

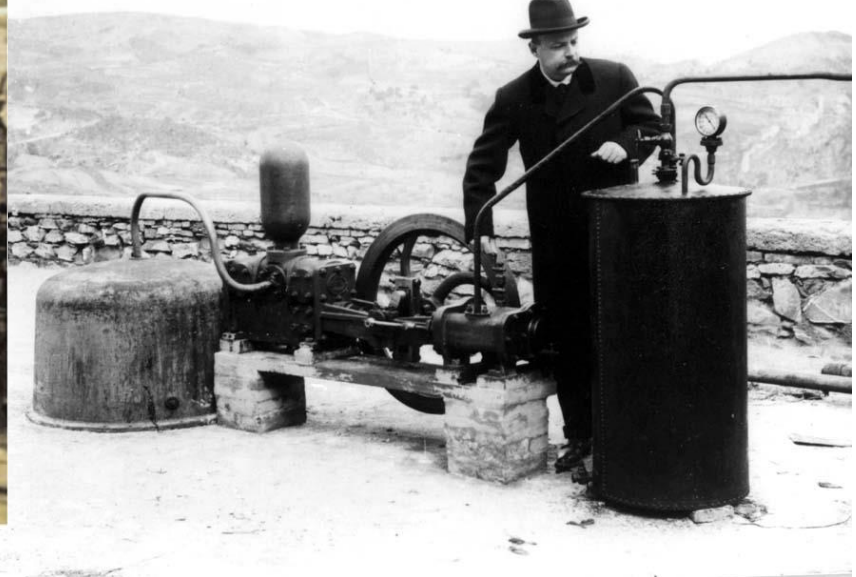
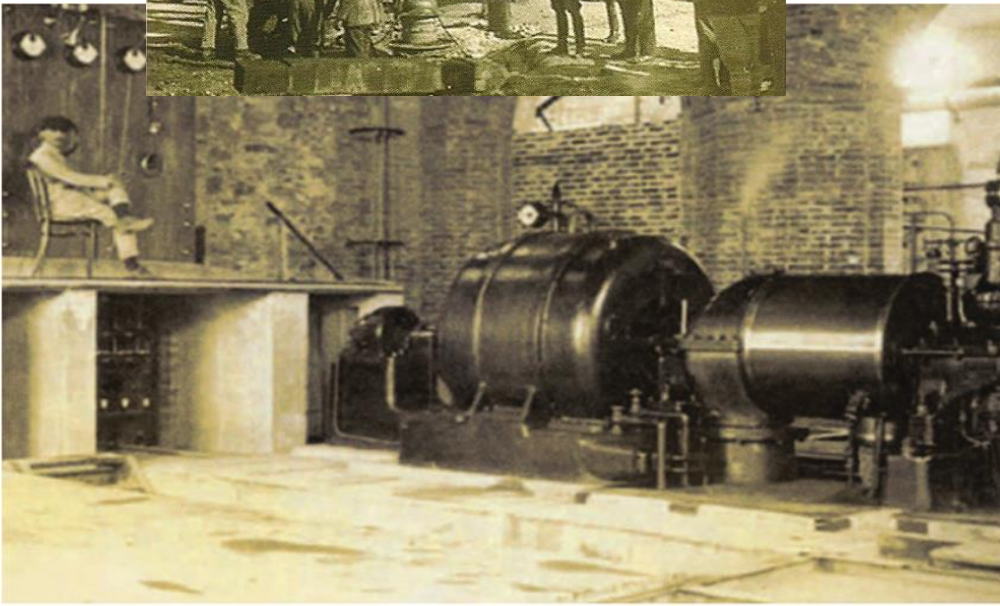
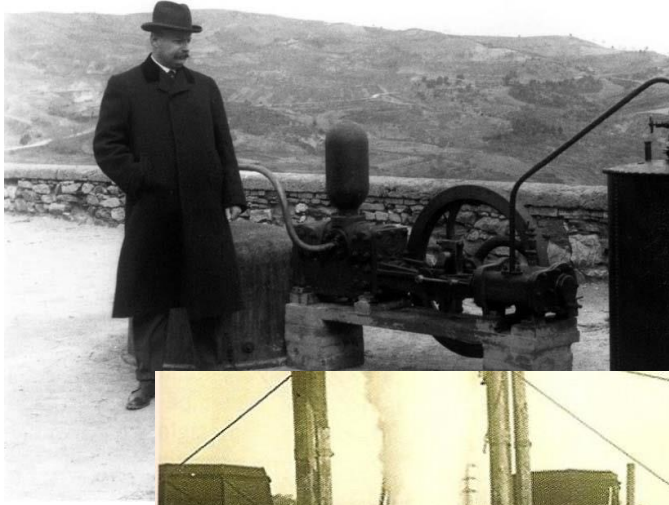


SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

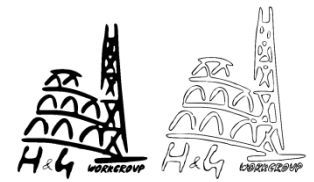


Tecnologie di generazione elettrica in geotermia in Italia e nel mondo

Prof. Claudio Alimonti



AGENDA



Stato dello sviluppo tecnologico

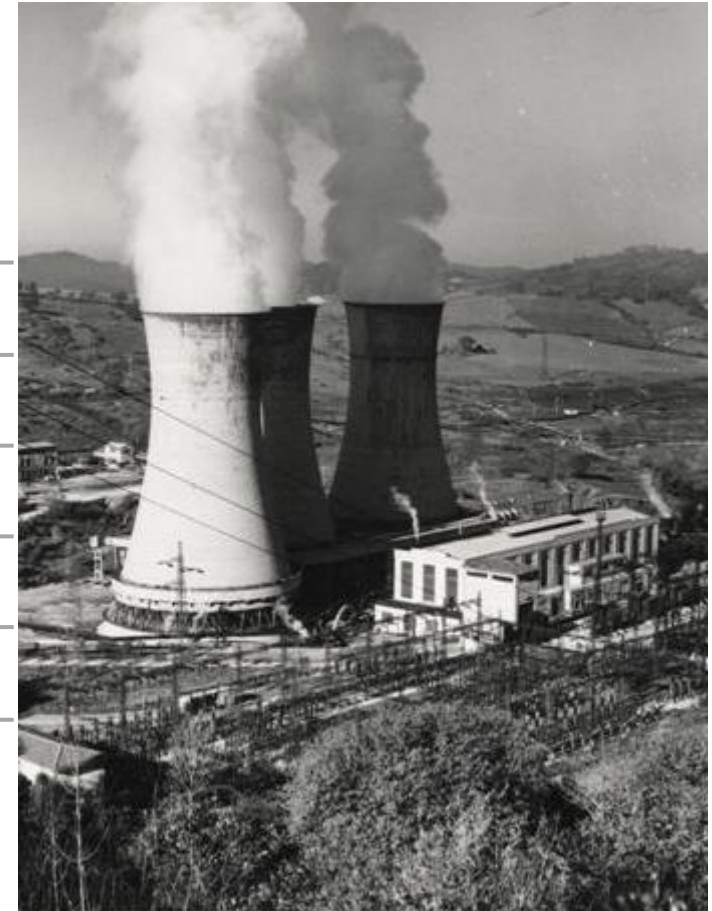
Outlook mondiale del settore

Sistemi di conversione convenzionali

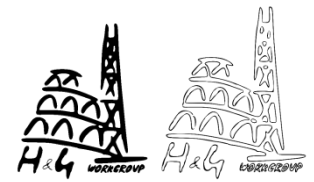
Costi

Prospettive e barriere

Sistemi ibridi



HIGHLIGHTS



Stato dello sviluppo tecnologico

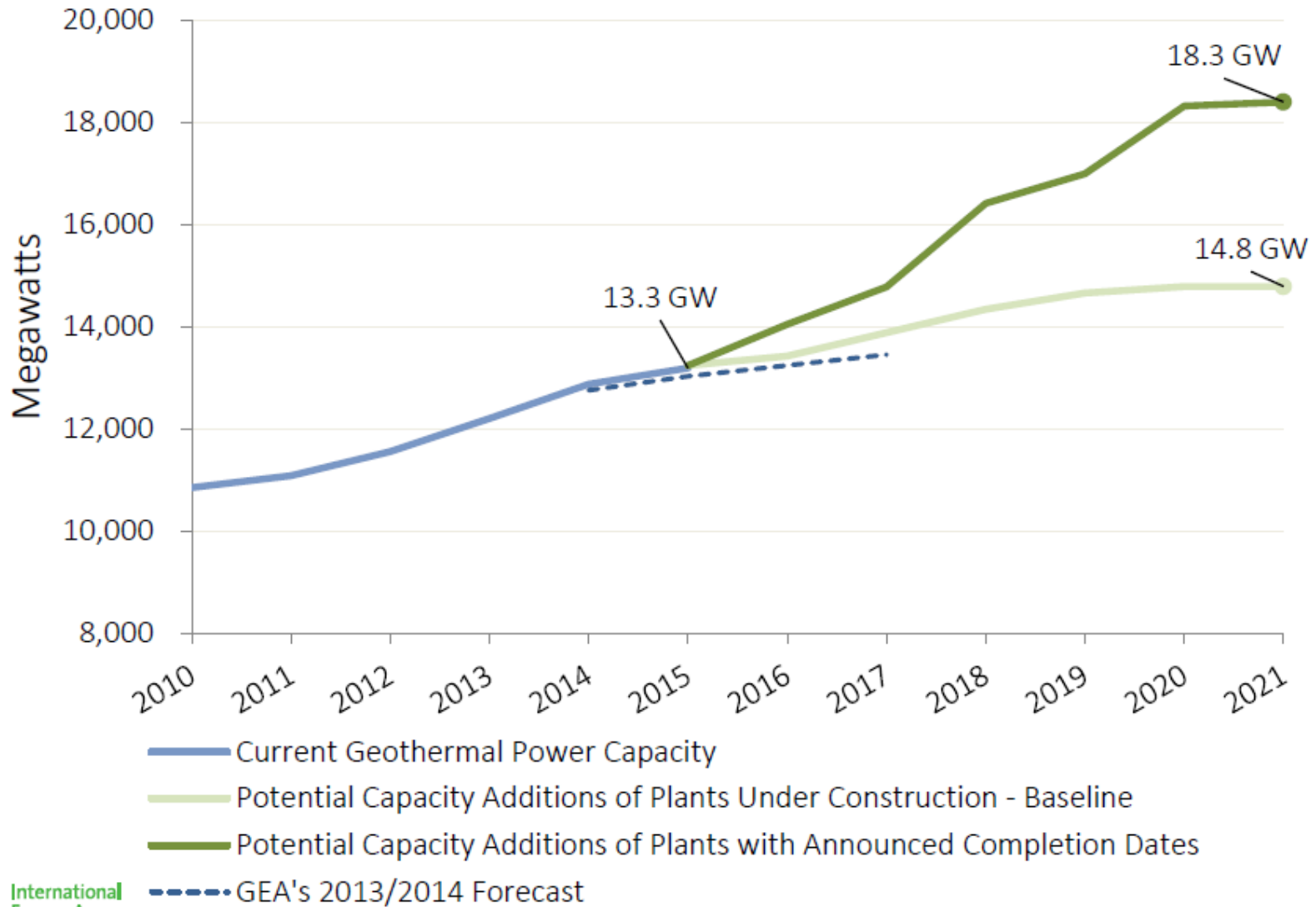
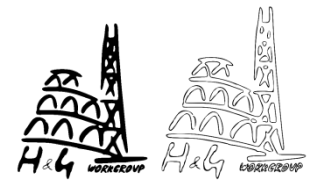
La potenza installata a fine **2016** risulta essere di **12,7 GW** con una produzione annua di circa 80,9 TWh nel 2015

La generazione di potenza elettrica nel settore Geotermico è principalmente associata a tecnologie che utilizzano risorse geotermiche **convenzionali**, idrotermali

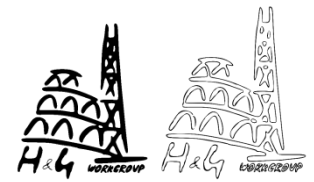
Gli **impianti** sono a vapore secco, impianti a flash (singolo doppio o triplo), impianti binari



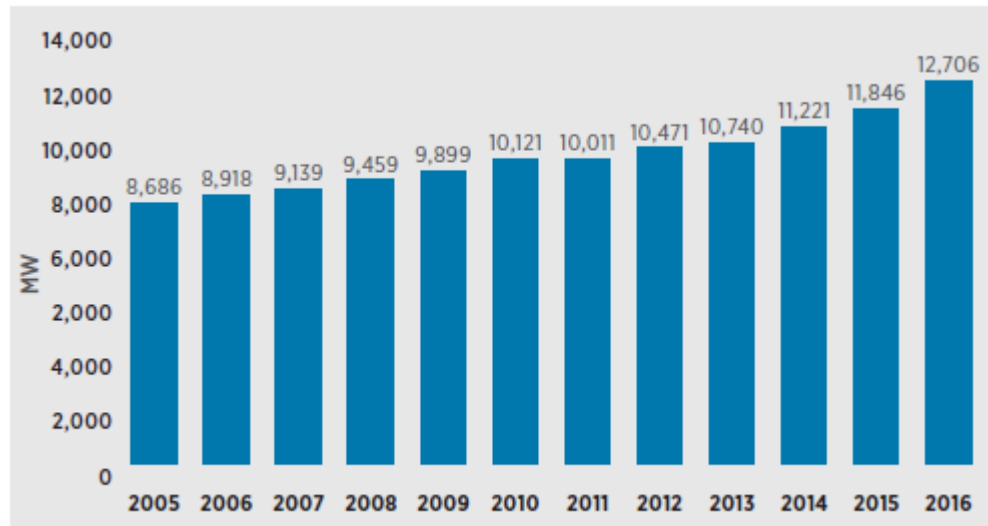
GEOHERMAL ENERGY IN THE WORLD



GEOHERMAL ENERGY IN THE WORLD



Global installed geothermal capacity



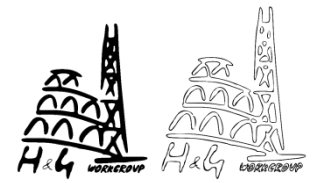
Source: IRENA, 2017a

Net installed geothermal power capacity by country in 2016

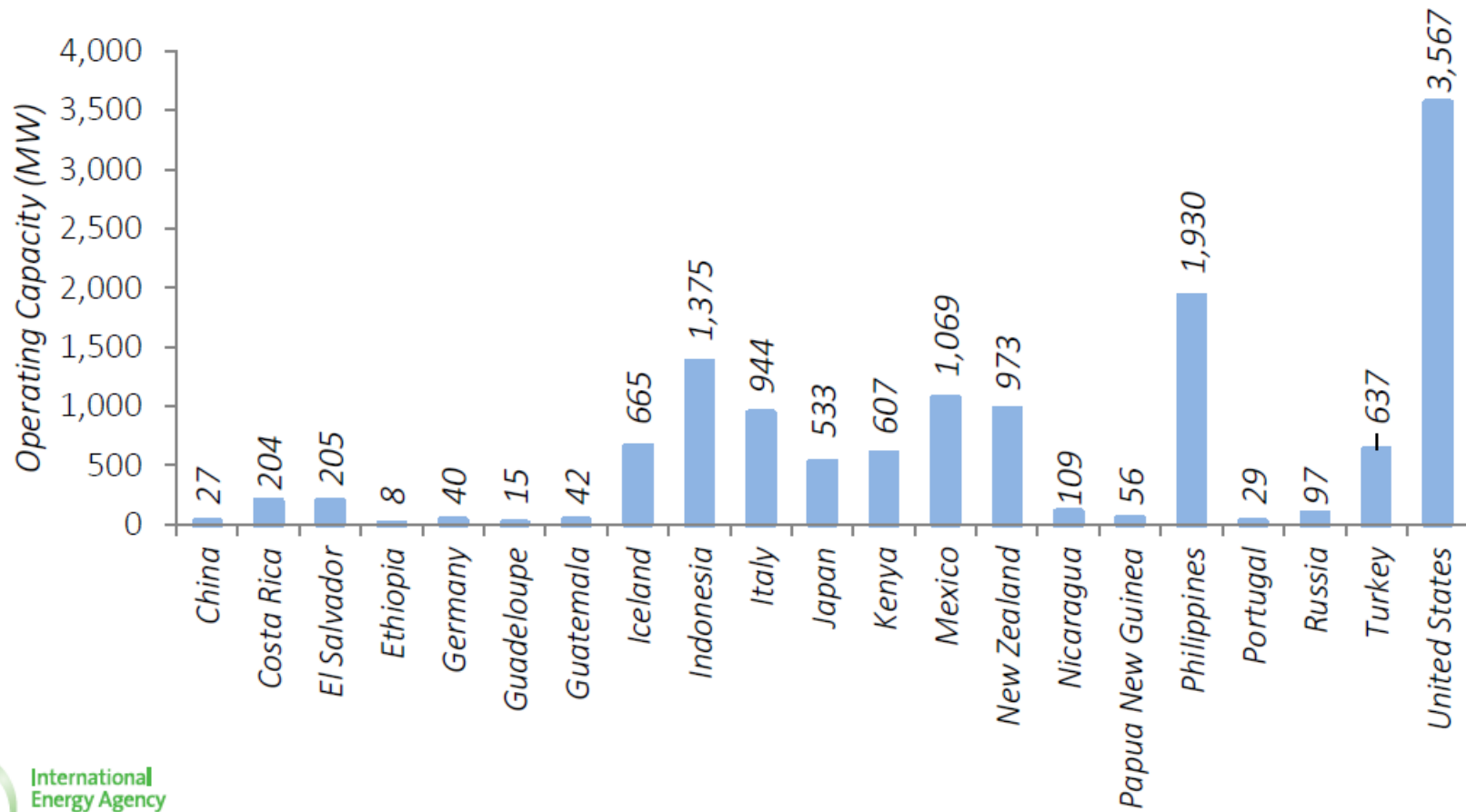
Country	Capacity (MW)
USA	2 511
Philippines	1 916
Indonesia	1 534
Kenya	1 116
New Zealand	986
Mexico	951
Italy	824
Turkey	821
Iceland	665
Japan	533
Costa Rica	207
El Salvador	204
Nicaragua	155
Russian Federation	78
Papua New Guinea	53

