Data Center Infrastructure

Cooling: requisiti IT e soluzioni per DC

Luigi Benedetto Scarponi CNAF-INFN Bologna

12-14 Novembre 2019
Laboratori Nazionali di Frascati e INFN Roma La Sapienza

The INFN CNAF Tier-1 is hosted in a complex university building.

Total of 1950 m^2 used:

- 2 IT Rooms (250 m^2 + 350 m^2) + 1 Power distribution Room

- 3 additional locations:

. Tranformers Room

. UPS Room

. Chillers Room

Chillers Room

- 6 EMERSON Chiller with free cooling capability

- 300 KW each (cooling capacity)

- Periodic auto-rotation of active vs standby (N+2 rendundancy)
- Integrated freecooling
- Water pumps & pipes

Transformers Room

- Dedicated electrical line from energy distribution network

- 15,000 V Voltage Up to **4.0 MW**

- **3 Tranformers** (2 + 1 reserve)
- **2.5 MVA each**
- **15,000 V => 400 V**
- **2 separated 400 V/4000 A** electrical distribution **lines** (RED & GREEN)

UPS Room

Rotary UPS + standard generator rooms

2 EuroDiesel Rotary diesel UPS

- **1700 KVA each** (1340 KW Real Power with a ~0.8 cosϕ)
- 3-5 days autonomy

1 Standard diesel generator

- **1250 KVA**
- can be used for emergency power or not-IT equipment (e.g. chillers)

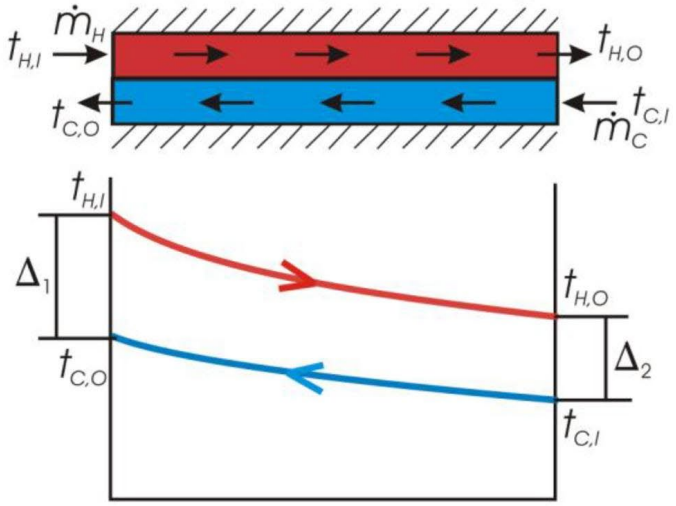
Agenda

- Scambiatori di calore
- Parametri ASHRAE
- Densità IT
- Distribuzione dei carichi IT
- Soluzioni per raffreddamento
- Dipendenza prestazioni/condizioni di esercizio

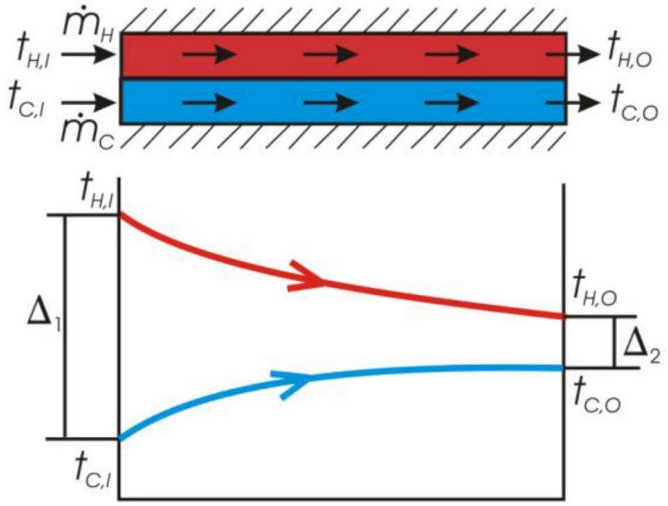
Scambiatori di calore

- **Scambiatori a miscelamento**
due fluidi hanno in genere la stessa natura e si mescolano tra loro
- **Scambiatori a superficie**
due fluidi hanno possono essere di diversa natura, separati da una superficie impermeabile, non c'è mescolamento

Controcorrente



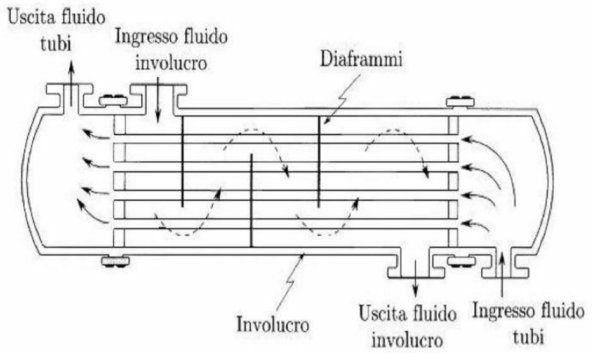
Equicorrente



- ΔT circa costante
- $T_{c,o}$ può essere maggiore di $T_{H,o}$

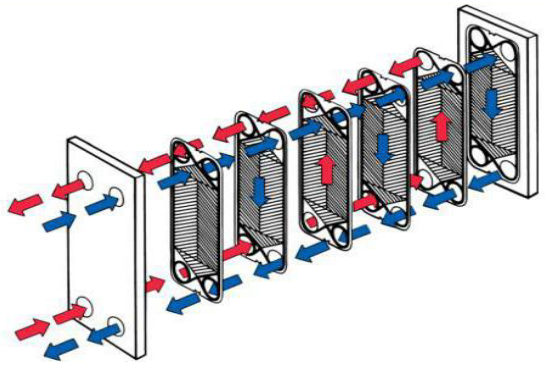
Scambiatori di calore

A tubi



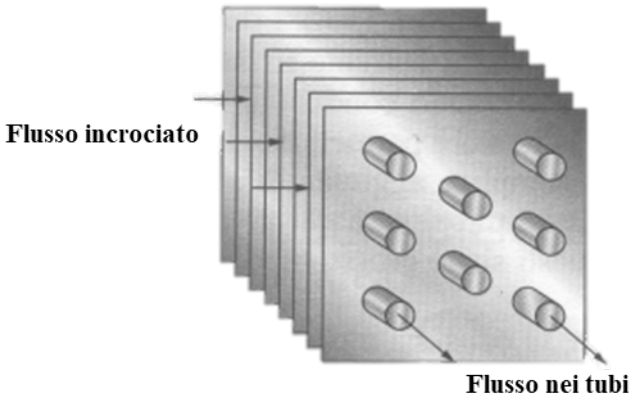
Fascio di tubi rinchiusi in un mantello

A piastre



Scambiatore modulare
Cavità tra le piastre attraversate alternativamente da fluido caldo e freddo

A flussi incrociati



Almeno un fluido gassoso

Scambiatori di calore

$$Q = UA(T_c - T_f)$$

Dove:

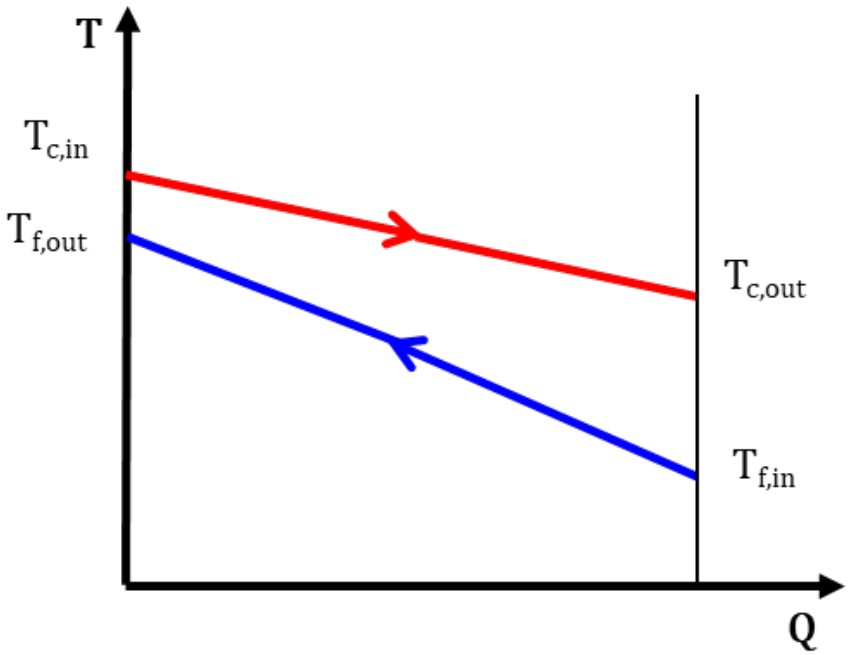
$Q =$ *Potenza termica scambiata* $[W]$

$U =$ *coefficiente di scambio termico globale* $\left[\frac{W}{m^2 K}\right]$

$A =$ *superficie di scambio* $[m^2]$

$T_c =$ *fluido caldo* $[°C]$

$T_f =$ *fluido freddo* $[°C]$



Scambiatori di calore

$$Q = \dot{m}_c c_{p,c}\left(T_{c,in} - T_{c,out}\right)$$
$$Q = \dot{m}_f c_{p,f}\left(T_{f,out} - T_{f,in}\right)$$

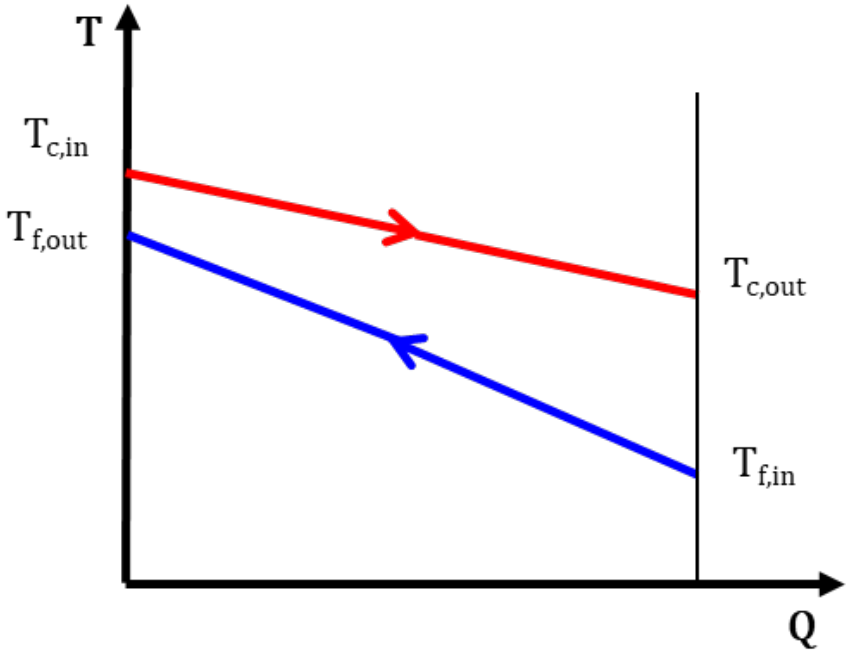
Dove:

