

STARENGINE

Trasforma lo scarto termico
in **energia elettrica**



:01

STAREngine

Una nuova generazione di motori radiali brevettati a ciclo Rankine

La nostra ricerca è iniziata nel 2004 dopo aver valutato il reale bilancio energetico di diverse tecnologie. All'inizio abbiamo costruito e testato diversi tipi di espansori (scroll-viti-turbine) dopo anni di studio siamo giunti alla conclusione che il motore a pistoni rappresenta ancora la soluzione più semplice, efficiente e flessibile per produrre energia elettrica da fonti a bassissima temperatura.



:02

Una soluzione unica e rivoluzionaria per **l'ambiente**



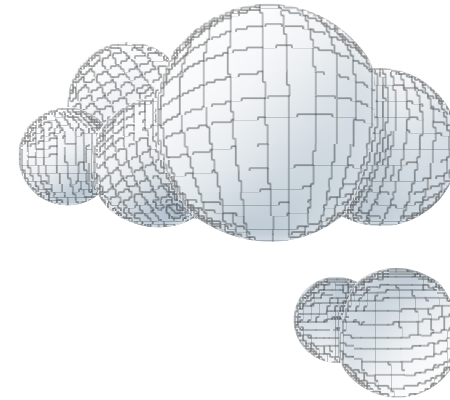
Il nostro espansore a ciclo Rankine modificato (ORC) è in grado di operare in condizioni di lavoro irraggiungibili per le turbine e altre macchine, mantenendo una flessibilità incredibile. Attualmente il motore STARENGINE è al centro di diversi studi da parte di enti di ricerca e università poiché rappresenta un sistema unico a livello mondiale.



:03

Come funziona:

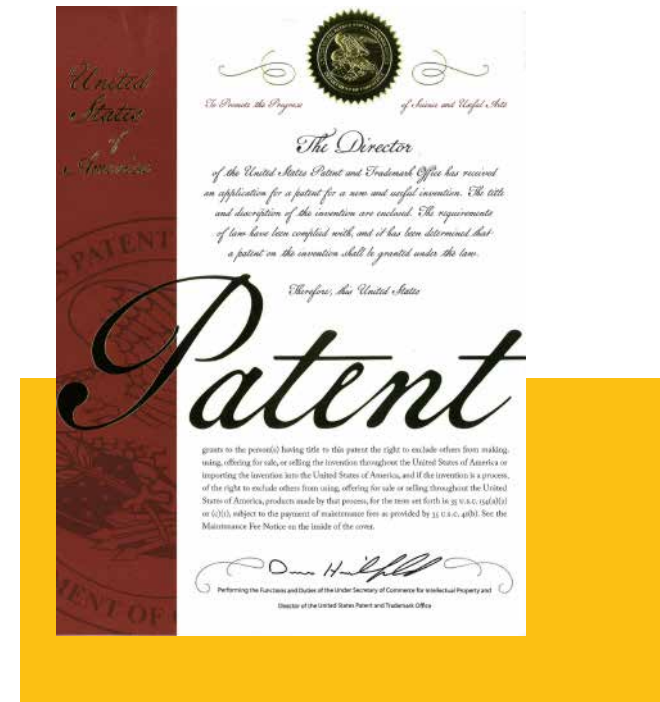
Un principio fisico molto semplice,
la macchina a vapore



Il nostro espansore è una macchina a vapore a pistoni radiali (motore stellare) a ciclo ermetico, dove al posto dell'acqua circola internamente alla macchina un fluido basso bollente ($-26\text{ }^{\circ}\text{C}$). L'alimentazione di potenza avviene per mezzo di acqua calda che trasferisce l'energia termica al gas che viene pressurizzato in alta pressione (fino a circa 27 bar). Quest'ultimo viene iniettato a livello gassoso nella camera del pistone attraverso il sistema di distribuzione brevettato. L'albero mosso dal nostro motore radiale brevettato pone in rotazione il generatore elettrico. Il gas, una volta espanso viene condensato e pompato per compiere un altro ciclo percorrendo un circuito ermetico.

