

# UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

## **Dipartimento di Ingegneria Industriale DII**

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica

Interventi di efficienza energetica in Data center e centri informatici:  
analisi ed applicazione delle tecnologie con sviluppo di algoritmi per la  
stima dei risparmi conseguibili tramite il loro utilizzo

Relatore: Prof. Arturo Lorenzoni  
Correlatore: Ing. Serena Bari

Laureando: Filippo Paiola

Matricola:1236505

Anno Accademico 2021-2022



“Non è il critico che conta, né l'individuo che indica come l'uomo forte inciampi, o come avrebbe potuto compiere meglio un'azione.

L'onore spetta all'uomo che realmente sta nell'arena, il cui viso è segnato dalla polvere, dal sudore, dal sangue; a colui che lotta con coraggio, che sbaglia ripetutamente, perché non c'è tentativo senza errori e manchevolezze; ma che combatte davvero per raggiungere un obiettivo; che conosce davvero l'entusiasmo, la dedizione, e si spende per una giusta causa; che, nella migliore delle ipotesi, conosce alla fine il trionfo delle grandi conquiste e, nella peggiore, se fallisce, almeno cade sapendo di aver osato abbastanza.

Per questo il suo posto non sarà mai accanto a quelle anime timide che non conoscono né la vittoria né la sconfitta”.

*[Testo regalato da Nelson Mandela a François Pienaar capitano della nazionale di Rugby Sudafricana campione del mondo nel 1995 – estratto dal discorso tenuto da Theodore Roosevelt, 26° Presidente degli Stati Uniti d'America, all'Università Sorbona di Parigi nel 1910]*



# Indice

1	Mercato ed efficienza energetica delle sale server.....	10
1.1	Lo sviluppo dei centri informatici.....	10
1.1.1	I centri informatici in Italia ed Europa.....	12
1.1.2	Il più grande green data center del mondo.....	14
1.2	Il Climate Neutral Data Center Pact.....	15
1.3	Valutazione dell'efficienza energetica.....	18
1.3.1	Il PUE.....	18
1.3.2	La classificazione dei data center.....	21
1.4	Determinazione della potenza frigorifera.....	23
1.4.1	Standard di raffreddamento.....	23
1.4.2	Calcolo dei requisiti di raffreddamento.....	25
1.4.3	Metodi di raffreddamento.....	28
1.5	Metodi di miglioramento dell'efficienza energetica.....	29
1.6	Tecniche innovative di raffreddamento.....	35
1.6.1	Il raffreddamento con liquido.....	35
2	Le ESCo ed i Titoli di Efficienza Energetica.....	39
2.1.1	Nascita e sviluppo delle ESCo.....	39
2.1.2	Le ESCo in Italia.....	41
2.2	La struttura delle ESCo.....	42
2.3	Il meccanismo di funzionamento.....	44
2.3.1	La struttura contrattuale.....	46
2.3.2	Altre tipologie di contratto.....	46
2.4	Benefici ed aspetti critici.....	47
2.5	La fornitura dei fondi economici.....	48
2.6	Il mercato dell'efficienza energetica.....	50
2.6.1	Quadro normativo.....	51
2.6.2	Ruoli e responsabilità nell'ambito del Decreto Certificati Bianchi.....	55
2.7	Risparmio ed efficienza energetica.....	57
2.8	Titoli di Efficienza Energetica.....	59
2.8.1	Calcolo dei TEE.....	59
2.8.2	Ottenimento dei TEE.....	62
2.9	La cogenerazione ad alto rendimento.....	66
2.10	Valutazione degli investimenti.....	68
3	Il recupero diretto di calore nei data center.....	71
3.1	Lo sfruttamento del calore residuo.....	73
3.2	Recupero diretto del calore.....	74
3.2.1	Calcolo della potenza di progetto invernale di un edificio.....	74
3.3	Algoritmo di stima dei risparmi.....	75

3.3.1	Descrizione del recupero e ipotesi iniziali .....	75
3.3.2	Calcolo del fabbisogno pre-intervento .....	80
3.3.3	Valutazione del calore fornito dai rack .....	83
3.4	Valutazione dei consumi post intervento .....	84
3.4.1	Analisi della riduzione delle emissioni .....	89
4	Il raffreddamento mediante Free Cooling .....	91
4.1	Classificazione .....	91
4.1.1	Tipologie di free cooling .....	91
4.1.2	Il free cooling diretto .....	91
4.1.3	Il free cooling indiretto .....	93
4.1.4	Il raffreddamento adiabatico .....	95
4.2	Applicazione del free cooling .....	96
4.2.1	Campi applicativi del free cooling .....	96
4.2.2	Il free cooling nei data center .....	97
4.3	L'indice ESEER .....	99
4.3.1	Calcolo operativo dell'indice SEER .....	100
4.4	Algoritmo di stima dei risparmi .....	103
4.4.1	Risparmi elettrici conseguibili in modalità free cooling diretto .....	103
4.5	Considerazioni sul differenziale di temperatura ed il flusso scambiato dai refrigeratori 106	
4.6	Scelta del numero di unità e assegnazione dei costi .....	109
4.7	Calcolo dei risparmi ed analisi economica .....	110
4.8	VALIDAZIONE .....	113
4.8.1	DESCRIZIONE DEL CASO REALE .....	114
4.9	RISULTATI .....	114
5	Soluzioni rapide di efficientamento energetico .....	116
5.1	L'utilizzo di tende flessibili nei corridoi .....	116
5.2	Corridoi caldi e freddi nel data center .....	118
5.3	Algoritmo di stima dei risparmi .....	120
5.3.1	Risparmi elettrici conseguibili con la separazione dei flussi .....	120
5.3.2	Caratteristiche operative e tecniche dei data center considerati .....	121
5.3.3	Analisi dei risparmi .....	123
5.3.4	Stima dei risparmi conseguibili .....	123
5.3.5	Calcolo dei costi per l'installazione delle tende flessibili .....	125
5.4	L'aumento di temperatura di set point nei chiller dei data center .....	127
5.4.1	Generalità sui chiller e la produzione del freddo .....	127
5.4.2	I fluidi refrigeranti .....	131
5.4.3	Pratiche operative per l'aumento di temperatura .....	135
5.5	Algoritmo di stima dei risparmi .....	137

5.5.1	Software e scopo dell'algoritmo.....	137
5.5.2	Calcolo dei consumi post intervento .....	139
5.6	Analisi economica dell'intervento.....	141
5.7	Validazione dell'algoritmo.....	142
5.7.1	Descrizione del caso reale .....	143
5.7.2	Risultati .....	143
	Conclusioni .....	145
	APPENDICE.....	148
	APPENDICE A.....	148
	Bibliografia .....	151
	Ringraziamenti .....	154

## Introduzione

Negli ultimi decenni il crescente utilizzo di energia elettrica, prodotta prevalentemente grazie all'uso di combustibili fossili, ha posto numerosi problemi dal punto di vista della salvaguardia climatica ed ambientale in tutti i continenti, soprattutto in quelli industrialmente ed economicamente sviluppati o in via di rapido sviluppo.

Numerose infatti sono oggi le proposte per invertire questo trend che ha portato ad un incremento incontrollato delle emissioni e che ha richiesto, nell'epoca moderna, di studiare ed applicare nuove tecnologie per il miglioramento dell'efficienza energetica in numerosi ambiti, non solo industriali ma anche civili.

Non a caso per rimediare allo sviluppo irreversibile delle problematiche si è reso necessario porre degli obiettivi per la tutela delle condizioni climatiche del pianeta, il primo accordo di notevole importanza a riguardo è rappresentato dal protocollo di Kyoto del 1997, che prevedeva un impegno concreto nel ridurre del 5% le emissioni di gas serra rispetto ai livelli del 1990, entro il 2012.

Poi sono state numerose le conferenze ed i tentativi di accordo per migliorare la situazione, che hanno portato nel 2015 all'accordo di Parigi, con l'obiettivo di mantenere il riscaldamento globale al di sotto di 2°C e possibilmente entro 1,5°C entro il 2100. L'ultima tappa di questo percorso verso la produzione di energia pulita e meno impattante possibile è stato il COP26, nel 2021, con un anno di ritardo a causa della pandemia, dove la comunità internazionale si occuperà di risolvere alcuni importanti dettagli dell'accordo di Parigi.

Al fine di limitare le emissioni di sostanze climalteranti è necessario avere un progressivo aumento dell'energia prodotta grazie a fonti rinnovabili e dall'altra migliorare sempre di più l'utilizzo dell'energia prodotta e consumata.

Oltre all'aumento degli inquinanti negli ultimi anni è notevole l'incremento e lo sviluppo dei centri informatici, solitamente denominati data center. Questi infatti sono diventati parte integrante del funzionamento di innumerevoli aziende del mondo, infatti sebbene i data center siano riusciti a mantenere la loro domanda di energia collettiva a circa il 2% del consumo mondiale di elettricità, il loro consumo energetico potrebbe crescere in modo esponenziale se le applicazioni ad alta intensità di calcolo, come i video on demand, i veicoli autonomi e la tecnologia 5G avanzata acquisissero una maggiore popolarità, così come previsto.



Per gestire queste sfide quindi si pone di conseguenza un doppio problema, quello legato all'inquinamento prodotto per il consumo elettrico ed energetico necessario a consentire il raffreddamento dei vari componenti del data center e quello dell'aumento dell'efficienza dei data center stessi, fondamentali per ridurre i consumi e per ottenere i risultati richiesti, evitando di aumentare la produzione di sostanze inquinanti.

La valutazione ed il miglioramento dell'efficienza nell'industria in generale e nel caso in questione, in quella dei data center, presenta il vantaggio di avere un numero elevatissimo di possibili soluzioni, che in taluni casi sono già consolidate e sviluppate garantendo un risparmio di energia immediato con un ritorno economico in tempi brevi. Proprio per questo l'aumento dell'efficienza costituisce un aspetto di importanza sempre più riconosciuta nelle politiche economiche di molti paesi nel mondo ed è valutata spesso come il mezzo maggiormente vantaggioso dal punto di vista economico per questioni legate all'approvvigionamento energetico, gli impatti culturali e sociali dei prezzi dell'energia ed ai cambiamenti climatici, promuovendo di pari passo sia la competitività che il benessere dei consumatori.

L'ottimizzazione di tecnologie e processi per lo smaltimento del calore e della produzione del freddo è di fondamentale importanza nell'ottica di incremento dell'efficienza di un sistema informatico, dato che questi processi sono fondamentali per un corretto utilizzo delle apparecchiature e assorbono una quota importante dell'energia elettrica totale consumata da questi centri. Anche in Italia come in tanti altri paesi europei il settore è sempre più sviluppato, richiedendo così maggiori competenze tecniche e un continuo sviluppo di nuove metodologie per ridurre l'impatto economico ed elettrico del settore.

In questo contesto si colloca il seguente lavoro di tesi, svolto nell'ambito di uno stage aziendale all'interno di Bartucci S.P.A., società di consulenza energetica specializzata nel settore industriale e certificata come Società di Servizi Energetici secondo lo standard UNI CEI 11352. L'obiettivo è quello di fornire gli strumenti per una valutazione tecnica ed economica per ridurre i consumi e gli sprechi in una sala server, attraverso alcune tecnologie prese in considerazione a seconda delle esigenze e delle esperienze dell'azienda.

# CAPITOLO 1

## 1 Mercato ed efficienza energetica delle sale server

L'obiettivo del capitolo è di inquadrare sinteticamente il contesto mondiale ed europeo nell'ambito dei centri informatici valutandone ubicazione, caratteristiche e tipologie, funzionamento di base ed efficienza energetica.

### 1.1 Lo sviluppo dei centri informatici

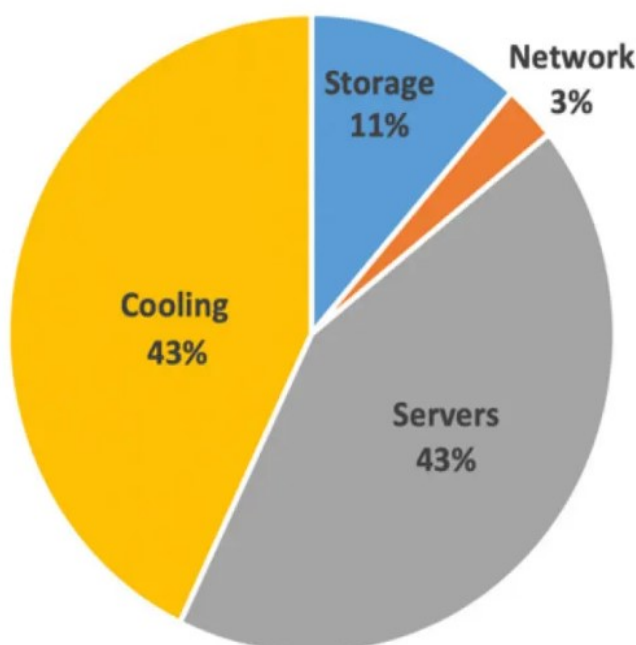
Attualmente i data center e più generalmente i centri informatici sono diventati parte integrante del funzionamento di un elevato numero di aziende nel mondo. Dal punto di vista infrastrutturale il data center è il cuore pulsante del business perché ospita tutte le apparecchiature che consentono di governare i processi, le comunicazioni e i servizi a supporto di qualsiasi attività aziendale.

Il data center è la sala macchine che ospita server, storage, gruppi di continuità e tutte le apparecchiature che consentono di governare i processi informatici e le comunicazioni così come i servizi che supportano qualsiasi attività aziendale. In estrema sintesi, sono i data center a garantire il funzionamento 24 ore al giorno, tutti i giorni dell'anno, di qualsiasi sistema informatico.

Alimentatori di backup, connessioni di comunicazione ridondanti, controlli ambientali e dispositivi di sicurezza; il data center ha vari consumi energetici, apparecchiature come server, dispositivi di rete, dispositivi di archiviazione dati e unità di raffreddamento, su cui poi andremo a concentrare il nostro studio per il miglioramento dell'efficienza energetica totale di una generica sala. Nel complesso queste apparecchiature che elaborano, memorizzano e trasmettono informazioni digitali sono denominate nel gergo comune apparecchiature informatiche. Secondo una ricerca della Northwestern University, sviluppata nel 2018, i data center di tutto il mondo hanno consumato 205 TWh di energia elettrica, pari grosso modo all'1% del consumo globale. Inoltre negli ultimi 10 anni, il traffico Internet è decuplicato, la quantità di storage si è moltiplicata per 25, ma i consumi dei centri informatici fortunatamente non sono cresciuti allo stesso ritmo grazie soprattutto a una forte riduzione del consumo energetico per il raffreddamento e alla maggiore efficienza dei processori. Negli ultimi anni, però, si è plafonato il livello di ottimizzazione energetica ottenibile da cpu e le previsioni indicano che la curva di crescita di consumi ed emissioni potrebbe

impennarsi. In particolare, il Journal of Cleaner Production ha pubblicato uno studio del 2017 di Belkhir ed Elmelghi, secondo il quale ai ritmi attuali il settore IT sarà responsabile entro il 2040 del 14% delle emissioni globali di carbonio. Per questo i produttori di informatica stanno percorrendo nuove strade alla ricerca di una riduzione dei consumi e delle emissioni. [1]

Di conseguenza risulta di fondamentale importanza andare a valutare consumi ed emissioni di questi centri informatici e per prima cosa come si suddivide la richiesta elettrica all'interno della sala, per capire dove sarà poi possibile intervenire per migliorare l'efficienza energetica.



**Figura 1.1** Percentuali di utilizzo dell'energia elettrica nelle sale

Le apparecchiature informatiche generano molto calore. In media, un data center dedica quasi metà del suo consumo di energia elettrica al condizionamento dell'aria. Diventa facile notare come il peso del raffrescamento in questi edifici sia notevole, però mentre risulta particolarmente complesso agire sui dispositivi informatici, soprattutto nei grandi data center, che possono contare fino a migliaia di server e dispositivi IT è doveroso, da parte dell'azienda, un accurato lavoro per limitare i consumi e le relative emissioni dovute alle tecnologie che operano per eseguire il raffreddamento. Il mercato energetico italiano dei data center sta attualmente assistendo a investimenti in sette strutture che

dovrebbero essere operative nei prossimi 2-4 anni. Oltre 2,6 miliardi di dollari verranno investiti nello sviluppo di data center in tutto il paese nel periodo 2021-2026.

L'aumento del numero di utenti di internet porterà a una maggiore generazione di dati, creando traffico di dati. Il rapido sviluppo della connettività e l'adozione di cloud è un forte fattore abilitante per la crescita del mercato dei data center in Italia; nel 2020 l'investimento totale nel mercato dei data center italiano è stato di oltre 2 miliardi di dollari, con Milano che è stata una delle località preferite per gli investimenti nel paese. In termini di capacità di potenza, i data center nel paese hanno aggiunto una capacità di 46 MW nel 2020. L'implementazione del 5G nelle principali città italiane, come Roma, Napoli, Torino e Bari aumenterà la domanda di calcolo e archiviazione dati da dispositivi connessi in tutte le aziende e nei segmenti dei consumatori, così l'Italia ha attirato investimenti anche dai principali fornitori di servizi cloud. [2]

Per porre rimedio a questo aumento inevitabile delle strutture legate alle telecomunicazioni si è vista la necessità di iniziare a parlare di “green data center”, strutture sostenibili che fanno leva sulla massima efficienza energetica per limitare al minimo il loro impatto sull'ecosistema. La scelta di un data center green non è solo una scelta etica volta al rispetto dell'ambiente ma ci sono anche notevoli vantaggi economici: un'infrastruttura che ha meno sprechi potrà offrire anche prezzi migliori ai propri clienti. Inoltre i sistemi con cui sono costruiti questi data center richiedono meno manutenzione, si possono trovare infatti strutture moderne ed efficienti che possono offrire un servizio di piena continuità rispettando i parametri legati alle emissioni nocive nell'ambiente.

### **1.1.1 I centri informatici in Italia ed Europa**

Le statistiche aggiornate di Datacentermap, sito che mostra una mappa dei data center collocati nelle varie nazioni, riportano la presenza di circa 4730 Data Center nel mondo, collocati in 126 paesi diversi, concentrandosi però maggiormente nella parte settentrionale dell'America, nelle grandi città asiatiche e in Europa. I data center sono in rapido sviluppo in tutto il continente europeo, Italia compresa, in quanto rappresentano il nodo e lo snodo di tutte le attività professionali e personali che si svolgono in rete. Nell'andamento globale del mercato dei data center l'Italia ha una significativa importanza, soprattutto per il ruolo strategico che il paese investe come crocevia digitale fra il bacino del Mediterraneo e l'Europa. Nel nostro paese attualmente si contano circa

75 Data Center, di cui 23 solo nella zona di Milano, data la tendenza dei centri informatici a concentrarsi attorno ai distretti finanziari.

Nell'ultimo periodo il ruolo dei centri informatici è stato reso ancora più importante e di impatto, infatti basti pensare a tutto il flusso di informazioni legato alla pandemia da Covid-19 a cui va legata la possibilità per ospedali e medici di tutto il mondo di poter accedere in tempo reale a ogni tipo di informazione necessaria. L'avvento del 5G, con la considerevole crescita di connettività che porta con sé poi non può che giocare a favore di una costante crescita dei data center.

L'affermarsi dello standard 5G, in concomitanza con l'incremento della quantità di dati prodotta dalle aziende, sta determinando un'evoluzione dell'infrastruttura di interconnessione necessaria a muovere i dati che transitano sul 5G, contribuendo a rafforzare la continuità di servizio offerta dal data center. Nell'ultimo decennio infatti sia in Italia che in Europa sono notevolmente aumentati gli investimenti nel settore ed è facilmente prevedibile che continueranno anche nei prossimi anni e decenni. [3]

In ambito europeo le città identificate come FLAP (Francoforte, Londra, Amsterdam e Parigi), sono state le località più ricorrenti per la costruzione di data center negli ultimi anni. Attualmente le sedi si sono diversificate in tutto il mondo al di fuori dei mercati tradizionali e si prevede che entro il 2021 il numero di sedi continuerà ad espandersi in paesi i cui gli investimenti nei data center non sono stati finora molto elevati, come i paesi dell'Europa meridionale (ad esempio Spagna e Portogallo). Con questa crescente domanda di spazio per i data center, si prevede che anche la gestione dello spazio per questo settore sarà distribuita in modo più uniforme tra le varie sedi rispetto a quanto avvenuto finora. Gli elevati costi di manutenzione dei data center spingono le aziende a optare per la colocation. [4]. La colocation di un data center è un metodo sempre più utilizzato dalle aziende che non dispongono né delle risorse né dello spazio necessario all'installazione di un sistema informatico, chiamate anche housing, questa soluzione prevede l'affitto di una stanza privata o condivisa presso un data center. In questo modo, diventa possibile usufruire di tutti i servizi necessari, nonché dell'infrastruttura informatica, essenziale per il corretto funzionamento di un'azienda.

## 1.1.2 Il più grande green data center del mondo

Un esempio di data center di grandissime dimensioni e completamente rispettoso dell'ambiente si potrà presto trovare proprio nel continente europeo, più precisamente a Ballangen, nel nord della Norvegia, ai confini con il Circolo Polare Artico, dove è in fase di realizzazione grazie alla società statunitense e norvegese Kolos. Circa un migliaio di MW di potenza elaborativa tutti ricavati da sorgenti rinnovabili: è l'obiettivo a lungo termine del data center, questi numeri verranno raggiunti con una crescita che durerà diversi anni, ma già il debutto con 70MW di potenza rende il nuovo centro uno dei principali al mondo. L'elemento di spicco del progetto voluto dalla società Kolos è il ruolo affidato alle fonti energetiche rinnovabili. Il sito sarà sempre alimentato solo ed esclusivamente da energia eolica e idrica, sfruttando le risorse naturali presenti nella zona dove verrà realizzato. Questo porta due ordini di vantaggi, secondo la società, in primo luogo rende il data center più "accettabile" in una fase in cui le grandi facility sono viste con occhi sempre più critici e parallelamente il data center è stato progettato per consumare poco e questo riduce i costi energetici del 60%, con risparmi che saranno passati anche agli utenti della struttura. [5]



Figura 1.2 Tipica struttura interna di una sala server

Avendo una riduzione del 60% dei costi energetici si avrà uno dei data center più competitivi al mondo. Questo fornirà risparmi significativi sui costi per i vari clienti, consentendo alle aziende e ai marchi di crescere rapidamente ed efficientemente senza sacrificare le prestazioni. Il clima fresco e stabile della Norvegia settentrionale e la vicinanza del sito all'acqua forniranno un raffreddamento naturale ai server del centro e ciò a conferma di come sia di fondamentale importanza scegliere il giusto sito per collocare le apparecchiature informatiche se si cerca poi in futuro una decisa svolta sul risparmio energetico. Inoltre è importante anche il posizionamento del sito, che è circondato da acqua e colline, fornendo un fossato naturale per proteggersi da eventuali rischi fisici, si potrà definire quindi una sorta di fortezza per i dati. Un ulteriore aspetto positivo legato a questo centro informatico sarà l'impatto sociale del nuovo data center, che misurerà al completamento oltre 600000 m<sup>2</sup>, si stima che la creazione della struttura creerà direttamente 2-3 mila posti di lavoro (una cifra allineata con la popolazione della zona) e indirettamente altri diecimila circa.

## **1.2 Il Climate Neutral Data Center Pact**

Il Climate Neutral Data Center Pact è un impegno degli attori del settore e dell'associazione di categoria dei servizi di infrastruttura cloud e dei data center in Europa a raggiungere la neutralità climatica entro il 2030. È sostenuto dalla Commissione europea e Frans Timmermans, vicepresidente esecutivo della Commissione europea per il Green Deal europeo. [6] L'obiettivo principale del Green Deal europeo prevede che l'Europa sarà climaticamente neutra entro il 2050.

L'Unione europea si è impegnata a diventare il primo continente a emissioni zero entro il 2050, uno sforzo che richiederà la regolamentazione di molti settori. L'industria dei data center preferirebbe prevenire in anticipo eventuali rischi e problematiche ambientali future e quindi è stata presentata una "Proposta politica di iniziativa di autoregolamentazione", che dovrebbe consentire al settore di raggiungere gli obiettivi dell'UE entro il 2030. Le proposte sono suggerimenti su come l'UE e l'industria possono regolamentare congiuntamente il settore per raggiungere i loro obiettivi comuni. Indicano inoltre il valore di un cloud rispettoso dell'ambiente per consentire ad altri settori di ridurre la propria impronta attraverso la digitalizzazione. "La digitalizzazione della nostra società e della nostra economia è fondamentale per la transizione verde e un cloud verde e data center verdi dovranno sostenere questa trasformazione", ha affermato Alban Schmutz, presidente di CISPE (Cloud

Infrastructure Services Providers in Europe). L'impegno del Patto sui data center per il clima neutrale riguarda 5 principali aree: dimostrare l'efficienza energetica con obiettivi misurabili; acquistare energia al 100% senza emissioni di carbonio; conservare l'acqua; riutilizzo, riparazione e riciclo dei server; cercare modi e strategie per riciclare il calore. Una delle originalità dell'impegno è che se un operatore di data center firmatario dell'impegno non soddisfa le metriche previste, l'azienda sarebbe espulsa da tutte le associazioni di categoria firmatarie del Patto.

Dal suo lancio, il Patto ha firmato ulteriori membri e ora rappresenta il 90% del settore cloud e data center in Europa, con 54 membri e 22 associazioni che coprono la maggior parte degli attori chiave. Il Patto organizzerà non meno di quattro incontri in ogni anno solare per le parti del Patto, compresi incontri semestrali con la Commissione Europea. Il Patto del Consiglio di Amministrazione stabilirà il calendario delle riunioni. Gli incontri semestrali con la Commissione Europea saranno annunciati non appena programmati, con un preavviso non inferiore a 45 giorni a tutte le parti del Patto. Negli anni successivi, il programma completo delle riunioni per l'anno successivo sarà annunciato entro il 1° dicembre. Gli ordini del giorno delle riunioni saranno diffusi da un membro del Consiglio di amministrazione, o da un suo delegato, a tutte le parti del Patto almeno 5 giorni lavorativi prima a un incontro e verranno presi appunti e condivisi con tutti gli Operatori del Patto e le Associazioni del Patto. Tutti gli operatori del Patto e le associazioni del Patto parteciperanno ad almeno un incontro all'anno con la Commissione Europea. Gli osservatori del Patto possono controllare le riunioni del Patto come partecipanti senza diritto di voto. [7]

Tutti i firmatari quindi si sono impegnati a raggiungere gli obiettivi generali fissati al lancio del Patto ossia: utilizzare l'energia in modo efficiente e aumentare la produzione di energia rinnovabile e nel contempo promuovere un'economia circolare per le risorse naturali.

Nell'efficienza energetica il Patto chiede che gli operatori più piccoli ricevano supporto per implementare la tecnologia che i grandi operatori trovano più facile da installare. Chiede inoltre un maggiore sostegno alla ricerca sulle misure per continuare ad aumentare l'efficienza del data center e per ridurre l'uso dell'acqua, in generale si vuole vedere un maggiore uso di acqua industriale e non potabile nei data center, quindi l'acqua potabile va unicamente a disposizione delle persone. Poi per incoraggiare la riparazione delle apparecchiature, il Patto chiede all'UE di essere consapevole del fatto



che esistono catene di approvvigionamento complesse e che i componenti dovranno attraversare i confini. Nel recupero del calore, il Patto propone che le amministrazioni riconoscano che il calore è una fonte di energia e vale la pena utilizzarlo, anche se l'infrastruttura per farlo richiede investimenti e può effettivamente ridurre l'efficienza di un data center, ossia il suo PUE. Chiede inoltre incentivi all'utilizzo del calore di scarto e la rimozione di eventuali ostacoli a tale operazione raccomandando che la Commissione europea adotti un quadro politico che supporti tutte le industrie ad alta intensità energetica a perseguire opportunità di recupero del calore ove fattibile, al contrario di un quadro politico prescrittivo che aggiungerebbe costi e complessità per i siti non idonei. Con la firma del Patto, gli operatori dei data center accettano di far funzionare tutti i loro data center all'interno dell'Unione europea che soddisfano diverse metriche. Tutti i data center superiori a 50 kW di potenza IT massima sono considerati nel perimetro del Patto da considerare. Se uno dei data center di un operatore non rispetta le soglie, viene concesso un termine di 60 giorni per proporre al consiglio di amministrazione del Patto un piano di bonifica, che deve essere eseguito entro 6 mesi. In caso di mancato rispetto delle soglie, l'operatore sarebbe espulso dal Patto. [8]



**Figura 1.3** Logo del Climate Neutral Data Center

In conclusione si riportano le metriche da raggiungere:

- Entro il 1° gennaio 2025 i nuovi data center che funzionano a piena capacità in climi freddi raggiungeranno un obiettivo PUE annuale di 1,3 e 1,4 per i nuovi data center che funzionano a piena capacità in climi caldi. I data center esistenti raggiungeranno questi stessi obiettivi entro il 1° gennaio 2030.

- La domanda di elettricità del data center sarà soddisfatta dal 75% di energia rinnovabile o di energia oraria senza emissioni di carbonio entro il 31 dicembre 2025 e al 100% entro il 31 dicembre 2030.
- I data center valuteranno il riutilizzo, la riparazione o il riciclaggio del 100% delle apparecchiature server usate e gli operatori aumenteranno la quantità di materiali dei server riparati o riutilizzati e creeranno una percentuale target per la riparazione e il riutilizzo entro il 2025.
- L'interconnessione con i sistemi di teleriscaldamento per riutilizzare il calore dei data center sarà prevista ove pratica, ecologica ed economicamente vantaggiosa.

Alcune metriche rimangono indefinite come gli obiettivi sulla conservazione dell'acqua, ma l'impegno concede ai firmatari fino alla fine del 2021 per definire e concordare una metrica con la Commissione europea. [9]

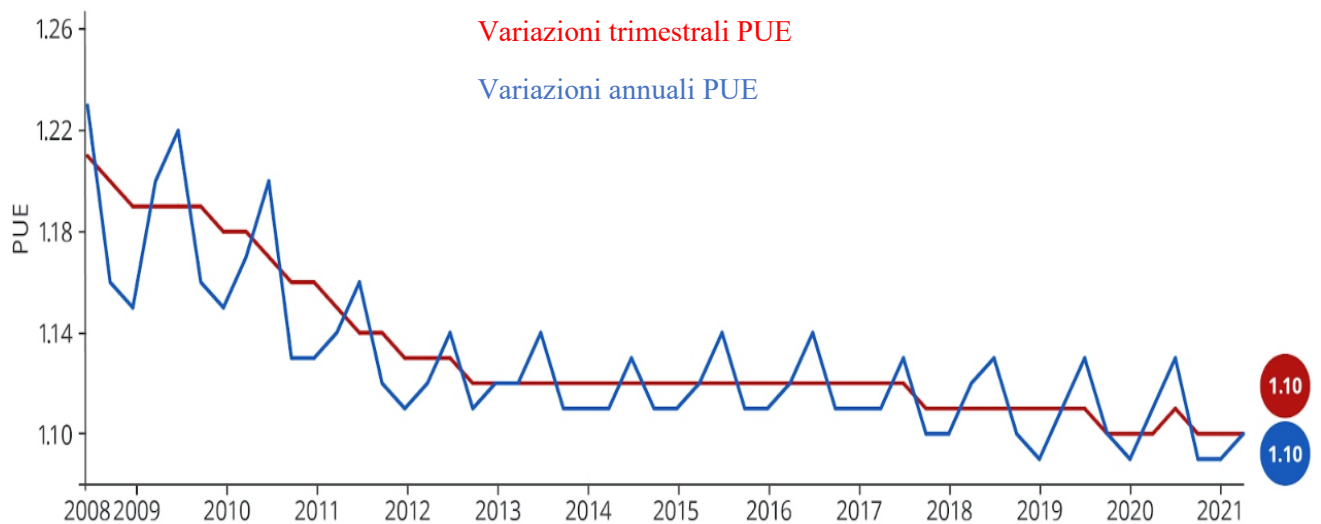
## 1.3 Valutazione dell'efficienza energetica

### 1.3.1 Il PUE

Per conoscere il livello di efficienza di un data center si parte da un particolare indice, denominato PUE (Power Usage Effectiveness) che ha la funzione di rifletterne l'efficienza energetica. Il PUE valuta le prestazioni del centro dati calcolando il rapporto tra l'energia che utilizza nel suo complesso e quella utilizzata dalle sole apparecchiature IT, prese singolarmente. L'indice varia quindi in base al data center, al suo design, al suo tasso di occupazione e anche ad altri criteri, come la temperatura esterna. Dato il calore emesso da un centro dati, il PUE è riconducibile principalmente all'energia dedicata al raffreddamento delle sale computer. L'indice può comprendere il consumo energetico, l'illuminazione, la supervisione e la sicurezza. Se il valore del PUE si attesta pari ad 1, indica che la totalità dell'energia assorbita dall'impianto viene utilizzata per gli apparati IT.

$$PUE = \frac{P_T}{P_{IT}} \quad 1.1$$

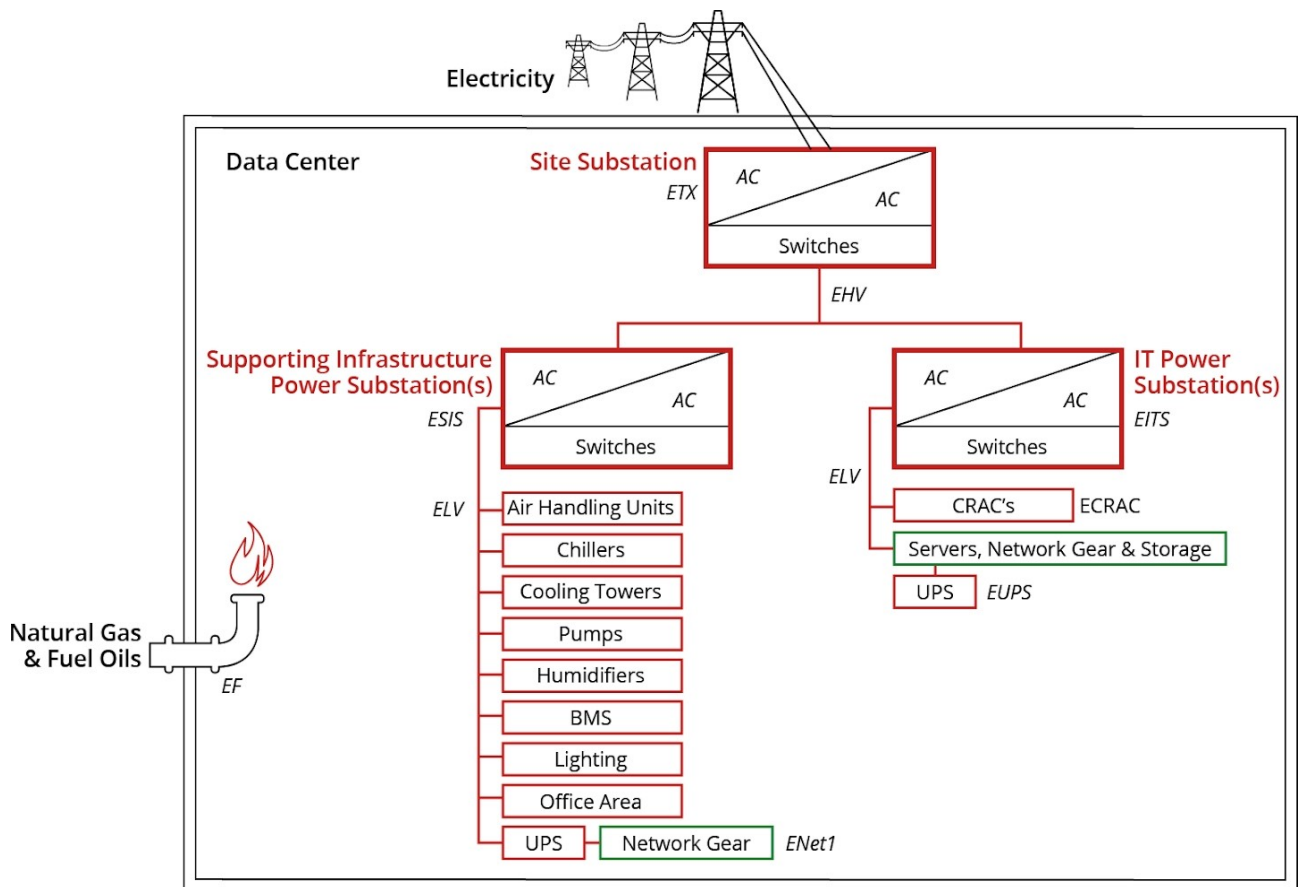
Dove:  $P_T$  è la quantità totale di energia assorbita da un data center, compresa quella per i sistemi ausiliari quali condizionamento, illuminazione, perdite energetiche degli UPS e  $P_{IT}$  è l'energia di fatto utilizzata dalle apparecchiature IT, sia  $P_T$  che  $P_{IT}$  sono misurate in kW, ovviamente il valore PUE è adimensionale



**Figura 1.4** Variazione PUE relativi ai data center di Google su larga scala

Con il passare degli anni il valore del PUE, soprattutto grazie alle nuove tecnologie, applicate ad esempio da Google nei suoi vari data center mondiali, ha un andamento calante portandosi a livelli molto vicini all'unità. Non a caso a livello mondiale, il valore medio del PUE nei centri informatici nel 2019 si attesta a 1,67, valore di gran lunga superiore a quello mostrato nel grafico di riferimento.

Quando misuriamo l'energia delle apparecchiature IT, includiamo solo server e apparecchiature di archiviazione e di networking. Tutto quello che rimane, invece, viene calcolato come energia infrastrutturale. Ad esempio, la dispersione elettrica del cavo di alimentazione di un server viene considerata come energia infrastrutturale e non IT. Allo stesso modo, si misura l'alimentazione totale della stazione secondaria, pertanto le perdite del trasformatore della stazione sono incluse nel PUE risultante. Di seguito si va a riportare un esempio di calcolo del PUE di un data center Google con riferimento all'impianto nello schema sotto riportato.



**Figura 1.5** Schematizzazione di un data center di Google

Rosso: Energia infrastrutturale

Verde: energia IT

Il calcolo del PUE si può sviluppare con la seguente formulazione:

$$PUE = \frac{E_{SIS} + E_{ITS} + E_{TX} + E_{HV} + E_{LV} + E_F}{E_{ITS} - E_{CRAC} - E_{UPS} - E_{LV} + E_{NET1}} \quad 1.2$$

Dove:

- $E_{SIS}$ : consumo di energia delle stazioni secondarie di alimentazione della struttura di supporto, che alimentano i sistemi di raffreddamento, l'illuminazione, gli uffici e alcune apparecchiature di rete
- $E_{ITS}$ : consumo di energia delle stazioni secondarie di alimentazione IT, che alimentano server, rete, apparecchiature di servizio e CRAC (Computer Room Air Conditioner)
- $E_{TX}$ : perdite dai trasformatori di media ed alta tensione
- $E_{HV}$ : dispersione dei cavi di alta tensione
- $E_{LV}$ : dispersione dei cavi di bassa tensione

- $E_F$ : consumo di energia da combustibili disponibili in loco, inclusi gas naturale e oli combustibili
- $E_{CRAC}$ : consumo di energia per CRAC
- $E_{UPS}$ : perdita di energia in corrispondenza dei gruppi di continuità (UPS) che alimentano i server, la rete e le apparecchiature di archiviazione
- $E_{NET1}$ : energia della sala di rete

[10]

### 1.3.2 La classificazione dei data center

Le caratteristiche che distinguono un data center da un altro seguono una classificazione denominata Tier, ossia lo standard di infrastruttura per i data center. Le linee guida includono anche una classificazione dei data center secondo 4 livelli TIER (nella traduzione con TIER si intende il sistema per identificare la struttura di un data center). Il primo è quello base, in cui la continuità operativa ammette variazioni temporali di interruzione pari a quasi 30 ore l'anno. Sembra un numero ridotto, ma non è così. Si provi a pensare cosa significa per un supermercato, un ospedale, una banca, una fabbrica o un aeroporto avere un'indisponibilità anche solo di due o tre ore dei servizi. È chiaro quindi il motivo per cui, a seconda del core business, bisogna puntare a livelli più elevati.

Il TIER I ha una continuità operativa garantita al 99,671%, che significa un fermo del data center di circa 28,8 ore annue. Le principali caratteristiche di configurazione e il livello di ridondanza del TIER I sono:

- Suscettibilità a interruzioni legate ad attività pianificate e non pianificate
- Mancanza di ridondanze e con singolo sistema di alimentazione e di raffreddamento
- Presenza o meno di UPS, generatori e pavimento flottante
- Totale spegnimento durante le manutenzioni preventive

Il TIER II permette una continuità operativa garantita al 99,741 ossia un fermo del data center per un massimo di 22 ore annue. Le principali caratteristiche di configurazione e il livello di ridondanza del TIER II sono:

- Minore suscettibilità a interruzioni a causa di attività pianificate e non pianificate
- Componenti ridondati e con singolo sistema di alimentazione e di raffreddamento
- Presenza di UPS, generatori e pavimento flottante
- Totale spegnimento durante le manutenzioni su alimentazione e altre parti dell'infrastruttura

Il TIER III ha una continuità operativa garantita al 99,982%, che significa un fermo del data center di 1,6 ore annue. Le principali caratteristiche di configurazione e il livello di ridondanza del TIER III sono:

- Possibilità di effettuare manutenzioni pianificate senza interruzione, ma suscettibilità a interruzioni a causa di attività non pianificate
- Componenti ridondati e collegamenti multipli per alimentazione e raffreddamento
- Presenza di UPS, generatori e pavimento flottante
- Facoltativo lo spegnimento totale durante le manutenzioni (prevista deviazione su altri collegamenti per alimentazione e infrastruttura)

Il TIER IV ha una continuità operativa garantita al 99,995%, che significa un fermo del data center di 0,4 ore annue. Le principali caratteristiche di configurazione e il livello di ridondanza del TIER IV sono:

- Possibilità di effettuare manutenzioni pianificate e senza impatti negativi sulla gestione della funzionalità
- Componenti ridondati e collegamenti multipli contemporaneamente attivi per alimentazione e raffreddamento
- Disponibilità di UPS, generatori e pavimento flottante
- Facoltativo lo spegnimento totale durante le manutenzioni (prevista deviazione su altri collegamenti per alimentazione e infrastruttura)

[11]

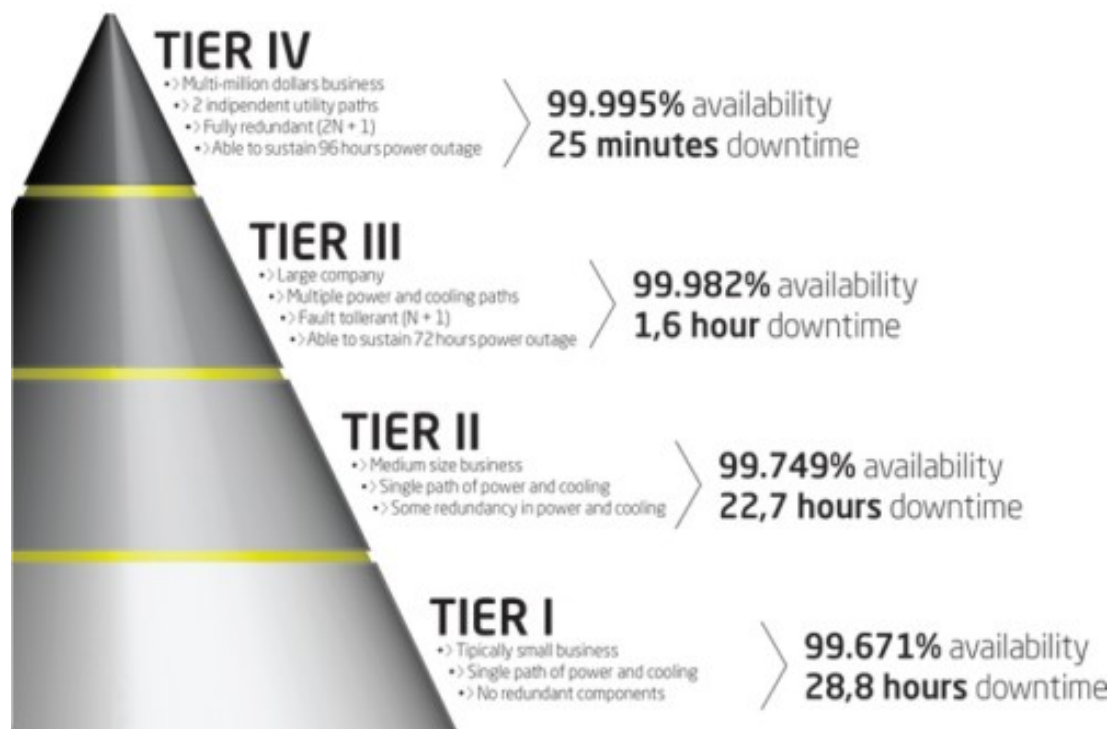


Figura 1.6 Grafico di classificazione TIER

## 1.4 Determinazione della potenza frigorifera

La generazione di calore è un normale effetto collaterale del funzionamento di qualsiasi apparecchiatura elettrica, comprese le apparecchiature del data center. In un data center, tuttavia, l'eccessivo accumulo di calore può danneggiare i server. I server potrebbero spegnersi se le temperature aumentano troppo e il funzionamento regolare a temperature superiori a quelle accettabili può ridurre la durata dell'apparecchiatura. Un problema correlato è l'umidità elevata. Se il livello di umidità è troppo basso, può portare a scariche elettrostatiche, un flusso improvviso di elettricità tra due oggetti che possono danneggiare le apparecchiature. Se il livello di umidità aumenta troppo, può causare la formazione di condensa e la corrosione dell'attrezzatura. È inoltre più probabile che i contaminanti come la polvere si accumulino sulle apparecchiature in condizioni di elevata umidità, riducendo il trasferimento di calore.

### 1.4.1 Standard di raffreddamento

L'American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) pubblica le linee guida per le temperature alle quali è possibile far funzionare in modo affidabile un data center. La raccomandazione più recente per la maggior parte delle classi di apparecchiature informatiche è una temperatura compresa

tra 18 e 27 gradi Celsius o 64 e 81 gradi Fahrenheit (°F), con un'umidità relativa (UR) del 60%. Tali raccomandazioni si applicano alle apparecchiature nelle categorie ASHRAE da A1 ad A4. ASHRAE fornisce anche raccomandazioni specifiche per le sue varie classi di apparecchiature. Queste raccomandazioni si applicano quando l'apparecchiatura è accesa e si applicano alle apparecchiature IT, piuttosto che alle apparecchiature di alimentazione.

- Per la classe A1, la temperatura consigliata è da 15 a 32°C. Il punto di rugiada e gli intervalli di umidità relativa consigliati sono da -12°C e dall'8% di umidità relativa a 17°C e all'80% di umidità relativa.
- Per la classe A2, la temperatura consigliata è compresa tra 10 e 35°C. Il punto di rugiada e gli intervalli di umidità relativa consigliati sono da -12°C e dall' 8% di umidità relativa a 21°C e all' 80% di umidità relativa.
- Per la classe A3, la temperatura consigliata è da 5 a 40°C. Il punto di rugiada e gli intervalli di umidità relativa consigliati sono da -12°C e dall'8% di umidità relativa a 24°C e all'85% di umidità relativa.
- Per la classe A4, la temperatura consigliata è compresa tra 5 e 45°C. Il punto di rugiada e gli intervalli di umidità relativa consigliati sono da -12°C e dall'8% di umidità relativa a 24°C DP e al 90% di umidità relativa.
- Per la classe B, la temperatura consigliata è da 5 a 35°C. Il punto di rugiada e gli intervalli di umidità relativa consigliati sono dall'8% di umidità relativa a 28°C e all'80% di umidità relativa.
- Per la classe C, la temperatura consigliata è da 5 a 40°C. Il punto di rugiada e gli intervalli di umidità relativa consigliati sono dall'8% di umidità relativa a 28°C e all'80% di umidità relativa.

