.2 Conflitti generici tra i dati

Non tutti i conflitti tra dati sono facili da individuare come nell'esempio precedente. Talvolta, per individuare una contraddizione è necessario calcolare i bilanci energetici del sistema o valutare le portate, i livelli di temperatura, ecc. Pertanto, come secondo esempio, possiamo inserire un consumo totale di combustibile maggiore della somma delle singole domande di calore di processo (con valori ragionevoli per le efficienze di conversione e di distribuzione).

conflicts in parameter specifications			
	parameter (values in conflict)	data group (accuracy)	description (calculated from)
1	USHTotal	USH[-]	Useful Supply Heat (Total)
2	6692.562 MWh	+/- 1.66%	#USHm[1]; #USHm[2]; #USHm[3];
3	17196.800 MWh	+/- 0.58%	#USHj[1]; #USHj[2];
4	USHj[1]	USH[-]	Useful Supply Heat by equipment
5	4032.000 MWh	+/- 0.10%	#USHj[1];
6	0.000 MWh	+/- 0.00%	#USHm[1]; #USHm[2]; #USHm[3]; #USHj[2];
7			

Figura 47. Messaggio di errore del software EINSTEIN in caso di dati contraddittori risultanti dai bilanci energetici – USH: calore utile fornito (Vedere progetto esempio: "EINSTEIN Audit Guide 42 1b").

4.2.3 Completare il set di dati con EINSTEIN

Nel caso precedentemente citato, nel software EINSTEIN è stato inserito un set di dati completo; ciò significa che per calcolare alcuni parametri vi sono addirittura informazioni ridondanti (che possono portare a conflitti, come dimostrato nei paragrafi precedenti).

Tuttavia, come abbiamo appreso, EINSTEIN è uno strumento intelligente e non ha bisogno di tutti i dati per sapere come fare procedere. È, infatti, in grado di calcolare autonomamente ciò che manca. Questo però significa che ai dati calcolati o stimati è sempre associato un certo grado di incertezza, che viene visualizzato nelle finestre di dialogo del controllo di coerenza. Perciò, prima di accettare i dati e di procedere con l'audit, si dovrebbe valutare se il grado di incertezza è accettabile o meno per gli scopi prefissi.

Questa sezione illustra come utilizzare il modulo di controllo della coerenza di EINSTEIN per completare le informazioni sull'impresa considerata partendo da un set di dati limitato e incompleto.

4.2.3.1 La domanda di calore è nota solo per i principali processi

E' un caso che si verifica frequentemente nella pratica quando il consumo di energia risulta noto solo per i processi calore più energivori mentre per uno o più processi minori la domanda di calore non è nota. Per illustrarvi come procedere in questo caso, abbiamo cambiato l'esempio supponendo che il consumo di energia del processo 2 (coagulazione) non sia noto:

- La domanda del calore di circolazione del processo (portata del fluido in ingresso) non è stata specificata. Quest implica che Q_{UPH} potrebbe avere un valore qualsiasi, anche molto grande.
- Il fattore di carico del Boiler B2 non è stato specificato. Questo significa che, anche il calore fornito dal Boiler B2 è sconosciuto. Tuttavia, in questo caso, il calore totale fornito da questo impianto è *limitato* dal consumo totale di energia di 8.063 MWh ed anche dalla potenza nominale della caldaia e dal numero massimo di ore di funzionamento.
- Anche la lunghezza dei circuiti 2 e 3 è indeterminata

La situazione complessiva è parzialmente indefinita: non è possibile trovare una soluzione puntuale al problema, poiché le perdite di calore nella distribuzione non si conoscono con precisione. Il problema comunque è circoscritto, poiché si conosce il consumo totale di energia e dunque EINSTEIN può stimare per differenza il parametro mancante. In questo caso, la domanda di calore del processo 2 è stata calcolata e risulta pari a 467 MWh, con un errore molto grande del 100 % che è dovuto ad incertezze sulle perdite termiche di distribuzione.

