IL CONTRIBUTO ITALIANO AL SOLARE TERMODINAMICO A BASSA TEMPERATURA

Costante M. Invernizzi
Universita di Brescia

I contributi italiani all'uso della energia solare sono, nella storia, come noto, molteplici. Per quanto riguarda la sola conversione termodinamica della energia solare, nella presentazione si passano rapidamente in rassegna i contributi di alcuni studiosi e realizzatori di motori: indubbi protagonisti, fra gli anni 1920 sino ai giorni nostri, dello sviluppo della tecnologia termodinamica. I motori del Romagnoli, i progetti di Dornig, il motore di D'Amelio, l'avventura di Gasperini e Grassi, i sistemi a concentrazione di Francia, sino agli attuali motori sono tutti esempi di quanto sia stata, e tuttora sia, fertile l'inventiva degli italiani e la loro concreta capacità realizzativa. In particolare si farà riferimento ai materiali disponibili al MUSIL e presso la Fondazione Luigi Micheletti (un reperto di una pompa SOMOR, il fondo Francia, il Fondo Nebbia). Brevemente saranno anche illustrati alcuni attuali temi di ricerca e sviluppo nel settore del solare termodinamico di piccola potenza.

Gruppo per la storia dell'energia solare (GSES, www.gses.it)
Incontro dibattito presso Museo dell'Industria e del Lavoro di Brescia, Rodengo Saiano
Via del Commercio 18 - 25050 Rodengo Saiano - Brescia
"Storia e attualità del solare termodinamico con il contributo italiano"
venerdì 10 ottobre 2014

Storia e attualità del solare termodinamico con il contributo italiano

Il contributo italiano al solare termodinamico a bassa temperatura

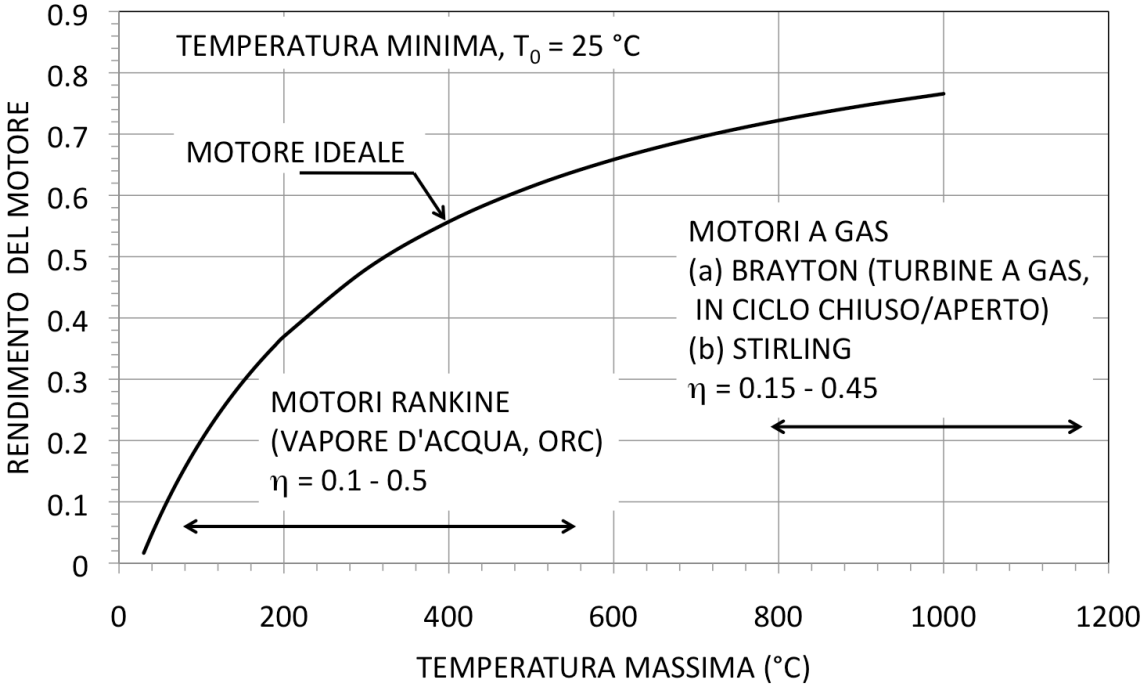
Costante M. Invernizzi
Università di Brescia – Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Industriale
http://www.costanteinvernizzi.it

Gruppo per la Storia della Energia Solare in Italia
http://www.gses.it/
MUSIL
http://www.musilbrescia.it/
Rodengo Saiano, 10 ottobre 2014

Outline

1. Il solare termodinamico
2. Alcuni contributi italiani al solare termodinamico
3. Una esperienza didattica: "la pompa SOMOR"
4. GSES, MUSIL, Università e Scuole Tecniche: è possibile una collaborazione?

Conversione Termodinamica:



I motori termici disponibili: ▶ con ciclo Rankine ▶ con ciclo a gas.
Motori con ciclo Rankine: ▶ ottima qualità termodinimica ▶ capacità di sfruttare una ampia gamma di temperature.

Conversione Termodinamica:

(1) raccolta della radiazione solare su apposite superfici, sotto forma di calore

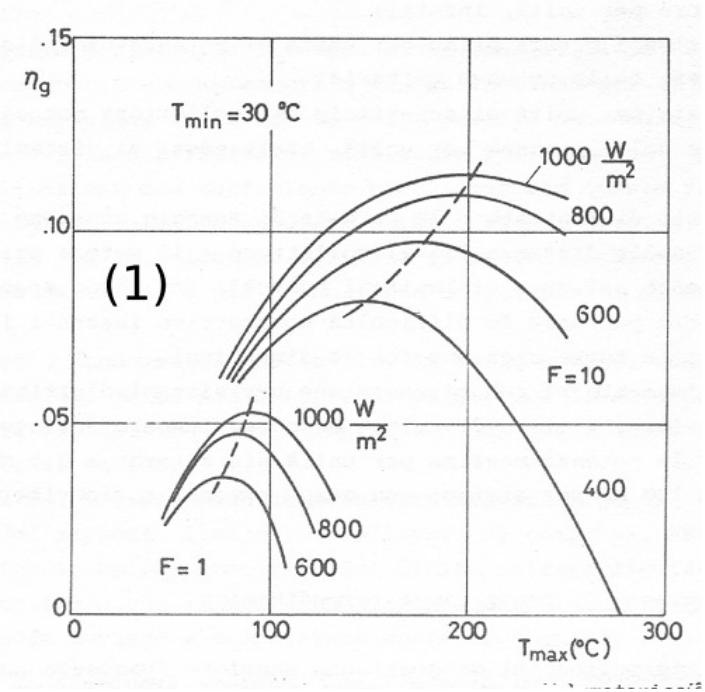


figura tratta da: Mario Gaia, Trasformazione dell'energia solare in energia meccanica ed elettrica. clup, Milano, 1989