Source: IRENA, 2017a

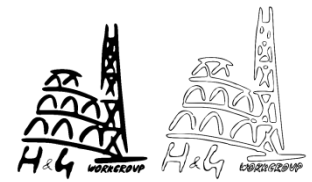
GEOHERMAL ENERGY IN THE WORLD



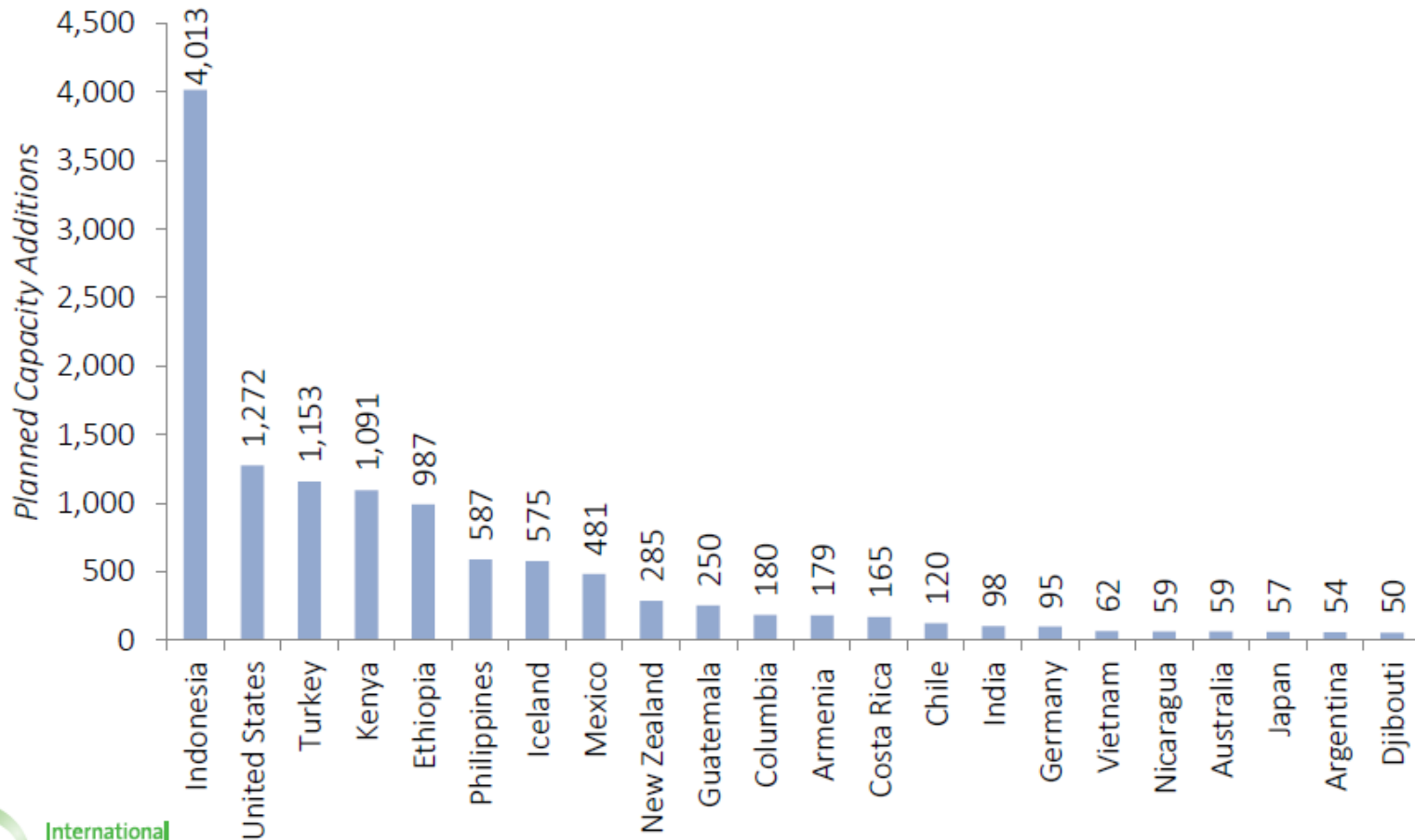
Geothermal Power Operating Capacity by Country



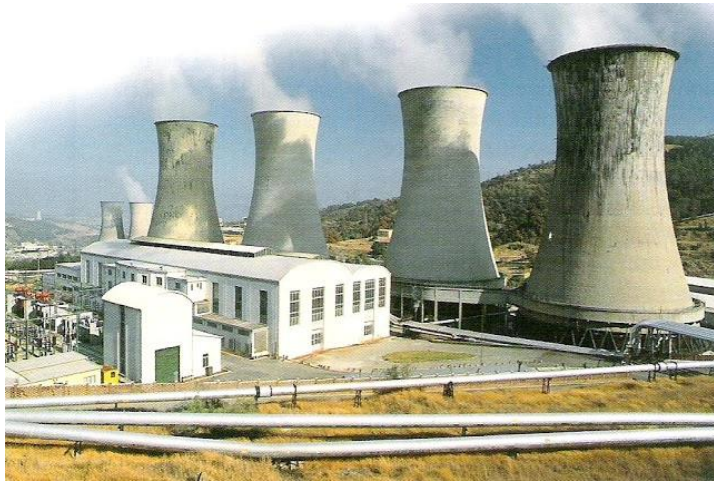
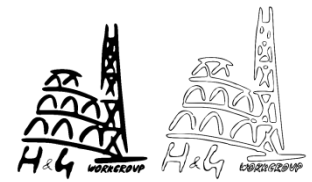
GEOHERMAL ENERGY IN THE WORLD



Capacity under Development by Country or Territory (Megawatts)



IMPIANTI GEOTERMICI A VAPORE SECCO

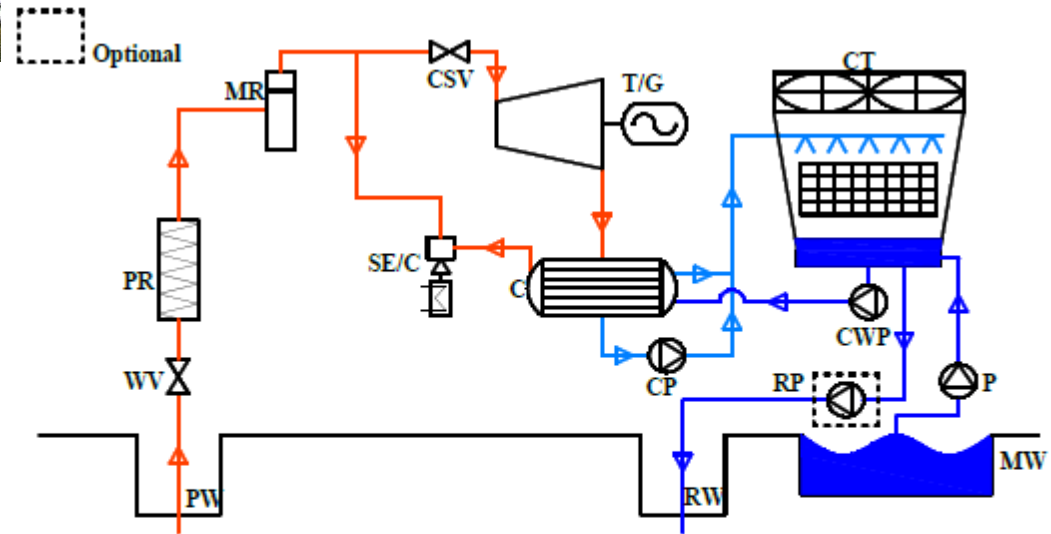


Tecnologia matura con dimensioni tipiche delle turbine tra 20 e 120 Mwe.