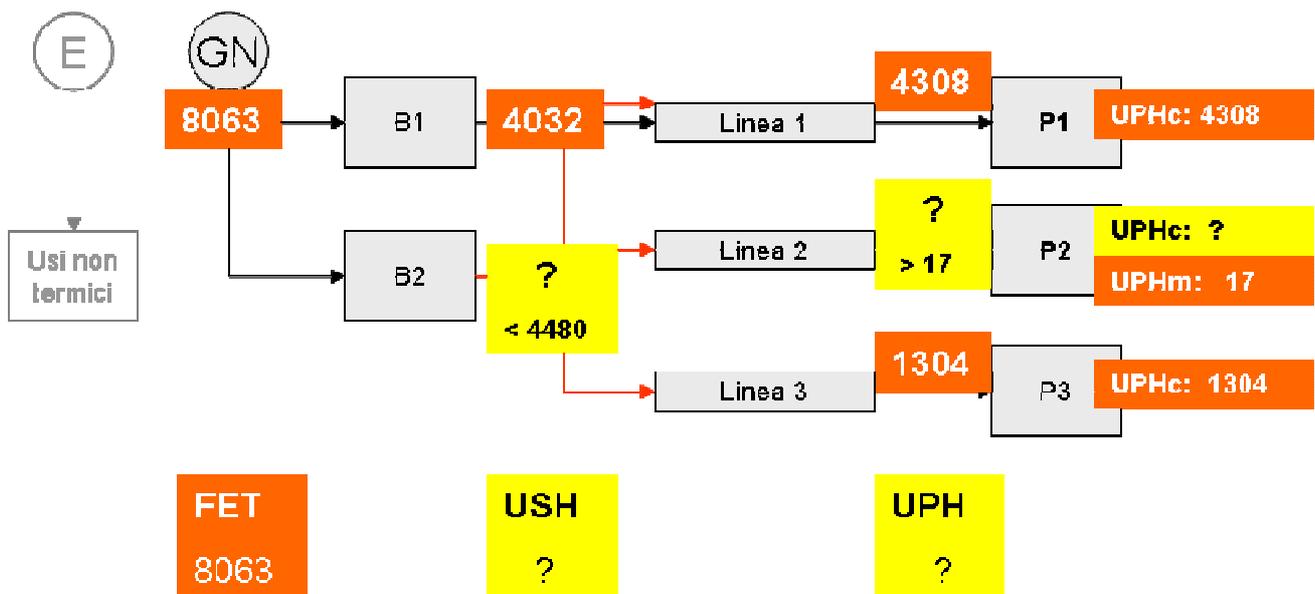


Figura 48. Punto di partenza dell'analisi: consumo di energia dei processi minori sconosciuto (Vedere progetto esempio: "EINSTEIN Audit Guide 42 2a").

4.2.3.2 Il consumo finale totale di calore non è noto

Il problema diventa più complesso se non abbiamo informazioni sul consumo finale totale di energia e se, come nel paragrafo precedente, non conosciamo la domanda di calore del processo 2. Tuttavia anche in questo caso il problema è circoscritto, poiché la potenza nominale della caldaia 2 determina ancora un massimo assoluto.

In questo caso si possono stabilire solo limiti molto approssimativi per la domanda di calore di processo del processo 2, intorno a 1.244 MWh con errore ancora molto elevato, prossimo al 100%.

Tuttavia, l'errore relativo sul calore utile fornito totale (USH) è molto più ridotto (8.342 MWh \pm 32 %). Ciò significa che, anche se non si conosce la domanda di uno dei processi, è ancora possibile fare una prima stima assolutamente ragionevole del consumo finale totale di calore.