Riconoscimenti e brevetti

Durante lo sviluppo sono state messe a punto molte soluzioni sia a livello di ciclo che di tecnologia. Tali innovazioni hanno reso la macchina unica, riconoscendo all'azienda diversi brevetti a livello mondiale. Senza queste peculiarità scientifiche messe a punto in numerosi anni di ricerca e notevoli investimenti, il sistema non potrebbe raggiungere certi livelli di prestazione e affidabilità.



:05

STAREENGINE

Patent notice

The machine is protected by one or more of the following patents and patent applications:

IT 1020160000080081
EP 17757889.5
US 11,060,404
IT 1020160000080087
IT 1393264
IT 1410508
EP 2430306B1
IT 1416617
EP 2971619B1
BR 112015022225-0
RU 2633321
US 9,759,097





Available online at www.sciencedirect.com

ScienceDirect

Energy Procedia 148 (2018) 384–391

Energy

Procedia

www.elsevier.com/locate/procedia

73rd Conference of the Italian Thermal Machines Engineering Association (ATI 2018),
12–14 September 2018, Pisa, Italy

Performance and operation of micro-ORC energy system using geothermal heat source

Bianchi M.^a, Branchini L.^a, De Pascale A.^a, Melino F.^a, Ottaviano S.^{a*}, Peretto A.^a,
Torricelli N.^a, Zampieri G.^b

^a Università di Bologna – DIN, Viale del Risorgimento 2, 40136, Bologna, Italy

^b StarEngine S.r.l. – Via A. Volta 16, 37024, Arbizzano-Santa Maria (VR), Italy

Abstract

In the electricity production sector, geothermal energy is considered a reliable energy source because of its independence of seasonal, climatic and geographical conditions. Low-temperature geothermal wells present a huge potential of exploitation, as the development of binary cycles and the technological improvement in drilling make this heat source a competitive solution for electricity generated distribution and self-consumption. The Organic Rankine Cycle (ORC) is currently the best solution to convert heat into electricity using low enthalpy heat sources. The ORC technology is already mature and widespread for medium and large-scale power plants, applying for geothermal, solar, biomass or waste heat recovery exploitation. Micro-scale ORC applications are still not diffused in the market: the system layout, the working fluid selection and the expander architecture can significantly vary depending on the specific realization requirements, thus a standard configuration has not established yet.