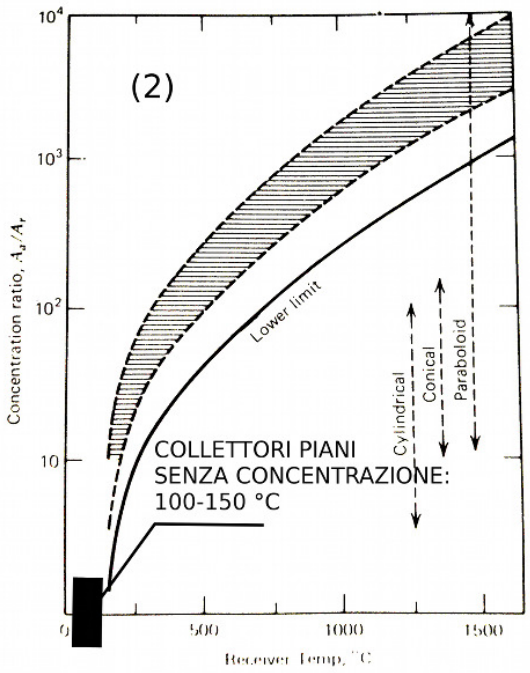
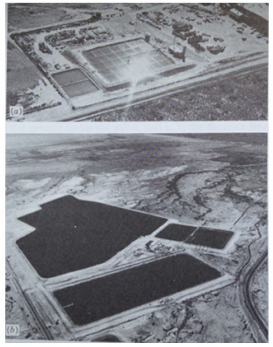


figura tratta da: John A Duffie, William A Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes. Second Edition, John Wiley, New York, 1991

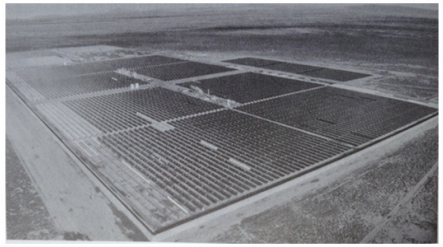
(2) trasferimento del calore ad un motore termico (ciclo termodinamico)

I fattori che influenzano il progetto e le prestazioni dei sistemi di conversione termodinamica dell'energia solare:

- L'intensità della radiazione
- La località
- La temperatura di collezione e la potenza influenzano direttamente
  - la tipologia del sistema collettore/concentratore
  - la tipologia del motore termico



(a)



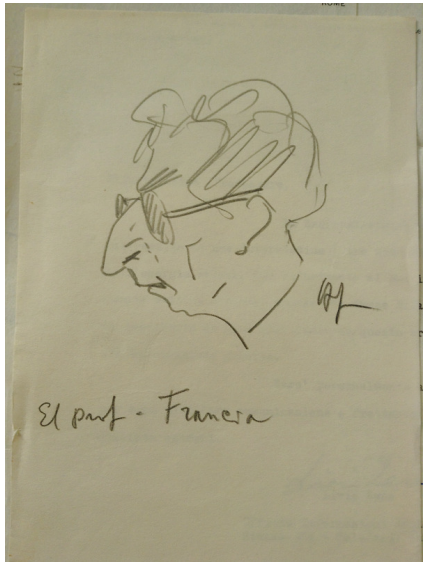
(b)

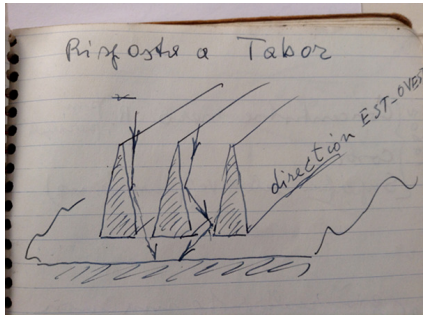
(c)

immagini tratte da: John A Duffie, William A Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes. Second Edition, John Wiley, New York, 1991

Il “Fondo Giovanni Francia” al MUSIL

Giovanni Francia (1911 – 1980), I





articolo apparso su Solar Energy, Vol. 12, 1968, pp. 51 – 54

Solar Energy. Vol. 12, pp. 51–64. Pergamon Press. 1968. Printed in Great Britain

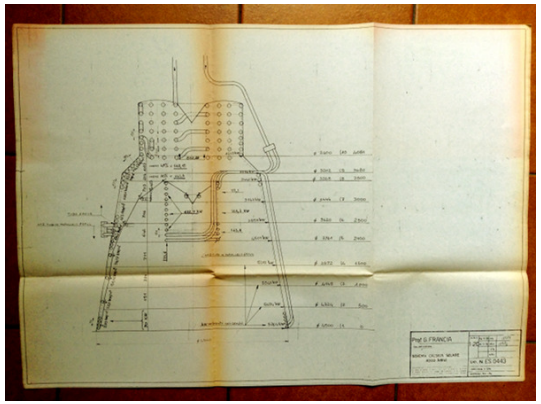
Solar Energy, Vol. 12, pp. 51 - 54

PILOT PLANTS OF SOLAR STEAM GENERATING STATIONS

G. FRANCIA*

(*Received* 21 *February* 1968)

Abstract—We describe here a way to use honeycomb panels (anti-radiating cellular structure). The paper was first submitted to the United Nations Conference on New Sources of Energy held in Rome in 1961. In our research we have used plants for the thermo-dynamic conversion of solar energy into electric energy at high temperatures. We refer to the boilers at Marseilles and Genoa, and we describe briefly the plant being built in St. Ilario at Nervi, Genoa. This plant has a maximum production of 140 kg/hr of steam at 150 atm, while in the temperature range 500–650°C.

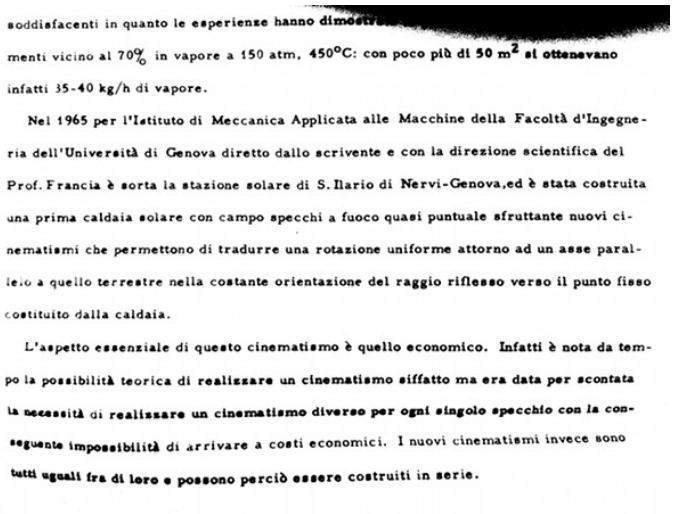


dal “Fondo Giovanni Francia” – Fondazione Luigi Micheletti `http://www.fondazionemicheletti.it` e GSES `http://www.gses.it`

Il “Fondo Giovanni Francia” al MUSIL

Giovanni Francia (1911 – 1980), II

la stazione solare di S. Ilario di Nervi-Genova (1965)



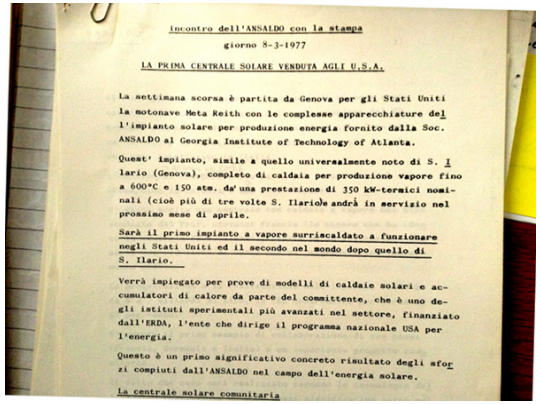
soddisfacenti in quanto le esperienze hanno dimostr[redacted]
menti vicino al 70% in vapore a 150 atm, 450°C: con poco più di 50 m² si ottenevano infatti 35-40 kg/h di vapore.

