



Università degli Studi di Perugia
Facoltà di Ingegneria

Modulo Pianificazione Energetica
prof. ing. Francesco Asdrubali
a.a. 2012/2013

Energia geotermica

ENERGIA GEOTERMICA: è la quantità di calore resa disponibile dal sottosuolo terrestre

- non presenta intermittenza
- è caratterizzata da elevata densità potenza
- è semplice da sfruttare

GRADIENTE TERMICO: 1°C ogni 30-50 m

$$Q = 62 H \quad (\text{KJ/m}^2) \quad H \text{ in m}$$

(terreno roccioso)

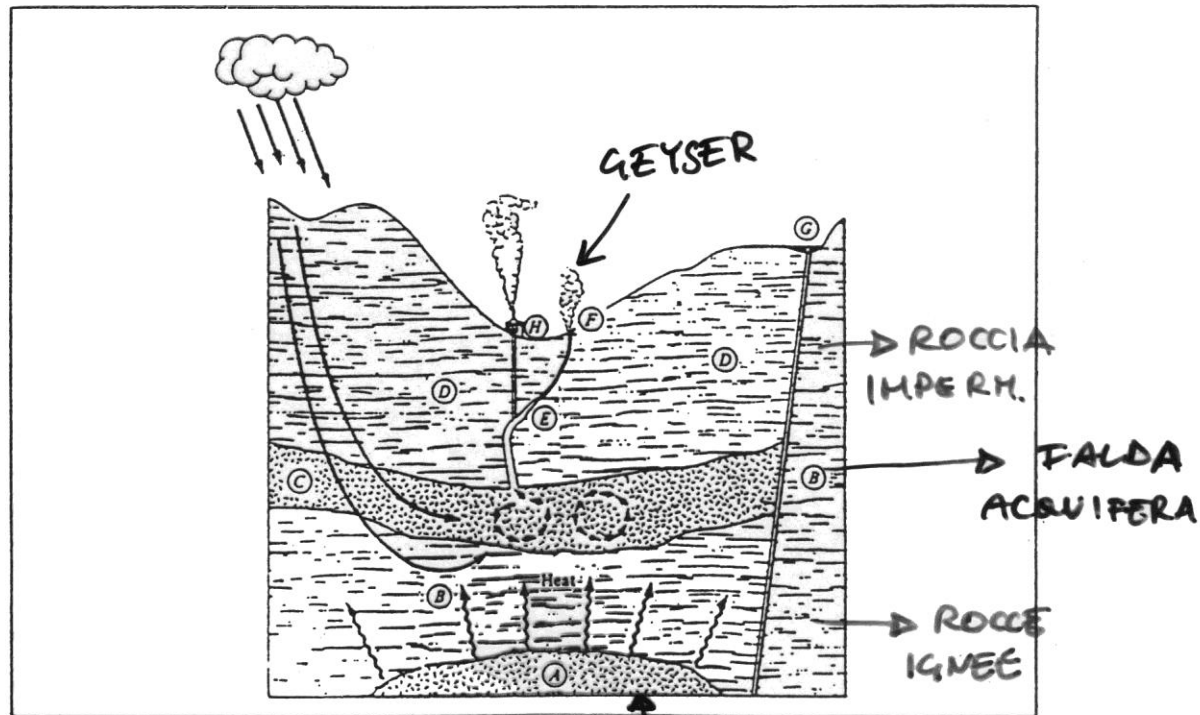


Fig. 19.2.1

MAGMA

Le sorgenti di energia geotermica sono essenzialmente di tre tipi:

- idrotermiche,
- geopressurizzate,
- petrotermiche.