Classi	Prescrizione	Apparecchiature IT	Temperatura (°C)	Intervallo umidità, senza condensazione	Temperatura di rugiada max (°C)
A1 – A4	Raccomandato		18 - 27	5,5 °C DP – 60% e 15 °C DP	15
A1	Consentito	Enterprise Server e Storage	15 - 32	20 – 80%	17
A2		Server aziendali, Storage, Personal Computers, Workstations	10 - 35	20 – 80%	21
A3			5 - 40	-12 °C DP e 8% – 85%	24
A4			5 - 45	-12 °C DP e 8% – 85%	24
B		Personal Computers, Workstations, laptop e stampanti	5 - 35	8 – 80%	28
C	Area vendite, Controller, Computer e PDAs	5 - 40	8 – 80%	28	

**Figura 1.7** Classificazioni ASHRAE



Nelle versioni precedenti delle sue linee guida, ASHRAE aveva raccomandato un intervallo di temperatura più ristretto. Le raccomandazioni hanno considerato principalmente l'affidabilità e il tempo di attività piuttosto che i costi energetici. Quando i data center hanno iniziato a concentrarsi maggiormente sulle tecniche di risparmio energetico, ASHRAE ha pubblicato classi che consentivano un intervallo di temperatura più ampio. Alcune apparecchiature meno recenti potrebbero essere progettate per versioni precedenti dello standard ASHRAE. Quando un data center dispone di una combinazione di apparecchiature vecchie e nuove, può essere più difficile capire quali consigli utilizzare. Se si dispone di un mix di apparecchiature, è necessario calcolare un intervallo di temperatura e umidità che funzionerà per tutte le apparecchiature della struttura.

## **1.4.2 Calcolo dei requisiti di raffreddamento**

Una volta deciso un intervallo di temperatura ideale, è necessario determinare la potenza termica del sistema in modo da poter calcolare la capacità di raffreddamento necessaria. A tale scopo, si stima la produzione di calore da tutte le apparecchiature IT e da altre fonti di calore nel data center. Queste informazioni indicheranno di quanta potenza di raffreddamento avranno bisogno le apparecchiature informatiche.

Determinare questo aiuterà poi a scegliere un sistema di raffreddamento in grado di soddisfare in modo affidabile le varie esigenze, consentendo di evitare spese eccessive per la capacità che realmente non serve. L'energia consumata dalla rete di alimentazione delle apparecchiature IT è quasi tutta convertita in calore, mentre l'energia inviata attraverso le linee dati è trascurabile. Per questo motivo, la potenza termica di un'apparecchiatura in W è uguale al consumo energetico dell'unità, a volte, le schede tecniche forniscono anche la produzione di calore in BTU (unità termiche britanniche), ma in genere, soprattutto in ambito europeo, è più facile usare i W. Per calcolare la potenza termica totale di un sistema, come un data center, è sufficiente sommare la potenza termica di tutti i componenti del sistema, questi componenti come già spiegato includono le apparecchiature IT e altri dispositivi come i gruppi di continuità (UPS), i sistemi di distribuzione dell'alimentazione e le unità di condizionamento dell'aria. Nel calcolo totale della potenza termica rientrano anche l'illuminazione e la presenza delle persone nei vari luoghi di lavoro. Di seguito si vanno ad elencare alcune semplici regole che si possono usare per determinare la potenza termica dei componenti di un data center.

La potenza termica degli UPS e dei sistemi di distribuzione dell'alimentazione è costituita da una perdita fissa e da una perdita proporzionale alla potenza di esercizio. Queste perdite sono relativamente consistenti tra tutte le marche e tutti i modelli di questo tipo di attrezzatura. Questi valori sono stime, ma sono abbastanza coerenti da non causare errori significativi nei calcoli dei requisiti di raffreddamento. Le ventole e i compressori nelle unità di condizionamento dell'aria creano una notevole quantità di calore, ma tale calore viene rilasciato all'esterno anziché nel data center. Per questo motivo i condizionatori d'aria non aumentano il carico termico del data center, il calore che producono, tuttavia, influisce sulla loro efficienza. Gli altri dati necessari per calcolare il carico di raffreddamento sono l'area del pavimento del centro e la potenza nominale dell'impianto elettrico.

È possibile condurre un'analisi termica approfondita per determinare l'esatta resa termica di ogni componente nel data center, ma una stima rapida utilizzando gli standard sopra elencati è tutto ciò che serve per calcolare i requisiti di raffreddamento del data center o della sala server. Il risultato utilizzando la stima rientrerà nel tipico margine di errore di un'analisi più dettagliata. Questo metodo permette a chiunque di eseguire il calcolo utilizzando le stime senza una formazione specifica, portando ad un notevole un vantaggio.

Per calcolare la potenza termica totale per il data center o la sala server si possono effettuare i seguenti calcoli

- Sommare la potenza di carico di tutte le apparecchiature IT. Questo numero è uguale alla potenza termica.
- Utilizzare la seguente formula per un sistema UPS con batteria:  $(0,04 \times \text{Potenza nominale del sistema}) + (0,05 \times \text{Potenza totale del carico IT})$ . Se viene utilizzato un sistema ridondante, non va inclusa la capacità dell'UPS ridondante.
- Per un sistema di distribuzione dell'alimentazione si può usare la formula:  $(0,01 \times \text{Potenza nominale del sistema}) + (0,02 \times \text{Potenza totale del carico IT})$ .
- Per calcolare la potenza termica legata all'illuminazione si usa l'area del pavimento in  $\text{ft}^2$  o  $\text{m}^2$  a seconda delle esigenze. Quindi, a seconda dell'unità di misura una delle seguenti formule:  $2,0 \times \text{superficie in } \text{ft}^2$  o  $21,53 \times \text{superficie in } \text{m}^2$ .

- Per calcolare il calore prodotto dalle persone nel data center è necessario moltiplicare il numero massimo di persone che sarebbero contemporaneamente nella struttura per 100.

Quindi, in conclusione si va a sommare i totali derivanti dai calcoli precedenti, questo darà la potenza totale della fonte di calore della struttura considerata. Nel calcolo non è stata considerata la possibilità di ricevere calore da fonti esterne al data center, come ad esempio quello derivante dalla luce solare attraverso le finestre ed il calore che viene condotto attraverso le pareti esterne. Per molti piccoli data center e sale server, questo non è un problema, poiché molti di essi non hanno finestre o pareti esterne, mentre alcuni piccoli data center, tuttavia, ne sono provvisti. I data center più grandi in genere hanno finestre, pareti e un tetto esposti all'esterno che lasciano entrare ulteriore calore. Se una parte significativa delle pareti o del soffitto del data center o della stanza è esposta all'esterno o ha un numero considerevole di finestre è possibile che venga modificato il carico termico della struttura, ma comunque soprattutto in data center particolarmente grandi questo calore è praticamente trascurabile in relazione a quello totale da dissipare.

Dopo aver determinato i requisiti di raffreddamento considerando tutti i fattori sopra elencati, è possibile dimensionare con precisione un sistema di condizionamento dell'aria. Questi fattori sono:

- Il carico di raffreddamento, o potenza termica, dell'attrezzatura
- La potenza termica dell'illuminazione
- La potenza termica del personale
- Il carico di raffreddamento dell'edificio considerato, se necessario
- Qualsiasi sovradimensionamento richiesto a causa degli effetti di umidificazione
- Sovradimensionamento per ridondanza
- Sovradimensionamento per potenziale crescita futura.

Spesso, la capacità di raffreddamento richiesta è circa 1,3 volte il carico IT previsto più qualsiasi capacità ridondante, soprattutto per le sale server di medie dimensioni. Non avendo tutti i valori tecnici richiesti per la determinazione della potenza frigorifera sulla base di questa approssimazione si baseranno poi i calcoli sviluppati con le diverse tecnologie prese in considerazione per il raffreddamento. Tuttavia, è doveroso ricordare

che il carico di raffreddamento calcolato potrebbe differire, anche se di poco da questo, soprattutto se si utilizza un data center molto grande. [12]

### 1.4.3 Metodi di raffreddamento

Esistono molti prodotti e tecniche diverse che è possibile utilizzare per mantenere una temperatura adeguata nel data center, le tecniche migliori dipenderanno dal carico di raffreddamento in questione, dalla configurazione della struttura e da altri fattori. Alcune delle tipiche tecnologie che si trovano in questo settore sono:

- Refrigeratori: i refrigeratori mantengono freschi i server rimuovendo il calore da un elemento e trasferendolo in un altro elemento.
- Sistemi di contenimento del corridoio freddo: alcune soluzioni di gestione del flusso d'aria si concentrano sul contenimento dell'aria fredda. Le soluzioni di contenimento del corridoio freddo separano il flusso d'aria di mandata dalle unità di raffreddamento, consentendo un controllo della temperatura più preciso e aumentando l'efficienza.
- Sistemi di contenimento a corridoio caldo: le soluzioni di contenimento a corridoio caldo contengono l'aria calda espulsa e la restituiscono direttamente all'unità di condizionamento, impedendo che si mischi con l'aria di mandata. Reimmettere aria più calda ai condizionatori ne migliora le prestazioni.
- Pannelli ciechi: i pannelli ciechi bloccano lo spazio tra i rack, prevenendo il ricircolo dell'aria e aiutando a mantenere una temperatura costante.
- Piastrelle per pavimento direzionali o ad alto flusso: le piastrelle per pavimento direzionali e ad alto flusso aiutano a dirigere l'aria verso le apparecchiature, aumentando l'efficienza del sistema e aiutando a sfruttare al meglio la capacità di raffreddamento.
- Raffreddamento a flusso discendente: i sistemi di raffreddamento a flusso discendente dirigono l'aria fredda verso il basso dalla parte inferiore dell'unità. L'aria calda di scarico entra dalla parte superiore dell'unità e quindi passa sopra i meccanismi di raffreddamento interni prima di entrare nel data center.
- Raffreddamento in fila: le unità di raffreddamento in fila sono installate nelle immediate vicinanze dell'apparecchiatura che stanno raffreddando. È possibile installare unità in fila sul pavimento o sul soffitto. Le soluzioni di raffreddamento in fila consentono un sistema di raffreddamento altamente

scalabile e consentono di rimuovere rapidamente carichi di calore elevati a causa della loro vicinanza alle apparecchiature.

- Raffreddamento portatile: le unità di raffreddamento portatili consentono di aggiungere flessibilità al sistema di raffreddamento. Si può aggiungere capacità di raffreddamento esattamente dove serve in qualsiasi momento. È possibile utilizzare unità di raffreddamento portatili sia per il raffreddamento spot che per il raffreddamento ad area.
- Scambiatori di calore della porta del rack: gli scambiatori di calore della porta del rack sono fissati direttamente ai rack dei server. Prendono il calore del rack del server e lo scambiano dall'aria prima di scaricarlo nel data center. Possono essere dotati di scambiatori di calore attivi, passivi o micro-canali.
- Raffreddamento montato su rack: è possibile installare le unità di condizionamento dell'aria direttamente su un rack, il che consente un raffreddamento eccezionalmente preciso.

[13]

Anche il modo in cui si progetta il sistema di raffreddamento può avere un impatto significativo sull'efficienza e sull'efficacia del raffreddamento. Il modo in cui si configura il data center e si posizionano le apparecchiature di raffreddamento influisce sull'efficienza del sistema di raffreddamento. Si può anche progettare il sistema per sfruttare il raffreddamento naturale se il clima in cui si trova il data center lo consente.

## **1.5 Metodi di miglioramento dell'efficienza energetica**

Negli ultimi anni vista l'esigenza di ridurre gli sprechi energetici e la crescente domanda elettrica richiesta dai data center sono state sviluppate numerose tecniche per limitare i costi legati al raffreddamento delle apparecchiature informatiche. Di seguito andremo a considerare una serie di tecnologie o di accorgimenti che permettono, nel corso di un arco di tempo più o meno lungo, di migliorare l'efficienza generale del data center generando inoltre un netto risparmio economico.

Una delle tecniche più utilizzate ed interessanti nel settore è il recupero del calore prodotto dai mezzi informatici, infatti in questo caso l'obiettivo principale è quello di sfruttare il carico termico sviluppato anziché cercare semplicemente di raffreddare i componenti mediante gli svariati metodi di refrigerazione. Il recupero del calore è notevolmente influenzato dalla temperatura a cui esce l'aria calda dalle apparecchiature

informatiche, solitamente nei data center si va ad utilizzare aria a temperatura medio bassa; infatti il range solitamente utilizzato va dai 30 ai 40°C. A seconda della temperatura si può decidere di utilizzare il calore di scarto per il riscaldamento invernale di altri ambienti, ma anche in altri ambiti lavorativi come allevamenti o serre. Poi è possibile utilizzare questa aria calda per scaldare acqua ad uso sanitario da inviare poi a strutture vicine; ovviamente nel caso in cui nelle varie applicazioni servisse una temperatura maggiore a quella di uscita dai data center si possono utilizzare una o più pompe di calore per rendere utilizzabile l'aria calda, ciò che deve sempre rimanere sotto la lente d'ingrandimento però è il risparmio economico conseguibile, dato che, soprattutto se si usano altri sistemi per adattare o aumentare la temperatura dell'aria, non sempre la soluzione finale risulta essere applicabile.

Se grazie alle pompe di calore si è in grado di portare l'aria calda fino a temperature che vanno da 80 a 120°C possiamo prendere in considerazione il collegamento dell'impianto ad una rete di teleriscaldamento, questo sistema è già ampiamente sviluppato nei paesi del centro e nord Europa, dove nei mesi invernali la richiesta di calore nel residenziale è molto elevata. In questi sistemi l'aria calda presente nei corridoi del sistema informatico tramite uno scambiatore di calore viene trasferito all'acqua e successivamente con una pompa di calore si va ad aumentare la temperatura per poterla rendere disponibile all'ingresso della rete di teleriscaldamento. Questa tecnologia di risparmio energetico viene sfruttata principalmente nei centri informatici di media e grande taglia, indicativamente con carico IT maggiore di 1MW, infatti in questo caso si hanno a disposizione portate maggiori di aria calda da utilizzare, visto che la richiesta poi nelle reti di teleriscaldamento è piuttosto elevata. Nel caso specifico del calore utilizzato nelle reti di teleriscaldamento per sviluppare un intervento ed un investimento economicamente sostenibile bisogna valutare alcune informazioni chiave del settore energetico come il prezzo di vendita del calore, il prezzo dell'elettricità, il COP delle pompe di calore utilizzate, gli investimenti fatti, il loro ritorno nel corso degli anni futuri ed il rendimento generale del sistema che permette di riutilizzare il calore.

Un secondo metodo di efficientamento energetico riguarda il miglioramento delle condizioni di lavoro delle macchine che permettono il raffreddamento e la circolazione dei flussi di aria nei corridoi. Nei data center si trovano tipicamente due tipologie di macchine per la refrigerazione, quelle aria-aria e quelle aria-acqua, le prime sono usate tendenzialmente in impianti di piccola taglia dato che garantiscono un minor scambio termico, mentre quelle aria-acqua si possono usare per maggiori potenze e carichi IT e

garantiscono anche una maggiore durata prima di una eventuale sostituzione.

Considerando le macchine aria-acqua sono possibili vari accorgimenti per ridurre il loro consumo energetico e di conseguenza ridurre poi i costi di raffreddamento, è possibile infatti avere un funzionamento a carico parziale del dispositivo, con un carico che va dal 40 al 60% del totale tendenzialmente si ottiene la massima efficienza e rendimento del refrigeratore. [14]

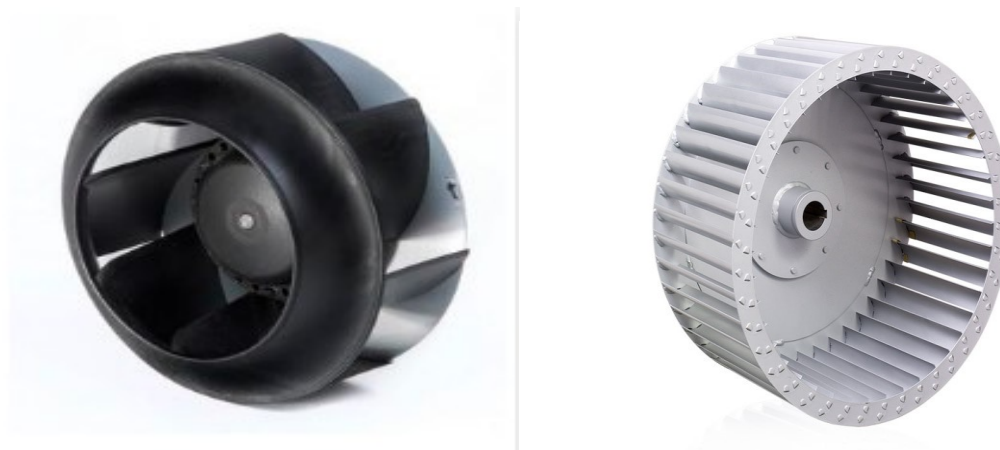
Di maggiore importanza è però un altro accorgimento, ossia quello di aumentare la temperatura di set-point dell'aria di mandata allo scambiatore aria-acqua così da ottenere un conseguente aumento della temperatura dell'acqua refrigerata. Ricordando che l'equazione principale che ci permette di valutare la potenza necessaria allo scambio termico di un fluido è data da

$$Q = m * cp * \Delta T \quad [W] \quad 1.3$$

dove  $m$  è la portata di fluido,  $cp$  il suo calore specifico e  $\Delta T$  la differenza di temperatura nello scambio termico si nota immediatamente come con una riduzione del  $\Delta T$  si abbasserà il valore della potenza di scambio richiesta. Negli ultimi anni, anche a livelli di normativa, sono state studiate e gradualmente aumentate le temperature di ingresso dell'aria fredda nei centri informatici. Secondo l'ASHRAE come visto precedentemente è possibile avere temperature che vanno dai 23 ai 27°C senza creare guasti o problematiche di nessun genere alle apparecchiature ma portando un considerevole risparmio elettrico ed economico per la refrigerazione come visto in precedenza. In conclusione si può facilmente notare come questo piccolo accorgimento, che non necessita di grandi investimenti o attrezzature può già portare ad un notevole tornaconto economico per l'azienda.

Sempre nell'ambito della gestione dei corridoi caldi e freddi può portare notevoli risparmi lo studio del funzionamento dei ventilatori, che garantiscono la circolazione dei flussi di aria all'interno del data center e di quelli presenti nelle unità di condizionamento dell'aria CRAC. A riguardo risulta di interesse il confronto tra ventilatori a pale curve in avanti che funzionano a velocità fissa con quelli a pale curve all'indietro e commutazione elettronica. Questi ultimi presentano notevoli vantaggi consentendo un maggiore controllo della velocità (risparmio energetico tra il 10 e il 20%), la riduzione della produzione di CO<sub>2</sub> (in quanto si riduce il consumo elettrico) e per concludere un elevato risparmio energetico complessivo. Si stima che sostituendo i ventilatori a velocità fissa con quelli a velocità variabile si può raggiungere un risparmio

energetico del 50% nelle unità CRAC, inoltre la spesa è solitamente ridotta non risultando troppo onerosa per l'azienda in quanto si stimano ammortamenti di circa due anni, ossia un periodo relativamente molto breve per l'azienda. Ad esempio, nel Regno Unito, nel data center di una banca nel centro di Londra la sostituzione di 76 unità CRAC (191 ventole in totale) hanno portato un risparmio energetico annuo che varia tra 240000 e 270000£. [15]



**Figura 1.8** Esempi di ventilatori con pale ricurve in avanti

La tecnica maggiormente utilizzata nei Data Center per il risparmio energetico è quella del free cooling ossia del raffreddamento gratuito, in quanto si va ad utilizzare l'aria ambiente esterna per raffreddare i dispositivi, ovviamente quando questa non supera una determinata temperatura limite (solitamente 18°C) e l'unica spesa energetica viene dai sistemi di movimentazione dell'aria. Il free cooling può essere utilizzato in vari tipi di centri informatici e non presenta particolari vincoli legati alla potenza o al carico IT, si può sviluppare preferibilmente in climi secchi e con ridotta umidità come quelli del centro e nord Europa ma è possibile in tutto il continente, Italia compresa, dove anche con un clima temperato comunque si possono raggiungere notevoli risparmi energetici ed il sistema può essere utilizzato per gran parte dei mesi dell'anno, a volte anche quelli estivi, magari nelle ore notturne, dove la temperatura scende al di sotto dei limiti necessari al sistema.

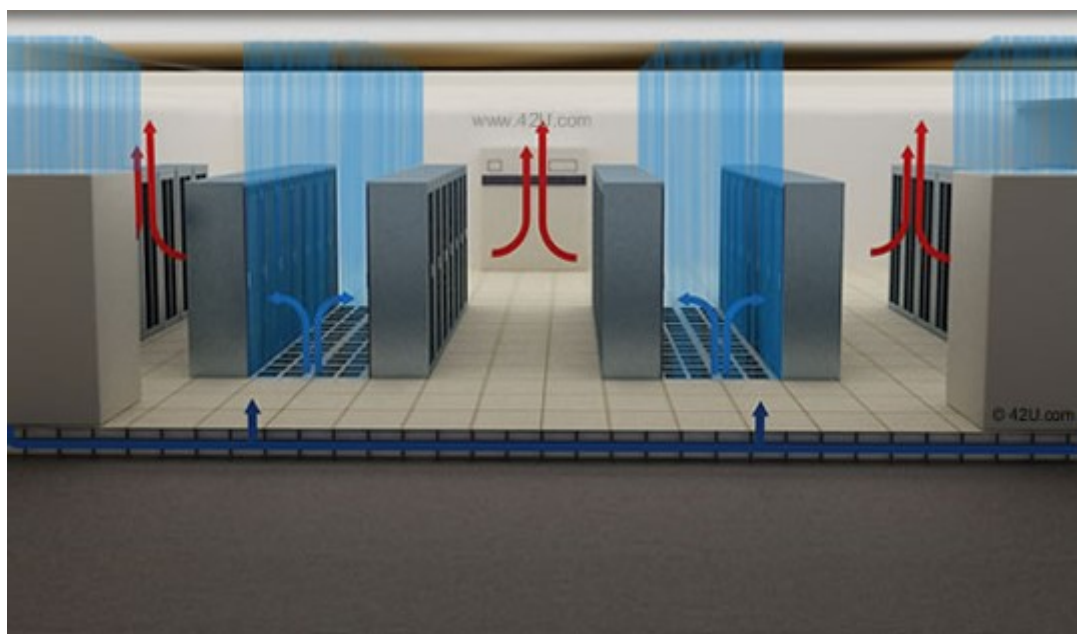
Tornando a tecnologie di più semplice sviluppo possiamo andare a considerare la sostituzione, nelle varie sale dei centri, delle vecchie luci a soffitto, che possono essere sostituite con luci LED o di nuova tecnologia. Questa sostituzione porta solitamente a costi ridotti e ad un doppio vantaggio dal punto di vista economico, si ha infatti una riduzione del carico di refrigerazione della sala, in quanto le nuove luci producono



meno calore che poi deve essere smaltito e una rilevante riduzione del consumo elettrico stimato.

Sempre legato alle luci nei centri di elaborazione dati un ulteriore accorgimento di efficientamento energetico semplice ed a costo 0 è lo spegnimento delle luci a soffitto in tutte le zone ed i reparti dove non sono necessarie per lo svolgimento di operazioni di lavoro o manutenzione dei macchinari o non si ha la presenza di personale nella sala. In questo caso specifico il risparmio è strettamente legato al costo orario dell'energia elettrica e delle ore in cui si ha lo spegnimento delle luci.

Un'ultima soluzione possibile nei centri di elaborazione dati riguarda la distribuzione dell'aria attraverso i corridoi caldi e freddi, cercando di evitare così il mescolamento dei flussi nei rack. In questo metodo si cercano varie barriere fisiche utilizzate in aggiunta a una disposizione corridoio caldo/corridoio freddo per eliminare ulteriormente la miscelazione di aria fredda di mandata ed aria calda di scarico. Le strutture di contenimento portano a temperature ammissibili più elevate nei data center. Temperature più elevate consentono di risparmiare energia perché è possibile ridurre la velocità della ventola, aumentare la temperatura dell'acqua refrigerata e utilizzare più spesso il free-cooling. La miscelazione dei flussi può essere ridotta al minimo attraverso l'uso di tende a strisce flessibili, simili alle coperture in plastica per la refrigerazione dei supermercati. Sono possibili ad esempio anche altre barriere come le custodie rigide. Si noti inoltre che le barriere di contenimento possono contenere sia il corridoio caldo che il corridoio freddo. Nei data center con disposizioni a corridoio caldo e freddo i sistemi di contenimento possono ridurre la spesa energetica totale del data center dal 5% al 10%. Il contenimento può ridurre l'energia del ventilatore dal 20% al 25% [16]



**Figura 1.9** Direzione dei flussi di aria con l'utilizzo delle tende flessibili

SOLUZIONI PER L'AUMENTO DELL'EFFICIENZA DEL DATA CENTER	POSSIBILI RISPARMI CONSEGUIBILI
RECUPERO CALORE	FUNZIONE DI: Temperatura di recupero dell'aria; efficienza del compressore per l'aumento della temperatura; carico IT del data center
FUNZIONAMENTO A CARICO PARZIALE DEI REFRIGERATORI	Massima efficienza dei refrigeratori con carico dal 40 al 60% del carico massimo
AUMENTO DELLA TEMPERATURA DELL'ARIA DI RAFFREDDAMENTO IN INGRESSO DEI RACK	Circa 2% di riduzione del consumo per la refrigerazione per ogni grado di aumento della temperatura di mandata dell'aria nello scambiatore aria-acqua
SOSTITUZIONE DEI VENTILATORI A VELOCITA' FISSA CON QUELLI A VELOCITA' VARIABILE NEI REFRIGERATORI	Fino al 50% di risparmio sulle unità di refrigerazione CRAC
FREE COOLING	FUNZIONE DI: Luogo di utilizzo e quindi temperature dell'aria esterna nell'arco dell'anno
SOSTITUZIONE O SPEGNIMENTO DELLE LUCI	FUNZIONE DI: Numero e tipo di luci installate nella sala server
DISTRIBUZIONE DELL'ARIA IN CORRIDOI CALDI E FREDDI	Riduzione dal 5 al 10% della spesa energetica totale dell'impianto e dal 20 al 25% del consumo energetico dei ventilatori

**Tabella 1.1** Esempi di soluzioni di aumento dell'efficienza nei data center

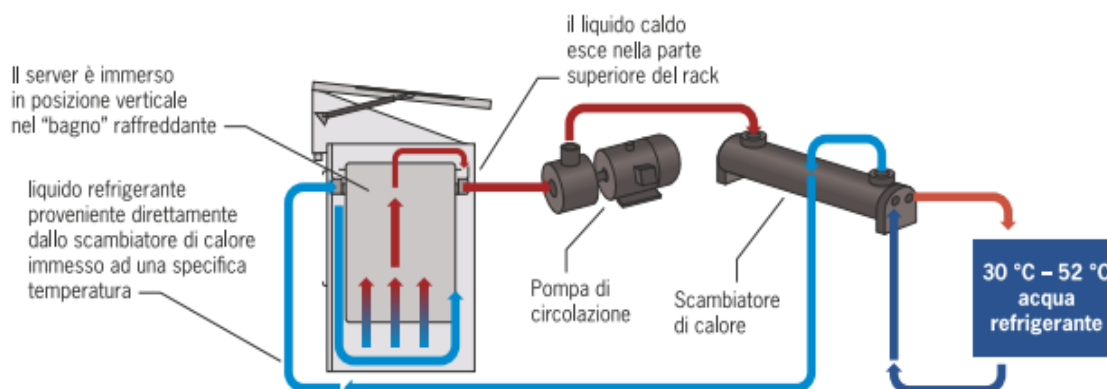
## **1.6 Tecniche innovative di raffreddamento**

### **1.6.1 Il raffreddamento con liquido**

Anche se il raffreddamento con liquidi dei data center non ha trovato finora un unanime consenso tra i progettisti, rimane un'interessante e promettente tecnologia.

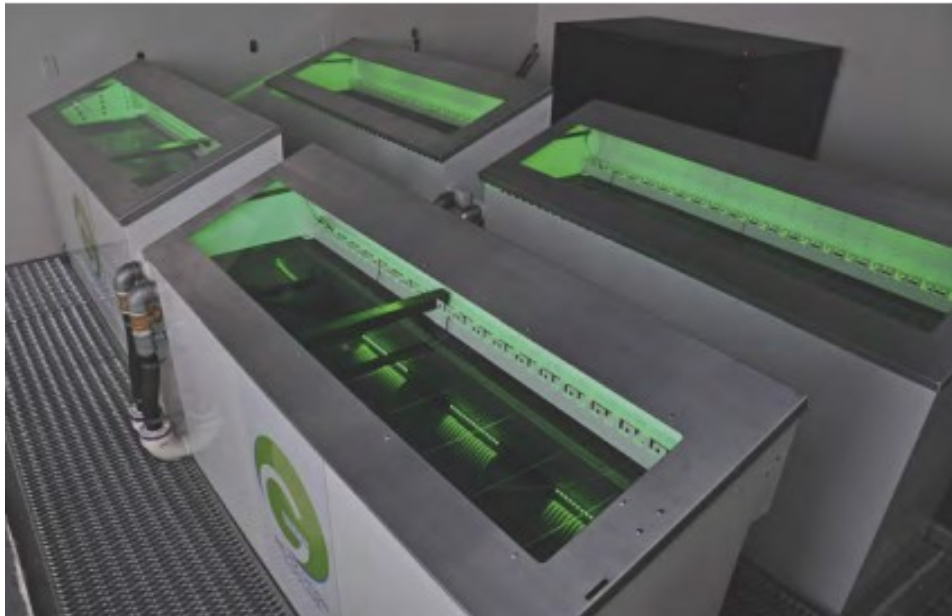
L'incremento costante della potenzialità di elaborazione dati nei data center e il conseguente aumento di calore prodotto, sta portando in primo piano (a dire il vero da ormai diversi anni) la possibilità di optare per un raffreddamento diretto dei rack tramite liquido, in grado di asportare una quantità di calore notevolmente superiore. Bisogna però registrare che l'opzione del raffreddamento con liquidi dei data center rimane al momento solamente un'ipotesi di lavoro suggestiva ma raramente applicata per una serie di motivi riportati di seguito. Questa tecnologia presenta alcuni ostacoli, probabilmente il primo e più grande impedimento all'espansione dei sistemi di raffreddamento con liquido nei data center è costituito dal fattore di forma. Difatti le apparecchiature dell'impianto e tutti i componenti necessari a consentire la circolazione del fluido e il raffreddamento diretto dei server sono molto diverse da un sistema di raffreddamento indiretto ad aria. Tutto il processo di rimozione del calore ha una sua genesi distinta e tranne l'ultima fase di espulsione del calore nell'atmosfera che si svolge in modo sostanzialmente identico (tramite le torri di raffreddamento, gli scambiatori di calore aria-fluido, ecc.) e le apparecchiature utilizzate all'interno dell'ambiente data center sono del tutto differenti. Inoltre, sempre a differenza dei sistemi di raffreddamento ad aria nei quali è quasi sempre possibile modificare abbastanza agevolmente la configurazione di circolazione dell'aria ridisegnando il layout con nuovi corridoi di separazione tra i cabinet o recuperando spazi perimetrali attraverso differenti e nuove configurazioni con più file, nel caso invece di raffreddamento con liquido le possibili variazioni incrementali sono ridotte e decisamente più limitate. Così come è del tutto evidente che trasformare uno spazio esistente raffreddato ad aria con uno con liquido, è nella maggior parte dei casi semplicemente antieconomico. Vi è poi certamente un altro fattore che penalizza, a volte in maniera pregiudiziale, il raffreddamento liquido: l'avversione al rischio. Il connubio elettricità – acqua genera sempre un qualche timore anche negli operatori specializzati e viene di norma considerato un azzardo imprudente, ragionevolmente da evitare. Va poi constatato che se in primis i produttori di server non supportano in toto neanche per i grandi impianti il raffreddamento diretto con il fluido, risulta del tutto normale che anche il progettista del sistema di raffreddamento dei data center di medie dimensioni resti disinteressato all'opzione. Rimangono così pochissime applicazioni in

cui i server per applicazioni commerciali vengono direttamente immersi nel fluido, come il sistema CarnotJet.



**Figura 1.10** Schema semplificato del sistema CarnotJet

Questa soluzione prevede che i server siano immersi in una miscela di olio minerale dielettrico denominato ElectroSafe, un isolante elettrico con capacità termica 1.200 volte superiore a quella dell'aria. Il risparmio dei costi di raffreddamento è del 95% e dell'8-20% la riduzione dell'assorbimento di potenza del server. Vi è forse però una ragione più rilevante che spiega perché il raffreddamento con fluidi liquidi non è stato largamente sviluppato: in questi ultimi dieci anni la migliore conoscenza dei fenomeni termoelettrici ha esteso le gamme delle temperature di esercizio consigliate dei server, e dunque con la possibilità di poter gestire temperature più alte, anche il campo di lavoro dei sistemi impiantistici con raffreddamento ad aria si è ampliato, consentendo così in ultimo di rispondere alle sempre maggiori richieste energetiche.



**Figura 1.11** Esempio di sistema CarnotJet

In questa sezione di tecnologie di raffreddamento è possibile trovare anche il raffreddamento a liquido diretto senza immersione. Di norma il raffreddamento con liquido dei data center viene ottenuto immergendo l'intera apparecchiatura IT in una vasca riempita con fluido dielettrico, ma viceversa in questo caso si usa un approccio diverso che consiste nel sigillare ermeticamente ciascun server e riempire il contenitore con il fluido. In questo modo il sistema è compatibile con lo standard rack IT. All'interno di ciascun server, il refrigerante viene trasportato a diretto contatto con i componenti più caldi, di norma i microprocessori, mentre le altre parti vengono raffreddate indirettamente dal passaggio del liquido. Il refrigerante "caldo" viene poi circolato fuori dal box per l'estrazione di calore. Di seguito il fluido caldo fino alla temperatura di 45 °C è poi inviato al raffreddamento evaporativo prima di tornare ad essere riammesso verso il server. Questa tecnologia oltre a ridurre i costi di installazione e gestione, aumenta l'affidabilità e la vita delle apparecchiature IT, evitando le fluttuazioni elevate di temperatura intorno ai giunti di saldatura. Anche i fenomeni di corrosione dei contatti elettrici vengono di fatto scongiurati in quanto non più esposti ai fenomeni di ossidazione causati dalla variazione di temperatura dell'aria. Il sistema è privo di unità ventilanti, quindi in assenza totale di parti mobili, il che significa meno possibilità di guasti ai contatti elettrici che possono invece deteriorarsi a causa delle vibrazioni costanti. In ultimo va ricordato che i circuiti elettronici non sono esposti alle scariche elettrostatiche, al particolato e all'umidità presente nell'ambiente. [17]

Queste nuove combinazioni, come le varianti di layout tramite nuovi corridoi di separazione e di contenimento, una gestione con temperature più elevate dell'aria e di conseguenza una maggior tolleranza del  $\Delta$  di temperature attraverso i server, consentono di regolare l'aumentata quantità di calore sviluppata tramite il raffreddamento indiretto ad aria senza accrescere drammaticamente il consumo di energia. Ma in questo modo il problema di come risolvere con efficienza il maggiore flusso di calore sviluppato nei data center è stato spostato semplicemente un poco più in là nel tempo, rimanendo convinti che in un prossimo futuro sarà comunque solo una questione di come e non di quando.

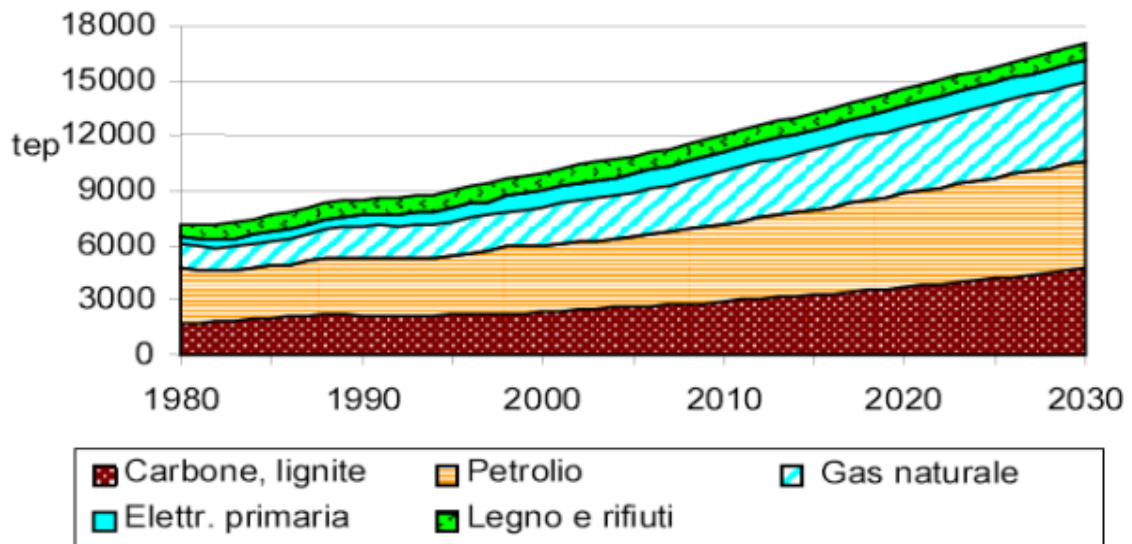
# CAPITOLO 2

## 2 Le ESCo ed i Titoli di Efficienza Energetica

Le ESCo, acronimo di energy service company, sono società certificate che operano nel campo dell'efficienza energetica, il meccanismo di funzionamento è semplice: offrono a enti pubblici e aziende interventi di risparmio energetico a “costo zero” retribuendosi con i risultati dell'intervento stesso.

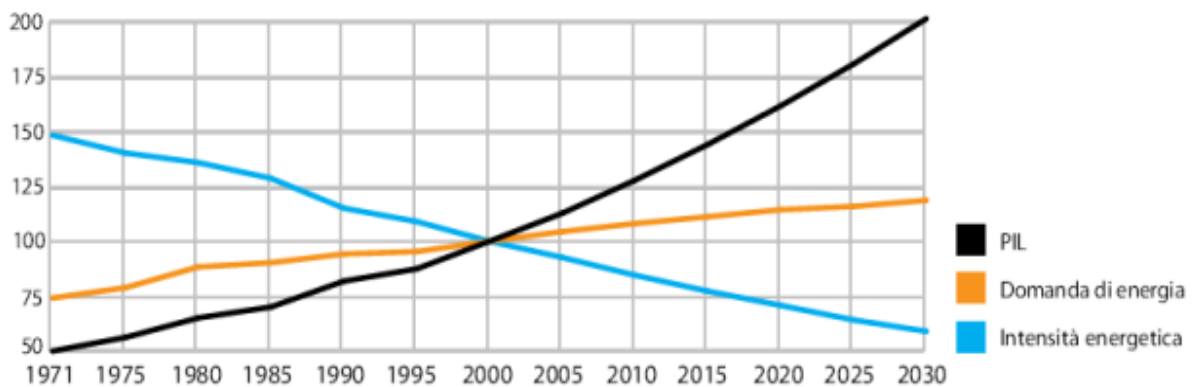
### 2.1.1 Nascita e sviluppo delle ESCo

Le ESCo sono nate negli Stati Uniti tra la fine degli anni '70 e l'inizio degli anni '80, per rispondere in modo concreto alla crescente richiesta di risparmio, in termini energetici e di risorse, sul fronte pubblico e privato. Principalmente ciò che ha spinto la società a trovare come soluzione queste società è stata la crisi petrolifera del 1973 a causa della guerra del Kippur che portò al blocco delle esportazioni del petrolio arabo verso i paesi occidentali. Questa emergenza ebbe come conseguenza un aumento sconsiderato del prezzo del petrolio fino quasi a quadruplicare portando ad uno shock sui mercati petroliferi. [18] Poi con la rivoluzione iraniana del 1979 il prezzo del greggio aumentò fino ad arrivare al prezzo, mai raggiunto prima, di 34 dollari al barile, tutto questo ha poi portato anche i prezzi dell'energia ai massimi storici creando in questo modo le condizioni per un nuovo business: offrire servizi per il risparmio energetico e ridurre quindi la sempre più cara bolletta energetica degli utenti. Originariamente le ESCo sono nate come divisioni specializzate appartenenti alle grandi società produttrici e fornitrici di energia e da società di consulenza energetica che avevano visto la possibilità di implementare direttamente le soluzioni tecnologiche ed operative da loro stessi sviluppate. Con l'aumentare delle prospettive di mercato, si sono poi costituite in vere e proprie società indipendenti. Dopo 30 anni di crescente attività negli Stati Uniti il giovane mercato dei servizi energetici sta prendendo forma anche in Europa, soprattutto grazie al sostegno dell'Unione Europea che, attraverso i vari programmi di supporto tecnologico e non tecnologico, sta svolgendo un ruolo estremamente importante per la promozione di questo strumento di risparmio energetico.



**Figura 2.1** Previsioni di consumi energetici a livello mondiale al 2030 [19]

Ovviamente allo sviluppo di queste società non possono che dare manforte i vari accordi stipulati sulla riduzione delle emissioni inquinanti, come il protocollo di Kyoto. Queste società infatti dall’inizio degli anni 2000 hanno considerevolmente aumentato la loro presenza anche nel mercato energetico europeo ed italiano offrendo ad aziende e privati numerose occasioni per migliorare la loro efficienza offrendo un nuovo metodo di lavoro e varie tipologie di servizi finalizzati al contenimento dei consumi per ridurre conseguentemente il costo delle bollette energetiche. La crescita di queste società è stata inoltre aiutata sia dalla crescita dei consumi nei paesi fortemente industrializzati ed in via di sviluppo che dalla liberalizzazione dei mercati energetici.



**Figura 2.2** Sviluppo a lungo termine di PIL, domanda e intensità energetica [20]



## 2.1.2 Le ESCo in Italia

In Italia vi è una forte dipendenza energetica da altri paesi che si riflette sulla competitività italiana ed è un fattore estremamente limitante, questo perché gli input energetici hanno per il nostro sistema economico prezzi crescenti e superiori alla media europea. Per rimediare a questo bisogna investire nell'evoluzione della tecnologia energetica che, oltre a rappresentare un'opportunità per lo sviluppo tecnologico permette il controllo delle emissioni inquinanti. L'investimento in ricerca e sviluppo è un forte elemento di criticità per l'Italia: il tessuto industriale è caratterizzato da aziende di piccola dimensione, a basso impatto energetico, e intensità di spesa in ricerca e sviluppo che si attesta a poco più di metà della media europea. La necessità all'invenzione deriva dall'aver obiettivi ambiziosi come la sostenibilità e l'Italia, caratterizzata da un sistema innovativo arretrato, ha bisogno di una classe politica capace di attuare interventi efficaci, ecco perché le ESCo potrebbero avere un ruolo molto importante nel futuro energetico italiano.

Nel nostro paese l'obiettivo di aumento dell'efficienza energetica negli usi finali in relazione agli impegni assunti con la firma del Protocollo di Kyoto viene regolato da due Decreti Ministeriali: D.M. 20 luglio 2004 e D.M. 30 maggio 2008. Il D.M. 20 luglio 2004, emanato dal Ministro per le attività produttive e dal Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio, rappresenta il primo riconoscimento formale del ruolo delle ESCo in Italia. Con questi decreti si riforma profondamente la politica di promozione del risparmio energetico nei suoi utilizzi e introduce un sistema innovativo anche in ambito internazionale. L'obiettivo fissato con queste leggi era quello di conseguire, alla fine dei primi 5 anni di applicazione (2005-2009), un risparmio di energia annua pari a 2,9 milioni di tonnellate equivalenti di petrolio (Mtep); ossia un valore pari a quello relativo all'incremento annuo dei consumi nazionali di energia registrato nel biennio 1999-2001. Nelle Linee guida si legge che le ESCo sono le "società, comprese le imprese artigiane e le loro forme consortili, che hanno come oggetto sociale, anche non esclusivo, l'offerta dei servizi integrati per la realizzazione e l'eventuale successiva gestione di interventi per la riduzione dei consumi energetici".

Il D.M. 30 maggio 2008, n.115 "Attuazione della direttiva 2006/32/CE relativa all'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici e abrogazione della direttiva 93/76/CEE" e il decreto con cui la Repubblica Italiana ha promosso la diffusione dell'efficienza energetica in tutti i settori. Vi si specifica che la ESCo è una "persona fisica o giuridica che fornisce servizi energetici, ovvero altre misure di miglioramento dell'efficienza energetica nelle installazioni o nei locali dell'utente e, così

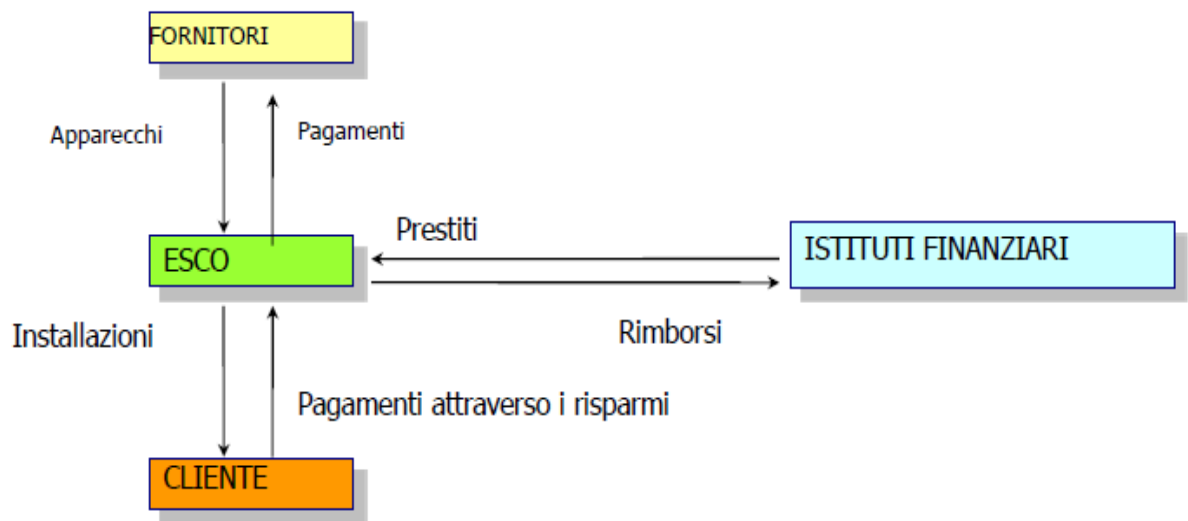
facendo, accetta un certo margine di rischio finanziario. Il pagamento dei servizi forniti si basa, totalmente o parzialmente, sul miglioramento dell'efficienza energetica conseguito e sul raggiungimento degli altri criteri di rendimento stabiliti". Da questo D.M. si può anche trovare il significato di servizio energetico definito come: "la prestazione materiale, l'utilità o il vantaggio derivante dalla combinazione di energia con tecnologie, ovvero con operazioni che utilizzano efficacemente l'energia, che possono includere le attività di gestione, di manutenzione e di controllo necessarie alla prestazione del servizio, la cui fornitura è effettuata sulla base di un contratto e che in circostanze normali ha dimostrato di portare a miglioramenti dell'efficienza energetica e a risparmi energetici primari verificabili e misurabili o stimabili"

Il pagamento dei servizi forniti si basa, totalmente o parzialmente, sul miglioramento dell'efficienza energetica conseguito e sul raggiungimento degli altri criteri di rendimento stabiliti".