Q= potenza termica scambiata [kW]

$\dot{m}$= portata in massa $\left[\frac{kg}{s}\right]$

c_p = calore specifico $\left[\frac{kJ}{kgK}\right]$

NB: equazione valida in assenza di cambi di fase, c_p e pressioni costanti



Scambiatori di calore

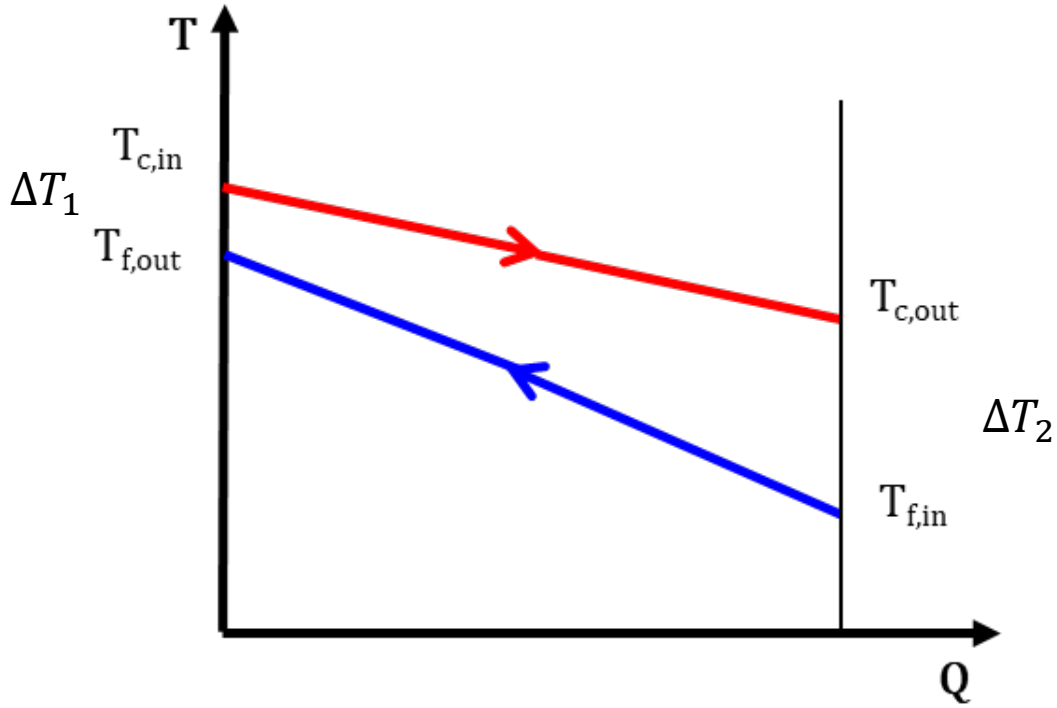
Metodo della media logaritmica delle differenze di temperatura

$$Q = UA\Delta T_{ml}$$

Dove: $\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}$

$$\Delta T_1 = T_{c,in} - T_{f,out}$$

$$\Delta T_2 = T_{c,out} - T_{f,in}$$



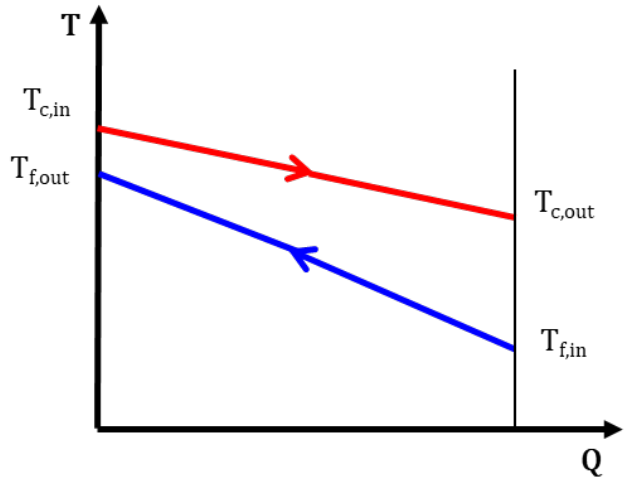
Scambiatori di calore

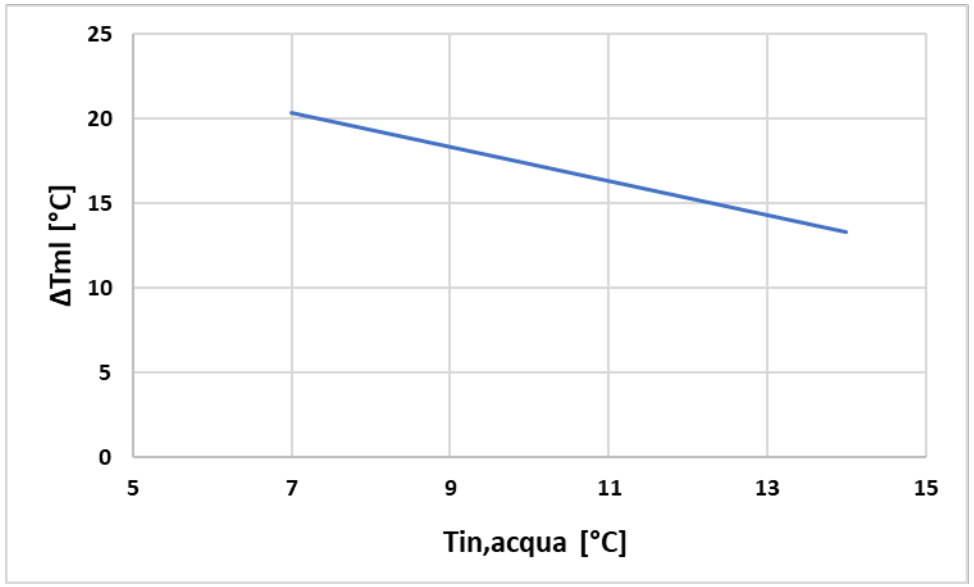
$$Q = UA\Delta T_{ml}$$

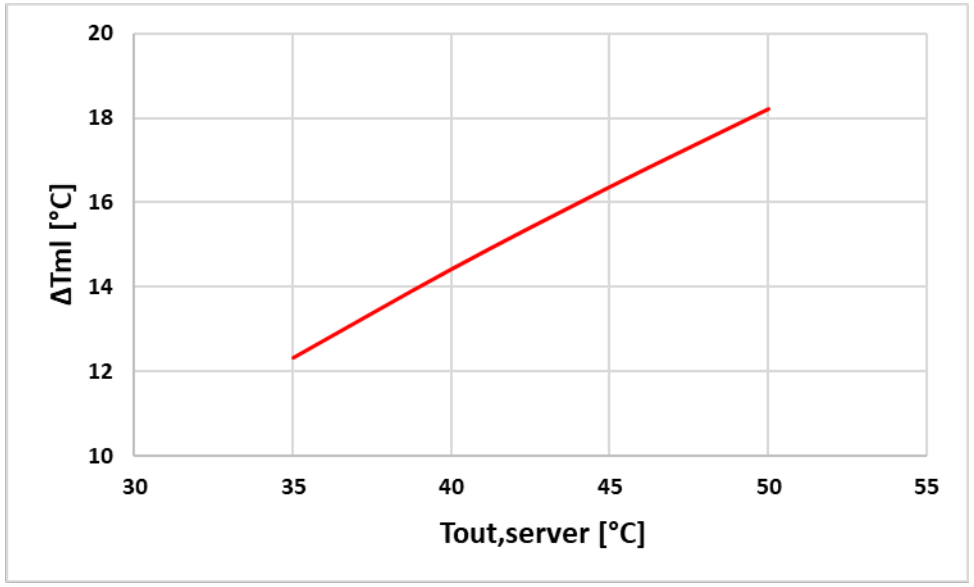
Dove: $\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}$

$$\Delta T_1 = T_{c,in} - T_{f,out}$$

$$\Delta T_2 = T_{c,out} - T_{f,in}$$







Scambiatori di calore

Regolazione

- regolazione di portata tramite valvola a due vie
- regolazione di portata tramite pompa a velocità variabile
- regolazione in derivazione a portata costante
- regolazione in derivazione a temperatura d’ingresso costante.

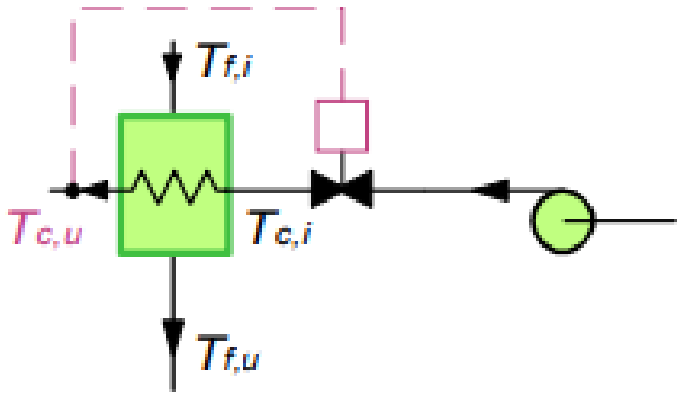
Scambiatori di calore

Regolazione di portata tramite valvola a due vie

la valvola di regolazione introduce una perdita di carico aggiuntiva, il che comporta un aumento della potenza di pompaggio rispetto al caso in cui la stessa portata fluisca nello scambiatore senza valvola

Basso costo d'impianto

Campo di regolazione poco ampio



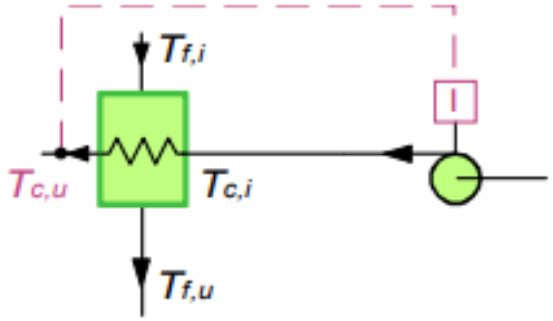
La variabile regolata è la Tc,u

Scambiatori di calore

Regolazione di portata tramite pompa a velocità variabile

La velocità di rotazione della pompa, generalmente azionata da un motore elettrico asincrono monofase o trifase, può essere regolata in modo discontinuo tramite circuiti elettronici

