



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI DI TRIESTE



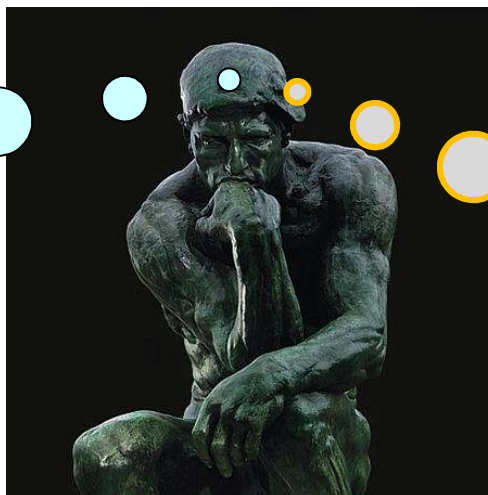
# Il "Calore della Terra" e le sue Prospettive di Utilizzo

**Bruno DELLA VEDOVA**

Fondazione Internazionale Trieste, Strada costiera 11, Trieste

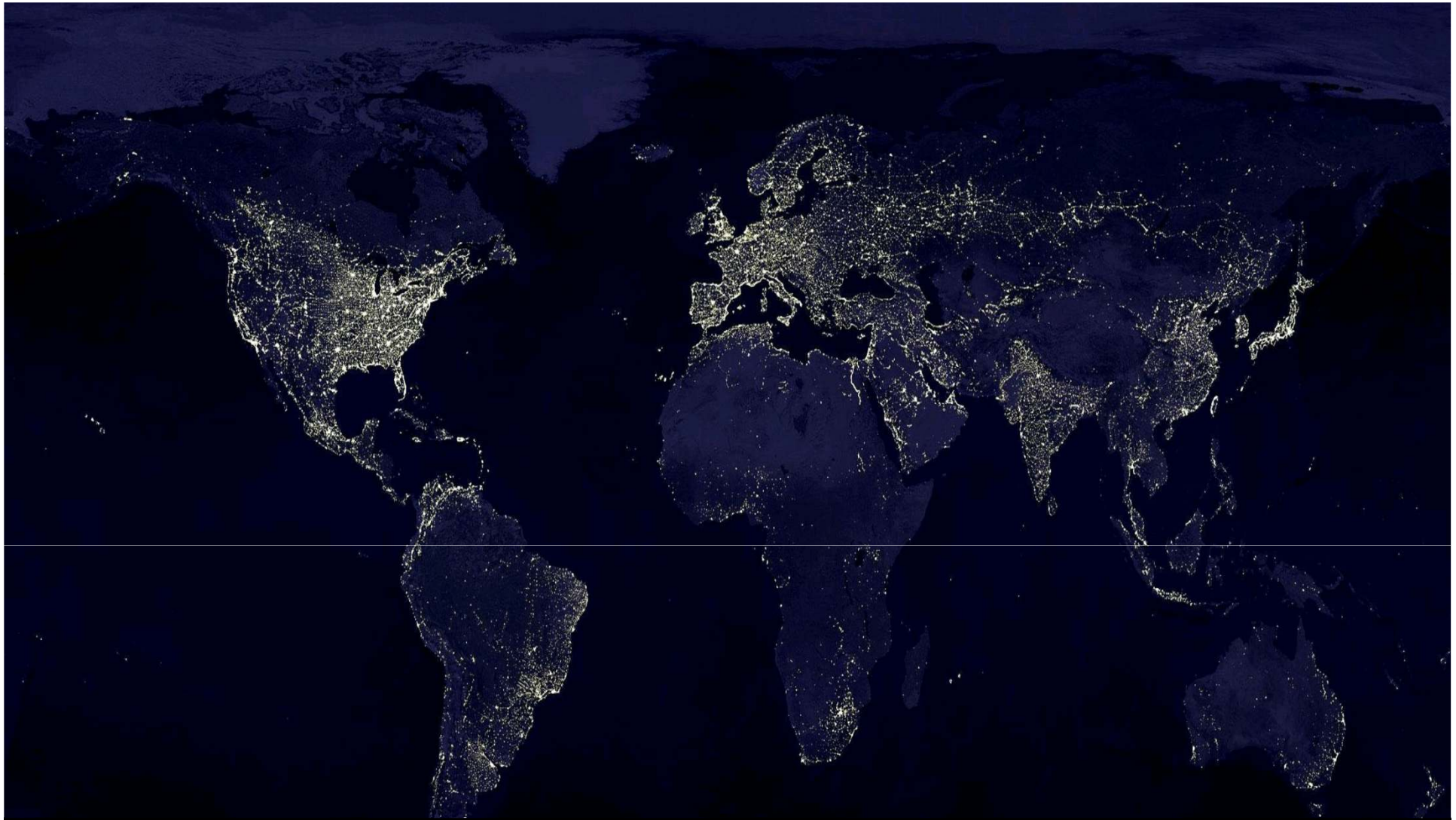
[bruno.dellavedova@fondazioneinternazionale.org](mailto:bruno.dellavedova@fondazioneinternazionale.org)

*Perché Geotermia,  
pur avendo enormi  
potenzialità,  
cresce solo 3-4%  
all'anno?*



*Risorsa?  
Tecnologia?  
Costi?  
Impatti?  
Barriere non-  
tecniche?*

*La Risorsa Geotermica: i limiti ambientali, tecnici e normativi per un utilizzo consapevole  
IV Giornata di Formazione, Fondazione MC Rovereto, 02 Dic. 2016*



**La domanda di energia cresce**

**2010 → 15 TW; 2030 → 23 TW; 2058 → 32 TW**

Earth at Night

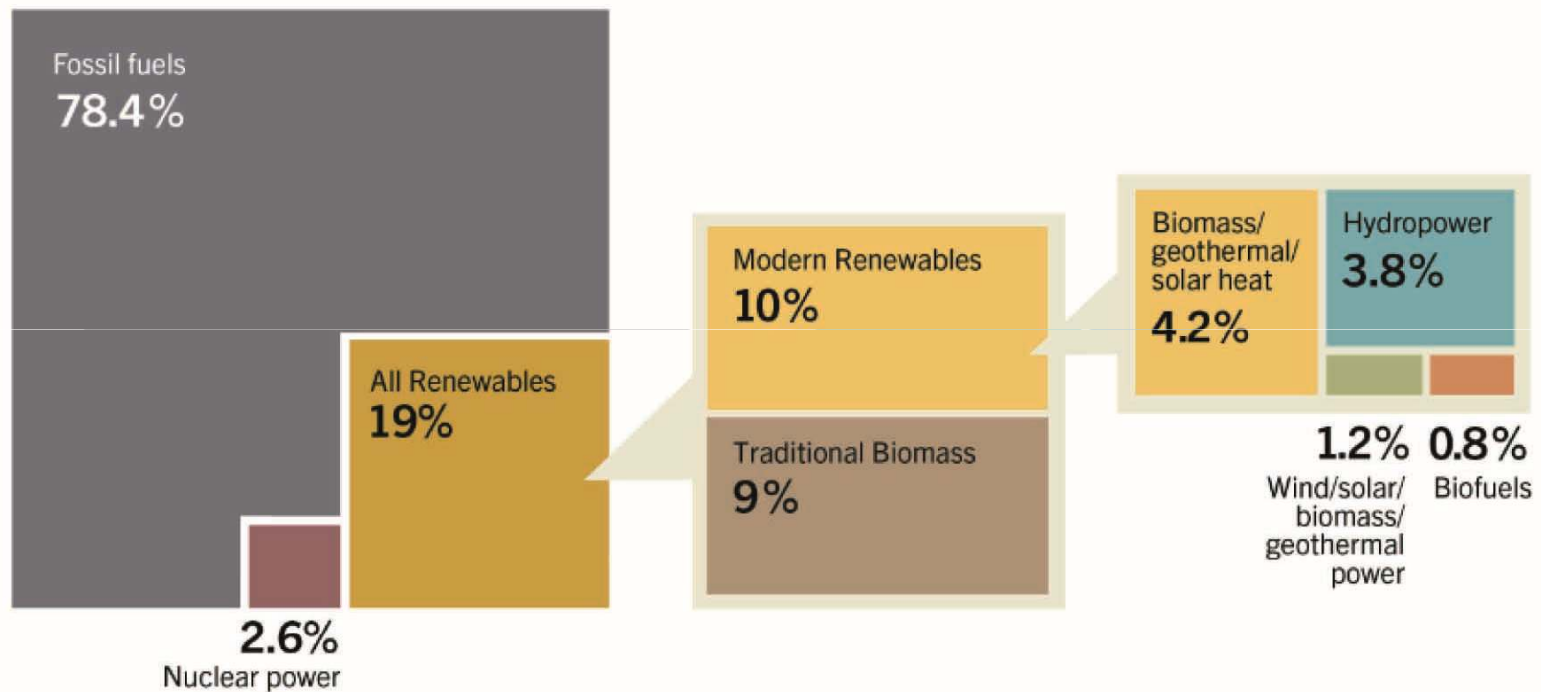
**Transizione è necessaria → mix energetico carbon free**

## ***ARGOMENTI***

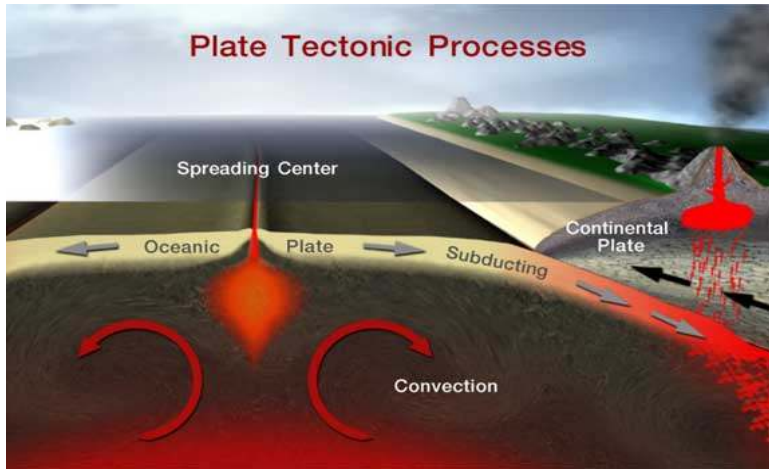
- **GEOTERMIA: STATO E RISORSE**
- **PERCHE' NON DECOLLA ANCORA?**
- **INVESTIMENTI, PROSPETTIVE E SVILUPPI**

# Alternative resources

Estimated Renewable Energy Share of Global Final Energy Consumption, 2012

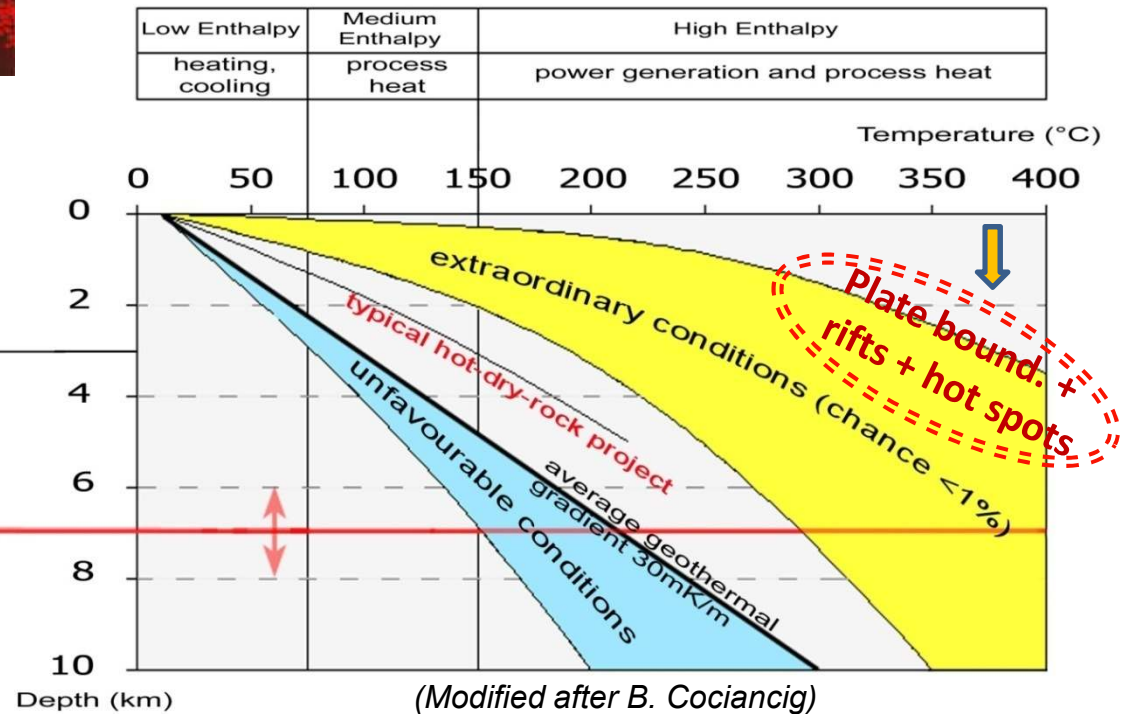


# Risorse e Riserve


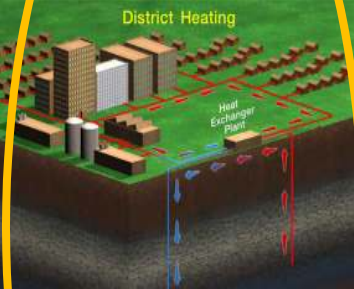



- Potenziale enorme a terra e a mare
- Grandi Riserve in aree geotermiche attive
- Necessita migliore Atlante delle risorse

<b>Geothermal Reserves</b>	technically simple, economic
	technically challenging, economic
<b>Geothermal Resources</b>	presently technically inaccessible, uneconomic



# RISORSE E UTILIZZI

Temperatura sorgente	$T > 150 \text{ }^\circ\text{C}$	$T = 50 \div 100 \text{ }^\circ\text{C}$	$T < 40 \text{ }^\circ\text{C}$
Tecnologia	 <p>Centrali geo-termo-elettriche</p>	 <p>Scambiatori di calore</p>	 <p>Pompe di calore</p>
Usi finali	Energia elettrica	Riscaldamento, acqua calda sanitaria	Riscaldamento, raffrescamento, acqua calda sanitaria

- Impianti più piccoli
- Prossimità impianto-utenza
- Minori rischi, costi e tempi