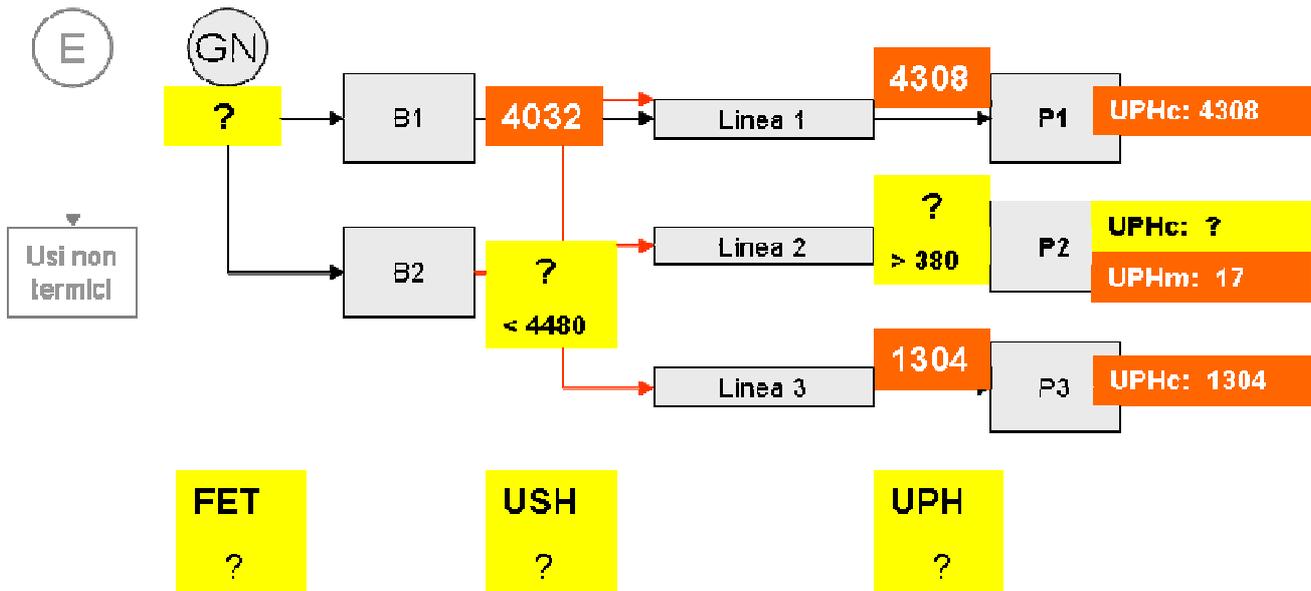


Figura 49. Punto di partenza dell'analisi: non si conoscono né il consumo di energia totale, né il consumo di energia di uno dei processi minori (Vedere progetto esempio: "EINSTEIN Audit Guide 42 2b").

4.2.3.3 La domanda totale di calore e i dati tecnici delle caldaie non sono noti

La situazione diventa assolutamente indeterminata se non si conosce nemmeno la potenza nominale della caldaia 2 e dunque non è possibile determinare dei valori limite ragionevoli per la domanda di calore del processo 2 (Vedere progetto esempio: "EINSTEIN Audit Guide 42 2c").

4.2.4 Stima dei dati

Alcuni dei risultati degli esempi del paragrafo precedente possono essere migliorati se, oltre alle relazioni matematiche (bilanci energetici), si usano anche stime basate sulle conoscenze ingegneristiche.

Nei nostri esempi queste potrebbero essere:

- × Si può presumere che il valore del fattore di utilizzazione della caldaia ricada in un intervallo più ridotto rispetto a quello compreso tra 0 e 100%, poiché nella pratica nessuno dei due estremi è molto probabile.
- × Anche se i dati relativi alla lunghezza dei tubi sono mancanti, almeno un ordine di grandezza può essere stimato.

Usando l'opzione di stima dei dati – nello strumento EINSTEIN ciò avviene automaticamente – nel caso dell'esempio 2b la domanda di calore del processo di coagulazione (processo 2) può essere stimata con sufficiente accuratezza (<30% d errore) pari a 745 MWh. Solo la domanda di calore di mantenimento dell'impianto rimane indeterminata (a causa delle incertezze riguardanti la portata massica del fluido in ingresso): $Q_{UPHc} = 737 \pm 37\%$.

4.3 Recupero di calore: esempio del caseificio

Anche in questo caso abbiamo scelto un caseificio quale esempio di progetto per illustrare l'uso pratico del modulo di recupero di calore.

Come base per l'analisi pinch e la progettazione della rete di scambiatori di calore, i dati dei processi sono trasformati in "flussi di energia" che possono essere freddi (quando devono essere riscaldati, e dunque richiedono energia) o caldi (quando possono essere raffreddati, e dunque fungere da fonte di energia termica per altri processi). Tali flussi vengono combinati tra loro grazie ad un algoritmo il cui risultato consiste nella configurazione di una rete di scambiatori di calore con l'obiettivo di ottenere il massimo risparmio nell'arco dell'anno.

