

**Cella frigorifera a +5°C da costruirsi a Roma, impianto con condensazione ad aria ,
confrontato con impianto condensato con sonde geotermiche ad anello chiuso.
Varie ipotesi di recupero di energia**

Valutazioni economiche

L'impianto è stato dimensionato per un risparmio energetico utilizzando superfici degli scambiatori, sia evaporatori, che evaporano con un delta t da 4 a 5°C a secondo della temperatura esterna, sia condensatori, che condensano a temperature superiori di quella ambiente di circa 8°C , consentendo di utilizzare n°2 compressori da 15 CV Il passaggio da acqua ad aria ha richiesto quindi un aumento di 10 CV complessivamente.

Per avere performance elevate anche ad aria, abbiamo utilizzato condensatori largamente dimensionati , adottati normalmente per macchine più potenti (20 CV).

Dopo aver calcolato la rispondenza alle condizioni estreme, come sotto riportato di 33 / 35 / 38 °C, abbiamo calcolato i consumi energetici durante tutto l'anno, suddividendo le ore/anno in 10 fasce a varie temperature.

In questi casi le percentuali di funzionamento si abbassano notevolmente (dal 82% a +38°C al 44% a 11°C) e con esse anche le ore di funzionamento.

Le ore di funzionamento/anno sono complessivamente 4940 su un totale di 8784 e quindi una media pesata di 56,2% .

Condensando con aria a bassa temp. le macchine aumentano la resa di oltre il 25% ed abbassano gli assorbimenti fino al 37% , passando da 24 Kw a 15 .

Anche nella fascia di temp. più bassa di Roma (11°C) la condensazione ad aria non si abbassa sotto i 19°C, mantenendo il rapporto p_C/p_{EV} sopra 1,5 consigliato ($10,9/6,2=1,76$) e la differenza p_C-p_{EV} sopra 3 ($10,9-6,2=4,7$) .

La temp. di evaporazione, grazie all'ampiezza degli evaporatori, per effetto dell'aumento di potenza che si ha a bassa temp. di condensazione, passa da 1,5 a 0°C e quindi non si richiede nessun sbrinamento elettrico, ma al massimo ad aria per sosta del compressore.

Ovviamente la stessa cosa è stata fatta per l'impianto condensato ad acqua con dispersori geotermici nel file CIPW Bif4 , di cui trovate in allegato la stampa delle prime righe riepilogative.

Le macchine sono rimaste le stesse: n°2 da 10 CV

Qui le condizioni di lavoro delle macchine non variano durante l'anno, mantenendosi a +1,2°C di evaporazione e +25°C di condensazione, ma solo le percentuali di funzionamento (dal 82 % a +38°C a 59% a 11°C)

Va sottolineato il valore elevato del COP al compressore, a livello di impianti industriali molto performanti ed abbiamo anche riportato i valori di COP complessivi di tutto l'impianto, comprendendo anche i consumi dei ventilatori

Vediamo nel dettaglio i risultati, che per i carichi termici estremi non cambiano se non di poco:

Volume:m³ 3476			
<i>Dimensioni: pianta m 22,5 x 30,9 ; altezza m 5</i>			
<i>Isolamento: pannello isolato in PUR spessore 100 mm</i>			
<i>Isolamento a pavimento: in PUR o in PS estruso(2 lastre sfalsate) tot. spessore 100 mm.</i>			
<i>Confinante lato sud interno con cella a temp. °C</i>	12		
<i>Lato est soleggiato per altezza 3,85 a temp.superficiale del pannello di °C</i>	64,65	67,56	70,50
<i>Lato est non soleggiato da altezza 3,85 a 5</i>	33	35	38