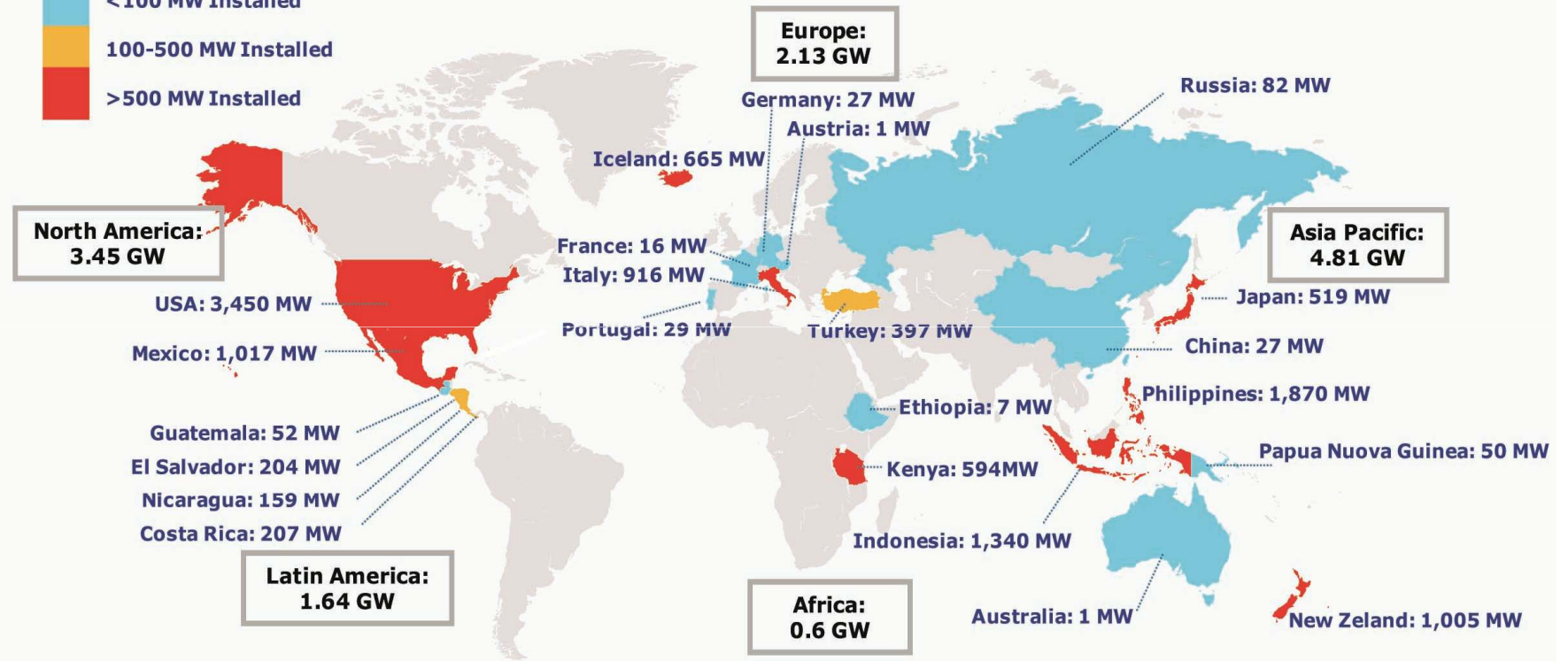


UNITED NATIONS  
UNIVERSITY

UNU-GTP

# THE WORLD GEOTHERMAL ELECTRICITY STATUS IN TOTAL 12.6 GW (Bertani, 2015)

2015 Geothermal Installed Capacity (MW)



Georgsson, 2016 ARGEO-6 Addis Abeba

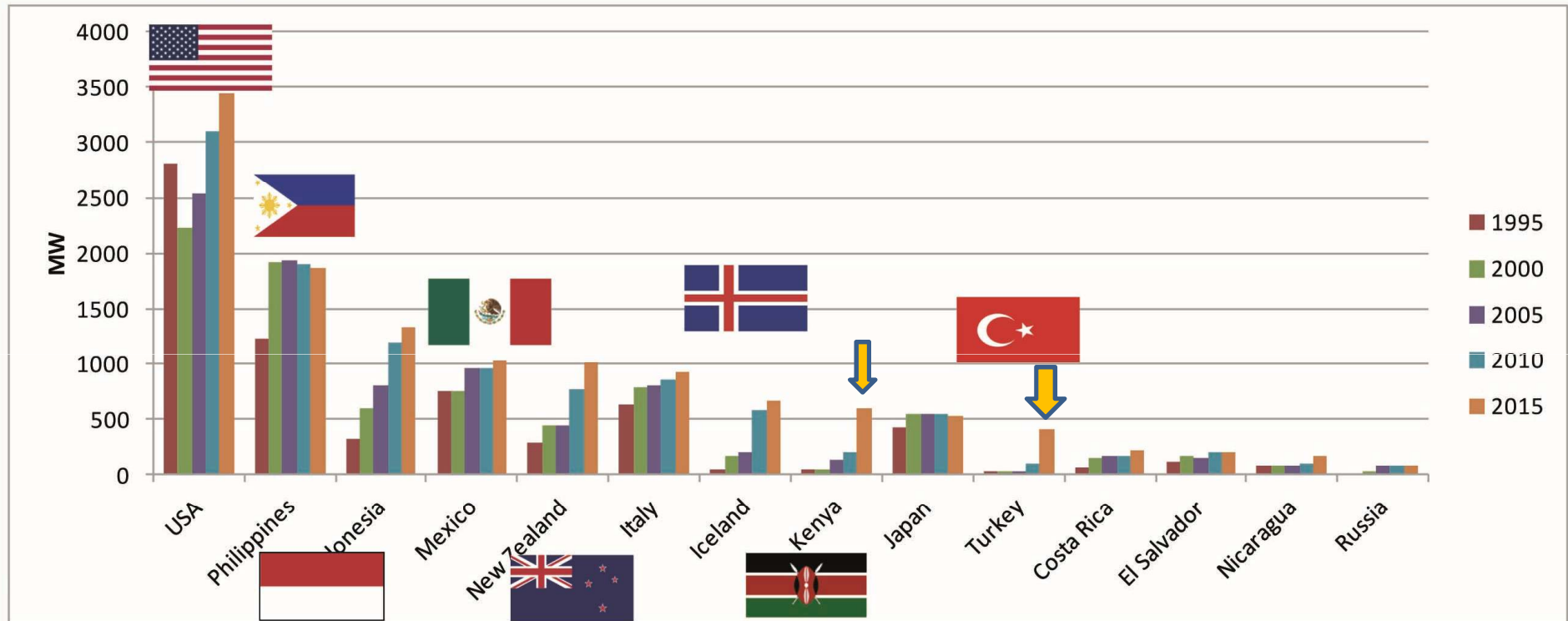


UNITED NATIONS  
UNIVERSITY

UNU-GTP

Geothermal Training Programme

# GEOHERMAL ELECTRICITY COUNTRY TRENDS 1995-2015 (Bertani, 2015)



Georgsson, 2016 ARGEO-6 Addis Abeba



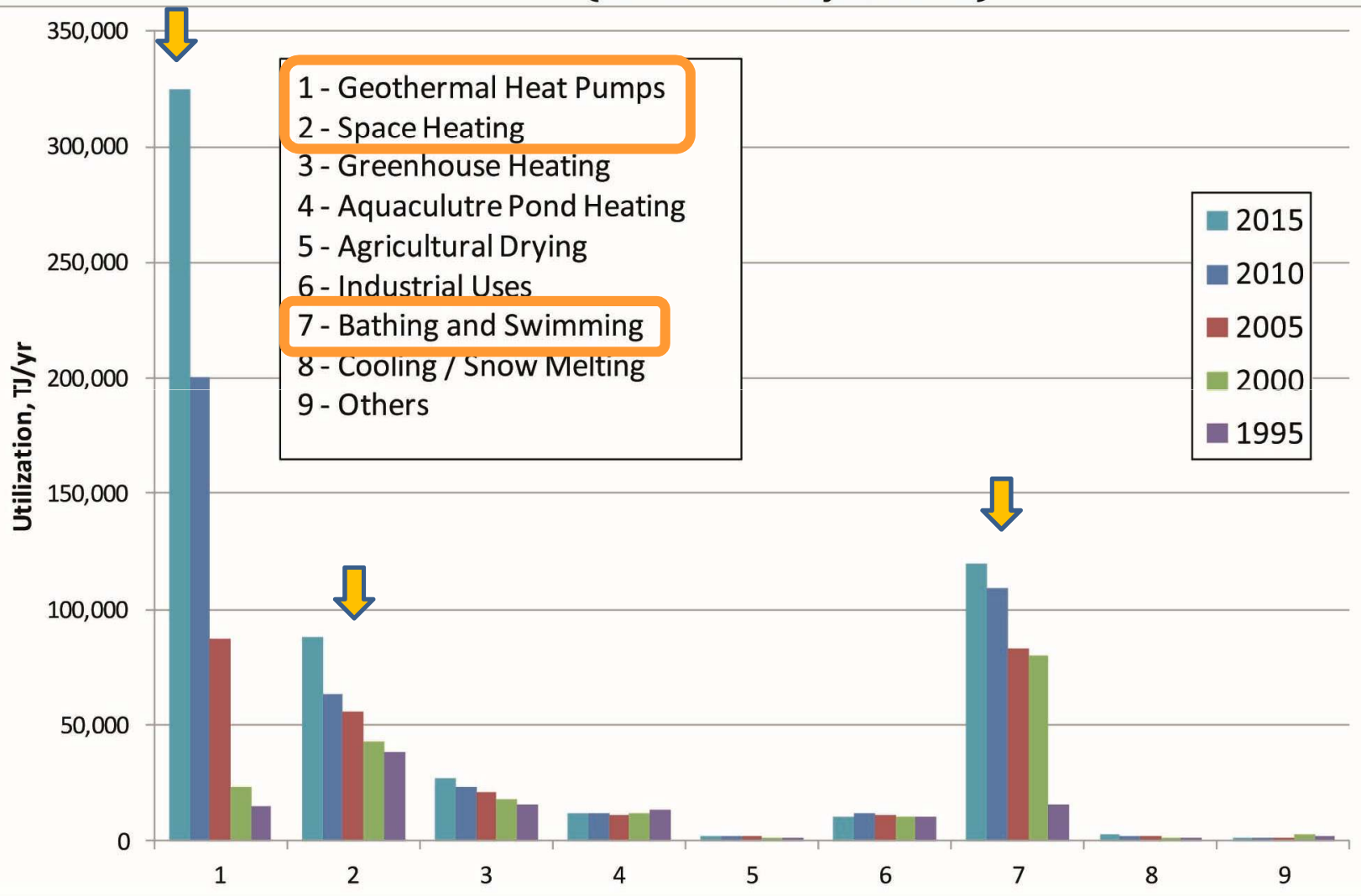


UNITED NATIONS  
UNIVERSITY

UNU  
Geothermal

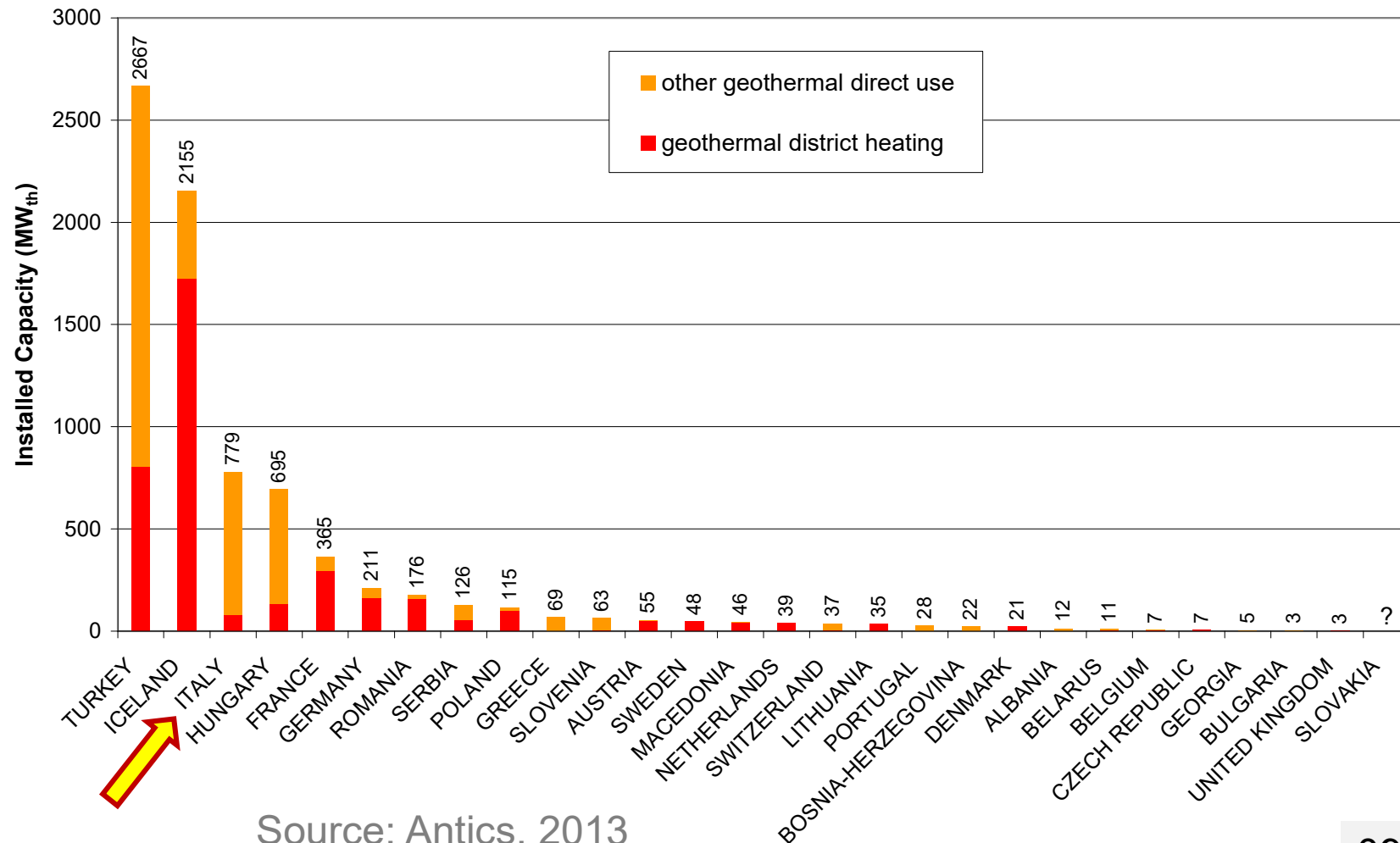
# WORLDWIDE DIRECT-USE (TJ/YR)