Sistemi idrotermici: sono caratterizzati dalla presenza di acqua e/o vapore in sacche sotterranee riscaldate da rocce ignee ad elevata temperatura e rappresentano gli unici sistemi geotermici utilizzati nel mondo su scala industriale. A seconda dello stato fisico in cui si trova il fluido caldo è possibile distinguere tali sistemi in:

- sistemi a **vapore dominante**, in cui il fluido assume la forma di vapore surriscaldato a circa 200 °C e con una pressione attorno agli 8 bar. Queste caratteristiche rendono facilmente sfruttabile il vapore per una espansione nella turbina di un impianto tradizionale e relativamente poco costoso. La maggior difficoltà è rappresentata dalla massiccia presenza di gas incondensabili che determinano l'eccessivo innalzamento della pressione di scarico dalla macchina; trattandosi poi (a Larderello) di gas contenenti anche acido borico, la cui azione risulta corrosiva sulle superfici metalliche, è necessario effettuare un accurato degasaggio, che richiede un certo consumo di vapore vivo, oppure, se lasciato defluire in turbina, richiede l'adozione di materiali sofisticati e costosi;

- sistemi ad **acqua dominante**, in cui il fluido si trova, in profondità, allo stato liquido e ad una temperatura che arriva anche ad essere dell'ordine di 300°C. L'acqua contenuta nelle sacche può risalire in superficie, alla bocca del pozzo di perforazione, spontaneamente (in virtù dell'elevata pressione vigente nella sacca) oppure mediante l'ausilio di pompe. In entrambi i casi la diminuzione produce una parziale vaporizzazione del liquido, cosicché in superficie si raccoglie una miscela di acqua e vapore e l'utilizzazione di quest'ultimo può avvenire solo a seguito di un processo di separazione delle due fasi.

Sistemi geopressurizzati (minore entalpia): si tratta di giacimenti endogeni profondi (2500÷9000 m) a temperatura relativamente bassa (circa 160°C) ed a pressioni che talvolta superano i 1000 bar.

Tali giacimenti sono per solito caratterizzati dall'aver elevata salinità (4÷10%) e talvolta risultano saturi di gas naturali (in prevalenza metano) che ne rendono particolarmente attraente l'utilizzo, malgrado le pressochè proibitive difficoltà di individuazione e successivo sfruttamento.

Sistemi petrotermici: indicati anche come “hot dry rock, HDR”, sono costituiti da banchi di rocce secche (anidre) che si trovano a modesta profondità e sono mantenute ad elevata temperatura dal magma incandescente circostante. Per far affiorare l'ingente quantità di calore disponibile, occorre iniettare acqua (o un qualsiasi altro fluido termovettore) in un condotto e poi farla risalire (calda) in un altro. Purtroppo il banco è quasi sempre da grandi strutture monolitiche che rendono difficile l'iniezione dell'acqua inoltre, data la ridotta conduttività termica delle rocce stesse, è necessario garantire superfici di scambio le più estese possibili ($Q = k \cdot S \cdot \Delta T$) ed a ciò si provvede fessurando la pietra (o meglio, allargando microfessure preesistenti) iniettando dell'acqua ad elevata pressione (circa 200 bar, tecnica russa) oppure prevedendo l'esplosione sotterranea di piccole cariche nucleari (tecnica americana).