Costi maggiori

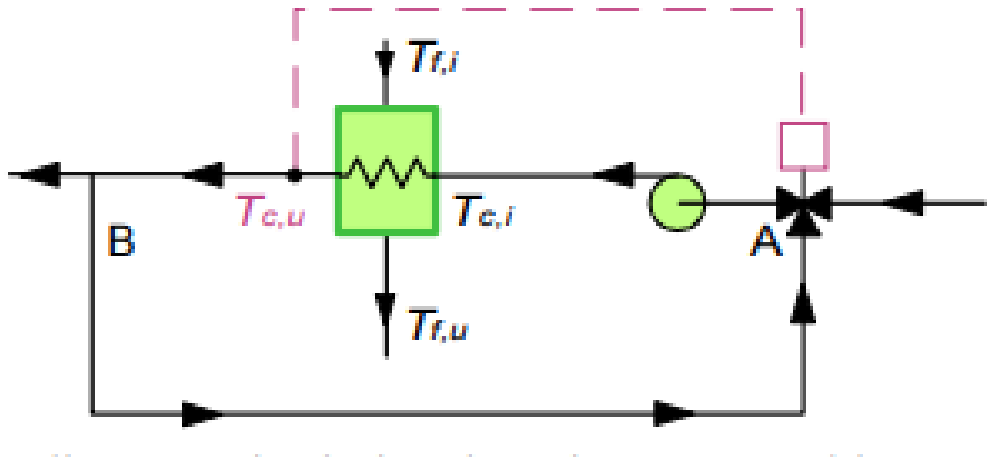


La variabile regolata è la Tc,u

Scambiatori di calore

Regolazione in derivazione a portata costante

Si introduce un ramo di bypass e una valvola a 3 vie miscelatrice.
Lo scambiatore funziona a portata costante, ma con temperatura in ingresso variabile a seconda della quantità di fluido ricircolata nel ramo di bypass.



La variabile regolata è la Tc,u

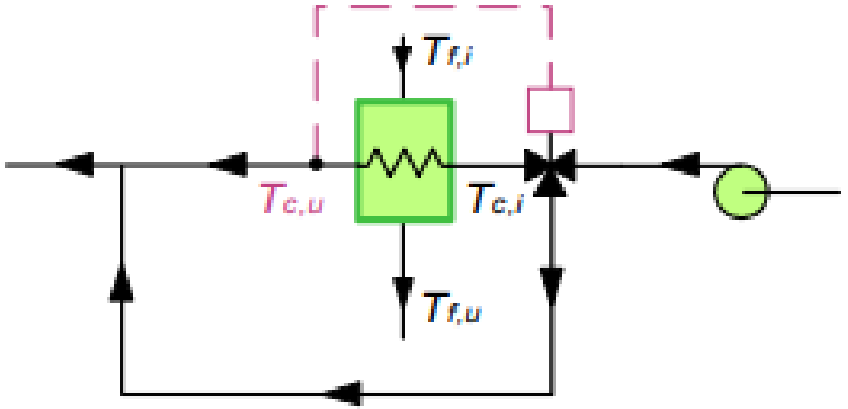
Scambiatori di calore

Regolazione in derivazione a temperatura d'ingresso costante

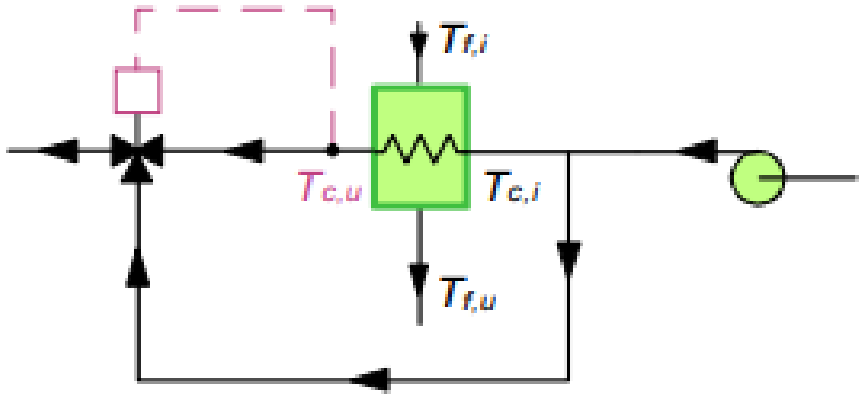
Si introduce una valvola a 3 vie deviatrice, suddivide la portata in ingresso in due flussi in uscita la cui somma si mantiene costante (a).

Lo scambiatore funziona a portata variabile, ma con temperatura d'ingresso costante.

Lo stesso schema si può realizzare inserendo in uscita allo scambiatore una valvola miscelatrice (b)



(a)



(b)

Parametri ASHRAE

ASHRAE, «TC9.9 Data Center Power Equipment Thermal Guidelines and Best Practices,» 2016.
Linea guida preparata sulla base di una larga indagine di DC esistenti e tendenze su Mission Critical Facilities, Data Centers, Technology Spaces, and Electronic Equipment

- Nei datacenter moderni il cooling rappresenta almeno il 25% dei costi energetici totali
- Nel 2004 ASHRAE consigliava un T=20-25 °C
- Affidabilità e tempo di attività erano parametri primari, costi energetici secondari
- Col passare degli anni T=18-27°C
- Nel 2011 classi che permettono di operare con T=5-45°C

Parametri ASHRAE

ASHRAE 2015 Thermal Guidelines

Class[a]	Equipment Environmental Specifications for Air Cooling						
	Product Operations[b,c]					Product Power Off[c,d]	
	Dry-Bulb Temperature[e,g] °C	Humidity Range, Non-Condensing[h,i,k,l]	Maximum Dew Point[k] °C	Maximum Elevation[e,j,m] m	Maximum Temperature Change[f] in an Hour (°C)	Dry-Bulb Temperature °C	Relative Humidity[k] %
Recommended (Suitable for all 4 classes)							
A1 to A4	18 to 27	-9°C DP to 15°C DP and 60% RH					
Allowable							
A1	15 to 32	-12°C DP & 8% RH to 17°C DP and 80% RH[k]	17	3050	5/20	5 to 45	8 to 80
A2	10 to 35	-12°C DP & 8% RH to 21°C DP and 80% RH[k]	21	3050	5/20	5 to 45	8 to 80
A3	5 to 40	-12°C DP & 8% RH to 24°C DP and 85% RH[k]	24	3050	5/20	5 to 45	8 to 80
A4	5 to 45	-12°C DP & 8% RH to 24°C DP and 90% RH[k]	24	3050	5/20	5 to 45	8 to 80
B	5 to 35	8% to 28°C DP and 80% RH[k]	28	3050	NA	5 to 45	8 to 80
C	5 to 40	8% to 28°C DP and 80% RH[k]	28	3050	NA	5 to 45	8 to 80

Bisogna considerare che in un Data Center potrei avere attrezzature vecchie non idonee a certe condizioni ambientali!

Diagramma Psicrometrico

Unità SI

Temperatura da 0°C a +50°C

Pressione 101,325 kPa

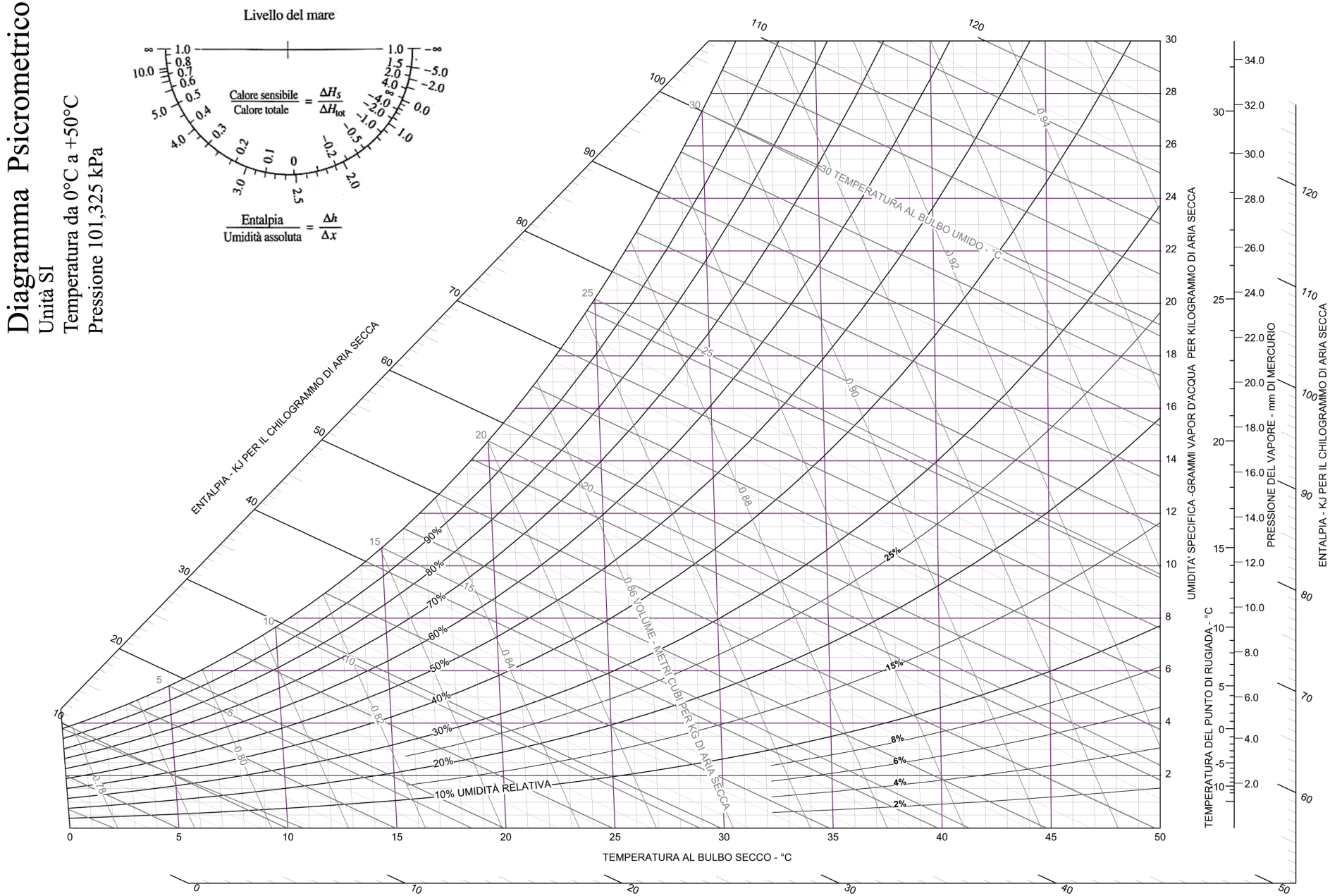


Diagramma Psicrometrico

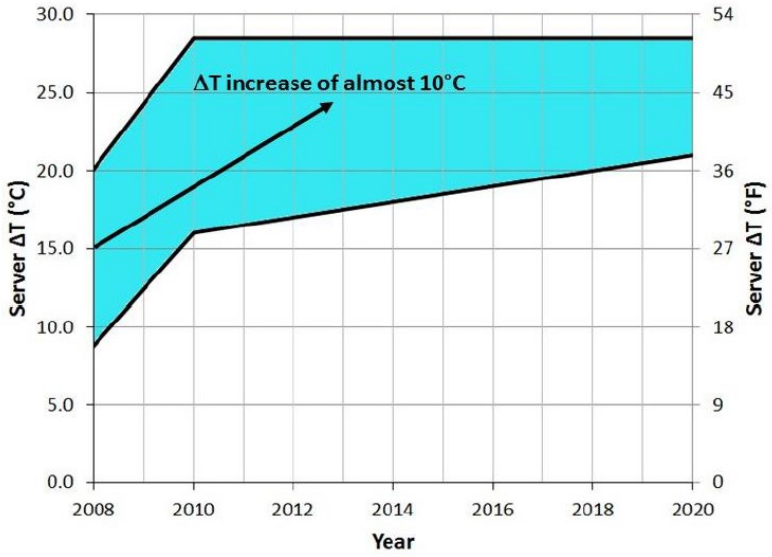
Unità SI
Temperatura da 0°C a +50°C
Pressione 101,325 kPa