(Lund and Boyd, 2015)



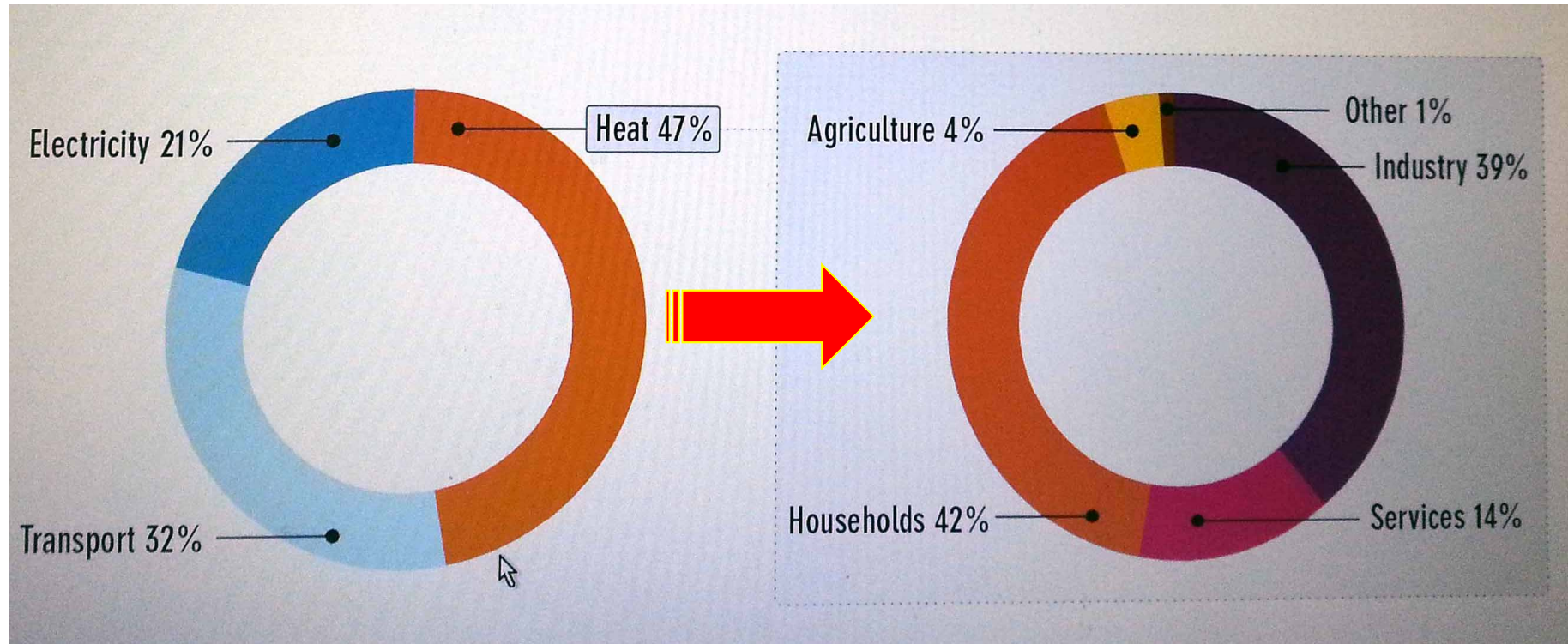
# USI DIRETTI CALORE GEOTERMICO IN EUROPA

CAPACITA' INSTALLATA 2012 e QUOTA PER TELERISCALDAMENTO  
(EGC 2013 Country updated Reports)



Source: Antics, 2013

# DOMANDA DI CALORE NELLA UE A 27

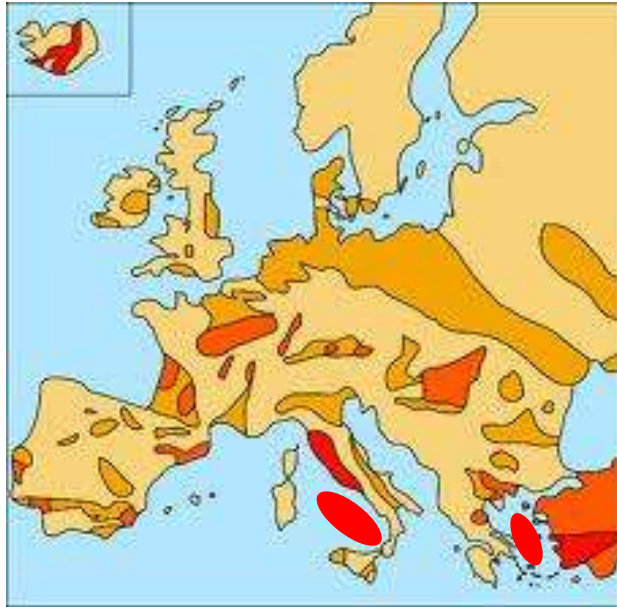


Final Energy and Heat Use by EU 27 (RHC-ETP, 2011)

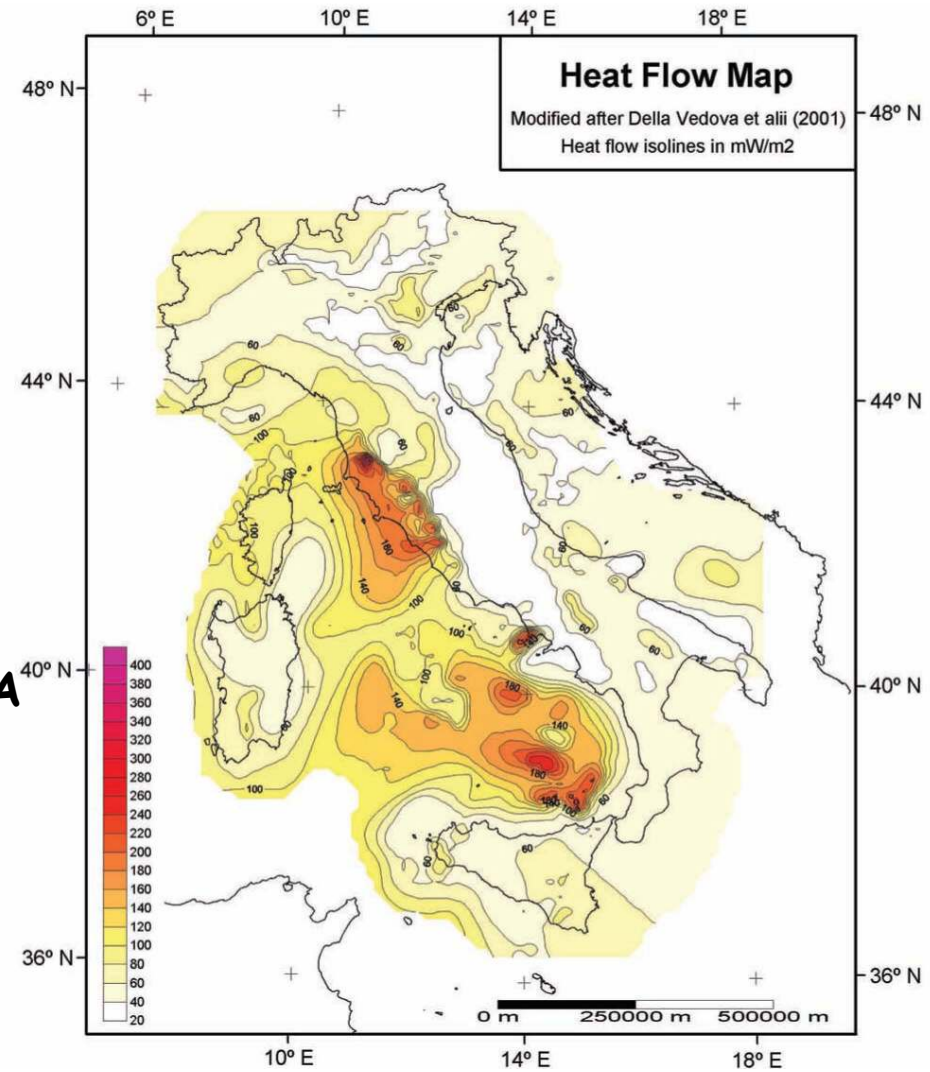
Direttiva Europea 2009/28 CE: Fonti Energetiche Rinnovabili  
Direttiva Europea 2010/31 CE: Prestazione energetica in edilizia  
Direttiva Europea 2012/27 CE: Efficienza Energetica → DL 102/14

**Geotermia è ideale per caldo/freddo: pulita, costante, disponibile ovunque!**

# GEOTERMIA = ENERGIA PRIMARIA



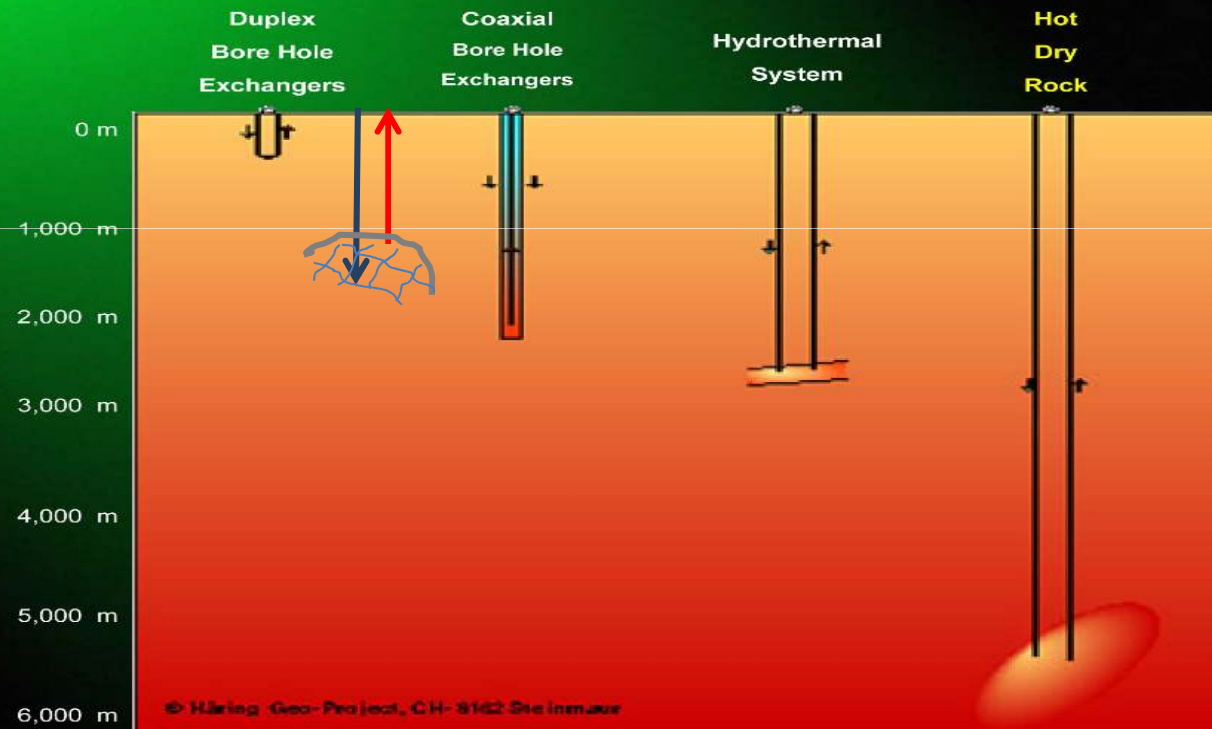
- RINNOVABILE, SICURA E PULITA
- NON RICHIEDE COMBUSTIONE
- NON GENERA CO<sub>2</sub>
- RIDUCE IMPORTAZIONI
- **inoltre è CONTINUA E COSTANTE**



# Sistemi geotermici superficiali e profondi

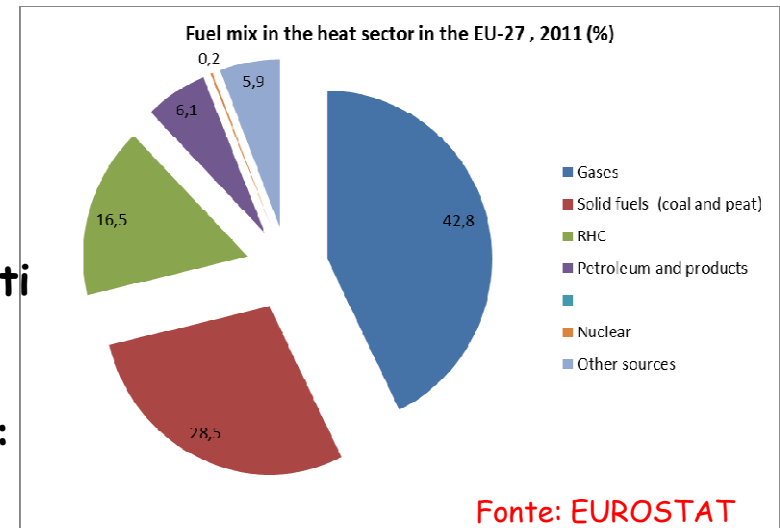
- Sicurezza e costanza
- Sostenibilità
- Economia di gestione