Nel 1965 per l'Istituto di Meccanica Applicata alle Macchine della Facoltà d'Ingegneria dell'Università di Genova diretto dallo scrivente e con la direzione scientifica del Prof. Francia è sorta la stazione solare di S. Ilario di Nervi-Genova, ed è stata costruita una prima caldaia solare con campo specchi a fuoco quasi puntuale sfruttante nuovi cinematismi che permettono di tradurre una rotazione uniforme attorno ad un asse parallelo a quello terrestre nella costante orientazione del raggio riflesso verso il punto fisso costituito dalla caldaia.

L'aspetto essenziale di questo cinematismo è quello economico. Infatti è nota da tempo la possibilità teorica di realizzare un cinematismo siffatto ma era data per scontata la necessità di realizzare un cinematismo diverso per ogni singolo specchio con la conseguente impossibilità di arrivare a costi economici. I nuovi cinematismi invece sono tutti uguali fra di loro e possono perciò essere costruiti in serie.

- 1960-1961 prima caldaia solare; • 1963 vapore a 100 atm e 450 °C; • 1965 nuova caldaia 150 atm, 500 °C; • 1967: 130 kg/h di vapore a 150 atm e 600 °C

centrale solare al Georgia Tech., Atlanta (1977)



Incontro dell'ANSALDO con la stampa

giorno 8-3-1977

LA PRIMA CENTRALE SOLARE VENDUTA AGLI U.S.A.

La settimana scorsa è partita da Genova per gli Stati Uniti la motonave Meta Reith con le complesse apparecchiature dell'impianto solare per produzione energia fornito dalla Soc. ANSALDO al Georgia Institute of Technology of Atlanta.

Quest' impianto, simile a quello universalmente noto di S. Ilario (Genova), completo di caldaia per produzione vapore fino a 600°C e 150 atm. da' una prestazione di 350 kW-termici nominali (cioè più di tre volte S. Ilario) andrà in servizio nel prossimo mese di aprile.

Sarà il primo impianto a vapore surriscaldato a funzionare negli Stati Uniti ed il secondo nel mondo dopo quello di S. Ilario.

Verrà impiegato per prove di modelli di caldaie solari e accumulatori di calore da parte del committente, che è uno degli istituti sperimentali più avanzati nel settore, finanziato dall'ERDA, l'ente che dirige il programma nazionale USA per l'energia.

Questo è un primo significativo concreto risultato degli sforzi compiuti dall'ANSALDO nel campo dell'energia solare.

La centrale solare comunitaria

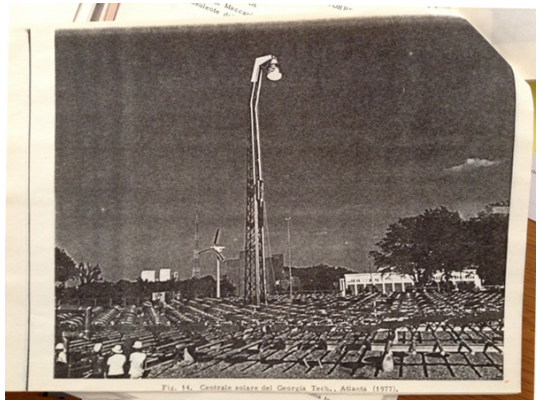
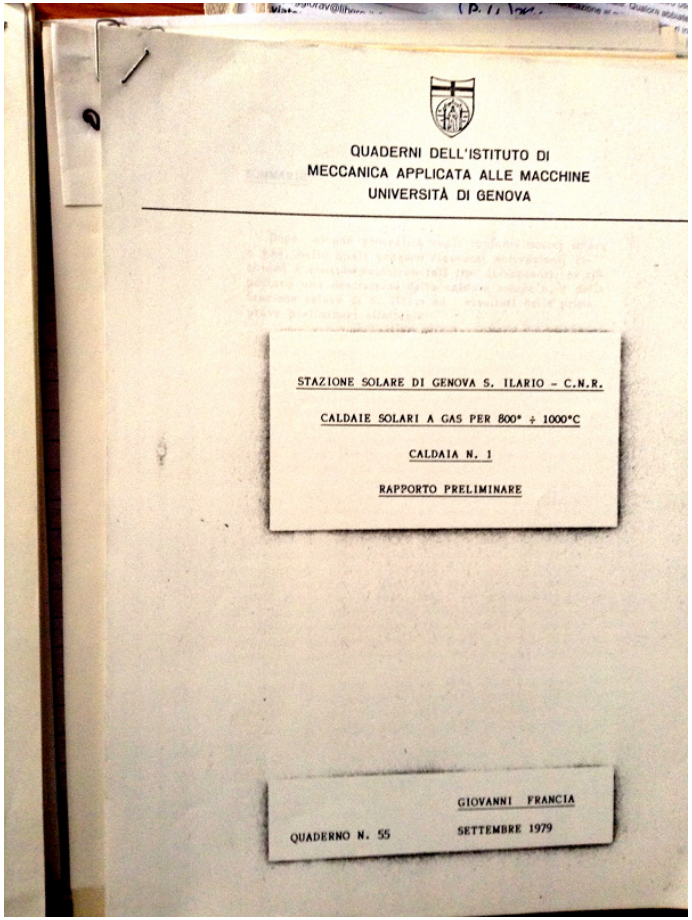


Fig. 14. Centrale solare del Georgia Tech., Atlanta (1977).

dal “Fondo Giovanni Francia” – Fondazione Luigi Micheletti `http://www.fondazionemicheletti.it` e GSES `http://www.gses.it`

Il “Fondo Giovanni Francia” al MUSIL

Giovanni Francia (1911 – 1980), III


QUADERNI DELL'ISTITUTO DI
MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE
UNIVERSITÀ DI GENOVA

STAZIONE SOLARE DI GENOVA S. ILARIO - C.N.R.

CALDAIE SOLARI A GAS PER 800° ÷ 1000°C

CALDAIA N. 1

RAPPORTO PRELIMINARE

GIOVANNI FRANCIA

QUADERNO N. 55 SETTEMBRE 1979

dal “Fondo Giovanni Francia” – Fondazione Luigi Micheletti `http://www.fondazionemicheletti.it` e GSES `http://www.gses.it`

Quaderni dell’Istituto di Meccanica Applicata alle Macchine – Università di Genova – numero 55

○

Stazione solare di Genova S. Ilario – CNR

○

Caldaie Solari a Gas per 800 – 1000 °C
Caldaia N. 1

○

Rapporto preliminare
Settembre 1979

Il “Fondo Giorgio e Gabriella Nebbia” al MUSIL

dal progetto “Archivi dell’ambiente in Lombardia”, I

Il Fondo raduna documenti che testimoniano l’attività di **Giorgio Nebbia** (professore presso l’Università di Bari) nel settore della energia solare, in particolare nel campo della dissalazione. Dal secondo dopoguerra agli anni 1970.