m	°C			
Lato est e parziale sud uffici a temp.	°C	28	29	30
Lato ovest con cella a +12	°C		12	
Lato nord esterno non soleggiato a temp.	°C	33	35	38
Lato pavimento terreno a temp.	°C	18	20	23
Lato soffitto intradosso della copertura leggera non ventilata a temp	°C	29,9	32,0	34,3
Dispersioni attraverso la struttura				
Lato sud verso cella a +12°C	Kcal/h	261	261	261
Lato ovest verso cella a +12°C	Kcal/h	191	191	191
Lato est non soleggiato	Kcal/h	382	410	451
Lato est soleggiato	Kcal/h	842	884	925
Lato nord	Kcal/h	1045	1120	1232
Lato pavimento	Kcal/h	2005	2313	2776
Lato soffitto	Kcal/h	4102	4432	4446
Totale struttura	Kcal/h	8829	9611	10281
Altri carichi termici				
Ricambi aria aperture porte	Kcal/h	9380	9743	10532
Elettro ventilatori evaporatore	Kcal/h	7389	7389	7389
Raffreddamento merci di 5°C nella quantità di Kg/h 2063	Kcal/h	9281	9281	9281
Illuminazione elettrica(5 watt/m ²)	Kcal/h	3765	3765	3765
Muletti n°7 al 50% della potenza	Kcal/h	8607	8607	8607
Operatori in cella n°7	Kcal/h	1204	1204	1204
Totale altri carichi	Kcal/h	39626	39889	40778
Totale generale				
Potenza richiesta al 100% di funzionam. Kcal/h		48454	49600	51060
Percentuale di funzionamento %progetto		77%	79%	82%
Potenza frigorifera installata Kw		74,7	72,4	72,8
Potenza frigorifera installata Kcal/h		64205	62263	62616

Impianto frigorifero condensato ad acqua con dispersori geotermici				
Evaporatori		HTE	modello	ICG 350
Quantità evaporatori n°		4	4	4
Ventilatori diametro 500 mm trifasi collegamento a triangolo, tipo FE 050-VDK.4i.6L n°		12	12	12
Portata d'aria m ³ /h		91966	91966	91966
Δ P Totale circuito aria	Pa	103,6	103,6	103,6
Potenza assorbita in funzionamento	watt	8592	8592	8592
Potenza installata	Kw	9,36	9,36	9,36
Passo tubi verticale mm 60, passo orizzontale 26 mm ,diametro esterno 16,43 mm Numero tubi 12 , numero ranghi 6 , lunghezza pacco 3600 mm , altezza pacco 720 mm , profondità pacco 156 , passo alette 4,2 mm , superficie esterna di 1 evaporatore 192,84 m ² ,superficie esterna Totale 771,35 m ²				
Temperatura di evaporazione	°C	1,2	1,2	1,2
Surriscaldamento all'uscita dell'evaporatore	°K	3	3	3
Surriscaldamento all'aspirazione compressore	°K	20	20	20
Temperatura di fine compressione	°C	55,7	55,7	55,7

Temperatura di condensazione °C	25	25	25
Temperatura di sottoraffreddamento al condensatore °C	24	24	24
Compressori			
Quantità	2	2	2
Marca Frascold , modello	S 10-39 Y	S 10-39 Y	S 10-39 Y
Volume spostato m ³ /h complessivo	76,70	76,70	76,70
Potenza assorbita alle condizioni di lavoro Totali watt	13620	13620	13620
Corrente massima compressore lavoro MRA	21x2	21x2	21x2
Corrente a rotore bloccato LRA part winding start PWS	56,8x2	56,8x2	56,8x2
Potenza massima assorbita Totali Kw	24,6	24,6	24,6
COP compressori	5,35	5,35	5,35
Condensatore ad acqua a fascio tubero Alfa Laval CPS 260			
Quantità condensatori n°	2		
OD mantello 194 x L mm	194 x 1540		
Portata d'acqua singola m ³ /h	13,456		
Valvole a tre vie V3BM50 n°	nessuna		
Δ P Totale lato acqua bar	0,3969		
Circolatori Grundfoss LPE	65-125/117		
Quantità circolatori	nessuno		
Potenza assorbita circolatori Totale watt	nessuna		
superficie esterna di 1 condensatore 11,34 m ² ,superficie esterna Totale 22,68 m ²			
Sonde geotermiche di dispersione			
Conducibilità terreno watt/m°C	1,2	1,5	3
Numero sonde	20		
Diametro esterno sonda PE-X PN16 mm	40		
Profondità sonda m	175	149	94
Velocità acqua in sonda m/s	0,57		
Calore smaltito per sonda Kcal/h	4061	4097	4102
Calore smaltito per metro watt/m	13,49	15,99	25,37
Rete dispersori sonde geotermiche			
Collettore principale De mm	90		
Collettore De mm	75		
Distributore De mm	50		
Ritorno comune De mm	90		
Dp Totale lato acqua bar	1,070		
Pompa di circolazione Grundfoss LPE	65-125/117F		
Potenza assorbita watt	2100		
Potenza installata Kw	2x2		
Potenza totale assorbita			
Ventilatori watt	8592		
Compressori watt	13620		
Pompe sonde geotermiche watt	2100		
Pompe condensatori watt	nessuna		
Totale watt	24312		
Potenza totale installata			
Ventilatori watt	9,36		
Compressori watt	24,60		
Pompe sonde geotermiche watt	4		
Pompe condensatori watt	nessuna		