## GEOHERMAL SYSTEMS

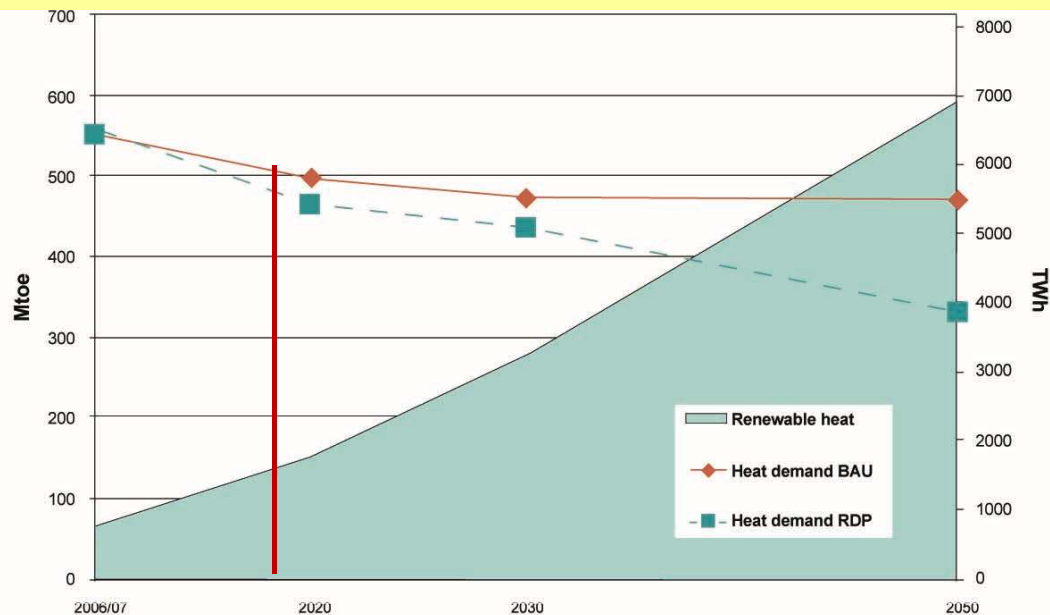


# TELERISCALDAMENTO (DH) IN EUROPA

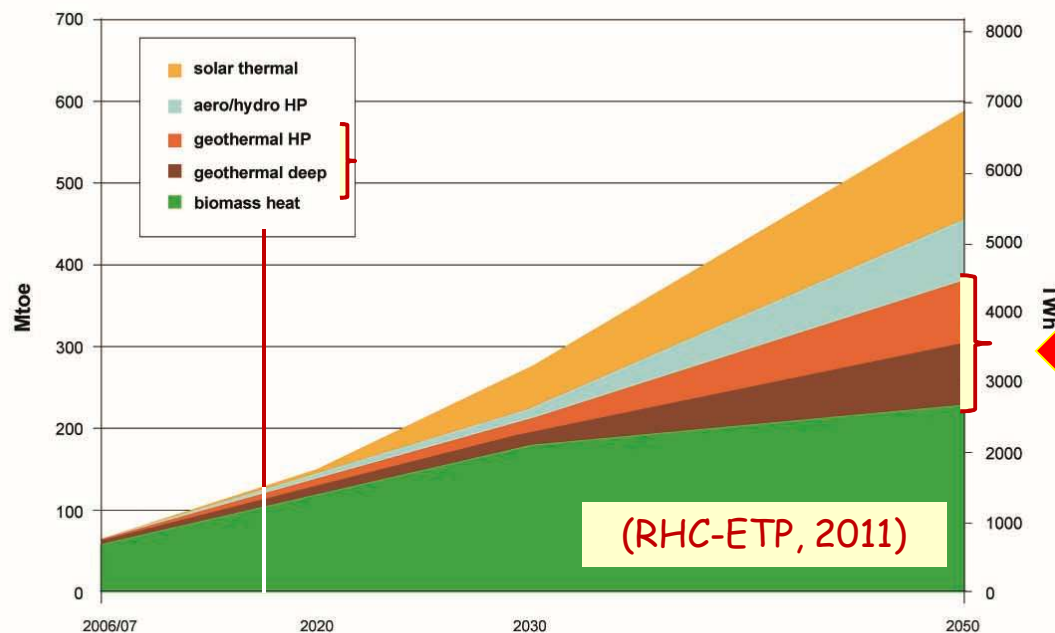
- > 5000 sistemi DH in EU (Fonte H&P)
- DE e PL sono i maggiori mercati in termini assoluti (12-15% del mercato del calore in EU)
- Mercato dominato da fossili e calore di recupero:
  - DE: cogenerazione (80%)
  - FR: gas naturale (43%), calore di recupero (24%)
  - IT: gas naturale 76%
  - PL: carbone 76%



# DOMANDA E PRODUZIONE CALORE DA FER AL 2050



BAU: Business as Usual  
RDP: Research & Develop. Policy



Geotermia 25 %  
(Metà con PdC e  
metà DH)

(RHC-ETP, 2011)

Figure 9 - Heating potential by renewable energy source in EU

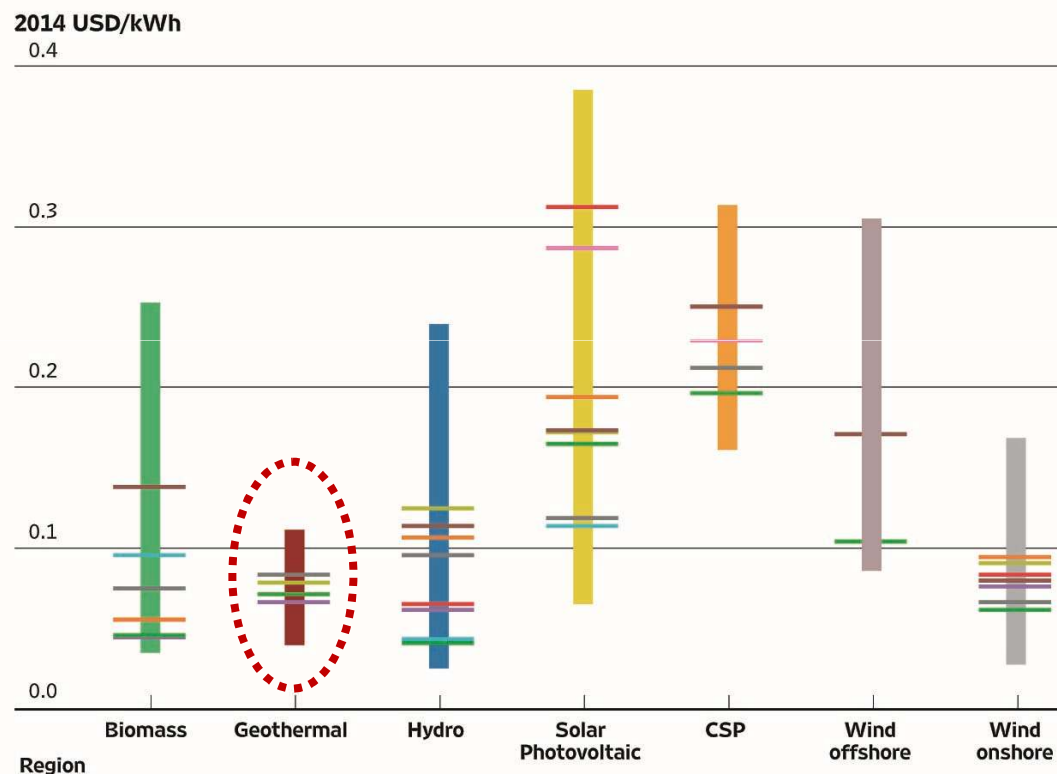
## **ARGOMENTI**

- **GEOTERMIA: STATO E RISORSE**
- **PERCHE' NON DECOLLA ANCORA?**
- **INVESTIMENTI, PROSPETTIVE E SVILUPPI**



# RANGE DI VARIAZIONE DEI COSTI PER PRODUZIONE CORRENTE DA FER A SCALA REGIONALE (2013-2014)

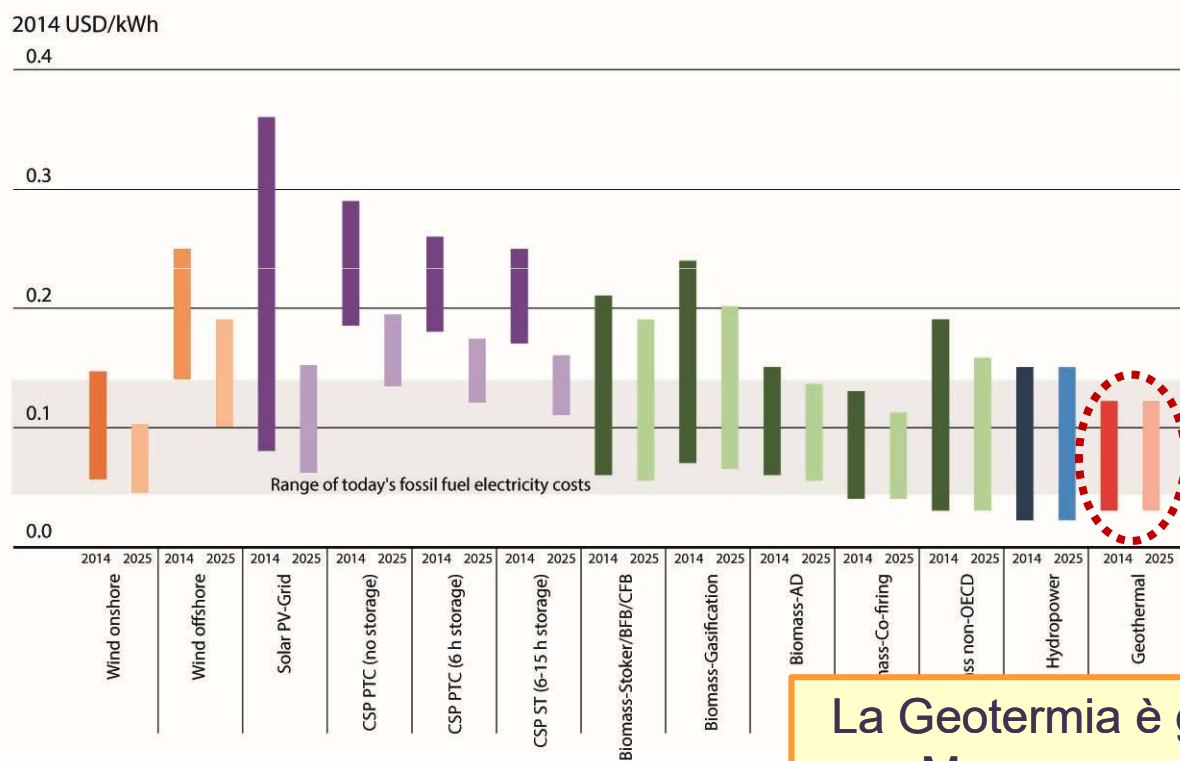
IRENA Report 2015



Geotermia è competitiva come Hydro e Wind e ha maggiori potenzialità, ma non decolla....

# RANGE DI VARIAZIONE DEI COSTI DELLA CORRENTE PER DIVERSE TECNOLOGIE FER (2014 E PROIEZIONE 2025)

IRENA Report 2015

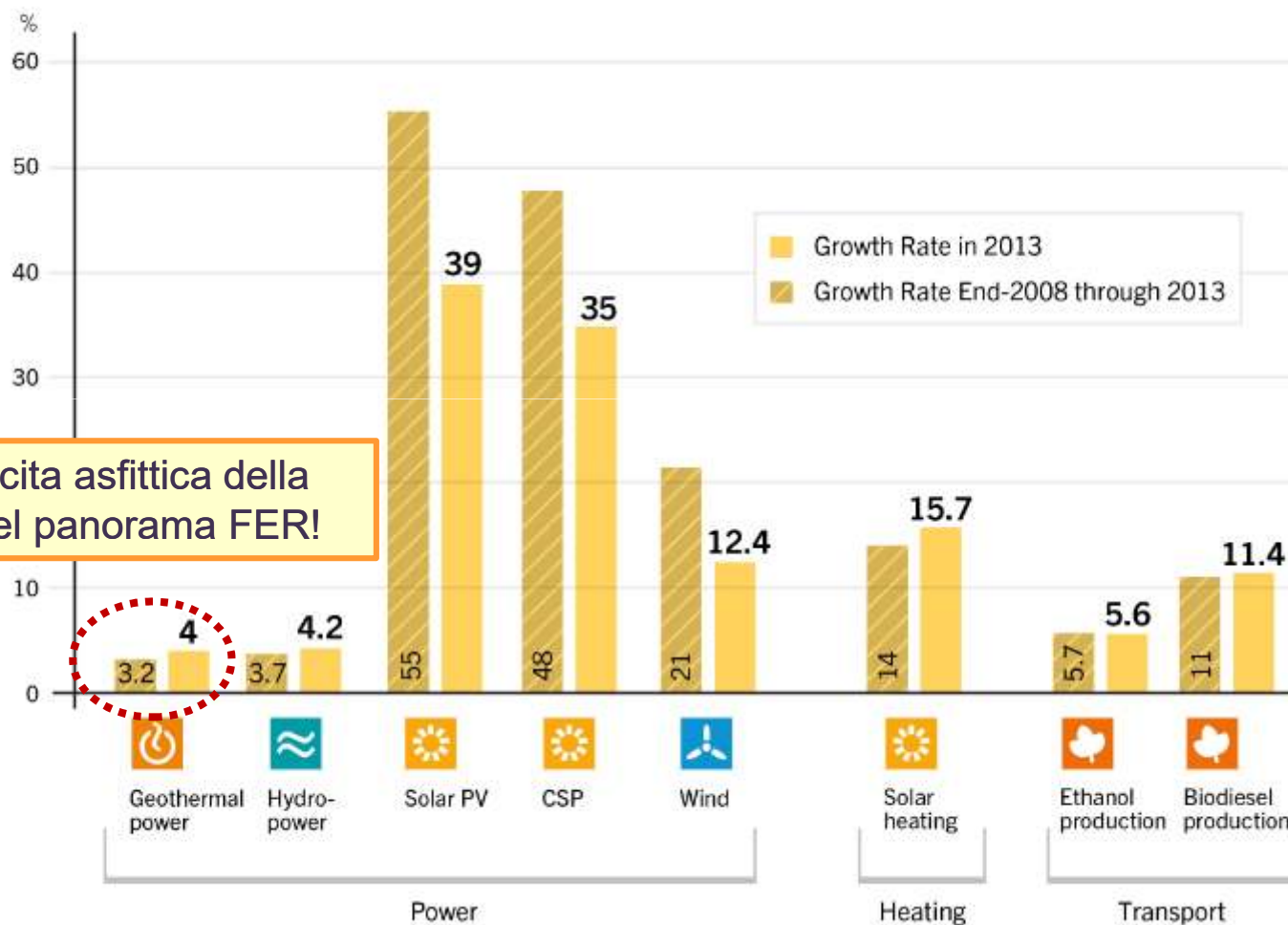


**La Geotermia è già competitiva!  
Ma ancora non decolla!**

Barra scura 2014, barra chiara 2025

# TASSI ANNUI MEDI DI CRESCITA DELLA CAPACITÀ ENERGETICA DELLE FER

(confronto fra 2008-2013 e il solo 2013)



Ecco la crescita asfittica della Geotermia nel panorama FER!