La nuova Direttiva 2012/27/UE, entrata in vigore il 4 dicembre 2012, chiede agli stati membri di risparmiare energia fissando obiettivi nazionali indicativi di efficienza energetica basati sul consumo di energia primaria o finale o sull'intensità energetica. Il Parlamento Europeo ha infatti approvato il pacchetto clima-energia volto a conseguire gli obiettivi che l'UE si è fissata per il 2020: ridurre del 20% le emissioni di gas a effetto serra, portare al 20% il risparmio energetico e aumentare al 20% il consumo di fonti rinnovabili. Il pacchetto comprende provvedimenti sul sistema di scambio di quote di emissione e sui limiti alle emissioni nelle automobili. Oltre al semplice consumo di energia, oggi l'utilizzatore finale richiede garanzie e servizi che stanno trasformando profondamente il rapporto tra produzione, distribuzione e approvvigionamento. [21]

## **2.2 La struttura delle ESCo**

Una ESCo è un'impresa che finanzia, sviluppa e installa progetti rivolti al miglioramento dell'efficienza energetica ed al mantenimento dei costi relativi alle attrezzature installate a tale scopo. L'obiettivo finale di tali società è quello di avere un valore tale dell'energia risparmiata sufficiente a rimborsare il costo degli investimenti in un tempo ragionevole.



**Figura 2.3** Principali operazioni e interlocutori di una ESCo

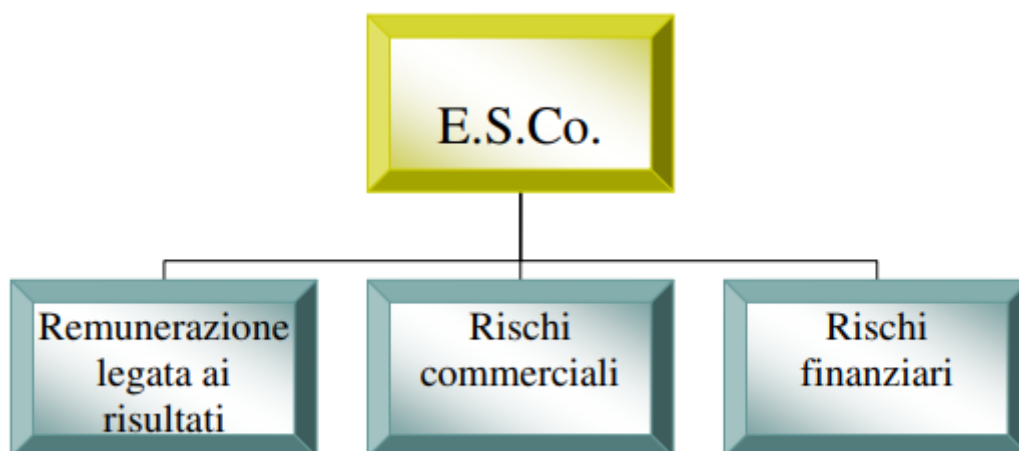
Le ESCo in generale sono piccole medie imprese strutturate come: società indipendenti, società fornitrici di tecnologia, società fornitrici di combustibili o energia, agenzia nazionali e regionali.

Gli interventi svolti da queste società seguono tutto il ciclo di vita dell'intervento con campi applicativi molto vari, che spaziano da quelli di natura puramente tecnica realizzativa a quelli di carattere manageriale e finanziario, tra gli altri:

- La progettazione tecnica e l'installazione di tecnologie energeticamente efficienti;
- Studi di razionalizzazione nell'uso dell'energia;
- La fornitura di energia;
- Studi di misura e verifica dei risultati;
- La gestione e la manutenzione della tecnologia.

La lista dei servizi potrebbe ulteriormente ampliarsi in quanto sono possibili infiniti tipi di interventi perché tutti vengono in primo luogo plasmati dalla ESCo in base alle esigenze e alle necessità dei singoli clienti. Le Energy Service Company non sono semplicemente società di consulenza che implementano interventi per un cliente, ma operano con il cliente condividendo gli obiettivi e rispondendo alle necessità di redditività e carenza di fondi del sistema. L'offerta e l'attuazione del miglior intervento significano maggiori guadagni sia per l'utente che per la ESCo: per il primo in termini di efficienza energetica e risparmio, per la seconda perché la sua remunerazione dipende dal risparmio conseguito e perché si assume i rischi commerciali e l'onere finanziario

dell'operazione. Queste società infatti guadagnano sulla loro capacità di far diventare efficienti le aziende.



**Figura 2.4** Diagramma di caratterizzazione delle ESCo

Le ESCo sottoscrivono con il cliente un Performance Contract: questo permette di legare la remunerazione della ESCo alle performance in termini di risparmio che l'intervento sarà capace di produrre. Poi dopo aver indicato tutti gli oneri delle parti qualifica i risultati attesi di tutti gli scenari possibili di cui si fa garante. Questa "assicurazione" permette di collocare i rischi finanziari sulla Energy Service Company anziché sul cliente: se poi i risparmi conseguiti saranno minori a quelli attesi saranno le ESCo a coprire la differenza.

Il Performance Contract si caratterizza rispetto al soggetto finanziatore dell'intervento: utilizzando il risparmio garantito come copertura, il cliente o la ESCo possono finanziare l'interventi o con fondi propri o con il Finanziamento Tramite Terzi.

## **2.3 Il meccanismo di funzionamento**

Le ESCo consentono di fornire al cliente una vasta gamma di servizi integrati e propongono soluzioni personalizzate che siano capaci di generare i migliori risultati possibili. Anche se è difficile generalizzare, l'offerta può comprendere una parte o tutte, in tal caso seguendo un preciso ordine cronologico, le seguenti azioni:

1. Diagnosi energetica;
2. Audit Energetico;
3. Progettazione dell'intervento;

4. Procacciamento dei fondi per il finanziamento;
5. Stesura del contratto;
6. Messa in opera
7. Fornitura di energia;
8. Gestione e manutenzione;
9. Monitoring e verifica.

Nella struttura organizzativa delle ESCo ricopre una notevole importanza l’Audit Energetico che rappresenta uno studio tecnico-economico di fattibilità ed è utilizzato per identificare le azioni che possono tradursi poi in efficienza energetica. Viene seguito con scrupolosa meticolosità per non tralasciare nessun particolare che possa risultare importante per l’intervento. In primo luogo è necessario fotografare la situazione energetica del cliente attraverso la raccolta di informazioni come:

- La caratterizzazione del sito (età, spessore pareti, infissi, area riscaldata);
- I sistemi di generazione e distribuzione del calore (età caldaia, periodi di utilizzazione, isolamento)
- Uso dell’energia (consumo medio, apparecchi installati, classe energetica)

[22]

Non è possibile definire un’univoca categoria di clienti ma in generale i migliori sono grandi complessi industriali, però solitamente le ESCo evitano interventi che abbiano tempi di payback troppo lunghi. Nell’Audit Energetico vengono considerati tutti i rischi che potrebbero concorrere all’insuccesso dell’intervento, questi vengono classificati come: i rischi tecnologici, derivanti dalla scelta di tecnologie più o meno consolidate o opportune; i rischi operativi, per esempio la necessità di nuovo personale; i rischi normativi, per esempio le emissioni inquinanti; i rischi connessi al mercato dell’energia, come la continua evoluzione delle leggi o la volatilità dei prezzi delle materie prime; i rischi finanziari legati all’investimento, ad esempio in considerazione di limiti nelle capacità di indebitamento; i rischi derivanti dai tempi di realizzazione dell’intervento.

Infine l’Audit include la definizione di protocolli di misura e verifica delle prestazioni perché è necessario per il corretto funzionamento delle ESCo che le metodologie di calcolo del risparmio energetico siano trasparenti, replicabili e capaci di comparare correttamente la situazione pre e post intervento.

### **2.3.1 La struttura contrattuale**

Le due principali tipologie di contratto sono quelli di risparmio condiviso e di risparmio garantito, maggiormente utilizzati perché nati in risposta alle esigenze del meccanismo di funzionamento delle ESCo. I contratti di risparmio condiviso comportano che la ESCo si assuma tutti i rischi legati al progetto, da quello finanziario, intrattenendo i rapporti con eventuali finanziatori, a quello di performance, garantendo il conseguimento dei risparmi, e anche quello relativo a possibili variazioni dello stato delle cose non previsti dal contratto; sul cliente non grava nessun rischio e l'investimento non pesa sul suo bilancio. L'accordo in questo contratto prevede che, per una predeterminata lunghezza di tempo, il risparmio sia diviso tra il cliente e la ESCo rispettando precise percentuali, la divisione non è standard bensì dipende dal costo del progetto, dalla lunghezza del contratto, dai rischi contrattuali e può variare nel corso degli anni.

I contratti di risparmio garantito prevedono un accordo nel quale la ESCo si impegna a garantire un certo livello di risparmio energetico riparando il cliente dai rischi tecnologici, mentre il cliente va ad assumersi i rischi finanziari. La ESCo ha l'onere e l'onore di coprire o acquisire la differenza tra i risparmi conseguiti e quelli previsti; i contratti di risparmio garantito sono il risultato della maturazione del mercato delle ESCo perché il cliente che percepisce gli altri indici di redditività dell'investimento, non solo è disponibile a finanziare il progetto ma vuole farlo perché può godere di tassi di prestito inferiori, percorrendo le usuali prassi della somministrazione del credito. Resta comunque la necessità di un sistema bancario solido che abbia familiarità con i progetti finanziari intrapresi ed esperienza tecnica per capire i progetti di efficientamento energetico.

### **2.3.2 Altre tipologie di contratto**

Nei contratti sono di particolare importanza altre quattro tipologie che spesso trovano applicazione nella regolazione del rapporto tra ESCo e cliente:

- 1) Il “servizio energia” è definito come “l’atto contrattuale che disciplina l'erogazione di beni e servizi necessari a mantenere le condizioni di confort negli edifici nel rispetto delle vigenti leggi in materia di uso razionale dell'energia, di sicurezza e salvaguardia dell'ambiente e provvedendo nel contempo al miglioramento dei processi di trasformazione e utilizzo dell'energia”. A differenza delle tipologie di contratto precedenti è specializzato

nella regolazione di rapporti per la fornitura di calore: la ESCo si occupa di fornire l'energia alle migliori condizioni e di implementare l'intervento con un occhio di riguardo all'uso delle fonti rinnovabili e all'uso razionale dell'energia. In questa tipologia di contratto la ESCo guadagna in proporzione ai consumi del cliente, tanto più crescono tanto più guadagna.

- 2) Il contratto di calore o *chauffage contract* è un contratto simile nelle finalità al servizio energia perché si occupa della fornitura di calore e, come in precedenza, la ESCo reperisce il combustibile o l'elettricità a prezzi migliori e gestisce l'intervento. La durata di questi contratti è tipicamente molto lunga, tra i 20 e i 30 anni, durante le quale il cliente ha l'obbligo di pagare una rata pari alla sua bolletta energetica pre-intervento decurtata di una quota del risparmio conseguito. La ESCo, a differenza del servizio energia, condivide gli obiettivi con il cliente, infatti tanto più la bolletta diminuisce, a parità di servizi, tanto più è grande il suo guadagno.
- 3) Il contratto *first out* prevede invece che la ESCo si appropri del 100% dei risparmi conseguiti, ha principalmente la capacità di ridurre i tempi di *payback* e quindi di aumentare i risparmi possibili.
- 4) Il *B.O.O.T.* (*Build Own Operate Transfer*) prevede che la ESCo per un certo periodo di tempo, fornisca le proprie strutture finché non trasferisce al cliente l'intera proprietà delle stesse.
- 5) Il contratto di *leasing* prevede un contratto tra istituto finanziario e cliente. Il primo, in risposta alla richiesta di un cliente, compra un bene capitale di cui diviene proprietario che affitta al cliente, il quale paga per questo servizio un canone d'affitto. La durata del contratto è tale da rispettare le esigenze della società di ripagarsi dell'investimento e si conclude con la corresponsione da parte del cliente di un riscatto che lo porta ad essere proprietario del bene. [23]

## **2.4 Benefici ed aspetti critici**

Il meccanismo di funzionamento delle ESCo e lo sviluppo del loro mercato hanno la capacità di generare ritorni positivi in termini microeconomici e macroeconomici. Ogni cliente, usufruendo dei servizi resi dalla ESCo gode, non solo del risparmio energetico prodotto, ma anche della possibilità di implementare interventi senza investire capitali, di essere esentati dall'obbligo di sopportare i rischi legati alla tecnologia e al raggiungimento delle performance, di salvaguardare l'ambiente, di utilizzare la tecnologia innovativa. Non è solo questo, la conversione dell'efficienza energetica

provoca una serie di vantaggi che si amplificano tra loro producendo sul cliente un vero e proprio miglioramento qualitativo e quantitativo. Se, ad esempio, considerando una impresa la conversione all'efficienza energetica attraverso i servizi di una ESCo genera:

- Maggiore affidabilità degli impianti dovuta ai miglioramenti qualitativi sugli stessi;
- Processi di produzione studiati appositamente per il raggiungimento degli obiettivi;
- Indici di redditività crescenti grazie alle continue operazioni di controllo delle prestazioni;
- Minori costi operativi che si ripercuotono sugli stessi processi di produzione e sugli indici di redditività aziendali;
- Crescita della competitività a medio e lungo termine;
- Fondi monetari addizionali, perché la ESCo finanziando l'intervento libera risorse aziendali da investire in altri progetti;
- Vantaggi competitivi derivanti dalla possibilità di poter utilizzare esperti esterni che potrebbero essere più capaci nello stilare valutazioni tecnico-economiche o nel gestire e implementare progetti di ricerca e sviluppo o nell'operare interventi di manutenzione

[24]

A livello macro, ossia a livello di sostenibilità del sistema, i vantaggi che potrebbero derivare dall'esistenza di un mercato efficiente delle ESCo sono quantificabili attraverso i numerosi sforzi che lo stato italiano e ancor di più la Comunità Europea stanno sopportando per cercare di ottenerlo. I fattori limitanti allo sviluppo del mercato sono di varia natura: dalla specificità dei contratti, al reperimento di fonti disponibili per il finanziamento fino alla percezione dell'opportunità e della necessità di investire in efficienza energetica. Nella pratica, per esempio, l'apparentemente semplice meccanismo del risparmio garantito necessita di strutture contrattuali estremamente complesse che richiedono lunghe fasi di contrattazione perché le clausole devono essere capaci di garantire sia il cliente che la ESCo.

## **2.5 La fornitura dei fondi economici**

I fondi necessari agli interventi delle ESCo devono andare a coprire i costi connessi all'intervento ed ai bisogni di capitale circolante per tutto il periodo di durata del contratto. In generale esistono 3 opzioni per finanziare l'intervento:



1. La ESCo può utilizzare il capitale proprio interno all'azienda o derivante da leasing o debito;
2. Il cliente utilizza capitali propri o derivanti da accordi con istituti di credito;
3. Il ricorso al Finanziamento tramite terzi o F.T.T.

Raramente una ESCo possiede una capacità finanziaria tale da poter sostenere con fondi interni un intero progetto e inoltre raramente sussiste la convenienza a bloccare ingenti capitali per un periodo prolungato.

I clienti possono finanziare il progetto in maniera diretta con fondi propri o attraverso capitale di debito, anche se questa possibilità presuppone degli elevati indici di redditività degli investimenti energetici. Ogni cliente ha la possibilità di accedere a fondi, per implementare interventi di efficientamento, disposti a livello europeo e nazionale con medesimo fine. Ad esempio si possono trovare i cosiddetti fondi rotativi, gestiti dalle regioni e che incentivano la crescita delle aziende attraverso l'aumento della disponibilità di capitale proprio. Il finanziamento tramite terzi si può definire come un accordo contrattuale che comprende un terzo, oltre al fornitore di energia e al beneficiario della misura di miglioramento dell'efficienza energetica, che fornisce i capitali per tale misura e addebita al beneficiario un canone pari a una parte del risparmio energetico conseguito avvalendosi della misura stessa. Il terzo può essere o meno una ESCo. In pratica il "beneficiario dell'intervento" non sostiene i costi dell'investimento e il soggetto terzo "finanziatore" si ripaga con parte del risparmio derivante.

In caso la ESCo utilizzi il finanziamento tramite terzi si accolla i relativi oneri finanziari dell'intervento ma non è costretta a legare capitali propri per un lungo periodo al progetto, il cui costo sarebbe maggiore di quello del denaro preso a prestito. Allo stesso tempo il cliente è salvaguardato da ogni rischio finanziario legato alla performance e beneficia di finanziamenti fuori bilancio. In caso il cliente utilizzi il Finanziamento Tramite Terzi sottoscrive con gli istituti di credito contratti che utilizzano come collaterale le garanzie di risparmio prescritte nei performance contract. Queste dimostrano che l'intervento ha capacità di generare flussi di cassa positivi e la banca di conseguenza può imporre tassi di interesse convenienti anche se questi risultano largamente influenzati dalla storia di credito del debitore.

## 2.6 Il mercato dell'efficienza energetica

Il contrasto al cambiamento climatico ha acquistato nel corso degli anni un ruolo sempre più dominante all'interno dell'agenda politica dei paesi industrializzati ed il 2016 ha fatto registrare l'entrata in vigore degli accordi di Parigi sottoscritti dai 197 paesi aderenti alla ventunesima Conferenza di Parigi (COP21), stabilendo una seria svolta nella lotta al cambiamento climatico. Nello specifico, vengono stabilite delle azioni volte a limitare l'incremento della temperatura media globale al di sotto dei 2°C ed il perseguimento degli sforzi per limitare l'aumento a 1,5°C, rispetto ai valori preindustriali.

Il sistema energetico mondiale presenta al suo interno un divario tra le aspettative di una rapida transizione energetica guidata dalle fonti rinnovabili e la realtà dei fatti, in cui il sistema risulta dipendente dalle fonti fossili. Il 2020 è stato un anno caratterizzato da una pandemia mondiale, dovuta al diffondersi del virus SARS-COV-2, che ha avuto impatto su tutti i settori. Nello specifico, il "World Energy Outlook 2020" sottolinea che a causa degli effetti della crisi Covid-19 sul sistema energetico, si registra un calo del 5% della domanda globale di energia nel 2020, del 7% delle emissioni di CO<sub>2</sub> legate all'energia e del 18% degli investimenti energetici. Inoltre, si è registrata anche una diminuzione del consumo di petrolio dell'8% e dell'utilizzo di carbone del 7%, sempre nel corso del 2020.

L'efficienza energetica contribuisce trasversalmente a raggiungere gli obiettivi ambientali di riduzione delle emissioni, a garantire la sicurezza di approvvigionamento attraverso la riduzione del fabbisogno energetico e a favorire la riduzione della spesa per famiglie ed imprese. Per ciò che concerne l'ambito specifico, dunque, si intende ricorrere a un mix di strumenti di natura fiscale, economica, regolatoria e programmatica, prevalentemente calibrati per settori di intervento e tipologia dei destinatari avendo cura di integrare le politiche per l'efficienza con altre misure aventi finalità principali diverse al fine di ottimizzare il rapporto tra costi e benefici delle azioni. Nello specifico, l'Italia intende perseguire un obiettivo indicativo di riduzione dei consumi al 2030 pari al 43% dell'energia primaria e al 39,7% dell'energia finale rispetto allo scenario di riferimento adottato a livello comunitario. Inoltre l'Italia si impegna a conseguire nel periodo 2021-2030 oltre 50 Mtep di risparmi cumulati, corrispondenti a più di 9 Mtep di risparmi di energia finale nel 2030, grazie a misure per l'efficienza energetica da indirizzare prevalentemente nei settori civile e dei trasporti.

Nell'attuale assetto normativo del meccanismo dei Certificati Bianchi il Decreto Ministeriale 11 gennaio 2017 ha definito le modalità per l'assolvimento degli obiettivi quantitativi nazionali di risparmio energetico che devono essere perseguiti dalle imprese di distribuzione dell'energia elettrica ed il gas per il triennio che va dal 2017 al 2020 mentre ulteriori misure successivamente introdotte hanno progressivamente potenziato l'efficacia complessiva dello strumento stabilendo i criteri, le condizioni e le modalità di realizzazione dei progetti di efficienza energetica per l'accesso agli incentivi. Nello specifico, nel corso del 2018 e del 2019, attraverso il Decreto Ministeriale 10 maggio 2018 e il Decreto Direttoriale 30 aprile 2019 è stato definito l'elenco degli interventi incentivabili attraverso il metodo di valutazione per progetti standardizzati, è stata pubblicata una guida operativa per promuovere l'individuazione, la definizione e la presentazione di progetti nell'ambito del meccanismo dei Certificati Bianchi e sono state ampliate e aggiornate le tipologie progettuali ammissibili. Inoltre, con il Decreto interministeriale 1 luglio 2020, è stata aggiornata la lista dei progetti eleggibili al sistema dei Certificati Bianchi.

### **2.6.1 Quadro normativo.**

Il meccanismo dei Certificati Bianchi, introdotto dai Decreti Ministeriali del 24 aprile 2001, successivamente modificati dai Decreti Ministeriali del 20 luglio 2004 e aggiornati dal Decreto Ministeriale del 21 dicembre 2007, si configura come un regime obbligatorio di risparmio di energia primaria posto in capo ai distributori di energia elettrica e gas naturale. L'obbligo è determinato sulla base del rapporto tra la quantità di energia elettrica e gas naturale distribuita dai singoli distributori e la quantità complessivamente distribuita sul territorio nazionale dalla totalità dei soggetti obbligati. I soggetti obbligati possono adempiere alla quota d'obbligo realizzando direttamente i progetti di efficienza energetica per i quali vengono riconosciuti i TEE dal GSE oppure, in alternativa, acquistando i titoli attraverso le negoziazioni sul mercato dei TEE gestito dal Gestore dei Mercati Energetici (GME) o attraverso transazioni bilaterali. Il D.M. 28 dicembre 2012, le relative Linee Guida EEN 9/11 e il D.Lgs.102/2014 hanno introdotto rilevanti aggiornamenti sia in termini di ambiti di applicazione e soggetti eleggibili sia di strumenti operativi per il riconoscimento dei titoli. In particolare, il D.M. 28 dicembre 2012 ha assegnato al GSE la responsabilità della gestione della valutazione dei progetti di efficienza, introducendo aggiornamenti soprattutto in merito alla possibilità di rendicontare risparmi conseguibili esclusivamente attraverso progetti ancora da realizzarsi o in corso di realizzazione e vietando il cumulo dei Certificati

Bianchi con altre forme di incentivazione statale. Le linee Guida EEN 9/11, fra le altre disposizioni, hanno modificato la modalità di riconoscimento dei titoli con l'introduzione del coefficiente di durabilità  $\tau$ , anticipando gli anni di vita utile, cinque o otto, a seconda della tipologia di intervento, in risparmi conseguibili nel corso dell'intera vita tecnica dell'intervento. Successivamente il D.Lgs 102/2014, che ha recepito nell'ordinamento italiano la direttiva 2012/27/UE, ha fissato un obiettivo di risparmio cumulato minimo da conseguire nel periodo 2014-2020, pari a 25,5 Mtep di energia finale, stabilendo un contributo per il meccanismo dei Certificati Bianchi pari al 60% di tale obiettivo. Nell'ambito del suddetto D.Lgs. 102/2014, che ha previsto l'aggiornamento ed il potenziamento dell'efficacia del meccanismo al fine di valorizzare opportunamente i risparmi energetici addizionali generati dai progetti, il MiSE (Ministero dello Sviluppo Economico,, in collaborazione con GSE (Gestore Servizi Energetici), ENEA e RSE (Ricerca sul Sistema Energetico), ha predisposto un documento che ha illustrato le principali linee di indirizzo per il potenziamento del meccanismo dei Certificati Bianchi, e in data 31 luglio 2015, ha avviato una consultazione pubblica con l'obiettivo di raccogliere le osservazioni e le proposte in merito al processo di revisione del sistema dei TEE.

Il D.M 22 dicembre 2015 ha revocato le schede tecniche 40E,47E,36E e 21T e ha aggiornato la scheda 2T alla luce degli orientamenti dell'Unione Europea per gli aiuti di Stato e per garantire piena e più efficace attuazione del D.Lgs. 3 marzo 2011, n.28 e del D.Lgs. 4 luglio 2014, n.102. A seguito della consultazione pubblica e del parere 784/2016/l/efr/ del 22 dicembre 2016 dell'AEEGSI (Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente) e della Conferenza Unificata delle Regioni espresso nel dicembre 2016, è entrato in vigore il Decreto Ministeriale 11 gennaio 2017(di seguito Decreto Certificati Bianchi) che, oltre a definire i nuovi obiettivi quantitativi nazionali di risparmio energetico attraverso il meccanismo per il periodo 2017-2020, stabilisce le modalità di realizzazione dei progetti di efficienza energetica per l'accesso al meccanismo dei Certificati Bianchi a partire dal 4 aprile 2017, data di entrata in vigore del Decreto, approvando le nuove Linee Guida per la preparazione, esecuzione e valutazione dei progetti di efficienza energetica.

	2017	2018	2019	2020
Obiettivi di risparmio energia primaria [MTEP]	7,14	8,32	9,71	11,19

**Figura 2.5** Obiettivi di risparmio nel triennio 2017-2020

Al fine di ottemperare agli obiettivi quantitativi nazionali, il meccanismo prevede l'assegnazione di obblighi di risparmio di energia primaria in capo ai soggetti obbligati, definiti in milioni di Certificati Bianchi, da conseguire nel periodo 2017-2020

	2017	2018	2019	2020
Obbligo elettrico [MTEE]	2,39	2,49	2,77	3,17
Obbligo gas naturale [MTEE]	2,95	3,08	3,43	3,92
Obbligo totale annuo [MTEE]	5,34	5,57	6,2	7,09

**Figura 2.6** Certificati Bianchi da conseguire nel triennio 2017-2020

In sintesi, al fine di potenziare l'efficacia complessiva del meccanismo, il decreto (art.1 "Finalità e campo di applicazione"):

- a) Determina gli obiettivi quantitativi nazionali di risparmio energetico che devono essere conseguiti negli anni dal 2017 al 2020 attraverso il meccanismo dei Certificati Bianchi, in coerenza con gli obiettivi nazionali di efficienza energetica e in coordinamento con gli altri strumenti di sostegno e promozione dell'efficienza energetica;
- b) Determina gli obiettivi annui di incremento dell'efficienza energetica degli usi finali di energia a carico dei distributori di energia elettrica e gas nel periodo tra il 2017 e il 2020;
- c) Stabilisce, ai sensi dell'articolo 7, comma 5 del decreto legislativo n.102 del 2014, le nuove linee guida per la preparazione, l'esecuzione e la valutazione dei progetti di efficienza energetica e per la definizione dei criteri e delle modalità per il rilascio dei Certificati Bianchi;
- d) Definisce la metodologia di valutazione e certificazione dei risparmi conseguiti e le modalità di riconoscimento dei Certificati Bianchi;
- e) Individua i soggetti che possono essere ammessi al meccanismo dei Certificati Bianchi e le modalità di accesso allo stesso;

- f) Introduce misure per potenziare l'efficienza complessiva del meccanismo dei Certificati Bianchi, anche mediante forme di semplificazione amministrativa;
- g) Introduce misure volte a favorire l'adempimento degli obblighi previsti;
- h) Aggiorna le disposizioni in materia di controllo e verifica dell'esecuzione tecnica ed amministrativa dei progetti ammessi al meccanismo dei Certificati Bianchi ed il relativo regime sanzionatorio.

Successivamente, in considerazione dell'evoluzione del mercato dei titoli e della maturità del settore, è entrata in vigore il Decreto 10 maggio 2018, tramite cui:

- a) Si aggiornano i criteri di determinazione del contributo tariffario, tra cui l'introduzione, fino alle sessioni valide per l'adempimento degli obblighi per il 2020, di un valore massimo di riconoscimento del contributo tariffario ai soggetti obbligati, a parziale copertura dei costi sostenuti per l'assolvimento dell'obbligo, pari a 250€/TEE;
- b) Si aggiornano i criteri di definizione del consumo di baseline in caso di interventi di sostituzione;
- c) Si estende l'elenco degli interventi ammissibili con trenta nuovi tipi di interventi e si introduce un valore differenziato di vita utile a seconda che si tratti di una nuova installazione o di un intervento di sostituzione;
- d) È pubblicato l'elenco degli interventi incentivabili attraverso il metodo di valutazione per progetti standardizzati;
- e) Si stabilisce che il GSE potrà emettere Certificati Bianchi non derivanti dalla realizzazione di progetti di efficienza energetica, a favore e su specifica richiesta dei soggetti obbligati, al fine di garantire la necessaria copertura della domanda in considerazione della riduzione della capacità di generazione annua di Certificati Bianchi prevista;
- f) Sono aggiornati: i criteri di cumulabilità dei Certificati Bianchi con altre forme di incentivazione; i termini per la verifica periodica di obiettivi e obblighi, i termini per la compensazione dell'obbligo residuo; i criteri di copertura degli oneri per l'adempimento degli obblighi.

Successivamente, con il Decreto Direttoriale 30 aprile 2019 è stato aggiornato l'elenco dei progetti di efficienza energetica ammissibili ed è stata approvata la Guida Operativa volta a promuovere l'individuazione, la definizione e la presentazione di progetti nell'ambito del meccanismo dei Certificati Bianchi, prevista dal comma 1 dell'articolo 15 del Decreto 11 gennaio 2017. La Guida è suddivisa in tre distinte parti:

1. Chiarimenti operativi per la presentazione dei progetti
2. Guide Settoriali relative a specifici settori produttivi e tecnologie:
  - Processo produttivo della ceramica
  - Processo produttivo del vetro
  - Processo di lavorazione delle materie plastiche
  - Processo produttivo della carta
  - Tecnologie per la produzione di energia termica e frigorifera
  - Il servizio idrico integrato
3. Interventi di efficienza energetica non ammissibili. Elenco non esaustivo degli interventi di efficienza energetica che non rispettano i requisiti di cui all'articolo 6 del Decreto 11 gennaio 2017.

Inoltre, con il Decreto Direttoriale 9 maggio 2019 è stata approvata la Guida operativa per l'emissione dei Certificati Bianchi non derivanti da progetti di efficienza energetica con cui, tra l'altro, è stato chiarito che il Soggetto Obbligato per chiedere l'emissione di tali Certificati Bianchi debba avere la disponibilità sul proprio conto proprietà, a partire dalla data di richiesta al GSE e fino alla data di assolvimento dell'obbligo, di un ammontare di TEE (derivanti dalla realizzazione di progetti di efficienza energetica) pari almeno 30% dei Certificati necessari al conseguimento del proprio obbligo minimo pari al 60% dell'obbligo dell'anno "n". Infine, con la pubblicazione del Decreto Interministeriale del 1/07/2020 è stata aggiornata la lista dei progetti eleggibili al sistema dei Certificati Bianchi. Il provvedimento rientra nelle azioni di potenziamento della politica di promozione dell'efficienza energetica, prevista dal Piano nazionale integrato per l'energia e il clima, e precede l'emanazione del decreto ministeriale che fissa gli obiettivi per il sistema dei Certificati Bianchi per il 2021-2024.

Successivamente l'Autorità di regolazione per Energia Reti e Ambienti (ARERA), con la delibera 270/2020/R/efr del 14 luglio 2020, ha approvato la revisione del contributo tariffario da riconoscere ai distributori adempienti agli obblighi di risparmio energetico nell'ambito del meccanismo dei TEE. [25]

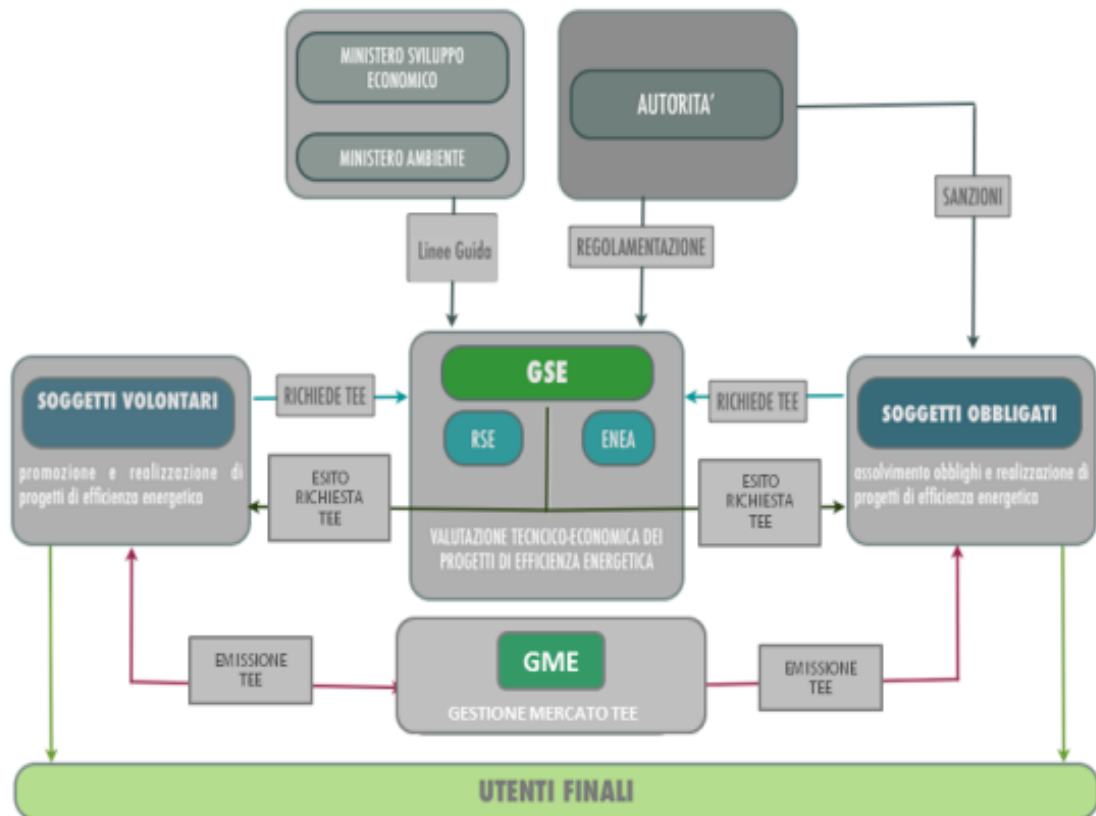
## **2.6.2 Ruoli e responsabilità nell'ambito del Decreto Certificati Bianchi**

Nel corso dell'evoluzione normativa sono state aggiornate le responsabilità per i soggetti coinvolti. In particolare, i principali ruoli nell'applicazione del meccanismo sono i seguenti:

- Il Ministero dello Sviluppo Economico, di concerto con il Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare e sentita l’Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente (ARERA, già AEEGSI) ha il compito di fissare gli obiettivi di risparmio annuo e di definire ed aggiornare il quadro normativo di riferimento, provvedendo alla definizione e aggiornamento delle Linee Guida;
- L’ARERA definisce le modalità operative per la regolamentazione del meccanismo, comunica ai Ministeri competenti e al GSE la quantità di energia elettrica e gas naturale distribuita sul territorio nazionale dai soggetti obbligati, le rispettive quote d’obbligo ed applica le sanzioni;
- Il GSE è responsabile dell’attività di gestione, valutazione e certificati dei risparmi correlati a progetti di efficienza energetica;
- ENEA e RSE svolgono l’attività di supporto tecnico al GSE per lo svolgimento della valutazione tecnico-economica dei risparmi dei progetti;
- Il GME è responsabile dell’organizzazione e della gestione del mercato dei Titoli di Efficienza Energetica.

[26]





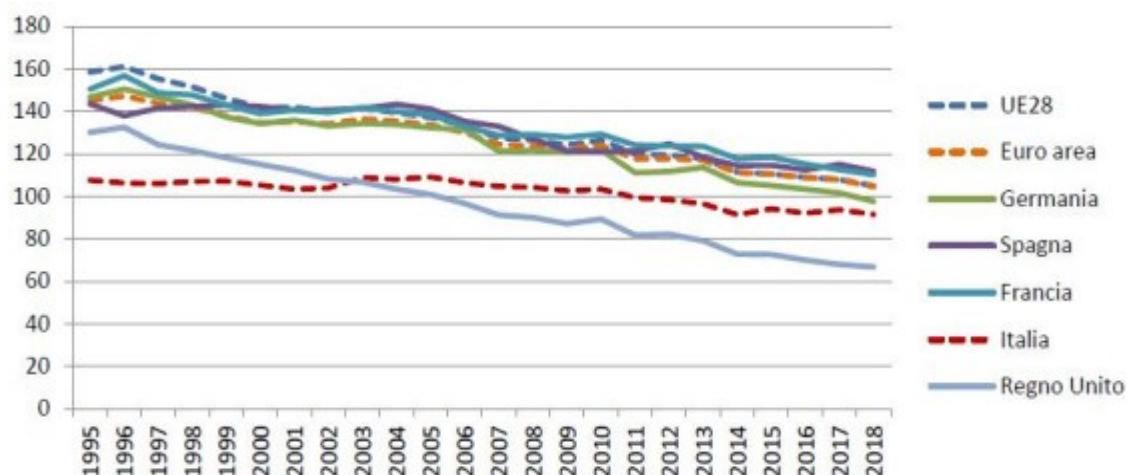
**Figura 2.7** Ruoli e responsabilità nell'ambito del Decreto Certificati Bianchi

## 2.7 Risparmio ed efficienza energetica

L'Italia presenta valori di intensità energetica primaria inferiori sia alla media dei paesi dell'Unione Europea che a quelli appartenenti all'area Euro. Si conferma dunque l'ottima performance del nostro paese, impegnato a raggiungere nuovi e più ambiziosi obiettivi al 2030, in linea con quanto previsto dalla normativa UE in materia di energia e clima.

Nel corso dell'attuale legislatura, il Decreto legislativo n. 73 del 14 luglio 2020 ha recepito nell'ordinamento interno la Direttiva UE 2018/2002 sull'efficienza energetica (Direttiva EED - Energy Efficiency Directive) e il Decreto legislativo n.48 del 10 giugno 2020 ha recepito la Direttiva (UE) 2018/844 sulla prestazione energetica nell'edilizia (Direttiva EPBD-Energy Performance of Buildings Directive). Le Direttive EED e EPBD fanno parte integrante della nuova governance europea dell'energia, che sancisce il principio dell' "energy efficiency first". Secondo questo principio, gli stati membri dovranno considerare, prima di adottare decisioni di pianificazione, politica e di investimento in ambito energetico, se esistono misure di efficienza energetica alternative solide dal punto di vista tecnico, economico, ambientale e dell'efficienza in

termini di costi che consentano comunque di conseguire gli obiettivi delle decisioni politiche. L'adozione di una nuova Direttiva sulla prestazione energetica degli edifici trova ragione nel fatto che, secondo i dati della Commissione europea, al parco immobiliare è riconducibile circa il 36 % di tutte le emissioni di CO<sub>2</sub> nell'UE. Quasi il 50% del consumo dell'energia finale dell'Unione è usato per riscaldamento e rinfrescamento, di cui l'80 % negli edifici. Il conseguimento degli obiettivi energetici e climatici europei è dunque fortemente legato al rinnovamento e all'adeguamento del parco immobiliare. In attuazione della governance UE dell'energia, l'Italia ha inviato alla Commissione il Piano nazionale integrato per l'energia e clima, PNIEC per gli anni 2021-2030. Il PNIEC, che comunque si basa sulle strategie e sui piani nazionali esistenti, quali appunto, per l'Italia, la strategia energetica nazionale adottata a novembre 2017, assorbe i precedenti documenti programmatori, fissando i target al 2030 in materia di efficienza energetica, fonti rinnovabili, e riduzione delle emissioni inquinanti. Al 2020, il consumo atteso in termini di energia primaria è di 158 Mtep e di energia finale è di 124 Mtep. Un importante indice di valutazione nel campo dell'efficienza è l'intensità energetica, ossia un rapporto tra due grandezze, Prodotto Interno lordo (PIL) e Consumo Interno Lordo di energia (CIL). Esso è un indicatore, seppur grezzo e aggregato, dell'efficienza energetica di una economia. Trattandosi di un rapporto, tanto più basso è il valore dell'intensità energetica tanto più aumenta l'efficienza energetica della economia interessata. Il valore dell'intensità energetica primaria del nostro Paese nel 2018 (ultimo anno di cui si hanno valori consolidati) è pari a 91,4 tep/M€, segnando una diminuzione del 2,4% rispetto al 2017, in linea con l'andamento decrescente osservato a partire 2006, dopo il picco registrato nel 2005. [27]



**Figura 2.8** Variazione dell'intensità energetica nei paesi UE

## 2.8 Titoli di Efficienza Energetica

### 2.8.1 Calcolo dei TEE

Per quantificare i titoli di efficienza energetica è di fondamentale importanza conoscere il livello medio di riferimento per quanto riguarda l'efficienza di una determinata tecnologia. Gli incentivi statali sono erogati sulla base dei risparmi che si ottengono a partire da questo valore e non considerando l'effettiva differenza di consumi pre e post intervento. Si tratta di uno dei principi previsti dalla 2012/27/UE, legata agli schemi di supporto per l'efficienza energetica, per promuovere un miglioramento dell'uso finale dell'energia andando oltre gli obiettivi minimi definiti a livello comunitario o di stato membro. Le schede tecniche si basano su una serie di parametri per effettuare il calcolo:

**Vita utile:** periodo in cui l'intervento di efficienza gode effettivamente dell'incentivo. È pari a 8 anni per interventi come l'isolamento termico degli edifici e il controllo della radiazione entrante attraverso le superfici vetrate durante i mesi estivi, mentre in tutti gli altri casi è di 5 anni.

**Vita tecnica:** è il numero di anni durante i quali si prevede che i dispositivi installati consentano di ottenere un risparmio energetico, tipicamente si considera pari a 10-15 anni. I TEE sono erogati per la vita utile, ma riconosciuti per l'intera vita tecnica.

**Risparmio lordo (RL):** differenza nei consumi di energia primaria prima e dopo la realizzazione di un progetto, determinata con riferimento ad un certo orizzonte temporale mediante una misurazione o una stima assicurando la normalizzazione delle condizioni esterne che influiscono sul consumo energetico, misurata in tonnellate equivalenti di petrolio.

**Risparmio netto (RN):** risparmio lordo a cui vengono sottratti dei risparmi energetici non addizionali, cioè quei risparmi che si stima si sarebbero comunque verificati, anche in assenza di un intervento o di un progetto, per effetto dell'evoluzione tecnologica, normativa e del mercato.

**Risparmio netto integrale (RNI):** il risparmio netto che si stima venga conseguito nell'arco della vita tecnica di un intervento e applicando il tasso di decadimento annuo. Esso comprende la somma di due componenti: il risparmio netto conseguito nel corso della vita utile, ossia il numero di anni per cui è possibile per ciascun progetto presentato ottenere i titoli di efficienza (risparmio netto contestuale, RNc), e il risparmio netto conseguito dalla fine della vita utile al termine della vita tecnica dell'intervento stesso (risparmio netto anticipato, RNa).

**Coefficiente di addizionalità (a):** è un parametro che può variare tra 0 e 1 che tiene conto dei componenti che, dopo l'intervento, hanno una quota di minor consumo rispetto a quelli "medi" disponibili sul mercato e che siano idonei a svolgere funzioni simili. L'addizionalità consente quindi di passare dal risparmio lordo al risparmio netto. È quindi fondamentale definire una situazione impiantistica base corrispondente a una situazione media di mercato, con i risparmi valutati solo in base ad essa ed un conseguente accredito dei TEE che tiene conto esclusivamente dell'incremento dell'efficienza dovuto a interventi di avanguardia che anticipino l'evoluzione tecnologica o normativa.

**Coefficiente di durabilità ( $\tau$ ):** è un coefficiente positivo, che dipende dalla vita utile, dalla vita tecnica e di un tasso di decadimento dei risparmi pari al 2% annuo. È pari al rapporto tra il valore del risparmio netto integrale e il valore del risparmio netto calcolato con riferimento alla vita utile dello stesso (cioè il risparmio netto contestuale).  $\tau$  ha quindi l'effetto di incrementare il risparmio assegnato all'intervento considerando per i TEE anche i risparmi oltre la vita utile e all'interno della vita tecnica, permettendo di passare dal risparmio netto contestuale al risparmio netto integrale. Questo coefficiente può assumere diversi valori seconda del tipo di intervento

<b>Categoria</b>		<b><math>\tau</math></b>
<b>IND-T</b>	Processi industriali: generazione o recupero di calore per raffreddamento, essiccazione, cottura, fusione, ecc.	3,36
<b>IND-GEN</b>	Processi industriali: generazione di energia elettrica da recuperi o da fonti rinnovabili o da cogenerazione	3,36
<b>IND-E</b>	Processi industriali: sistemi di azionamento efficienti (motori, inverter, ecc.), automazione e interventi di rifasamento	2,65
<b>IND-FF</b>	Processi industriali: interventi diversi dai precedenti, per l'ottimizzazione energetica dei processi produttivi e dei layout d'impianto finalizzati a conseguire una riduzione oggettiva e duratura dei fabbisogni di energia finale a parità di quantità e qualità della produzione	3,36
<b>CIV-T</b>	Settori residenziale, agricolo e terziario: generazione di calore/freddo per climatizzazione e produzione di acqua calda	2,65
<b>CIV-GEN</b>	Settori residenziale, agricolo e terziario: piccoli sistemi di generazione elettrica e cogenerazione	3,36
<b>CIV-FI</b>	Settori residenziale, agricolo e terziario: interventi sull'involucro edilizio finalizzati alla riduzione dei fabbisogni di illuminazione artificiale	4,58
<b>CIV-FI</b>	Settori residenziale, agricolo e terziario: interventi di edilizia passiva e interventi sull'involucro edilizio finalizzati alla riduzione dei fabbisogni di climatizzazione invernale ed estiva	2,91
<b>CIV-ICT</b>	Settori residenziale, agricolo e terziario: elettronica di consumo (sistemi di intrattenimento e attrezzature ICT di largo consumo ad alta efficienza)	1
<b>CIV-ELET</b>	Settori residenziale, agricolo e terziario: elettrodomestici per il lavaggio e la conservazione dei cibi	2,65
<b>CIV-FA</b>	Settori residenziale, agricolo e terziario: riduzione dei fabbisogni di acqua calda	1,87
<b>IPRIV-NEW</b>	Illuminazione privata: nuovi impianti efficienti o riprogettazione completa di impianti esistenti	2,65
<b>IPRIV-RET</b>	Illuminazione privata: applicazione di dispositivi per l'efficientamento di impianti esistenti (retrofit)	1,87
<b>TRASP</b>	Sistemi di trasporto: efficientamento energetico dei veicoli	1,87

**Figura 2.9** Valore di  $\tau$  a seconda della tipologia di intervento

Nel caso degli interventi di tipo standard, i TEE sono determinati in funzione del numero di unità fisiche di riferimento (UFR) oggetto dell'intervento. Non sono richieste misurazioni o rilievi, si tratta del tipo di valutazione più semplice: ogni scheda tecnica dispone di una tabella con il valore del risparmio specifico lordo annuo per singola UFR, valore che moltiplicato per le unità di riferimento e l'addizionalità fornisce il risparmio netto contestuale. Il prodotto tra risparmio netto contestuale e il coefficiente di durabilità  $\tau$  è pari al risparmio netto integrale, che corrisponde al numero di TEE riconosciuti per ogni anno della vita utile. In formule:

$$RL = RSL * n^{\circ}UFR \quad 2.1$$

$$RN = a * RL \quad 2.2$$

$$RNI = \tau * RN \quad 2.3$$

Per gli interventi di tipo analitico, il risparmio lordo è determinato da un algoritmo diverso per ogni scheda tecnica, e dipende da parametri relativi al consumo prima e dopo l'intervento. Per conseguire i TEE è necessario trasmettere i dati al GSE. Nel caso degli interventi a consuntivo non sono invece disponibili schede tecniche, in questo caso

il risparmio è calcolato sulla base di un algoritmo elaborato dal richiedente che deve essere approvato. Le diverse modalità di calcolo per i tre tipi di progetto si differenziano quindi per il calcolo del risparmio lordo, dal quale conoscendo l'addizionalità e il coefficiente di durabilità si può ottenere il RNI. Le schede tecniche sono circa quaranta, in numero variabile perché periodicamente ne vengono aggiunte di nuove oppure ne vengono revocate.