4.3.1 Schema dei flussi e descrizione del processo

Il progetto preso come esempio è un caseificio in cui i processi che assorbono più energia sono quelli della fermentazione ed evaporazione del siero, per produrre siero in polvere. La Figura 50 illustra i processi mediante un diagramma di flusso. Per prima cosa, il latte freddo viene pastorizzato e accumulato. Per produrre il formaggio, il latte viene preriscaldato e trasferito nel fermentatore, dove viene aggiunta anche acqua calda a 65°C. Inoltre, Successivamente, si estrae il siero che, dopo alcune fasi di pulizia, è raffreddato fino alla temperatura di stoccaggio di circa 45°C. Durante la fase di evaporazione, il siero viene riscaldato, esternamente all'evaporatore, un impianto in questo caso a ri-compressione termica. In questa fase, la massa secca del siero passa dal 6% al 60% ovvero il siero concentrato in uscita ha una massa pari a 1/10 di quella del siero in entrata. La condensa calda è raccolta a 75°C e rappresenta il principale calore di scarto del processo, se rapportato al calore che lascia il processo in forma di siero caldo concentrato. Il concentrato caldo lascia l'evaporatore ed è essiccato per ottenere la sua massa secca finale in un essiccatore a spruzzo.

Poiché la pastorizzazione è già dotata di uno scambio di calore interno, la principale priorità per il risparmio energetico riguarda i processi di fermentazione ed evaporazione del siero. Di conseguenza, nell'esempio a seguire si considereranno solo questi processi.

Per il recupero di calore è importante tenere in considerazione gli orari dei flussi. Nel caso studio sono stati considerati i seguenti orari di funzionamento:

- * Fermentazione: 10 lotti al giorno, ciascuno della durata di 2 ore, 5 giorni a settimana
- * Pre-riscaldamento del latte: 30 min prima di ogni lotto
- * Acqua di lavaggio: 20 min durante ciascun lotto
- * Evaporazione: processo continuo, 14 ore/giorno, 5 giorni a settimana.

4.3.2 Inserimento dei dati di processo in EINSTEIN

In EINSTEIN, ai fini dell'inserimento dati sono stati definiti i seguenti processi (Tabella 18):

Tabella 18. Sintesi dei parametri di processo

Processo	Tipo di processo	Flusso di processo in entrata	Calore di scarto in uscita	Energia fornita al processo durante il funzionamento
Pre-riscaldamento del latte	a lotti	Latte, da 6 a 32°C, 180 m ³ al giorno 10 lotti da 30 min	Nessuno (il latte caldo entra nel fermentatore)	nessuna
Pre-riscaldamento dell'acqua di lavaggio	a lotti	Acqua, da 10 a 65°C 18 m ³ al giorno 10 lotti da 20 min	Nessuno (l'acqua calda entra nel fermentatore)	nessuna
Fermentatore	a lotti	Latte, da 32 a 45°C 180 m ³ al giorno 10 lotti da 48 min	Siero caldo a 45°C, raffreddato a 8°C ~ 170 m ³ al giorno	200 kW
Evaporazione	continuo	Siero, da 80 a 100°C 180 m ³ al giorno	Condensa calda 75°C, 400 m ³ al giorno Siero concentrato 50°C, 28 m ³ al giorno	2.400 kW