# Perché allora la geotermia profonda non decolla??

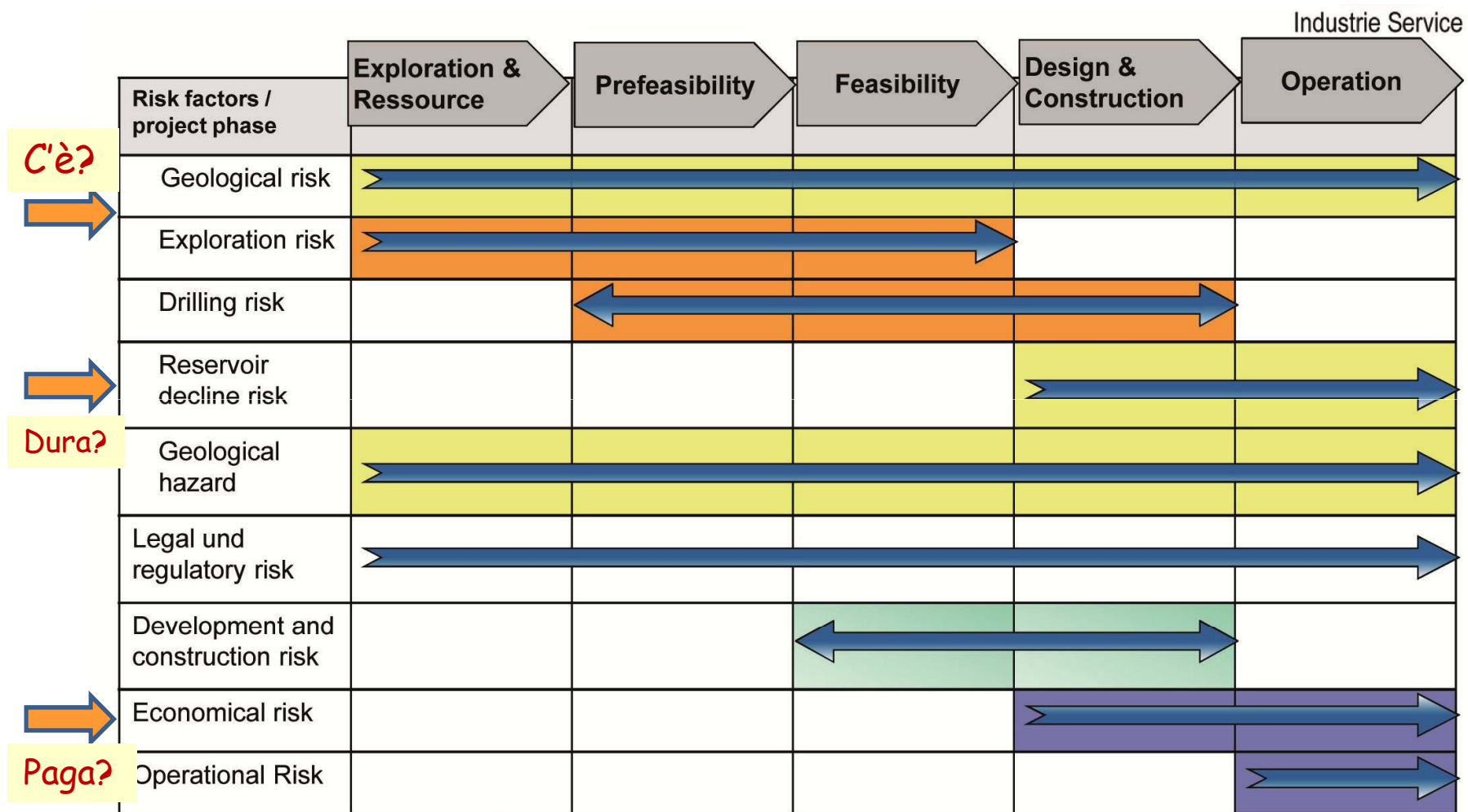
- Rischio minerario: temp., pressione, permeabilità, aggressività dei fluidi e durata
- Elevati costi iniziali: esplorazione geofisica e perforazione
- Tempi lunghi: per realizzazione impianti e rientro investimenti ( $\neq$  scala temporale!)
- Barriere non tecniche: incertezza normativa, autorizzazioni, accettazione sociale, difficoltà a comporre il tavolo dei diversi attori, investimenti e incentivi, ...
- Mercato: non ancora sufficientemente sviluppato, competitivo e maturo, i fallimenti rallentano molto investimenti e sviluppo!

Alta entalpia: risorsa più profonda, rischio più elevato, costi più elevati, tempi più lunghi

Media-bassa entalpia: meno rischio, minori costi, tempi più brevi → grande sviluppo!

Sonde geotermiche superficiali: rischio, costi e tempi contenuti → tecnologia decollata!

# POTENZIALE GEOTERMICO: QUALI RISCHI?

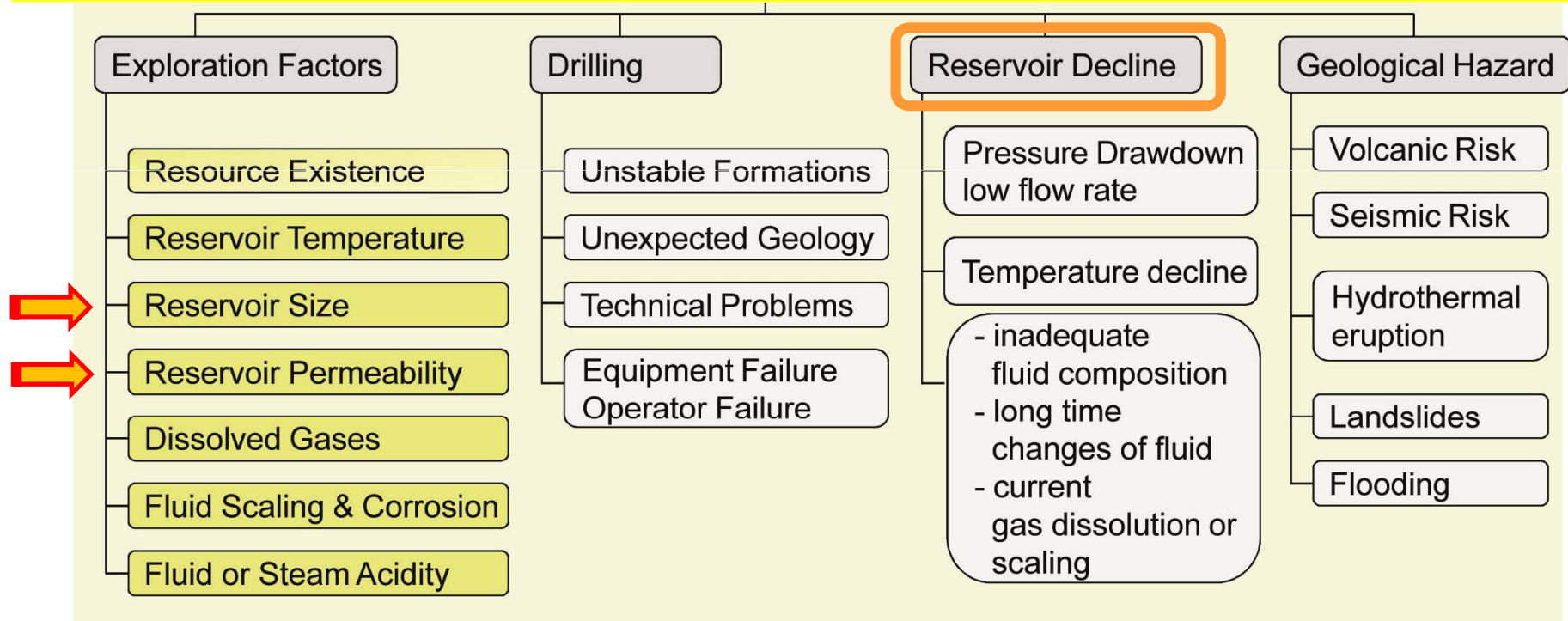


(after Schiemann, Gottwald, 2011)

Dec. 2011 Milano risk mitigation in deep geothermal projects

# POTENZIALE GEOTERMICO: RISCHIO GEOLOGICO

*Sistemi geotermici naturali non necessitano del fracking → NO SISMICITA' INDOTTA!*

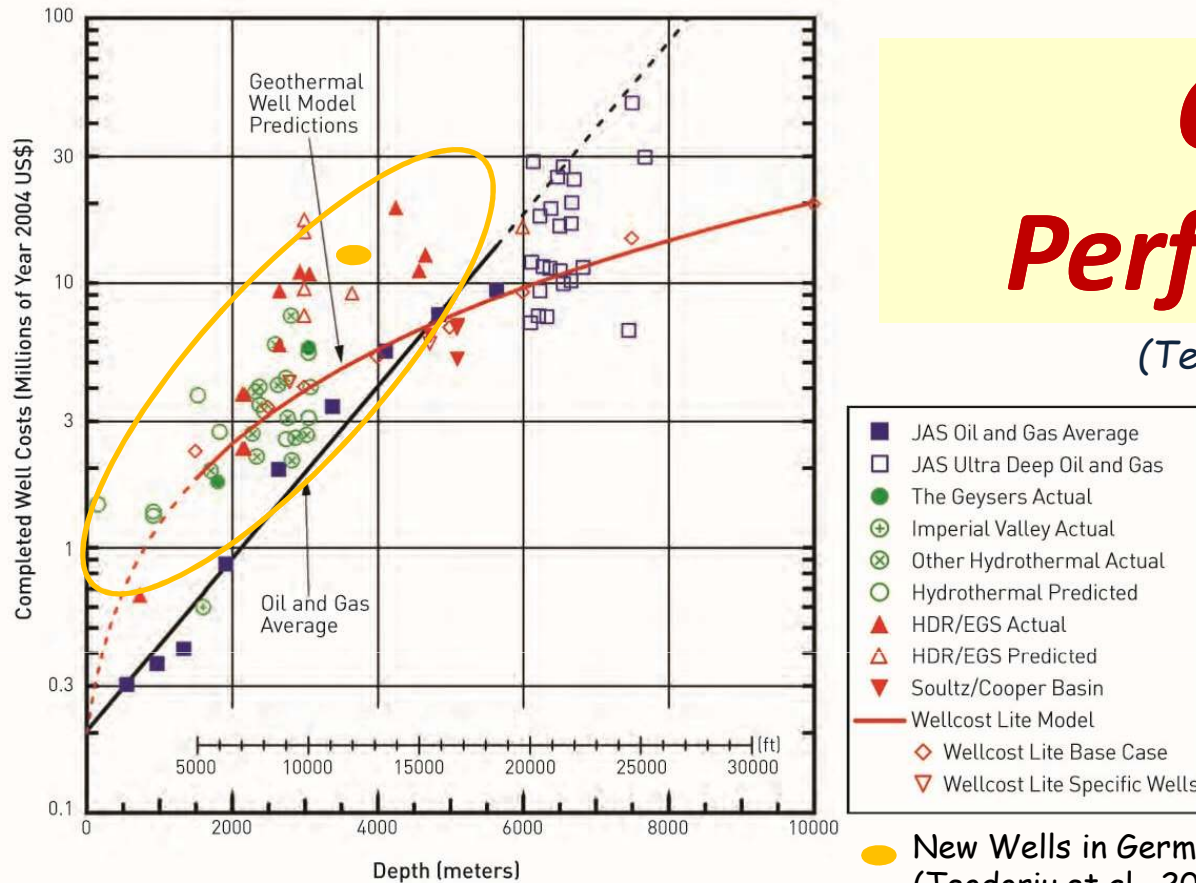


(after Schiemann, Gottwald, 2011)

Dec. 2011 Milano risk mitigation in deep geothermal projects

# COSTi Perforazione

(Tester et al., 2006)



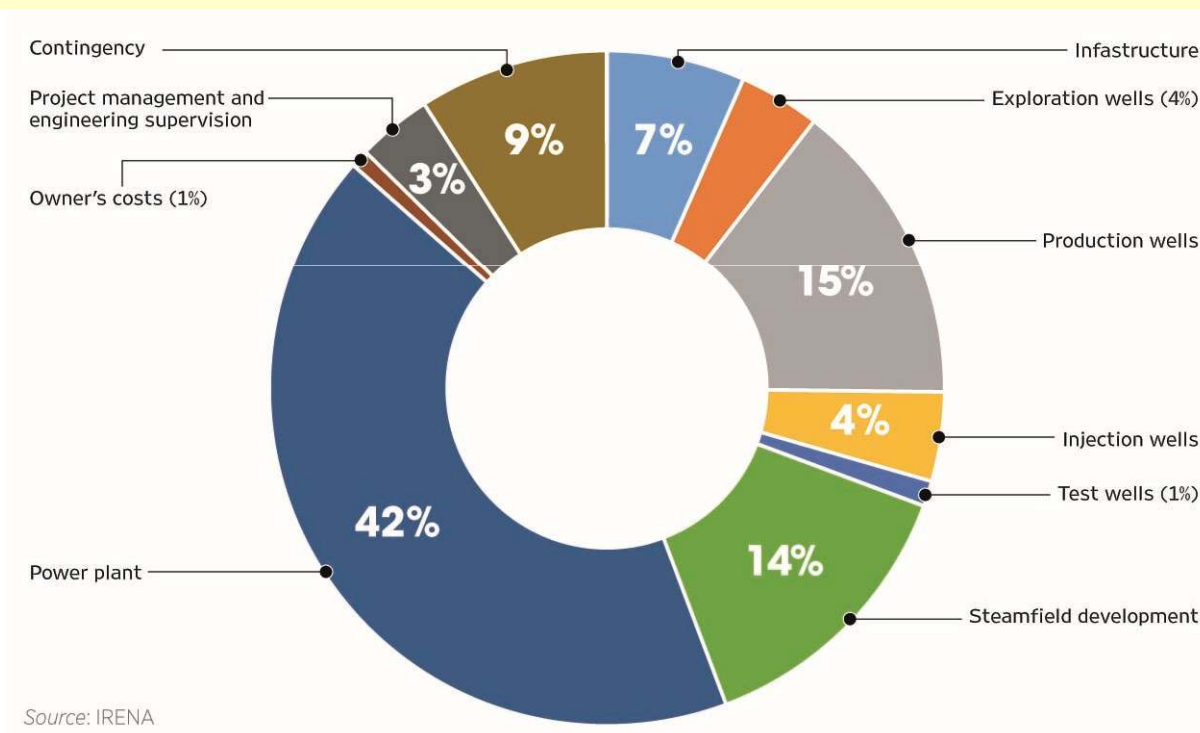
1. JAS = Joint Association Survey on Drilling Costs.
2. Well costs updated to US\$ (yr. 2004) using index made from 3-year moving average for each depth interval listed in JAS (1976-2004) for onshore, completed US oil and gas wells. A 17% inflation rate was assumed for years pre-1976.
3. Ultra deep well data points for depths greater than 6 km are either individual wells or averages from a small number of wells listed in JAS (1994-2000).
4. "Other Hydrothermal Actual" data include some non-US wells (Source: Mansure 2004).

Figure 1.8 Completed oil, gas, and geothermal well costs as a function of depth in 2004 U.S.\$, including estimated costs from the Wellcost Lite model. The red line provides average well costs for the base case used in the assessment.