Da questi sistemi si produce circa la metà della produzione mondiale di energia geotermoelettrica

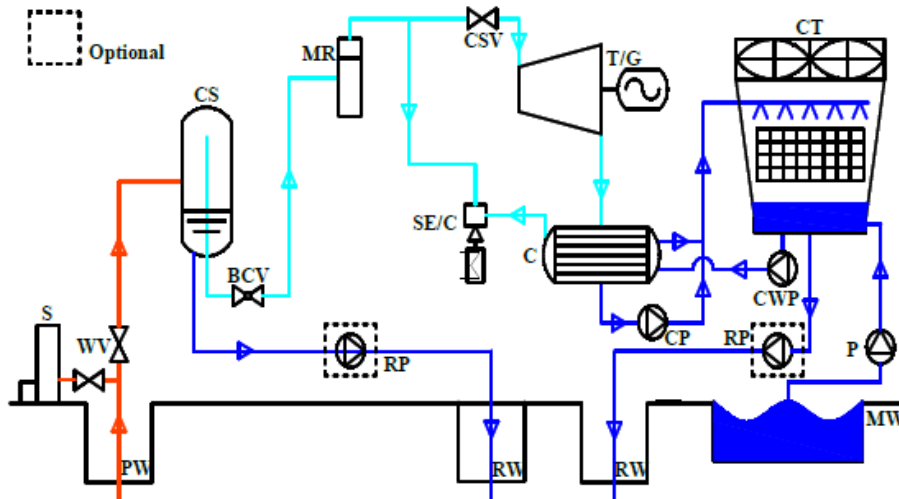
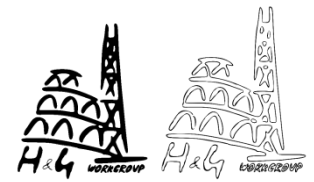
I sistemi a vapore dominante sono i meno comuni nel mondo con un contenuto entalpico prossimo a 2800 kJ/kg.

Al momento questi sistemi sono stati trovati solo in Indonesia, Italia, Giappone e USA.



PW	Production well	WV	Wellhead valve	PR	Particulate remover
MR	Moisture remover	C	condenser	CP	Condensate pump
CSV	Control and stop valve	SE/C	Steam ejector/condenser	T/G	Turbine and generator
CT	Cooling tower	CWP	Cooling water pump	RP	Reinjection pump
RW	Reinjection well	P	Pump	MW	Make-up water

IMPIANTI GEOTERMICI A FLASH

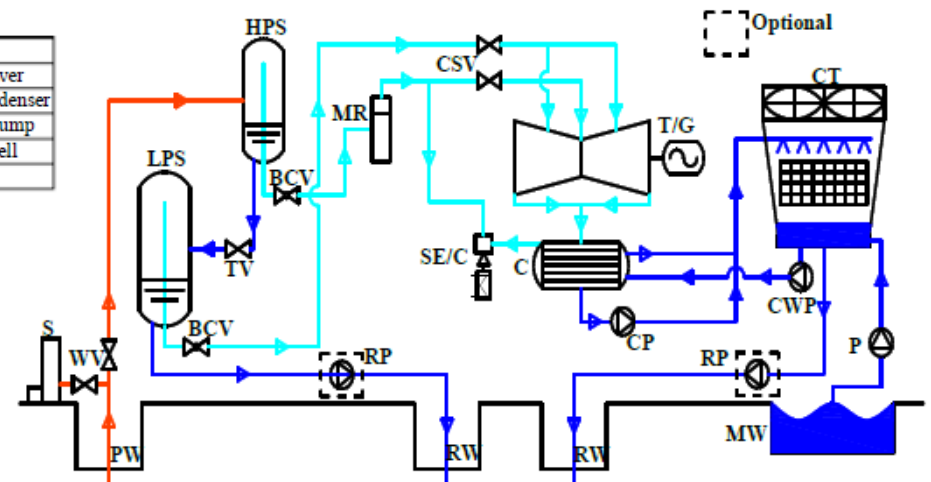


I sistemi ad acqua dominante sono i più diffusi.

In questo caso si utilizza la tecnica del **flashing** per ottenere il vapore a partire dall'acqua con uno o più stadi di separazione.

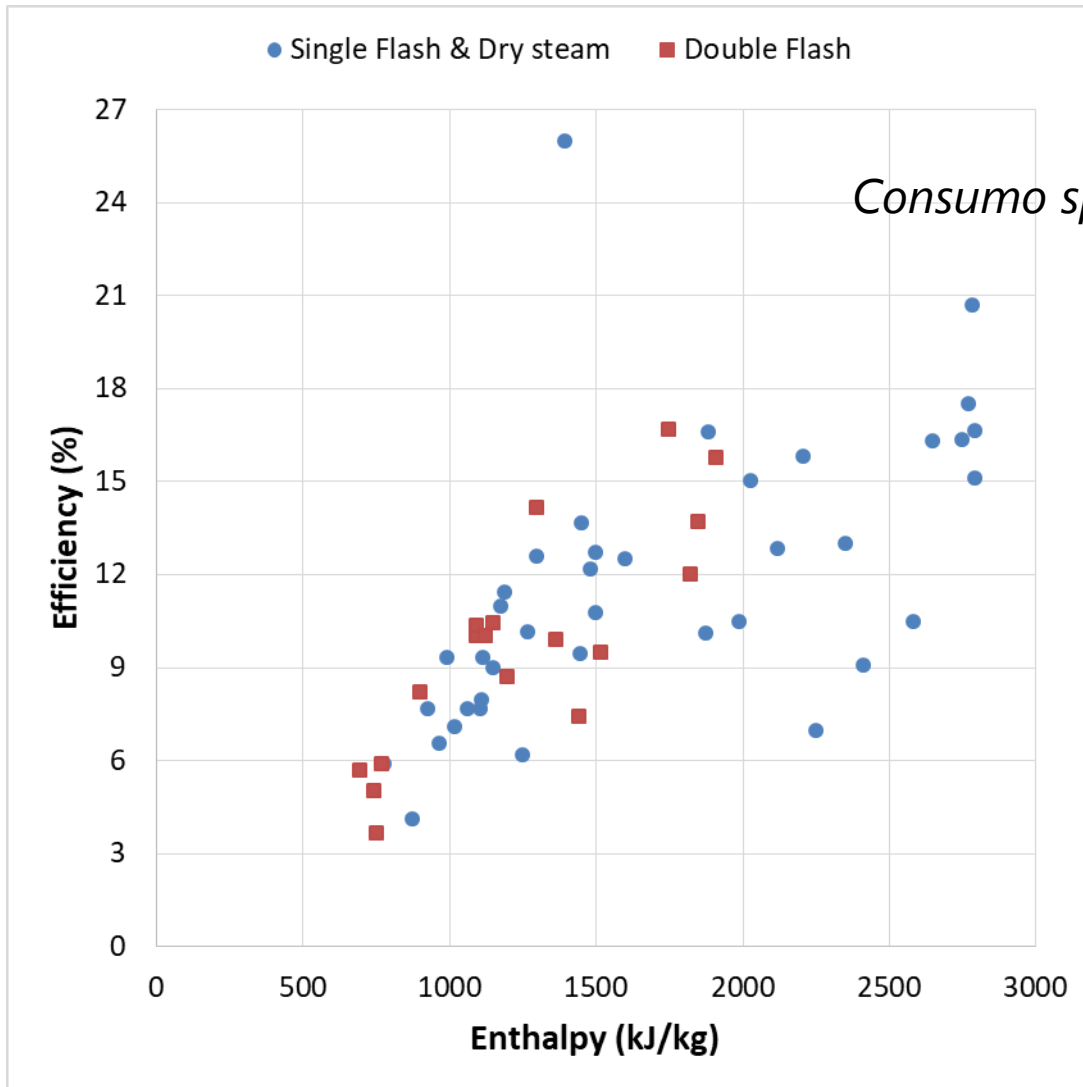
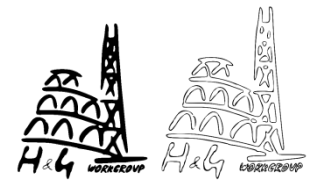
I turbogeneratori disponibili commercialmente sono tra 10 e 55 MWe.