- cinquantatrè faldoni
- **“Faldone 2”**: vi si cita il volume “A directory of the world activity and bibliography of significant literature”, 1955. Stanford Research Institute, Menlo Park, CA.
  Nell’elenco nominativo, per l’Italia, sono elencati: (a) Roberto Breglia, Napoli; (b) il Centro Nazionale Meccanica Agraria, Torino (Federeco Filippi); (c) Mario Dorning, Politecnico di Milano; (d) L’Istituto di Macchine, Napoli, Luigi D’Amelio; (e) L’Istituto di Merceologia, Bari, Giorgio Nebbia; (f) La Soc. Somor, Lecco; (g) Gaetano Vinaccia, Roma

Il “Fondo Giorgio e Gabriella Nebbia” al MUSIL

dal progetto “Archivi dell’ambiente in Lombardia”, II

- **“Faldone 6”**: il faldone raccoglie la corrispondenza col prof Gino Bozza (1899-1967) del Politecnico di Milano che ha condotto ricerche sul riscaldamento solare in una stazione a Cortina d’Ampezzo visitata da Giorgio nebbia nell’estate 1962. Sono presenti altre ricerche sulla dissalazione con camini solari e ricerche su frigoriferi solari. Con sue suoi collaboratori, setti e Elias, Giorgio Nebbia è stato invitato in Israele a visitare impianti solari e di dissalazione dal 24 novembre al 6 dicembre 1964.

  Il Politecnico di Milano ospitò nel settembre 1962 un seminario del Comples (Cooperation Mediterraneenne pour l’Energie Solaire).

Il “Fondo Giorgio e Gabriella Nebbia” al MUSIL

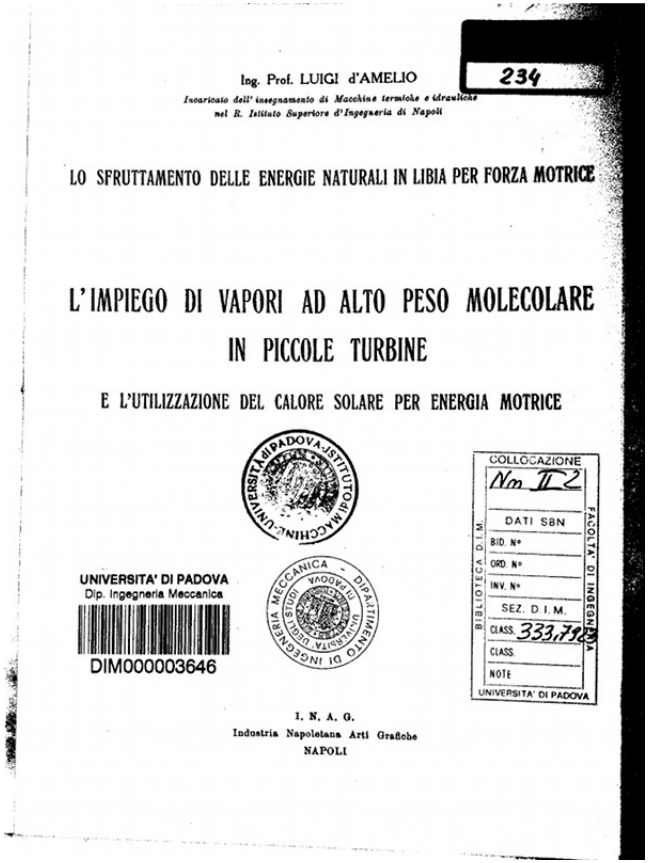
dal progetto “Archivi dell’ambiente in Lombardia”, III

- **Bréglia, Roberto** – Ingegnere italiano (Napoli 1908 - ivi 1964); prof. univ. dal 1950, insegnò macchine a Bari e (dal 1958) macchine marine a Napoli. Tra i suoi studî sono da ricordare quelli sulle turbine a gas e a vapore, anche in rapporto alle applicazioni nucleari, sulle pompe centrifughe e assiali, sulla liquefazione e il trasporto marino del metano e sugli apparati motori per la propulsione navale. Progettò una galleria per il rilevamento delle prestazioni delle eliche marine. http://www.treccani.it/enciclopedia/roberto-breglia/
- **Gaetano Vinaccia** – http://www.gses.it/pionieri/vinaccia.php

- **il Centro Nazionale di Meccanica Agraria** – Torino
  - http://senato.archivioluce.it/senato-luce/scheda/video/IL5000018713/2/Inaugurato-il-centro-meccanicoagricolo-a-Mirafiori.html
  - http://www.youtube.com/watch?v=8Hyvgzykl0A
- **Mario Dornig** (Firenze il 23 nov. 1880 - 12 nov. 1962) – Professore al Politecnico di Milano, propose, fra i primi, l’uso indiretto del calore solare a bassa temperatura sfruttando il gradiente termico delle acque profonde.
  “L’utilizzazione del calore solare coi sistemi a bassa temperatura”, Il Monitore Tecnico, XXVIII, n. 24-25 (1922), pp. 281-86, 293-295
  http://www.treccani.it/enciclopedia/mario-dornig_(Dizionario-Biografico)/

Il solare termodinamico a bassa temperatura

Luigi d'Amelio (1893 – 1967), I



Ing. Prof. LUIGI d'AMELIO

Incaricato dell'insegnamento di Macchine termiche e idrauliche nel R. Istituto Superiore d'Ingegneria di Napoli

234

LO SFRUTTAMENTO DELLE ENERGIE NATURALI IN LIBIA PER FORZA MOTRICE

L'IMPIEGO DI VAPORI AD ALTO PESO MOLECOLARE IN PICCOLE TURBINE

E L'UTILIZZAZIONE DEL CALORE SOLARE PER ENERGIA MOTRICE

UNIVERSITA' DI PADOVA
Dip. Ingegneria Meccanica
DIM000003646

COLLOCAZIONE
Nm II 2
DATI SBN
BID. N°
ORD. N°
INV. N°
SEZ. D. I. M.
CLASS. 333,792
CLASS.
NOTE
UNIVERSITA' DI PADOVA
BIBLIOTECA D. I. M.
FACOLTA' DI INGEGNERIA

I. N. A. G.
Industria Napoletana Arti Grafiche
NAPOLI

Frontespizio di una memoria del prof Luigi d'Amelio, **Aprile 1935.**

"PREMESSA – *Le risorse della Libia a scopo di produzione di energia motrice non lasciano ampio campo alla scelta. . . . altre forme, meno comuni, che fin' oggi non ebbero molte applicazioni sia per* **la poca convenienza economica** *sia per* **l'assenza di macchine adatte** *ad un industriale* **pratico** *sfruttamento. . . . L'esame anche sommario dell'attuale situazione porta a classificare le possibilità di soluzioni in tre gruppi distinti: (a) utilizzazione di combustibili derivati da prodotti del suolo o da loro residui di lavorazione locale. (b) Utilizzazione dell'energia del vento.* **(c) Utilizzazione del calore solare**".

Il solare termodinamico a bassa temperatura

Luigi d'Amelio (1893 – 1967), II

"Dopo un rapido esame delle risorse libiche a scopo di energia motrice e per scopi agricoli che permettono l'utilizzazione anche di energie naturali intermittenti, si esamina la possibilità dell'impiego del vento, ricordando esperienze eseguite in merito dall'autore.
Si fanno notare gli inconvenienti gravi di tale forma di energia che rendono preferibile rivolgersi al **calore solare** *che presenta nel tempo diagrammi più regolari e distribuzione più uniforme.*
Si passano in rassegna **i sistemi di motori solari finora proposti** *facendone rilevare gli inconvenienti che, specie nei piccoli impianti, possono riassumersi nello* **scarso rendimento termodinamico delle motrici oggi adoperate**.
Viene studiato il **miglioramento del rendimento** *termodinamico* **ottenibile** *con impiego di vapori ad alto peso molecolare in* **piccole turbine**."

da "Lo sfruttamento delle energie naturali in Libia per forza motrice – L'impiego di vapori ad alto peso molecolare in piccole turbine e l'utilizzazione del calore solare per energia motrice", Luigi d'Amelio, Industria Napoletana Arti Grafiche, Napoli, 1935