## 2.8.2 Ottenimento dei TEE

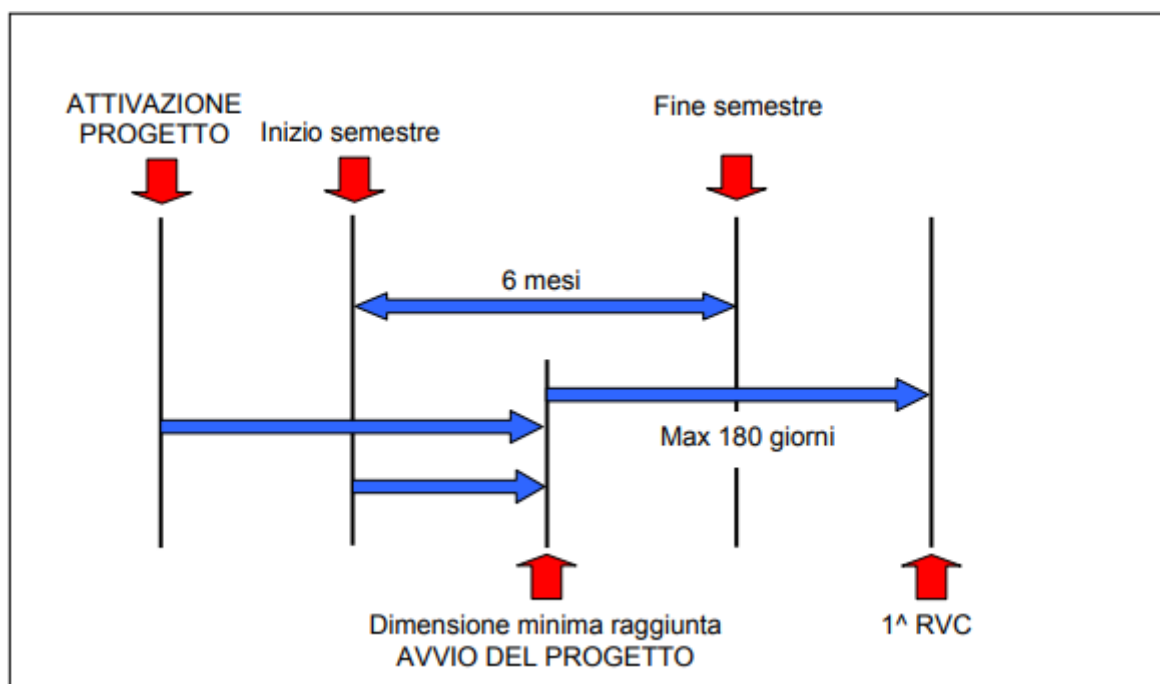
Prima di ottenere i TEE ci sono alcune fasi preliminari per la richiesta di questi titoli, dando particolare rilievo alle procedure per i soggetti volontari, visto che per i distributori obbligati il processo ovviamente non richiede accreditamenti. Per poter chiedere il riconoscimento dei titoli di efficienza, un soggetto volontario deve dunque seguire una serie di passi procedurali, che consistono ordinatamente nei punti di seguito riportati.

**Accreditamento presso l'AEEG:** per poter operare, un soggetto volontario deve per prima cosa accreditarsi presso l'AEEG. La procedura viene eseguita on line, riempiendo un apposito modulo (anagrafica) tramite il quale vengono fornite le seguenti informazioni: ragione sociale, indirizzo, codice fiscale, partita IVA, numeri di telefono e fax, sito internet, oltre agli estremi della persona di riferimento (nome, cognome e indirizzo di posta elettronica). In una seconda fase, il soggetto dovrà perfezionare l'accREDITamento fornendo ulteriori informazioni.

Per poter operare non è richiesta un'esperienza pregressa nel campo dell'offerta dei servizi energetici, o l'accREDITamento presso albi o altre certificazioni, ma è sufficiente che l'attività energetica sia prevista nello statuto dell'impresa. Le imprese con obbligo di nomina dell'energy manager (SEM) dovranno fornire, nella seconda fase dell'accREDITamento: i propri consumi energetici annuali; informazioni sulla comunicazione di effettiva nomina del proprio tecnico responsabile per la conservazione e l'uso razionale dell'energia; riferimenti alla categoria e sottocategoria della classificazione ATECO 2007 nella quale rientrano le attività svolte. Una volta accREDITati i soggetti acquisiscono il diritto di poter presentare progetti per ottenere titoli di efficienza.

Una volta concluso l'accREDITo un soggetto volontario può presentare progetti tramite accesso al sistema informatico dedicato dell'AEEG (Sistema telematico Efficienza Energetica”), che rappresenta il canale comunicativo obbligatorio per l'inoltro delle

proposte (che siano richieste di verifica e certificazione, o proposte di progetto e di programma di misura). Per una piena comprensione delle tempistiche va chiarito il significato di periodo di riferimento di una Richiesta di Verifica e Certificazione dei Risparmi (RVC) è: “il periodo nel corso del quale sono contabilizzati i risparmi energetici oggetto della richiesta stessa” (art. 1 “Definizioni” nella LG 09/11). I progetti possono riferirsi a schede già predisposte (progetti standardizzati o analitici) oppure ad interventi per i quali non sono previste schede (interventi a consuntivo). Tempi e modalità sono diversi nei due casi.

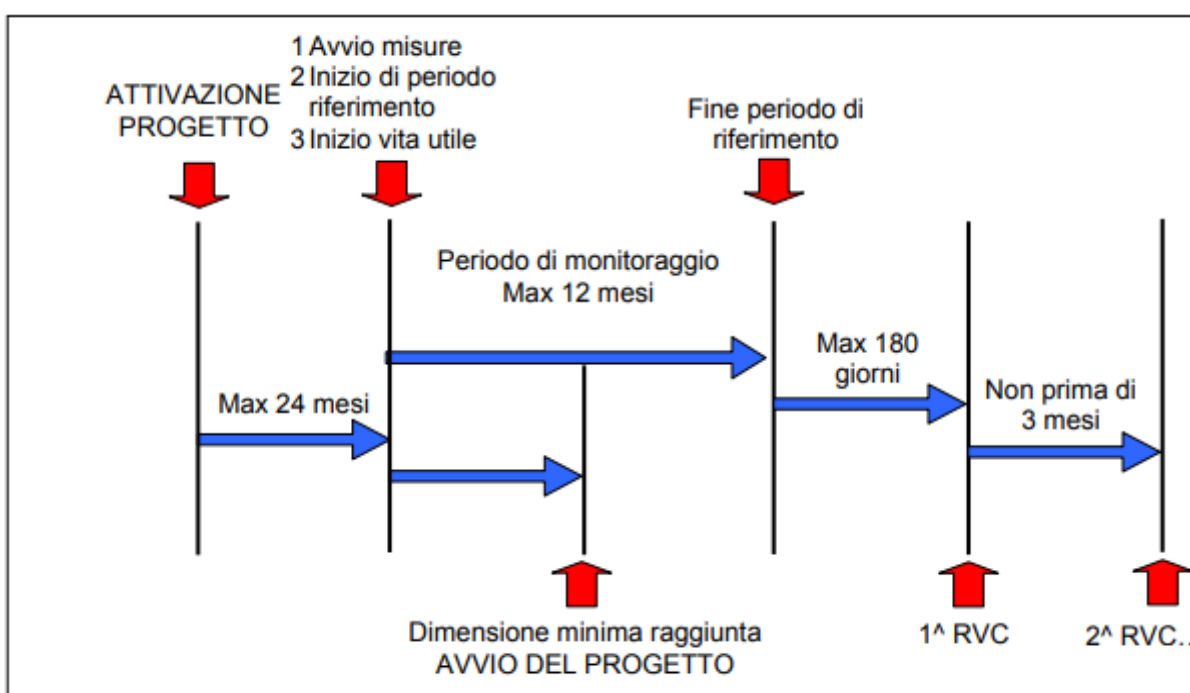


**Figura 2.10** Tempistica per la presentazione di schede standardizzate

Per una scheda tecnica standardizzata il richiedente deve presentare una RVC entro 180 giorni dalla data di avvio (data in cui viene raggiunta la dimensione minima) del progetto. Questo aspetto riveste caratteristiche di criticità, infatti se non risultassero coerenti la data di raggiungimento della soglia minima e la data di presentazione della domanda (magari se il richiedente dichiara che l'intervento ha raggiunto la soglia minima il 10 febbraio, mentre la proposta viene presentata il 10 ottobre) la proposta RVC non potrebbe essere accolta. Viene definito dagli organi competenti come periodo di riferimento “il semestre nel corso del quale la RVC è stata presentata”, ed è da tale periodo che viene calcolata la quota di risparmio netto integrale riconosciuto nell'ambito della RVC. La contabilizzazione avviene per un periodo pari alla vita utile a partire dallo stesso periodo la persistenza dei risparmi energetici generati dalle UFR nel corso della vita utile dell'intervento è automaticamente riconosciuta dopo la prima

RVC; la certificazione e la conseguente emissione dei TEE avviene in automatico ogni 3 mesi (a meno che l'esito di eventuali controlli non imponga una rivisitazione dei titoli accreditati).

Nel caso di schede analitiche, la prima RVC va presentata entro 180 giorni dalla fine del periodo di riferimento. Le successive RVC vanno presentate non prima di tre mesi dalla data di presentazione dell'ultima RVC. La persistenza dei risparmi energetici generati dall'intervento nel corso della sua vita utile non può essere automaticamente riconosciuta dopo la prima RVC; la verifica e certificazione avviene solo a seguito della presentazione della relativa RVC. La contabilizzazione fa riferimento al periodo di monitoraggio che non può essere superiore a 12 mesi.



**Figura 2.11** Tempistica per la presentazione di schede analitiche

In una RVC successiva alla prima è possibile rendicontare esclusivamente il funzionamento degli impianti dichiarati nella prima RVC, e non è possibile fare riferimento a nuovi impianti aggiuntivi.

Per negoziare i titoli di efficienza riconosciuti è necessario che il richiedente si iscriva al registro dei TEE gestito dal GME, occorre poi procedere alla compilazione di un modulo e seguire le istruzioni riportate nel sito del GME. Iscritti al registro, è a questo punto possibile procedere alla compravendita bilaterale dei TEE. Per poter partecipare alla compravendita di titoli nel mercato organizzato dal GME è necessario presentare un'ulteriore domanda, senza costi aggiuntivi, per ottenere la qualifica di operatori di



mercato e poter effettuare operazioni sulla piattaforma predisposta. Per ogni titolo contrattato, comprese le transazioni bilaterali, è previsto inoltre il pagamento di un corrispettivo pari a 0,2 € + IVA. Per poter procedere all'acquisto di titoli è necessario versare, entro le 12:00 del giorno precedente le sedute di contrattazione, una somma pari almeno a 30 € per ogni titolo che si intende reperire sul mercato. Nel caso di acquisto effettivo di titoli si hanno a disposizione due giorni per completare il pagamento a favore del venditore. Le sessioni sono attive un giorno alla settimana, dalle 9:00 alle 12:00. Nel corso delle stesse è possibile presentare offerte di acquisto e vendita sia con indicazione di prezzo, nel qual caso la transazione viene finalizzata solo in presenza di offerte in accordo con il prezzo indicato, sia a mercato, nel qual caso viene effettuata comunque una transazione corrispondente al miglior prezzo disponibile. Una volta 'monetizzati' i titoli, si pone il problema della ripartizione degli utili tra i soggetti partecipanti al progetto: distributore, SSE (se presente), utente finale. Al riguardo, non esistendo indicazioni nell'ambito della normativa pertinente i TEE, la ripartizione viene lasciata alle regole del mercato: le modalità di condivisione dei costi e dei ricavi derivanti dall'intervento, così come le effettive responsabilità in caso di prestazioni inferiori alle aspettative, vanno determinate contrattualmente fra le varie parti interessate.

Per la valutazione puntuale delle caratteristiche inerenti alle varie proposte, al fine di stabilire l'ammissibilità della proposta al riconoscimento di titoli di efficienza e l'ammontare ed il tipo di titoli cui la proposta ha diritto, l'AEEG ha messo a punto, e l'ENEA mette in atto, una procedura di valutazione molto articolata ed approfondita. La procedura di valutazione per le schede standard e analitiche è di fatto la medesima. Il documento principale che viene emesso dall'ENEA in quanto 'soggetto responsabile delle attività di verifica e di certificazione dei risparmi', è il rapporto di valutazione, il cui scopo è quello di formulare un giudizio sulla proposta ai fini della successiva concessione di titoli o meno. In particolare il valutatore si attiva nel finalizzare le seguenti attività elementari: comprensione della proposta nella sua intera finalità; verifica della coerenza ed esattezza dei dati forniti e verifica della completezza e idoneità della documentazione richiesta, maturare un giudizio sulla proposta, confrontandosi anche con altri membri del gruppo di lavoro; redazione di una relazione strutturata a campi di inserimento secondo una procedura informatizzata interna (Rapporto di valutazione); individuare, in funzione della significatività o peculiarità della proposta, l'opportunità di realizzare dei successivi controlli tecnico-

amministrativi. La procedura di valutazione per le schede a consuntivo è sostanzialmente analoga alla precedente appena illustrata, ma con l'importante variante della distinzione tra valutazione della PPPM e valutazione della prima RVC. Nella valutazione di una proposta a consuntivo l'istruttore si consulta spesso con altri componenti del Gruppo di Lavoro per verificare l'esattezza dei calcoli eseguiti dal proponente per la quantificazione dei risparmi. I casi più complessi vengono inoltre riportati al Gruppo di Lavoro, il quale, dopo una discussione collegiale del caso, esprime il giudizio definitivo sulla proposta. Anche nel caso della valutazione di PPPM e successive RVC deve essere compilato il Rapporto di valutazione, rapporto ovviamente molto più articolato di quello relativo alle schede standardizzate. [28]

Esito	Valutazione
Positivo	La proposta viene interamente accolta senza modifiche
Parzialmente positivo	La proposta è positiva, ma l'entità dei risparmi viene decurtata (per es. non viene riconosciuta la campagna informativa)
Negativo	La proposta è valutata negativamente, ma con opportune correzioni può essere ripresentata
Sospeso	In seguito a dubbio di ammissibilità degli interventi proposti l'AEEG chiede un pronunciamento ai ministeri competenti
Ritirata	La proposta viene ritirata unilateralmente dal proponente per sopraggiunte difficoltà formali (es. soglia limite non raggiungibile) o sostanziali (es. mancanza di fondi) nella realizzazione del progetto
Irricevibile	La proposta viene accantonata per irrimediabili vizi formali (es. per il non rispetto di vincoli temporali, per un'errata identificazione della metodologia di valutazione applicabile ecc...)
Richiesta integrazioni	La proposta non è giudicabile sulla base dei dati/informazioni forniti; ulteriori informazioni, chiarimenti, integrazioni sono richiesti formalmente al proponente

**Figura 2.12** Possibili esiti di un'istruttoria di proposta standardizzata o analitica

## 2.9 La cogenerazione ad alto rendimento

Per ottenere la qualifica di alto rendimento (CAR), le unità cogenerative devono soddisfare i requisiti imposti dal Decreto Ministeriale 20/2007 e dal successivo Decreto Ministeriale 04/08/2011. Il primo decreto stabilisce che non tutta l'energia elettrica prodotta va valorizzata, ma solo quella strettamente legata alla produzione di energia termica utile al processo secondo valori di rendimento globale imposti in funzione del tipo di impianto utilizzato. Definisce inoltre due parametri che individuano le prestazioni energetiche dell'impianto: l'indice PES ed il rendimento globale dell'impianto. L'Indice di Risparmio dell'Energia Primaria PES è definito come:

$$PES = \left[ 1 - \frac{1}{\frac{CHP H_{\eta}}{Ref H_{\eta}} + \frac{CHP E_{\eta}}{Ref E_{\eta}}} \right] \quad 2.4$$

dove:

- CHP  $H_{\eta}$  è il rendimento termico della produzione mediante cogenerazione, definito come la quantità annua di calore utile divisa per l'energia contenuta nell'intero combustibile di alimentazione, impiegato per produrre sia il calore utile che l'energia elettrica da cogenerazione;
- Ref  $H_{\eta}$  è il valore di rendimento di riferimento per la produzione separata di calore;
- CHP  $E_{\eta}$  è il rendimento elettrico della produzione mediante cogenerazione, definito come l'energia elettrica annua da cogenerazione divisa per l'energia contenuta nell'intero combustibile di alimentazione, impiegato per produrre sia il calore utile che l'energia elettrica da cogenerazione;
- Ref  $E_{\eta}$  è il valore di riferimento per la produzione separata di energia elettrica. Il rendimento globale è il rapporto tra la somma dell'energia termica e dell'energia elettrica o meccanica totale prodotta e l'energia del combustibile immesso nel sistema di produzione di energia:

$$\eta = \frac{E + H_{CHP}}{F} \quad 2.5$$

Dove:

- E è l'energia elettrica prodotta;
- H<sub>CHP</sub> è l'energia termica utile cogenerata ed effettivamente utilizzata nel processo;
- F è l'energia del combustibile. Per gli impianti di cogenerazione entrati in esercizio dal primo Gennaio 2001, la CAR viene riconosciuta se l'indice PES è uguale o superiore al 10% ed il rendimento globale raggiunge i valori minimi tabulati di seguito. Quando si ha un rendimento globale inferiore al valore riportato in questa tabella si assume che una parte dell'energia elettrica non sia prodotta in cogenerazione e pertanto si dovrà scorporare l'impianto reale in due impianti virtuali, uno cogenerativo e l'altro non cogenerativo.

Tipo unità	$\eta_{globale} \geq 0,75$	$\eta_{globale} \geq 0,80$
	Turbina a vapore a contropressione	Turbina a gas a ciclo combinato con recupero di calore
	Turbina a gas con recupero di calore	
	Motore a combustione interna	
	Microturbine	Turbina a condensazione con estrazione del vapore
	Motori Stirling	
	Pile a combustibile	

**Figura 2.13** Valori minimi del rendimento globale per impianti cogenerativi

L'energia elettrica e l'energia del combustibile dell'impianto cogenerativo saranno calcolate sulla base dell'energia termica utile prodotta in modo da soddisfare la figura 2.13. Si calcolerà quindi grazie a questi valori il PES; l'energia elettrica prodotta non in cogenerazione non godrà di alcun beneficio. [29]

## 2.10 Valutazione degli investimenti

I vari interventi per migliorare le tecnologie di raffreddamento dei data center e di conseguenza la loro efficienza energetica devono essere sempre preceduti da un'attenta analisi dei costi, che può essere svolta grazie a determinati indici. La valutazione degli investimenti può essere suddivisa in due grandi categorie: i metodi aritmetici ed i metodi finanziari o geometrici. I metodi aritmetici trascurano di valorizzare il tempo, nel senso che gli esborsi ed i ricavi vengono computati senza ulteriori elaborazioni se non eventualmente quella di depurare le somme spese o incassate dagli effetti inflazionistici. Il fatto che questi metodi trascurino di valorizzare il tempo nel calcolo non significa che chi li utilizza non attribuisce valore reale al tempo. Anzi si può ritenere che quasi sempre il decisore che fa riferimento ad essi come criterio di scelta attribuisce un tale valore al tempo che ricavi differiti di qualche anno vengono considerati trascurabili per le scelte da effettuare oggi e quindi si aspetta comunque di dover prendere in considerazione solo un intervallo di tempo circoscritto. I metodi aritmetici sono quindi applicabili o quando la vita utile di un progetto è breve (qualche anno) o quando per motivi di preferenza o incertezza futura e si vuole attribuire una netta predominanza ai risultati di breve periodo. I metodi aritmetici più usati sono quelli del tempo di recupero (PayBack) e del tasso medio di redditività (ROI). I metodi finanziari o geometrici attribuiscono invece un valore al tempo anche nel metodo di calcolo e quindi rendono omogenee le somme spese o incassate (o risparmiate) in base al momento in cui l'intervento si verifica. Appartengono a questa classe il metodo del valore attuale netto o VAN e quello del tasso interno di rendimento (o redditività) TIR.

Fondamentale è ricordare che il valore del denaro nel tempo è variabile e dipende dal tasso di interesse annuo. Il valore di una somma all'anno n rispetto all'anno 0 di partenza è:

$$FV_n = PV_0(1 + K)^n \quad 2.6$$

Dove  $FV_n$  è il valore della somma all'anno n,  $PV_0$  è il valore all'anno 0 e  $K$  è il tasso di interesse, che dipende dalle percentuali di copertura finanziaria dell'investimento iniziale mediante capitale proprio e di capitale di debito, dal costo del denaro e dal rischio dell'investimento stesso. Quindi una certa somma di denaro percepita in futuro, anche se prossimo o non troppo distante, ha un valore inferiore rispetto a quello presente, questo perché somme future risultano essere meno certe ed inoltre queste non possono essere investite oggi, perdendo potere d'acquisto a causa dell'inflazione. Questo principio sta alla base del concetto dei flussi di cassa scontati, DCF (Discounted Cash Flow), ossia flussi di cassa modificati per tenere conto del valore del tempo.

Grazie a questo indice DCF e al valore iniziale dell'investimento fatto è possibile calcolare il VAN (Valore Attuale Netto) che rappresenta il progressivo aumento o decremento della ricchezza generata da un progetto, attualizzandolo, ossia considerandolo come se fosse immediatamente disponibile. Ponendo un investimento iniziale  $I_0$  e una serie di flussi di cassa  $FV_1, FV_2, FV_n$ , è possibile calcolare il VAN come:

$$VAN = -I_0 + \frac{FV_1}{(1 + K)} + \frac{FV_2}{(1 + K)^2} + \dots + \frac{FV_n}{(1 + K)^n} \quad [€] \quad 2.7$$

Per confrontare differenti tipologie di investimenti è possibile utilizzare l'indice di profittabilità IP, calcolabile come rapporto tra VAN ed investimento.

$$IP = \frac{VAN}{I_0} \quad 2.8$$

Da tenere in considerazione è anche un altro parametro che valuta il valore del denaro nel tempo ed è il Tasso Interno di Rendimento o Internal Rate of Return (TIR o IRR). Questo rappresenta il tasso necessario a recuperare un determinato investimento in un numero di anni pari ad n. Se l'IRR è elevato significa che l'investimento è particolarmente profittevole, dato che porterebbe un recupero dell'investimento anche con un'alta svalutazione delle somme future rispetto al presente. L'IRR si può vedere come il tasso necessario per avere il VAN nullo.

$$IRR = -I_0 + \frac{FV_1}{(1+K)} + \frac{FV_2}{(1+K)^2} + \dots + \frac{FV_n}{(1+K)^n} = 0 \quad 2.9$$

Sono poi presenti altri indici che come visto in precedenza non considerano il tasso di attualizzazione e quindi il fattore tempo, tra questi ha notevole importanza il Payback (PB) che fornisce la misura del rischio per l'investitore senza però tenere conto delle disponibilità monetarie che si avranno dopo il ritorno dell'investimento. Questo ovviamente porta ad una visione solamente parziale dei benefici; nell'ipotesi di flussi di valore costanti FV anno per anno:

$$PB = \frac{I_0}{FV} \quad 2.10$$

# CAPITOLO 3

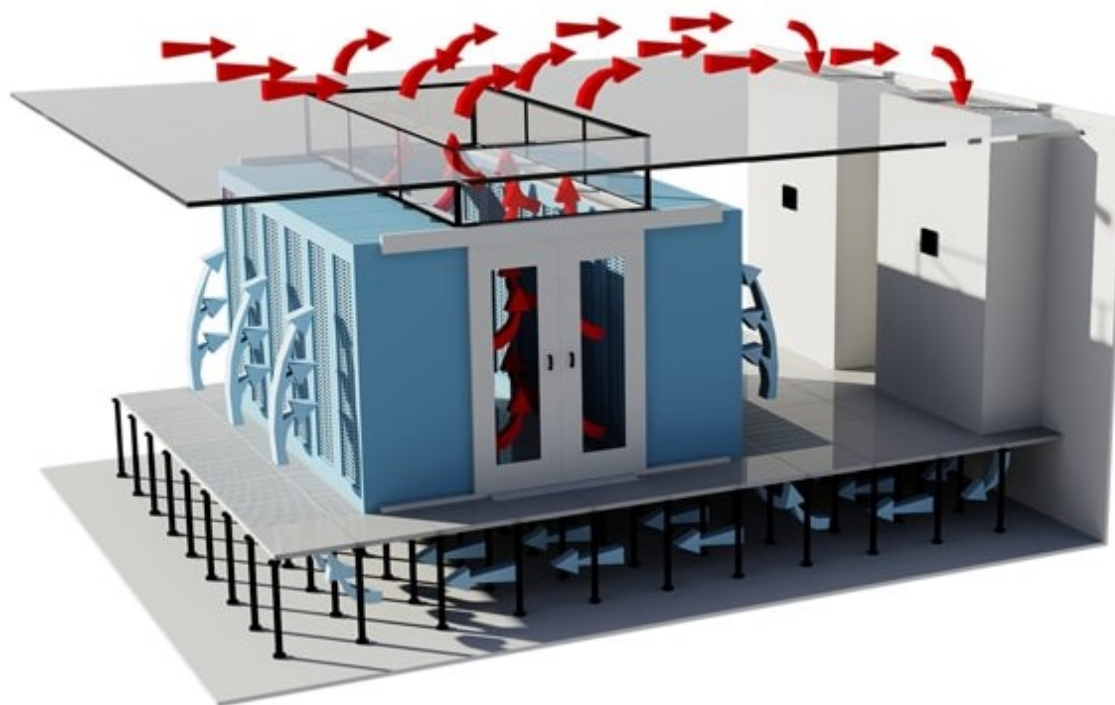
## 3 Il recupero diretto di calore nei data center

Il calore di scarto industriale è quell'energia generata nei processi che non viene utilizzata in alcun modo e viene dispersa, sprecata e scaricata nell'ambiente. Il recupero del calore può essere condotto attraverso varie tecnologie di recupero del calore di scarto per fornire preziose fonti di energia e ridurre il consumo energetico complessivo. Le discussioni in merito all'efficienza dei data center tendono a concentrarsi sulla quantità di energia che un impianto consuma per gestire i propri server e i relativi apparati di raffreddamento, piuttosto che sulla quantità di calore che questi siti di solito generano. Riutilizzare l'aria calda non è impossibile, l'aria fresca di rinnovo dopo essere entrata nei server viene riscaldata e rilasciata di nuovo a circa 35°C: ciò che si ottiene è un altissimo volume di aria tiepida, piuttosto che bollente, che si muove lentamente. Queste lente masse di aria calda non sono adatte a intraprendere lunghi viaggi, il che rende difficile la loro redistribuzione senza l'impiego di ingenti somme di denaro per l'acquisto di scambiatori di calore e attrezzature di recupero. Pompate grandi quantità di aria calda in appartamenti o uffici, per esempio, non è impossibile ma risulta senz'altro difficile e costoso, a meno che il data center non si trovi accanto o nelle immediate vicinanze del posto che si intende riscaldare. Infatti l'analisi del recupero andrà a considerare il riscaldamento di strutture interne al data center o che si trovano nelle immediate vicinanze della struttura.

Ci sono colocation provider che riutilizzano questo calore di scarto: l'aria calda generata dal data center viene riciclata e utilizzata per riscaldare uffici o strutture adiacenti.

L'aria riscaldando questi locali e portando la temperatura a livello di base riduce notevolmente i costi di riscaldamento complessivi del sito. Oltre al fattore risparmio non avrebbe alcun senso usare da un lato tonnellate di energia per il riscaldamento e, dall'altro, sprecare il calore di scarto. La posizione della struttura svolge quindi un ruolo importante nel consentire queste operazioni. Numerosi esperti del settore infatti rilevano alcuni fattori che rendono di particolare importanza il posizionamento delle strutture per il riutilizzo del calore in eccesso. La densità di energia di un data center può essere di 30-50 volte superiore a quella di uno spazio ufficio: per riscaldare dei locali con il calore di scarto di un data center, quindi, posso andare a riscaldare numerose stanze o altri ambienti comunque molto grandi. Ovviamente vista la grande quantità di calore a

disposizione questa tecnica è prevalentemente usata nei data center di piccole dimensioni, oppure in caso nelle vicinanze del centro vi sia un numero veramente notevole di edifici da riscaldare. In alternativa nei grandi data center il calore di scarto viene comunque utilizzato, magari non per il riscaldamento diretto nei mesi invernali ma per essere immesso nelle reti di teleriscaldamento, che soprattutto nel Nord Europa sono molto sviluppate. Nonostante alcune criticità e considerata l'attenzione a cui sono attualmente sottoposti i data center in merito all'impiego di pratiche sostenibili, numerosi esperti del settore sostengono che molto probabilmente chi adotterà una strategia di riutilizzo del calore guadagnerà parecchi punti agli occhi dei legislatori, aspetto che negli ultimi anni è sempre più rilevante in tutti i settori dell'industria. Il settore ad esempio, attualmente, produce emissioni superiori rispetto a quello del trasporto aereo, che è già ampiamente regolato da anni: dunque, è solo questione di tempo prima che lo stesso accada per l'industria dei data center.



**Figura 3.1** Esempio di gestione dei flussi con uscita dei flussi di aria calda dalla parte superiore dei rack



Dall'immagine si può notare come, dopo essere arrivata dai corridoi posti sotto il pavimento l'aria per raffreddare le apparecchiature, una volta riscaldata, viene convogliata dai vari rack verso l'uscita, sopra le apparecchiature informatiche. Quindi può essere gestita o dalle unità di raffreddamento o, come nel caso in esame, può essere mandata attraverso delle condotte di areazione nelle stanze da riscaldare, non prima ovviamente di essere stata adeguatamente trattata. A titolo di esempio si riportano alcuni dei modi in cui il calore generato da un data center può essere utilizzato:

- Il calore in eccesso generato dalle strutture di cogenerazione può essere deviato verso le case e le imprese vicine, creando una rete di teleriscaldamento. Pertanto, il calore di scarto viene convertito e utilizzato come fonte di energia.
- Il calore in eccesso può essere utilizzato per riscaldare le piscine vicine durante l'inverno. Questa può sembrare una soluzione logica, ma raramente viene utilizzata.
- I condotti che escono dai sistemi di scarico del calore possono essere diretti negli edifici vicini, fornendo loro calore quando prevalgono temperature più fredde. Il calore fornito può essere controllato tramite l'uso di deflettori pneumatici.
- Telecity, un data center a Parigi, utilizza il calore di scarto per fornire calore a un arboreto sui cambiamenti climatici in loco, dove vengono studiati gli effetti dei futuri cambiamenti climatici [30]

### **3.1 Lo sfruttamento del calore residuo**

Il calore di scarto può essere espulso a diverse temperature; convenzionalmente, maggiore è la temperatura, maggiore è la qualità del calore di scarto e più è facile l'ottimizzazione del processo di recupero del calore di scarto. È quindi importante scoprire la massima quantità di calore recuperabile con il massimo potenziale da un processo e garantire il raggiungimento della massima efficienza da un sistema di recupero del calore di scarto. A seconda del tipo e della fonte di calore di calore e per giustificare quale sistema di recupero del calore di scarto può essere utilizzato, è essenziale indagare la quantità e il grado di calore recuperabile dal processo.

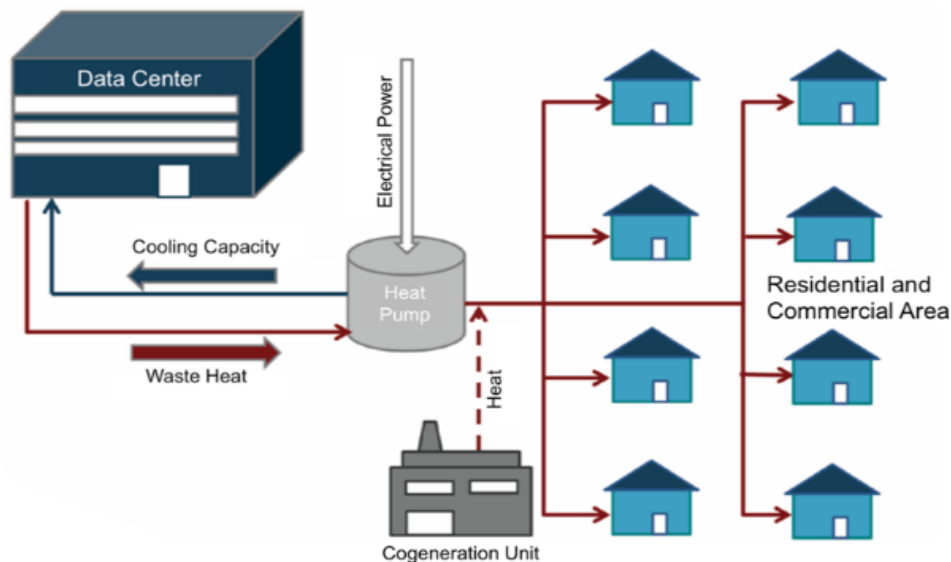


Figura 3.2 Schema di un tipico recupero diretto del calore dal Data Center

## 3.2 Recupero diretto del calore

### 3.2.1 Calcolo della potenza di progetto invernale di un edificio

Per valutare la quantità di calore che possiamo recuperare è necessario prima di tutto capire quale sia il fabbisogno termico della locazione che si andrà a riscaldare, per fare ciò si procede al calcolo della potenza di progetto invernale da normativa. Per calcolare la potenza necessaria in condizioni invernali si procede valutando le richieste della struttura considerata in base alle sue dimensioni.

Il calore totale richiesto per il riscaldamento dell'edificio è pari a:

$$P_{tot} = (H_t + H_v) * \Delta T \quad [W] \quad 3.1$$

Dove:

$\Delta T$  è la differenza di temperatura tra la temperatura esterna, di cui si hanno i dati ora per ora, e quella interna per garantire condizioni di confort termico abitativo, che viene ipotizzata pari a 20°C

$H_t$  è l'indice legato alle perdite di trasmissione legato ai parametri delle trasmittanze (W/K)

$H_v$  è l'indice legato alle perdite di ventilazione legato ai parametri delle trasmittanze (W/K)

Per quando riguarda il calcolo degli indici di scambio  $H_t$  e  $H_v$  essi sono strettamente legati alle trasmittanze termiche e alla superficie delle stanze dell'abitazione.

Si ha

$$Ht = Sop * Uop + Aw * Uw \quad 3.2$$

dove la superficie opaca  $Sop$  è dalla differenza tra la superficie totale della stanza ( $m^2$ ) e la superficie finestrata  $Aw$  ( $m^2$ ), che è ipotizzata pari ad  $1/6$  dell'area in pianta. Con  $Uop$  si considera la trasmittanza relativa alla superficie opaca ( $W/m^2K$ ) e con  $Uw$  quella relativa alle finestre ( $W/m^2K$ ).

Mentre

$$Hv = \frac{\rho * cp * V' * n}{3600} \quad 3.3$$

dove  $V'$  è pari al volume totale, misurato in  $m^3$ ,  $n$  è il tasso di ricambio orario dell'aria, misurato in  $h^{-1}$ ;  $\rho$  è pari alla densità dell'aria e  $cp$  è il calore specifico dell'aria.

Sia  $Hv$  che  $Ht$  sono calcolati in  $W/K$  e sommando le due componenti possiamo ottenere il valore di  $Htot$ , poi moltiplicando questo per la differenza di temperatura tra l'esterno e l'interno dell'abitazione ( $K$ ) si arriva al calcolo della potenza di progetto invernale della stanza considerata misurata in  $W$ .

## 3.3 Algoritmo di stima dei risparmi

### 3.3.1 Descrizione del recupero e ipotesi iniziali

Nell'implementazione dell'algoritmo per il recupero di calore si sono fatte alcune assunzioni al fine di riuscire ad ottenere un modello che possa dare un'indicazione di massima sull'energia risparmiata a partire dai dati di input, immessi dall'utente all'interno dei fogli Excel.

La prima semplificazione consiste nell'adottare una temperatura di uscita dal corridoio caldo del rack costante, di  $35^\circ C$ , a seconda dell'esperienza e dei dati tecnici a disposizione nell'industria dei data center, quindi una temperatura di ingresso costante all'interno dei condotti di aerazione. Nel funzionamento reale infatti questa temperatura può variare, anche se di pochi gradi al di sopra o al di sotto della soglia stabilita nel nostro caso, a seconda delle condizioni operative scelte dal costruttore o delle condizioni dell'aria in arrivo dai corridoi freddi verso le apparecchiature.

La seconda assunzione riguarda invece la superficie del locale riscaldato, le misure infatti sono quelle di una grande sala o ufficio, che si supponga essere nelle immediate vicinanze del data center, come ad esempio la sala di controllo del centro informatico, dove operano gli addetti specializzati al funzionamento del centro informatico, oppure anche di una sala riunioni, o magari una palestra confinante con la sala server.

Ovviamente a seconda della grandezza della stanza si possono variare i dati in input e vedere poi come si modificano i risultati finali.

Per garantire il riscaldamento nei locali considerati è necessario adeguare l'impianto di riscaldamento, così da permettere all'aria in uscita dai rack il raggiungimento delle stanze da riscaldare. Per sviluppare questa tecnologia abbiamo bisogno di:

- **condotti o canali di aerazione:** Le canalizzazioni aerauliche (o canali dell'aria) sono la parte degli impianti di ventilazione, climatizzazione e condizionamento che si occupano del trasporto e della distribuzione dell'aria in ambiente. Generalmente negli impianti di ventilazione sono destinati al trasporto dell'aria di rinnovo negli ambienti. Nel mercato industriale sono presenti molte tipologie di canali che variano principalmente a seconda della forma (rettangolari, tondi, ottagonali) e dei materiali con cui sono composti (ad esempio alluminio o lamiera zincata). I canali a lamiera zincata rettangolari sono tra i più utilizzati, si adattano a ogni spazio, anche quelli ridotti, e mantengono il passaggio dell'aria costante. Sono ideali soprattutto quando si tratta di installare i condotti d'aria nel controsoffitto.



**Figura 3.3** Condotte di aerazione

Tali condotte inoltre permettono di effettuare spostamenti in spazi ridotti, la lamiera in ferro zincato è un materiale ottimo anche per gli ambienti esterni, resistente agli agenti atmosferici e non permette la formazione di ruggine. Sono particolarmente diffusi anche i canali in lamiera zincata circolari che consentono un passaggio veloce di aria, inoltre il materiale facile da lavorare può prendere qualsiasi forma, anche quella circolare. Possono essere usati quando c'è da deviare il flusso d'aria in delle diramazioni. Adatti sia per gli interni che per gli esterni.

- **unità di trattamento dell'aria:** l'unità di trattamento dell'aria è un involucro che contiene tutti i sottosistemi che consentono all'aria di entrare nei luoghi di utilizzo in determinate condizioni. Per grandi impianti di climatizzazione si usa la definizione di centrale di trattamento aria, ovvero C.T.A. La funzionalità principale di queste centrali o unità è quello di prelevare l'aria trattandola a seconda delle necessità termo-igrometriche richieste. I parametri coinvolti nel trattamento dell'aria sono temperatura, umidità, velocità e purezza. Per ogni parametro esiste un componente della macchina che consente di controllarlo, regolarlo o modificarlo. Principalmente un'unità di trattamento dell'aria è composta dalle serrande di presa, molteplici "fogli" di metallo che possono ruotare, controllando la quantità di aria che entra; i filtri che consentono di catturare lo sporco e la polvere. Di solito si hanno alcuni pre-filtri per catturare la polvere più grande e poi dei filtri a sacco per catturare le particelle di polvere più piccole. Poi si hanno le batterie di raffreddamento o riscaldamento che servono ovviamente per raffreddare o riscaldare l'aria a seconda delle esigenze e solitamente si ha un fluido (acqua o acqua+glicole) che consente di trattare l'aria. La batteria di post-riscaldamento invece funziona sia d'estate che d'inverno e raccoglie l'aria con una forte umidità relativa, per portarla a valori accettabili è necessario operare un riscaldamento che possa aumentare la temperatura, mantenendo l'umidità assoluta costante. Per concludere i componenti principali si ha il ventilatore di mandata, nella maggior parte dei casi centrifugo, che consente di regolare la velocità dell'aria in ingresso (l'aria di immissione in ambiente non dovrebbe superare i 3 m/s).
- **terminali di impianto:** Negli impianti ad aria i terminali devono garantire una adeguata distribuzione del fluido in ambiente in modo da realizzare uniformità di temperatura e umidità, assenza di correnti d'aria, corretto ricambio d'aria in tutta la zona occupata evitando stagnazioni e cortocircuiti. I diversi terminali regolano la velocità e direzione di immissione dell'aria in ambiente. Le loro caratteristiche tecniche di base sono: lancio, ossia la distanza orizzontale a cui arriva il getto d'aria in ingresso; la caduta, e cioè la differenza di quota tra l'immissione e la zona in cui il getto arriva a velocità di 0,25 m/s e l'induzione, capacità del getto di indurre per trascinamento un movimento anche nell'aria ambiente. I dispositivi più semplici sono griglie realizzate in acciaio, alluminio o materiali plastici. Sono in grado di dosare e direzionare il getto d'aria in ambiente, la maggior parte possono essere dotate di serranda di regolazione della

portata. Sono i tipici dispositivi utilizzati nell'immissione e estrazione dell'aria a parete; in locali di elevata altezza si utilizza spesso l'immissione dal soffitto. I dispositivi che si utilizzano prendono il nome di anemostati e nella forma classica sono costituiti da una serie di dischi in lamiera concentrici in grado di direzionare l'aria in direzione tangenziale o rivolta verso il basso per una maggior penetrazione. Per una forte penetrazione del getto nell'ambiente si aumenta molto la velocità di immissione utilizzando veri e propri ugelli (ambienti con grandi altezze e dimensioni in pianta). Viceversa nel caso di immissione direttamente nella zona occupata è necessario limitare la velocità di immissione (0,15-0,25 m/s) in modo da evitare discomfort per correnti d'aria. Si utilizzano sistemi di immissione caratterizzati da una grande superficie in genere realizzati con lamiera forata detti diffusori.

Per avere a disposizione un algoritmo di utilizzo piuttosto rapido e con la possibilità di essere eventualmente integrato facilmente si sono sviluppati una serie di fogli di calcolo in ambiente Excel. In questi fogli sono eseguiti gli algoritmi ed i calcoli per l'analisi termo-economica, partendo dai dati in ingresso. Il file Excel si divide principalmente in tre sezioni:

- Un foglio di input per l'inserimento dei dati strutturali del locale che si intende riscaldare con l'aria in uscita dal data center. Questi dati comprendono ovviamente le misure della struttura con le relative superfici, mentre i parametri delle trasmittanze termiche seguono la norma UNI-TS 11300. I dati di input sono comunque di carattere facoltativo ed assunti sulla base dell'esperienza e delle caratteristiche tipiche di un edificio (si faccia riferimento alla costruzione nella prima decade degli anni 2000). Ovviamente il calcolo può essere riportato a dati più reali considerando un edificio esistente nei pressi di un data center, portando così ad una stima più dettagliata dei risultati.

L. 10/1991

Italian law      L. 373      D.Lgs. N.192      From 1/1/2021 nZEB

	1960	1970	1976	1991	2005	Today
Walls [W/(m <sup>2</sup> K)]	1,4	1,0	0,8	0,7	0,35	0,2
Windows [W/(m <sup>2</sup> K)]	5,7	2,8	2,4	2,4	2,2	1,7
Roof [W/(m <sup>2</sup> K)]	1,0	0,8	0,6	0,5	0,33	0,2
Floor [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,8	0,8	0,7	0,6	0,33	0,2
Specific Energy [kWh/(m <sup>2</sup> ·year)]	230	200	170	120	60	15

**Figura 3.4** Valori delle trasmittanze degli edifici da norma

Si vanno di seguito a riportare i dati strutturali dell'edificio preso in considerazione.

Lunghezza(m)	30	cp	J/kgK	1007			
Altezza(m)	4	n	1/h	1			
Larghezza(m)	10						
Af(m <sup>2</sup> )	300						
Volume(m <sup>3</sup> )	1200						
S1(m <sup>2</sup> )	120						
S2(m <sup>2</sup> )	40						
Stot(m <sup>2</sup> )	160						
Stot/V	0,133						
V'(m <sup>3</sup> /h)	1200						
	S	U	Ht	Hv	PT	PV	Ptot (kWh)
	m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup> k	W/k	W/k	W	W	W
Sup.opaca	110	0,35	38,5				
Finestre	50	2,2	110				
Totale	160	////////	148,5	402,8	0	0	0

**Figura 3.5** Dati strutturali dell'edificio

- Un secondo foglio dove è possibile valutare i consumi pre e post intervento in ogni mese del periodo invernale che mostri come il recupero dell'aria calda sia in grado di ridurre il fabbisogno termico a seconda del calore messo a disposizione dal centro informatico e quindi dell'aria calda emessa dai rack.
- Una sezione di output dove è possibile valutare il risparmio energetico ed economico con l'analisi della spesa e dell'emissione inquinante che si avrebbe se i locali dovessero essere riscaldati con altre tecnologie e quindi combustibili.

Ovviamente per questa sezione si possono avere risparmi anche molto differenziati riconducibili alla diversità di soluzioni e tecnologie utilizzate, nonché del costo dei combustibili utilizzati, che può variare nel tempo.

### 3.3.2 Calcolo del fabbisogno pre-intervento

I dati climatici fanno riferimento alle temperature ora per ora della città di Milano nell'anno 2020, per la precisione della stazione meteo di Via Brera, nel periodo in cui si considerano funzionanti gli impianti di riscaldamento secondo la normativa vigente, ossia seconda metà di ottobre, mesi di novembre, dicembre, gennaio, febbraio, marzo e prima metà di aprile; tra le 8 e le 18, considerando l'orario di apertura lavorativo del centro di controllo del data center stesso. La stazione meteo grazie ai dati dell'Arpa Lombardia fornisce le temperature della stazione ora per ora, nei 365 giorni dell'anno.