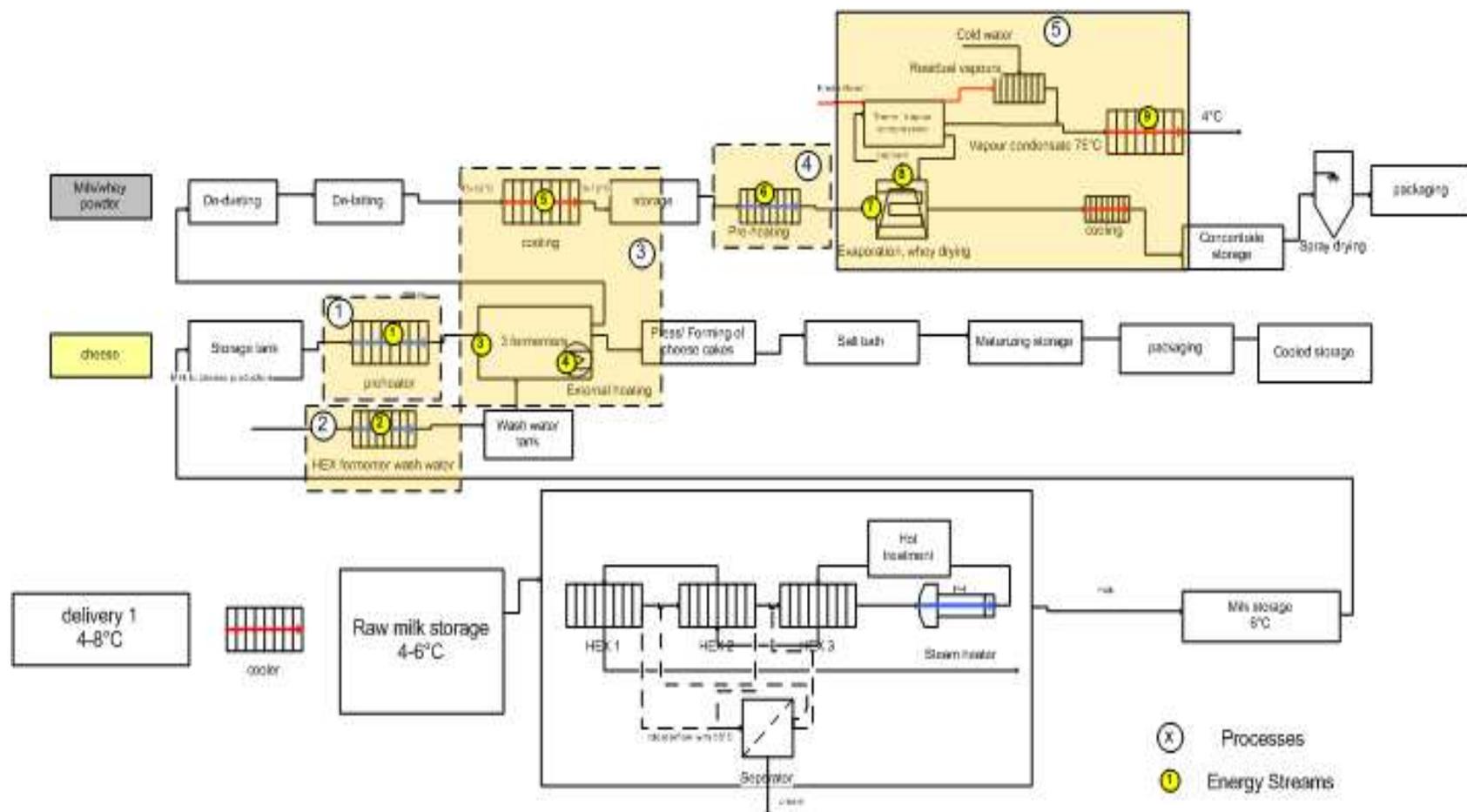


Figura 50. Diagramma di flusso della produzione di formaggio e siero in polvere del caseificio.

4.3.3 Ottimizzazione del processo

In accordo con la metodologia dell'audit e cercando di seguire il principio di "evitare di consumare prima di riciclare", bisognerebbe innanzitutto attuare misure di risparmio e ottimizzazione di processo mediante le migliori tecnologie disponibili e, solo in seguito, considerare l'integrazione di calore. In questo esempio, pertanto, sarebbe necessario valutare possibili alternative per ridurre l'energia richiesta dall'evaporazione, come ad esempio l'osmosi inversa o l'evaporazione sottovuoto. Riducendo la domanda di energia, si riduce al contempo il calore di scarto disponibile, ma il processo è più compatto con una domanda di energia complessivamente inferiore. La possibilità di impiegare nuove tecnologie, naturalmente, dipende dai parametri di processo e dalla disponibilità da parte dell'impresa ad operare tali cambiamenti tecnologici.

In questo esempio non è stata inclusa nessuna ottimizzazione di processo per ragioni di semplicità.

4.3.4 Calcolo del calore recuperabile

Per il calcolo del calore recuperabile i dati di processo inseriti vengono trascritti in forma di flussi di energia (Tabella 19).

Tabella 19. Flussi di energia ottenuti in seguito ai calcoli.