Parametri ASHRAE

ASHRAE TC 9.9 prevede un aumento del salto termico dell'aria tra ingresso e uscita delle macchine. I sistemi di controllo della velocità dei ventilatori possono ridurre la velocità per ottenere una temperatura di uscita costante.

Tout più elevate (= più economico da raffreddare)

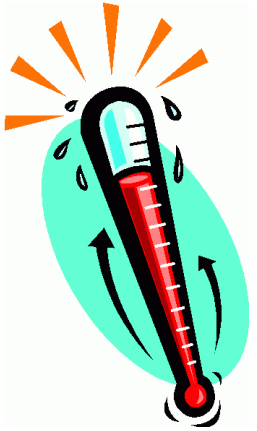
Minore potenza per la ventilazione



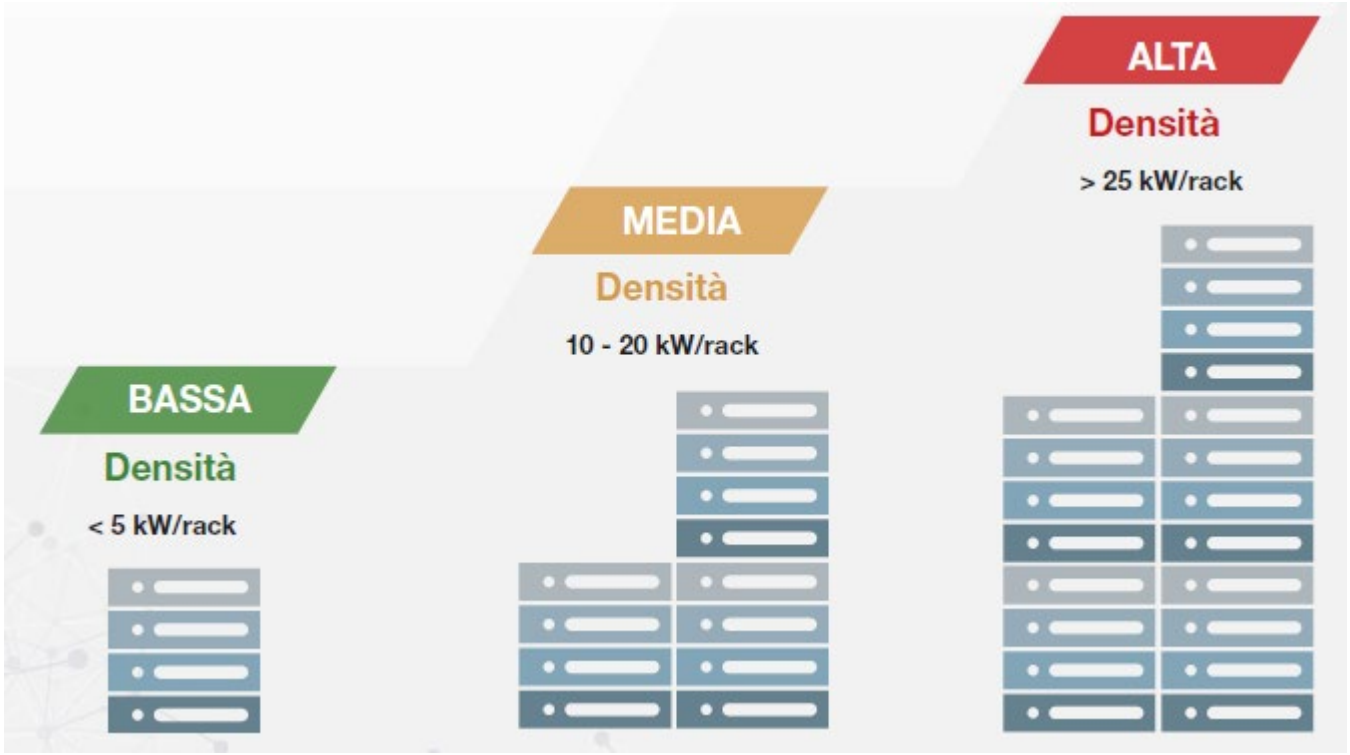
Temperatura di espulsione fino a 60°C sono considerate «normali»

Conseguenze per cavi e altri componenti

Densità IT



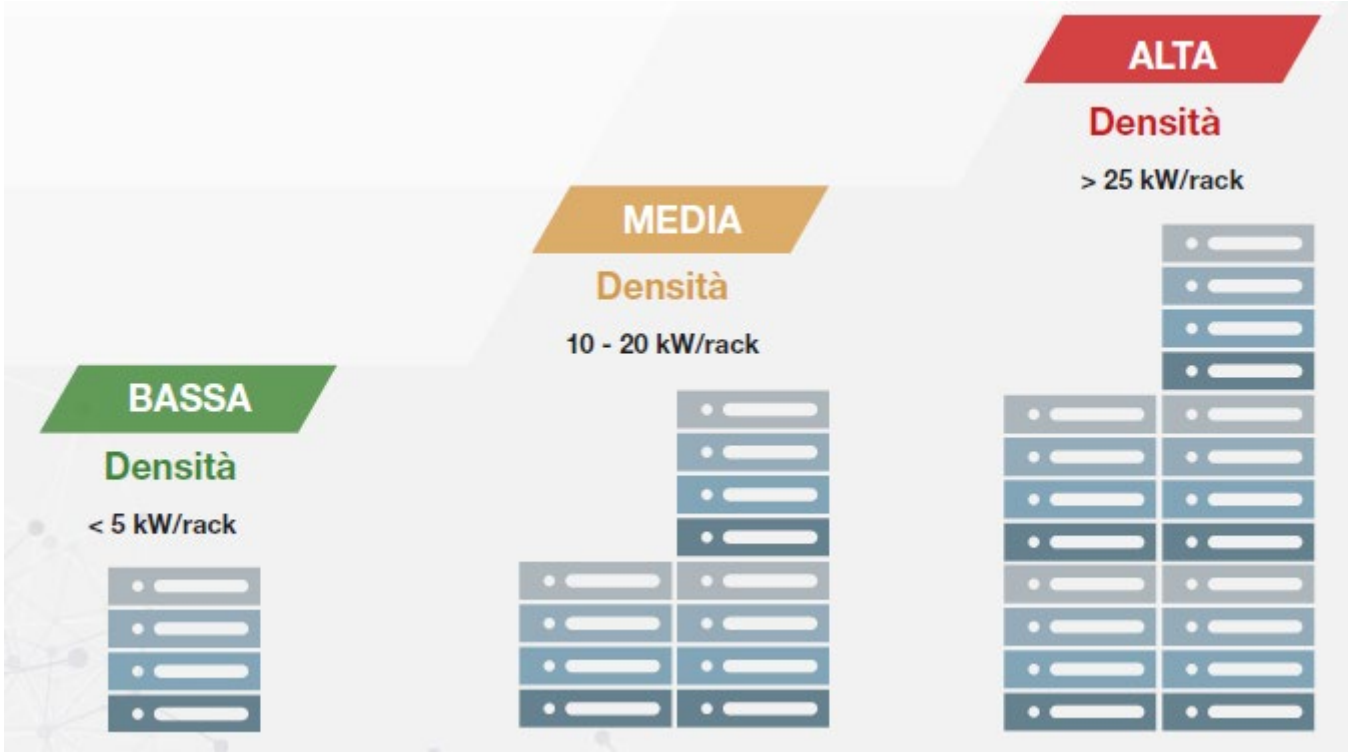
L’aumento delle prestazioni dei microprocessori, porta ad un aumento costante delle densità di potenza generata.



https://www.melcohit.com/EN/Products/3/ITCooling/

Densità IT

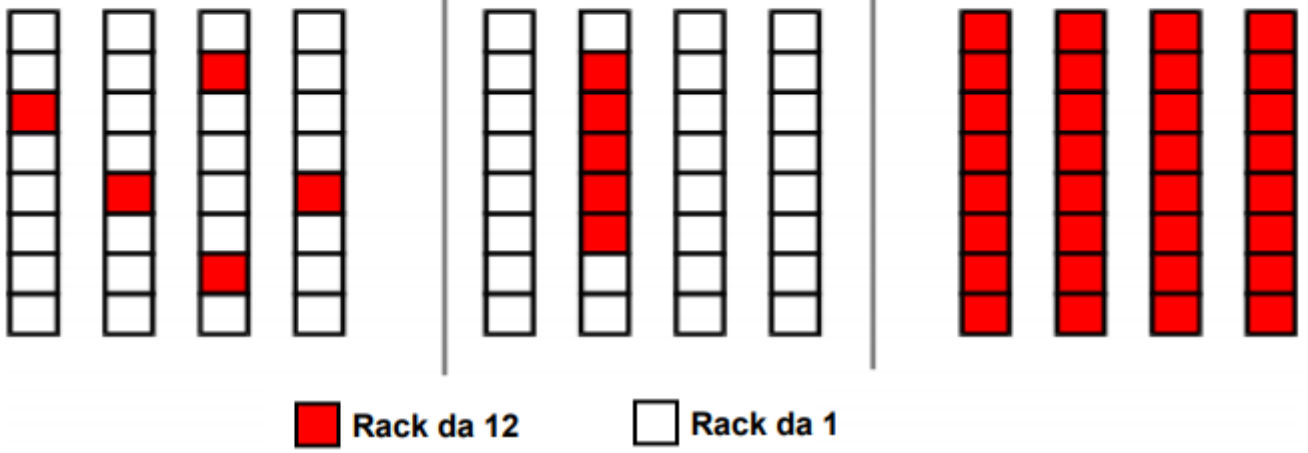
- Importante capire i limiti dei sistemi di raffreddamento
- Sistemi h24, anche piccoli risparmi diventano importanti