Il solare termodinamico a bassa temperatura

Luigi d'Amelio (1893 – 1967), III

"In particolare si dimostra la convenienza dell'impiego del cloruro di etile. Rilevate sperimentalmente le quantità di calore captabili in acqua contenuta in recipienti chiusi esposti al sole alla latitudine della Tripolitania e considerata la temperatura di migliore utilizzazione in base ai diagrammi localmente ricavati in varie stagioni, si passa alla applicazione del principio proposto ad una turbina della potenza di cinque cavalli effettivi **(3.7 kW)** *facendone il progetto di massima. Si perviene, in base a considerazioni economiche, alla conclusione che un tal genere di macchina può competere agevolmente con le piccole motrici a scoppio alimentate da petrolio agricolo che oggi rappresentano in Tripolitania la fonte di energia più economica per piccoli impianti."*

da "Lo sfruttamento delle energie naturali in Libia per forza motrice – L'impiego di vapori ad alto peso molecolare in piccole turbine e l'utilizzazione del calore solare per energia motrice", Luigi d'Amelio, Industria Napoletana Arti Grafiche, Napoli, 1935

Il solare termodinamico a bassa temperatura

Luigi d'Amelio (1893 – 1967), IV

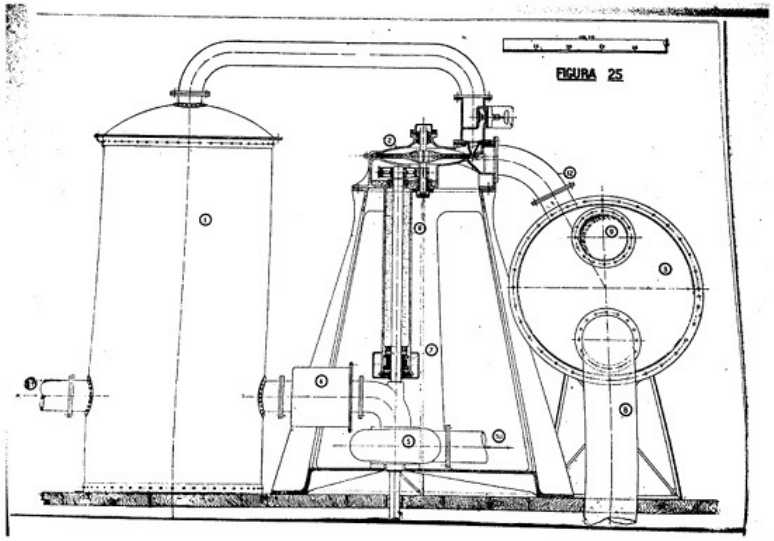


Fig. 25 – Leggenda

1 – Caldaia.
2 – Turbina.
3 – Condensatore.
4 – Preriscaldatore.
5 – Pompa di circolazione dell'acque nei radiatori.
6 – Guardia idraulica all'uscita dell'albero.
7 – Tenuta ad anelli di carbone e valvola di chiusura nei lunghi periodi di riposo.
8 – Condotta dell'acqua pompata dal pozzo.
9 – Uscita dell'acqua per irrigazione.
10 – Condotta d'acqua ai radiatori.
11 – » » dai »
12 – Scarico del Vapore.

La turbina ad asse verticale per l'azionamento di una pompa centrifuga .

da "Lo sfruttamento delle energie naturali in Libia per forza motrice – L'impiego di vapori ad alto peso molecolare in piccole turbine e l'utilizzazione del calore solare per energia motrice", Luigi d'Amelio, Industria Napoletana Arti Grafiche, Napoli, 1935

Il solare termodinamico a bassa temperatura

Luigi d'Amelio (1893 – 1967), V

"(b) sistemi senza concentrazione

- *... categoria di impianti prospettata da poco più di un decennio da autorevoli personalità nel campo termico quali il* **Dornig**, *il Campbell, il Claude, e* **sperimentata poi in scala ridotta** *da quest'ultimo ed* **anche dall'ing Romagnoli in Italia** *...*
- *impianti del genere furono già costruiti e sperimentati in Italia dal compianto ingegnere* **Tito Romagnoli** *.... I primi esperimenti del Romagnoli datano oramai da un decennio gli ultimi furono* **pubblicati in occasione del Congresso dell'AEI nel 1931** *...*
- *... ing Romagnoli che ha fatto funzionare* **due piccoli impianti** *uno nel 1923, ad anidride solforosa, e uno verso il 1930 presso la CESMA di Saronno, a cloruro di metile. ... si trattava di* **macchine alternative** *ingegnosamente costruite ...*

"

da "Lo sfruttamento delle energie naturali in Libia per forza motrice – L'impiego di vapori ad alto peso molecolare in piccole turbine e l'utilizzazione del calore solare per energia motrice", Luigi d'Amelio, Industria Napoletana Arti Grafiche, Napoli, 1935

Solar heat actuated pumping units United Kingdom Patent 205504-A

205504-A

205,504. Romagnoli, T. Oct. 12, 1922, [Convention date]. Actuating by gas-pressure.-A pumping-engine using sulphurous anhydride comprises a heat absorber R made in the form of a flat-sided iron box which contains water to take up solar heat which evaporates the power fluid in a heater B in connection therewith. The fluid expands in a pair of inclined cylinders M mounted in a condenser K, the pistons of which are connected by V-shaped, return connecting-rods to a crank shaft A which passes out through a stuffing-box. Cold water raised by the pump is circulated inside a condensing-coil and on issuing therefrom is brought into contact with the outer surface of the condenser casing. The condensed liquid is pumped back to the heater.

Title	Solar heat actuated pumping units (/topic/Solar_heat_actuated_pumping_units_1.html)
Application Number	GB19230025495 19231012
Publication Number	205504 (A)
Application Date	1923-10-12
Publication Date	1925-01-12 (/date/19250112_1.html)
Assignee	Tito Romagnoli (/assignee/Tito_Romagnoli_1.html)
IPC	F03G 06/00 (/ipc/F03G_06ZZSLASHZZ00_1.html)

Full Text at United Kingdom Intellectual Property Office (IPO) (http://v3.espacenet.com/publicationDetails/biblio?CC=GB&NR=205504-)

Engines actuated by solar heat United Kingdom Patent 290981-A

290981-A

290,981. Romagnoli, T. May 21, 1927, [Convention date]. Single-acting pistor pumps ; valves arrangement of.-Condensed vapour is returned from the condenser of a vapou: engine by a pump 25, discharging through a tube 26 into the sealing liquid in a chamber 6 in the engine crank case. The pump piston and valve are operated by eccentrics on the engine shaft.