Totale Kw	38	
------------------	-----------	--

Impianto frigorifero condensato ad aria				
Evaporatori modello ICG 350				
Quantità evaporatori n°		4		
Ventilatori diametro 500 mm trifasi collegamento a triangolo, tipo FE 050-VDK.4i.6L	n°	12		
Portata d'aria	m ³ /h	91966		
Δ P Totale circuito aria	Pa	103,6		
Potenza assorbita in funzionamento	watt	8592		
Potenza installata	Kw	9,36		
Passo tubi verticale mm 60, passo orizzontale 26 mm , diametro esterno 16,43 mm Numero tubi 12 , numero ranghi 6 , lunghezza pacco 3600 mm , altezza pacco 720 mm , profondità pacco 156 , passo alette 4,2 mm , superficie esterna di 1 evaporatore 192,84 m ² , superficie esterna Totale 771,35 m ²				
Temperatura di evaporazione	°C	1,20	1,30	1,45
Surriscaldamento all'uscita dell'evaporatore di	°K	3		
Surriscaldamento all'aspirazione compressore di	°K	20		
Temperatura di fine compressione	°C	77,40	80,35	85,35
Temperatura di condensazione	°C	40,00	42,00	45,20
Temperatura di sottoraffreddamento al condensatore	°C	39,00	41,00	44,20
Compressori				
Quantità		2		
Marca Frascold , modello		S 15-51 Y		
Volume spostato m ³ /h complessivo		99,22	99,18	98,94
Potenza assorbita alle condizioni di lavoro Totali	Kw	24,2	24,9	26,0
Corrente massima compressore lavoro MRA		31x2		
Corrente a rotore bloccato LRA part winding start PWS		77,8x2		
Potenza massima assorbita Totali	Kw	36,5	36,5	36,5
COP compressori		3,09	2,91	2,63
Condensatore ad aria A011 corpo 5 maggiorato				
Quantità condensatori n°		2		
Ventilatori diametro 630 mm trifase a 4 poli, tipo FC063-VDA	n°totali	4		
Portata d'aria totale	m ³ /h	61.600 / 61.800		
Δ P lato aria	Pa	112 / 110.9		
Potenza in desurriscaldamento tot	Kcal/h	19980	20508	21356
Potenza in condensazione tot	Kcal/h	70567	68161	63990
Potenza in sottoraffreddamento tot	Kcal/h	1000	1010	1136
Potenza assorbita ventilatori Totale	watt	7.069		
Passo tubi verticale mm 31,75 passo orizzontale 27,5 mm , diametro esterno 12.6 mm Numero tubi 30 , numero ranghi 5, lunghezza pacco 1600 mm , altezza pacco 952 mm , profondità pacco 137 , passo alette 3,2 mm , superficie esterna di 1 condensatore 243,77 m ² ,				
Potenza totale assorbita				

Ventilatori evaporatori	watt	7389
Compressori	watt	26020
Ventilatori Condensatori	watt	7096
Totale watt		40.505
Potenza totale installata		
Ventilatori evaporatori	Kw	9,36
Compressori	Kw	36,50
Ventilatori Condensatori	Kw	7,60
Totale	Kw	53,46

Illuminazione cella: 5 watt/m² : watt 3476

Valutazioni economiche

Tornando al file di consumo annuo di 582 righe e 10 colonne, non sono qui stampati per esteso, ma solo le prime righe, che contengono il riepilogo.

Il file ausiliario è stato chiamato [CIPVARBif2Parzial.pdf](#)

Alla riga 2 le ore/anno di suddivisione di ciascuna fascia,

alla riga 3 le ore di funzionamento per fascia,

alla riga 4 , 5 , 6 ,le potenze impegnate e alla 7 la potenza totale assorbita;

alla riga 8 il COP totale del sistema;

alla riga 9 l'energia in Kwh per fascia;

alla riga 10 il totale dell'energia per anno.

Il risultato di 175.644 Kwh va confrontato col parallelo dell'impianto ad acqua.