PW	Production well	WV	Wellhead valve	S	Silencer
CS	Cyclone separator	BCV	Ball check valve	MR	Moisture remover
CSV	Control / stop valve	T/G	Turbine / generator	SE/C	Steam ejector/condenser
C	condenser	CT	Cooling tower	CWP	Cooling water pump
CP	Condensate pump	RP	Reinjection pump	RW	Reinjection well
P	Pump	MW	Make-up water		



PW	Production well	WV	Wellhead valve	S	Silencer
HPS	High pressure separator	LPS	Low pressure separator	BCV	Ball check valve
TV	Throttle valve	MR	Moisture remover	C	condenser
CSV	Control / stop valve	T/G	Turbine / generator	SE/C	Steam ejector/condenser
CT	Cooling tower	CWP	Cooling water pump	CP	Condensate pump
RP	Reinjection pump	RW	Reinjection well	P	Pump
MW	Make-up water				

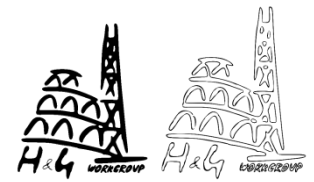
UN OCCHIO ALLE EFFICIENZE



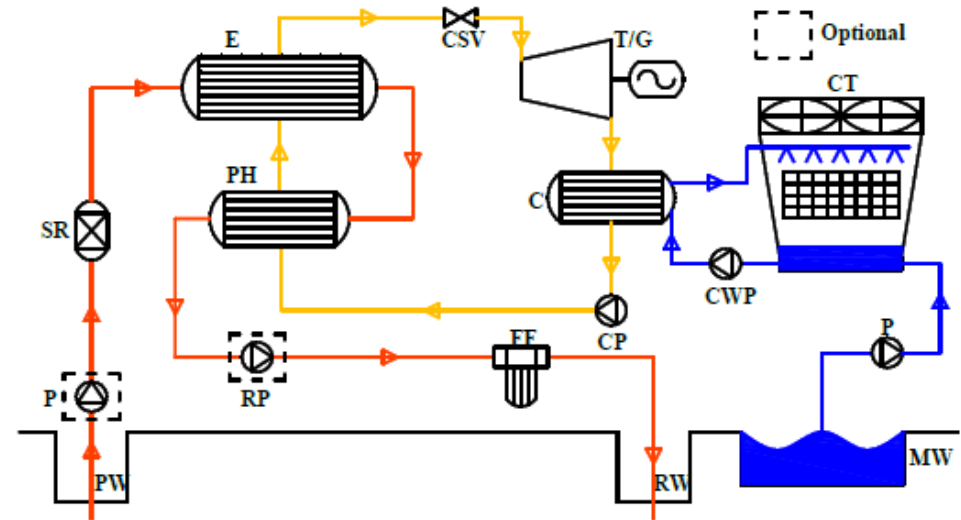
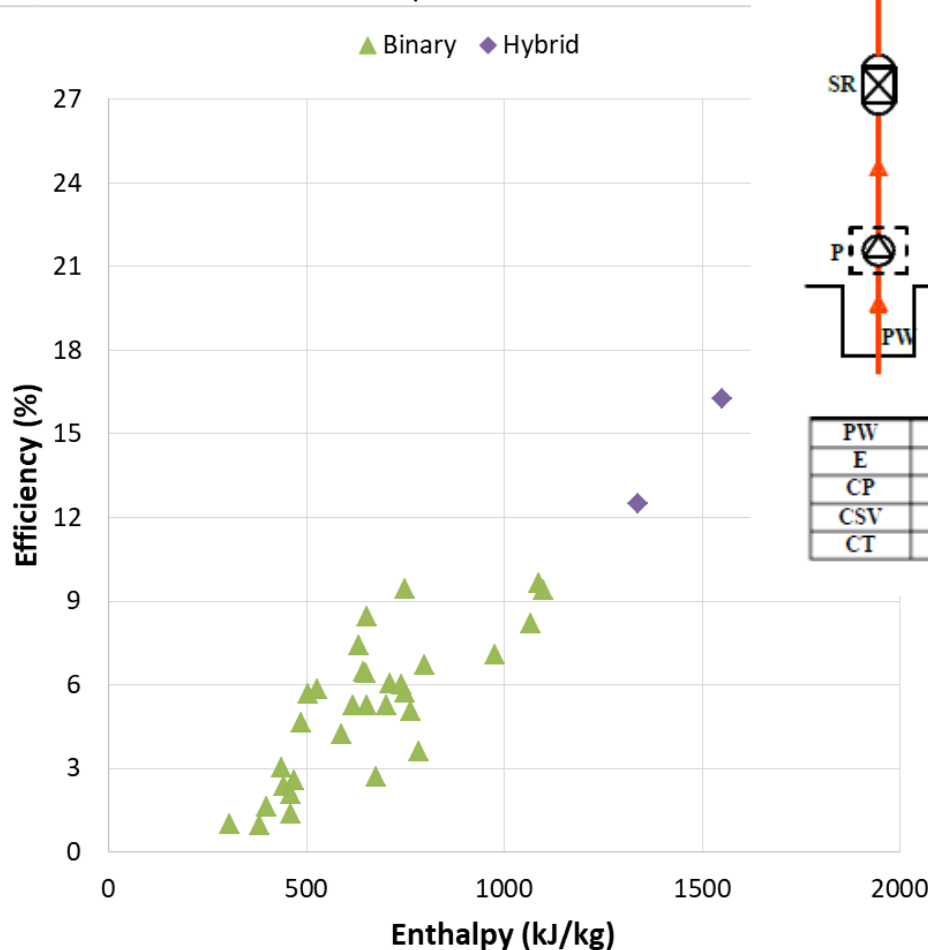
Consumo specifico 6–10 kg di vapore per kWh



IMPIANTI GEOTERMICI A CICLO BINARIO



Hyungsul Moon and Sađiq J. Zarrouk , 2012

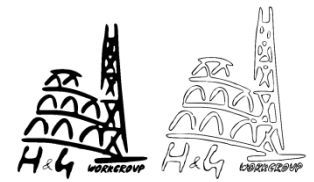


PW	Production well	P	Pump	SR	Sand remover
E	Evaporator	PH	Pre-heater	C	Condenser
CP	Condensate pump	RP	Reinjection pump	FF	Final filter
CSV	Control / stop valve	T/G	Turbine / generator	CWP	Cooling water pump
CT	Cooling tower	RW	Reinjection well	MW	Make-up water

Dimensione tipica d'impianto da 1 a 3 MWe.

La tecnologia a ciclo binario risulta essere la più cost-effective e affidabile per la conversione di grandi quantità di risorse geotermiche a bassa temperatura.

HIGHLIGHTS



Stato dello sviluppo tecnologico

La potenza installata a fine 2016 risulta essere di 12,7 GW con una produzione annua di circa 80,9 TWh nel 2015

La generazione di potenza elettrica nel settore Geotermico è principalmente associata a tecnologie che utilizzano risorse geotermiche convenzionali

Gli impianti sono a vapore secco, impianti a flash (singolo doppio o triplo), impianti binari

Costi

I costi nel settore geotermico sono fortemente sito-dipendenti.