Title	Engines actuated by solar heat (/topic/Engines_actuated_by_solar_heat_1.html)
Application Number	GB19280014837 19280521
Publication Number	290981 (A)
Application Date	1928-05-21
Publication Date	1928-09-13 (/date/19280913_1.html)
Assignee	Tito Romagnoli (/assignee/Tito_Romagnoli_1.html)
IPC	F03G 06/00 (/ipc/F03G_06ZZSLASHZZ00_1.html)

Il solare termodinamico a bassa temperatura

I brevetti di Tito Romagnoli (1930), III

Sun-heat motor - Tito, Romagnoli 10/4/13 3:14 PM

Email Password Login Sign up

Enter your search here Search

☑ Patents/Apps ☐ Non-Patent Literature
☐ Blogs/Groups ☐ MPEP ☐ Case Law

SEARCH BLOGS MPEP 2.0 TOOLS & RESOURCES PRODUCT & SERVICES HELP

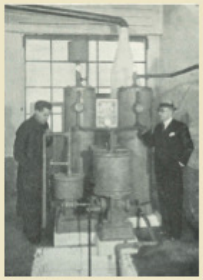
Title: **Sun-heat motor**

United States Patent 1785651

Inventors:	Tito, Romagnoli
Publication Date:	12/16/1930
Export Citation:	Click for automatic bibliography generation
Assignee:	Tito, Romagnoli
Primary Class:	60/641.8
Other Classes:	60/515, 237/1R
International Classes:	*F03G6/00*; F03G6/00
View Patent Images:	Download PDF 1785651 PDF help

Il motore solare di Daniele Gasperini e Giovanni Andri

Da "Il Secolo – La Sera" 17 luglio 1935



Gasperini, Andri e il motore solare

Nel 1936 Giovanni Andri e Daniele Gasperini registrano un brevetto che ha per oggetto:

"un motore funzionante a spese dell'energia termica dei raggi solari principalmente, ma il cui funzionamento può avvenire anche con combustibili poveri e con cascami agricoli".

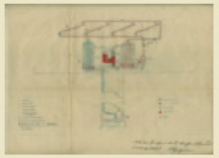
1936 circa - Il motore solare Andri/Gasperini esposto alla fiera di Torino nella seconda metà degli anni trenta

GSES Gruppo per la storia dell'energia solare — CONASES Comitato Nazionale "La Storia dell'Energia Solare"

La pompa solare SOMOR e il museo di Brescia

Reperto di uno dei cinque tipi di pompa solare SOMOR donato da Luisella Grassi per il Museo dell'Industria e del Lavoro "Eugenio Battisti" di Brescia.

Schema di funzionamento della pompa solare in un disegno degli anni quaranta di Enrico Gasperini (1918-1999), donato da Gildo Gasperini per il Museo dell'Industria e del Lavoro "Eugenio Battisti"di Brescia.



La storia della pompa solare SOMOR e dei suoi inventori, Daniele Gasperini e Ferruccio Grassi, sarà raccontata nel

Museo dell'Industria e del Lavoro "Eugenio Battisti" di Brescia
www.musil.bs.it

La mostra qui esposta è anche un esempio delle documentazioni finora raccolte e in fase di studio da parte del GSES e del CONASES.

Il GSES e il CONASES sono alla ricerca di reperti da musealizzare e di documenti e fotografie per integrare e completare la storia della pompa solare SOMOR.

Grazie per la collaborazione!

GSES Gruppo per la storia dell'energia solare — CONASES Comitato Nazionale "La Storia dell'Energia Solare"

"*Il reperto* **è previsto che sia esposto in una sezione** *del Museo dell'Industria e del Lavoro di Brescia* **dedicata all'uso del calore solare** *alla basse temperature.*"
"*Tale esposizione potrà inoltre essere integrata e resa più completa sia con documenti tecnici originari, fotografie e vario altro materiale sulle pompe SOMOR che testimonianze sulle attività professionali e sulle vite di Ferruccio Grassi e Daniele Gasperini, grazie al fatto di aver potuto consultare di* **entrambi gli archivi personali** *negli ultimi mesi.*" da: Cesare Silvi, *La pompa solare SOMOR: riscoperta di un'invenzione italiana del primo Novecento e sue attuali prospettive.* Gruppo per la storia dell'energia solare (GSES). seconda bozza/CS/26 Dicembre 2009

Il reperto SOMOR presso il MUSIL è stato oggetto di una **tesi di laurea** presso l'Università di Bescia: *"Solare termodinamico a basse temperature: analisi della pompa Somor, invenzione italiana degli anni 1950"*, Marco Panelli. Tesi di Laurea Triennale, settembre 2014.

Alcuni riferimenti bibliografici

- Cesare Silvi, *La pompa solare SOMOR: riscoperta di un'invenzione italiana del primo Novecento e sue attuali prospettive.* Gruppo per la storia dell'energia solare (GSES). seconda bozza/CS/26 Dicembre 2009
- Robert H Eustis, W Lawrence Prehn Jr, Alonzo W Noon, Donald M Vestal Jr, *Performance test of SOMOR solar engine and preliminary market study for Tabor flat plate collector.* Final Report, SRI Project P-1562, June 22, 1956. Stanford Research Institute, Menlo Park, CA
- Daniele Gasperini, *Motori eliodinamici Gasperini*, manoscritto raccolto e dattiloscritto dal GSES
- Filippi F, *Prove di una motopompa ad energia solare*, Atti del Centro nazionale meccanico agricolo, vol I, Torino, 1955

"I fluidi basso-bollenti", P Gaudenzi, energie alternative HTE, anno 5, numero 23, maggio-giugno 1983, 229-234

- "**nell'anno 1960** *venne costruita a Cortina d'Ampezzo, sotto l'egida del CNR, la* "**Stazione per l'utilizzo dell'energia solare**", *ove vennero installati vari circuiti di utilizzazione fra loro in comparazione*"
- *"le ricerche alla Stazione Sperimentale di Cortina d'Ampezzo furono volute e guidate dal prof* **Gino Bozza**, *dal prof* **Bruno Setti** *con la collaborazione dei prof* **Elisa Bonauguri**, **Ambrogio Locatelli** *e con l'interessamento diretto del prof Vincenzo Caglioti Presidente del CNR*"
- *"la Stazione, successivamente, venne trasferita a Bari, su disposizione del CNR*"

"I fluidi basso-bollenti", P Gaudenzi, energie alternative HTE, anno 5, numero 23, maggio-giugno 1983, 229-234

- *"fra gli ultimi risultati ...* **l'inserimento di un motore a vapore** *... apre decisamente la via a soluzioni valide sotto ogni aspetto dei sistemi a temperature moderate, operanti con fluidi basso-bollenti"*
- *"si passò ...* **fra il 1970 ed il 1979**, *alla progettazione del <<motore Rankine>>"*
- *"il circuito pilota ha permesso di realizzare varie soluzioni e di provare diversi fluidi (R11, R12, R22), di inserire fonti di calore ausiliarie ... "*
- *"tutte le prove sono state condotte al "Centro di Formazione Professionale" del <<Villaggio del Fanciullo>>, dove già il 19 luglio 1977 veniva deciso di aggiungere un Corso di Ricerca sulla <<Utilizzazione dell'energia solare>>"*

I motori Rankine solari con turbina realizzati in Italia (1976 - 1982)

reference engine number	design power (kW)	year	heat source
1	4	1976	flat plate solar collectors
2	4	1977	flat plate solar collectors
3	3	1977	Fresnel lens solar collectors
5	3	1978	low temperature parabolic troughs
8	35	1980	**high temperature** parabolic troughs
10	8	1982	linear solar collectors
12	12	1982	flate plate solar collectors