Flusso n.	Nome del flusso	Descrizione	Temperatura iniziale °C	Temperatura finale °C	Caldo/Freddo	Entalpia kW	Ore di funzionamento h/a
1	Pre-riscaldamento del latte		6	32	Freddo	529	2600
2	Acqua di lavaggio del formaggio		10	65	Freddo	115	780
3	Avvio del fermentatore (start up)	Riscaldamento del latte da 32 a 45°C	32	45	Freddo	203	2600
4	Fermentatore durante il funzionamento	Mantenimento della temperatura a 45°C	45	50 (la temperatura per mantenere la temperatura di processo è fissata a 5°C più alta per il trasferimento di calore)	Freddo	100	5200
5	Calore di scarto del fermentatore	Siero caldo	45	8	Caldo	-753	2600
6	Pre-riscaldamento del siero		8	80	Freddo	1376	3640
7	Riscaldamento continuo del siero (per l'evaporazione)	Riscaldamento ulteriore del siero a 100°C	100	100	Freddo	2200	3640
8	Condensa dall'evaporazione del siero	Acqua calda generata dalla condensazione	75	4	Caldo	-826	3640
9	Siero concentrato dall'evaporazione del siero	Siero concentrato che lascia l'evaporatore	50	8	Caldo	-98	3640
10	Calore sensibile nei gas di scarico della caldaia	Calore di scarto nei gas di scarico della caldaia fino alla temperatura di condensazione	140	58	Caldo	-138	5200
11	Preriscaldamento aria di combustione		25	80	Caldo	85	5200

La trattazione del calore latente nei gas di scarico della caldaia alla temperatura di condensazione è escluso dall'esempio per semplicità.

Le *curve composite* calda e fredda, che rappresentano rispettivamente la somma algebrica dei vettori di entalpia di tutti i flussi freddi (Curva Composita Fredda,) e di tutti i flussi caldi (Curva Composita Calda), illustrano la possibilità teorica di scambio termico tra i flussi stessi.

La grande quantità di energia necessaria per l'evaporazione è visibile nella Curva Composita Fredda. Tuttavia, vi è una zona piuttosto vasta in cui il calore di scarto disponibile e i flussi "freddi" da riscaldare si sovrappongono. La massima potenza intercambiabile, secondo le curve pinch, è di circa 2.400 kW. La temperatura pinch è compresa tra 0 e 4°C.

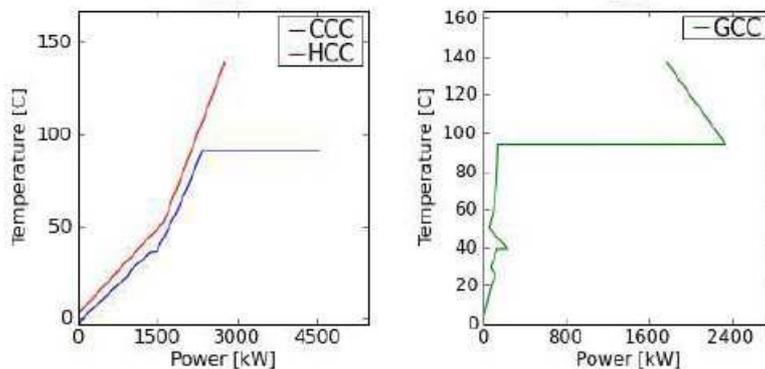


Figura 51. Curva Composita Calda (rossa) e Fredda (blu) del processo sopra-descritto ($\Delta T_{min} = 5 \text{ K}$).

4.3.5 Risultati

4.3.5.1 Stima del potenziale di recupero del calore in base alla analisi *Pinch*

Una prima stima del recupero potenziale di calore può essere realizzata attraverso la analisi pinch usando la modalità estimativa "estimate" del software EINSTEIN (figura 52). Il potenziale di risparmio stimato per la fornitura di calore utile è di 3.815 MWh.

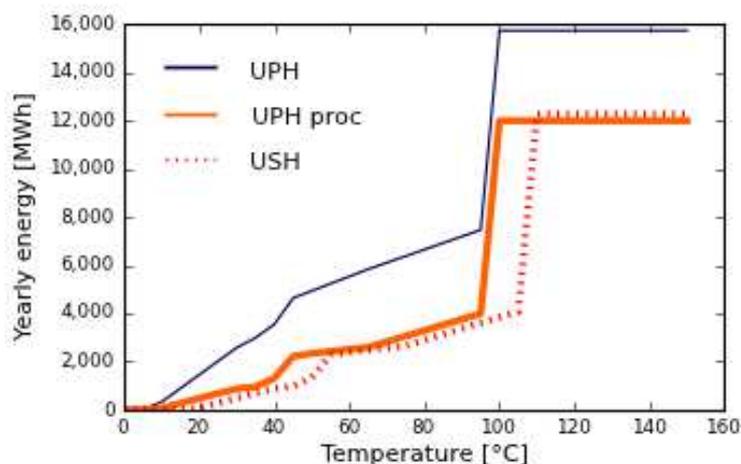


Figura 52: Domanda di calore prima e dopo il recupero di calore. Stima con EINSTEIN (modalità "estimate")