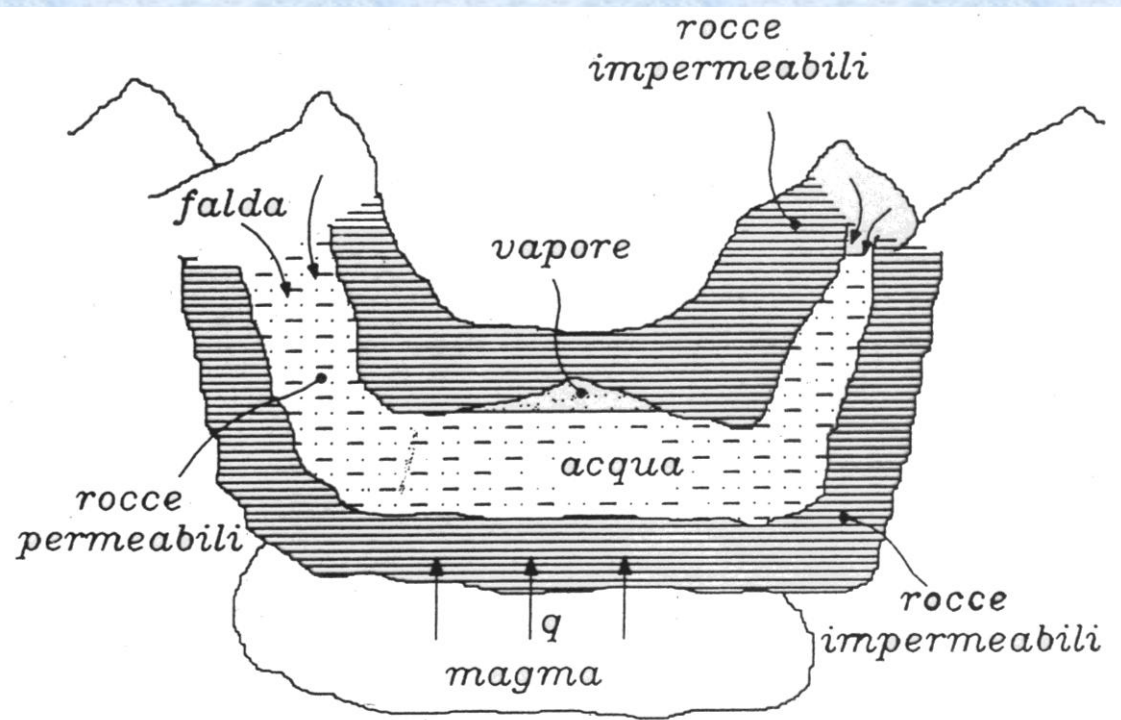


Figura 7.9 Sistema geotermico a vapore dominante.

PROBLEMI DI IMPATTO AMBIENTALE

- immissione in atmosfera gas incondensabili H_2S idrogeno solforato
- abbassamento livello del suolo
- rumorosità impianti

IMPIEGHI:

termodinamici (elettrici e termici)
chimici

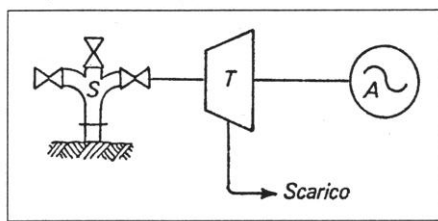


Fig. 6.44 - (Fonte: 4).

A CICLO DIRETTO CONSUMO
(20-30 kg/vapore per KWh)

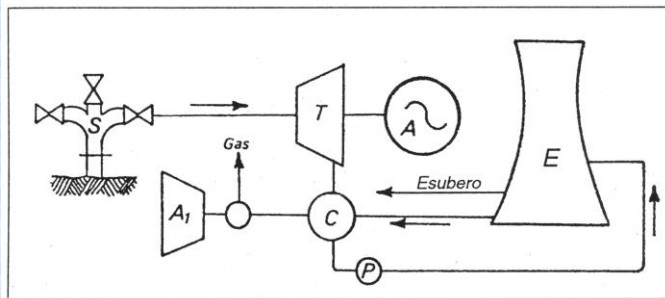


Fig. 6.45 - (Fonte: 4).

**AD ALIMENTAZIONE DIRETTA
E CONDENSAZIONE**
(15-16 kg/vapore per KWh)

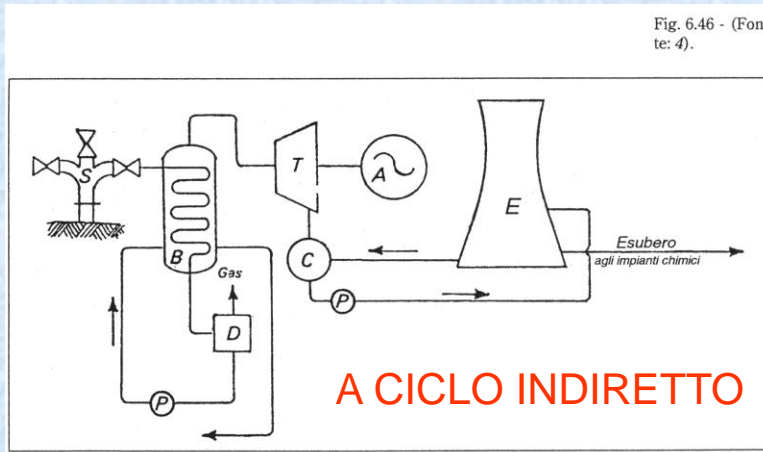


Fig. 6.46 - (Fonte: 4).