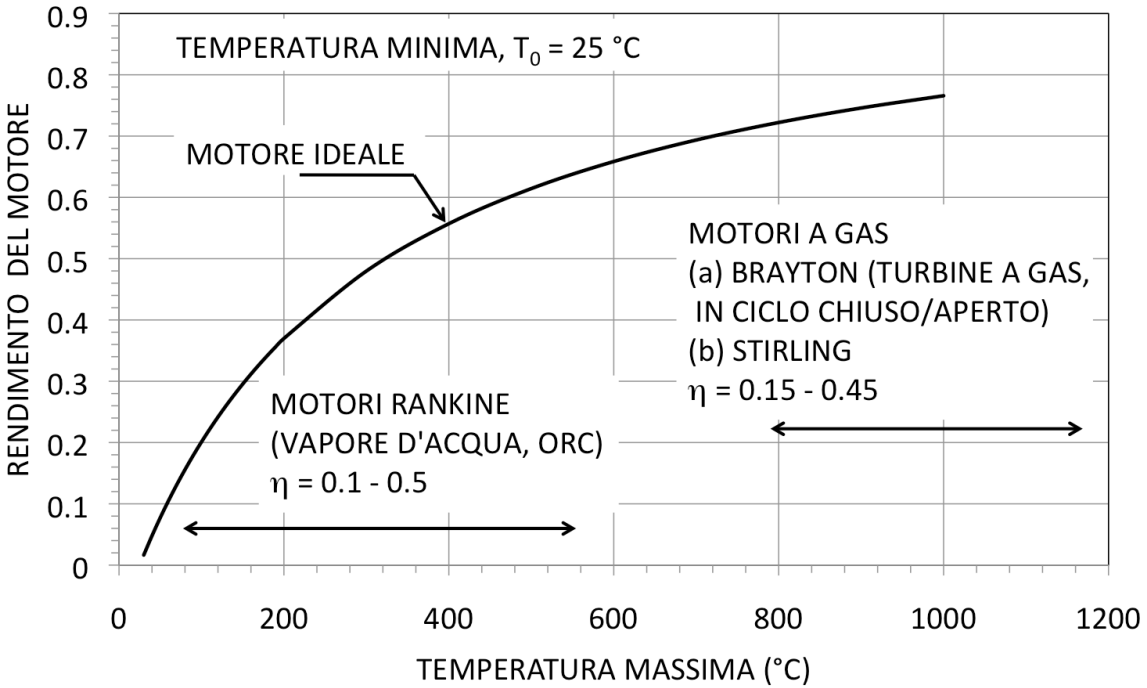
I motori Rankine solari con turbina realizzati in Italia (1976 - 1982)

reference engine number	manufacturer	working fluid	maximum and minimum temperatures (°C)
1	G[a]	tetrachloroethylene	75 – 30
2	G[a]	tetrachloroethylene	75 – 30
3	G[a]	tetrachloroethylene	75 – 40
5	T[b]	tetrachloroethylene	75 – 40
8	G[a]	Flutec PP3	280 – 40
10	G[a]	monochlorobenzene	177 – 33
12	T[b]	tetrachloroethylene	83 – 30

[a] Gemmindustria Snc, Milano [b] Turboden Srl, Milano

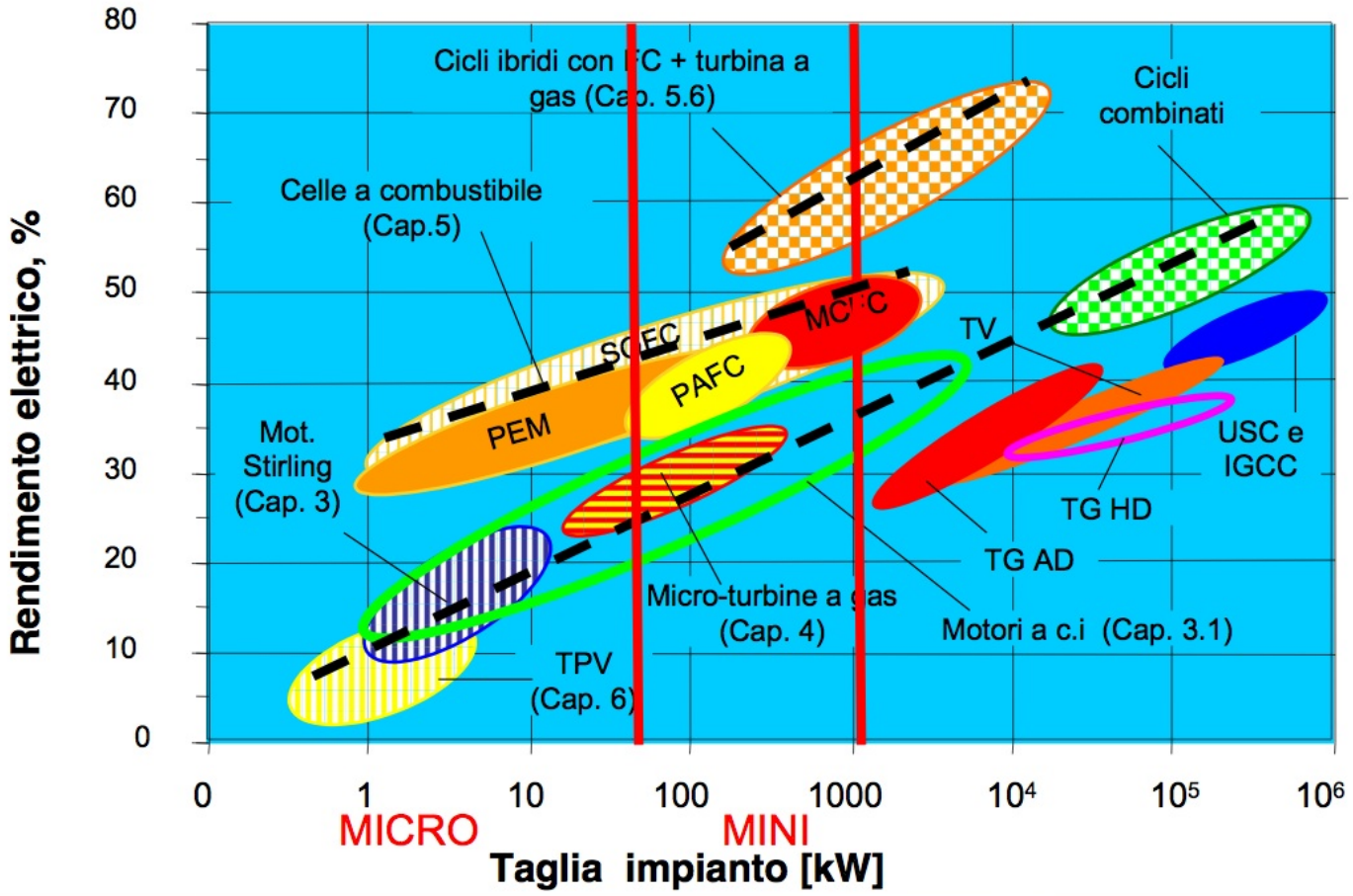
in collaborazione con il **Politecnico di Milano** (Istituto di Macchine): **Angelino/Gaia/Macchi**