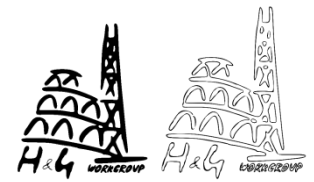
Tipicamente il costo di un impianto è compreso tra 1870 e 5050 USD/kW (IRENA, 2017)

Il costo unitario livellato del chilowatt elettrico è compreso tra 0,04 e 0,14 USD, avendo assunto i costi di manutenzioni pari a 110 USD per kW per anno (IRENA, 2017)

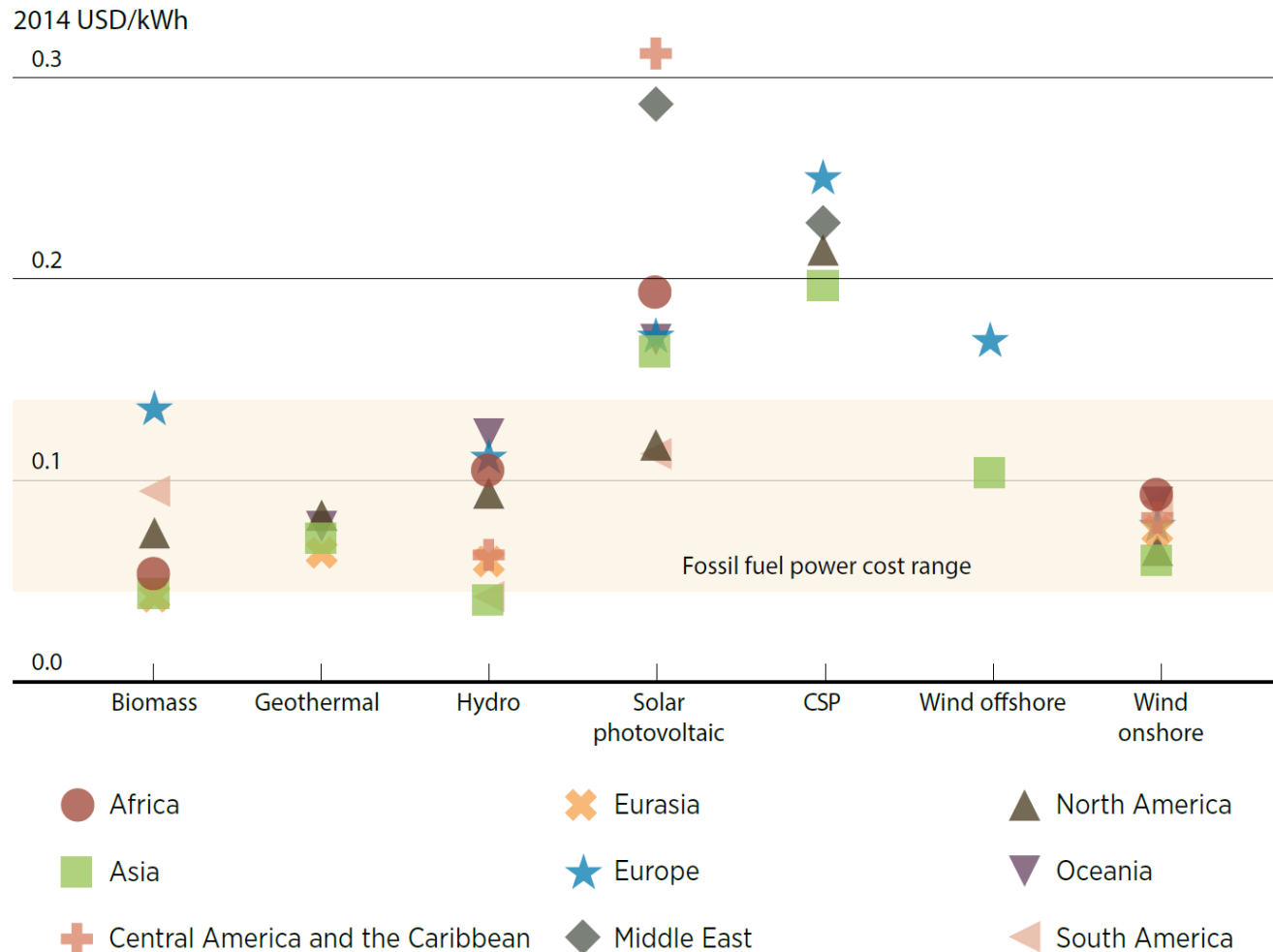
I costi del geotermico sono attesi in diminuzione continua verso il 2050 (Sigfusson & Uihlein, 2015)



CONFRONTO DEI COSTI TRA RINNOVABILI E FOSSILI



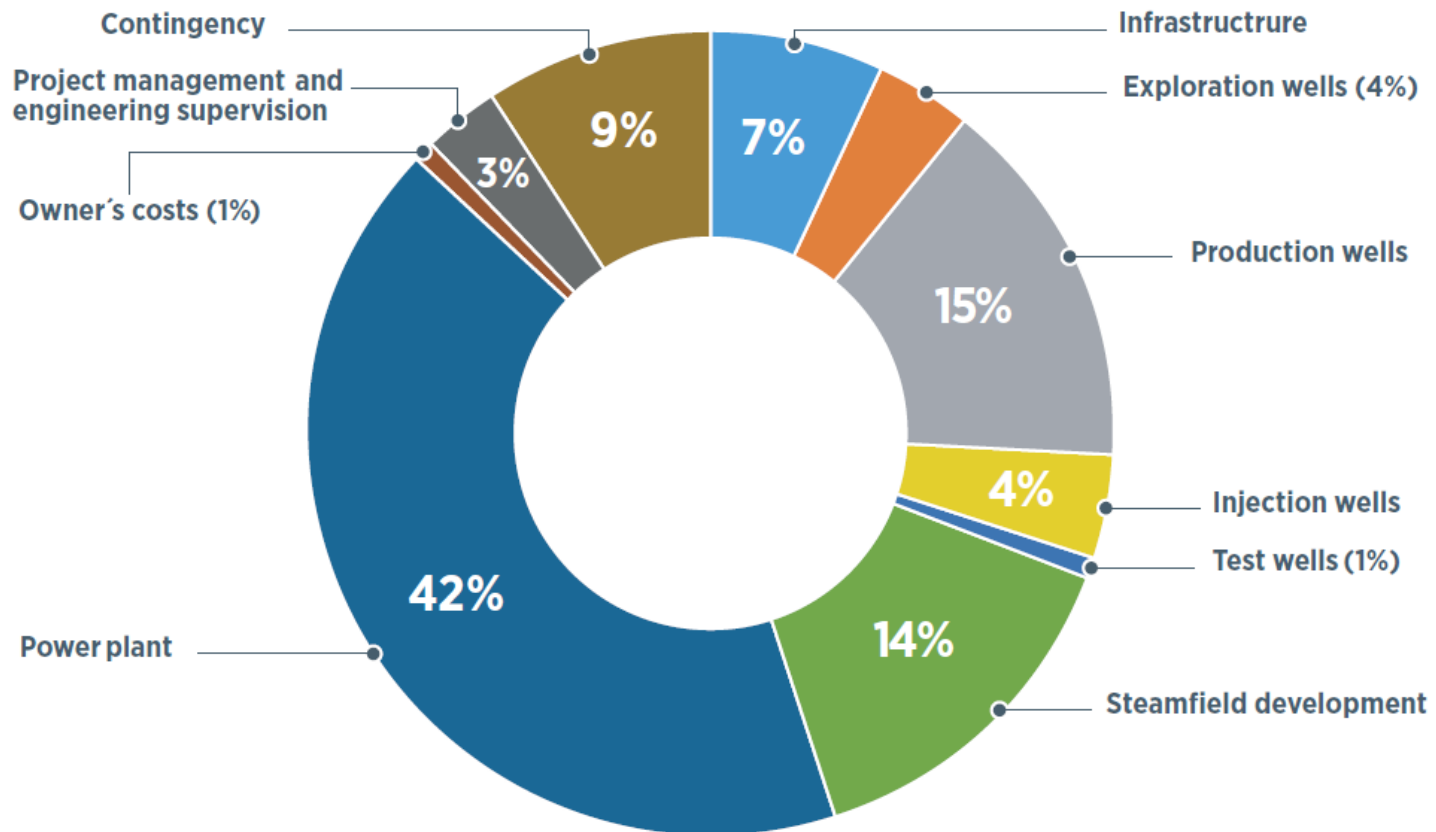
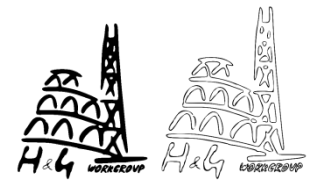
E.S. 2: WEIGHTED AVERAGE COST OF ELECTRICITY BY REGION FOR UTILITY-SCALE RENEWABLE TECHNOLOGIES, COMPARED WITH FOSSIL FUEL POWER GENERATION COSTS, 2013/2014



Source: IRENA Renewable Cost Database.

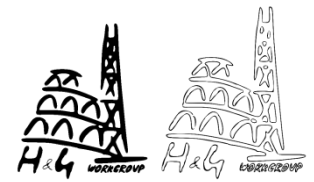
Note: Real weighted average cost of capital of 7.5% in OECD countries and China; 10% in the rest of the world.