**SERVE NUOVA  
TECNOLOGIA**  
per ridurre costi  
e raggiungere  
fluidi a maggiori  
profondità ed  
entalpia

# COSTI TOTALI PER IMPIANTO GEOTERMICO DA 110 MW IN INDONESIA

(IRENA Report 2015)



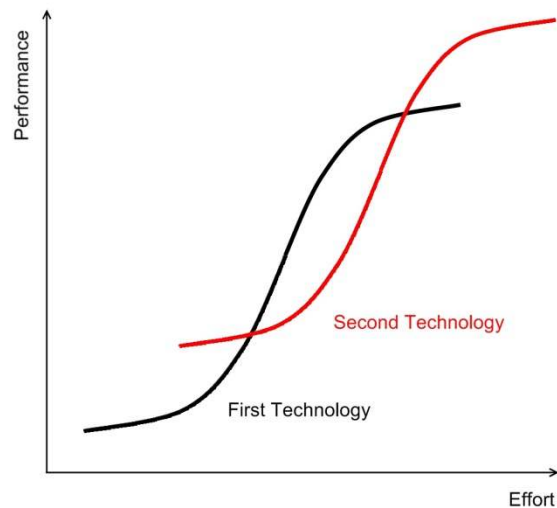
Pozzi e impianti rappresentano più del 70% dei costi !



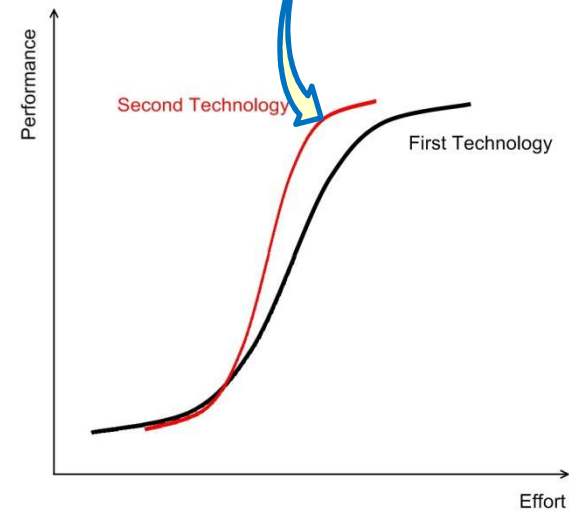
# LA CURVA A S DESCRIVE IL CICLO DI UNA TECNOLOGIA/INNOVAZIONE

- 4 STEPS: Start-up, rapida crescita, competitività, transizione verso nuova tecnologia
- Effort (=investimento) vs Performance (= efficienza, costo per unità di prodotto)

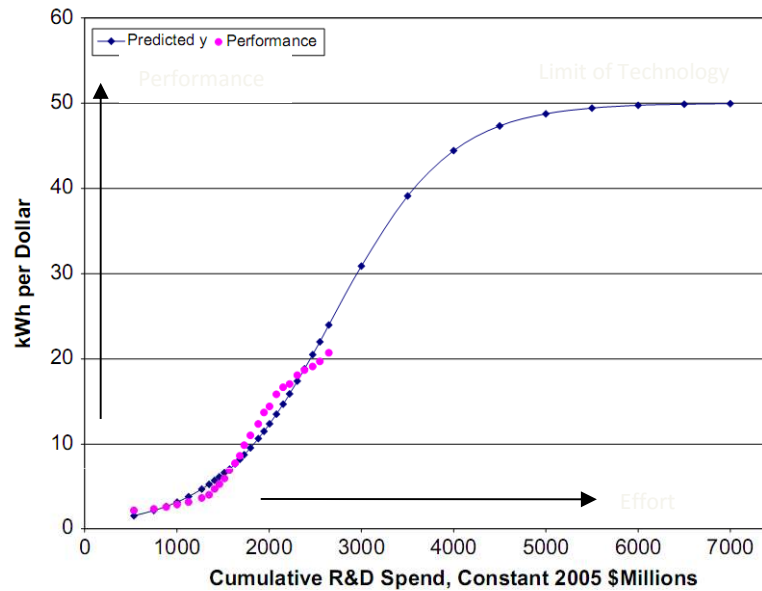
La tecnologia può evolvere **migliorando la performance** (nuova tecnologia)



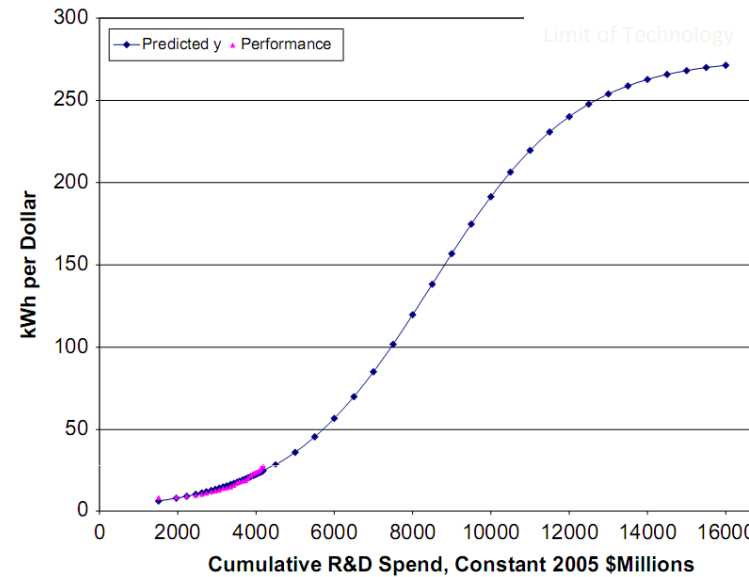
Oppure **riducendo l'investimento complessivo** (più veloce evoluzione)



# CURVA A S EOLICO CONTRO GEOTERMICO (PER IMPANTI ALTA ENTALPIA)



Wind Energy



Geothermal Energy

Source: *Technology S-curves in renewable energy alternatives: Analysis and implications for industry and government* (Stern School of Business – 2009)

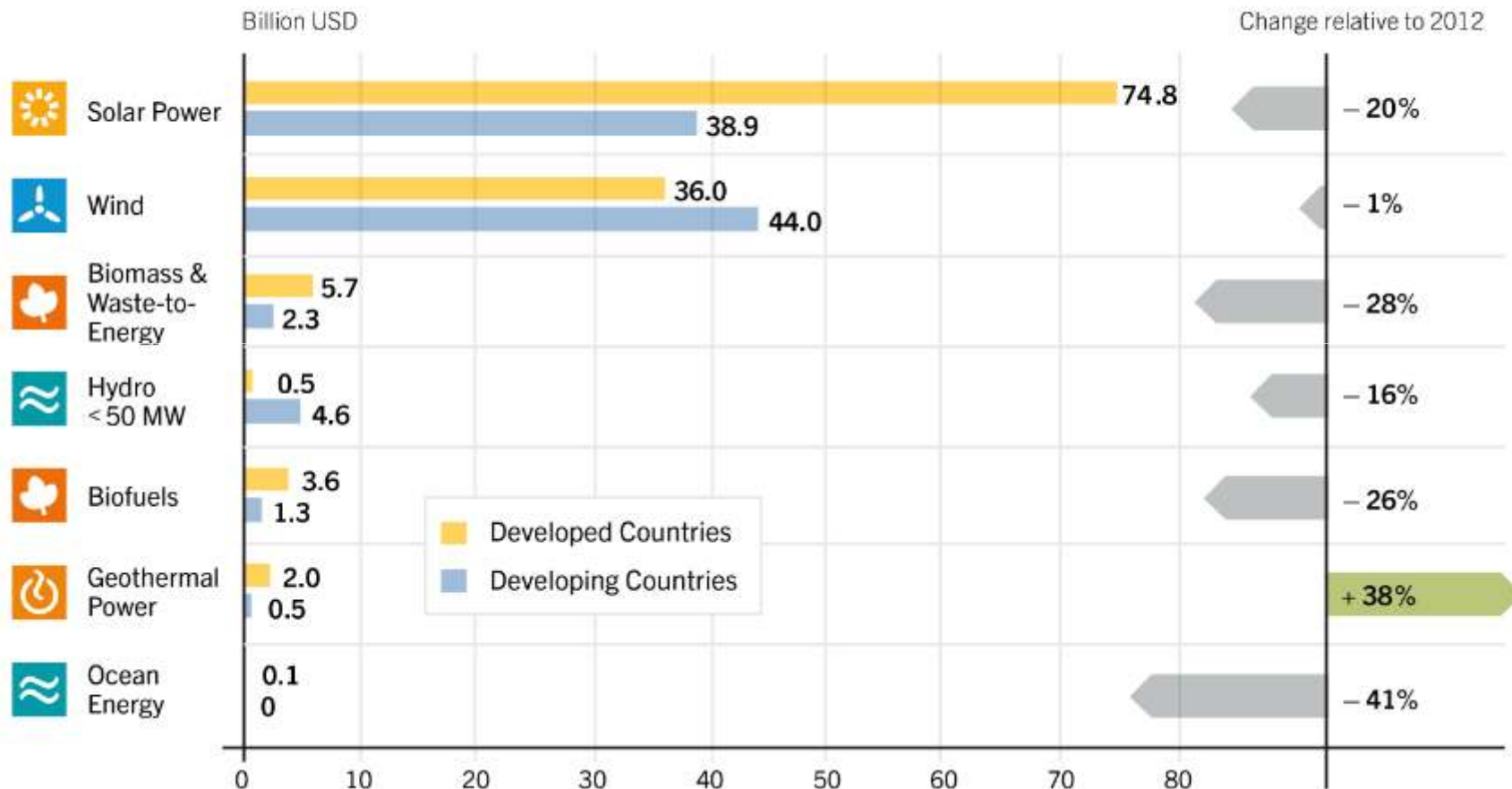
Geotermia ha il più elevato potenziale fra le FER per innovazione tecnologica, efficienza energetica e capacità produttiva

## ***ARGOMENTI***

- **GEOTERMIA: STATO E RISORSE**
- **PERCHE' NON DECOLLA ANCORA?**
- **INVESTIMENTI, PROSPETTIVE E SVILUPPI**

# INVESTIMENTI NELLE RINNOVABILI

Global New Investment in Renewable Energy by Technology, Developed and Developing Countries, 2013



# CONFRONTO LCOE PER DIVERSE FER

## STUDIO GSE-IRENA (BENEDETTI, 2014)

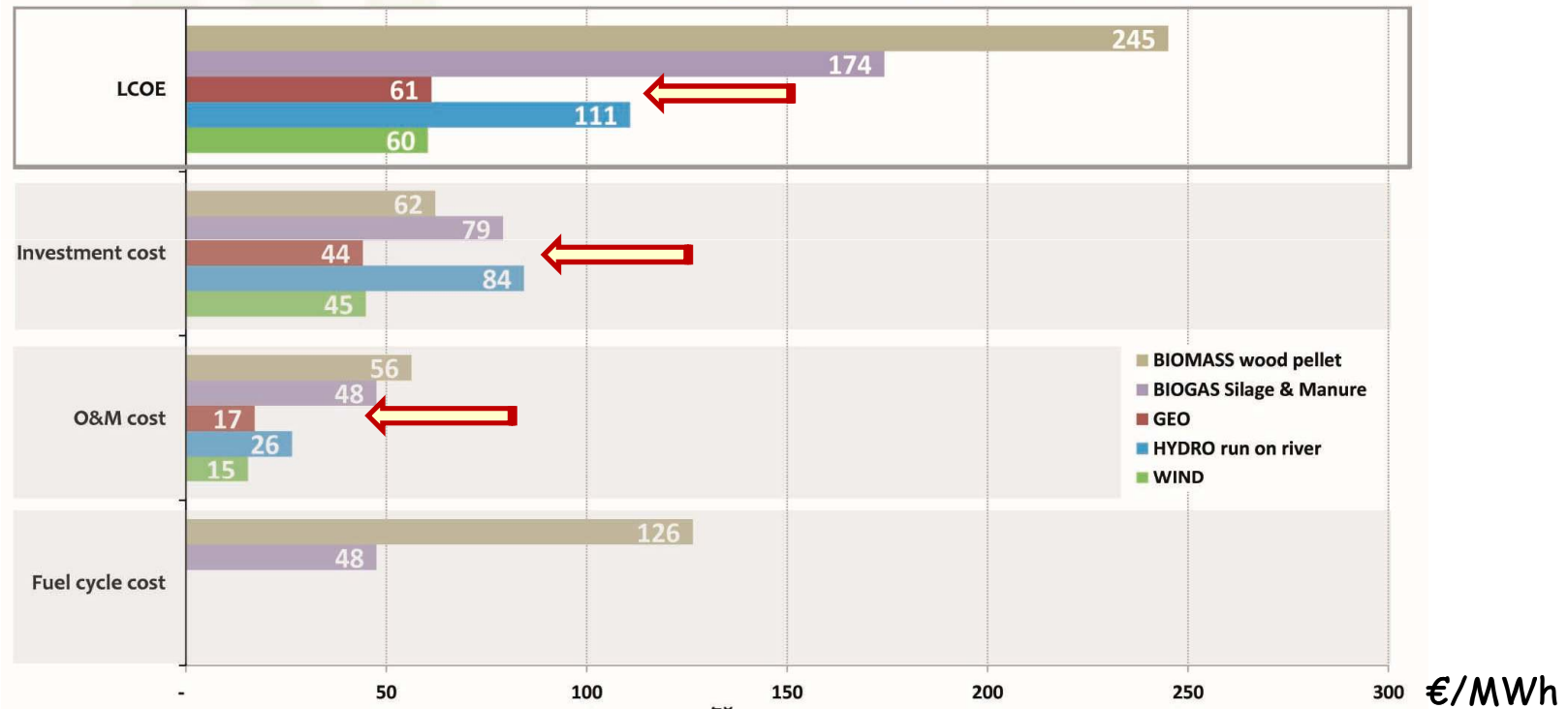


### Preliminary LCOE analysis of other RES technologies

In this LCOE calculation, the following assumptions were considered:

- No inflation rate applied
- O&M and fuel costs are assumed constant for the overall lifetime

### LCOE comparison between different RES technologies [€/MWh] (preliminary results)



**LCOE:** matrice normalizzata di tutti i costi di generazione (costruzione, energia, O&M, tasse, assicurazioni, incentivi) per l'intera vita degli impianti. I costi sono poi divisi per l'energia complessiva prodotta dall'impianto, ottenendo €/MWh.