A CICLO INDIRETTO

ITALIA { 650 MW (su 6800 mondiali)
3500 GWh

$P = 2 - 8 \text{ atm}$

$T = 120 - 260 \text{ }^\circ\text{C}$

$G = 30 \text{ t/h}$

$v = 120 - 470 \text{ m/s}$

ROCCE CALDE SECHE

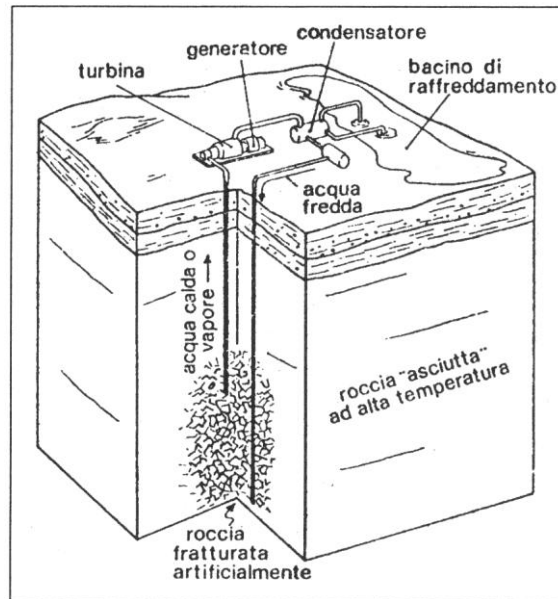


Fig. 6.47 - (Fonte: 4).