L'effetto della temperatura sul rendimento

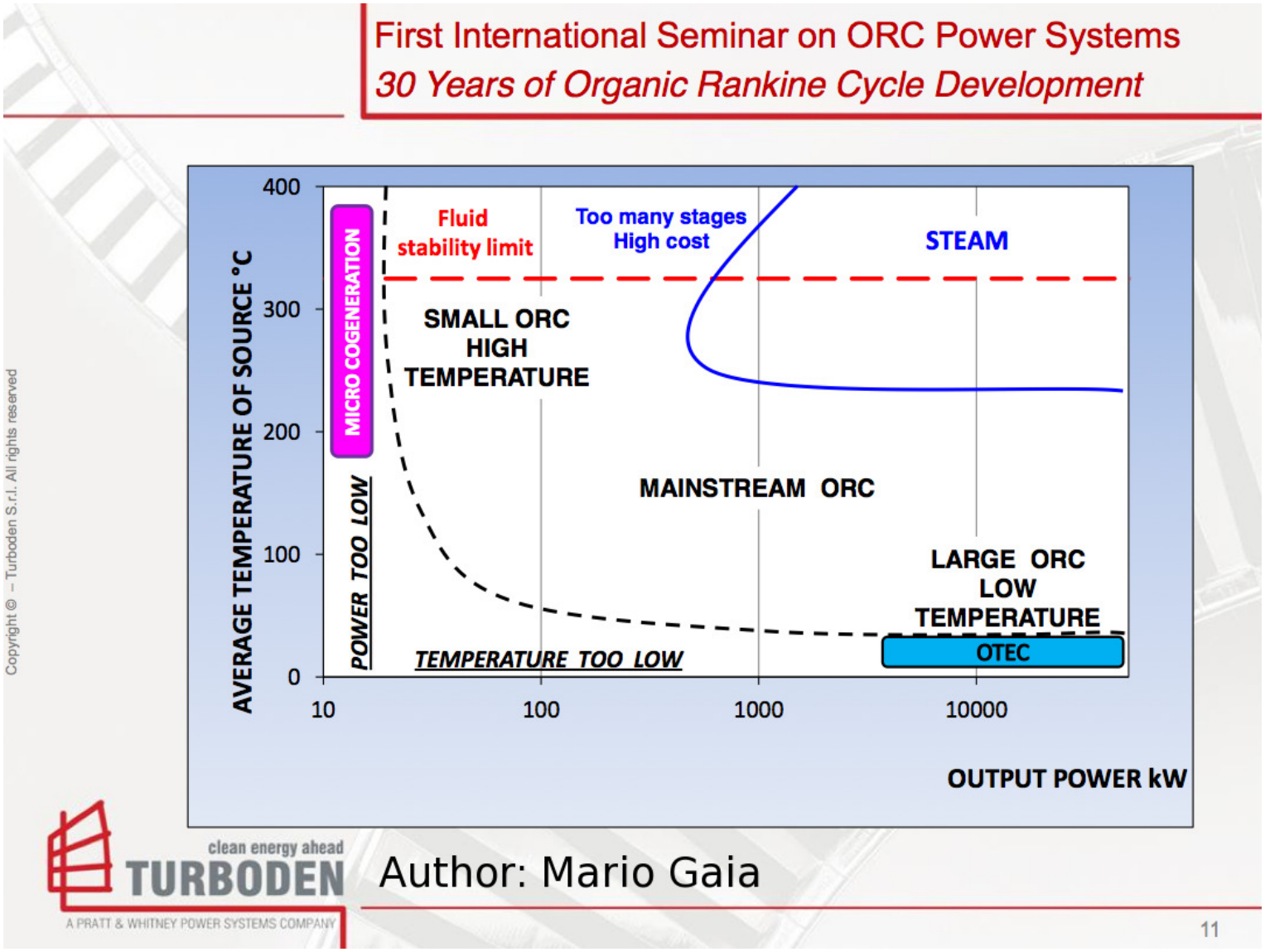


I motori termici disponibili: ▶ con ciclo Rankine ▶ con ciclo a gas. **Motori con ciclo Rankine**: ▶ ottima qualità termodinimica ▶ capacità di sfruttare una ampia gamma di temperature.

L'effetto della taglia sul rendimento

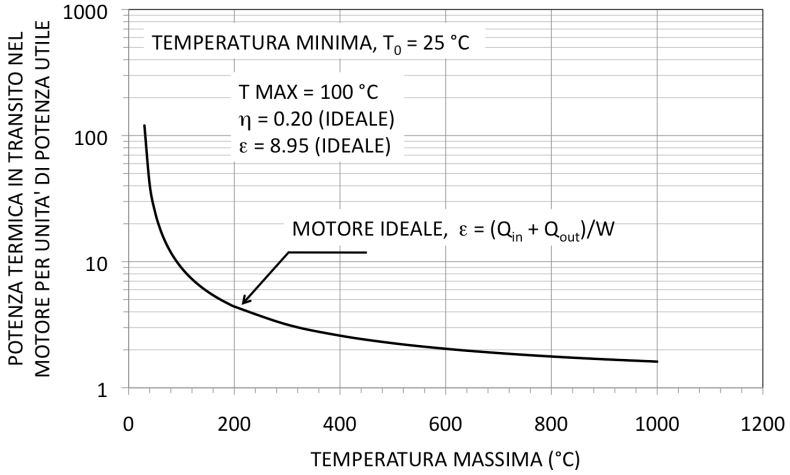


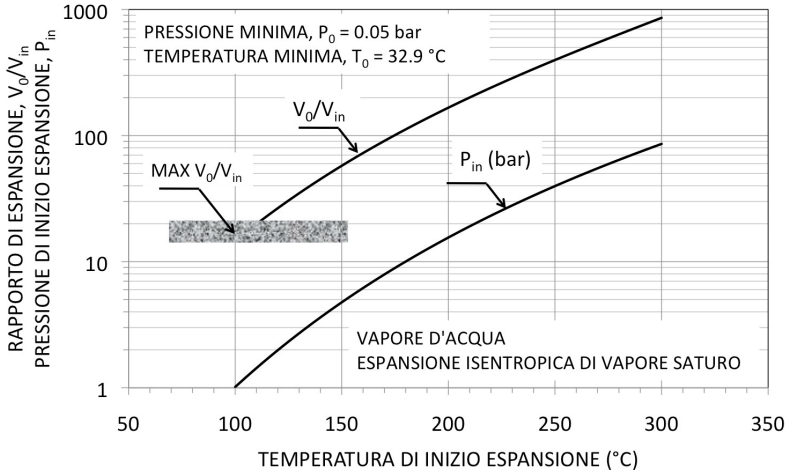
Campi di applicazione dei motori a ciclo di Rankine



I motori termodinamici con ciclo di Rankine

Alcuni aspetti tecnologi e termodinamici





- interesse nella generazione di energia distribuita;
- motori termici di piccola potenza $\rightarrow$ bassi rendimenti;
- motori termici a bassa temperatura $\rightarrow$ elevati costi degli scambiatori di calore;
- motori con ciclo Rankine $\rightarrow$ rapporti volumetrici di espansione rapidamente crescenti con la temperatura;
- limiti dell'espansore volumetrico tradizionale nel gestire i rapporti di espansione
- solare termodinamico $\rightarrow$ taglia (motore, collettore piano o a concentrazione); fluidi di lavoro; accumulo termico

GSES, MUSIL, Associazioni, Università e Scuole Tecniche

- Università:
  ⋆ didattica, ricerca e sviluppo (in collaborazione con aziende e associazioni);
  ⋆ divulgazione ((1) archivio della storia della energia solare, sedi museali, siti e reperti storici del solare termodinamico in Italia. (2) Fondo Francia, (3) Fondo Nebbia. (4) Indagini sui motori di Romagnoli. (5) Il Centro di Cortina).
- Scuole Tecniche:
  ⋆ "L'energia è responsabile di tutto quello che accade nel mondo ..." (J.W. von Goethe, 1749 - 1832);
  ⋆ l'uso delle rinnovabili come argomento e caso di studio;
  ⋆ la Termodinamica, l'Ottica, la Meccanica ... alla base dello studio e del progetto dei motori termodinamici;
  ⋆ valorizzazione delle attività di laboratorio mediante la realizzazione di specifici progetti.