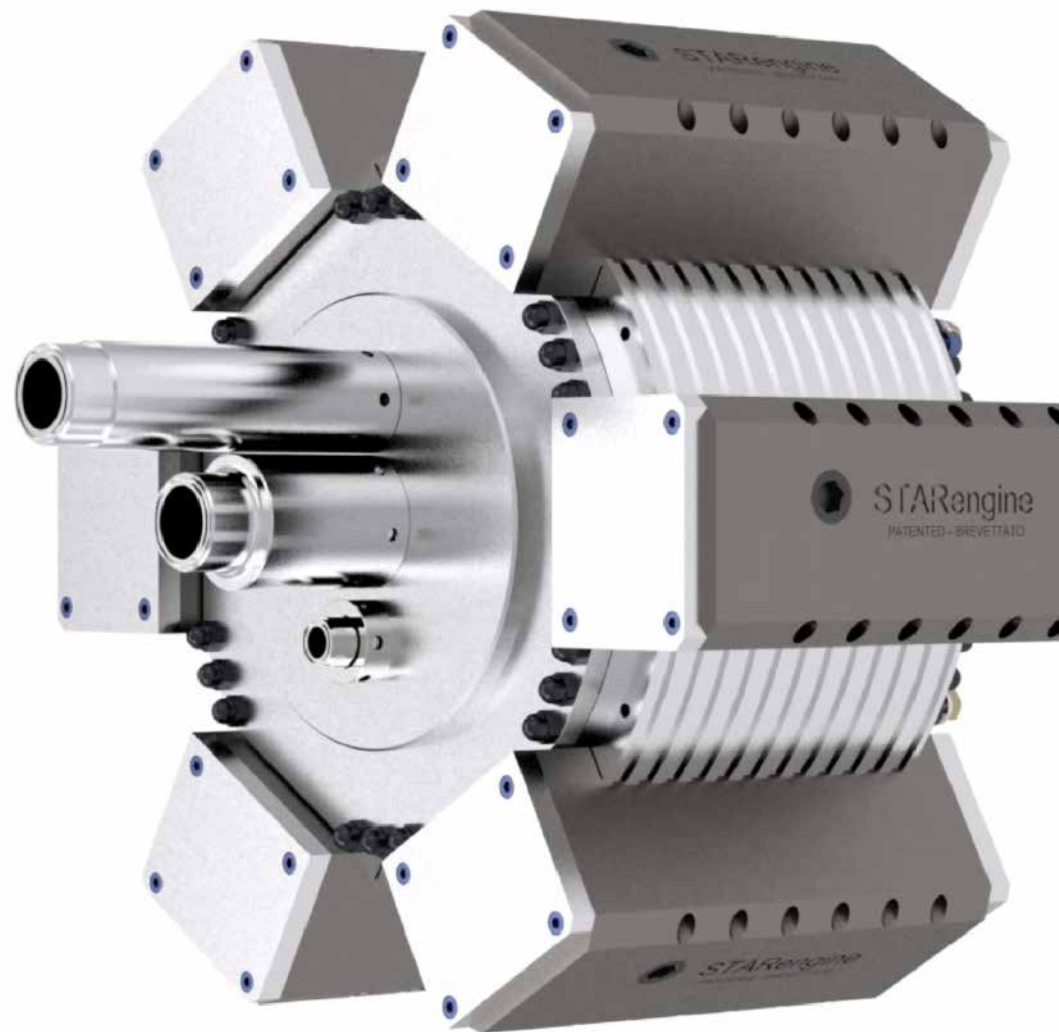
In this paper, a particular case study of a micro-ORC power system using a geothermal well is presented. The application in analysis is a plug-and-play ORC facility, currently installed and operating in a pool centre. The system layout and the main components are described. The heat source is a geothermal well, which continuously supplies (by pressure difference) liquid water at a temperature lower than 60 °C to a binary Rankine cycle working with R134a. The ORC system is driven by a prototypal radial-piston expander and adopts an external-gear feed pump and a recuperative cycle. It is developed for working continuously, delivering the generated

:07

STAREENGINE

Caratteristiche

- ◆ Rendimento
- ◆ Robustezza
- ◆ Affidabilità
- ◆ Flessibilità
- ◆ Campo d'impiego
- ◆ Autoregolazione
- ◆ Stabilità funzionamento
- ◆ Facilità d'uso
- ◆ Manutenzione semplice
- ◆ Nessun assorbimento elettrico parassita di potenza