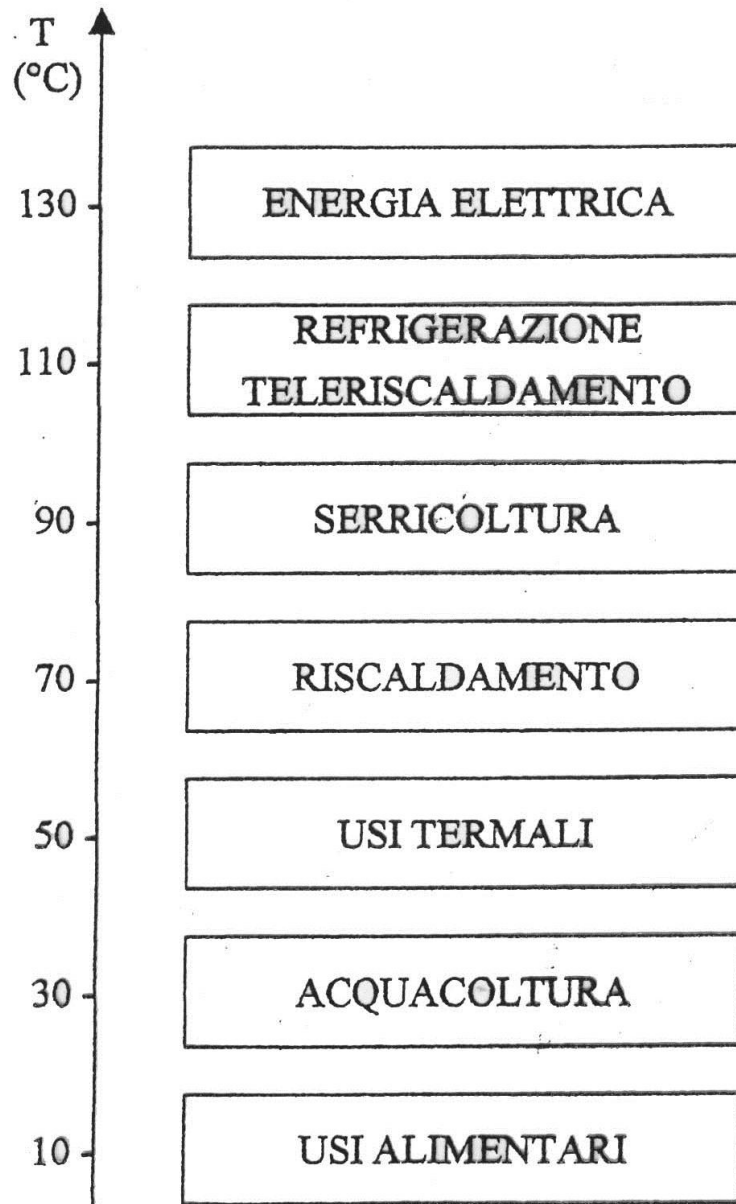


Fig. 2: *impieghi delle acque geotermiche in funzione della loro temperatura.*

Geotermico in Italia

Distribuzione provinciale degli impianti geotermoelettrici nel 2010

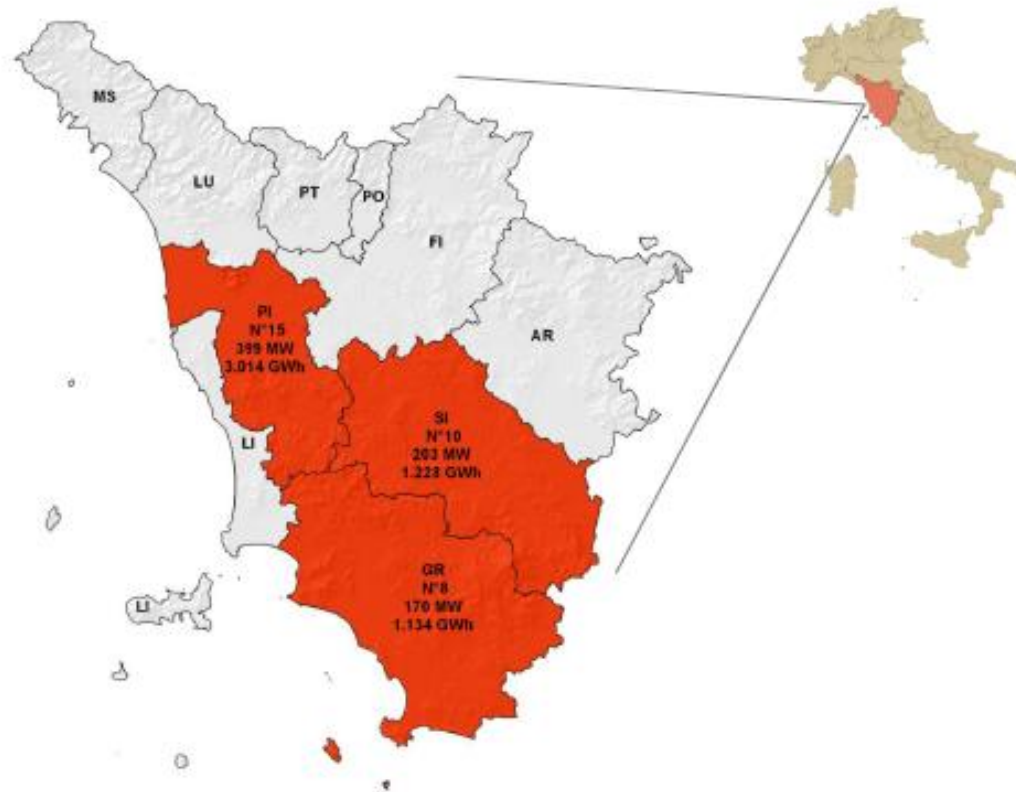
- Numerosità, Potenza efficiente lorda e Produzione lorda