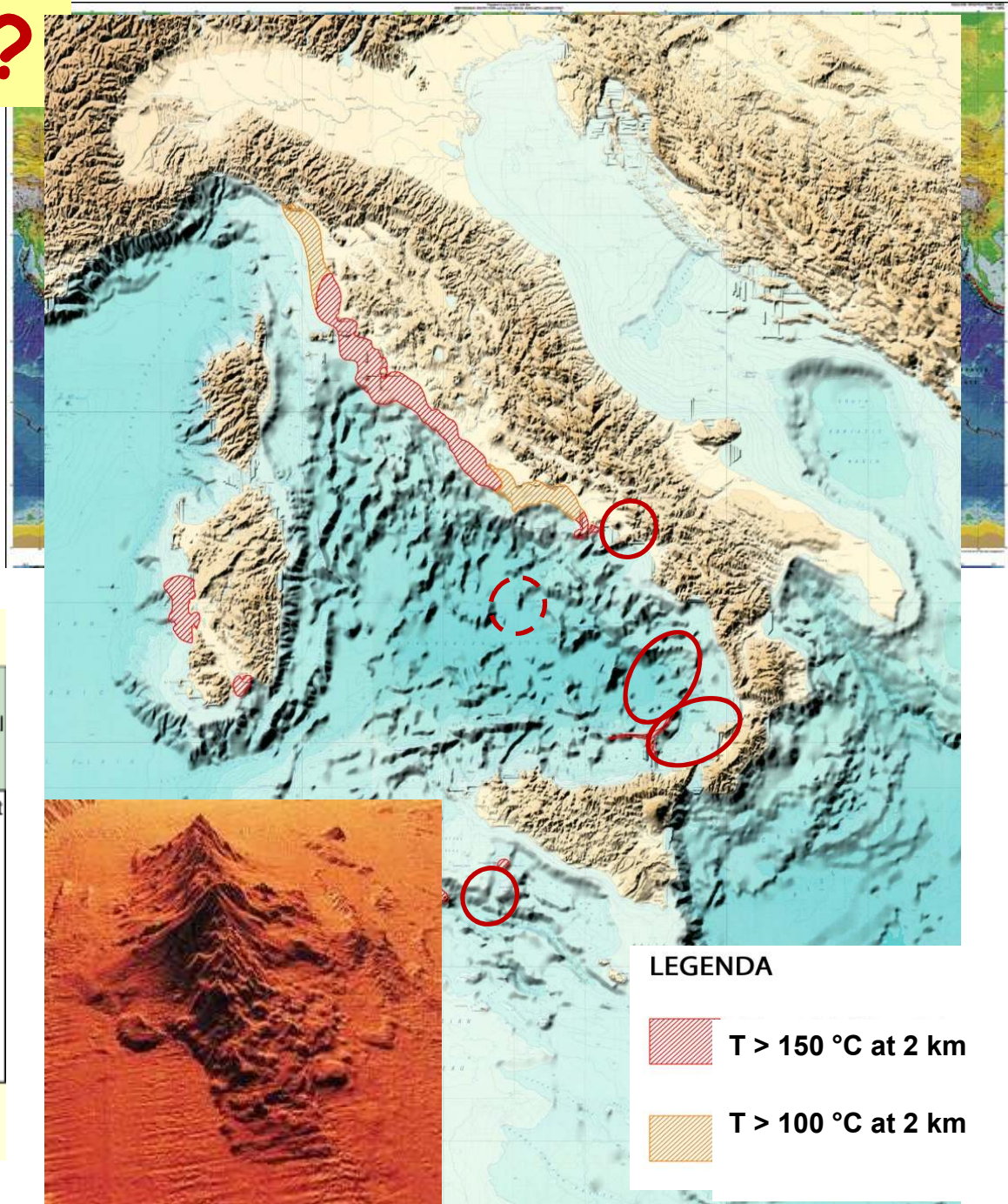
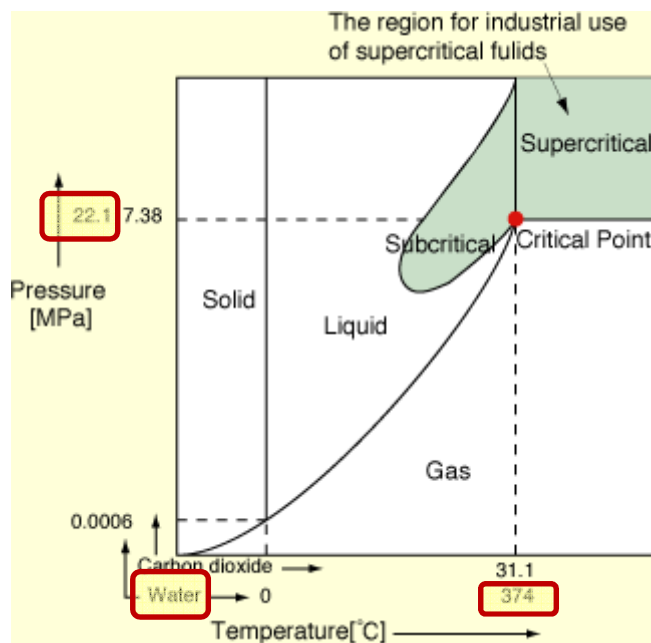
## **PROSPETTIVE DI SVILUPPO E TECNOLOGIE INNOVATIVE PER:**

- **Migliorare esplorazione e perforazione, ridurre costi e rischio**
- **Diffondere impianti di Teleriscaldamento/Teleraffrescamento**
- **Recuperare cascami energetici e heat storage**
- **Migliorare efficienza di impianti ibridi e di cogenerazione**
- **Ottimizzare impianti e gestione reti integrate (Smart Grids)**
- **Raggiungere e utilizzare serbatoio con fluidi supercritici**
- **Dimostrare che i sistemi EGS sono praticabili e sostenibili**
- **Estendere Geotermia in aree costiere, isole e offshore**



# Why offshore?

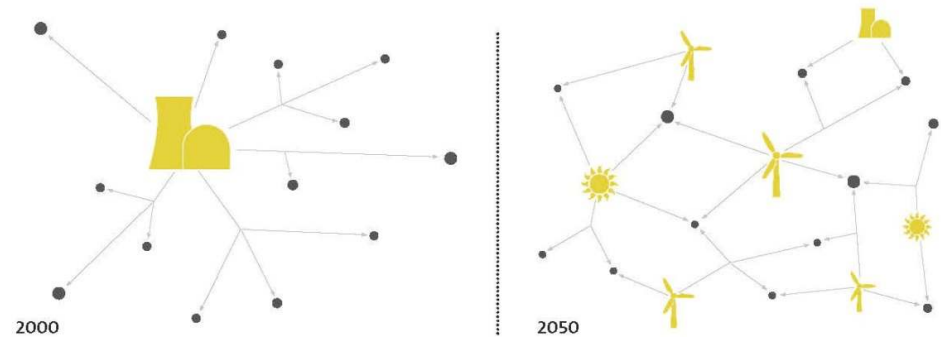
- High geothermal potential areas located offshore and coastal areas
- High T gradients ( $> 100\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$ )
- High advective heat transfer rate through rifts + fractures



# PROSPETTIVE

- **Diversificazione/Integrazione fonti (++FER)**

- Mini- e microgenerazione
- Sorgenti in loco
- Integrazione delle fonti energetiche
- Ottimizzazione gestione (Smart grids)
- Maggiore complessità



- **Storage**

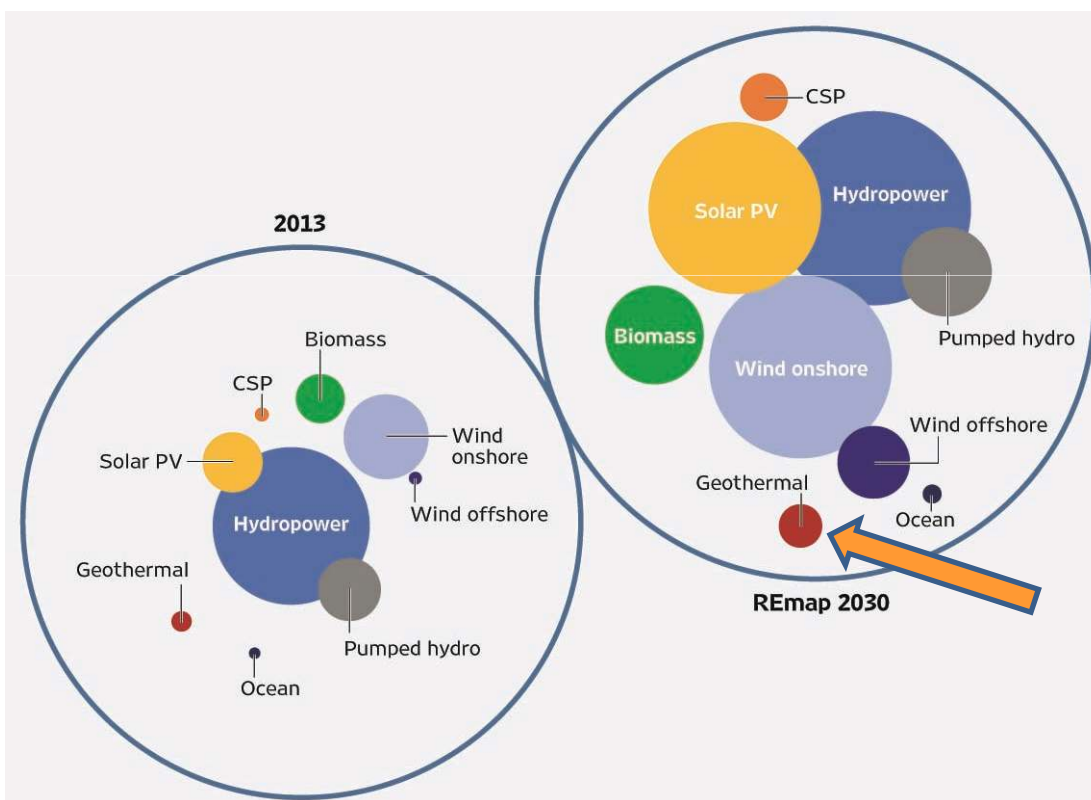
- Large scale per compensare variabilità fonti e domanda
- Small scale per affidabilità dei sistemi locali integrati

- **Formazione e Comunicazione**



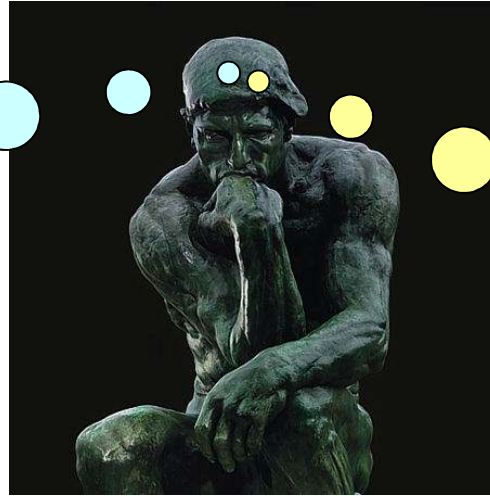
# PROSPETTIVE DI CRESCITA DELLE FER AL 2030

(IRENA REPORT, 2015)



- Wind offshore x 6
- CSP x 4
- Solar PV x 3
- Geothermal x 2.5
- Wind onshore x 2,2
- Biomass x 2
- Ocean x 2

*Perché Geotermia  
cresce solo 3-4%  
all'anno pur  
avendo enormi  
potenzialità?*



*Alti costi iniziali  
Rischio elevato  
Barriere non-tec.  
Tempi lunghi  
....*

**RHC** Renewable  
Heating & Cooling  
European Technology Platform



**Strategic Research and  
Innovation Agenda for  
Renewable Heating & Cooling**

- Riduzione costi, rischi e tempi di ritorno...
- Migliorare performance e affidabilità impianti
- Innovazione e integrazione FER
- Normativa chiara e Incentivi iniziali
- Comunicazione e disseminazione *best practices*

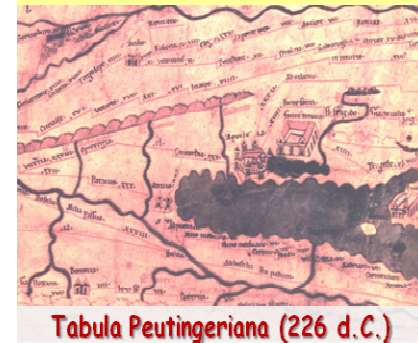
# La scoperta dell'acqua calda viene da lontano ...

Macachi del Giappone, Miocene ?? A.C.



Tholos S. Calogero, Lipari, 1600 A.C.

... clarae ante ostia *Timavi* calidorum  
fontium cum aestu...  
(Plinio il Vecchio, I sec. D.C.)



Tabula Peutingeriana (226 d.C.)