Distribuzione dei carichi IT

Il valore nominale totale dell'impianto di alimentazione e del sistema di raffreddamento è dato, semplicemente, dalla somma della potenza consumata dai carichi

Alternativa n. 1		Alternativa n. 2		Alternativa n. 3	
Rack massimo:	5,2 kW/m²	Rack massimo:	5,2 kW/m²	Rack massimo:	5,2 kW/m²
Fila massima	1,6 kW/m²	Fila massima	3,4 kW/m²	Fila massima	5,2 kW/m²
Sala:	1,2 kW/m²	Sala:	1,2 kW/m²	Sala:	5,2 kW/m²



Il problema principale correlato alla variazione e ai valori di picco della densità di alimentazione riguarda la distribuzione di aria e alimentazione all'interno del Data Center

https://download.schneider-electric.com/files?p_Doc_Ref=SPD_SADE-5TNRK6_IT

Distribuzione dei carichi IT

Esempio White Paper APC

Impianto di blade server formato da sei frame di blade server 7U in un rack 42U,
in cui il telaio di ogni blade consuma 3 kW per un fabbisogno totale di 18 kW

18 kW per raffreddamento

Il sistema richiede 1180 L/s di aria fredda
Se non assicuro altrettanta aspirazione di aria calda rischio ricircolo e surriscaldamento.

Punti chiave

- Fornire 1.180 L/s di aria fredda all'armadio
- Rimuovere 1.180 L/s di aria di scarico calda dall'armadio
- Mantenere l'aria di scarico calda lontana dalla presa di aspirazione dell'aria
- Assolvere a tutte queste funzioni in modo ridondante e senza interruzioni

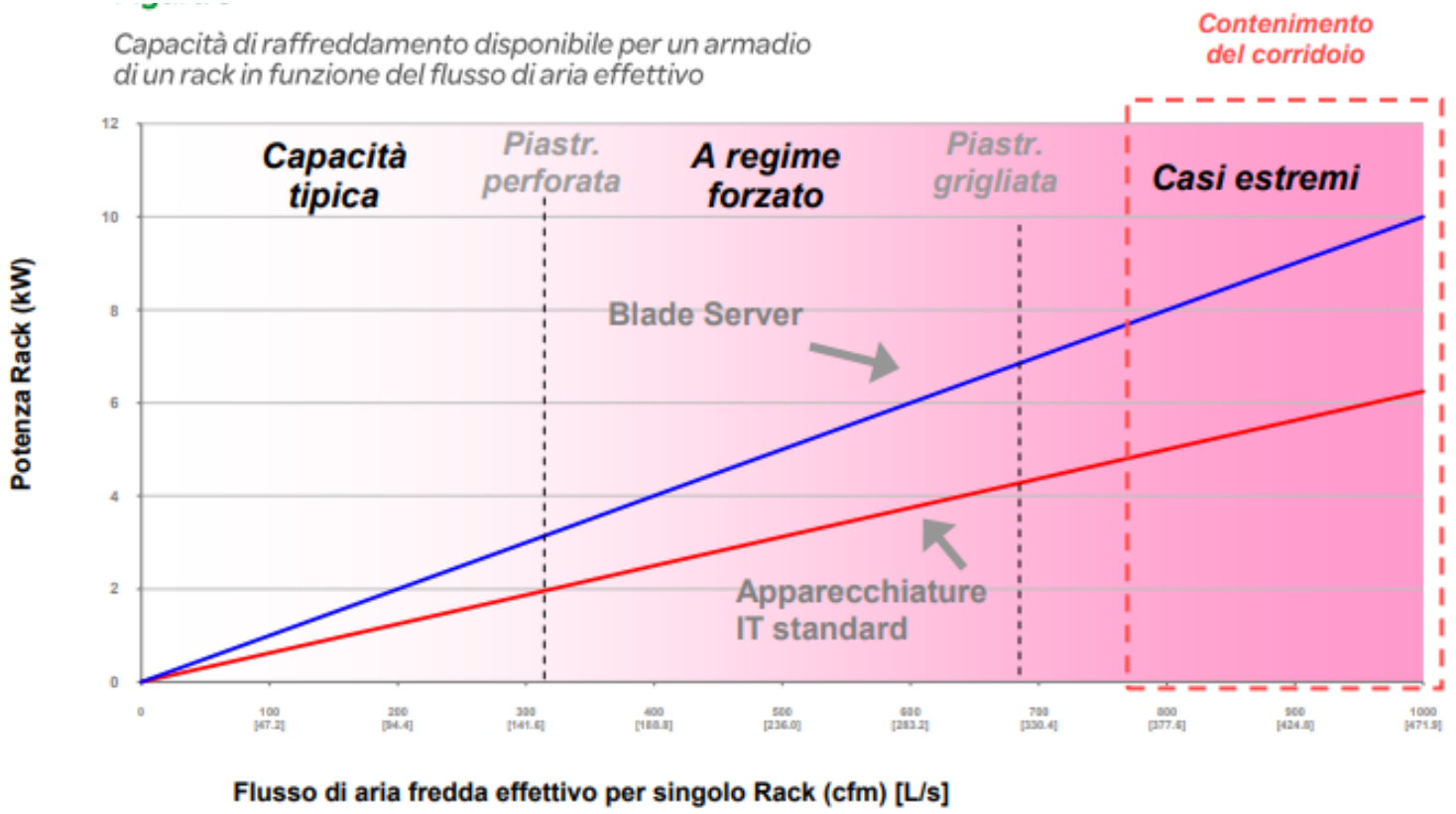
Distribuzione dei carichi IT

Fornire 1.180 L/s di aria fredda all'armadio

(ΔT=11 °C)

In media una piastrella forata eroga 142 L/s

Servono 8 piastrelle!



I blade server richiedono in media il 40% in meno di aria

Le piastrelle grigliate alterano drasticamente i gradienti di pressione sotto il pavimento e modifica il flusso d'aria nelle aree circostanti

Distribuzione dei carichi IT

Rimuovere 1.180 L/s di aria di scarico calda dall'armadio

Per reintrodurre l'aria nel sistema di raffreddamento si può ricorrere a tre metodi: attraverso la stanza, attraverso un condotto oppure attraverso il plenum di aspirazione a soffitto.

Spesso il soffitto è poco più in alto degli armadi, probabile il ricircolo

Come avviene per il lato alimentazione, i tentativi di fornire una capacità di ritorno dell'aria superiore a 189 L/s per ogni rack su un'area vasta richiedono una progettazione specializzata per garantire che il sistema abbia la ridondanza e offra le prestazioni necessarie.

Distribuzione dei carichi IT

Mantenere l'aria di scarico calda lontana dalla presa di aspirazione dell'aria

Importante evitare i ricircoli di aria!

Scendono le prestazioni di scambio termico!

Dettaglio della configurazione di incastro

Distribuzione dei carichi IT

Assolvere a tutte queste funzioni in modo ridondante e senza interruzioni

- In sistemi ad alta densità lo spegnimento di un CRAC/CRAH può alterare significativamente la velocità dei flussi nel plenum
- Prima che i generatori si attivino l'aumento di temperatura in sala può essere eccessivo
- Necessario mantenere attive pompe e ventole dei CRAC/CRAH

Distribuzione dei carichi IT

Strategie per il raffreddamento di armadi ad alta densità

Strategia	Vantaggi	Svantaggi	Applicazione
1. Ripartizione del carico **Distribuzione degli apparati su più armadi per mantenere un carico di picco basso**	Funziona ovunque, nessuna pianificazione necessaria Nella maggior parte dei casi non prevede costi aggiuntivi	Le apparecchiature ad alta densità devono essere ripartite ulteriormente rispetto all'approccio 2 Richiede una maggiore superficie Può provocare problemi nel cablaggio dati	Nei Data Center esistenti, quando le apparecchiature ad alta densità rappresentano una parte minima del carico totale
2. Prestito di raffreddamento **Fornitura di una capacità di raffreddamento media con regole per consentire il prestito della capacità sottoutilizzata**	Non sono necessarie nuove apparecchiature Nella maggior parte dei casi non prevede costi aggiuntivi	Limite pari a 2 volte la densità di alimentazione di progettazione Richiede una maggiore superficie Richiede l'implementazione di regole complesse	Nei Data Center esistenti, quando le apparecchiature ad alta densità rappresentano una parte minima del carico totale
3. Raffreddamento integrativo **Fornitura di una capacità di raffreddamento media con la predisposizione di apparecchiature per il raffreddamento integrativo**	Alta densità dove e quando necessaria Costi di capitale differiti Alta efficienza Utilizzo ottimale dello spazio su pavimento	Limite pari a circa 10 kW per armadio I rack e la sala devono essere progettati in anticipo per supportare questo tipo di approccio	Nuova costruzione o rinnovo delle strutture esistenti Ambiente misto La posizione degli apparati ad alta densità non è nota in anticipo
4. Area ad alta densità **Creazione di una particolare fila o area ad alta densità all'interno del Data Center**	Massima densità Utilizzo ottimale dello spazio su pavimento Le apparecchiature ad alta densità non devono essere ripartite Alta efficienza	È necessario pianificare in anticipo un'area ad alta densità, o riservare lo spazio necessario È necessario segregare gli apparati ad alta densità	Densità 10-25 kW per rack Quando esiste la necessità di co-locazione dei dispositivi ad alta densità Nuova costruzione o rinnovo delle strutture esistenti
5. Intera sala **Fornitura di una capacità di raffreddamento ad alta densità a ogni rack**	Gestione di tutti gli scenari futuri	Costi di capitale e operativi elevati 4 volte superiori rispetto ai metodi alternativi Possibile sottoutilizzo di infrastrutture estremamente costose	Casi rari ed estremi di farm di grandi dimensioni contenenti apparati ad alta densità con disponibilità di spazio molto limitate

Soluzioni per raffreddamento

BASSA DENSITÀ
<5 kW/rack

Sistema tradizionale

il sistema di raffreddamento tende a mantenere stabile le condizioni medie della sala ma senza tener conto dei bisogni dei singoli server.
Temperatura di sala intorno a 18-24 °C

CRAC
Computer Room Air Conditioning
Unità ad espansione diretta
Ciclo frigorifero in ogni unità

CRAH
Computer Room Air Handler
Scambiatori di calore collegati a un circuito ad acqua refrigerata