Regione Toscana

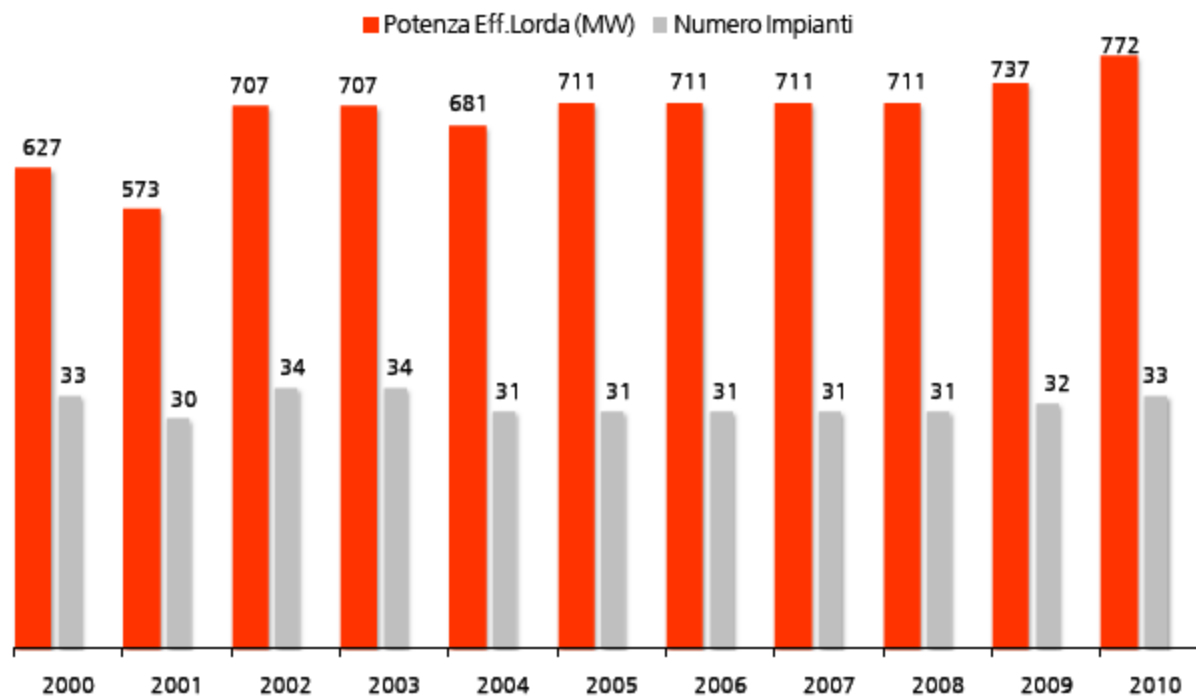
N° impianti = 33

Potenza = 772 MW

Produzione = 5.376 GWh

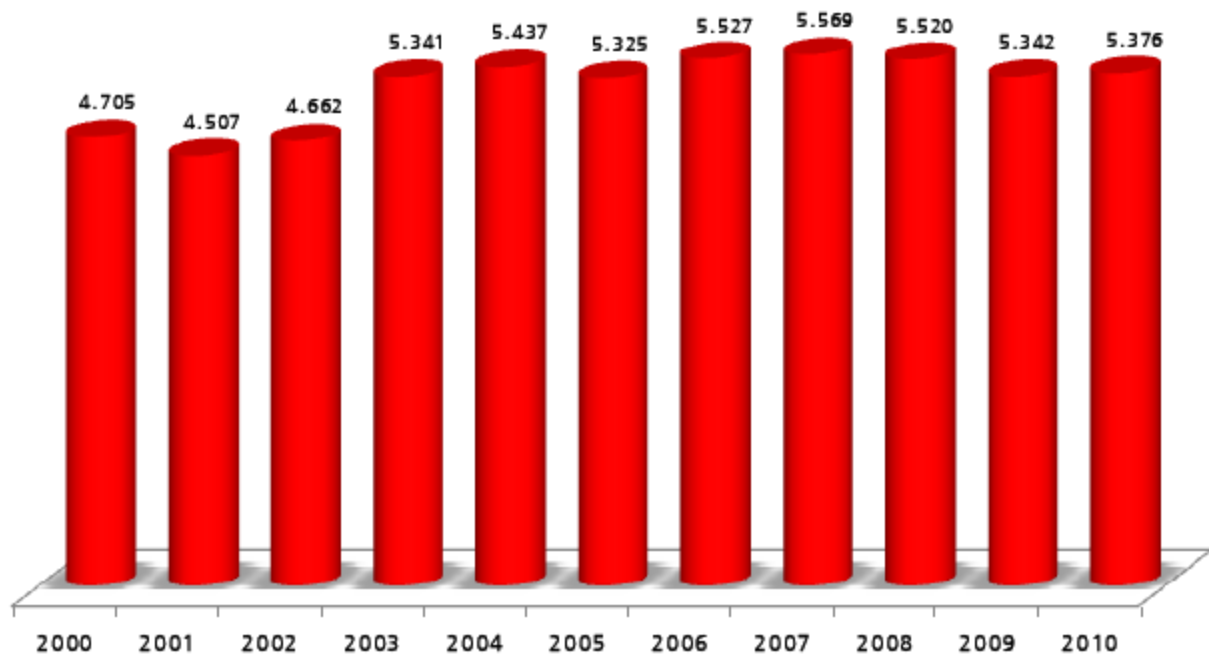