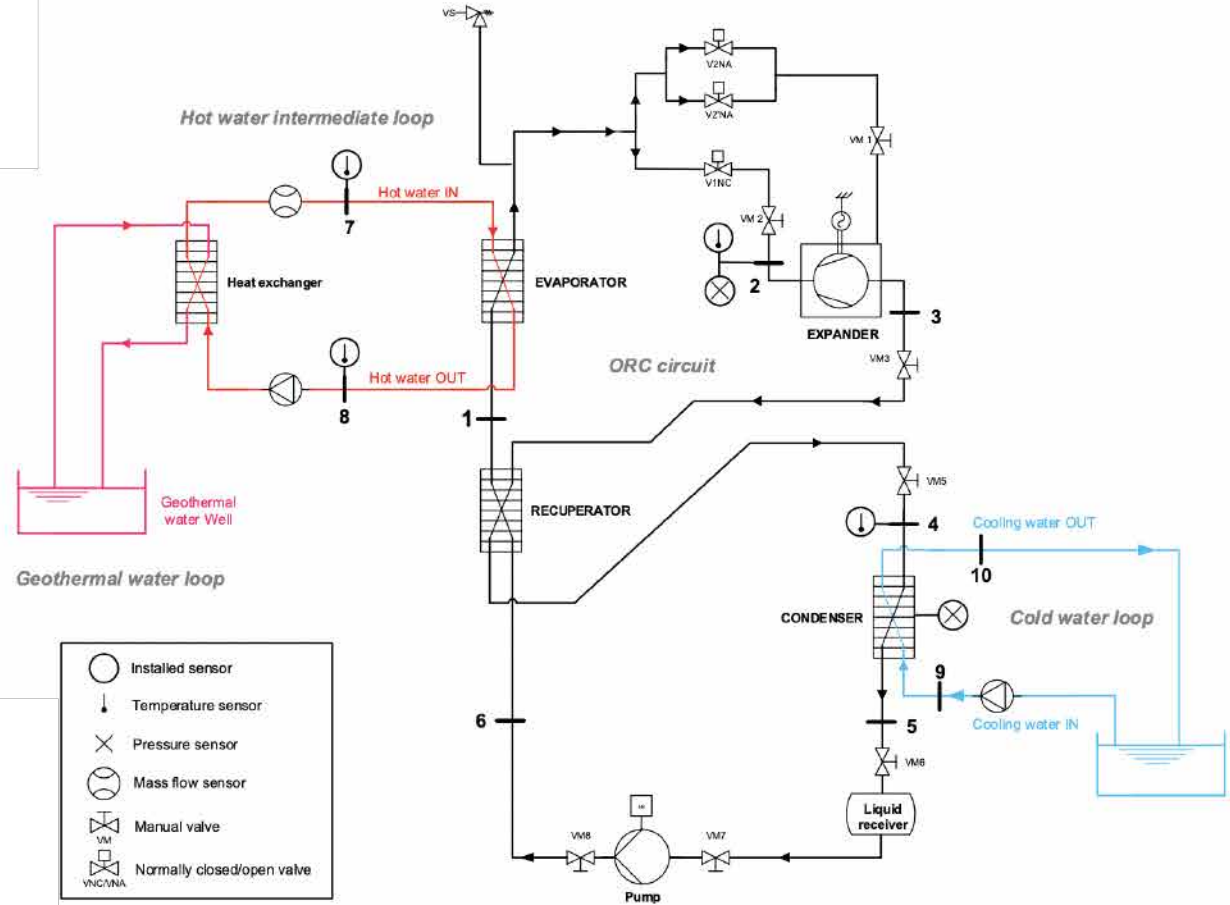


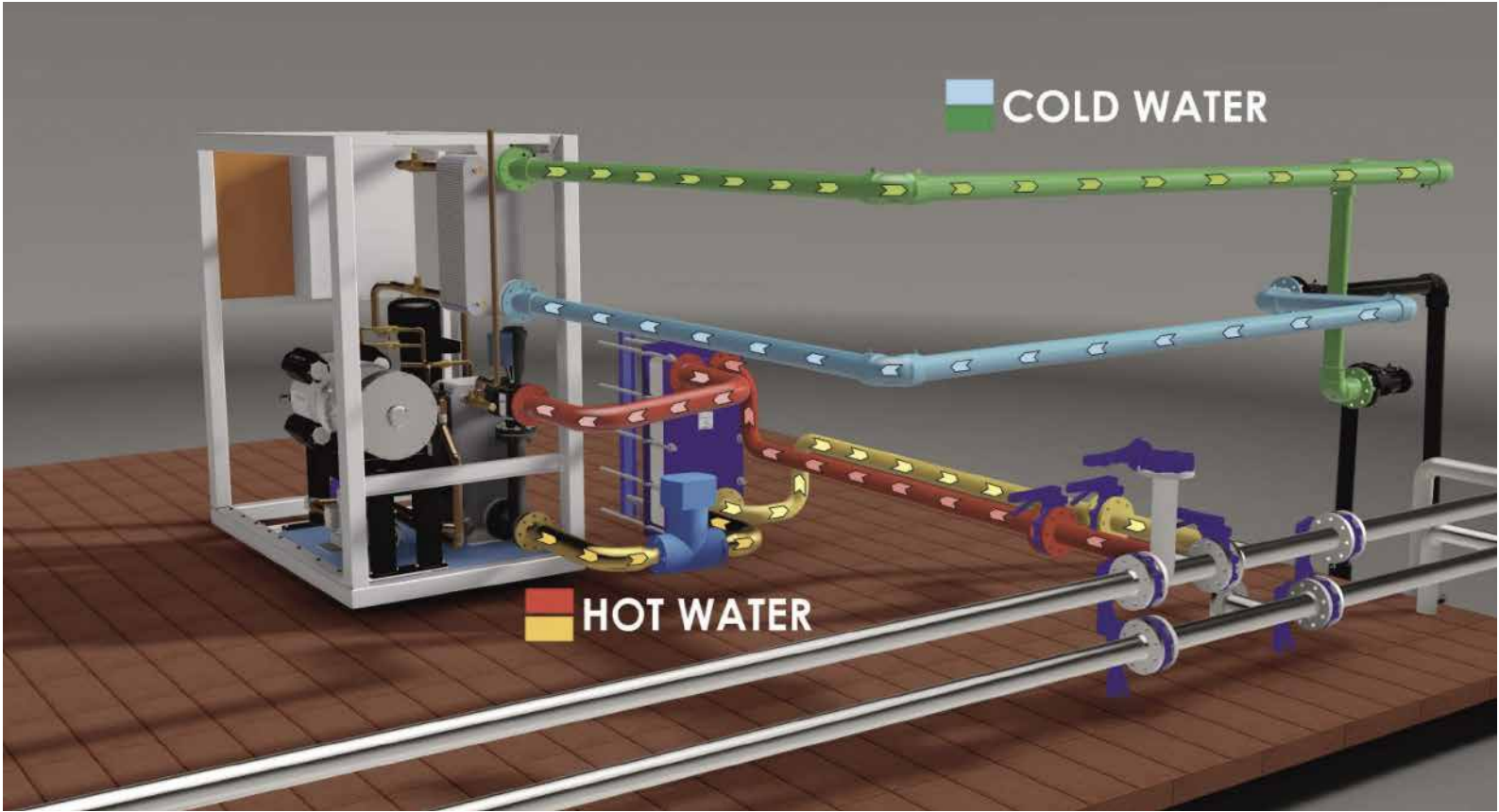
Sorgenti termiche



- ◆ Fonti calde: acqua, aria, olio, fumi
- ◆ Geotermia a bassa temperatura 45°C fino a 150°C
- ◆ Raffreddamento di processi industriali tra 45°C e 90°C
- ◆ Raffreddamento di basamenti motore da 70°C a 88°C
- ◆ Fonti fredde: acqua, aria

Schema di principio





Rendimento

Il rendimento dipende dal salto di temperatura tra la sorgente calda e quella fredda, cioè dal rapporto tra la pressione massima e quella minima. I criteri di calcolo sono definiti in allegato.

Il ciclo di Carnot

$$\eta = \frac{(T1 - T2)}{T1}$$

Rendimento

La termodinamica ci insegna che il ciclo ottimale, cioè quello avente il migliore rendimento è il ciclo studiato da Carnot. E' rispetto a questa macchina ideale che ci siamo confrontati quando abbiamo sviluppato il nostro espansore. Il rendimento massimo ottenibile da un macchina tanto perfetta quanto teorica, è: per una macchina funzionante tra 70°C ($343,15\text{ K}$) effettivi e che condensa a 25°C effettivi (298 K).



Rendimento

Per una macchina funzionante tra 70°C (343,15 K) effettivi e che condensa a 25 °C effettivi (298 K).

Il rendimento massimo ottenibile è:

$$\eta = \frac{(T_1 - T_2)}{T_1} > \eta = \frac{45}{343,15} > \eta = 13,11\%$$

Dalle prove sperimentali, in condizioni standard, abbiamo ottenuto dal 7 all'11% di rendimento netto del ciclo termodinamico pari al 54% e 84 % del ciclo di Carnot

Connessione alla fonte calda

La fonte calda è di norma costituita da un fluido caldo, che fa parte del processo del sito del cliente. Di norma questo fluido vettore è acqua. Il bilancio termico della fonte di alimentazione, cioè la Potenza termica si calcola con la formula. Di norma le portate sono espresso in m³/h o litri sec o litri /min.