[31]

TEMPERATURE	GIORNO															
ORA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
8	6,7	1,3	1,5	2,1	3,3	3,1	3,5	4,6	5,7	6,8	3	5	1,6	2,6	5,7	
9	6,8	1,3	1,6	2,5	3	3,4	3,2	4,6	5,7	7	3,7	5,1	1,5	2,9	5,3	
10	6,3	1,1	1,8	2,7	3,1	3,9	3,4	4,8	5,5	7,2	4,4	5,5	3,3	3,9	5,7	
11	6,2	1,1	2,9	2,9	2,9	4,2	3,9	5,4	5,6	7,4	4,2	5,6	4,8	6	6,5	
12	5,7	0,9	3,7	3,4	3,1	4	5	5,4	5,6	7,9	5,2	6,2	5,6	6,6	6,3	
13	5,1	1,3	3,4	4	3,2	3,9	4,5	5,8	5,8	8,5	5,7	6,7	6,5	7,8	6,5	
14	4,9	1,2	3,9	4,7	3,8	4	5,1	5,8	6,2	8,7	6	6,8	7,6	8,9	7,2	
15	5	1	4,1	5,2	3,7	3,9	5,4	6,1	6,4	8,3	6,2	6,8	8,3	8,9	7,3	
16	4,6	1,1	3,4	4,5	3,4	4	5,8	6,3	6,5	7,9	5,6	6,8	8,1	9,1	7,1	
17	4,8	1,5	3,2	3,1	3,5	4,3	5,7	6,3	6,6	7,1	5,6	6,6	6,7	7,7	7,1	
18	4,7	1,9	3	2,9	3,5	4	5,9	6,1	6,3	6,8	5,3	6,3	6,1	6,4	7	

16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
6,8	7,5	8,3	7,5	7,2	7,9	6,8	9,1	8,3	8,5	3,1	1,9	0,2	2,1	2	2	
6,1	7,6	7,6	7,8	7,1	8	6,7	9	8,3	8,3	3,6	2,4	0,1	1,9	2,2	2,2	
6,7	7,8	7,4	8,1	7	8,3	7,1	9,2	8,2	8,4	4,8	2,7	0,2	0,5	2,7	2,7	
6,8	8,8	7,7	8,7	7	8,7	7,7	9,3	8,5	8,7	6,7	3,3	0,4	0,6	3,2	3,2	
7,4	8,6	8,2	8,9	7,1	9	8,4	9,5	8,7	7	7,4	3,8	0,7	1,5	3,7	3,7	
8,1	8,6	8,9	9,6	7,4	9,1	9,4	9,9	8,8	6,1	7,5	4,5	1	1,7	3,9	3,9	
8,7	9	8,5	9,9	7,6	8,7	9,9	9,7	8,8	6,1	8,7	4,7	0,9	1,6	5,3	5,3	
8,7	9,5	7,7	10,1	7,9	8,7	10,4	9,8	8,9	5,4	9	4,1	0,8	1,6	5,2	5,2	
8,5	9,3	7,2	9,6	8,1	8,6	10,7	9,5	9,3	4,8	8,6	2,8	0,9	1,5	4,9	4,9	
8,5	8,9	6,9	9,1	8,1	8,5	9,6	9,5	9,2	5	7,8	1,9	0,9	1,9	4,3	4,3	
8,2	8,6	6,8	8,9	7,9	8,6	9,2	9,5	9,3	5,3	6,8	1	0,7	2,2	3,6	3,6	

**Figura 3.6** Temperature a Milano nel mese di gennaio 2020

La temperatura consente di valutare, ipotizzando un ricambio d'aria orario ed una temperatura di confort interno di 20°C, la quantità di calore necessario per scaldare l'edificio considerato per ogni ora del giorno e di conseguenza per tutta la stagione invernale.



$\Delta T$	GIORNO															
ORA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
8	13,3	18,7	18,5	17,9	16,7	16,9	16,5	15,4	14,3	13,2	17	15	18,4	17,4	14,3	
9	13,2	18,7	18,4	17,5	17	16,6	16,8	15,4	14,3	13	16,3	14,9	18,5	17,1	14,7	
10	13,7	18,9	18,2	17,3	16,9	16,1	16,6	15,2	14,5	12,8	15,6	14,5	16,7	16,1	14,3	
11	13,8	18,9	17,1	17,1	17,1	15,8	16,1	14,6	14,4	12,6	15,8	14,4	15,2	14	13,5	
12	14,3	19,1	16,3	16,6	16,9	16	15	14,6	14,4	12,1	14,8	13,8	14,4	13,4	13,7	
13	14,9	18,7	16,6	16	16,8	16,1	15,5	14,2	14,2	11,5	14,3	13,3	13,5	12,2	13,5	
14	15,1	18,8	16,1	15,3	16,2	16	14,9	14,2	13,8	11,3	14	13,2	12,4	11,1	12,8	
15	15	19	15,9	14,8	16,3	16,1	14,6	13,9	13,6	11,7	13,8	13,2	11,7	11,1	12,7	
16	15,4	18,9	16,6	15,5	16,6	16	14,2	13,7	13,5	12,1	14,4	13,2	11,9	10,9	12,9	
17	15,2	18,5	16,8	16,9	16,5	15,7	14,3	13,7	13,4	12,9	14,4	13,4	13,3	12,3	12,9	
18	15,3	18,1	17	17,1	16,5	16	14,1	13,9	13,7	13,2	14,7	13,7	13,9	13,6	13	

16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
13,2	12,5	11,7	12,5	12,8	12,1	13,2	10,9	11,7	11,5	16,9	18,1	19,8	17,9	18	18
13,9	12,4	12,4	12,2	12,9	12	13,3	11	11,7	11,7	16,4	17,6	19,9	18,1	17,8	17,8
13,3	12,2	12,6	11,9	13	11,7	12,9	10,8	11,8	11,6	15,2	17,3	19,8	19,5	17,3	17,3
13,2	11,2	12,3	11,3	13	11,3	12,3	10,7	11,5	11,3	13,3	16,7	19,6	19,4	16,8	16,8
12,6	11,4	11,8	11,1	12,9	11	11,6	10,5	11,3	13	12,6	16,2	19,3	18,5	16,3	16,3
11,9	11,4	11,1	10,4	12,6	10,9	10,6	10,1	11,2	13,9	12,5	15,5	19	18,3	16,1	16,1
11,3	11	11,5	10,1	12,4	11,3	10,1	10,3	11,2	13,9	11,3	15,3	19,1	18,4	14,7	14,7
11,3	10,5	12,3	9,9	12,1	11,3	9,6	10,2	11,1	14,6	11	15,9	19,2	18,4	14,8	14,8
11,5	10,7	12,8	10,4	11,9	11,4	9,3	10,5	10,7	15,2	11,4	17,2	19,1	18,5	15,1	15,1
11,5	11,1	13,1	10,9	11,9	11,5	10,4	10,5	10,8	15	12,2	18,1	19,1	18,1	15,7	15,7
11,8	11,4	13,2	11,1	12,1	11,4	10,8	10,5	10,7	14,7	13,2	19	19,3	17,8	16,4	16,4

**Figura 3.7**  $\Delta T$  rispetto ai 20°C nel mese di gennaio

Il calore totale richiesto dall'edificio come visto dipende dalla differenza di temperatura tra l'interno e l'esterno ed è dato dall'equazione 3.1 vista in precedenza.

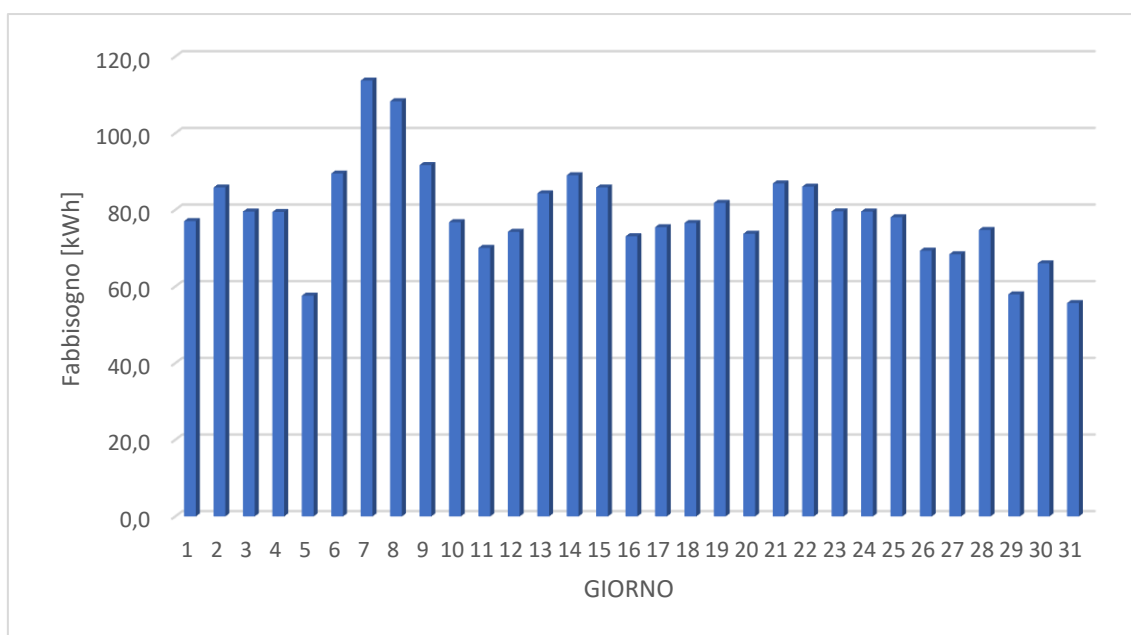
Il calore necessario diminuisce con l'aumento della temperatura esterna. Grazie ai valori medi di ogni ora dell'aria esterna e calcolando la differenza rispetto a 20°C posso avere il fabbisogno di calore dell'edificio giorno per giorno ed ora per ora.

consumo pre(Wh)	GIORNO														
ORA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10					
8	8765,7	8986,2	8875,9	9482,4	7993,9	8655,4	11356,8	11246,5	11301,7	7166,9					
9	9041,3	9482,4	8655,4	9537,5	7607,9	8434,9	11411,9	11356,8	10860,6	7222,0					
10	9041,3	9427,2	8214,4	9096,5	6725,9	8104,1	11246,5	11467,0	10199,1	7277,2					
11	7883,6	8710,5	7552,8	8324,6	5623,3	7883,6	10474,7	11191,4	9647,8	7277,2					
12	7222,0	7993,9	6891,3	7663,1	5072,0	7663,1	9647,8	10585,0	8875,9	7166,9					
13	6395,1	7387,4	6505,3	6946,4	4520,7	7552,8	9647,8	8875,9	7718,2	7222,0					
14	5733,5	6836,1	6229,7	6064,3	3418,1	8049,0	10088,8	8269,5	6725,9	6891,3					
15	5347,6	6670,7	6450,2	5292,5	3473,2	8269,5	9702,9	8104,1	6174,6	6836,1					
16	5347,6	6340,0	6615,6	5347,6	3693,7	7828,5	9592,6	8379,8	5623,3	6560,5					
17	5898,9	6670,7	6670,7	5678,4	4355,3	8269,5	10199,1	9206,7	6395,1	6340,0					
18	6395,1	7332,3	6891,3	6009,2	5127,1	8765,7	10364,4	9647,8	8159,2	6836,1					

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
8875,9	8434,9	9261,8	8986,2	7993,9	8379,8	9372,1	7718,2	8545,2	8269,5
8655,4	8269,5	8986,2	8765,7	7938,7	8104,1	9427,2	7773,3	8600,3	8159,2
8710,5	7663,1	8490,0	8490,0	8104,1	7222,0	9041,3	7773,3	8490,0	7663,1
7166,9	6781,0	7993,9	8049,0	7883,6	6615,6	7993,9	7552,8	7497,7	6891,3
6174,6	6670,7	7222,0	8049,0	7993,9	6670,7	6836,1	7166,9	7001,5	6340,0
5623,3	6395,1	6946,4	7883,6	7828,5	6229,7	5843,8	6946,4	6670,7	6229,7
5182,2	5843,8	6836,1	7607,9	7663,1	5788,7	5347,6	6174,6	6836,1	5843,8
4686,1	5788,7	6725,9	7497,7	7718,2	5623,3	5568,1	6119,4	6615,6	5898,9
4410,4	5623,3	6891,3	7828,5	7663,1	5678,4	4906,6	6229,7	6725,9	5788,7
4796,3	6119,4	7222,0	7883,6	7497,7	6064,3	5292,5	6395,1	7222,0	6009,2
5788,7	6670,7	7718,2	7993,9	7552,8	6725,9	5843,8	6725,9	7607,9	6670,7
70070,2	74260,1	84293,8	89035,0	85837,4	73102,4	75473,0	76575,6	81812,9	73763,9

21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
9261,8	9978,5	9427,2	9041,3	7607,9	7938,7	8434,9	7166,9	8159,2	7552,8	7663,1
8875,9	9813,1	9041,3	8875,9	7607,9	7883,6	8104,1	7056,6	8324,6	7552,8	7607,9
8214,4	9813,1	8434,9	8490,0	7718,2	7497,7	7497,7	7056,6	7607,9	6781,0	6670,7
7938,7	8490,0	8049,0	7993,9	7828,5	6836,1	6725,9	7001,5	6174,6	6284,8	5788,7
7442,6	7718,2	7552,8	7222,0	7442,6	6229,7	6119,4	6946,4	5568,1	6174,6	4851,4
7277,2	7497,7	6891,3	6725,9	7111,8	5623,3	5788,7	7001,5	4630,9	5678,4	4355,3
7111,8	7001,5	6505,3	5954,0	6725,9	5237,4	5072,0	6891,3	3969,4	5237,4	4189,9
7442,6	6450,2	5843,8	5788,7	6560,5	5072,0	4410,4	6725,9	3252,7	4741,2	3473,2
7552,8	6064,3	5457,9	6009,2	6450,2	5347,6	5237,4	6395,1	2866,8	4906,6	3087,3
7828,5	6340,0	5788,7	6505,3	6450,2	5568,1	5402,7	5954,0	3307,8	5347,6	3307,8
7938,7	6891,3	6615,6	6946,4	6560,5	6119,4	5623,3	6560,5	4079,6	5788,7	4686,1
86884,9	86057,9	79607,7	79552,6	78064,1	69353,5	68416,3	74756,3	57941,6	66045,7	55681,3

**Figura 3.8** Valutazione dei consumi nel mese di gennaio



**Figura 3.9** Grafico dell'andamento della potenza termica richiesta nel mese di gennaio

Così può valutare giorno per giorno la potenza necessaria per il riscaldamento dell'edificio nel mese di gennaio. Ovviamente la procedura è stata ripetuta per tutti i giorni in cui da normativa il riscaldamento risulta essere attivo calcolando poi alla fine il carico totale della stagione invernale. Grazie alla valutazione nei singoli giorni si può valutare il consumo totale per ogni mese e quindi dell'intero stagione invernale, secondo le date della norma.

MESE	OTTOBRE	NOVEMBRE	DICEMBRE	GENNAIO	FEBBRAIO	MARZO	APRILE	TOTALE
FABBISOGNO PRE intervento(kWh)	611,2	1588,1	2694,1	2446,1	1522,3	1611	301,4	10774,2

**Figura 3.10** Fabbisogno mensile e totale in riscaldamento

### 3.3.3 Valutazione del calore fornito dai rack

Per valutare l'effettiva efficacia ed il risparmio energetico della tecnologia è doveroso capire, a seconda del rack considerato, la quantità di aria calda disponibile in uscita dai rack nei data center.

Per avere indicazione di questo valore è necessario considerare un valore di riferimento del calore generato da ogni rack. Per avere questo dato si è svolta l'analisi di una serie di 7 casi reali di data center industriali funzionanti in Italia ed all'estero contenuti nel documento "Casi di studio di buona pratica di data center e sale server efficienti" [32] Questo valore di densità sarà poi utilizzato come riferimento anche per le altre tecnologie adottate, di seguito vado a riportare la tabella con i casi analizzati.

	CARICO IT(kW)	n° RACK	CARICO PER RACK (kW/rack)	LUOGO	APPLICAZIONE
1	540	90	6,00	Francoforte (GER)	Società servizi finanziari
2	60	8	7,50	Francia	Laboratorio di fisica
3	66,3	132	0,50	Coimbra(POR)	Università
4	1150	300	3,83	Repubblica Ceca	/
5	417	34	12,26	Francoforte (GER)	Industria
6	80	43	1,86	Italia	Industria, Esselunga
7	300	26	11,54	Spagna	/
8	900	62	14,52	Dresda(GER)	Università
VALORE MEDIO	9,28				

**Figura 3.11** Calcolo densità di potenza media nei rack

Il risultato del calcolo riporta, per i data center considerati, un valore medio di 9,3kW/rack, per facilità di calcolo si è preso in considerazione il valore di 10kW/rack, che visto il calcolo precedente può essere considerato realistico.

La densità di energia media fornita dai rack è stata valutata come:

$$Densità\ di\ energia = \frac{carico_{IT}}{n^{\circ}\ rack} \left[ \frac{kW}{rack} \right] \quad 3.4$$

Per lo svolgimento delle valutazioni del consumo post intervento si vada a considerare, avendo una potenza termica generata da ogni singolo rack del server di 10kW che l'energia termica che genera il rack ogni giorno è definita dalla seguente equazione:

$$Energia_{termica} = Pot_{termica} * t [Wh] \quad 3.5$$

Dove l'energia termica è quella che il rack mette a disposizione, Pot<sub>termica</sub> è la potenza termica generata dal rack, pari alla densità di potenza, di un singolo rack, misurata in W e t è il numero di ore in cui il server risulta funzionante, misurata in ore.

Essendo il server sempre acceso, vado a considerare che ad ogni ora si ha la produzione di 10kWh, ma a titolo cautelativo si consideri che durante lo spostamento della massa di aria calda si abbia, a causa delle varie perdite di calore generate nel percorso attraverso i condotti di aerazione, una riduzione dell'energia termica del 25%. Di conseguenza si ha:

$$Energia\ fornita\ dal\ rack = Energia_{termica} * 0,75 [Wh] \quad 3.6$$

Ogni ora l'energia termica resa disponibile dal rack per l'edificio considerato è di 7,5 kWh

### 3.4 Valutazione dei consumi post intervento

Per la valutazione dei consumi post intervento si considera, come dimostrato, di avere a disposizione per il riscaldamento dell'edificio 7500 Wh andando poi a valutare se questi coprono interamente o meno il fabbisogno totale dell'edificio. In caso il calore fornito superi quello del fabbisogno il calore in eccesso viene espulso all'esterno, e quindi non valutato come ulteriore risparmio. Di conseguenza ad ogni ora riesco si va a valutare il consumo post intervento come

$$consumo\ post = fabbisogno - Energia\ fornita\ dal\ rack [Wh] \quad 3.7$$

Dove il consumo pre è pari al fabbisogno orario dell'edificio mostrato in precedenza e la potenza fornita dal rack è costante e pari a 7500Wh.

In questo modo è possibile valutare, ora per ora, in che misura il calore estratto dal data center può ridurre il carico termico richiesto. Di seguito si va a riportare l'analisi dei consumi pre e post intervento nel mese di gennaio, ovviamente negli altri mesi è stato utilizzato lo stesso procedimento. Dove il consumo post è pari a 0 il calore fornito dal rack copre interamente il fabbisogno richiesto nell'ora considerata.

Consumo post(Wh)	GIORNO														
ORA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
8	1265,67	1486,19	1375,93	1982,36	493,85	1155,41	3856,78	3746,52	3801,65	0,00	1375,93	934,89	1761,84	1486,19	493,85
9	1541,32	1982,36	1155,41	2037,49	107,94	934,89	3911,91	3856,78	3360,61	0,00	1155,41	769,50	1486,19	1265,67	438,72
10	1541,32	1927,23	714,37	1596,45	0,00	604,11	3746,52	3967,04	2699,05	0,00	1210,54	163,07	990,02	990,02	604,11
11	383,59	1210,54	52,81	824,63	0,00	383,59	2974,70	3691,39	2147,75	0,00	0,00	0,00	493,85	548,98	383,59
12	0,00	493,85	0,00	163,07	0,00	163,07	2147,75	3084,96	1375,93	0,00	0,00	0,00	0,00	548,98	493,85
13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	52,81	2147,75	1375,93	218,20	0,00	0,00	0,00	0,00	383,59	328,46
14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	548,98	2588,79	769,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	107,94	163,07
15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	769,50	2202,88	604,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	218,20
16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	328,46	2092,62	879,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	328,46	163,07
17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	769,50	2699,05	1706,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	383,59	0,00
18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1265,67	2864,44	2147,75	659,24	0,00	0,00	0,00	218,20	493,85	52,81
TOTALE CONSUMO GIORNALIERO(kWh)	4,73	7,10	3,30	6,60	0,60	6,98	31,23	25,83	14,26	0,00	3,74	1,87	4,95	6,54	3,34
TOTALE CONSUMO MENSILE(kWh)	161,97														
RISPARMIO GIORNALIERO (kWh)	72,34	78,74	76,25	72,84	57,01	82,50	82,50	82,50	77,42	76,80	66,33	72,39	79,34	82,50	82,50
RISPARMIO MENSILE (kWh)	2284,15														

16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
879,76	1872,10	218,20	1045,15	769,50	1761,84	2478,53	1927,23	1541,32	107,94	438,72	934,89	0,00	659,24	52,81	163,07
604,11	1927,23	273,33	1100,28	659,24	1375,93	2313,14	1541,32	1375,93	107,94	383,59	604,11	0,00	824,63	52,81	107,94
0,00	1541,32	273,33	990,02	163,07	714,37	2313,14	934,89	990,02	218,20	0,00	0,00	0,00	107,94	0,00	0,00
0,00	493,85	52,81	0,00	0,00	438,72	990,02	548,98	493,85	328,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	218,20	52,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	52,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	328,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	107,94	0,00	438,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,48	5,83	0,82	3,24	1,59	5,11	8,31	5,01	4,40	0,76	0,82	1,54	0,00	1,59	0,11	0,27
71,62	69,64	75,76	78,57	72,17	81,77	77,74	74,60	75,15	77,30	68,53	66,88	74,76	56,35	65,94	55,41

**Figura 3.12** Consumi totali post intervento mese di gennaio

Così facendo è possibile avere per ogni mese il fabbisogno pre e post intervento. Si ha:

$$\Delta CONSUMO = FABBISOGNO PRE - CONSUMO POST \text{ [kWh]} \quad 3.8$$

$$RISPARMIO \% = \left( \frac{FABBISOGNO PRE - CONSUMO POST}{FABBISOGNO PRE} \right) * 100 \text{ [%]} \quad 3.9$$

MESE	OTTOBRE	NOVEMBRE	DICEMBRE	GENNAIO	FEBBRAIO	MARZO	APRILE	TOTALE
FABBISOGNO PRE (kWh)	611,2	1588,1	2694,1	2446,1	1522,3	1611	301,4	10774,2
CONSUMO POST(kWh)	0,0	18,73	279,07	161,97	9,06	58,01	1,04	527,9
$\Delta$ CONSUMO(kWh)	611,2	1569,4	2415,0	2284,1	1513,2	1553,0	300,4	10246,3
RISPARMIO %	100%	99%	90%	93%	99%	96%	100%	95%

**Figura 3.13** Valutazione percentuale dei risparmi

Recuperare l'aria calda di scarto in uscita dai rack dei data center ci permette di evitare di produrre il calore necessario al riscaldamento degli edifici con altri sistemi di riscaldamento come le pompe di calore o le caldaie.

Per conoscere quanto risparmio possiamo avere utilizzando l'aria calda in uscita dai rack del data center è quindi fondamentale capire quanto costa produrlo con altre

tecnologie. Questa valutazione può mostrare quanto è possibile risparmiare nella spesa annua e dipende molto dal tipo di tecnologia che prendiamo in considerazione per produrre il calore, ad esempio una caldaia a gas metano o una pompa di calore alimentata ad energia elettrica. I costi del combustibile possono essere facilmente ricavati sia nel caso del metano e dell'elettricità che alimenta la pompa di calore. Si va quindi a valutare il costo che avremo se fosse necessario produrre il calore per il fabbisogno invernale di un edificio considerando vari combustibili:

- METANO: il costo del gas metano domestico si aggira negli ultimi 5 anni secondo i dati ARERA sull'ordine degli 0,70-0,90 €/m<sup>3</sup> dove per m<sup>3</sup> si intendono i metri cubi standard, cioè quelli riportati anche nelle bollette. Come si vede da grafico vi sono solamente alcune variazioni ad inizio 2020, legate all'avvento della pandemia e a fine 2021 con l'aumento dei prezzi dei combustibili in generale. Poi ovviamente il prezzo subisce leggere variazioni anche a seconda del fornitore al dettaglio e della quantità di consumo (in genere costa meno nelle zone un po' isolate e con contratti per consumi in quantità elevate). Tuttavia i kWh termici effettivi forniti dipendono anche dall'efficienza di combustione della caldaia. Per la valutazione economica è fondamentale stabilire con esattezza il costo di 1 kWh termico prodotto con il metano, dato semplicemente dal rapporto

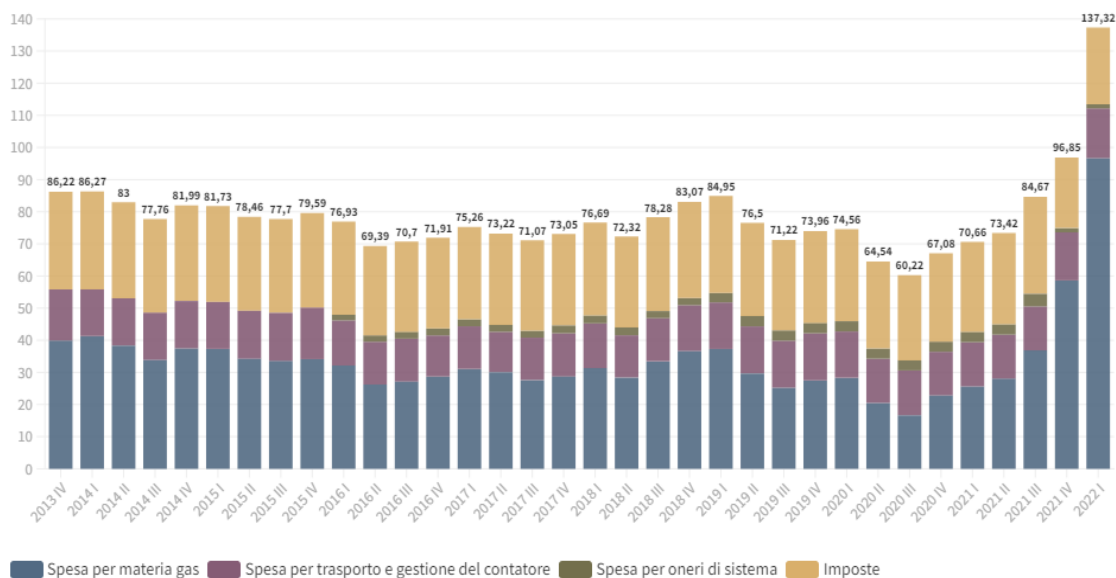
$$\text{costo kWh} = \frac{\text{costo}}{PCI} \left[ \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right] \quad 3.10$$

ossia fra il prezzo a m<sup>3</sup> del gas valutato in  $\left(\frac{\text{€}}{\text{Sm}^3}\right)$  ed il valore del suo potere calorifico inferiore valutato in  $\frac{\text{kWh}}{\text{Sm}^3}$  (nel caso del metano si considera il valore medio di 9,5 kWh/Sm<sup>3</sup>). Quindi il costo risulta essere nel range di 0,065-0,086 €/kWh. E' poi importante valutare anche il fabbisogno di energia primaria, infatti per una caldaia a metano mediamente si deve considerare un rendimento pari all'85%. Si ha quindi

$$\text{Energia}_{\text{primaria}} = \frac{\text{fabbisogno}}{\eta} \quad [\text{kWh}] \quad 3.11$$

Dove il fabbisogno è la potenza termica richiesta per il riscaldamento e η il rendimento dell'impianto

Per la valutazione dei costi è stato poi considerato il prezzo massimo di 0,085€/kWh.



**Figura 3.14** Andamento prezzo del metano dal 2014

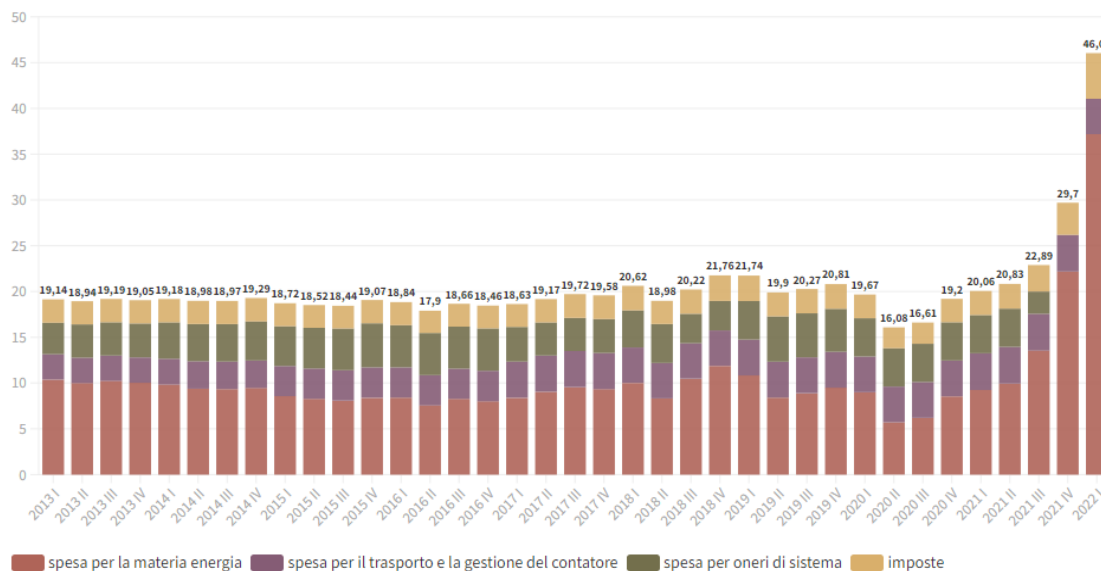
- **ENERGIA ELETTRICA:** Se invece si va a produrre un kWh termico con una pompa di calore si ha che la pompa di calore funziona ad elettricità e, tipicamente, per ogni kWh elettrico consumato fornisce mediamente 4 kWh termici: il valore esatto, il cosiddetto COP (coefficiente di prestazione) dipende da molti fattori, compresa la differenza temperatura fra l'ambiente esterno ed interno quando si usa la macchina. Quindi, va stimato il costo dell'energia elettrica, che nel caso domestico, sempre valutando i grafici ARERA negli ultimi 5 anni si attesta tra 0,18 e 0,21 €/kWh, mentre nel caso industriale può scendere a 0,18 €/kWh o anche meno, a seconda della potenza della fornitura prevista nel contratto come si vedrà per i prezzi dell'energia elettrica anche nei capitoli successivi. Pertanto il costo di 1 kWh termico è dato, semplicemente da

$$costo kWh = \frac{costo \left( \frac{\text{€}}{kWh_{el}} \right)}{kW \text{ termici prodotti} \left( \frac{kWh}{kWh_{el}} \right)} \quad \left[ \frac{\text{€}}{kWh} \right] \quad 3.12$$

Ossia il rapporto fra il prezzo a kWh dell'elettricità ed il numero di kWh termici prodotti con 1 kWh di energia elettrica (ossia il valore del COP), e risulta essere pari ad appena 0,053 €/kWh nel caso si consideri un costo di 0,21 €/kWh; valore che poi è stato utilizzato in tabella, in quanto si è considerato il data center un edificio industriale. Poi è importante valutare come nel caso precedente il fabbisogno di energia primaria, per una pompa di calore mediamente si consideri un rendimento pari al 90%. Si ha quindi

$$Energia_{primaria} = \frac{fabbisogno}{COP * \eta} \quad [kWh] \quad 3.13$$

Dove il fabbisogno è la potenza termica richiesta per il riscaldamento e  $\eta$  il rendimento dell'impianto



**Figura 3.15** Andamento del prezzo dell'energia elettrica domestica

Grazie a queste informazioni è possibile calcolare la spesa energetica annuale pre e post intervento a seconda della tecnologia di riscaldamento e del combustibile utilizzato con la semplice equazione:

$$spesa\ totale = costo_{kWh} * Energia\ primaria \quad [€] \quad 3.14$$

Dove la spesa totale è calcolata in €, il costo è calcolato in €/kWh come visto precedentemente e l'energia da produrre è stimata in kWh.

Il risparmio è semplicemente calcolabile come

$$RISPARMIO = spesa\ totale_{pre\ intervento} - spesa\ totale_{post\ intervento} \quad [€] \quad 3.15$$

PRE INTERVENTO						
TIPO DI GENERAZIONE TERMICA	FABBISOGNO(Kwh)	RENDIMENTO	ENERGIA PRIMARIA(kWh)	COMBUSTIBILE	COSTO AL kWh (€/kWh)	SPESA TOTALE (€)
CALDAIA AUTONOMA A GAS METANO	10774,20	0,85	12675,53	METANO	0,085	1.077,42 €
POMPA DI CALORE ELETTRICA	10774,20	0,9	2992,83	ENERGIA ELETTRICA	0,053	158,62 €

POST INTERVENTO							
TIPO DI GENERAZIONE TERMICA	FABBISOGNO(Kwh)	RENDIMENTO	ENERGIA PRIMARIA(kWh)	COMBUSTIBILE	COSTO AL kWh (€/kWh)	SPESA TOTALE (€)	RISPARMIO
CALDAIA AUTONOMA A GAS METANO	527,88	0,85	621,04	METANO	0,085	52,8	1.024,63 €
POMPA DI CALORE ELETTRICA	527,88	0,9	146,63	ENERGIA ELETTRICA	0,053	8	150,85 €

**Figura 3.16** Costi pre e post intervento



### 3.4.1 Analisi della riduzione delle emissioni

Diviene fondamentale capire, oltre al risparmio prettamente economico, anche quanto la tecnologia di recupero calore risulta essere utile per ridurre le emissioni inquinanti.

Questo ovviamente dipende da quale tecnologia viene utilizzata per produrre il calore per il fabbisogno invernale delle abitazioni e quali combustibili si utilizzino. A seconda delle caratteristiche del combustibile si valutano le tonnellate di petrolio equivalente risparmiate nel caso della pompa di calore e le tonnellate di CO<sub>2</sub> nel caso della caldaia a gas metano che si riescono ad evitare.

#### Tabella parametri standard nazionali

*Coefficienti utilizzati per l'inventario delle emissioni di CO<sub>2</sub> nell'inventario nazionale UNFCCC (media dei valori degli anni 2017-2019). Tali dati possono essere utilizzati per il calcolo delle emissioni dal 1 Gennaio 2020 al 31 Dicembre 2020.*

PARAMETRI STANDARD <sup>1</sup> - COMBUSTIBILI/MATERIALI					
Combustibile/Materiale	Unità di misura utilizzata per consumo di combustibile	Fattore Emissione <sup>2</sup> (tCO <sub>2</sub> /Un. di misura quantità)	Coefficiente Ossidazione	PCI	Unità di Misura PCI
Gas naturale (metano)	1000 Stdm <sup>3</sup>	1,984	1	8,427	Mcal/Std <sup>m</sup> <sup>3</sup>
	TJ	56,231	1	35,281	GJ/1000 Std <sup>m</sup> <sup>3</sup>
Olio combustibile	TJ	76,659	1	41,009	GJ/t
	t	3,144	1	0,979	tep/t
Gasolio riscaldamento (dati sperimentali)	TJ	73,578	1	42,877	GJ/t
	t	3,155	1	1,024	tep/t
Benzina senza piombo per autotrazione (dati sperimentali)	t	3,140	1	42,817	GJ/t
				1,023	tep/t
GPL (Gas di petrolio liquefatto) (dati sperimentali)	t	3,026	1	46,141	GJ/t
				1,102	tep/t
Coke da petrolio (pet coke) Impianti diversi da raffinazione	TJ	93,548	1	33,382	GJ/t
	t	3,123	1	0,797	tep/t
Coke da petrolio (pet coke) Impianti di raffinazione	TJ	96,986	1	35,367	GJ/t
	t	3,430	1	0,845	tep/t
Carbone da vapore	TJ	94,501	1	24,979	GJ/t
	t	2,361	1	0,597	tep/t
Coke (metallurgico)	TJ	108,736	1	29,503	GJ/t
	t	3,208	1	0,705	tep/t

**Figura 3.17** Parametri standard nazionali di conversione

Per l'analisi nel caso di pompa di calore è stata considerato il risparmio in tonnellate equivalenti di petrolio, considerando l'equazione

$$risparmio_{tep} = ENERGIA PRIMARIA risparmiata * 0,000187 \quad [tep] \quad 3.16$$

FONTE UTILIZZATA	ENERGIA PRIMARIA risparmiata (kWh)	tep evitate	PCI(kWh/Stm <sup>3</sup> )	CONSUMO GN(Stm <sup>3</sup> )	fattore di conversione metano(Kg/Stm <sup>3</sup> )	tonnellate di CO <sub>2</sub> non emesse
GAS METANO	12054,49		9,5	1268,89	1,8	2,284
ENERGIA ELETTRICA	2846,20	0,53				

**Figura 3.18** Analisi della riduzione delle emissioni

Per il gas metano si ha che

$$CONSUMO\ GN = \frac{ENERGIA\ PRIMARIA}{PCI} [Kg] \quad 3.17$$

Dove la massa utilizzata è espressa in Stm<sup>3</sup> mentre il Potere Calorifico Inferiore in kWh/Stm<sup>3</sup>

*tonnellate di CO<sub>2</sub> non emesse*

$$= CONSUMO\ GN * fattore\ di\ conversione [t] \quad 3.18$$

Dove la massa utilizzata è espressa in Stm<sup>3</sup> mentre il fattore di conversione in t/Stm<sup>3</sup>

In questo algoritmo bisogna considerare il fatto che l'azienda non aveva mai effettuato interventi di efficienza sul recupero di calore in un data center. L'analisi economica prevede una valutazione della tecnologia nel modo più ampio possibile considerando le variabili più significative così da restituire un quadro che indichi le condizioni nel quale l'intervento risulta essere efficiente e quanto i parametri pesino sul risultato finale. Si ricordino infatti le seguenti considerazioni iniziali:

- Potenza del data center: si sono considerati valori per data center di piccola taglia, precisamente con una densità di potenza di 10 kW per rack
- Prezzo dell'energia elettrica: si è considerato un valore di costo dell'energia elettrica per il cliente di 0.21 €/kWh.
- Città: si è considerata come sede dell'intervento la città di Milano, in quanto erano facilmente reperibili da stazioni meteorologiche le temperature medie ora per ora nei mesi invernali

La convenienza del sistema aumenta ovviamente all'aumentare del numero dei rack e del costo al kWh dell'energia elettrica ed è doveroso ricordare che le condizioni variano anche a seconda del locale da riscaldare e della sua superficie totale.

# CAPITOLO 4

## 4 Il raffreddamento mediante Free Cooling

### 4.1 Classificazione

#### 4.1.1 Tipologie di free cooling

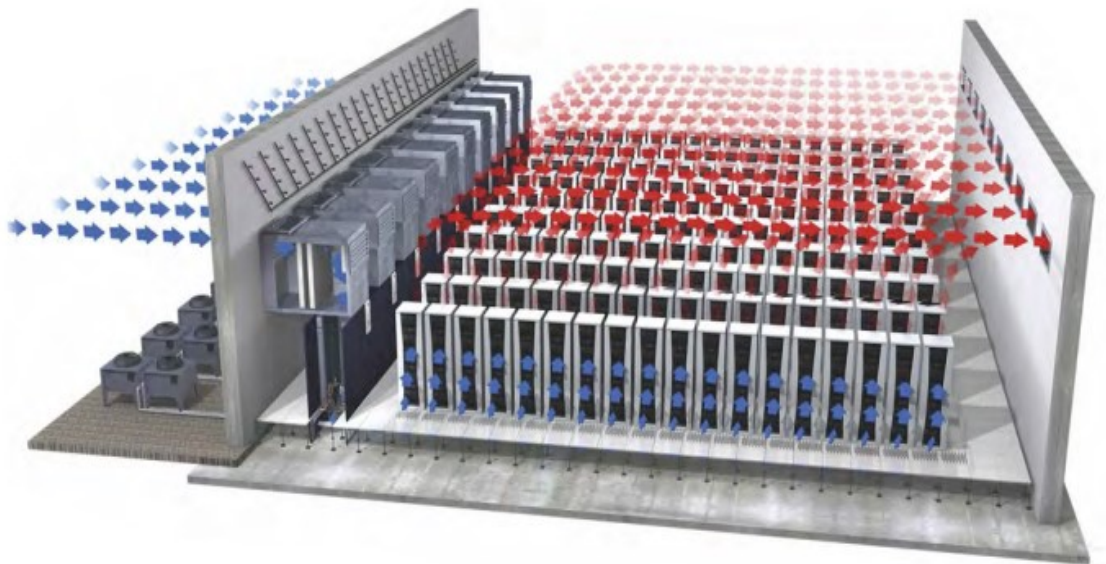
Con il free cooling è possibile sfruttare una sorgente esterna a temperatura ambiente (solitamente aria) per raffreddare o condizionare uno spazio. Questo metodo risulta essere molto interessante in tutti quei luoghi dove si rende necessaria una richiesta di freddo nell'arco di tutti i dodici mesi dell'anno, come avviene nell'industria dei data center, e quando le condizioni climatiche sono favorevoli garantisce una buona refrigerazione salvaguardando notevolmente i consumi energetici. Il free cooling comprende due principali tecnologie, denominate free cooling totale e free cooling parziale. Con il free cooling totale la sorgente esterna permette di soddisfare completamente il carico termico, senza utilizzare compressori e condensatori, quindi il risparmio energetico può essere molto elevato. Gli unici consumi elettrici riguardano i ventilatori e le pompe di circolazione. Nel free cooling parziale una parte del raffreddamento è garantita dall'aria esterna mentre il restante carico termico dovrà essere rimosso dal ciclo ad espansione diretta. Ovviamente nella maggior parte dei sistemi informatici la scelta tende a ricadere sul free cooling totale in quanto, come spiegato in precedenza, permette un risparmio elettrico ed energetico maggiore. La scelta del free cooling totale ovviamente non può essere possibile in tutte le casistiche ed i data center considerati, infatti sono di fondamentale importanza per la scelta le condizioni climatiche, principalmente di temperatura e umidità tipiche del territorio dove è installato il sistema. Un'ulteriore classificazione considera inoltre il modo in cui il calore dall'esterno è convogliabile all'interno nei successivi sistemi di trattamento dell'aria.

#### 4.1.2 Il free cooling diretto

Rappresenta la tecnologia di free cooling più semplice e consiste nell'introduzione di aria tramite valvole, deflettori e opportuni condotti di immissione grazie a sistemi aria-aria a portata costante o variabile ed è ideale soprattutto per un clima temperato, come ad esempio quello italiano, che da aprile a ottobre supera raramente il 70% di umidità durante il giorno. Quindi nei momenti in cui l'aria esterna si trova a temperature sufficientemente basse è prelevata dall'ambiente e dopo essere passata attraverso opportuni sistemi di filtraggio, per impedire l'ingresso di impurità e particelle

indesiderate, arriva nei corridoi per consentire la refrigerazione delle apparecchiature informatiche. Per temperature che variano tra i 25 ed i 15°C l'aria può essere immessa direttamente nel data center dopo il filtraggio, mentre se ci si trova ad una temperatura di immissione di 13-15°C o minore viene miscelata con quella calda in uscita per evitare di introdurre nel data center aria gelida. Ovviamente il processo è tanto più conveniente quanto minore sia la temperatura media dell'aria esterna e quanto più alta è la temperatura dell'aria di rinnovo del data center. Il sistema free cooling in rari casi usa come sorgente di raffreddamento l'acqua dato che in questo caso c'è la necessità di avere nei pressi del centro di elaborazione dati un bacino di grandi dimensioni o trovarsi vicino alla costa. Vediamo quindi un elenco dei benefici assicurati dall'utilizzo di questo sistema di raffreddamento:

- Mantenere sempre le migliori condizioni ambientali negli interni.
- Livello di manutenzione richiesta molto bassa.
- Il free cooling è un sistema naturale che non incide sull'ambiente (rispettando così un'ottica di data center green).
- Notevole diminuzione dei consumi di energia elettrica.
- La climatizzazione può causare problemi sulle risorse negli ambienti interni, pericolo scongiurato grazie al free cooling che è un sistema di raffreddamento naturale.
- Si tratta di un sistema molto più leggero rispetto ad altri che richiedono l'utilizzo di altri sistemi aggiuntivi (come avviene con l'uso del gas come fonte di raffreddamento)



**Figura 4.1** Percorso dell'aria in un sistema free cooling diretto

### 4.1.3 Il free cooling indiretto

Con il free cooling indiretto si considera una tecnologia dove si va sempre a sfruttare l'aria esterna, ma non per mandarla direttamente ai server, bensì per raffreddare l'acqua da inviare alle batterie di scambio termico. In questo caso il refrigeratore rimane spento oppure interviene solo quando il free cooling risulta insufficiente. Per funzionare il free cooling indiretto necessita di almeno due scambiatori di calore: quello delle unità interne e uno per dissipare il calore all'esterno. I maggiori vantaggi dal punto di vista economico si ottengono con differenze di temperatura sugli scambiatori di  $3/4$  K. Questo significa che, per poter raffreddare ad esempio a  $20^{\circ}\text{C}$  l'aria interna, quella esterna non deve superare i  $14^{\circ}\text{C}$ . Situazione che, purtroppo, riduce il numero di giorni ed ore nei quali si può lavorare con un free cooling indiretto. Si può sviluppare il sistema indiretto con un chiller ad aria con dry cooler: si suddivide il funzionamento in due fasi a seconda della temperatura dell'ambiente: quella estiva e quella invernale. Il funzionamento estivo è quello classico del refrigeratore con un refrigerante ad espansione diretta che assorbe il calore dal circuito ad acqua e successivamente lo cede in ambiente [33] mentre in inverno quando la temperatura esterna scende al di sotto di un determinato valore (solitamente  $0^{\circ}\text{C}$ ) l'acqua del circuito primario è raffreddata dalla miscela acqua-glicole del circuito che scambia con l'aria esterna, onde evitare problemi di congelamento. In caso di temperature intermedie si può utilizzare il free cooling parziale con effetto frigorifero garantito in parte dall'aria esterna ed in parte dal

compressore. Avendo tre scambi termici, dall'aria esterna all'acqua-glicole, all'acqua del circuito primario, all'aria dell'ambiente si rende necessario avere un basso livello di temperatura esterna per avere il free-cooling totale. Il free cooling indiretto presenta diversi vantaggi rispetto a quello diretto ossia: non vi è alcuna miscelazione con aria esterna e questo evita che i possibili problemi di particelle inquinanti o di agenti corrosivi arrivino all'interno del data center; in presenza di aria esterna con valori elevati di umidità relativa il free cooling indiretto può essere utilizzato per un periodo di tempo maggiore rispetto a quello diretto in virtù del fatto che i flussi di aria esterna e di aria ricircolata nel data center sono praticamente isolati; il free cooling indiretto permette un migliore utilizzo del raffreddamento adiabatico dell'aria esterna e un intervallo delle temperature di lavoro più ampio, migliorando così le inefficienze generate dallo scambio termico. Gli impianti di climatizzazione con free cooling indiretto inoltre possono essere configurati in modo flessibile per rispondere alle diverse esigenze e sono estremamente efficienti. Tra le varianti migliorative si segnala il free cooling dinamico indiretto che controlla la modalità refrigerante in funzione del carico termico effettivo all'interno del data center, consentendo il funzionamento anche con una minima differenza di temperatura tra l'acqua refrigerata e l'aria della sala. Il free cooling dinamico indiretto sfruttando questa opportunità in modo attivo, ovvero senza un valore iniziale fisso, consente di aumentare notevolmente il numero di ore di esercizio in free cooling. Interessante inoltre è la possibilità di utilizzare questo processo nelle aree definite ad alta densità, dove la temperatura dell'aria raggiunge anche i 45 °C e nelle quali l'opzione free cooling diventa così comunque operativa per più del 90% di tempo durante tutto l'anno.