Il consumo energetico specifico vale $175.644 / 3.476 = 50,5$ Kwh/m³anno

Il costo specifico anno vale $0,15 \times 50,5 = 7,58$ €/m³anno

Se si tiene conto che molti carichi termici come carrelli, ricambi aria, illuminazione sono presenti solo per 10 ore su 24 e le sole dispersioni attraverso la struttura incidono solo per il 25% , il costo specifico scende nella misura del rapporto $(10+14 \times 0,25)/24 = 0,56$ e quindi mediamente si attesta su valori del $7,58 \times 0,56 = 4,26$ €/m³anno

Consumo energetico annuo ad acqua

Pertanto abbiamo eseguito lo stesso calcolo per l'impianto ad acqua presentato la volta scorsa.

I calcoli sono nel file [CIPWBif4Parzia.pdf](#) , di cui abbiamo stampato solo le prime significative righe.

Il risultato del consumo energetico annuo è di 142.531 Kwh.

La differenza è quindi di $175.644 - 142.531 = 33.113$ Kwh pari al 19%.

Al costo ipotetico di 0,15 €/Kwh elettrico il risparmio monetizzato sulla sola energia è = $33.113 \times 0,15 = 4.966$ €/anno.

Se l'ipotesi avanzata dal installatore delle sonde geotermiche è confermata il tempo di **pay back** su un maggior costo solo relativo alle sonde di questa cella di € 140.000 risulta di $140.000/4966 = 28$ anni .

Ipotesi di vendita di energia termica

Se pensiamo possibile la **vendita di energia in eccesso**(al condensatore a temp. di 24°C) **per i mesi invernali**,

o meglio per le ore durante le quali la temp. esterna sia compresa fra 11 e 16°C, abbiamo calcolato la disponibilità di potenza al condensatore alla riga 11, tradotta in potenza disponibile in modo continuo alla riga 12 e in energia in KWh per fascia alla riga 13 ed infine somma alla riga 14 per un totale di Kwh 212.276 distribuiti su 3648 ore.

Per valutarli consideriamo il metano con potere calorifico di 8.550 Kcal/Nm³ che con rendimento di caldaia del 94% scende a $8.550 \times 0,94 = 8.037$ Kcal/Nm³
Che riferiti al Kwh sono $8.037 \times 1,163 \times 0,001 = 9,347$ Kwh/Nm³

Considerato ad un costo industriale del metano di circa 550 £/Nm³ ovvero di 0,284 €/Nm³
avremo un costo di €/Kwh di $0,284/9,347 = 0,030$

Per cui il valore teorico di questa energia vale:
 $212.276 \times 0,03 = 6.368$ € .

Anche se appare difficile utilizzare energia a +24°C a meno di non disporre di una necessità come il riscaldamento del pavimento del magazzino, mantenendo l'ambiente a +18°C ,
il calcolo teorico del recupero complessivo è di $4.966 + 6.368 = 11.334$ €/anno e quindi un **pay back** di $140.000 / 11.334 = 12,3$ anni

Variante 1

Nel caso si volesse rendere disponibile l'energia in eccesso al condensatore per un riscaldamento uffici a pavimento, che come noto prevede la temperatura dell'acqua al massimo a 34 / 35°C per i mesi corrispondenti alle prime quattro fasce di temperatura, si potrebbe come detto lavorare a +35°C in condensazione per questo periodo soltanto e poi scendere a +25°C come in precedenza.

I consumi elettrici salgono a 171.304 Kwh/anno con un costo di $171.304 \times 0,15 = 25.696$ €/anno .

La differenza con l'impianto ad aria diviene: $175.644 - 171.304 = 4.340$ Kwh

Pari a $4.340 \times 0,15 = 651$ €

Con lo stesso metro della valutazione precedente il valore dell'energia termica diviene: $255.744 \times 0,03 = 7.672$ € .

La somma $651 + 7672 = 8.323$ €/anno

Il periodo di **pay back** diviene: $140.000 / 8.323 = 16,8$ anni

Variante 2

Poiché l'impianto permette di salire con la condensazione durante I mesi invernali, mantenendo la percentuale di funzionamento entro 82% , per elevare la temperatura di questa energia da 24 a 44°C , abbiamo verificato nel file CIPWBif5 che la disponibilità di energia per le prime 4 fasce di temperatura (invernali) ammonta a Kwh 234.768 e quindi un ipotetico ritorno di 7.133 €/anno , con una spesa energetica elettrica di Kwh 179.441 pari lievemente superiore a quella ad aria.

Quindi recuperando 7.133 €/anno il periodo di **pay back** è di $140.000 / 7.133 = 19,6$ anni.

Traversetolo (PR) , 13/06/05

ing. Alberto Cavatorta