Esempio di calcolo

$$P \text{ Kcal} = m \times c \times \Delta t$$

Δt in °C

$$C=1$$

Tenendo conto che Kcal = 4,186 J

Ed esprimendo la portata in m³/h

$$1 \text{ h} = 3600 \text{ sec}$$

$$P(\text{kw}) = m \times c \times \Delta t \times 1,16$$

Dove

m = portata di massa in m³/h

C= calore specifico dell'acqua o della soluzione glicolata (tra 1 e 0,7)

Δt = SALTO TERMICO tra temperatura di ingresso dell'acqua nello scambiatore e quella di uscita.

Esempio 1

Acqua calda

Conosco la portata e la Potenza e voglio determinare il salto termico.

P=500 kW termici

30 m³/h
acqua non glicolata pulita

$$\text{Salto termico } \Delta t = \frac{500}{(30 \times 1,16)}$$

$$\Delta t = 14,36^{\circ}\text{C (K)}$$

Ipotizzando un rendimento netto del sistema del 10%, la potenza ricavabile sarebbe di 50 kW elettrici. (vedi slide 19 per la scelta del prodotto).



Esempio 2

Acqua calda

Conosco la Potenza termica, impongo il salto termico
e voglio determinare la portata della pompa

$P=500$ kW termici

Salto termico imposto = $88-70=18$ °C

Portata della pompa in metri cubi h

$$m = \frac{500}{(18 \times 1,16)}$$

$$m = 23,94 \text{ metri cubi ora}$$



Esempio 3

Acqua calda

Ho misurato la portata, il salto termico, voglio conoscere la Potenza termica disponibile

$m = 70 \text{ m}^3/$

Salto termico (ingresso-uscita) = 5°C

Calcolo della Potenza

$$P = 70 \times 1 \times (5 \times 1,16)$$

$$P = 407 \text{ kW termici}$$



Esempio 4

Calcolo recupero fumi caldi

Portata camino 2.000 m³/h

Approssimando il valore entalpico di 1 metro cubo d'aria a 0,31 kcal/m³

Fumo caldo in uscita 400°C

Salto termico 250 °C

Fumo caldo dopo il recuperatore di calore 150

$$\text{Potenza termica recuperabile} = \frac{2000}{(860 \times 250 \times 0,31)} = 180 \text{ kW}$$



Scelta del prodotto

La scelta della macchina va effettuata tenendo conto di quattro aspetti principali:

- ◆ La Potenza termica disponibile alla fonte calda
- ◆ Le coordinate termodinamiche entro quali è previsto il funzionamento della macchina
- ◆ Individuazione stimata del rendimento tenendo conto delle temperature di evaporazione e condensazione del gas (2/3 del ciclo di Carnot funzionante tra le stesse isoterme)
- ◆ Calcolo della potenza ricavabile dal ciclo



Determinazione della temperature di evaporazione del gas

Per temperature di riferimento si intendono quelle effettive. Per esempio se l'acqua calda entra a 85°C ed esce a 75 °C la temperature media (approssimata per semplicità) è di 80°C. Lo scambiatore trasferisce la Potenza attraverso dei setti (pareti) introducendo un inevitabile salto termico. StarEngine sceglie prodotti di ottima qualità e sovradimensiona i componenti tenendo conto anche delle perdite di potenza e di perdita di carico. Per gli scambiatori di norma si considerano dai 3 ai 5 gradi Kelvin. Ritornando all'esempio sopra la temperature effettiva nello scambiatore sarebbe tra 75 e 77 °C.



Determinazione della temperature di condensazione del gas

Sempre con riferimento alla temperature effettive. La determinazione della temperature di condensazione è più delicata di quella di evaporazione perché si possono effettuare diverse scelte tecnologiche per condensare il gas. Per esempio si possono impiegare sistemi di raffreddamento diretto mediante scambiatori ad aria, oppure sistemi che utilizzano un fluido intermedio come l'acqua, oppure sistemi ibridi.