**Figura 4.2** Schema di funzionamento del free cooling indiretto.

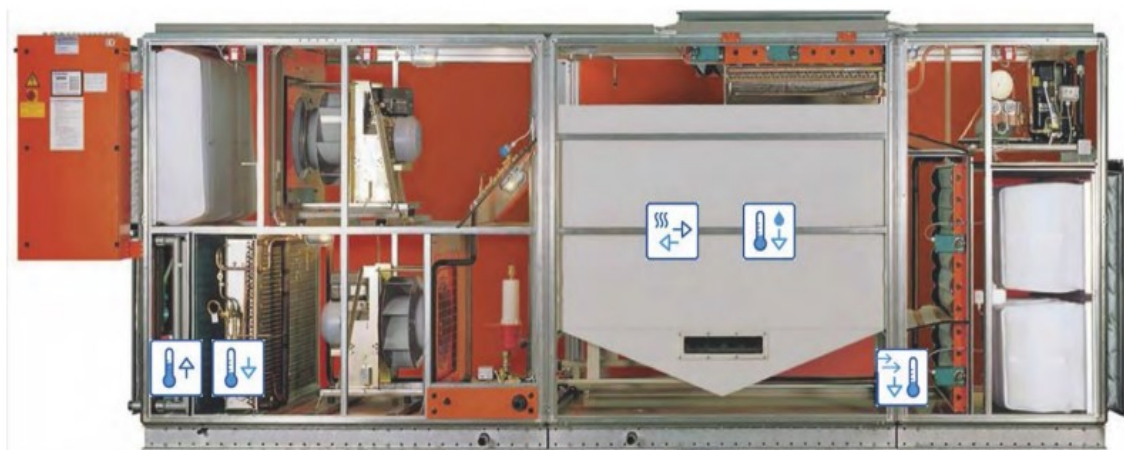
Dalla figura si nota come l'aria esterna (verde) non viene immessa in ambiente, ma scambiata con quella ricircolata (gialla) attraverso una batteria di recupero termico, per poi essere espulsa in atmosfera (marrone). Nel data center viene quindi immessa sempre la medesima aria (azzurro), raffreddata o meno.

#### **4.1.4 Il raffreddamento adiabatico**

Un ulteriore prezioso aiuto al free cooling viene dato dal raffreddamento adiabatico, questo processo è basato sull'utilizzo di ugelli che nebulizzano l'acqua di rete sul flusso d'aria che proviene dall'esterno. L'acqua viene così nebulizzata in particelle talmente sottili che passano dallo stato liquido allo stato gassoso (evaporazione) raffreddando di conseguenza l'aria per effetto adiabatico. L'aria esterna così trattata attraversa quindi lo scambiatore a flussi incrociati a una temperatura prossima alla temperatura di bulbo umido. In questo modo si estende sia il periodo di tempo e sia le zone climatiche in cui è possibile far rimanere attivo il programma di free cooling. Anche il raffreddamento adiabatico si distingue in due differenti opzioni: diretto e indiretto. La differenza in questi casi, analogamente con il free cooling, deriva dal fatto che nel procedimento diretto l'aria esterna subito il raffreddamento adiabatico viene immessa nell'ambiente data center, mentre nel processo indiretto cede questo potere raffreddante all'aria di ricircolo, che si

raffredda, senza miscelarsi. L'aria esterna, calda, viene poi sempre espulsa in atmosfera.

[34]



**Figura 4.3** Esempio di unità con raffreddamento adiabatico dell'aria esterna

## 4.2 Applicazione del free cooling

### 4.2.1 Campi applicativi del free cooling

Nel settore della tecnica degli edifici, il termine free cooling ha una connotazione positiva, raffreddamento libero dà l'impressione che il raffreddamento non costi niente, richieda poca o nessuna energia e rispetti l'ambiente. È per questo che, sovente, progettisti, committenti e enti pubblici attenti chiedono l'applicazione del free cooling. Nell'ambito della tecnica della costruzione vi è però da tempo il sospetto che l'apparenza possa essere ingannevole, raffreddare un edificio, un complesso industriale o, come nel caso esaminato in questo lavoro un data center mediante l'utilizzo di free cooling potrebbe non essere la soluzione migliore in tutte le situazioni, né dal punto di vista energetico né da quello economico. Nel peggiore dei casi infatti il free cooling potrebbe anche comportare elevati costi aggiuntivi, peggiorando nel contempo il bilancio energetico totale di un edificio. Di conseguenza è necessario un attento studio preliminare che permetta di capire se nel caso in esame questa tecnologia vada a portare un effetto benefico.

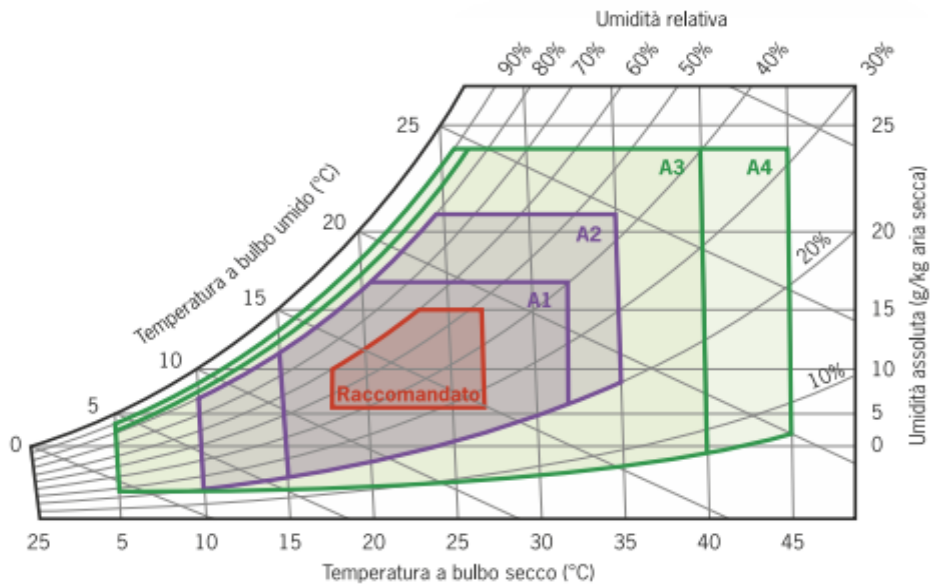
Tendenzialmente infatti se ben studiato e progettato all'interno dell'impianto però il free cooling è una delle principali tecnologie considerate per il risparmio energetico negli ultimi anni, trovando una sempre più larga applicazione.



## 4.2.2 Il free cooling nei data center

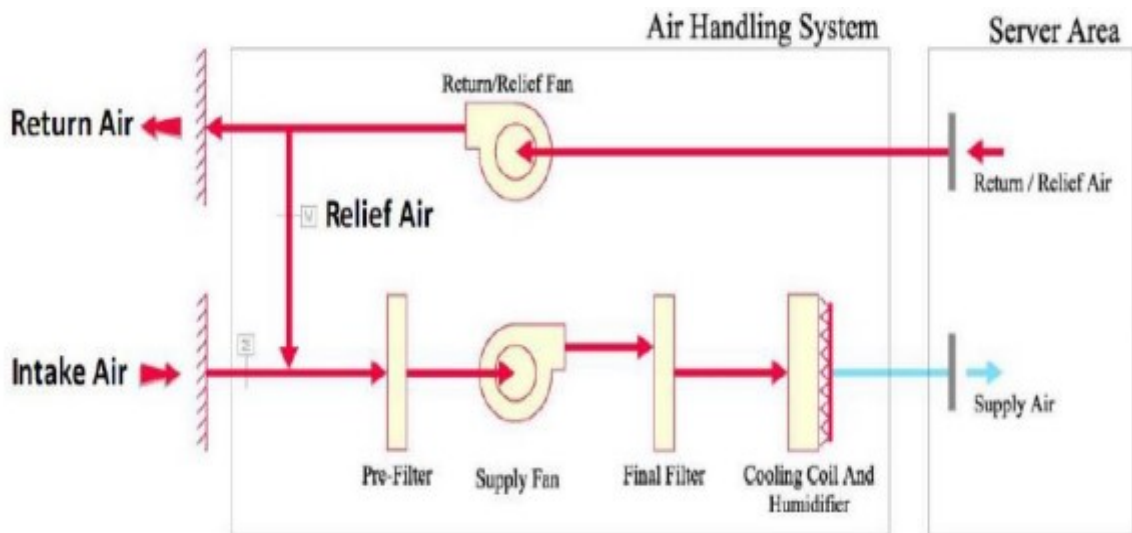
Considerata una determinata struttura all'interno del quale si sviluppi un sistema informatico i consumi legati al suo sistema di raffreddamento possono essere ridotti e, come visto, il free cooling è particolarmente indicato quale tecnologia di risparmio in queste specifiche condizioni. Prendendo la sorgente aria come mezzo di raffreddamento, il free cooling può essere sviluppato quando l'aria esterna si trova ad una temperatura sufficientemente bassa. Nei primi anni di sviluppo di questa tecnologia erano richieste condizioni molto restrittive, che limitavano l'implementazione del free cooling, che quindi diventava meno vantaggioso. Con i cambiamenti delle classi ASHRAE nell'anno 2011 si ebbe un notevole ampliamento dello spazio, in termini di temperatura ed umidità, per un corretto ed efficiente funzionamento della tecnologia. Nei data center il funzionamento deve avvenire all'interno di un determinato range di temperatura e umidità, che secondo le linee guida ASHRAE, come visto nel capitolo 1, definiscono alcune zone di funzionamento raccomandate, in corrispondenza del quale si possa ottenere la massima affidabilità e una serie di zone di funzionamento consentite denominate A1,A2,A3,A4, dove le apparecchiature comunque riescono ad operare. La zona raccomandata è compresa tra 18 e 27°C di temperatura ed un'umidità relativa intorno al 60%. La classe A1 (standard più elevati) è in grado oggi di tollerare temperature tra 15 e 32 gradi centigradi e un'umidità relativa compresa tra il 20% e l'80%. In questo modo la maggior parte delle località del mondo sono oggi in grado di soddisfare almeno nelle classi A3 o A4 un funzionamento in free-cooling per tutto l'anno, risparmiando notevoli quantità di energia e denaro per il funzionamento dei chiller, quindi in conclusione per la tecnologia non servono climi specifici che si possono trovare solamente in alcune zone del pianeta, ma si può estendere ad un'ampia fetta di stati e città industrializzate.

Anche a livello europeo, la EN 300 019-1-3 del 1992 emanata dall'ETSI (European Telecommunications Standard Institute) regola la temperatura e l'umidità di lavoro degli apparati di telecomunicazione estendendoli anche ad altri ambienti come i data center. Secondo la norma sono presenti tre zone che definiscono in funzione di temperatura e umidità relativa un'area di funzionamento in maniera analoga alle linee guida ASHRAE. [35]



**Figura 4.4** Classi di funzionamento nel diagramma psicometrico

Un tipico esempio di sistema free cooling installato in una sala server è quello mostrato nello schema della figura 4.5, dove si ha un ventilatore che introduce l'aria esterna che poi viene filtrata per provvedere all'eliminazione delle eventuali impurità presenti. In caso siano presenti particolari vincoli sull'umidità, oppure se l'umidità dell'ambiente non rientra nei parametri di funzionamento, il sistema svolge un'umidificazione o una deumidificazione dell'aria.



**Figura 4.5** Schema di funzionamento di un sistema free cooling ad aria diretto

### 4.3 L'indice ESEER

Le prestazioni di una macchina a ciclo inverso sono espresse tramite l'Energy Efficiency Ratio, ossia il rapporto tra la potenza frigorifera e quella elettrica in ingresso. Trattandosi di un rapporto tra potenze, il coefficiente ci informa delle prestazioni della macchina in un particolare punto di funzionamento, ossia quello che corrisponde alla potenza frigorifera nominale. Questo assume particolare significato se si considera che i cicli frigoriferi operano per gran parte del tempo a carico parziale, dove l'EER può variare, perché a ogni diminuzione dell'effetto frigorifero fornito corrisponde un calo dell'energia elettrica in input più o meno significativo a seconda del sistema di regolazione del carico, dei consumi degli ausiliari e del tipo di applicazione. Per calcolare i consumi conviene quindi utilizzare un rapporto di energie anziché un rapporto di potenze, espresso dall'indice ESEER (European Seasonal Energy Efficiency Ratio), talvolta indicato solo con SEER ed equivalente ad un EER su base stagionale. Il SEER corrisponde al rapporto tra l'intero carico di refrigerazione richiesto nell'anno e l'energia elettrica assorbita dal compressore e dagli ausiliari, quindi al contrario del semplice EER valuta anche il funzionamento a carico parziale.

L'ESEER è descritto nella norma EN14825 e si ottiene grazie alla media pesata degli EER in varie condizioni di carico; i valori dei vari coefficienti derivano dal fatto che si suppone che l'impianto lavori a carico nominale per un tempo particolarmente limitato (3%).

$$\text{ESEER} = A \cdot \text{EER}(100\%) + B \cdot \text{EER}(75\%) + C \cdot \text{EER}(50\%) + D \cdot \text{EER}(25\%) \quad 4.1$$

Considerando l'ipotesi che l'acqua sia raffreddata da 12°C a 7°C all'evaporatore al carico nominale e che sia presente una differenza di temperatura di 15°C al condensatore e un surriscaldamento di 10°C in tutte le condizioni operative e che la sorgente termica per la condensazione (aria o acqua) vari in corrispondenza del carico.

CARICO PARZIALE	Taria [°C]	COEFFICIENTE
100%	35	A= 3%
75%	30	B= 33%
50%	25	C= 41%
25%	20	D= 23%

**Tabella 4.1** Coefficienti per il calcolo dell'ESEER

Nel continente americano l'indice prende il nome di IPLV (Integrated Part Load Value), ed è calcolato in maniera analoga con i vari coefficienti A,B,C,D che presentano valori differenti. L'EER non varia solo in funzione dei livelli termici operativi, ma anche del fabbisogno dell'utenza che comporta in molti casi una parzializzazione della potenza. Per calcolare correttamente l'ESEER è quindi necessario conoscere sia le prestazioni della macchina ai vari carichi sia per quante ore all'anno si hanno le diverse condizioni operative, infatti a parità di condizioni climatiche, la stessa macchina può avere efficienze stagionali anche molto differenti. Questo porta ad avere difficoltà nel calcolo preciso dei consumi reali dell'impianto che potranno essere solo stimati in maniera comunque approssimativa. In generale si osserva la tendenza ad un aumento più o meno marcato dell'EER ai carichi parziali fino a raggiungere un massimo e tornare poi ad abbassarsi ai bassi carichi, segno che la richiesta elettrica in ingresso al compressore diminuisce più lentamente di quanto non faccia la potenza frigorifera sviluppata dal chiller. [36]

La riduzione di EER subentra prima ed è più marcata con compressore regolato ad inverter, dove le penalizzazioni sono legate alle basse frequenze di funzionamento. [37]

Il generale miglioramento delle prestazioni in condizioni non nominali è confermato da valori di ESEER maggiori dei corrispondenti EER, come si osserva dai dati di catalogo di tutti i chiller di nuova concezione. [38]

### **4.3.1 Calcolo operativo dell'indice SEER**

Per il calcolo operativo dell'indice SEER si è andati a sviluppare un foglio Excel ad hoc dove si sono riportate in input tutte le temperature ora per ora della città presa in considerazione per lo sviluppo dell'algoritmo, in tutti i giorni dell'anno. L'obiettivo di questo calcolo è quello di avere un valore più preciso dell'efficienza dei gruppi frigoriferi in caso non fosse possibile sviluppare il free cooling, per poi confrontarlo invece con l'EER dei gruppi durante il funzionamento free cooling e valutare il risparmio energetico conseguibile nell'arco dell'anno. Per il calcolo operativo sono stati usati una potenza frigorifera ed elettrica da catalogo fornito dall'azienda Bartucci, similari a quello di un gruppo frigorifero che si può installare in un data center di media grandezza (50 rack), ossia quello che si è considerato poi nel il calcolo dell'algoritmo, così da rendere la valutazione il più possibile veritiera.

Outdoor air temp. °CDB	Indoor air temp. : °CWB													
	14.0		16.0		18.0		19.0		21.0		23.0		25.0	
	TC kW	PI kW	TC kW	PI kW	TC kW	PI kW	TC kW	PI kW	TC kW	PI kW	TC kW	PI kW	TC kW	PI kW
-10.0	51.0	5.16	61.2	6.48	71.4	7.76	76.5	8.39	86.7	9.62	96.9	10.83	107.1	12.01
-5.0	51.0	5.17	61.2	6.49	71.4	7.77	76.5	8.40	86.7	9.63	96.9	10.84	107.1	12.02
0.0	51.0	5.18	61.2	6.50	71.4	7.78	76.5	8.41	86.7	9.65	96.9	10.85	107.1	12.04
5.0	51.0	5.20	61.2	6.52	71.4	7.80	76.5	8.43	86.7	9.67	96.9	10.89	107.1	12.09
10.0	51.0	5.22	61.2	6.54	71.4	7.84	76.5	8.48	86.7	9.75	96.9	11.00	107.1	12.24
15.0	51.0	5.28	61.2	6.66	71.4	8.02	76.5	8.70	86.7	10.03	96.9	11.33	107.1	12.61
20.0	51.0	5.73	61.2	7.26	71.4	8.75	76.5	9.47	86.7	10.89	96.9	12.53	107.1	14.27
25.0	51.0	7.55	61.2	9.36	71.4	11.24	76.5	12.20	86.7	14.17	96.9	16.20	107.1	18.28
30.0	51.0	9.77	61.2	11.96	71.4	14.20	76.5	15.33	86.7	17.64	96.9	19.99	107.1	22.40
35.0	51.0	12.53	61.2	15.19	71.4	17.87	76.5	19.23	86.7	21.98	96.9	24.81	107.1	27.74
40.0	51.0	14.98	61.2	18.03	71.4	21.10	76.5	22.66	86.7	25.84	96.9	29.15	105.1	32.34
43.0	51.0	16.49	61.2	19.79	71.4	23.12	76.5	24.81	86.7	28.30	96.3	32.34	98.5	30.77
46.0	51.0	17.67	61.2	21.46	71.4	25.43	72.3	24.98	74.2	23.82	76.7	22.92	79.6	22.20
52.0	24.5	8.72	26.6	8.81	29.2	8.98	30.6	9.08	33.7	9.32	37.2	9.59	40.9	9.88

Figura 4.6 Dati di riferimento refrigeratore da catalogo

Si ricordi che

$$EER = \frac{P_{frigorifera}(kW)}{P_{elettrica\ assorbita}(kW)} \quad 4.2$$

Di seguito si mostra a titolo di esempio il foglio di input con le temperature esterne nei primi 10 giorni di gennaio nella città di Milano, prese dalla medesima stazione di Via Brera nell'anno 2020, come nel capitolo precedente e successivamente i dati da catalogo del refrigeratore ed il loro successivo inserimento nel foglio di calcolo.

Mese	Giorno	Ora	Data & Ora	Te
1	1	0	01/01 00:00	5,0
1	1	1	01/01 01:00	4,8
1	1	2	01/01 02:00	4,6
1	1	3	01/01 03:00	4,3
1	1	4	01/01 04:00	4,4
1	1	5	01/01 05:00	3,7
1	1	6	01/01 06:00	3,2
1	1	7	01/01 07:00	3,5
1	1	8	01/01 08:00	4,1
1	1	9	01/01 09:00	3,6
1	1	10	01/01 10:00	4,8

Figura 4.7 Temperature ora per ora Milano

Gruppo GF N°1				
Tman evaporatore [°C]	Te [°C]	P frigorifera	P elettrica [kW]	EER [-]
6	25	107,1	18,28	5,86
6	30	107,1	22,40	4,78
6	32	107,1	25,07	4,27
6	35	107,1	27,74	3,86
6	40	105,1	32,3	3,25
6	43	98,5	30,77	3,20
7	25	96,9	16,20	5,98
7	30	96,9	19,99	4,85
7	32	96,9	22,40	4,33
7	35	96,9	24,81	3,91
7	40	96,9	29,15	3,32
7	43	96,3	32,34	2,98
8	25	86,7	14,17	6,12
8	30	86,7	17,64	4,91
8	32	86,7	19,81	4,38
8	35	86,7	21,98	3,94

**Figura 4.8** Esempio di calcolo EER parziale

Dalla tabella possiamo vedere come a seconda delle temperature esterne variano continuamente la potenza elettrica e frigorifera del refrigeratore, cambiando a seconda dei carichi continuamente il valore dell'EER parziale. Per semplificare il calcolo si sono considerate temperature esterne maggiori a 25°C e fino a 42°C, in quanto in questo range di temperatura si è certi che non vi è la possibilità di ricorrere al free cooling e quindi è ideale per valutare l'efficienza del gruppo frigorifero installato nel data center.

Una volta valutati gli indici EER ai carichi parziali questi vanno pesati a seconda della percentuale di ore di funzionamento in una determinata condizione. Quindi si va a considerare il numero delle ore in cui il dispositivo lavora in determinate condizioni, che abbiamo a disposizione grazie alla tabella di input, con tutti i valori, ora per ora delle temperature dell'aria esterna.

Te [°C]	Frequenza ore -	Frequenza ore -	Frequenza ore -	Frequenza ore	Te media -
15	35	127	0	0,0%	15,5
16	34	114	148	6,3%	16,5
17	51	85	136	5,8%	17,5
18	37	104	141	6,0%	18,4
19	42	99	141	6,0%	19,4
20	35	112	147	6,3%	20,5
21	34	98	132	5,7%	21,5
22	44	112	156	6,7%	22,5
23	30	118	148	6,3%	23,4
24	37	102	139	6,0%	24,3
25	49	101	150	6,4%	25,4
26	34	126	160	6,9%	26,4
27	33	118	151	6,5%	27,4
28	24	106	130	5,6%	28,4
29	15	110	125	5,4%	29,4
30	8	116	124	5,3%	30,3
31	3	83	86	3,7%	31,3
32	2	61	63	2,7%	32,4
33	0	35	35	1,5%	0,0
34	0	13	13	0,6%	0,0
35	0	5	5	0,2%	0,0

**Figura 4.9** Frequenza ore di funzionamento ad una specifica temperatura

Infine non resta che trovare il valore del SEER calcolato nel foglio excel con la funzione matrice somma-prodotto tra i valori di EER parziale delle varie temperature e la percentuale delle ore in cui il refrigeratore si è trovato in quelle specifiche condizioni di lavoro. Il valore di SEER ricavato e utilizzato nel successivo calcolo è di 6,08.

## 4.4 Algoritmo di stima dei risparmi

### 4.4.1 Risparmi elettrici conseguibili in modalità free cooling diretto

Per l'elaborazione dell'algoritmo per la stima dei risparmi e la sua validazione si è fatto riferimento ai dati disponibili all'interno dell'azienda relativi al fornitore della tecnologia (leader mondiale nella fornitura di soluzioni per il riscaldamento, ventilazione, climatizzazione e refrigerazione).

Nell'algoritmo si è considerata l'installazione di dispositivi free cooling su refrigeratori già funzionanti e dove abbiamo già a disposizione i dati relativi all'EER in modalità free cooling; come detto la tecnologia viene sviluppata in un centro informatico di dimensioni medio-piccole (50 rack). Nella valutazione della refrigerazione standard senza free cooling si è andati a sfruttare il valore dell'indice SEER trovato in precedenza per il confronto tra i consumi con dispositivi free-cooling e semplice refrigerazione.

Per quanto riguarda la stima del risparmio si è fatto riferimento ad alcune delle principali città del nord, centro e sud Italia, per il nord una delle due città studiate è Padova, per avere un resoconto di quanto possa essere conveniente la tecnologia nel nostro territorio.

Si consideri di avere un centro informatico con 50 rack ed una densità di potenza di 10kW per rack, quindi complessivamente un carico IT di 500kW. La potenza frigorifera necessaria per garantire il condizionamento del sistema è di 650 kW, infatti tipicamente la potenza frigorifera installata nell'impianto deve tipicamente essere intorno al 30% maggiore rispetto alla al carico IT. [39] Si ha quindi

$$Pot\ frigorifera = CARICO\ IT * 1,3 \quad [kW] \quad 4.3$$

In corrispondenza di temperature al di sotto dei 18°C esterni si considera il passaggio dal funzionamento convenzionale a quello in free cooling totale. Considerando un generico data center l'ipotesi è che abbia un ciclo continuo di funzionamento con le utenze attive per 8760 ore annue al carico nominale, in quanto i server sono caratterizzati da una produzione di calore costante e continua nell'arco dell'anno. Ciò rende immediata la valutazione dei consumi di energia elettrica, pari alla potenza in ingresso nel sistema di raffreddamento moltiplicata per le 8760 ore annue e divisa per il SEER nominale. L'energia consumata in seguito all'installazione di un sistema free cooling diretto è calcolabile come:

$$consumo_{post} = \left[ (8760 - ore_{FC}) * \frac{P_f}{SEER} \right] + \left( ore_{FC} * \frac{P_f}{EER_{FC}} \right) \quad [kWh] \quad 4.4$$

Dove:

SEER: efficienza del sistema di refrigerazione in assenza di free cooling. Nel caso in esame, senza free cooling, il valore dell'EER valutato nel calcolo precedente risulta pari a 6,08 (si consideri infatti da catalogo del fornitore una potenza frigorifera di 90 kW ed un assorbimento elettrico di 14,8 kW).

EER<sub>FC</sub>: rapporto tra potenza frigorifera e consumo elettrico del sistema free cooling, pari in questo caso a 22,5 (si consideri infatti da catalogo del fornitore 90 kW di potenza frigorifera per 4 kW di consumo elettrico).

P<sub>f</sub>: Potenza frigorifera [kW]

Ore<sub>FC</sub>: sommatoria del numero di ore annuali in cui il free cooling totale è applicabile.



RACK	CARICO IT(kW)	Pot frig.(kW)	NON FREE COOLING				FREE COOLING			STANDARD		
			Pot frig.ch.(kW)	Pot. El.(kW)	SEER	Pot frig.ch.(kW)	Pot. El.(kW)	EER	Pot frig.ch.(kW)	Pot. El.(kW)	SEER	
50	500	650	90	14,8	6,08	90	4	22,50	90	14,8	6,08	

**Figura 4.10** Dati di funzionamento nelle diverse condizioni operative

Diviene facile capire come il risparmio dipenda dalle ore di applicabilità del free cooling, da SEER e da  $EER_{FC}$ . Il risparmio in percentuale varia da poco meno del 50% fino a quasi il 70%, a seconda della località considerata, infatti facendo riferimento ad una stessa unità di funzionamento, con uguali caratteristiche tecniche, il risparmio diviene funzione delle sole ore in cui la temperatura è minore di 18°C, diminuendo ovviamente spostandosi da Nord a Sud.

ore FC	CITTA'					
	PADOVA	MILANO	FIRENZE	ROMA	NAPOLI	PALERMO
GENNAIO	744	744	744	744	744	730
FEBBRAIO	672	664	667	645	672	616
MARZO	723	706	701	698	720	678
APRILE	659	497	546	525	562	495
MAGGIO	521	274	356	268	273	158
GIUGNO	206	165	227	83	128	74
LUGLIO	53	15	43	0	0	0
AGOSTO	33	11	15	0	0	0
SETTEMBRE	216	146	187	105	72	0
OTTOBRE	646	656	595	485	465	242
NOVEMBRE	715	709	670	580	566	454
DICEMBRE	744	744	744	741	735	692
TOTALE ANNUO	5932	5331	5495	4874	4937	4139
% ORE FC	67,72	60,86	62,73	55,64	56,36	47,25

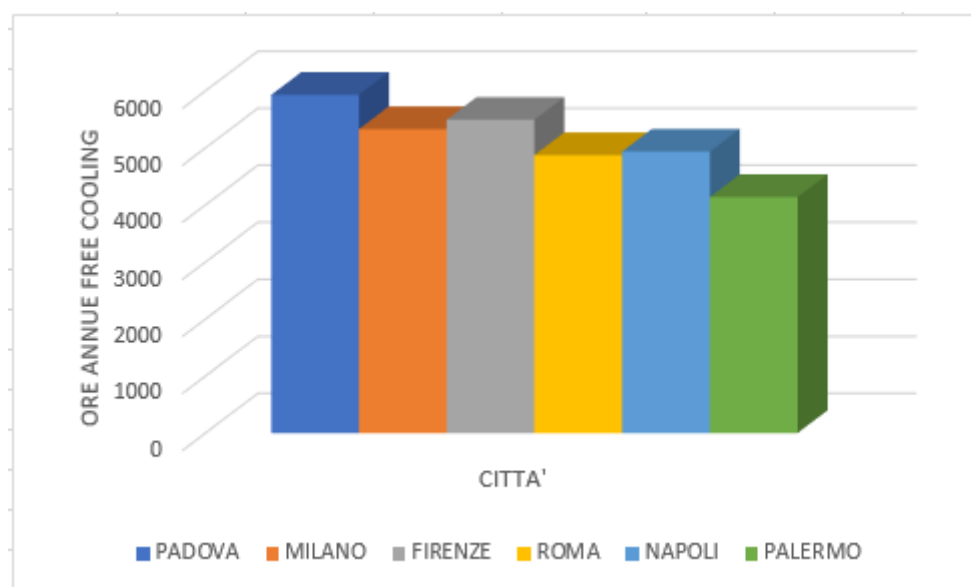
**Figura 4.11** Ore e valore percentuale di free cooling nelle città considerate

Per il calcolo della percentuale di ore in free cooling si ha:

$$\% \text{ ORE FC} = \frac{\text{TOTALE ANNUO}}{8760} * 100 \quad [\%] \quad 4.5$$

Grazie alla tabella si può capire che, anche in una località del sud Italia come Palermo, dove tendenzialmente si hanno temperature più alte, il free cooling è comunque sfruttabile per quasi metà delle ore annue. Ricordando anche che la temperatura limite considerata per il funzionamento della tecnologia è stata di 18°C, che risulta essere tendenzialmente bassa e prudente per garantire un buon funzionamento dei sistemi

informatici. Utilizzando infatti temperature magari anche solo di 2-3°C, superiori sicuramente si andrebbe a superare la metà delle ore di free cooling.



**Figura 4.12** Grafico con totale ore annuali di free cooling

Questo a conferma di come la tecnologia si possa benissimo sfruttare in tutto il nostro paese e a maggior ragione nei paesi del centro e nord Europa, dove possiamo arrivare a percentuali di ore di free cooling a disposizione veramente elevate. Padova nell'analisi sviluppata si presenta come la città con più ore di free cooling a disposizione e quindi quella in cui potenzialmente la tecnologia potrebbe portare il risparmio energetico ed economico maggiore.

Per il calcolo delle temperature orarie delle varie località si è considerata l'applicazione del metodo presente nella UNI 10349 descritto in APPENDICE A

## 4.5 Considerazioni sul differenziale di temperatura ed il flusso scambiato dai refrigeratori

Il flusso di calore scambiato dal sistema è esprimibile secondo il principio, come:

$$Q = V * \rho * c_p * \Delta T \text{ [kW]} \quad 4.6$$

Dove:

Q: calore scambiato [kW]

V: portata volumetrica [m<sup>3</sup>/s]

ρ: densità dell'aria, ipotizzata costante pari a 1,225 kg/m<sup>3</sup>

c<sub>p</sub>: calore specifico a pressione costante dell'aria, assunto pari a 1,004 kJ/kgK

ΔT: differenza di temperatura [°C]

MODELLO	DIMENSIONI [mm]	V [m <sup>3</sup> /h]	Pf (ΔT=12°C) [Kw]
FCM 006		2300	9
FC 030	750x500h1950	3000	11,6
FC 060	750x750h1950	6000	22,7
FC 080	844x890h1970	6000-10000	30,8-37,6
FC 120	1200x890h1970	12000	46,2
FC 180	1750x890h1970	18000-23000	70-90

**Tabella 4.2** Moduli per free-cooling disponibili (dati fornitore)

Facendo riferimento alla tabella relativa ai dati di funzionamento su alcuni modelli e alle loro caratteristiche tra cui la portata volumetrica, gli ingombri e la potenza frigorifera, si è ricavata una relazione lineare tra la portata volumetrica e la potenza del dispositivo.

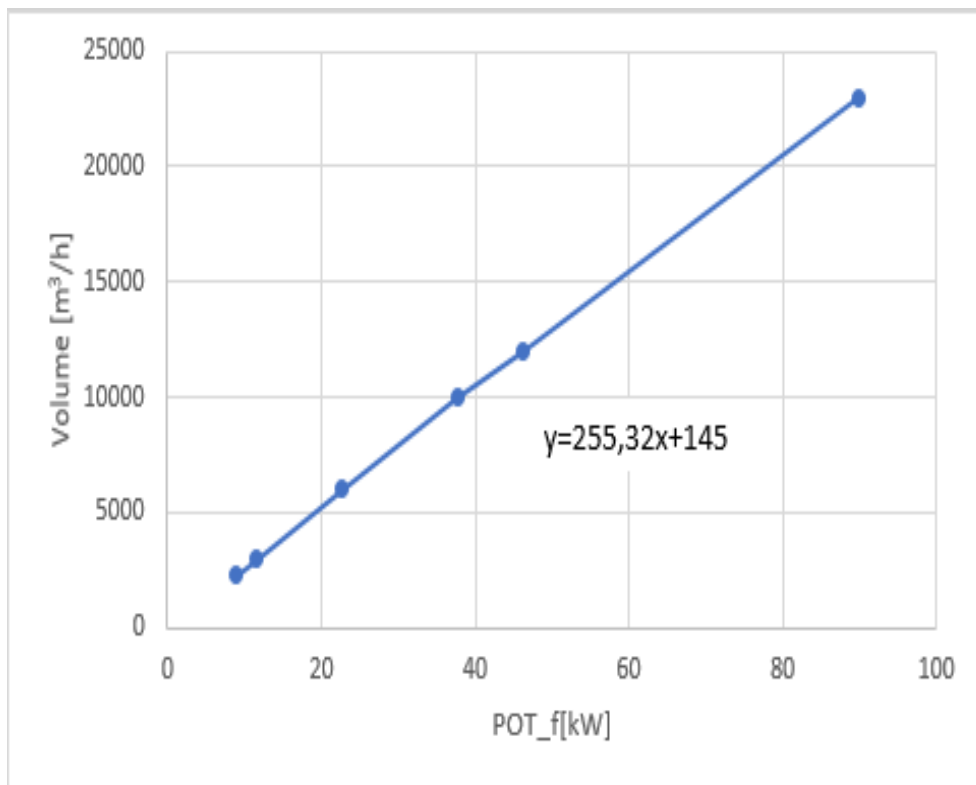
La portata d'aria varia in modo lineare con la potenza lungo una retta di equazione definita da

$$y=255,32x+145 \quad 4.7$$

Dove con x si va ad indicare la potenza frigorifera del modulo, imponendo che la potenza scambiata dell'aria sia sempre maggiore o uguale al carico frigorifero

$$\frac{255,32 * P_f + 145}{3600} * \rho * c_p * \Delta T \geq P_f \quad 4.8$$

Si ottiene che il più basso valore di ΔT tra l'aria fredda in ingresso e il dispositivo da raffreddare per il quale la relazione è sempre verificata è di 12 gradi, a conferma di quanto affermato dal fornitore.



**Figura 4.13** Relazione tra potenza frigorifera e portata d'aria dei moduli del fornitore

La differenza di temperatura considerata è ragionevole anche nel caso di free cooling indiretto, dove l'aria esterna cede il calore a quella interna in uno scambiatore aria-aria: nell'ipotesi di avere densità e portata costanti nei due flussi e considerando un rendimento dello scambiatore che va a diminuire il raffreddamento del flusso caldo, la temperatura di ingresso lato aria interna risulterebbe appena fuori dalla zona di funzionamento raccomandata dall'ASHRAE ma comunque nella zona A1 nel diagramma psicometrico.

La gestione delle condizioni dell'aria di raffreddamento per mezzo di controlli sull'umidità o con affidamento a un sistema indiretto dipendente comunque dalle caratteristiche della sala server, in quanto la robustezza dell'hardware moderno è maggiore di quella di solo pochi anni fa e il funzionamento è garantito in un range di temperatura e umidità piuttosto ampio, per cui un rinnovo frequente delle attrezzature (ogni 3-5 anni) esclude lo svilupparsi di degradi significativi. Un'eccezione è costituita dalle unità a nastro magnetico che necessitano di un'umidità controllata [40]

## 4.6 Scelta del numero di unità e assegnazione dei costi

Per l'assegnazione dei costi si sono considerati 6 modelli comunicati dal fornitore indicati in figura 4.14. In ogni modello si ha, oltre all'unità free cooling, una serie di componenti aggiuntivi come un sensore antipioggia, il sistema di controllo con display, un modulo di immissione dell'aria, i filtri e i moduli di estrazione. Per la valutazione economica sono stati considerati i prezzi dei diversi componenti a cui si sono aggiunti i costi per l'installazione, manutenzione, trasporto ed eventuale estensione di garanzia per ogni unità a seconda della sua potenza. Si procede quindi al calcolo del numero di unità di ciascuna taglia in base alla potenza frigorifera necessaria in input, così da ottenere il minor numero di unità possibili che garantisca una potenza frigorifera maggiore o uguale a quanto richiesto. Le sei potenze disponibili in base ai modelli sono: 9; 11,6; 22,7; 37,6; 46,2; 90. Se consideriamo il carico frigorifero di 650 kW per coprirlo interamente si possono utilizzare 8 unità di potenza frigorifera 90kW

Il calcolo dei costi delle unità viene riportata di seguito grazie ai dati del fornitore per i diversi modelli utilizzati.

Fornitore	Taglia	Dimensioni. mm	Portata d'aria massima	P frigo FC (Delta 12k)	Assorbimento elettrico	EER FC	Unità free cooling	Sensore antipioggia	Display Cold Fire	Sistema di controllo	modulo estrattore
			m <sup>3</sup> /h	kWf	kWe		€ cad.	€ cad.	€ cad.	€	€ cadauno
MTA	FCM 006	FCM006	2.300	9	0,215	41,9	1.950,00	55,00	1.250,00	compreso	0
MTA	FC 030	750x500h1950	3.000	11,6	0,3	38,7	3.900,00	55,00	1.250,00	compreso	1.100,00
MTA	FC 060	750x750h1950	6.000	22,7	1,51	15,0	4.400,00	55,00	1.250,00	compreso	1.850,00
MTA	FC 080	844x890h1970	6000	30,8	2	15,4	4.950,00	55,00	1.250,00	compreso	1.850,00
MTA	FC 120	1200x890h1970	12.000	46,2	3	15,4	6.450,00	55,00	1.250,00	compreso	1.850,00
MTA	FC 180	1750x890h1970	18000	70	4	17,5	7.990,00	55,00	1.250,00	compreso	1.850,00
MTA	FC 080	844x890h1970	10.000	37,6	2	18,8	4.950,00	55,00	1.250,00	compreso	1.850,00
MTA	FC 180	1750x890h1970	23.000	90	4	22,5	7.990,00	55,00	1.250,00	compreso	1.850,00

Trasporto	TOT	Estensione di garanzia	Installazione			Manutenzione
€		€	€ cad. inst. Std	€ cad. max. 5 mt	€ cad. inst. Estrattore	
150,00	3.405,00	6%	2.500,00	0	0	600
150,00	6.455,00	6%	4.500,00	1.000,00	600,00	800
150,00	7.705,00	6%	6.500,00	1.200,00	800,00	900
150,00	8.255,00	6%	6.500,00	1.200,00	800,00	900
200,00	9.805,00	6%	6.500,00	1.600,00	800,00	1100
200,00	11.345,00	6%	7.500,00	1.900,00	800,00	1250
150,00	8.255,00	6%	6.500,00	1.200,00	800,00	900
200,00	11.345,00	6%	7.500,00	1.900,00	800,00	1250

Figura 4.14 Costi dei dispositivi free-cooling da catalogo del fornitore

Di seguito si vanno poi a valutare i costi in riferimento al caso di studio considerato, con l'utilizzo di 8 unità FC180 di MTA

MODELLO	FC 180					
ANNO		0	1	2	3	4
n° UNITA'		8				
COSTO UNITA'	63.920,00 €					
TRASPORTO	1.600,00 €					
INSTALLAZIONE	60.000,00 €					
SENSORE ANTIPIOGGIA	440,00 €					
DISPLAY	10.000,00 €					
GARANZIA	3.835,20 €					
MANUTENZIONE		10.000,00 €	10.000,00 €	10.000,00 €	10.000,00 €	10.000,00 €
TOTALE COSTI	139.803,20 €					

Figura 4.15 Analisi dei costi di installazione totali

## 4.7 Calcolo dei risparmi ed analisi economica

Il calcolo del consumo prima dell'intervento con applicazione del free è analogo come procedimento a quello svolto con l'applicazione della tecnologia e nell'ipotesi che il data center lavori per tutte le 8760 ore dell'anno al carico nominale senza mai utilizzare i dispositivi free-cooling e viene definito da:

$$consumo_{pre} = \frac{8760 * P_f}{SEER} \quad [kWh] \quad 4.9$$

Noti i coefficienti di prestazione e le ore di funzionamento in free-cooling, anche i consumi post-intervento sono facilmente calcolabili grazie alla formula del consumo<sub>post</sub> qui riproposta

$$consumo_{post} = \left[ (8760 - ore_{FC}) * \frac{P_f}{SEER} \right] + \left( ore_{FC} * \frac{P_f}{EER_{FC}} \right) \quad [kWh] \quad 4.10$$

Dove il consumo post intervento è dato dalla somma delle ore di utilizzo in modalità free cooling (consumo fc) ed in modalità non free-cooling (consumo nfc).

RACK=50	consumo nfc(kWh)	consumo fc(kWh)	consumo pre(kWh)	consumo post(kWh)	risparmio(kWh)	risparmio%
CITTA'						
PADOVA	302335,5	171368,9	936513,2	473704,4	462808,7	49,42%
MILANO	364769,7	154497,8	936513,2	519267,5	417245,6	44,55%
FIRENZE	349054,3	158744,4	936513,2	507798,7	428714,4	45,78%
ROMA	415444,1	140804,4	936513,2	556248,5	380264,6	40,60%
NAPOLI	408708,9	142624,4	936513,2	551333,3	385179,8	41,13%
PALERMO	494021,4	119571,1	936513,2	613592,5	322920,7	34,48%

Figura 4.16 Valutazione dei risparmi nelle città considerate

E' poi possibile procedere al calcolo riguardante i risparmi annuali in kWh, risparmio % ed euro risparmiati complessivamente

$$risparmio_{kWh} = consumo_{pre} - consumo_{post} \quad [kWh] \quad 4.11$$

$$risparmio_{\%} = \left( \frac{risparmio_{kWh}}{consumo_{pre}} \right) * 100 \quad [\%] \quad 4.12$$

$$risparmio_{euro} = risparmio_{kWh} * p_{el} \quad [€] \quad 4.13$$

$$risparmio_{tep} = risparmio_{kWh} * 0,000187 \quad [tep] \quad 4.14$$

$$risparmio_{CO_2} = \frac{(0,65 * risparmio_{kWh})}{100} \quad [ton] \quad 4.15$$

Dove si ricorda che  $p_{el}$  è il prezzo dell'energia elettrica; 0,000187 è il fattore di conversione da kWh a tonnellate equivalenti di petrolio ed in riferimento all'ultima formula si ha che mediamente per produrre un kWh elettrico vengono bruciati l'equivalente di 2,56 kWh sotto forma di combustibili fossili e di conseguenza emessi nell'aria circa 0,65 kg di anidride carbonica. [41]

CITTA'	risparmio (kWh)	costo kWh	risparmio €	risparmio tep	risparmio CO <sub>2</sub> (t)
PADOVA	462696,0	0,18	83.285,28 €	86,5	300,8
	462696,0	0,2	92.539,20 €	86,5	300,8
	462696,0	0,22	101.793,12 €	86,5	300,8
MILANO	417144,0	0,18	75.085,92 €	78,0	271,1
	417144,0	0,2	83.428,80 €	78,0	271,1
	417144,0	0,22	91.771,68 €	78,0	271,1
FIRENZE	428610,0	0,18	77.149,80 €	80,2	278,6
	428610,0	0,2	85.722,00 €	80,2	278,6
	428610,0	0,22	94.294,20 €	80,2	278,6

ROMA	380172,0	0,18	68.430,96 €	71,1	247,1
	380172,0	0,2	76.034,40 €	71,1	247,1
	380172,0	0,22	83.637,84 €	71,1	247,1
NAPOLI	385086,0	0,18	69.315,48 €	72,0	250,3
	385086,0	0,2	77.017,20 €	72,0	250,3
	385086,0	0,22	84.718,92 €	72,0	250,3
PALERMO	322842,0	0,18	58.111,56 €	10,9	209,8
	322842,0	0,2	64.568,40 €	10,9	209,8
	322842,0	0,22	71.025,24 €	10,9	209,8

**Figura 4.17** Valutazione dei risparmi nelle città considerate

Partendo dai primi risparmi e dalle varie voci di costo dei dispositivi utilizzati è possibile rappresentare il business plan della tecnologia, in base al caso specifico vengono riportati sia i flussi di cassa in ingresso disponibili per il cliente, risultato delle spese per l'impianto e della remunerazione derivante dai risparmi di energia elettrica. In

conclusione sono stati calcolati anche i tre indici economici VAN, IRR e Payback che consentono di avere un quadro più chiaro e preciso sull'investimento ed i successivi tempi di recupero del denaro. Per la valutazione degli indici economici si sono considerati i flussi di cassa di risparmio di ogni città ottenuti con il costo dell'energia medio di 0,20 €/kWh.

	RISPARMIO (€)
PADOVA	92561,75
MILANO	83449,13
FIRENZE	85742,89
ROMA	76052,93
NAPOLI	77035,97
PALERMO	64584,13

**Figura 4.18** Flussi di cassa generati grazie all'installazione della tecnologia

L'analisi economica considera la valutazione della tecnologia nel modo più ampio possibile con una sensitivity analysis per diversi valori delle variabili più significative in modo da restituire un quadro che indichi in quali condizioni sia più conveniente effettuare l'intervento e quanto determinate variazioni dei parametri pesino sul risultato finale. Nell'ipotesi di tasso di attualizzazione costante, pari al 6%, nella sensitivity è presente il calcolo del payback e del suo tasso interno di rendimento considerando i seguenti parametri:

- Potenza frigorifera: in base ai valori tipici per i data center si sono considerate potenze di: 650kW;
- Prezzo dell'energia elettrica: si sono analizzati tre valori di costo dell'energia elettrica per il cliente ossia 0.18, 0.20 e 0.22 €/kWh ma per il calcolo degli indici si è usati il valore intermedio di 0.2€/kWh.
- Città: la località sede dell'intervento è di notevole importanza, in quanto a seconda di quest'ultima varia in modo significativo il numero di ore di free cooling applicabili. In questo caso si sono considerate sei città, 2 per il nord ossia Padova e Milano, due per il centro: Firenze e Roma e due per il sud: Napoli e Palermo.



La convenienza ovviamente va ad aumentare con l'aumentare del prezzo dell'energia elettrica e della taglia, segno che i maggiori costi fissi e oneri di installazione e manutenzione sono più che bilanciati dal risparmio.