BREAKDOWN DEI COSTI PER UN IMPIANTO DA 110MW IN INDONESIA



Source: IRENA, 2014

HIGHLIGHTS



Stato dello sviluppo tecnologico

La potenza installata a fine 2016 risulta essere di 12,7 GW con una produzione annua di circa 80,9 TWh nel 2015

La generazione di potenza elettrica nel settore Geotermico è principalmente associata a tecnologie che utilizzano risorse geotermiche convenzionali

Gli impianti sono a vapore secco, impianti a flash (singolo doppio o triplo), impianti binari

Costi

I costi nel settore geotermico sono fortemente sito-dipendenti.

Tipicamente il costo di un impianto è compreso tra 1870 e 5050 USD/kW (IRENA, 2017)

Il costo unitario livellato del chilowatt elettrico è compreso tra 0,04 e 0,14 USD, avendo assunto i costi di manutenzioni pari a 110 USD per kW per anno (IRENA, 2017)

I costi del geotermico sono attesi in diminuzione continua verso il 2050 (Sigfusson & Uihlein, 2015)

Prospettive e barriere

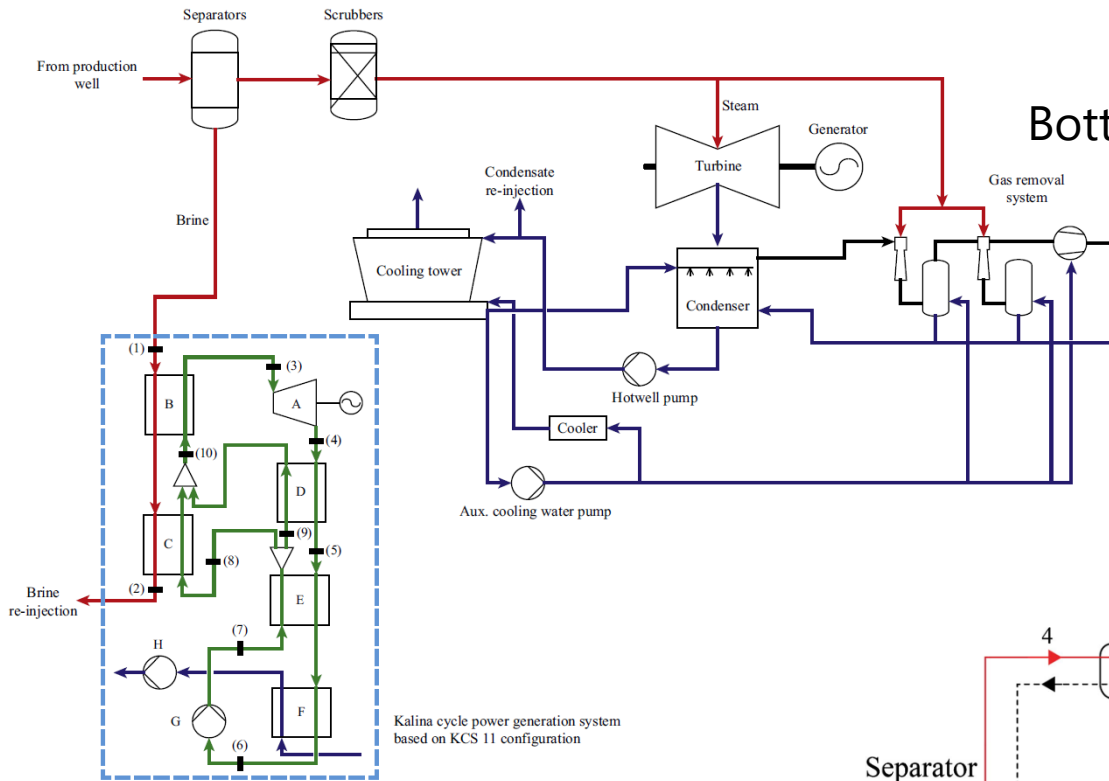
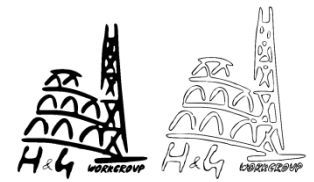
Come crescere?

- Enhanced geothermal systems
- Low temperature bottoming cycles
- Hybrid plants
- Co-generation
- Co-produced resources
- Supercritical geothermal systems

Quali tecnologie? Vecchie e/o nuove?