La scelta deve essere effettuata da un tecnico esperto in termodinamica perché la scelta può influenzare molto le prestazioni della macchina. Le considerazioni fatte sopra possono essere valide anche per il sistema di condensazione, tranne per il fatto che il salto termico del sistema di condensazione potrebbe essere molto diverso.

Le perdite di carico all'interno degli scambiatori per l'acqua calda sono praticamente trascurabili in virtù del sovradimensionamento.



Esempio condensazione con fascio tubiero e torre di raffreddamento

Semplificando potremmo considerare la temperatura dell'acqua in torre inferiore di circa 6°C rispetto alla temperatura esterna per effetto della espansione adiabatica dell'acqua. Il salto termico con un buon condensatore funzionante con una buona portata d'acqua potrebbe essere di circa 9°C . Per esempio con una temperatura media annuale di $11,4^{\circ}\text{C}$ si potrebbe considerare una temperature media di condensazione di circa $11,4 - 6 + 9 = 14,4^{\circ}\text{C}$.



Esempio

Supponiamo di disporre di 70 m³/h con acqua calda in ingresso a 75 C e in uscita a 70 C,

La fonte fredda è rappresentata da 70 m³/h di acqua fredda con ingresso a 15 C e uscita a 20 C.

Calcoliamo la potenza termica disponibile per il sistema:
(vedi esempio 3).

$$P = 70 \times 1 \times (5 \times 1,16)$$

$$P = 407 \text{ kW termici}$$



:25

Modelli disponibili

SE 4-60 11 kW



SE 6-82 22 kW
SE 6-90 30 kW



Connessione alla rete elettrica

Il motore è connesso a un generatore asincrono 4 poli 50/60 Hz, 400V Siemens certificato per il parallelo rete.

Il sistema è ermetico e la connessione avviene per mezzo di cinque connettori (3 fasi + neutro + terra) che vanno connessi al sistema di protezione che dovrà essere scelto dal cliente in funzione del gestore della rete. La velocità di rotazione è quella fissata per un generatore a due poli con scorrimento positivo.



Esempi di impiego

- ◆ Industria alimentare
- ◆ Industria siderurgica
- ◆ Industria chimica
- ◆ Estrusori plastica
- ◆ Raffreddamento stampi
- ◆ Cartiere
- ◆ Geotermia
- ◆ Forni e fornaci
- ◆ Raffreddamento oli
- ◆ Scarti termici di turbine e macchine elettriche





StarEngine in cifre

Se l'energia elettrica e' prodotta da combustibili fossili il rapporto e' questo:

Una tonnellata di petrolio equivalente

TEP equivale a 5350 kWh

Se la macchina genera 20 kW elettrico per 8500 h si ottengono :

$$20 \times 8500 = 170.000 \text{ kWh}$$

Per ottenere questa energia servono

$$170.000 / 5.350 = 31 \text{ tonnellate di petrolio}$$

$$\text{Considerando che 1 litro petrolio pesa 0,84 kg} \quad 31000 / 0,84 = 36.000 \text{ litri}$$

$$\text{Per ottenere 1kWh elettrico serve "bruciate"} \quad 2,55 \text{ kg di petrolio}$$

:30

CO2

Per ogni kWh elettrico si producono 0,65 kg di anidride carbonica.

Riprendendo i calcoli:

170.000 kWh prodotti da fossile avrebbero generato

$$170.000 \times 0,65 = 110500 \text{ kg di CO}_2$$



Valore economico

Per ogni TEP vengono riconosciuti dei titoli di efficienza energetica TEE o White Certificates

Essi sono quotati sul libero mercato oppure attraverso i gestori.

Valorizzando con un valore approssimativo di 0,20 €/kWh, l'energia prodotta si ottiene:

$$170.000 \times 0,20 = 34.000 \text{ €/anno}$$

Considerando nel calcolo l'attuale valore della carbon tax, risultano circa 42.500 €/anno



Conclusioni

Una macchina di StarEngine vale per l'ambiente :

110 TONNELLATE di anidride carbonica

36000 LITRI di carburante

producendo **34.000€** all'anno



STAREENGINE



info@starengine.it



Via Volta 6, Negrar, Verona