	ANNO	0	1	2	3	4	5
<b>INTROITI</b>		92.561,75 €	92.561,75 €	92.561,75 €	92.561,75 €	92.561,75 €	92.561,75 €
<b>ESBORSI</b>	139.803,20 €	139.803,20 €	10.000,00 €	10.000,00 €	10.000,00 €	10.000,00 €	10.000,00 €
<b>FLUSSI DI RECUPERO</b>		- 47.241,45 €	82.561,75 €	82.561,75 €	82.561,75 €	82.561,75 €	82.561,75 €
<b>PADOVA</b>	VAN (€)	283.527,05 €					
	PB (anni)	1,510					
	IRR (%)	174%					

	ANNO	0	1	2	3	4	5
<b>INTROITI</b>		83.449,13 €	83.449,13 €	83.449,13 €	83.449,13 €	83.449,13 €	83.449,13 €
<b>ESBORSI</b>	139.803,20 €	139.803,20 €	10.000,00 €	10.000,00 €	10.000,00 €	10.000,00 €	10.000,00 €
<b>FLUSSI DI RECUPERO</b>		- 56.354,07 €	73.449,13 €	73.449,13 €	73.449,13 €	73.449,13 €	73.449,13 €
<b>MILANO</b>	VAN (€)	238.717,34 €					
	PB (anni)	1,675					
	IRR (%)	128%					

	ANNO	0	1	2	3	4	5
<b>INTROITI</b>		85.742,89 €	85.742,89 €	85.742,89 €	85.742,89 €	85.742,89 €	85.742,89 €
<b>ESBORSI</b>	139.803,20 €	139.803,20 €	10.000,00 €	10.000,00 €	10.000,00 €	10.000,00 €	10.000,00 €
<b>FLUSSI DI RECUPERO</b>		- 54.060,31 €	75.742,89 €	75.742,89 €	75.742,89 €	75.742,89 €	75.742,89 €
<b>FIRENZE</b>	VAN (€)	249996,5					
	PB (anni)	1,630					
	IRR (%)	138%					

	ANNO	0	1	2	3	4	5
<b>INTROITI</b>		76.052,93 €	76.052,93 €	76.052,93 €	76.052,93 €	76.052,93 €	76.052,93 €
<b>ESBORSI</b>	139.803,20 €	139.803,20 €	10.000,00 €	10.000,00 €	10.000,00 €	10.000,00 €	10.000,00 €
<b>FLUSSI DI RECUPERO</b>		- 63.750,27 €	66.052,93 €	66.052,93 €	66.052,93 €	66.052,93 €	66.052,93 €
<b>ROMA</b>	VAN (€)	202.347,82 €					
	PB (anni)	1,838					
	IRR (%)	100%					

	ANNO	0	1	2	3	4	5
<b>INTROITI</b>		77.035,97 €	77.035,97 €	77.035,97 €	77.035,97 €	77.035,97 €	77.035,97 €
<b>ESBORSI</b>	139.803,20 €	139.803,20 €	10.000,00 €	10.000,00 €	10.000,00 €	10.000,00 €	10.000,00 €
<b>FLUSSI DI RECUPERO</b>		- 62.767,23 €	67.035,97 €	67.035,97 €	67.035,97 €	67.035,97 €	67.035,97 €
<b>NAPOLI</b>	VAN (€)	207.181,74 €					
	PB (anni)	1,815					
	IRR (%)	104%					

	ANNO	0	1	2	3	4	5
<b>INTROITI</b>		64.584,13 €	64.584,13 €	64.584,13 €	64.584,13 €	64.584,13 €	64.584,13 €
<b>ESBORSI</b>	139.803,20 €	139.803,20 €	10.000,00 €	10.000,00 €	10.000,00 €	10.000,00 €	10.000,00 €
<b>FLUSSI DI RECUPERO</b>		- 75.219,07 €	54.584,13 €	54.584,13 €	54.584,13 €	54.584,13 €	54.584,13 €
<b>PALERMO</b>	VAN (€)	145.952,04 €					
	PB (anni)	2,165					
	IRR (%)	67%					

Figura 4.19 Valutazione indici economici

## 4.8 VALIDAZIONE

La tipologia della tecnologia e la struttura dell'algoritmo, costruito sulle informazioni tecniche comunicate dai fornitori, rendono difficoltosa una procedura di validazione per il confronto dei risultati. I risparmi che si possono ottenere derivano, oltre che dalla configurazione del sistema che può prevedere il funzionamento in free-cooling totale o

anche parziale, anche dai livelli di temperatura a cui il sistema viene attivato, che a loro volta dipendono dai setting della struttura. A questo va aggiunto il fatto che non erano disponibili in azienda dati su casi reali.

#### 4.8.1 DESCRIZIONE DEL CASO REALE

La validazione è stata riferita ad un caso reale contenuto nel documento “Casi di studio di buona pratica di data center e sale server efficienti” pubblicato nell’ambito del progetto europeo IEE PrimeEnergyIT [32] e che riguarda l’applicazione della tecnologia free-cooling in un centro di elaborazione dati della catena di supermercati Esselunga, dove si trovano 43 rack e 110 server. Il sistema prevede il raffrescamento utilizzando l’aria ambiente con temperature fino a 17°C, con un totale di 6000 ore annue di funzionamento in modalità free-cooling. In tabella sono elencate le caratteristiche del progetto riportate nel documento.

	PRE-INTERVENTO	POST INTERVENTO
Potenza frigorifera [kW]		80
Superficie [m <sup>2</sup> ]		240
Temperatura ambiente [°C]	23	25
Temperatura set-point CRAC [°C]	20	24
Ore annuali free cooling		6000
PUE	1,85	1,3

**Tabella 4.3** Dati dell’intervento reale preso a riferimento per la validazione

### 4.9 RISULTATI

Il risparmio conseguito grazie all’applicazione del free cooling in questo caso di studio è espresso sottoforma di riduzione del PUE(-30%), mentre i dati restituiti grazie all’algoritmo consentono di individuare il risparmio elettrico, con il legame tra questi due parametri costituito dal contributo della refrigerazione rispetto ai consumi elettrici di tutti i componenti della sala server. Nell’ipotesi che gli altri fattori di consumo restino costanti e che i consumi elettrici per il raffreddamento costituiscano il 45% del totale, la diminuzione del PUE del 30% determina una diminuzione dei consumi elettrici di

$$\frac{30\%}{45\%} = 66\%$$

Se considero le formule utilizzate nell’applicazione dell’algoritmo con l’inserimento delle condizioni iniziali del caso analizzato nel nostro caso di studio e le ore di free

cooling pari a quelle dell'intervento proposto per la validazione viene restituito un rapporto tra energia elettrica consumata dopo e prima dell'intervento pari a:

$$\frac{P_f * \frac{6000}{22,5} + P_f * \frac{8760 - 6000}{6,08}}{P_f * \frac{8760}{6,08}} = 50\% \quad 4.16$$

Corrispondente quindi ad un risparmio del 50%, inferiore del 16% rispetto al caso reale. Questo è indipendente dalla potenza frigorifera e viene calcolato a partire dalle ore di funzionamento in free cooling e dai coefficienti di prestazione, che in questo caso non erano noti e assumono i valori assegnati dall'algoritmo, ossia 6,08 per impianto tradizionale e 22,5 con applicazione del free cooling totale.

Questa validazione è da intendersi orientata alla sola valutazione dell'ordine di grandezza dei risparmi stimati, perché come detto la mancanza di alcuni dati di input e le diverse caratteristiche del sistema in esame rispetto a quello dell'algoritmo impediscono una valutazione più precisa, con un'incertezza dovuta ai seguenti fattori:

- I risparmi elettrici ottenuti nel caso reale sono stati ipotizzati a partire dalla diminuzione del PUE e dall'assunzione che i consumi per la refrigerazione pesino per circa il 45%, dato confermato da numerose fonti scientifiche
- Il SEER del sistema senza free cooling non era noto ed è stato calcolato autonomamente
- Come si osserva dalla tabella 4.3 l'intervento preso in considerazione per validare l'algoritmo non riguarda solamente l'applicazione del free-cooling ma anche un innalzamento della temperatura di set-point e dell'ambiente interno, aspetto che contribuisce all'aumento dell'efficienza e fa sì che il contributo derivante dal solo free-cooling sia inferiore a quello calcolato, dato che non è l'unico intervento che ha portato ad un incremento del PUE.

# CAPITOLO 5

## 5 Soluzioni rapide di efficientamento energetico

Per migliorare l'efficienza energetica dei centri informatici spesso risulta molto utile sviluppare soluzioni più rapide e meno gravose da un punto di vista economico rispetto a quelle viste in precedenza del recupero di calore e del sistema free-cooling.

Non sempre infatti le aziende sono disposte ed hanno la possibilità di effettuare grandi investimenti, soprattutto se si considerano data center di piccola taglia o con bassi carichi, dove magari queste tecnologie tendono a risultare anche meno vantaggiose. Di conseguenza è fondamentale avere a disposizione anche altre tecniche, veloci ed economiche, per ridurre nell'immediato i consumi del centro informatico senza ricorrere a nuove installazioni o a particolari modifiche dei centri di lavoro.

Di conseguenza in queste ultime due soluzioni considerate risulta fondamentale l'analisi del funzionamento del centro ed i suoi limiti di utilizzo, che se sfruttati intelligentemente, possono portare a risparmi praticamente gratuiti.

### 5.1 L'utilizzo di tende flessibili nei corridoi

La gestione del flusso d'aria a livello di rack può prevenire fino al 60% della perdita di flusso d'aria e contribuire a ridurre al minimo la commistione di flusso d'aria fredda e calda in un data center. Uno dei metodi più convenienti ed efficaci per contenere il flusso d'aria e quindi controllare i costi di raffreddamento è quello di contenere i corridoi dei server utilizzando tende flessibili o pannelli di contenimento rigidi a livello del soffitto. Questi sono situati nella parte superiore dei rack del server e intorno alle aperture nei rack del server. Le barriere di contenimento nei corridoi dei server controllano il percorso dei flussi di alimentazione dell'aria fredda e lo scarico caldo verso i condotti di ritorno isolando i flussi d'aria. Nel contenimento del corridoio freddo il flusso d'aria fredda generato dai sistemi di condizionamento spinge l'aria calda generata dalle unità server all'esterno dell'area di contenimento.

Il contenimento del flusso d'aria mediante tende e pannelli rigidi per i rack dei server è un modo semplice ed economico per aiutare i corridoi del data center a mantenere temperature costanti per le condizioni operative dell'hardware e fornire un clima vivibile per il personale IT. Altre soluzioni di blocco dell'aria come pannelli di chiusura, porte a tenuta d'aria, cubi barriera in schiuma e passacavi per pavimento riducono le perdite all'interno dei rack dei server per creare ulteriormente un sistema di contenimento del

flusso d'aria basato su rack. I prodotti per il contenimento dei corridoi server forniscono un mezzo collaudato per controllare il flusso d'aria per risparmiare energia e ottimizzare la funzionalità delle apparecchiature del data center.



**Figura 5.1** Esempio di tende flessibili nei rack

Il miglior metodo di contenimento per un determinato sito dipende solitamente dalla posizione delle prese d'aria fredda e dei condotti di ritorno dell'aria calda. Se si ha la possibilità di costruire un nuovo data center invece si può pensare di creare una disposizione di rack scalabile, non solo per soddisfare le esigenze attuali, ma anche per espandere facilmente l'infrastruttura del data center in caso di bisogno negli anni successivi. Per proteggere gli investimenti IT e migliorare le prestazioni delle unità server ogni azienda deve comprendere in che modo il contenimento del corridoio e le barriere di blocco dell'aria forniscono la migliore dinamica del flusso d'aria di controllo della temperatura a livello del corridoio del data center.

Il data center in alcuni casi potrebbe essere soggetto a scariche elettrostatiche quando un accumulo di carica positiva o negativa si accumula e drena gli oggetti. Questi oggetti emettono una carica che spesso crea una scintilla elettrica; persone in movimento nel centro, collegamenti scadenti, messa a terra inadeguata, guasto del dielettrico, cortocircuito elettrico o altri fattori potrebbero causare la scarica. Se questa scintilla si

verifica vicino ad apparecchiature elettroniche, ad esempio nei corridoi dei server o all'interno o intorno ai rack che contengono i server, i risultati possono essere dannosi. Server e altre apparecchiature ad alta potenza e costosi potrebbero subire danni permanenti anche con tensioni di scariche elettrostatiche inferiori.

Tuttavia è possibile evitare che ciò accada usando una particolare tipologia di tende flessibili, le tende ESD. Le tende a strisce ESD utilizzano un materiale vinilico trasparente antistatico che drena le cariche positive o negative in eccesso. Le tende ESD sono comunemente utilizzate nelle "camere bianche", dove il lavoro con semiconduttori microelettronici e altri processi di produzione di tipo elettronico sono sensibili all'elettricità.

Gli ESD sono pannelli per tende e porte a strisce morbide e semiflessibili utilizzati per la gestione del flusso d'aria e per progetti di data center esteticamente gradevoli. I pannelli a parete morbida sono costituiti da un materiale vinilico ignifugo e consentono di limitare il flusso d'aria e fornire opzioni di sigillatura che creano una chiusura ermetica attorno ai rack del server e alle pareti per impedire l'ingresso di contaminanti o la fuoriuscita di aria condizionata. Per adattarsi alla configurazione di gestione del flusso d'aria si possono trovare tende personalizzate in base alle dimensioni e ai requisiti del flusso d'aria specifici. Una scarica elettrica potrebbe danneggiare i componenti critici del data center e questi addebiti potrebbero non essere evidenti di giorno in giorno accumulandosi poi nel tempo. L'aumento di questa corrente elettrica, potrebbe poi rappresentare una seria minaccia per i server. Per proteggere completamente il data center serviranno tende ESD in grado di fornire livelli elevati di resistenza all'accumulo statico. Poiché queste tende possono aiutare a prevenire danni ingenti ai server, rappresentano in definitiva un'altra misura di risparmio sui costi per il data center. È meglio assicurarsi che le tende ESD siano composte da componenti antistatici progettati per durare a lungo. [42]

## **5.2 Corridoi caldi e freddi nel data center**

Quando si costruisce e si progetta un data center è importante conoscere le migliori opzioni per garantire l'efficienza, soprattutto quando si tratta di scegliere il contenimento del corridoio caldo o freddo. Si deve considerare l'efficienza energetica, il clima in cui è inserito il centro, quante infrastrutture sono presenti e dove saranno posizionate ed altri aspetti della struttura. Imparare le differenze tra il contenimento del corridoio caldo e freddo è il primo passo per decidere quale sia la scelta giusta per il data center. I corridoi freddi funzionano dirigendo in modo efficiente l'aria fredda verso

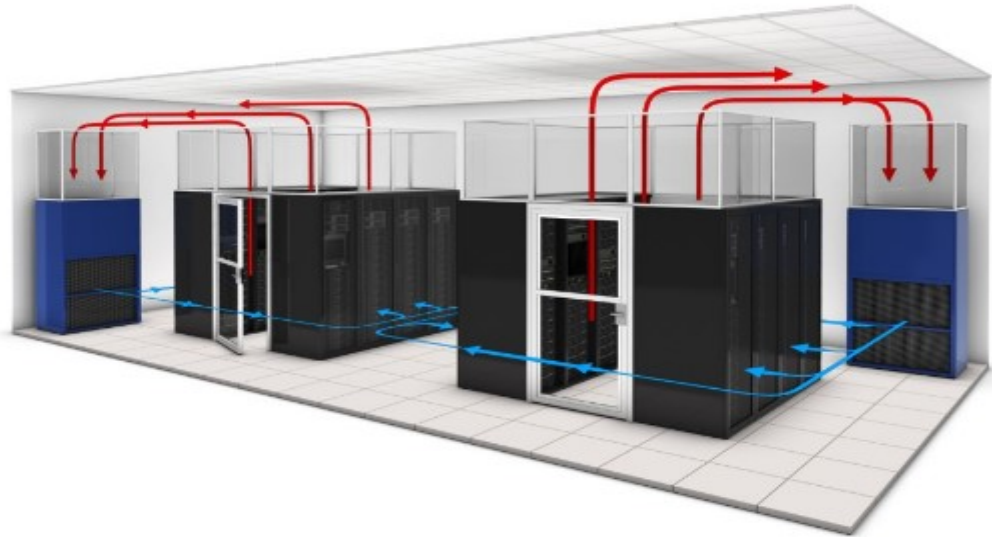
la parte anteriore dei server, dove viene trascinata attraverso i server in un corridoio caldo o in uno spazio vicino a un ritorno dell'aria calda per essere nuovamente raffreddata. Il contenimento del corridoio freddo è l'ideale per raffreddare parti specifiche della stanza, ad esempio dove sono installati i server, il che può far risparmiare molta energia.

In una configurazione di contenimento del corridoio freddo gli armadi dei server sono posizionati con le parti posteriori che generano calore all'esterno dell'enclosure e l'aria raffreddata è contenuta nella parte anteriore dei rack dei server. I pannelli o le porte creano un involucro pieno di aria raffreddata. Contenendo l'aria raffreddata nella parte anteriore del rack del server, ci sono minori possibilità di surriscaldamento. Quando vengono utilizzate le porte del data center, le tende o i pannelli nei corridoi, si potrà contare sul fatto che l'aria fredda e quella calda rimangano separate.



**Figura 5.2** Esempio contenimento del flusso di aria fredda

La configurazione con corridoi caldi crea un corridoio tra i server in cui il calore può fuoriuscire. Con i corridoi caldi, l'aria calda viene catturata in modo efficiente e convogliata di nuovo al sistema di condizionamento dell'aria della sala computer o CRAC. Questa configurazione impedisce anche il "surraffreddamento" delle aree, poiché riduce al minimo il ciclo breve dell'aria più fredda. A sua volta, questo modello consente anche di utilizzare meno aria condizionata.



**Figura 5.3** Esempio di contenimento del flusso di aria calda

Sia che si decida di implementare il contenimento del corridoio caldo o freddo, una cosa è certa: il contenimento delle diverse temperature è essenziale e se sono presenti punti caldi o freddi, potrebbe essere necessario regolare il flusso d'aria e la sua portata. [43] Il contenimento del corridoio nei data center è essenziale per qualsiasi organizzazione o azienda che disponga di una notevole quantità di server, perché oltre a mantenere le apparecchiature in funzione ai massimi livelli di prestazioni, il contenimento può aiutare a conseguire notevoli risparmi sulle bollette energetiche.

## **5.3 Algoritmo di stima dei risparmi**

### **5.3.1 Risparmi elettrici conseguibili con la separazione dei flussi**

Nell'implementazione dell'algoritmo per il risparmio elettrico con la separazione dei flussi di aria grazie all'utilizzo di tende flessibili si sono fatte alcune considerazioni al fine di ottenere un modello che permetta di indicare un consumo ed un risparmio di massima, partendo dagli input immessi in un foglio Excel.

Una iniziale semplificazione del metodo riguarda l'analisi del consumo energetico totale del centro informatico, infatti non si considera il consumo elemento per elemento, dato che non si hanno a disposizione sufficienti informazioni, ma si valuta la riduzione percentuale nel consumo di energia elettrica a seconda della grandezza del sistema e del numero di rack presenti. Nel funzionamento reale infatti ad ogni variazione della temperatura nei corridoi caldi o freddi corrisponde una continua modifica dei valori del



consumo energetico, che viene calcolata con appositi software, e di conseguenza anche variazioni economiche.

La spesa energetica nei data center dove si ha una disposizione corridoio caldo/corridoio freddo secondo i dati di Energy Star, programma governativo statunitense per promuovere la conservazione dell'energia migliorando l'efficienza dei prodotti di consumo, può essere ridotta fino al 5-10%. Inoltre il contenimento dei corridoi può ridurre l'energia dei sistemi di ventilazione dal 20 al 25% offrendo un risparmio energetico di circa il 20% per il refrigeratore. [44]

Non essendoci formulazioni specifiche per calcolare il risparmio conseguibile con l'utilizzo di tende flessibili si è andati a valutarne il montaggio su due data center realmente esistenti, uno di piccole dimensioni e l'altro di medie dimensioni secondo le valutazioni di risparmio, prima considerate, di Energy Stars.

### 5.3.2 Caratteristiche operative e tecniche dei data center considerati

Di seguito si vanno a considerare e riportare i dati tecnici dei due data center su cui si basa il calcolo, questi dati come detto sono riferiti a dei casi reali, contenuti nel documento "Casi di studio di buona pratica di data center e sale server efficienti" pubblicato nell'ambito del progetto europeo IEE PrimeEnergyIT [32]

Superficie del data center:	450 m <sup>2</sup>
Numero di rack:	62
Carico elettrico IT (kW):	900 kW
Periodo di implementazione:	2010
Contatto per informazioni:	Dr. Peter Koch Emerson Network Power Knürr GmbH peter.koch@emerson.com

Sistema	
Consumi di energia	7,57 GWh/anno, 20,76 MWh/giorno
Efficienza energetica del sistema basata su metriche standard	PUE = 1,505
Efficienza energetica a livello IT basata su metriche standard	30.86 MFLOP/W

**Figura 5.4** Caratteristiche tecniche data center Università di Dresda

Questi dati sono riferiti ad un data center di piccole dimensioni installato all'interno dell'Università Tecnica di Dresda, in Germania, dove si ha un sistema di raffreddamento dei server composto da una combinazione di sistemi a rack aperti e chiusi (con unità CRAC), di seguito nelle altre due tabelle invece si è considerato un centro IT di medie dimensioni; i dati sono forniti da ALTRON, azienda che offre servizi di consulenza e soluzioni per data center; il centro informatico si trova in Repubblica Ceca.

Superficie del data center:	1 800 m <sup>2</sup>
Numero di rack:	300
Carico elettrico IT (kW):	1 150 kW
Periodo di implementazione:	2010 – 2011
Livello di Tier:	III
Contatto per informazioni:	Altron a.s. +420 261 309 111

Sistema	Vecchio	Nuovo
Consumi ICT e non-ICT	20,25 GWh/anno	15,21 GWh/anno
Consumi ICT	10,07 GWh/anno	10,07 GWh/anno
Efficienza energetica del sistema basata su metriche standard (PUE)	2,01	1,51

**Figura 5.5** Caratteristiche tecniche data center in Repubblica Ceca

Per l'analisi della tecnologia con tende flessibili nel secondo esempio di data center si è fatto riferimento al consumo dopo l'efficientamento energetico ossia quello relativo al nuovo sistema. Di seguito si va a riportare una tabella riassuntiva con le caratteristiche dei due centri operativi e il risparmio percentuale previsto con la gestione dei flussi di aria secondo le indicazioni di Energy Star.

LUOGO	Repubblica Ceca	Dresda, GER
RACK	300	62
CARICO IT(kW)	1150	900
Densità di Pot(kW/rack)	3,83	14,52
Consumo energetico annuo(GWh/anno)	15,21	7,57

**Figura 5.6** Confronto dei consumi dei due data center

Come si può notare dal risparmio elettrico il data center di piccole dimensioni riesce comunque a risparmiare una quantità di energia molto elevata, praticamente la metà del data center di grandi dimensioni, anche se ha molti meno rack; questo perché la densità

di potenza del centro IT di Dresda risulta essere molto più elevato, richiedendo quindi una quantità di energia per il suo funzionamento in proporzione più elevata.

### 5.3.3 Analisi dei risparmi

Prima di considerare l'analisi dei costi e dei successivi risparmi è doveroso specificare due ipotesi fondamentali per la realizzazione di questo intervento:

- Si consideri un data center già progettato e predisposto per la gestione e la separazione dei flussi di aria calda e fredda e che consenta inoltre un montaggio semplice e rapido delle tende flessibili su ogni rack
- Per la scelta delle tende si considerino le misure tipiche di un rack per data center industriali. Le dimensioni prevalenti dei rack IT sono infatti 600 mm (24 pollici) di larghezza, 1070 mm (42 pollici) di profondità e 42U di altezza.

L'altezza di 42U corrisponde all'unità di misura rack unit, utilizzata nell'industria informatica e dei data center, che corrisponde ad un'altezza di circa 1,87m. La diffusione di apparecchiature IT più profonde e l'incremento della densità dei cavi e della potenza, tuttavia, implica la necessità di rack più profondi, più larghi e più alti, oltre a una gamma più vasta di accessori. [45]

Questo perché in caso non fossero verificate le seguenti condizioni i costi per la realizzazione dell'intervento potrebbero variare, ed in caso si debba predisporre alla separazione dei flussi di aria un data center non progettato ad hoc per questa tecnica i costi aumenterebbero notevolmente, in quanto si dovrebbe andare a modificare la posizione o la locazione di determinate apparecchiature e componenti delle sale, dovendo poi adattare anche i sistemi di raffreddamento o di smaltimento del calore.

### 5.3.4 Stima dei risparmi conseguibili

E' quindi poi possibile procedere al calcolo riguardante i risparmi annuali in kWh, energia primaria ed euro risparmiati complessivamente, considerando successivamente i costi delle tende flessibili

$$\text{risparmio}_{GWh} = \text{consumo energetico}_{pre} - \text{consumo energetico}_{post} \quad [GWh] \quad 5.1$$

Dove:

$$\text{consumo energetico}_{post} = \text{consumo energetico}_{pre} * 0,95 \quad [GWh] \quad 5.3$$

$$risparmio_{kWh} = \frac{risparmio_{GWh}}{1000} \quad [kWh] \quad 5.3$$

$$risparmio_{euro} = risparmio_{kWh} * pel \quad [€] \quad 5.4$$

$$risparmio_{tep} = risparmio_{kWh} * 0,000187 \quad [tep] \quad 5.5$$

Per il calcolo del consumo elettrico post intervento annuale si è considerato che la separazione dei flussi garantisca un risparmio pari al 5% del consumo energetico totale, secondo i dati forniti da Energy Star spiegati precedentemente. Si è utilizzato il 5% nonostante secondo le fonti i risparmi potessero arrivare fino al 10%, in via cautelativa e valutando la peggiore situazione possibile.

LUOGO	Repubblica Ceca	Dresda, GER
RACK	300	62
CARICO IT(kW)	1150	900
Densità di Pot(kW/rack)	3,83	14,52
Consumo energetico pre intervento(GWh/anno)	15,21	7,57
Consumo energetico post intervento(GWh/anno)	14,45	7,1915
Risparmio elettrico (GWh/anno)	0,7605	0,3785
Risparmio elettrico (kWh/anno)	760500	378500

**Figura 5.7** Dati tecnici e risparmi dei due data center

Per la valutazione dei risparmi, come nelle tecnologie precedenti *pel* è il prezzo dell'energia elettrica e 0,000187 il fattore di conversione che permette di passare da kWh a tonnellate di petrolio equivalente.

Di seguito la tabella con i risparmi conseguibili in un anno con l'adozione di tende flessibili, come fatto nelle tecnologie precedenti si sono presi come prezzi di riferimento dell'energia elettrica 0,18; 0,20 e 0,22€/kWh.


LUOGO	risparmio (kWh)	costo kWh	risparmio €	risparmio tep
Repubblica Ceca	760500,00	0,18	136.890,00 €	142,21
	760500,00	0,20	152.100,00 €	142,21
	760500,00	0,22	167.310,00 €	142,21

LUOGO	risparmio (kWh)	costo kWh	risparmio €	risparmio tep
Dresda	378500,00	0,18	68.130,00 €	70,78
	378500,00	0,20	75.700,00 €	70,78
	378500,00	0,22	83.270,00 €	70,78


**Figura 5.8** Valutazione dei risparmi

### 5.3.5 Calcolo dei costi per l'installazione delle tende flessibili

Per il calcolo dei costi operativi per l'acquisto, il trasporto ed il montaggio delle tende flessibili per data center si è fatto riferimento ad un preventivo dell'azienda Socepi, azienda che fornisce prodotti e macchine per imballaggio, sollevamento, magazzino, arredamento. Di seguito si vanno a riportare le caratteristiche ed i rispettivi costi associati alle tende per le due tipologie di data center considerate.

Foto	Descrizione	Quantità	Imp. Totale
	<b>Tende e chiusure flessibili a strisce PVC</b> 51000003A - prodotto personalizzato larghezza (mm) : 600 altezza (mm) : 1900 tipologia : standard struttura : zincata larghezza striscia : 300x3 colore : trasparente tipo montaggio : in-luce	62	<b>€ 4174.61</b>

**Figura 5.9** Tende flessibili per il data center di Dresda

	<b>Tende e chiusure flessibili a strisce PVC</b> 51000001A - prodotto personalizzato larghezza (mm) : 600 altezza (mm) : 1900 tipologia : standard struttura : zincata larghezza striscia : 200x2 colore : trasparente tipo montaggio : in-luce	300	<b>€ 16750.12</b>
---	---	-----	-------------------

**Figura 5.10** Tende flessibili per il data center in Repubblica Ceca

Si è fatto riferimento, come indicato dall'azienda, ad una un'unità per ogni porta, quindi per ogni rack, 62 nel caso del data center di Dresda, 300 per il centro informatico in Repubblica Ceca

Per quanto riguarda i costi aggiuntivi legati all'installazione della tecnologia si sono presi in considerazione solamente quelli per il montaggio ed il trasporto delle tende, che si attestano intorno al 15% della spesa totale del materiale acquistato secondo i dati forniti dall'azienda. Per la manutenzione viene considerata una spesa annuale pari al 5% del costo iniziale. Una volta a conoscenza dei prezzi è possibile sviluppare un foglio

consuntivo con l'analisi economica dell'intervento; per il calcolo dei risparmi si è fatto riferimento ad un prezzo dell'energia elettrica di 0,2 €/kWh mentre il tasso di sconto per il calcolo del VAN è stato assunto come nel caso del free cooling pari al 6%.

LUOGO	DRESDA					
MODELLO	tenda PVC					
ANNO	0	1	2	3	4	5
n° UNITA'	62					
COSTO UNITA'	4.174,61 €					
TRASPORTO	333,97 €					
INSTALLAZIONE	333,97 €					
MANUTENZIONE	- €	208,73 €	208,73 €	208,73 €	208,73 €	208,73 €
TOTALE	4.842,55 €					

	ANNO	0	1	2	3	4	5
INTROITI		75.700,00 €	75.700,00 €	75.700,00 €	75.700,00 €	75.700,00 €	75.700,00 €
ESBORSI	4.842,55 €	4.842,55 €	208,73 €	208,73 €	208,73 €	208,73 €	208,73 €
FLUSSI DI RECUPERO		70.857,45 €	75.491,27 €	75.491,27 €	75.491,27 €	75.491,27 €	75.491,27 €
	VAN (€)	366.843,53 €					
DRESDA	PB (anni)	0,064					

LUOGO	REPUBBLICA CECA					
MODELLO	tenda PVC					
ANNO	0	1	2	3	4	5
n° UNITA'	300,00 €					
COSTO UNITA'	16.750,12 €					
TRASPORTO	1.340,01 €					
INSTALLAZIONE	1.340,01 €					
MANUTENZIONE	- €	837,51 €	837,51 €	837,51 €	837,51 €	837,51 €
TOTALE	19.430,14 €					

	ANNO	0	1	2	3	4	5
INTROITI		152.100,00 €	152.100,00 €	152.100,00 €	152.100,00 €	152.100,00 €	152.100,00 €
ESBORSI	19.430,14 €	19.430,14 €	837,51 €	837,51 €	837,51 €	837,51 €	837,51 €
FLUSSI DI RECUPERO		132.669,86 €	151.262,49 €	151.262,49 €	151.262,49 €	151.262,49 €	151.262,49 €
	VAN (€)	726266,5					
REPUBBLICA CECA	PB (anni)	0,128					

**Figura 5.11** Analisi economica

Per la valutazione degli indici economici si consideri un flusso di cassa costante negli anni, anche se ovviamente il risparmio, a seconda di vari fattori sia legati al funzionamento del data center che al costo dell'energia elettrica potrebbe variare nel corso degli anni.

Come si può notare dalle tabelle sottostanti il tempo di ritorno dell'investimento, ossia il PayBack è praticamente immediato, in quanto per il guadagno in termini di risparmio elettrico e quindi economico sono notevolmente maggiori del costo delle tende flessibili e della loro installazione. Di conseguenza, soprattutto nei data center moderni diviene di fondamentale importanza una progettazione preliminare che consenta di adattare il centro alla possibilità di sfruttamento dei corridoi caldi e freddi.

## 5.4 L'aumento di temperatura di set point nei chiller dei data center

C'è un chiaro trend che sta diventando comune nell'industria dei data center: innalzare le temperature dei server aiuta ad abbattere i costi energetici. Recenti studi hanno infatti dimostrato che un aumento, anche sensibile, delle temperature interne degli ambienti IT, può contribuire a tagliare la spesa energetica dell'edificio senza compromettere la funzionalità delle macchine. [46]

### 5.4.1 Generalità sui chiller e la produzione del freddo

Le principali tecnologie per la produzione del freddo sono basate su cicli termodinamici inversi, nei quali si trasferisce calore da una sorgente a minor temperatura a una a temperatura più elevata. In natura il calore passa in modo spontaneo da un corpo a temperatura maggiore a uno a temperatura minore, fino a raggiungere l'equilibrio; a causa delle irreversibilità che caratterizzano ogni trasformazione reale, il passaggio di calore in senso inverso è possibile solamente fornendo un lavoro dall'esterno. Questo concetto rappresenta uno dei modi per esprimere il Secondo principio della Termodinamica, e corrisponde all'enunciato di Clausius [47]:

“E' impossibile costruire una macchina operante secondo un processo ciclico, il cui unico effetto sia il trasferimento di calore da un corpo a temperatura più bassa ad un corpo a temperatura più elevata”

Secondo la convenzione solitamente adottata si considera il lavoro positivo se compiuto dal sistema sull'ambiente e negativo in caso si verifichi l'esatto contrario, mentre il calore è considerato positivo se viene assorbito dal sistema. Di conseguenza nei cicli inversi risulta essere negativa la somma algebrica del calore scambiato dalla macchina con le due sorgenti (calore assorbito minore del calore ceduto), quindi assume segno negativo anche il lavoro. Tutto ciò rappresenta chiaramente l'opposto di quello che accade in un ciclo diretto dove parte dell'energia proveniente dalla sorgente di alta temperatura viene convertita in lavoro. Se si considera  $q_1$  il calore per unità di tempo ad alta temperatura,  $q_2$  quello estratto dalla sorgente a bassa temperatura e  $P_e$  la potenza fornita dall'esterno si ha:

$$|q_1| = |q_2| + |P_e| \quad 5.6$$

il parametro che misura l'efficacia dei cicli descritti è chiamato COP (Coefficient of Performance), che rappresenta il rapporto tra effetto utile e lavoro speso, e non può

essere considerato un rendimento in senso stretto dato che assume valori maggiori di 1. Se l'effetto utile è la sottrazione di calore con continuità alla sorgente fredda (macchina frigorifera):

$$COP = \frac{|q_2|}{|P_e|} = \frac{|q_2|}{|q_1| - |q_2|} \quad 5.7$$

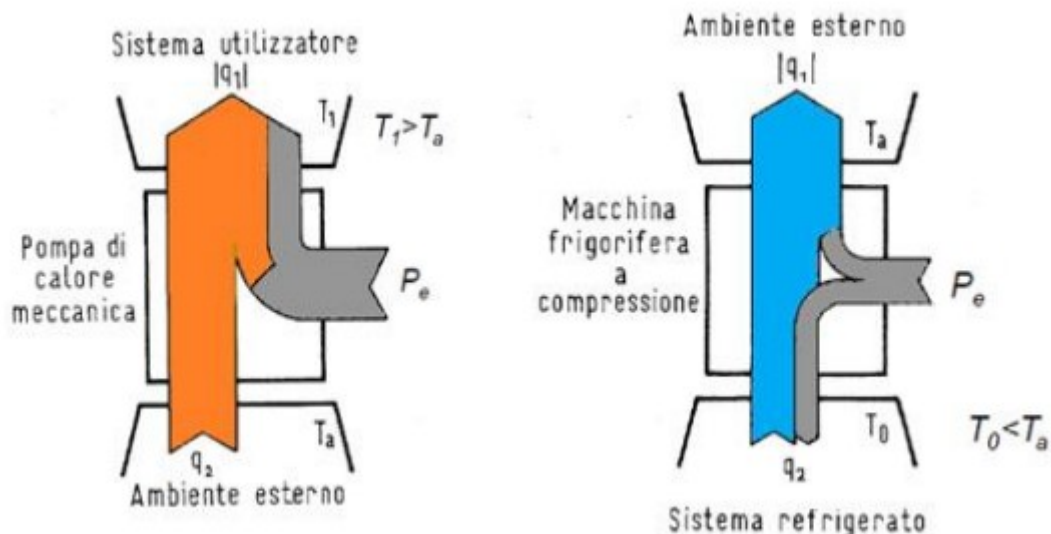
mentre se si considera la cessione del calore alla sorgente calda (pompa di calore):

$$COP' = \frac{|q_1|}{|P_e|} = \frac{|q_1|}{|q_1| - |q_2|} \quad 5.8$$

Da queste definizioni deriva la seguente formula:

$$COP' = COP + 1 \quad 5.9$$

Va ricordato che si distinguono due diverse tipologie di COP a seconda della funzione svolta dalla macchina. Nel linguaggio tecnico della termodinamica si usa il COP solamente per le pompe di calore, mentre come già visto, l'indice EER si utilizza per le macchine frigorifere.



**Figura 5.12** Livelli termici di una pompa di calore e di una macchina frigorifera. Nel secondo caso, parte dell'effetto frigorifero compensa le perdite, traducendosi in un aumento di calore

Nelle macchine a ciclo inverso le trasformazioni si rappresentano solitamente in un diagramma temperatura-entropia o pressione-entalpia, con il percorso in senso antiorario. L'effetto frigorifero e il lavoro di compressione sono facilmente visualizzabili: l'effetto frigorifero sarà l'area sottostante la trasformazione di



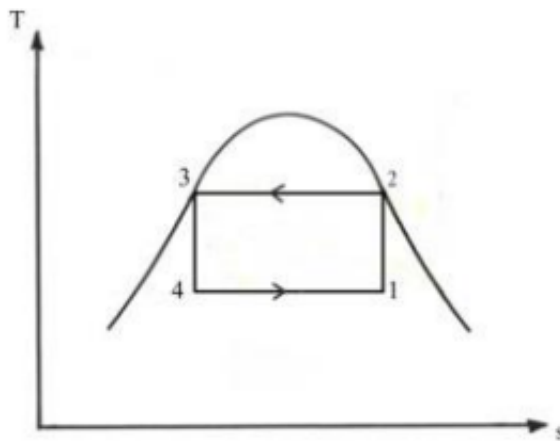
evaporazione 4-1, mentre il lavoro specifico richiesto corrisponde all'area del ciclo, pari al rettangolo che ha come base la trasformazione di evaporazione e come altezza la differenza tra le temperature di evaporazione e condensazione, corrispondenti ai livelli di temperatura a cui si realizzano rispettivamente l'assorbimento e la cessione di calore. Come accade per le macchine a ciclo diretto, per i cicli inversi si può considerare il ciclo di Carnot composto da due isoterme 2-3 e 4-1 e due adiabatiche 1-2 e 3-4, come il ciclo ideale, in corrispondenza del quale si ha il massimo rendimento. Il ciclo è composto da trasformazioni reversibili e sarebbe teoricamente realizzabile all'interno di un cilindro con uno stantuffo a perfetta tenuta termicamente isolato nelle due trasformazioni adiabatiche (compressione ed espansione del cilindro) e completamente permeabili al calore per quanto riguarda le due isoterme. In questo caso si dimostra che il COP ha un valore massimo teorico dipendente solo dalle temperature delle due sorgenti. Se  $T_1$  è la temperatura della sorgente fredda:

$$EER = \frac{T_1}{T_2 - T_1} \quad 5.10$$

In caso di macchina frigorifera, invece si avrebbe:

$$COP = \frac{T_2}{T_1 - T_2} \quad 5.11$$

In caso di pompa di calore.



**Figura 5.13** Ciclo ideale inverso nel diagramma di stato T-s

Considerando il denominatore, si nota immediatamente come il COP sia favorito da una piccola differenza tra  $T_1$  e  $T_2$ , ossia il lavoro esterno richiesto sarà tanto maggiore quanto più la temperatura dell'ambiente da refrigerare è bassa nelle macchine per la produzione di freddo e quanto più la temperatura dell'ambiente da riscaldare è alta nel

caso delle pompe di calore. Il ciclo reale si discosta da quello ideale in quanto considera l'irreversibilità delle trasformazioni, con presenza di perdite anche nell'ipotesi che le fasi di evaporazione e condensazione siano a temperatura e pressione costanti. L'irreversibilità della trasformazione 3-4 (aumento di entropia nel diagramma T-s) infatti comporta delle perdite rappresentate dall'area compresa tra la trasformazione stessa, l'isoterma di evaporazione e la curva limite inferiore. A questo si aggiunge il fatto che nel caso reale la fine dell'evaporazione corrispondente al punto 1 non può iniziare nella zona di fluido bifase ma deve trovarsi almeno sulla curva limite superiore, questo introduce delle perdite per desurriscaldamento nel passaggio dal punto 2' al punto 2. Il lavoro reale da spendere risulta pari a quello ideale maggiorato di queste due quantità, che sono dette perdite intrinseche del ciclo e vengono aumentate dal comportamento non ideale dei componenti. Il processo di espansione nei cicli frigoriferi reali non si realizza in turbina come avviene per i cicli diretti, perché si dovrebbe lavorare nella zona del fluido bifase e la quota di potenza recuperata sarebbe modesta; nella pratica si sostituisce l'espansore con un semplice organo di laminazione, senza recupero di lavoro, impiegando valvole o tubi capillari secondo un processo irreversibile con aumento dell'entropia del fluido. Il processo è solitamente rappresentato da una linea tratteggiata per evidenziare l'irreversibilità della trasformazione. L'assorbimento e la cessione di calore alle due sorgenti viene resa possibile da un fluido frigorifero che compie un percorso ciclico dove variano pressione, temperatura, entalpia, densità e stato fisico. Per consentire lo scambio di calore, il fluido dovrà essere nei rispettivi punti del ciclo più freddo della sorgente a bassa temperatura (da cui assorbe calore) e più caldo della sorgente ad alta temperatura (a cui cede calore). La differenza tra le temperature interne che il fluido frigorifero assume sarà quindi sempre maggiore di quella esterna degli ambienti fra i quali agisce l'impianto. Aumentare la superficie degli scambiatori ed usare materiali a maggior coefficiente di trasmissione significa ridurre la differenza tra le temperature interne e aumentare il COP, ma comporta spese addizionali e sia per le macchine frigorifere che per le pompe di calore si tratta di trovare una soluzione di compromesso tra questi due aspetti. [48]

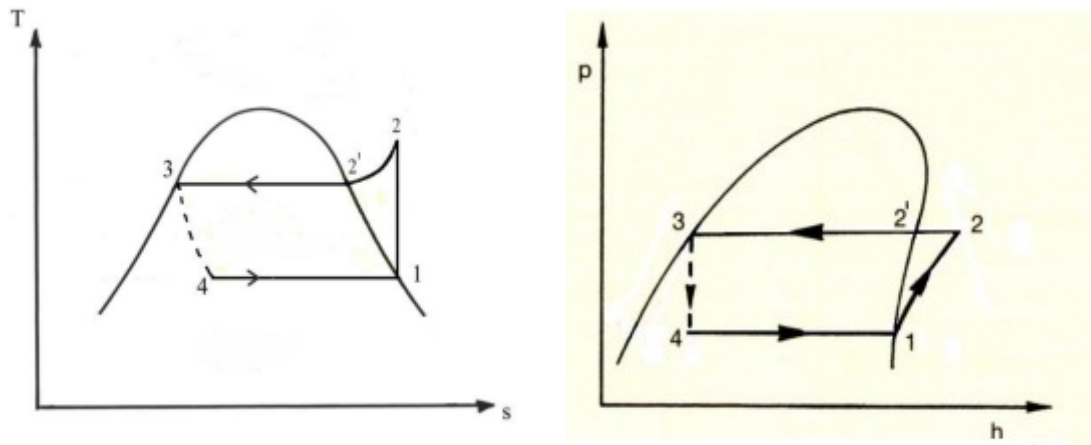


Figura 5.14 Ciclo reali nei digrammi T-s e p-h

### 5.4.2 I fluidi refrigeranti

Negli impianti a compressione, come anche in tutte le altre tecnologie che prevedono la presenza di un fluido che subisce una serie di trasformazioni cicliche, il tipo di refrigerante riveste particolare importanza, sia perché determina le condizioni di lavoro sia per quanto riguarda le irreversibilità. Nella storia degli impianti per la produzione di freddo, lo sviluppo di nuove tecnologie è stato dovuto soprattutto al passaggio a nuovi refrigeranti, anche se il principio di funzionamento delle tipologie di ciclo fondamentali si è mantenuto pressoché invariato: l'analisi delle tecnologie e la valutazione dell'adattabilità di opzioni più efficienti non può quindi prescindere da questi fluidi, che passano per tutti gli elementi del ciclo e determinano i livelli di temperatura e pressione ai quali si può assorbire o rilasciare il calore. Ad ogni specifica applicazione corrisponderà una serie di refrigeranti di possibile impiego in base alle proprietà termodinamiche e al tipo di impianto.

Tossicità e infiammabilità sono regolate dallo standard ASHRAE, che identifica dei gruppi di sicurezza rappresentati da una sigla composta da un carattere alfabetico (A per bassa tossicità, B per alta tossicità) seguito da un numero (1, 2 o 3 dove 3 indica la massima infiammabilità). La classe A è relativa ai fluidi che con concentrazione in aria media ponderata superiore a 400 ppm non hanno effetto nocivo anche in caso di esposizione quotidiana per otto ore giornaliere, mentre quelli di classe B hanno un effetto nocivo per valori al di sopra di 400 ppm. Per quanto riguarda l'infiammabilità, sono considerati di classe 1 i fluidi che non mostrano propagazione di fiamma a 60°C e 101,3 kPa. I fluidi di classe 2 sono quelli per i quali sono verificate contemporaneamente tre condizioni: propagazione di fiamma a 60°C e 101,3 kPa, limite inferiore di infiammabilità maggiore del 3,5% e calore specifico di combustione minore

di 19000 kJ/kg. I fluidi di classe 3 devono invece rispettare tre condizioni, coincidenti con le prime due dei fluidi di classe 2 a cui si aggiunge un calore specifico maggiore di 19000 kJ/kg. Per rendere possibile l'effettiva applicabilità industriale si considerano infine anche parametri di tipo logistico come la rapida ed abbondante disponibilità, oltre al costo che deve essere contenuto.

Classification			Toxicity	
			Class A	Class B
			lower chronic toxicity	higher chronic toxicity
Flammability	Class 1	no flame propagation	A1	B1
	Class 2	lower flammability	A2	B2
	Class 3	higher flammability	A3	B3

**Figura 5.15** Classificazione fluidi refrigeranti ASHRAE

I refrigeranti sono designati mediante una sigla secondo la nomenclatura ASHRAE, che pur non essendo un ente normatore ha stabilito una classificazione universalmente riconosciuta e accettata da parte delle aziende per identificare i fluidi. In generale, essi sono indicati con la lettera maiuscola R (refrigerant) seguita da un numero e eventualmente da una lettera [49]

Il primo numero indica i legami non saturi del carbonio, si omette se è 0; il secondo numero indica gli atomi di carbonio meno uno, quindi è 1 per derivati dell'etano e 0 per i derivati del metano; il terzo numero indica gli atomi di idrogeno più uno; il quarto numero indica gli atomi di fluoro. Nei derivati ciclici si aggiunge una C a sinistra del nome, inoltre si aggiunge una lettera minuscola per distinguere gli isomeri. Per esempio, R22 ha un atomo di carbonio con tutti legami saturi, quindi i primi due numeri sono 0, e ha un atomo di idrogeno e due di fluoro. R134a ha due atomi di carbonio entrambi saturi, quindi il primo numero è 0 e il secondo è 1, inoltre contiene due atomi di idrogeno e quattro di fluoro.