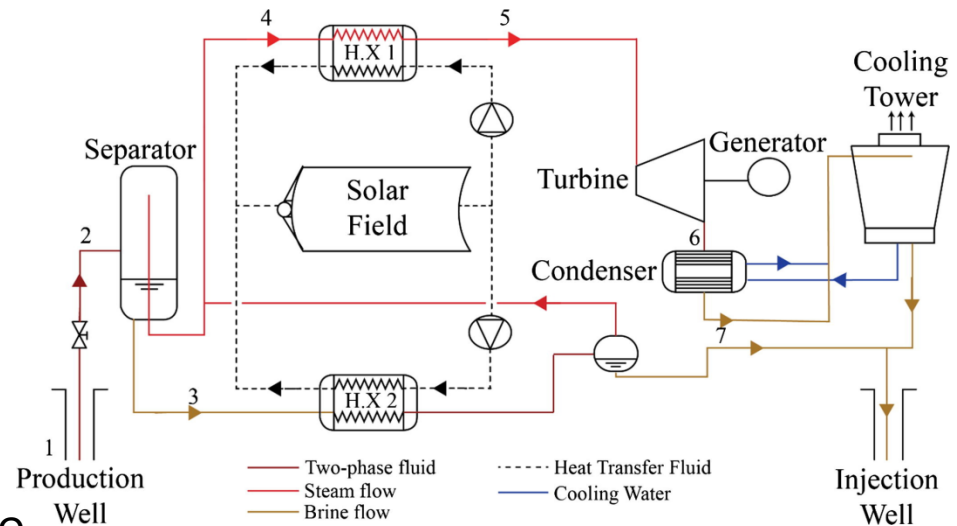


LOW TEMPERATURE BOTTOMING CYCLES

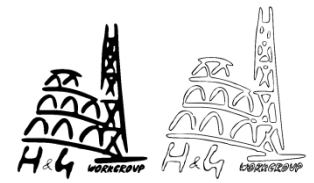


Bottoming con binario a ciclo Kalina

Bottoming con solare termico

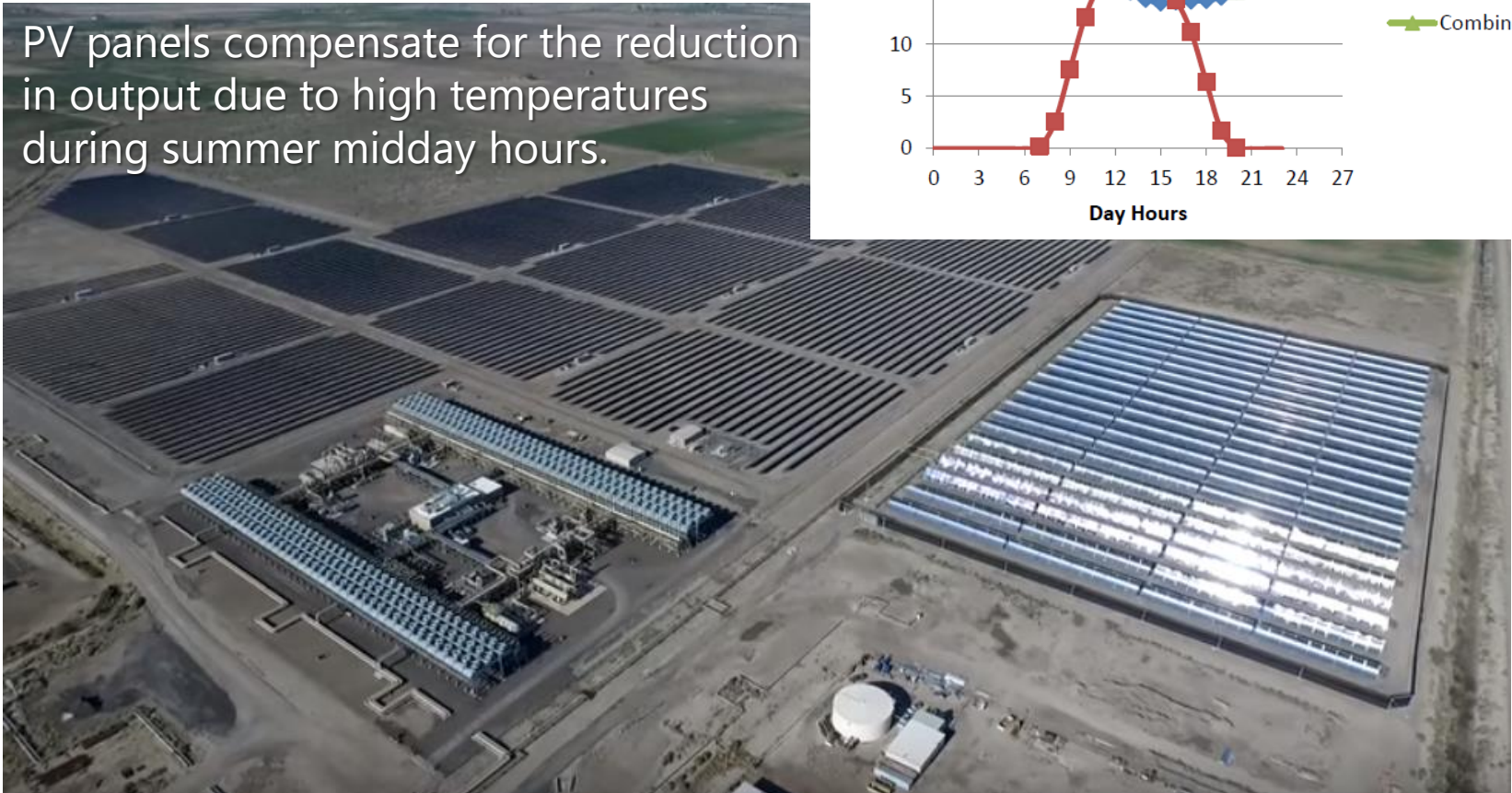
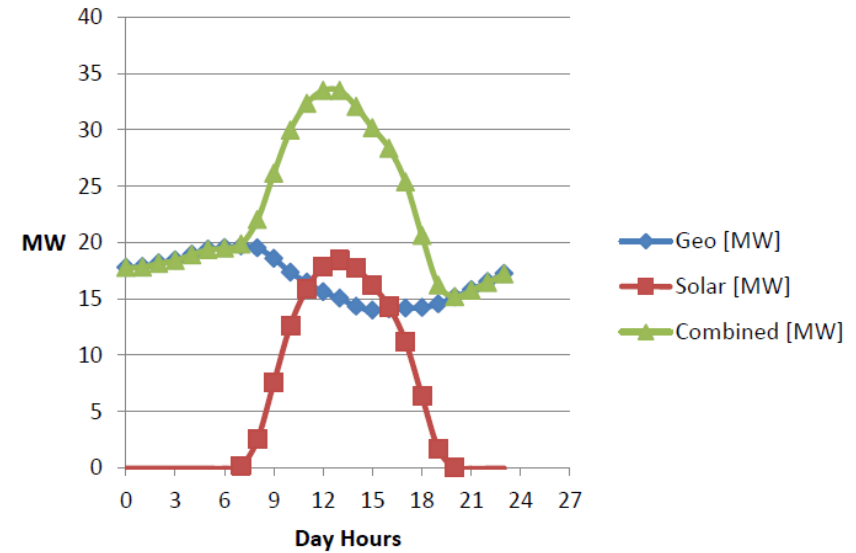


IMPIANTO IBRIDO DI STILLWATER

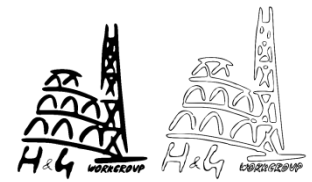


Stillwater plant has a total capacity of 61 MW, including **33 MW** of the original baseload **geothermal**, 26 MW of solar PV and 2 MW of solar thermal power generation

PV panels compensate for the reduction in output due to high temperatures during summer midday hours.



FLUIDI SUPERCRITICI ...



New Discoveries: 30 MW Well (among the largest Geothermal Wells in the World)

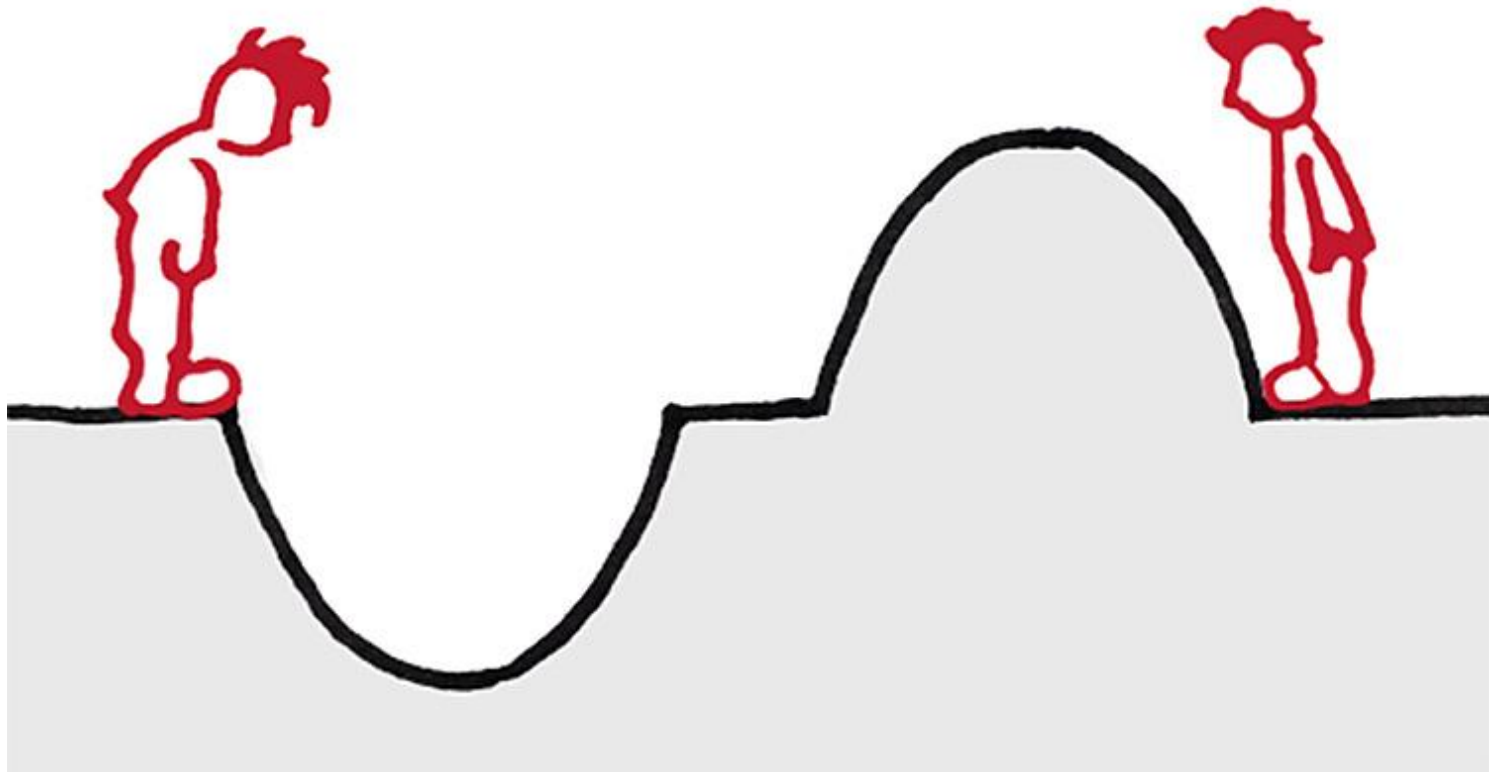
Direct Cash Savings by
Striking one 30MW Well

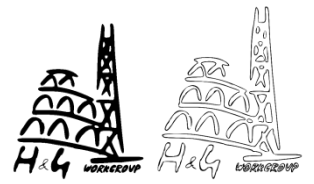
USD 35 Million!

OW-921A
DRILLED DEPTH: 3000M
CASING SHOE : 1084M
MAXIMUM TEMP : 330°C
OUTPUT PARAMETER (NIGHTLID)
TOTAL MASS OUTPUT : 414 T/hr
BRINE OUTPUT : 207 T/hr
STEAM OUTPUT : 176 T/hr
POWER OUTPUT : > 30MW_e



Quali barriere e ostacoli?





That's all Folks!