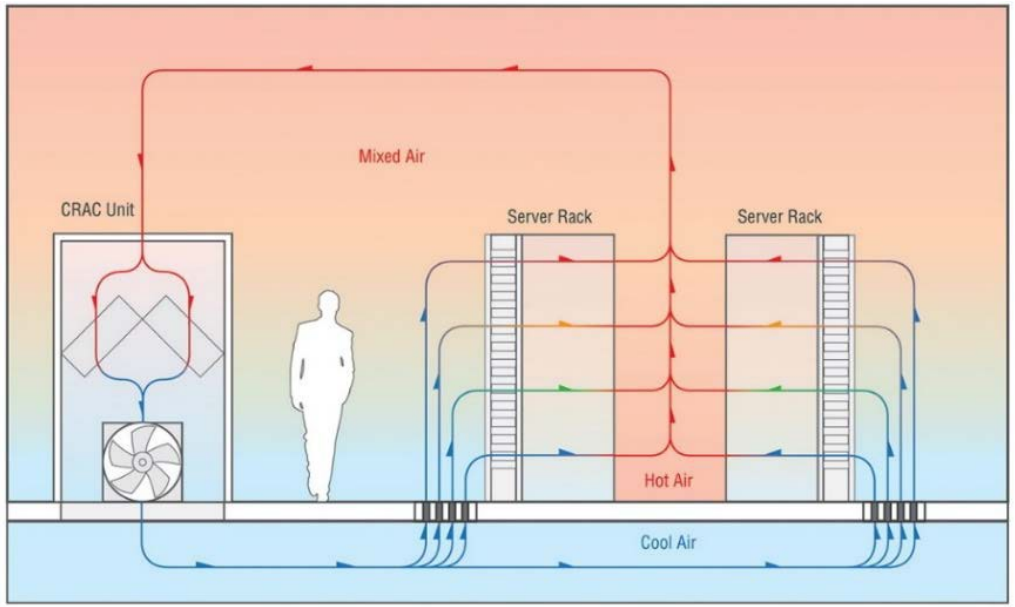
Problematiche

- Disuniformità della temperatura in ingresso ai server
- Mescolamento aria calda/fredda
- Se Tin troppo alta possibile blocco dei server
- Se Tout scende peggiora efficienza ciclo frigo

Soluzioni per raffreddamento

BASSA-MEDIA DENSITÀ
<5 kW/rack

Corridoio caldo/freddo



- Riduce mix aria calda/fredda
- Aria portata dove serve, davanti ai rack
- Flessibile, facile inserire nuovi rack
- Bassi costi
- Facile gestire ridondanza flussi d'aria

Problematiche

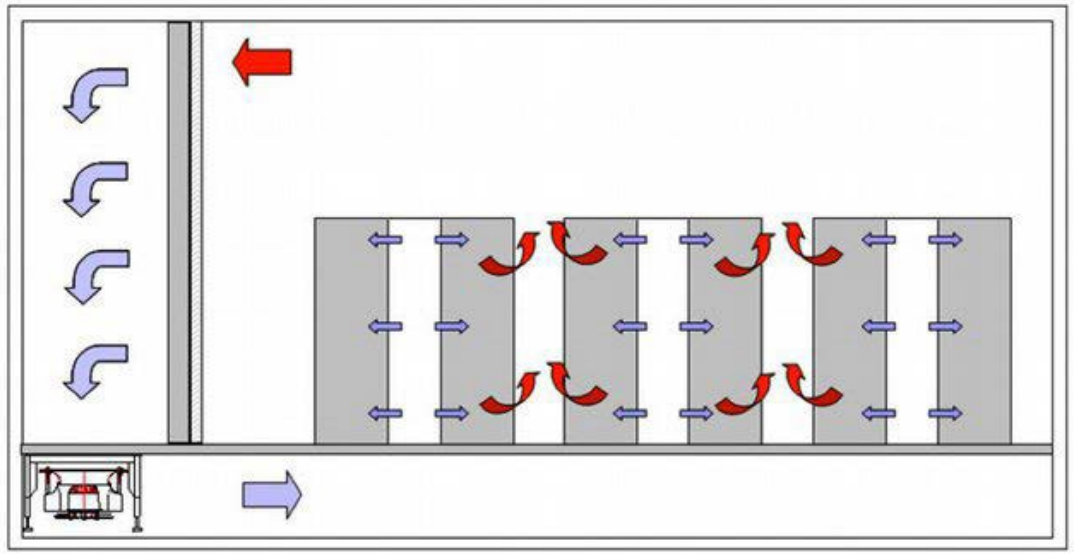
- Disuniformità della temperatura in ingresso ai server
- Mescolamento aria calda/fredda
- Se Tin troppo alta possibile blocco dei server
- Se Tout scende peggiora efficienza ciclo frigo

Soluzioni per raffreddamento

BASSA-MEDIADENSITÀ
<5 kW/rack

Corridoio caldo/freddo
Fan wall

- Parete di scambiatori aria-acqua
- Macchine per raffreddamento concentrate in una parete
- Ventilatori aspiranti o prementi
- Utilizzabili in sistemi compartimentati



Soluzioni per raffreddamento

MEDIA DENSITÀ
10-20 kW/rack

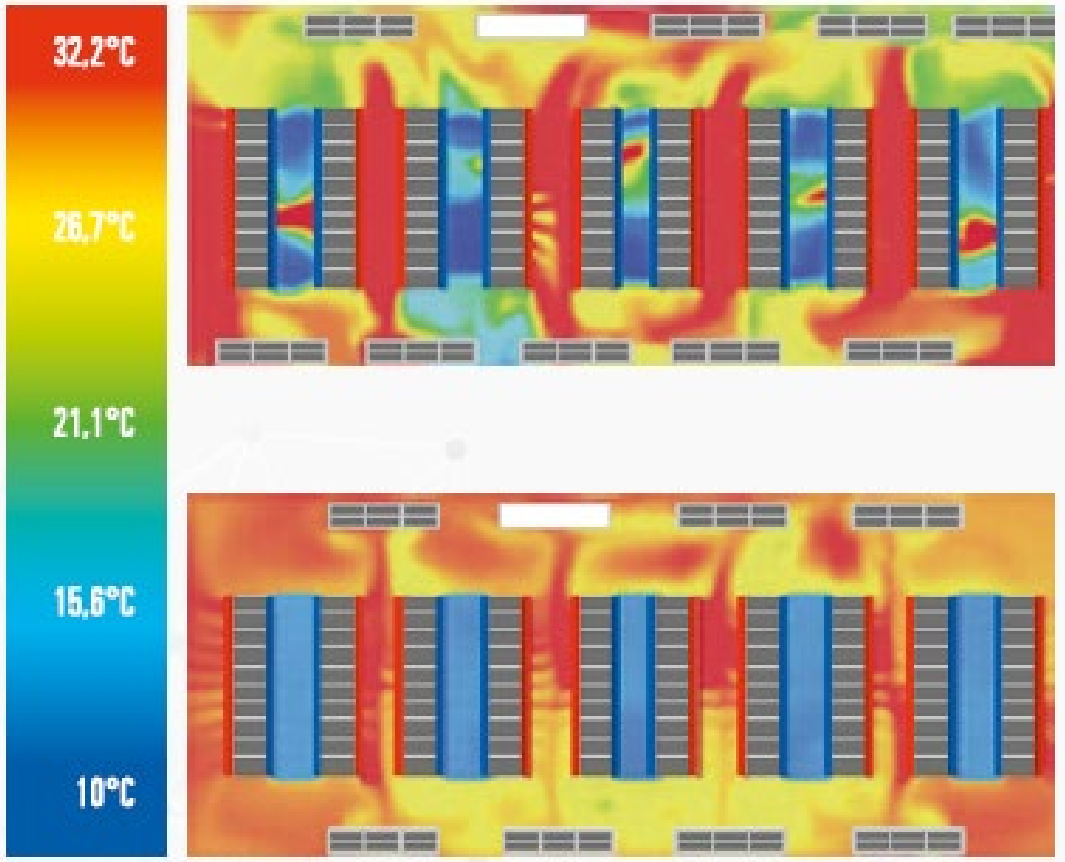
Compartimentazione fisica

- Separazione tra aria calda e fredda
- Uniformità della temperatura in ingresso ai server
- Maggiore temperatura di ritorno (aumenta efficienza ciclo frigo)
- Possibilità di aumentare la temperatura in ingresso ai server
- Maggiori densità di potenza
- Aumenta l’efficienza del Data Center

Soluzioni per raffreddamento

MEDIA DENSITÀ
10-20 kW/rack

Compartimentazione



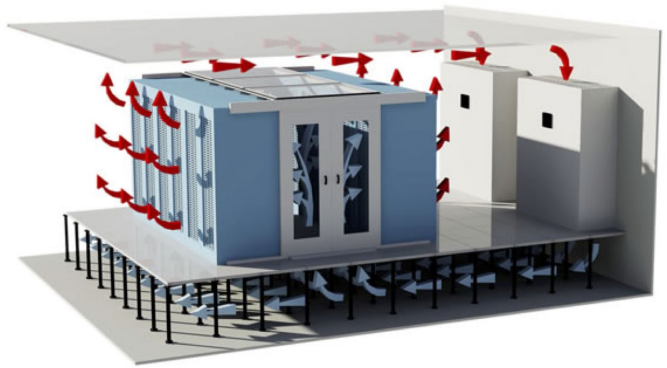
Soluzioni per raffreddamento

MEDIA DENSITÀ
10-20 kW/rack

Compartimentazione

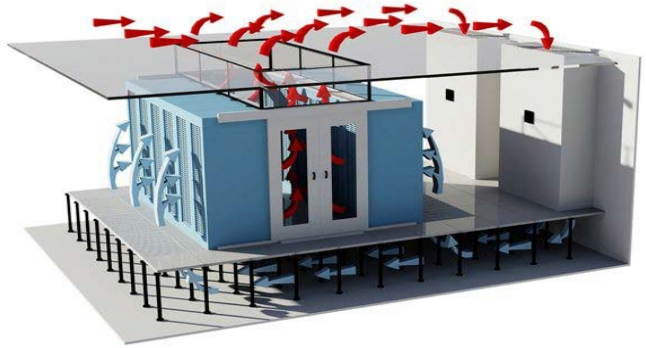
- Quantità d'aria immessa dipende dal numero di griglie
  - Fughe nel pavimento portano a mescolamento
- Da verificare la compatibilità con sistemi anti incendio

Corridoio freddo



- Verificare l'operabilità delle macchine fuori dal corridoio

Corridoio caldo



- Possibilità di installare macchinari a bassa densità nell'ambiente esterno
- Evita problemi di comfort per il personale
- Temperature elevate nel corridoio per la manutenzione