Si possono tipicamente trovare i seguenti refrigeranti:

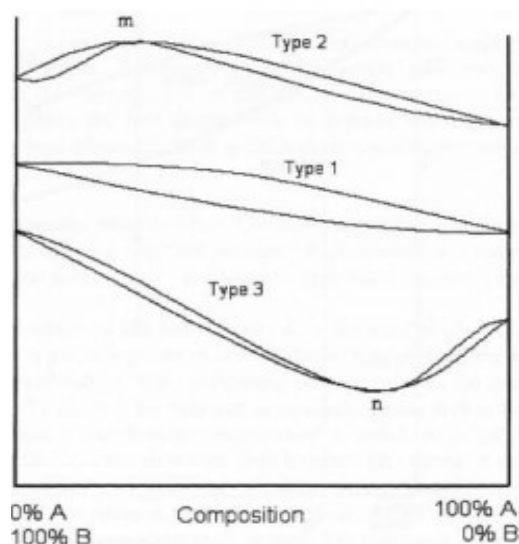
- **CFC:** Nei CFC (clorofluorocarburi) tutti gli atomi di idrogeno sono sostituiti da atomi di cloro e fluoro. Sintetizzati a partire dagli anni '30, hanno visto un largo impiego per decenni per le loro caratteristiche favorevoli: sono infatti

chimicamente stabili, inodori e non tossici per l'uomo, non sono infiammabili e presentano una buona resa. Sono molto stabili in atmosfera e incidono fortemente sull'assottigliamento dello strato di ozono e sull'effetto serra, per questo sono stati ormai completamente aboliti e sostituiti da altri fluidi. I CFC più utilizzati sono stati R11 e R12, in particolare il secondo ha costituito il fluido dominante a inizio anni '90 per le applicazioni a temperatura moderata come il condizionamento e la refrigerazione domestica;

- **HCFC:** Gli HCFC (idroclofluorocarburi) contengono idrogeno, cloro, fluoro e carbonio e sono perciò considerati come fluidi parzialmente alogenati. L'effetto sullo strato di ozono è molto minore che per i CFC (inferiore circa 20 volte) dato che la minore presenza di atomi di cloro accorcia il tempo di vita atmosferico, tuttavia sono anch'essi molto impattanti per quanto riguarda l'effetto serra. Questi fluidi sono considerati come refrigeranti "di transizione" nel passaggio dai CFC agli HFC. L'HCFC che ha visto maggiore diffusione è R22;
- **HFC:** Gli HFC (idrofluorocarburi) non contengono cloro e non compromettono lo strato di ozono, però alcuni incidono molto sull'effetto serra. Anche per questi fluidi si prevede un graduale abbandono nei prossimi decenni e offrono prestazioni peggiori rispetto a CFC e HCFC, soprattutto se usati come refrigeranti puri, a eccezione del R-134a. Quest'ultimo è molto importante, perché le sue basse pressioni di lavoro ne hanno fatto il fluido maggiormente adatto alla sostituzione di R-12 per la produzione di freddo a livello domestico e per il condizionamento a livello industriale. La temperatura di ebollizione alla pressione atmosferica è pari a  $-26.16^{\circ}\text{C}$ , molto prossima a quella di R12 che è  $-29.8^{\circ}\text{C}$ . Non è particolarmente adatto per la refrigerazione industriale a causa dei bassi rendimenti nel campo delle basse temperature. Altri HFC sono per esempio R32, R125, R143a e R152a, impiegati principalmente nella sintesi di miscele. Queste prime tre classi compongono i derivati alogenati, così denominati perché contengono al loro interno atomi di cloro o fluoro;
- **IDROCARBURI:** Gli idrocarburi principali usati nei cicli inversi sono metano, etano, propano (R290) ciclopropano, butano, isobutano ed etilene. Sono utilizzati per un vasto range di applicazioni fino a temperature di evaporazione attorno ai  $-170^{\circ}\text{C}$  [50], ma per la loro infiammabilità hanno trovato uno sviluppo importante solo nell'industria petrolchimica. Negli ultimi due decenni il loro utilizzo sta crescendo soprattutto a livello domestico, per il fatto che pur essendo

infiammabili ed esplosivi la carica per le piccole applicazioni è abbastanza bassa da non formare miscele pericolose. Sono estremamente solubili nell'olio, quindi svengono anche usati come parte di miscele per aumentare la solubilità, per esempio il butano (R600) è un componente minoritario del R416a;

- **MISCELE:** Le miscele sono composte dall'unione di due o più refrigeranti puri in diverse proporzioni. Diversamente da questi ultimi, la temperatura di inizio ebollizione (o inizio condensazione) non è funzione solo della pressione ma anche della composizione della miscela. A seconda dei componenti le miscele possono essere di tre tipi: in quelle di tipo 1 la curva relativa al punto di rugiada e quella del punto di bolla coincidono solo in corrispondenza dei fluidi puri, mentre per qualsiasi composizione intermedia la condensazione o evaporazione avvengono all'interno dell'area lenticolare con una variazione di temperatura lungo la trasformazione chiamata glide e funzione della miscela. Questo comportamento caratterizza le miscele zeotropiche, dove a parità di pressione e composizione la temperatura del liquido saturo è diversa dalla temperatura del vapore saturo. Nelle miscele di tipo 2 e 3 le due curve coincidono in un punto detto azeotropo funzione della composizione, con una temperatura fissa lungo il processo di cambiamento di stato come avviene per le sostanze pure. Le miscele con queste proprietà sono dette miscele azeotropiche. Le miscele zeotropiche corrispondono alla serie R400, e sono le più impiegate perché in diverse applicazioni si può sfruttare il glide mediante l'accoppiamento con sorgenti calde o fredde a temperatura variabile migliorando le performance del sistema. Quelle maggiormente in uso sono R404a, R407c e R410a, che combinano le caratteristiche termodinamiche vicine ai refrigeranti più diffusi con un basso impatto ambientale. In particolare R407c e R410a sono particolarmente interessanti per quanto riguarda il condizionamento, per via delle proprietà molto simili a quelle di R22 il quale, a sua volta, è stato largamente impiegato nel condizionamento domestico e commerciale per decenni. [51]



**Figura 5.16** Tipologie di miscele

### 5.4.3 Pratiche operative per l'aumento di temperatura

Dopo aver visto la tecnologia free cooling è doveroso considerare subito anche una pratica di aumento dell'efficienza energetica nelle sale server che si possa applicare quando la temperatura dell'aria esterna risulta essere troppo elevata per sviluppare il raffreddamento libero ma che garantisca comunque un buon risparmio energetico ed economico.

E' fondamentale sapere che migliori prestazioni a temperature elevate non implicano una minore sicurezza nella gestione del data center. Il raffreddamento, come visto, rappresenta un'enorme quantità della potenza utilizzata nei centri informatici, circa il 40%. È logico, quindi, che se riusciamo a ridurre la potenza necessaria per raffreddare un data center, faremo molto per renderli più efficienti dal punto di vista energetico.

Un modo per farlo è aumentare la temperatura dell'acqua che utilizziamo per raffreddare i nostri data center. Sebbene possa sembrare una soluzione semplice, per essere efficace su larga scala l'idea richiederà una rielaborazione delle architetture di raffreddamento dei data center. Questa idea però, soprattutto nei data center moderni, è fattibile, soprattutto considerando che negli ultimi anni ASHRAE, nella sua guida sulle temperature dei data center, ha aumentato le sue temperature "consigliate" e "consentite", argomento che abbiamo ampiamente trattato nei capitoli precedenti. In poche parole, ciò significa che molti data center non hanno bisogno di essere raffreddati a temperature piuttosto basse, come una volta. La maggior parte dei data center scoprirà

che temperature di 24°-25°C (75°-77°F) non subiranno differenze di affidabilità rispetto a temperature più basse.

Tenendo presente queste temperature, ora possiamo vedere come ottenere la massima efficienza da una soluzione di raffreddamento per data center. Il nostro obiettivo principale nel ripensare la progettazione del sistema di raffreddamento è su due fattori: la temperatura dell'acqua refrigerata e la differenza tra la temperatura dell'acqua refrigerata quando entra nel data center e quando ritorna, nota come  $\Delta T$ .

Se le temperature all'interno del data center sono più elevate rispetto al passato, ciò significa che anche la temperatura dell'acqua refrigerata utilizzata per raffreddarlo, nota come set point per i chiller, può essere maggiore, ovviamente senza modificare la struttura dei refrigeratori, ossia mantenendo costante il  $\Delta T$ . Ciò ha un profondo effetto sull'efficienza del sistema di raffreddamento.

L'aumento del set point dell'acqua refrigerata dai valori usuali può comportare un risparmio sui costi operativi di circa il 40%. Questo perché è necessaria meno energia per raffreddare l'acqua durante l'arco di tutto l'anno. In estate, temperature di evaporazione più elevate significano che i compressori non devono lavorare così duramente, con conseguente miglioramento dell'efficienza. Nei mesi più freddi, gli utenti beneficiano di molte più ore di funzionamento dell'economizzatore o come già visto del "free cooling". [52] Un set point più alto si traduce anche in un risparmio sulle spese di capitale di circa il 30% perché i refrigeratori non devono essere grandi come alle temperature tradizionali. La ragione di ciò entra nella discussione sul  $\Delta T$ . Un sistema progettato con un  $\Delta T$  maggiore di circa 10°C, rispetto ai tipici 5°-6°C, richiede una portata d'acqua e una pressione di carico inferiori. Ciò significa che le pompe che muovono l'acqua attraverso il sistema non devono lavorare così duramente.

Le pompe funzionano in un data center sono costrette a lavorare 24x7x365, quindi un risparmio anche di 1kW per pompa aggiunge più di 8760kWh risparmiati nel corso di un anno; questo è un risparmio che sarà disponibile per qualsiasi sistema, con qualsiasi condizione atmosferica.

Come per il set point più alto, anche un  $\Delta T$  più alto significa che il free-cooling può essere utilizzato più spesso, con temperature ambiente di circa 4°C superiori rispetto al  $\Delta T$  più basso. Significa anche una riduzione di circa il 20% della potenza consumata dai ventilatori del chiller, poiché la portata d'aria deve diminuire rispetto ai sistemi



progettati utilizzando i tradizionali valori  $\Delta T$ . [53]. L'unica difficoltà che può emergere è che accogliere questo tipo di architettura rivista potrebbe comportare alcune modifiche alla progettazione delle apparecchiature di raffreddamento perché le apparecchiature esistenti, inclusi refrigeratori, unità di condizionamento dell'aria e scambiatori di calore, potrebbero non essere progettate per funzionare a quelle temperature più elevate. Ma la tecnologia e le attrezzature per queste temperature elevate esistono ed è un cambiamento che può produrre risparmi significativi giorno dopo giorno.

## 5.5 Algoritmo di stima dei risparmi

### 5.5.1 Software e scopo dell'algoritmo

La necessità di avere un sistema di rapido utilizzo, modulabile e con la possibilità di essere facilmente modificato a seconda dei dati a disposizione e delle caratteristiche della tecnologia ha orientato la scelta su una serie di fogli di calcolo Excel dove è implementato l'algoritmo e vengono successivamente analizzati i risparmi conseguibili. Nel file Excel sono presenti:

- Un primo foglio contenente solamente i dati di input, dove abbiamo l'inserimento di tutte le temperature annuali, ora per ora, della città considerata nello sviluppo del calcolo, ovviamente le temperature sono di fondamentale importanza e verranno successivamente analizzate dal foglio di calcolo per capire per quante ore i refrigeratori devono sostenere determinate condizioni di lavoro e soprattutto che efficienza energetica sono in grado di garantire. Per il calcolo si sono considerate le temperature ora per ora nella città di Milano nell'anno 2020, della stazione meteo di Via Brera. Questo foglio inoltre permette di valutare il numero di ore sopra i 20°C, oltre il quale si ricorre alla tecnologia considerata, non potendo infatti avere free cooling, ed infine la percentuale delle ore annue in cui ci si trova ad una determinata temperatura, che poi risulterà di fondamentale importanza per il calcolo del valore medio di EER nell'arco dei mesi estivi. Per la valutazione della frequenza percentuale delle ore alle varie temperature si ha

$$frequenza = \left( \frac{ore_{TE}(h)}{ore_{TOT}(h)} \right) * 100 [\%] \quad 5.12$$

Dove con  $ore_{TE}$  vengono indicate il numero di ore ad una determinata temperatura mentre  $ore_{TOT}$  sono le 8760 ore annue.

Te [°C]	Frequenza ore -	Frequenza ore -	Frequenza ore -	Frequenza ore [%]
15	35	127	0	0,0%
16	34	114	148	6,3%
17	51	85	136	5,8%
18	37	104	141	6,0%
19	42	99	141	6,0%
20	35	112	147	6,3%
21	34	98	132	5,7%
22	44	112	156	6,7%
23	30	118	148	6,3%
24	37	102	139	6,0%
25	49	101	150	6,4%
26	34	126	160	6,9%
27	33	118	151	6,5%
28	24	106	130	5,6%
29	15	110	125	5,4%
30	8	116	124	5,3%
30	8	116	124	5,3%
31	3	83	86	3,7%
32	2	61	63	2,7%
33	0	35	35	1,5%
34	0	13	13	0,6%
35	0	5	5	0,2%
36	0	2	2	0,1%
37	0	0	0	0,0%
38	0	0	0	0,0%
39	0	0	0	0,0%
40	0	0	0	0,0%
	547	1.947	2.332	100,0%

**Figura 5.17** Analisi della percentuale di ore di funzionamento ad una determinata temperatura

- Nel secondo foglio sono riportate le caratteristiche generali di funzionamento del refrigeratore da catalogo, il periodo di funzionamento (si considerano solo 2901 ore, ossia il periodo estivo, con temperature > 20°C) la frequenza delle ore di funzionamento ad una data temperatura ed a seconda della temperatura di mandata dell'evaporatore e della temperatura esterna i valori dell'EER parziale della macchina frigorifera ed il successivo calcolo dell'EER medio per ogni condizione di funzionamento corrispondente ad una diversa temperatura di mandata all'evaporatore.
- Un'ultima sezione di output dove vengono considerati i risultati ed i risparmi che comporta l'intervento. In questa sezione le differenze principali sono legate alle temperature e quindi ai valori delle potenze frigorifere ed elettriche dei

refrigeratori, che poi comportano una sostanziale differenza anche nei valori del risparmio elettrico e di conseguenza economico.

## 5.5.2 Calcolo dei consumi post intervento

Il consumo specifico e il risparmio conseguibile sono calcolati a partire dall'EER del refrigeratore, che varia al variare della temperatura richiesta all'interno del data center. Di conseguenza possiamo vedere come al variare della temperatura richiesta in ingresso del corridoio freddo si modifichino le condizioni operative del refrigeratore e quindi la temperatura di mandata all'evaporatore(°C), ipotizzando di mantenere costante il  $\Delta T$ . La variazione delle condizioni operative ha come conseguenza una variazione dell'indice EER che ovviamente aumenta con l'aumentare della temperatura di mandata, dato il minore consumo di potenza richiesto per raffreddare e quindi della temperatura a cui dobbiamo portare l'aria esterna.

Per l'analisi dei consumi si è andati a considerare un data center di piccola taglia, precisamente 80 rack, valutando come nei casi precedenti una densità di potenza di 10kW per rack e di conseguenza una potenza frigorifera necessaria al suo raffreddamento maggiorata del 30% rispetto al carico frigorifero.

RACK	CARICO IT (KW)	Pot frig (kW)
80	800	1040

**Figura 5.18** Caratteristiche del data center

Si consideri un graduale aumento della temperatura di mandata dai 7 agli 11°C all'evaporatore valutando per ognuno dei valori il consumo del refrigeratore nelle ore in cui non si può sviluppare il free cooling. I valori dei consumi della potenza elettrica e frigorifera sono indicati da catalogo fornito dall'azienda Bartucci, per il caso in esame si è considerato un refrigeratore di potenza frigorifera nominale vicina ai 100 kW, in quanto si ipotizza che per coprire il carico frigorifero del data center sia installato un gruppo di 10 refrigeratori di questa taglia.

Outdoor air temp. °CDB	Indoor air temp. : °CWB													
	14.0		16.0		18.0		19.0		21.0		23.0		25.0	
	TC	PI	TC	PI	TC	PI	TC	PI	TC	PI	TC	PI	TC	PI
	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW
-10.0	51.0	5.16	61.2	6.48	71.4	7.76	76.5	8.39	86.7	9.62	96.9	10.83	107.1	12.01
-5.0	51.0	5.17	61.2	6.49	71.4	7.77	76.5	8.40	86.7	9.63	96.9	10.84	107.1	12.02
0.0	51.0	5.18	61.2	6.50	71.4	7.78	76.5	8.41	86.7	9.65	96.9	10.85	107.1	12.04
5.0	51.0	5.20	61.2	6.52	71.4	7.80	76.5	8.43	86.7	9.67	96.9	10.89	107.1	12.09
10.0	51.0	5.22	61.2	6.54	71.4	7.84	76.5	8.48	86.7	9.75	96.9	11.00	107.1	12.24
15.0	51.0	5.28	61.2	6.66	71.4	8.02	76.5	8.70	86.7	10.03	96.9	11.33	107.1	12.61
20.0	51.0	5.73	61.2	7.26	71.4	8.75	76.5	9.47	86.7	10.89	96.9	12.53	107.1	14.27
25.0	51.0	7.55	61.2	9.36	71.4	11.24	76.5	12.20	86.7	14.17	96.9	16.20	107.1	18.28
30.0	51.0	9.77	61.2	11.96	71.4	14.20	76.5	15.33	86.7	17.64	96.9	19.99	107.1	22.40
35.0	51.0	12.53	61.2	15.19	71.4	17.87	76.5	19.23	86.7	21.98	96.9	24.81	107.1	27.74
40.0	51.0	14.98	61.2	18.03	71.4	21.10	76.5	22.66	86.7	25.84	96.9	29.15	105.1	32.34
43.0	51.0	16.49	61.2	19.79	71.4	23.12	76.5	24.81	86.7	28.30	96.3	32.34	98.5	30.77
46.0	51.0	17.67	61.2	21.46	71.4	25.43	72.3	24.98	74.2	23.82	76.7	22.92	79.6	22.20
52.0	24.5	8.72	26.6	8.81	29.2	8.98	30.6	9.08	33.7	9.32	37.2	9.59	40.9	9.88

**Figura 5.19** Dati di riferimento da catalogo

Di conseguenza si può utilizzare la formulazione già vista per l'utilizzo della tecnologia free cooling nel capitolo 4.

$$consumo_{annuale} = \left[ (8760 - ore_{FC}) * \frac{P_f}{EER} \right] \quad [kWh] \quad 5.13$$

Dove:

EER: efficienza del sistema di refrigerazione in assenza di free cooling.

$P_f$ : Potenza frigorifera [kW]

$Ore_{FC}$ : sommatoria del numero di ore annuali in cui il free cooling totale è applicabile.

Per la medesima temperatura dell'aria esterna si va a calcolare il valore parziale dell'EER a seconda della temperatura di mandata, si sono considerate le seguenti temperature dell'aria esterna: 20°C; 25°C;30°C; 32°C;35°C.

Per avere un'indicazione più precisa per il calcolo del consumo annuale dei consumi nelle varie condizioni di carico, si è valutato il numero di ore in cui il refrigeratore funziona ad un determinato intervallo di temperatura, calcolando quindi il valore di EER medio per ogni temperatura di mandata. La percentuale di ore in cui ci si trova ad una determinata temperatura come detto sono calcolate dal foglio di input.

Il valore di EER medio è dato da:

$$EER_{medio} = \frac{\sum_{i=1}^n \left( \frac{EER_i}{\%ore_i} \right)}{\%ore_{TOT}} \quad 5.14$$

ORE UTILIZZO(h)	Tman evaporatore (°C)	Te(°C)	% ore	Pfrigorifera(kW)	Pelettrica(kW)	EER	EER medio	CONSUMO annuale (kWh)
2901	7	20	0,31	107,1	14,27	7,505	6,295	479254,88
2901	7	25	0,308	107,1	18,28	5,859		
2901	7	30	0,09	107,1	22,40	4,781		
2901	7	32	0,048	107,1	25,07	4,272		
2901	7	35	0,003	107,1	27,74	3,861		

ORE UTILIZZO(h)	Tman evaporatore (°C)	Te(°C)	% ore	Pfrigorifera(kW)	Pelettrica(kW)	EER	EER medio	CONSUMO annuale(kWh)
2901	8	20	0,31	96,9	12,53	7,733	6,450	467782,92
2901	8	25	0,308	96,9	16,20	5,981		
2901	8	30	0,09	96,9	19,99	4,847		
2901	8	32	0,048	96,9	22,40	4,326		
2901	8	35	0,003	96,9	24,81	3,906		

ORE UTILIZZO(h)	Tman evaporatore (°C)	Te(°C)	% ore temperatura	Pfrigorifera(kW)	Pelettrica(kW)	EER	EER medio	CONSUMO annuale(kWh)
2901	9	20	0,31	86,7	10,89	7,961	6,610	456451,46
2901	9	25	0,308	86,7	14,17	6,119		
2901	9	30	0,09	86,7	17,64	4,915		
2901	9	32	0,048	86,7	19,81	4,377		
2901	9	35	0,003	86,7	21,98	3,944		

ORE UTILIZZO(h)	Tman evaporatore (°C)	Te(°C)	% ore	Pfrigorifera(kW)	Pelettrica(kW)	EER	EER medio	CONSUMO annuale(kWh)
2901	10	20	0,31	76,5	9,47	8,078	6,731	448207,75
2901	10	25	0,308	76,5	12,20	6,270		
2901	10	30	0,09	76,5	15,33	4,990		
2901	10	32	0,048	76,5	17,28	4,427		
2901	10	35	0,003	76,5	19,23	3,978		

ORE UTILIZZO(h)	Tman evaporatore (°C)	Te(°C)	% ore	Pfrigorifera(kW)	Pelettrica(kW)	EER	EER medio	CONSUMO annuale(kWh)
2901	11	20	0,31	71,4	8,75	8,160	6,804	443416,02
2901	11	25	0,308	71,4	11,24	6,352		
2901	11	30	0,09	71,4	14,20	5,028		
2901	11	32	0,048	71,4	16,04	4,451		
2901	11	35	0,003	71,4	17,87	3,996		

Figura 5.20 Consumi annuali nelle diverse condizioni operative

## 5.6 Analisi economica dell'intervento

Il nuovo consumo con l'aumento di temperatura di mandata ci permette di calcolare i risparmi energetici ed economici conseguibili. Per prima cosa, come fatto per il free cooling considero:

$$risparmio_{kWh} = consumo_{rif} - consumo_{post} [kWh] \quad 5.15$$

Che può essere poi valutato anche in percentuale come:

$$risparmio_{\%} = \left( \frac{consumo_{rif} - consumo_{post}}{consumo_{rif}} \right) * 100 \quad [\%] \quad 5.16$$

Dove il  $consumo_{rif}$  rappresenta quello di partenza con la  $T_{mandata}$  a  $7^{\circ}C$  mentre il  $consumo_{post}$  rappresenta quello ai diversi valori di  $T_{mandata}$  tra  $8$  e  $11^{\circ}C$ .

Tman evaporatore(°C)	EER medio	consumo rif (kWh)	consumo post(kWh)	risparmio kWh	RISPARMIO (%)
7	6,295	479254,88	479254,88		
8	6,450	479254,88	467782,92	11471,96	2,394
9	6,610	479254,88	456451,46	22803,42	4,758
10	6,731	479254,88	448207,75	31047,13	6,478
11	6,804	479254,88	443416,02	35838,86	7,478

**Figura 5.21** Analisi dei risparmi

Il risparmio può essere poi convertito a partire dagli input economici:

$$risparmio_{kWh} = consumo_{pre} - consumo_{post} \quad [kWh] \quad 5.17$$

$$risparmio_{euro} = risparmio_{kWh} * pel \quad [€] \quad 5.18$$

$$risparmio_{tep} = risparmio_{kWh} * 0,000187 \quad [tep] \quad 5.19$$

Dove come nei capitoli precedenti il prezzo dell'energia elettrica  $p_{el}$  è stato considerato variabile tra 0,18; 0,20 e 0,22€/kWh ed il valore 0,000187 il fattore di conversione che permette di passare da kWh a tonnellate di petrolio equivalente. Si riportano i calcoli economici

Tman evaporatore(°C)	risparmio (kWh)	costo kWh (€/kWh)	risparmio €	risparmio tep
8	11472,0	0,18	2.064,95 €	2,145
8	11472,0	0,2	2.294,39 €	2,145
8	11472,0	0,22	2.523,83 €	2,145
9	22803,4	0,18	4.104,62 €	4,264
9	22803,4	0,2	4.560,68 €	4,264
9	22803,4	0,22	5.016,75 €	4,264
10	31047,1	0,18	5.588,48 €	5,806
10	31047,1	0,2	6.209,43 €	5,806
10	31047,1	0,22	6.830,37 €	5,806
11	35838,9	0,18	6.451,00 €	6,702
11	35838,9	0,2	7.167,77 €	6,702
11	35838,9	0,22	7.884,55 €	6,702

**Figura 5.22** Risultati analisi economica

## 5.7 Validazione dell'algoritmo

L'assenza di interventi effettuati dall'azienda per questa tecnologia, che hanno motivato la scelta di procedere con un'analisi di sensitività, porta di conseguenza la mancanza di dati specifici con i quali validare l'algoritmo di stima. La verifica dei risultati si è basata sulle informazioni ed i dati ottenuti da un caso applicativo d'esempio nell'industria dei

data center, che consente di comparare le due analisi per appurare la correttezza del risparmio elettrico percentuale restituito dall’algoritmo.

### 5.7.1 Descrizione del caso reale

La validazione è stata riferita ad un caso reale contenuto nel documento “A Study on the Energy Reduction Measures of Data Centers through Chilled Water Temperature Control and Water-Side Economizer”, [54] da MDPI, acronimo di Multidisciplinary Digital Publishing Institute, un’ editore di riviste scientifiche ad accesso aperto.

Il caso considerato riguarda l’applicazione dell’aumento di temperatura di set point nel refrigeratore in un centro informatico situato a Seoul, capitale della Corea Del Sud, dove il clima estivo può essere considerato simile a quello delle città del Nord Italia, con temperature massime che possono superare i 30°C. I sistemi di raffreddamento considerati prevedono la variazione della temperatura dell’acqua refrigerata tra 7 e 17°C. Di seguito si vanno a riportare le caratteristiche tecniche del centro informatico con i relativi consumi delle apparecchiature per la refrigerazione.

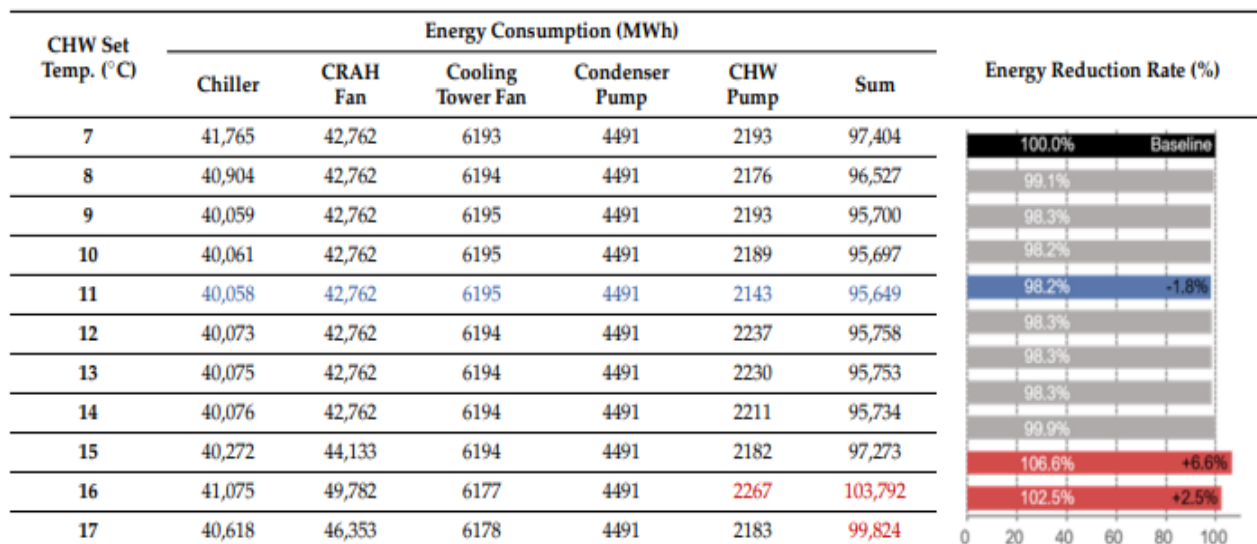
**Table 2.** HAVC system specifications.

Component	Design Parameter	Quantity
Cooling system	Central cooling system	
Room	Cooling set condition (°C)	26
CRAH	CRAH supply temp. (°C)	20
	Capacity (kW)/COP	54,058/6.34
Turbo chiller	Inlet/outlet temp. (°C)	12/7
	Water flow rate (m <sup>3</sup> /s)	1.92
	Capacity (kW)	67,572
Cooling tower	Inlet/outlet temp. (m <sup>3</sup> /s)	37/32
	Fan power (kW)	710
	Air flow rate (m <sup>3</sup> /s)	2135
Condenser water pump	Power (kW)	513
Chilled water pump	Power (kW)	367

**Figura 5.23** Caratteristiche operative dei componenti del data center

### 5.7.2 Risultati

Il risparmio percentuale fornito in seguito all’applicazione del sistema è riportato nella seguente tabella dove vengono indicati i consumi dei vari componenti a seconda delle temperature considerate ed in conclusione viene confrontato il risparmio in percentuale



**Figura 5.24** Analisi consumi e risparmi

Il risparmio è ottimale con una temperatura in ingresso al chiller di 11°C, dove il risparmio percentuale si avvicina al 4,5% per il data center considerato. Facendo la media tra i valori della somma tra 7 e 15°C si trova un risparmio di circa il 3,8%, avvicinandosi alla media dei risparmi percentuali del calcolo del nostro caso per la città di Milano, che è del 5,23%.



## Conclusioni

Negli ultimi decenni e soprattutto nel nuovo millennio nel settore energetico l'utilizzo di nuove tecnologie e tipologie di produzione dell'energia ha dimostrato di essere sempre più importante non solo per i settori che utilizzano direttamente questa fonte ma anche per la salvaguardia del pianeta ed il suo ecosistema. Risulta comunque chiaro che nell'industria legata ai data center, continuamente in espansione, l'efficienza energetica risulta essere imprescindibile per avere dei sistemi che possano portare ad una gestione sostenibile dei costi per il loro funzionamento.

Il contributo all'aumento dell'efficienza che possono portare le E.S.Co è molto importante, in quanto consentono di creare valore dando la possibilità al cliente, che non sempre è competente in materia o non possiede determinate risorse, di realizzare interventi che portino ad un minore consumo di energia, con conseguenze positive per tutti i soggetti coinvolti. Il presente lavoro di tesi è stato svolto proprio in affiancamento ad un'azienda che opera in questo settore, analizzando alcuni interventi per ridurre il consumo energetico nei data center. Di conseguenza per contrastare la sempre maggiore richiesta di energia diviene fondamentale attuare misure che consentano al contrario di ridurre la richiesta nel settore valutando a seconda delle diverse tecnologie i risparmi conseguibili e la possibilità di garantire un funzionamento dei centri che sia il più "green" possibile, riducendone l'impatto.

Considerando l'incremento di efficienza in impianti già esistenti risulta difficile avere una procedura di azione standardizzata nei contesti dove l'adozione di determinate misure si possa identificare come un intervento chiaramente remunerativo dal punto di vista energetico ed economico, si pone infatti il problema della quantificazione dei benefici al fine di elaborare poi strategie concrete, contratti pluriennali e suddivisioni delle responsabilità tra i soggetti, che tipicamente sono molteplici. La peculiarità delle E.S.Co è quindi quella di predisporre strumenti per valutare e confrontare nel modo più preciso possibile i diversi interventi avendo a disposizione spesso informazioni limitate, tenendo anche conto di un'inevitabile margine di incertezza, dovuto a molteplici fattori, economici e non.

Lo studio delle soluzioni considerate, la costruzione di modelli con una successiva analisi dei risultati, ha permesso di ottenere un quadro completo delle tecnologie di efficientamento nell'industria dei data center disponendo di strumenti concretamente utilizzabili per la valutazione. Bisogna comunque ricordare come si sia preso in

considerazione un numero limitato di misure in quanto nel campo considerato è presente una grande varietà di alternative possibili per aumentare l'efficienza ed il risparmio energetico, ma si è cercato di selezionare quelle con maggiore potenzialità portando sempre a risultati positivi, ovviamente la difficoltà maggiore sta poi nel quantificare quanto questi vantaggi siano consistenti per gli operatori del settore.

Il recupero di calore negli impianti risulta essere una misura particolarmente profittevole, in quanto permette di riutilizzare un'energia termica che altrimenti andrebbe sprecata ed è prodotta "gratuitamente" dal sistema dato che deriva dal naturale funzionamento del centro informatico. La convenienza di questa tecnologia è testimoniata dal fatto che soprattutto negli ultimi anni viene sempre più considerata nel settore come mezzo di efficientamento energetico dei data center e, soprattutto mediante l'utilizzo di teleriscaldamento, è già ampiamente diffusa.

Il free cooling permette un'ampia tipologia di soluzioni per sfruttare gratuitamente l'aria esterna potendo trovare utilizzo in molte condizioni atmosferiche ed in più contesti climatici. L'algoritmo considerato è stato costruito e valutato sulla base delle condizioni di città italiane ma se si amplia la visione anche a numerosi altri luoghi e climi si potrà vedere come in alcuni casi può portare a ridurre pesantemente i costi legati alla refrigerazione fino a farli diventare quasi nulli.

Le soluzioni di miglioramento dell'efficienza che ho chiamato "rapide" nel mio lavoro di tesi spesso nel settore dei data center passano in secondo piano, in quanto con tecnologie come il recupero di calore o il free cooling sono molto più sia agli occhi dei legislatori sia da un punto di vista prettamente economico e quindi legato al consumo e al costo di energia elettrica annuale. Si è dimostrato però che con semplici accorgimenti si possono comunque ottenere risultati notevoli, senza particolari difficoltà operative per metterli in pratica o rischi per il funzionamento degli impianti.

In generale l'industria informatica e dei data center ha al suo interno strumentazioni e tecnologie particolarmente complesse e non mette a disposizione grandi informazioni o dati sul loro funzionamento, quindi non è stata immediata la validazione degli algoritmi, nonostante questo i risparmi stimati hanno un margine percentuale di errore comunque accettabile e realistico considerando le assunzioni fatte.



# APPENDICE

## APPENDICE A

Calcolo del profilo termico ambientale con la UNI 10349

La norma UNI 10349 è uno strumento per il calcolo delle prestazioni energetiche in regime quasi-stazionario e dinamico degli edifici, e fornisce i dati climatici convenzionali per la progettazione e verifica sia degli edifici che degli impianti di riscaldamento e raffrescamento. Al punto 8 è presente il metodo per il calcolo della distribuzione oraria della temperatura esterna, che si riferisce alla massima temperatura e consente perciò di calcolare con esattezza i profili in corrispondenza dei mesi considerati. La temperatura all'ora  $t$  è data da:

$$\theta_t = \theta_{max} - F(t) * \Delta\theta_{max}$$

In cui:

- $\theta_t$  è la temperatura nell'ora  $t$ ;
- $\theta_{max}$  è la massima temperatura esterna, dipendente dalla località;
- $F(t)$  è il fattore di distribuzione della temperatura, riportato nel prospetto V della norma. Questo fattore è compreso tra 0 e 1 e cambia durante le 24 ore, assumendo il valore 1 (massima escursione) alle ore 5:00 e il valore 0 (temperatura massima) alle 15:00;
- $\Delta\theta_{max}$  è l'escursione giornaliera dell'aria esterna, riportata nel prospetto XVI della norma;

### Esempio

La temperatura il 2 settembre alle 21.00 ( $F_t = 0,58$ ) a Padova ( $T_{max}=23,8$  °C,  $\Delta T = 7,9$ °C) è:

$$\theta_{21} = 23,8 - (0,58 * 7,9) = 19,2$$

Di seguito le tabelle presenti nella norma per il fattore di temperatura in funzione dell'orario e la massima temperatura. Esse sono state inserite per il calcolo delle temperature orarie giornaliere nei fogli excel.

Fattore di distribuzione della temperatura					
Ora	Ft	Ora	Ft	Ora	Ft
1	0,87	9	0,71	17	0,1
2	0,92	10	0,56	18	0,21
3	0,96	11	0,39	19	0,34
4	0,99	12	0,23	20	0,47
5	1	13	0,11	21	0,58
6	0,98	14	0,03	22	0,68
7	0,93	15	0	23	0,76
8	0,84	16	0,03	24	0,82

Si riporta inoltre a titolo di esempio di foglio di calcolo delle temperature orarie nel mese di maggio nella città di Padova

GIORNO	TMAX	TMIN	DELTA T
1	21,8	13,3	8,5
2	21,5	11,1	10,4
3	18,6	9,4	9,2
4	20,3	9,2	11,1
5	21,9	9,7	12,2
6	17,1	11,8	5,3
7	25,2	13,2	12
8	20	11,4	8,6
9	22,3	9	13,3
10	23,4	11,3	12,1
11	17,7	13,4	4,3
12	19,3	12,4	6,9
13	21,4	12,2	9,2
14	20,9	11,6	9,3
15	20,3	11,6	8,7

ORE FREE COOLING	ORE TOTALI	%ORE FREE COOLING
521	744	70,0

16	19,3	11	8,3
17	19,8	11,4	8,4
18	22,7	10,1	12,6
19	19,7	10,3	9,4
20	23	8,1	14,9
21	23,2	11,7	11,5
22	20,1	12,6	7,5
23	25,4	13,4	12
24	15,7	12,6	3,1
25	23,3	12,8	10,5
26	22,9	11,9	11
27	23,4	12,3	11,1
28	24	13,3	10,7
29	24	12,9	11,1
30	22,8	12,7	10,1
31	22,8	12,3	10,5

F(t)	ORA	GIORNO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,87	1		14,4	12,5	10,6	10,6	11,3	12,5	14,8	12,5	10,7	12,9
0,92	2		14,0	11,9	10,1	10,1	10,7	12,2	14,2	12,1	10,1	12,3
0,96	3		13,6	11,5	9,8	9,6	10,2	12,0	13,7	11,7	9,5	11,8
0,99	4		13,4	11,2	9,5	9,3	9,8	11,9	13,3	11,5	9,1	11,4
1	5		13,3	11,1	9,4	9,2	9,7	11,8	13,2	11,4	9,0	11,3
0,98	6		13,5	11,3	9,6	9,4	9,9	11,9	13,4	11,6	9,3	11,5
0,93	7		13,9	11,8	10,0	10,0	10,6	12,2	14,0	12,0	9,9	12,1
0,84	8		14,7	12,8	10,9	11,0	11,7	12,6	15,1	12,8	11,1	13,2
0,71	9		15,8	14,1	12,1	12,4	13,2	13,3	16,7	13,9	12,9	14,8
0,56	10		17,0	15,7	13,4	14,1	15,1	14,1	18,5	15,2	14,9	16,6
0,39	11		18,5	17,4	15,0	16,0	17,1	15,0	20,5	16,6	17,1	18,7
0,23	12		19,8	19,1	16,5	17,7	19,1	15,9	22,4	18,0	19,2	20,6
0,11	13		20,9	20,4	17,6	19,1	20,6	16,5	23,9	19,1	20,8	22,1
0,03	14		21,5	21,2	18,3	20,0	21,5	16,9	24,8	19,7	21,9	23,0
0	15		21,8	21,5	18,6	20,3	21,9	17,1	25,2	20,0	22,3	23,4
0,03	16		21,5	21,2	18,3	20,0	21,5	16,9	24,8	19,7	21,9	23,0
0,1	17		21,0	20,5	17,7	19,2	20,7	16,6	24,0	19,1	21,0	22,2
0,21	18		20,0	19,3	16,7	18,0	19,3	16,0	22,7	18,2	19,5	20,9
0,34	19		18,9	18,0	15,5	16,5	17,8	15,3	21,1	17,1	17,8	19,3
0,47	20		17,8	16,6	14,3	15,1	16,2	14,6	19,6	16,0	16,0	17,7
0,58	21		16,9	15,5	13,3	13,9	14,8	14,0	18,2	15,0	14,6	16,4
0,68	22		16,0	14,4	12,3	12,8	13,6	13,5	17,0	14,2	13,3	15,2
0,76	23		15,3	13,6	11,6	11,9	12,6	13,1	16,1	13,5	12,2	14,2
0,82	24		14,8	13,0	11,1	11,2	11,9	12,8	15,4	12,9	11,4	13,5
			15,0	16,0	21,0	18,0	17,0	24,0	12,0	17,0	17,0	15,0

# Bibliografia

- [1] R. Zonin, Giugno 2020. [Online].
- [2] Settembre 2021. [Online].
- [3] «Wall Street Italia,» Dicembre 2020. [Online].
- [4] M. Scotti, gennaio 2021. [Online].
- [5] settembre 2017. [Online].
- [6] Donnelly, «computerweekly,» gennaio 2021. [Online].
- [7] «climateneutraldatacenter.net,» 2021. [Online].
- [8] «climateneutraldatacentre.net,» 2021. [Online].
- [9] «Wikipedia,» 2021. [Online].
- [10] «google data center,» [Online].
- [11] F. Torrini, «universeit.blog,» [Online].
- [12] «dataspan.com,» aprile 2019. [Online].
- [13] «dataspan.com,» aprile 2019. [Online].
- [14] «sciencedirect,» 2017. [Online].
- [15] Cooper, «datacenterdynamics,» settembre 2015. [Online].
- [16] «energystar,» [Online].
- [17] L. Ferrari, «L'evoluzione dei data center,» 2017.
- [18] M. Riccieri, «Energie rinnovabili».
- [19] Bertini, «enea.it,» 2009. [Online].
- [20] Bertini, «enea.it,» 2009. [Online].
- [21] Bertini, «enea.it,» 2009. [Online].
- [22] Bertini, «enea.it,» 2019. [Online].
- [23] Bertini, «enea.it,» 2009. [Online].
- [24] Bertini, «enea.it,» 2009. [Online].
- [25] «Rapporto annuale certificati bianchi 2020,» 2020.
- [26] «Rapporto annuale certificati bianchi,» 2020. [Online].
- [27] «Rapporto annuale certificati bianchi 2020,» 2020.

- [28] «ENEA,» 2012. [Online].
- [29] GSE, «Guida alla Cogenerazione ad Alto Rendimento,» 2012. [Online].
- [30] «lifelinecenter,» [Online].
- [31] «arpaLombardia,» 2021. [Online].
- [32] «Casi di studio di buona pratica di data center e sale server efficienti,» 2012.
- [33] «vactis.it,» settembre 2020. [Online].
- [34] Ferrari, «L'evoluzione dei data center,» 2017.
- [35] D. S. F. Bramucci, «Uso razionale dell'energia nei centri di calcolo,» 2010.
- [36] C. C. Fornasieri, «Seasonal energy efficiency (ESEER),» 2007.
- [37] H. Xuejun, «Simulation Analysis of Factors Influencing Chiller EER,» 2014.
- [38] «Daikin.it,» 2016. [Online].
- [39] «dataspan.com,» 2019. [Online].
- [40] «PrimeEnergyIt,» 2012. [Online].
- [41] «sidmartinbio.org,» 2020. [Online].
- [42] S. Streator, «datacenterclosure,» [Online].
- [43] Streator, «datacenterclosure,» [Online].
- [44] «energystar,» [Online].
- [45] Cassinelli, «toptrade,» febbraio 2018. [Online].
- [46] «storage-backup,» luglio 2016. [Online].
- [47] M. Cavallini, *Termodinamica Applicata*, 1988.
- [48] *Fisica Tecnica, appunti lezione*, 2017.
- [49] «ASHRAE,» 2012. [Online].
- [50] Cavallini, «International Journal of Energy Research 38,» 2014. [Online].
- [51] Granryd, «Refrigerating Engineering,» 2011.
- [52] Ferrari, «Data center:strategie di riduzione dei costi,» 2018.
- [53] Frizziero, «Schneider Electric,» agosto 2016. [Online].
- [54] Kim, «mdpi,» [Online].
- [55] Nextville, «Cos'è l'efficienza energetica?,» 2 Maggio 2009. [Online]. Available: <http://www.nextville.it/temi-utili/1>.



[56] R. W. S. Italia, Dicembre 2020. [Online].

[57] Bertini, «enea.it,» 2009. [Online].

[58] Bertini, «enea.it,» 2009. [Online].

# Ringraziamenti

Ringrazio mamma per avermi sempre sostenuto in tutti i miei anni universitari e nei momenti di difficoltà.

Ringrazio mio fratello, tutta la famiglia ed Alberta, che per noi è come ne facesse parte, per l'affetto ed il supporto che ho sempre ricevuto.

Ringrazio gli amici e le amiche, della compagnia, delle superiori e dell'università, con i quali potevo godermi al meglio il mio tempo libero, lontano da pressioni e preoccupazioni.

Ringrazio la A.S.D. Pallacanestro Lendinara dove ho potuto conoscere tante persone che mi hanno aiutato nel mio percorso di crescita, dentro e fuori dal campo, e con i quali ho passato tantissimi bei momenti di sport e divertimento da giocatore e da allenatore.

Ringrazio Alberto e l'azienda agricola Braga dove, durante l'estate, avevo la possibilità di lavorare in un clima sempre sereno e disteso.

Desidero ringraziare tutti coloro che mi ha aiutato nella stesura della tesi con suggerimenti, critiche ed osservazioni. Per questo lavoro di tesi voglio anzitutto ringraziare la mia correlatrice ed il mio relatore, l'Ing. Serena Bari e il Professor Arturo Lorenzoni, per avermi dato la possibilità di sviluppare questo elaborato e di collaborare con una società che svolge un ruolo importante nel suo settore come la Bartucci SpA.

“Sapete col tempo con l'età tante cose ci vengono tolte, ma questo fa parte della vita  
però tu lo impari solo quando quelle cose le cominci a perdere  
e scopri che la vita è un gioco di centimetri, e così è il football  
perchè in entrambi questi giochi la vita e il football il margine d'errore è ridottissimo  
capitolo  
mezzo passo fatto un po' in anticipo o un po' in ritardo  
e voi non ce la fate  
mezzo secondo troppo veloci o troppo lenti  
e mancate la presa  
ma i centimetri che ci servono sono dappertutto  
sono intorno a noi  
ce ne sono in ogni break della partita  
ad ogni minuto  
ad ogni secondo!  
In questa squadra si combatte per un centimetro,  
in questa squadra massacrano di fatica noi stessi e tutti quelli intorno a noi per un  
centimetro  
ci difendiamo con le unghie e con i denti per un centimetro  
perchè sappiamo che quando andremo a sommare tutti quei centimetri  
il totale allora farà la differenza tra la vittoria e la sconfitta  
la differenza fra vivere e morire!  
E voglio dirvi una cosa  
in ogni scontro  
è colui il quale è disposto a morire che guadagnerà un centimetro  
e io so che se potrò avere un'esistenza appagante  
sarà perchè sono disposto ancora a battermi e a morire per quel centimetro  
la nostra vita è tutta lì in questo consiste  
e in quei 10 centimetri davanti alla faccia...  
Ma io non posso obbligarvi a lottare  
dovete guardare il compagno che avete accanto, guardarlo negli occhi  
io scommetto che ci vedrete un uomo determinato a guadagnare terreno con voi  
che ci vedrete un uomo che si sacrificherà volentieri per questa squadra

consapevole del fatto che quando sarà il momento voi farete lo stesso per lui  
questo è essere una squadra signori miei.

Perciò o noi risorgiamo adesso come collettivo  
o saremo annientati individualmente.

E' il football ragazzi!

E' tutto qui!

Allora...

Che cosa volete fare?

Dal discorso di Coach Tony D'Amato; tratto dal film "Ogni maledetta Domenica"

Al mio papà, per il tempo passato con me "Ogni maledetta Domenica", nel parco di Villa Giglioli, rincorrendo un pallone, che ci fosse il caldo asfissiante di luglio o il ghiaccio di gennaio, e per avere sempre assecondato le mie passioni facendomi vivere un'infanzia e un'adolescenza serena e spensierata.