Produzione acido bórico, inizi '800 in Toscana



Ginori Conti, Toscana, 1903

... e ha ancora molta strada da fare per addomesticare i fluidi supercritici! <http://iddp.is>

Pozzo IDDP-1 Krafla, Islanda, 1050 °C a 2,1 km (2008)



Photo: Hreinn Hjartarson

**IDDP-2, Reykjanes Ridge, Islanda in progress (a circa 4000 m)**

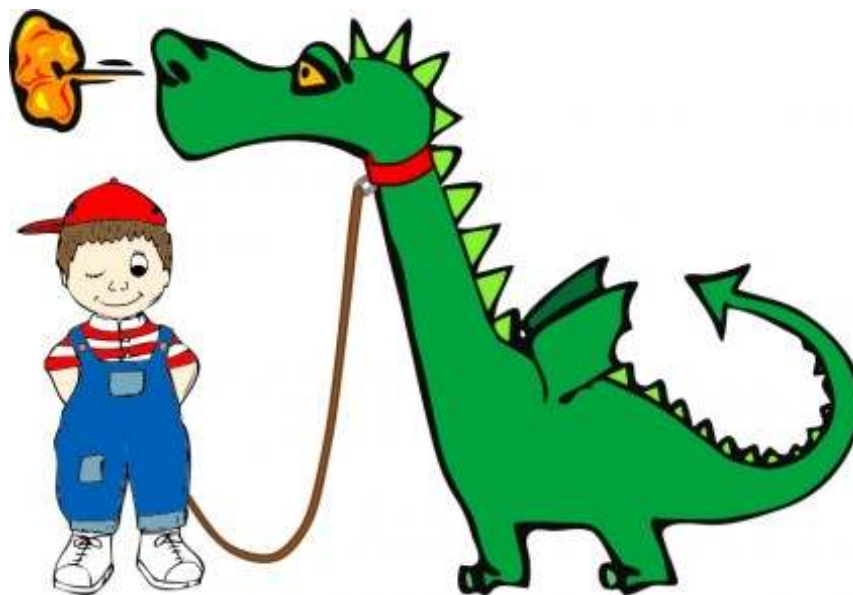


UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI DI TRIESTE

*Dipartimento di Ingegneria e Architettura*



***Grazie per la vostra  
attenzione!***



<http://www.fondazioneinternazionale.org/geothermalPlatform.php>

*La Risorsa Geotermica: i limiti ambientali, tecnici e normativi per un utilizzo consapevole, IV Giornata di Formazione, Fondazione MC Rovereto, 02 Dic. 2016*

# Teleriscaldamento Geotermico di Grado

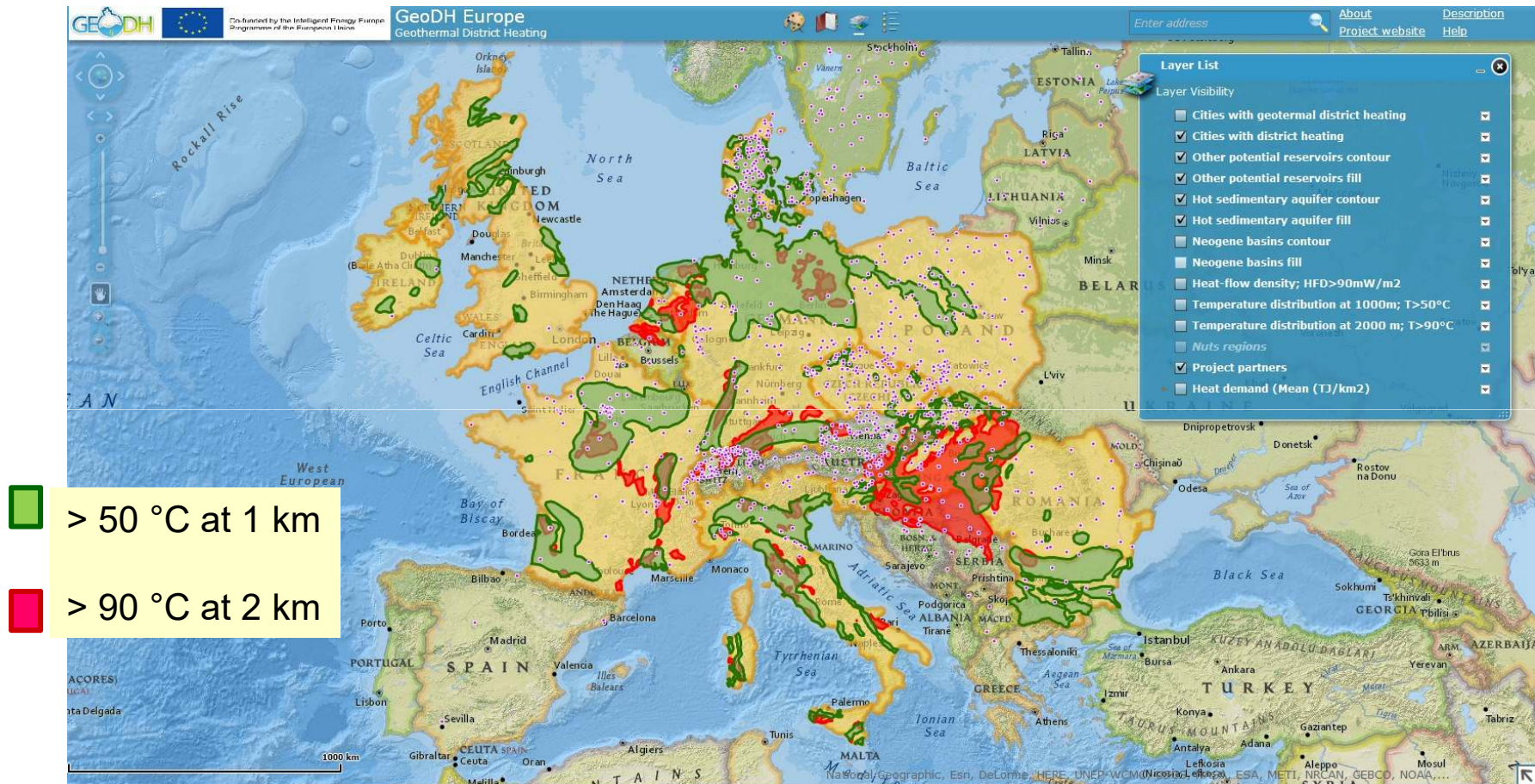
- Rete completata 2014
- Allacciati 6 edifici pubblici (palestra, ist. alberghiero, auditorium, biblioteca, scuola media, ex-scuola)
- Altri allacciamenti previsti: Edificio Comune, Ospizio Marino, ...
- Utilizzi estivi saranno da valutare

## 5 Milioni di Euro:

- ✓ 2 indagini geofisiche, logs, carote e prove (0,8 M€);
- ✓ Progettazione (~ 0,2 M€);
- ✓ 1 pozzo produzione e 1 pozzo reiniezione (~ 2 M€);
- ✓ **Rete teleriscaldamento, pompe, scambiatori (~ 2 M€);**



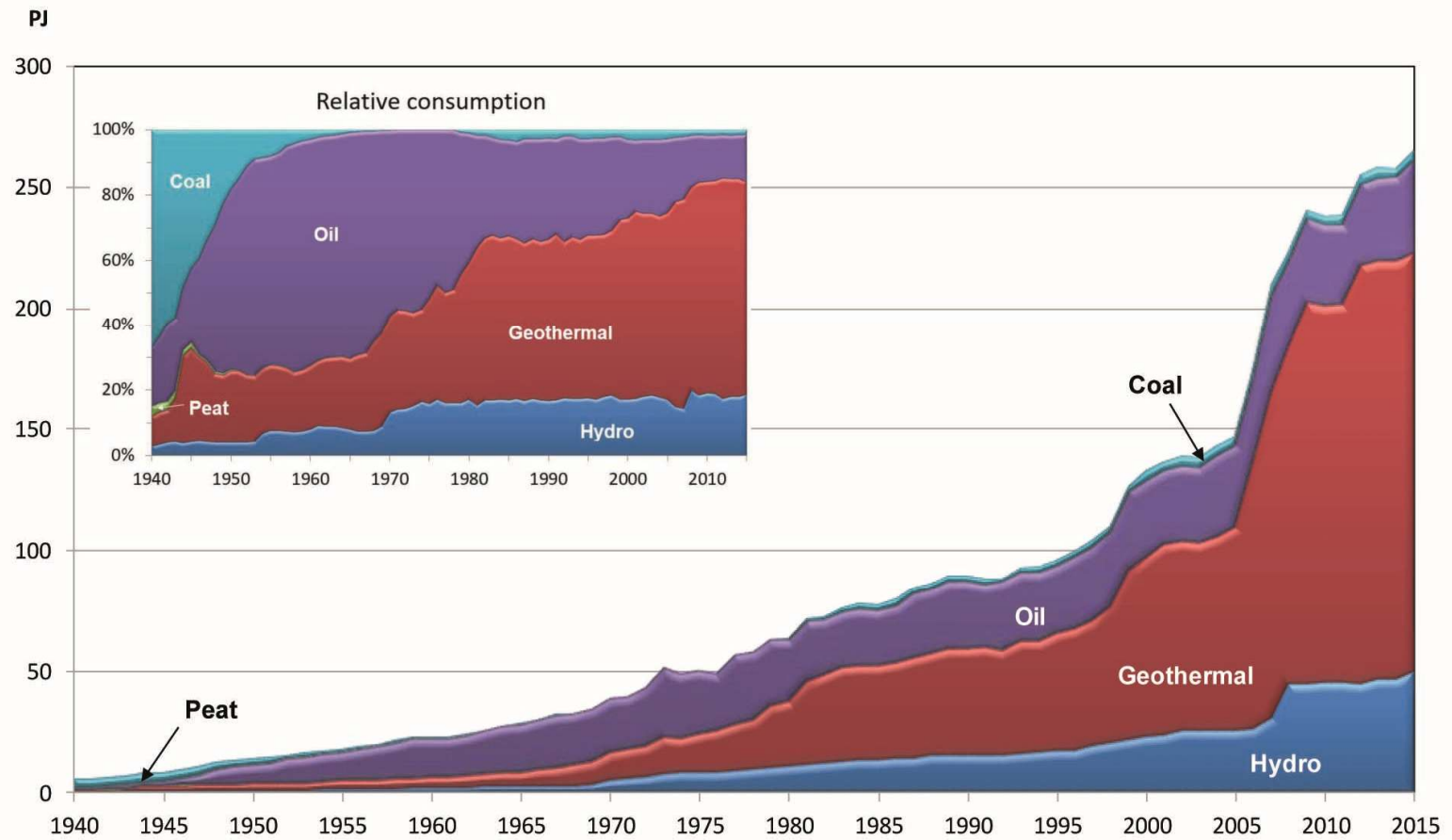
# Potenziale per DH Geotermico in Europa



*Più del 25% della popolazione EU vive in aree favorevoli per il DH geotermico, dove si potrebbe avere sicurezza di approvvigionamento*

*(Fonte EGEC: Angelino, Dumas, 2015)*

# Primary energy consumption in Iceland 1940-2015





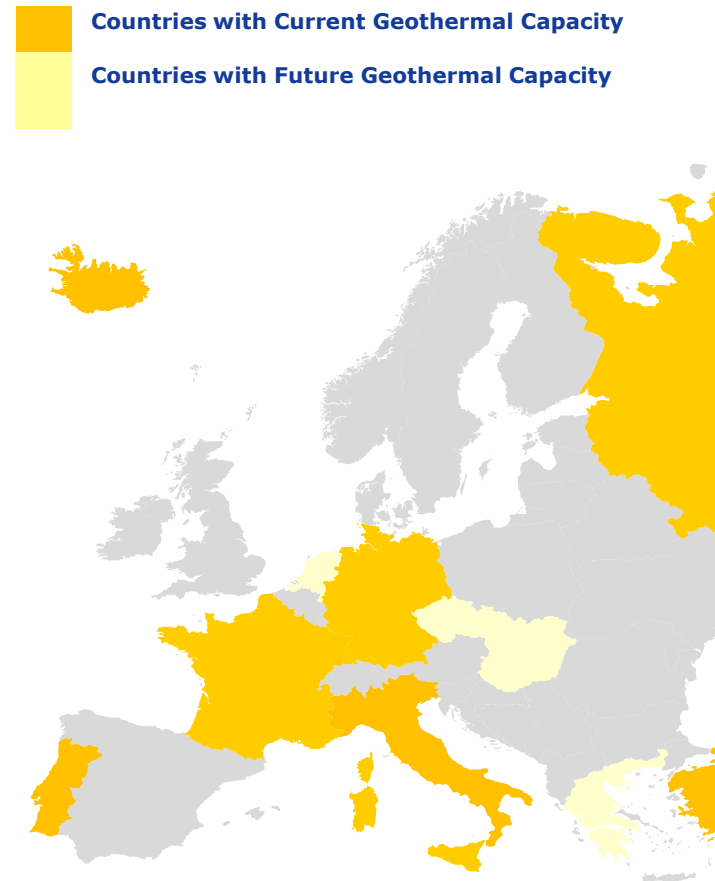
# PRODUZIONE GEOTERMoeLETRICA IN EUROPA

## EU27 Markets

Installed Capacity (MW)	2013	2020	High / Low Enthalpy in the Country
Italy	875	923	High
Portugal	29	60	High
Greece	-	40	High
France	17	41	High
Germany	12	80	Low
Austria	1	6	Low
Czech Republic	-	4	Low
Hungary	-	5	Low
Slovakia	-	4	Low
Netherland	-	5	Low
<b>Total</b>	<b>934</b>	<b>1,188</b>	<b>(+ 27 %)</b>

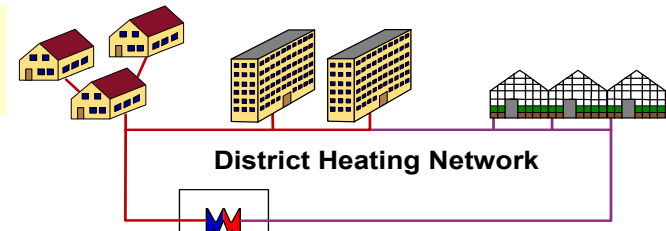
## Other Markets

Iceland	665	1,285	High
Turkey	166	650	High
Russia	82	194	High
<b>Total</b>	<b>913</b>	<b>2.129</b>	<b>(+ 233 %)</b>



Source: Bertani, 2013

# TELERISCALDAMENTO GEOTERMICO



- Tecnologia matura
- Mercato chiede chiarezza

- 247 Sistemi GeoDH operativi in Europa
- Capacità totale di circa 4 500 MWth
- Produzione di circa 13 GWh

- Grande potenzialità integrazione
- Opzione riscald./ raffreddamento

- Competitivo sui costi, con minimi impatti
- Può essere installato ovunque

## Costo Energia Geotermica (LCOE)

GeoPower: 0.05 - 0.1 US \$/kWh

D.H.: 0.06 - 0.13 US \$/kWh

Risc. edifici: 0.1 - 0.27 US \$/kWh

# ANALISI COSTI FER E RISULTATI STUDIO GSE-IRENA (BENEDETTI, 2014)

## Preliminary Analysis of other RES cost database

- The table contains a **sample report of investment data** relative to individual initiatives that result representative of the average conditions

	Technology				
	WIND	HYDRO run on river	GEO	BIOGAS Silage & Manure	BIOMASS wood pellet
<b>Technical data</b>					
Electric power [KW]	16.000	400	20.000	300	200
Load factor ( %)	30% <small>(range:20%-32%)</small>	49%	92%	80%	80%
Annual energy production [MWh]	42.048	1.700	161.184	2.102	1.395
Economic lifetime (years)	20	20	25	20	20
Discount rate	5,0%	4,8%	6,4%	5,4%	5,2%
<b>Costs</b>					
Investment cost [€ mln]	22,9	1,8	84,8	2,0	1,0
Specific investment cost [€mln /MW]	1,4	4,4	4,2	6,5	5,2
O&M cost [€/ MW per year]	40.625	113.636	138.000	333.000	394.472
Fuel cost [€/t]				45 <small>(only for silage, 13% of total fuel)</small>	210
Fuel cost [€/year]				100.000	176.400
<b>LCOE</b>					
Fuel cycle cost [€/MWh]	-	-	-	48	126
O&M cost [€/MWh]	15	26	17	48	56
Investment cost [€/MWh]	45	84	44	79	62
<b>LCOE [€/MWh]</b>	<b>60</b>	<b>111</b>	<b>61</b>	<b>174</b>	<b>245</b>