Soluzioni per raffreddamento

ALTA DENSITÀ
>25 kW/rack

Compartimentazione
+
raffreddamento localizzato

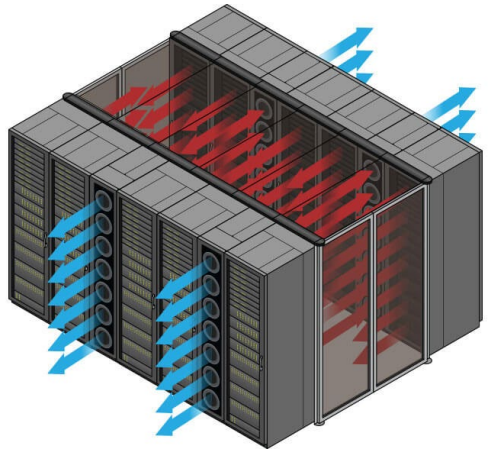
- Massimizzare la capacità interna dell'infrastruttura
- Eliminare gli hot-spot
- Ridurre lo spazio occupato

Soluzioni per raffreddamento

ALTA DENSITÀ
>25 kW/rack

In Row

- Utilizzati in sistemi compartimentati
- Alimentati da acqua refrigerata o fluido refrigerante
- Installati tra i rack
- Adatti ad elevate densità di potenza
- Equipaggiabili con sistemi di controllo umidità
- Facilità di ridondanza
- Possono evitare il pavimento rialzato e/o camino

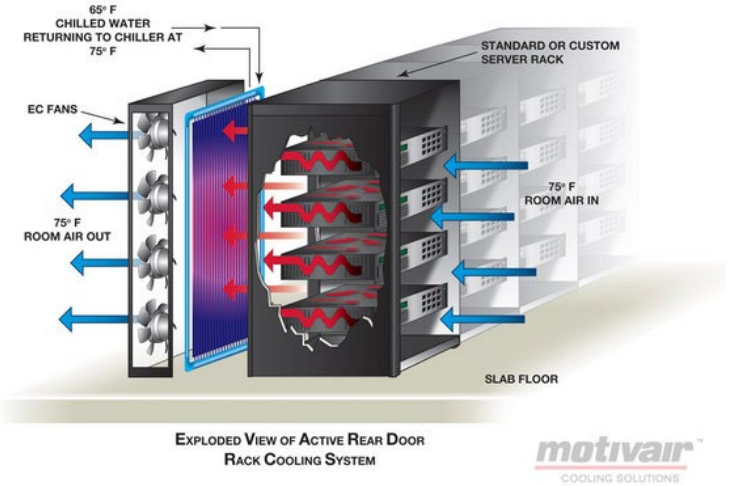


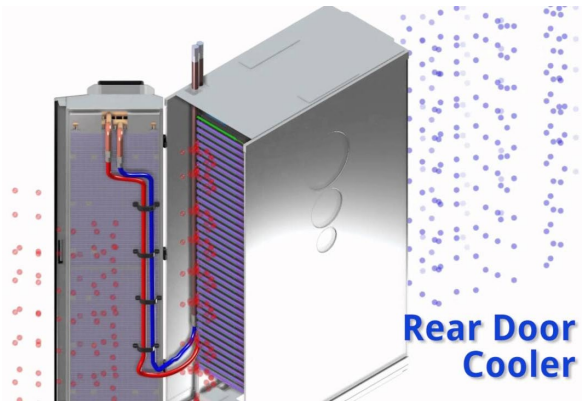
Soluzioni per raffreddamento

ALTA DENSITÀ
>25 kW/rack

Rear Door

- Sistema compatto
- Può utilizzare acqua o fluido refrigerante
- Soluzione per gestione di hot spot
- Non influenza il resto della sala
- Installabile nel retro del rack, apribile per manutenzione
- Può essere dotato di ventole per aumentare lo scambio termico
- Vincolo di portare il fluido refrigerante ad ogni singolo rack





Soluzioni per raffreddamento

Free Cooling

Diretto

Se $T_{ext} < T_{set}$ immetto aria esterna in sala.
Problemi di umidità e sporcizia
Posso usare dei filtri
Per T_{ext} troppo fredde posso premiscelare l'aria esterna con quella di sala

Indiretto

Aria

Se $T_{ext} < T_{set}$ raffreddo aria interna con quella esterna tramite uno scambiatore.
Lo scambio termico riduce le finestre di operabilità

Acqua

L'acqua utilizzata nei CRAH viene raffreddata utilizzando aria esterna. Può essere totale o parziale, in questo caso il gruppo frigorifero lavorerà parzialmente

Il range di operatività del free cooling può essere ampliato tramite l'utilizzo del raffreddamento evaporativo o adiabatico

Dipendenza prestazioni/condizioni di esercizio

Importante capire che le prestazioni dichiarate sui datasheet dipendono dalle condizioni di esercizio!!!

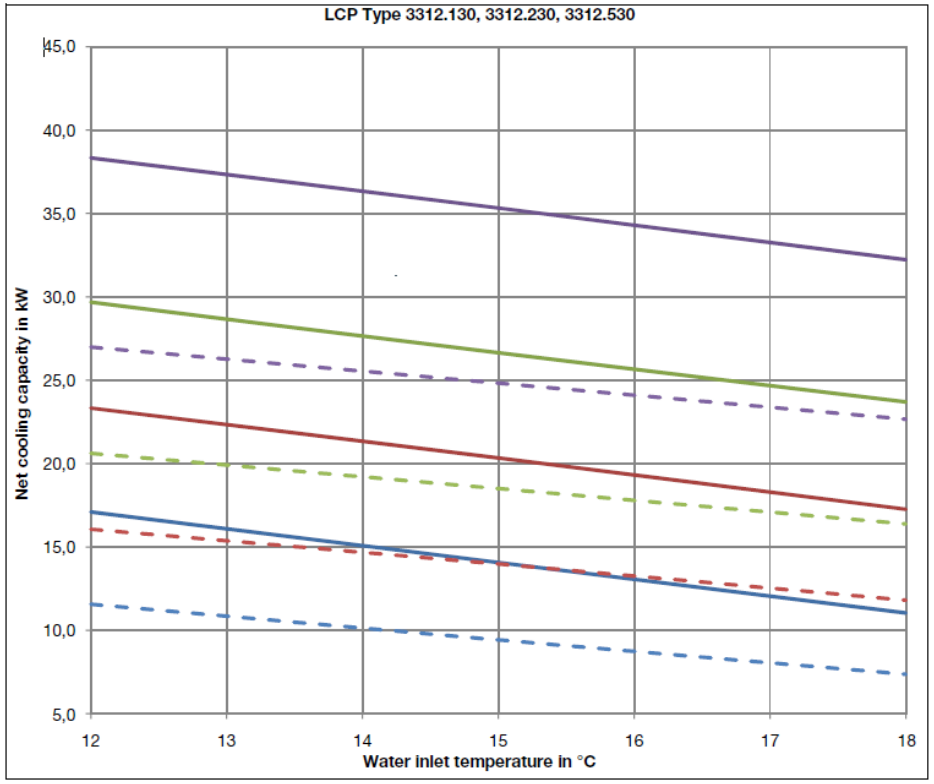


Fig. 105: Power curve LCP Typ 3312.130, 3312.230, 3312.530

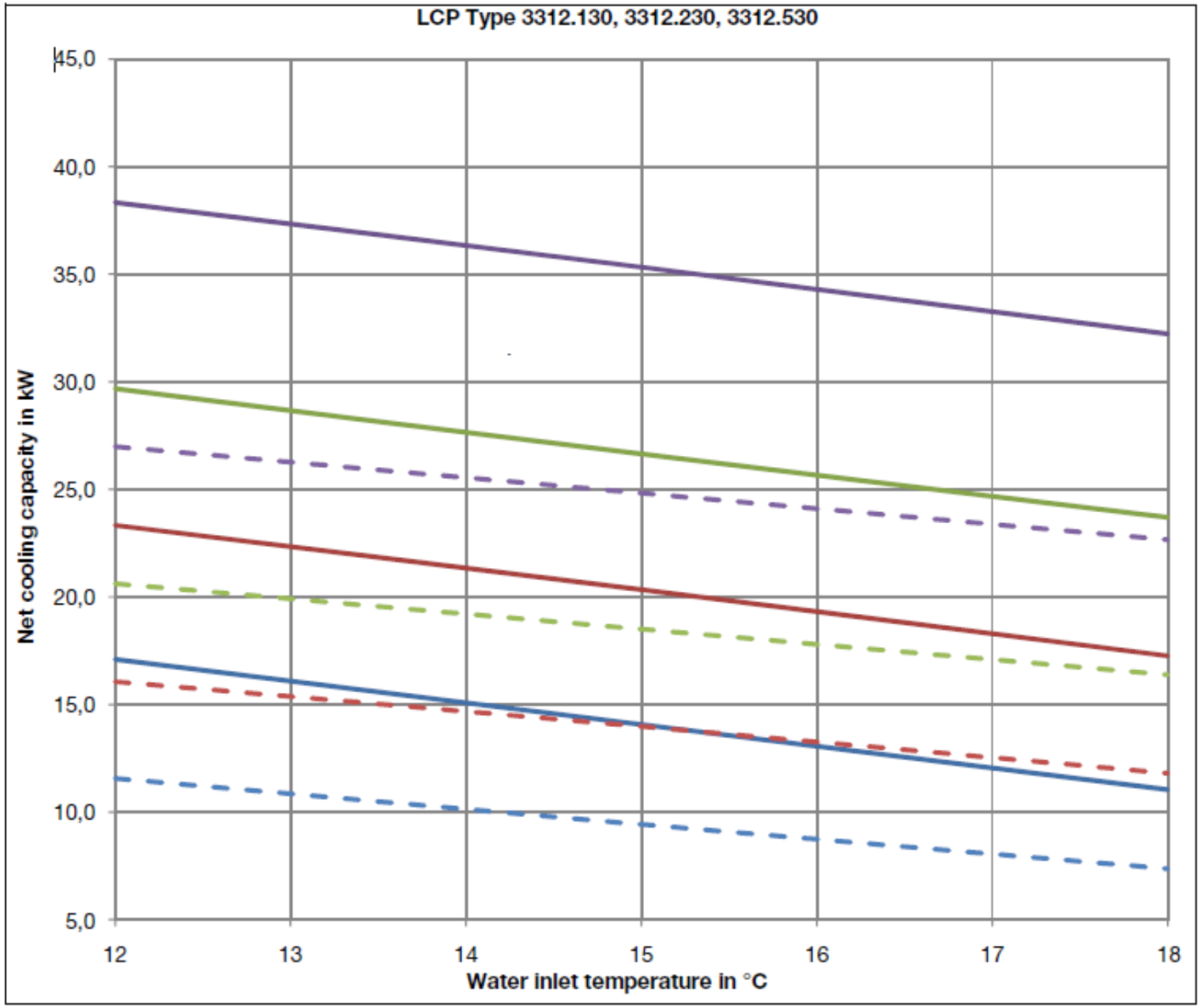
Key

- Server outlet air temperature 30 °C, 60 l/min
- Server outlet air temperature 36 °C, 60 l/min
- Server outlet air temperature 42 °C, 60 l/min
- Server outlet air temperature 50 °C, 60 l/min
- Server outlet air temperature 30 °C, 20 l/min
- Server outlet air temperature 36 °C, 20 l/min
- Server outlet air temperature 42 °C, 20 l/min
- Server outlet air temperature 50 °C, 20 l/min