4.3.5.2 Progettazione automatica della rete di scambiatori di calore

L'algoritmo per progettare possibili scambiatori di calore tiene in considerazione criteri quali: le temperature adatte al recupero di calore, la disponibilità e corrispondenti flussi di capacità termica ($m \cdot cp$). E' importante sapere che, in accordo con i criteri termodinamici esposti precedentemente, la rete di scambiatori di calore al di sopra e al di sotto della temperatura pinch è stata calcolata separatamente. Il risultato della rete degli scambiatori di calore può dipendere in larga misura anche da piccole variazioni dei dati di processo che possono influire sulla temperatura pinch. Il risultato, come mostrato nella Tabella 20 è generato con le impostazioni predefinite per l'assistente di progettazione:

- Differenza di temperatura minima = 5K
- Rapporto tra risparmio energetico al fabbisogno di calore totale > 1%
- Rapporto di risparmio energetico per alimentare lo scambiatore di calore installata > 200 kWh/kW

Il dimensionamento degli scambiatori di calore comprende la selezione di un appropriato sistema di accumulo del caldo o del freddo (nel caso di flussi non-simultanei). Per una corretta dimensionamento dei serbatoi di accumulo una corretta definizione degli orari di funzionamento è importante (vedi capitolo 2.4.3).

Tabella 20. Scambiatori di calore proposti¹⁶

Scambiatori di calore	Potenza	Flusso caldo	Thi °C	Tho °C	Flusso freddo	Thi °C	Tho °C	Accumulo richiesto m³
NewHX N. 0	529	calore di scarto del fermentatore	45	11	preriscaldamento latte	6	32	11,3
NewHX N.1	722	condensa nell'evaporazione del siero	75	69	preriscaldamento siero	8	56	0
NewHX N.2	73	evaporazione del siero	69	30	acqua di lavaggio formaggio	10	45	1,8
NewHX N.3	85	gas di scarico della caldaia	20	18	preriscaldamento aria di combustione	25	80	0,7

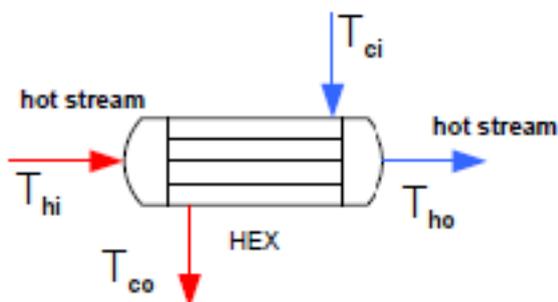


Figura 53. Flussi nello scambiatore di calore

E' evidente al lettore che il calore di scarto del processo di evaporazione deve essere ben integrato nella domanda. EINSTEIN suggerisce di utilizzare lo scambiatore di calore No. 1

Dal punto di vista exergetico, è ragionevole usare questo calore a 75°C innanzitutto per riscaldare i processi a temperature simili. In secondo luogo è significativo utilizzare il calore residuo per il preriscaldamento di flussi aventi capacità termica simili ($m \cdot cp$). Questo favorisce lo scambio termico interno e assicura che la differenza di temperatura disponibile venga utilizzata in modo ideale.

Il siero caldo che lascia il fermentatore rappresenta il secondo flusso in ordine di importanza che necessita di essere integrato nella rete di scambiatori di calore. Il suo utilizzo è molto importante dal punto di vista economico e la sua domanda di raffreddamento può essere abbassata. E' questo il caso, perché il siero

¹⁶ I risultati esposti nella tabella 20 sono ottenuti in modalità automatica con la versione 1.2 del software EINSTEIN. Di conseguenza, il calcolo effettuato con versioni successive, più aggiornate, potrebbe dare risultati leggermente diversi dipendendo anche dalla opzione di calcolo prescelta.