Conditions

No. of fan modules: 4
Volumetric airflow: 5000 m^3/h
Air pressure: 1.013 bar
Abs. humidity: 8 g/kg

https://www.rittal.com/it-it/product/show/variantdetail.action?categoryPath=/PG0001/PG0168KLIMA1/PGR1951KLIMA1/PG1023KLIMA1/PRO34169KLIMA&productID=3311410



Key

- Server outlet air temperature 30 °C, 60 l/min
- Server outlet air temperature 36 °C, 60 l/min
- Server outlet air temperature 42 °C, 60 l/min
- Server outlet air temperature 50 °C, 60 l/min
- Server outlet air temperature 30 °C, 20 l/min
- Server outlet air temperature 36 °C, 20 l/min
- Server outlet air temperature 42 °C, 20 l/min
- Server outlet air temperature 50 °C, 20 l/min

Conditions

No. of fan modules: 4
Volumetric airflow: 5000 m^3/h
Air pressure: 1.013 bar
Abs. humidity: 8 g/kg

ESEMPIO AUMENTO TEMPERATURE CNAF

Temperatura set-point acqua	Temperatura aria corridoio freddo	Banda morta controllo U.R. corridoio freddo
8.5°C	18°C	50 ÷ 55 %

Aumento T acqua in uscita dai chiller

1

$$COP_{r,Carnot} = \frac{T_{eva}}{T_{cond} - T_{eva}}$$

Se T_{eva} ↑ COP ↑

Se T_{cond} ↑ COP ↓

2

Si allarga la finestra per freecooling
Aumenta l'efficienza dello scambiatore

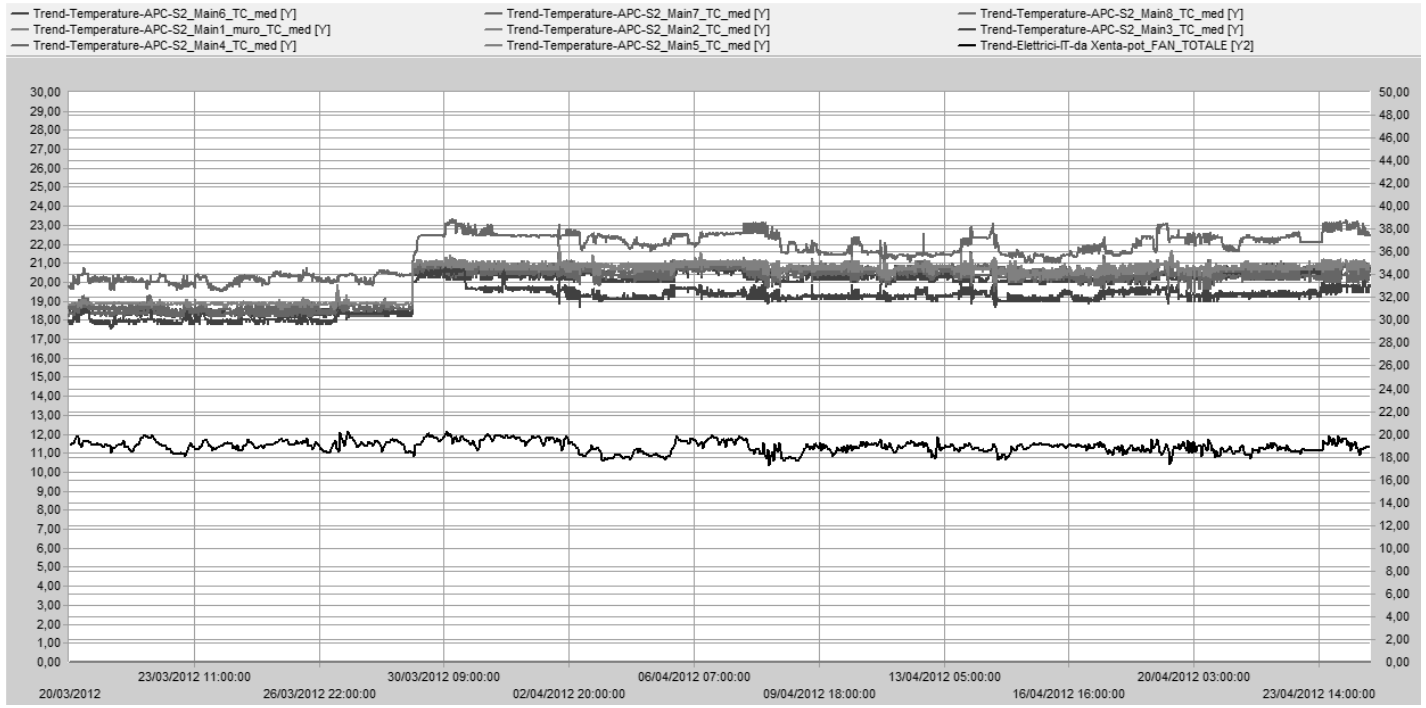
ESEMPIO AUMENTO TEMPERATURE CNAF

Vantaggi
- Possibilità di aumentare le temperature estreme di funzionamento dei chiller beneficiando così di una maggiore efficienza termodinamica
- Maggior numero di ore di free cooling sia diretto che indiretto
- Minori dispersioni termiche dirette e indirette durante le stagioni calde
- Minori spese di pompaggio legate alla diminuzione della viscosità del glicole normalmente presente all'interno dei circuiti con liquido di raffreddamento
- Minore necessità di deumidificare soprattutto durante le stagioni calde a causa di inevitabili rientrate d'aria dall'esterno

Svantaggi
- Maggiori criticità di funzionamento delle unità IT in relazione alla presenza di punti caldi (*hotspots*) spesso difficili da localizzare
- Aumento del carico delle ventole di raffreddamento delle unità IT
- Possibile incremento del livello sonoro nella sala CED
- Maggiori consumi delle unità IT dovuti all'aumento delle correnti di dispersione nei semiconduttori
- Ambiente meno confortevole per il personale
- Riduzione del volano termico
- Maggiore necessità di umidificare soprattutto durante le stagioni fredde a causa di inevitabili rientrate d'aria dall'esterno

ESEMPIO AUMENTO TEMPERATURE CNAF

°C

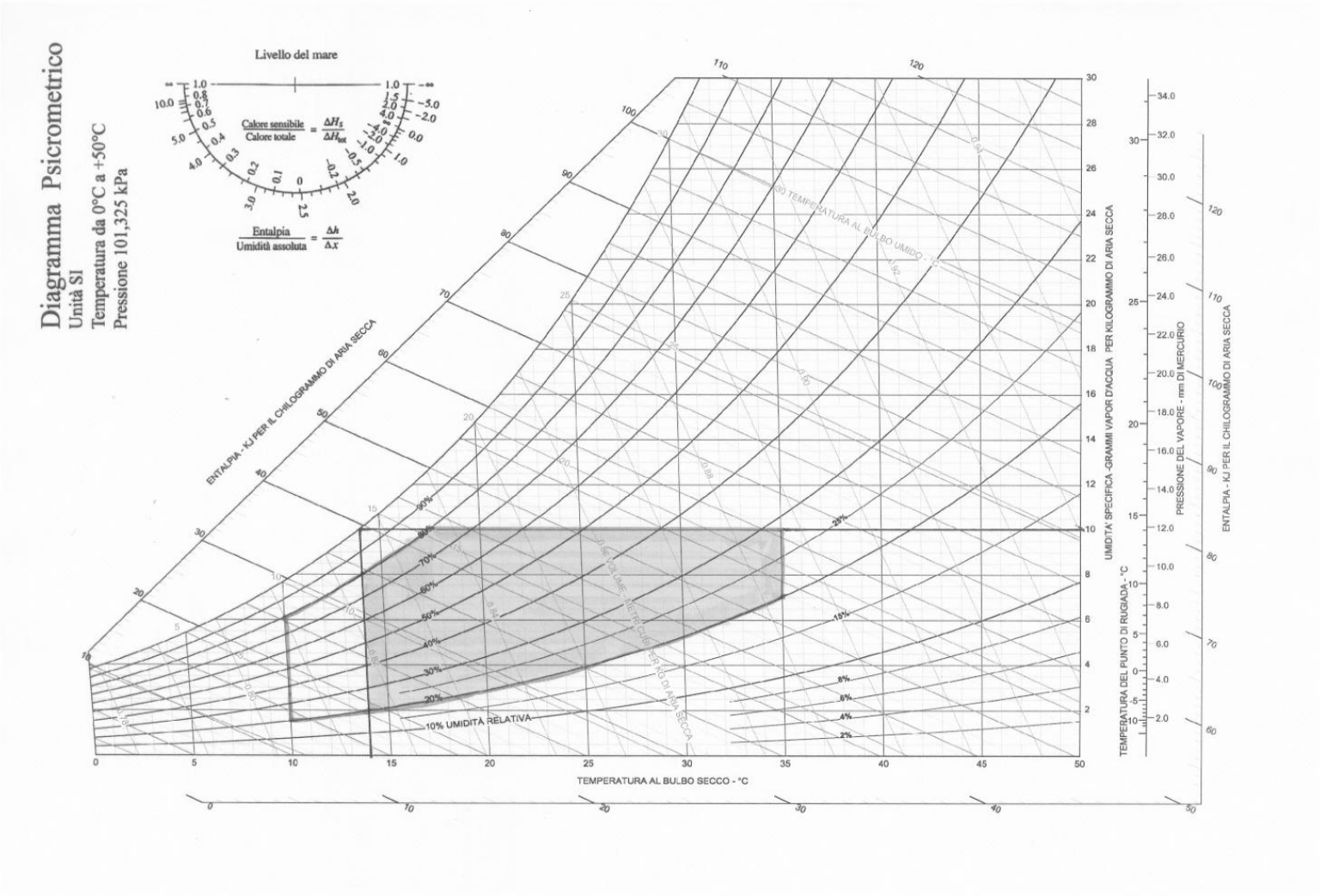


kW

Temperatura set-point acqua	Temperatura aria corridoio freddo	Banda morta controllo U.R. corridoio freddo
14°C	23°C	30 ÷ 80 %

il modello stima un risparmio annuo del 15% circa sulla spesa in energia elettrica per il funzionamento dei chiller

ESEMPIO AUMENTO TEMPERATURE CNAF



Grazie per l’attenzione