deve essere raffreddato per la sua conservazione. Viene, quindi, suggerito il suo utilizzo per preriscaldare l'acqua di lavaggio del formaggio fino a 32°C . Que sta è una soluzione molto comune nei caseifici

Viene suggerito di utilizzare il concentrato caldo che lascia l'evaporatore per preriscaldare l'acqua di lavaggio del formaggio. In confronto con gli altri scambiatori di calore la sua performance è piuttosto bassa, tuttavia soddisfa ancora i requisiti dell'“assistente di progettazione”

Infine, viene suggerito un scambiatore di calore per preriscaldare l'aria di combustione della caldaia attraverso il raffreddamento del gas di scarico della stessa fino a temperatura di condensazione. Le possibilità pratiche di questa opzione e la possibilità di recuperare anche il calore di condensazione dipendono dal tipo di combustibile utilizzato.

Come descritto sopra, EINSTEIN propone una rete di scambiatori di calore volta al massimo risparmio energetico. Gli scambiatori di calore forniti dalla progettazione automatica devono poi essere analizzati e selezionati in base alla loro fattibilità tecnica, alla distanza fisica tra i flussi energetici, allo spazio richiesto o agli aspetti igienici.

D'altra parte, occorre verificare se vi sia ancora un potenziale di ottimizzazione mediante la messa a punto manuale della rete di scambiatore di calore proposta in automatico. Nell'esempio dato, con la rete scambiatori di calore proposta si ottengono risparmi nella fornitura di calore utile di 4.146 MWh, che è già quasi il 10% in più rispetto al valore preliminare stimato al passo precedente con modalità “estimate”.

Nomenclatura

Abbreviazioni e acronimi

BCR	Rapporto costi-benefici
CF	Flusso di cassa
CST	Temperatura di somministro (in uscita dalla caldaia centrale)
CHP	Cogenerazione
EHD	Domanda di calore equivalente
EEI	Indice di efficienza energetica
EX	Spesa netta del progetto
FEC	Consumo totale di energia finale
FET	Consumo di energia finale per usi termici
IRR	Tasso di rendimento interno
PCI (LCV)	Potere calorifico inferiore
NPV	Valore attuale netto
PBP	Periodo di recupero del capitale investito
PEC	Consumo totale di energia primaria
PET	Consumo di energia primaria per usi termici
PSW	Pre-riscaldamento dell'acqua di fornitura
PT	Temperatura di processo:
QHX	Calore residuale recuperato; flusso di calore negli scambiatori di calore
QWH	Calore residuale disponibile
ST	Temperatura di somministro
UPH/C	Calore e freddo utile di processo
USH/C	Calore e freddo utile fornito

Simboli

A	Area
c_p	Capacità termica specifica
d	Tasso di sconto specifico dell'impresa
E	Energia
f	Fattore di conversione
h	Entalpia specifica
m	Massa
N	Numero (p. es. combustibili)
Q	Calore
\dot{Q}	Potenza termica
q_m	Portata massica
r	Tasso d'interesse reale dei finanziamenti esterni
S	Risparmi del progetto

T	temperatura
t	Tempo
U	Coefficiente globale di scambio termico
η	Efficienza

Indici

c	- circolante, condensa
cs	- fornitura centrale
e	- effettivo
el	- elettrico
elgen	- elettricità auto-generata
env	- ambiente
eq	- impianto (per la generazione di calore/freddo)
ESources	- fonti di energia
f	- finale
fuels	- combustibili
fw	- acqua di alimentazione
HX	- scambiatore di calore per il recupero di calore
i	- entrata, in entrata o indice usato per indicare la fonte di energia (tipo di combustibile, elettricità)
j	- indice usato per indicare un impianto (per la generazione di calore/freddo)
L	- calore latente (usato per evaporazione (+), condensazione (-), reazioni chimiche endotermiche o esotermiche)
o	- uscita, in uscita
op	- in funzione, operativo
p	- processo
pi	- entrata al processo
pir	- entrata del processo a valle del recupero interno di calore
po	- uscita dal processo
por	- uscita del processo a valle del recupero interno di calore
pt	- (temperatura) obiettivo del processo
PE	- energia primaria
PS	- somministro al processo
m	- manutenzione
min	- minimo
ref	- riferimento
ret	- ritorno
s	- avvio, start up
tch	- macchina frigorifera ad azionamento termico
w	- rifiuti

ALLEGATO: Questionario di base EINSTEIN