Evoluzione della numerosità e potenza degli impianti geotermoelettrici in Italia

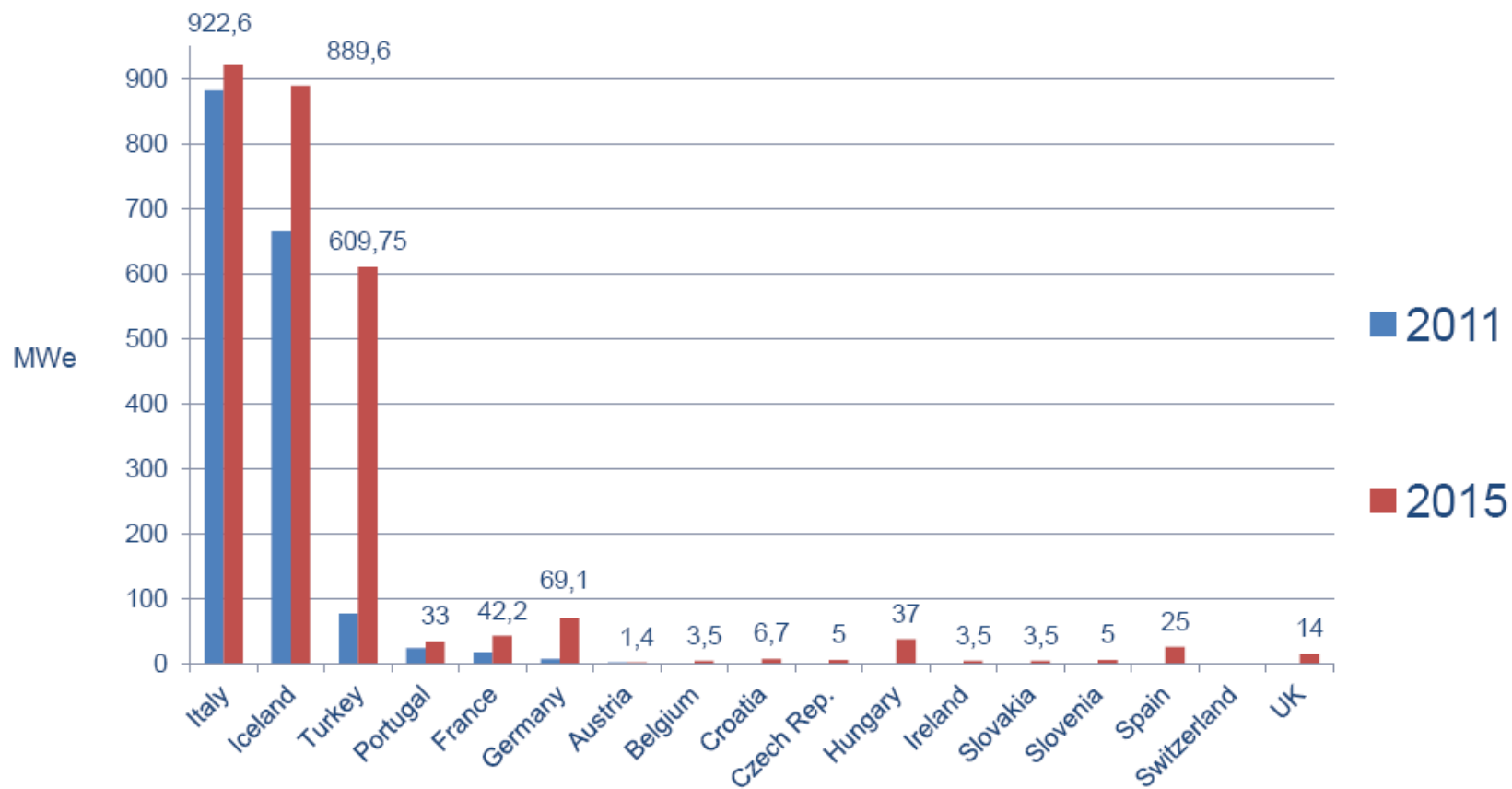


Produzione geotermica in Italia dal 2000 al 2010

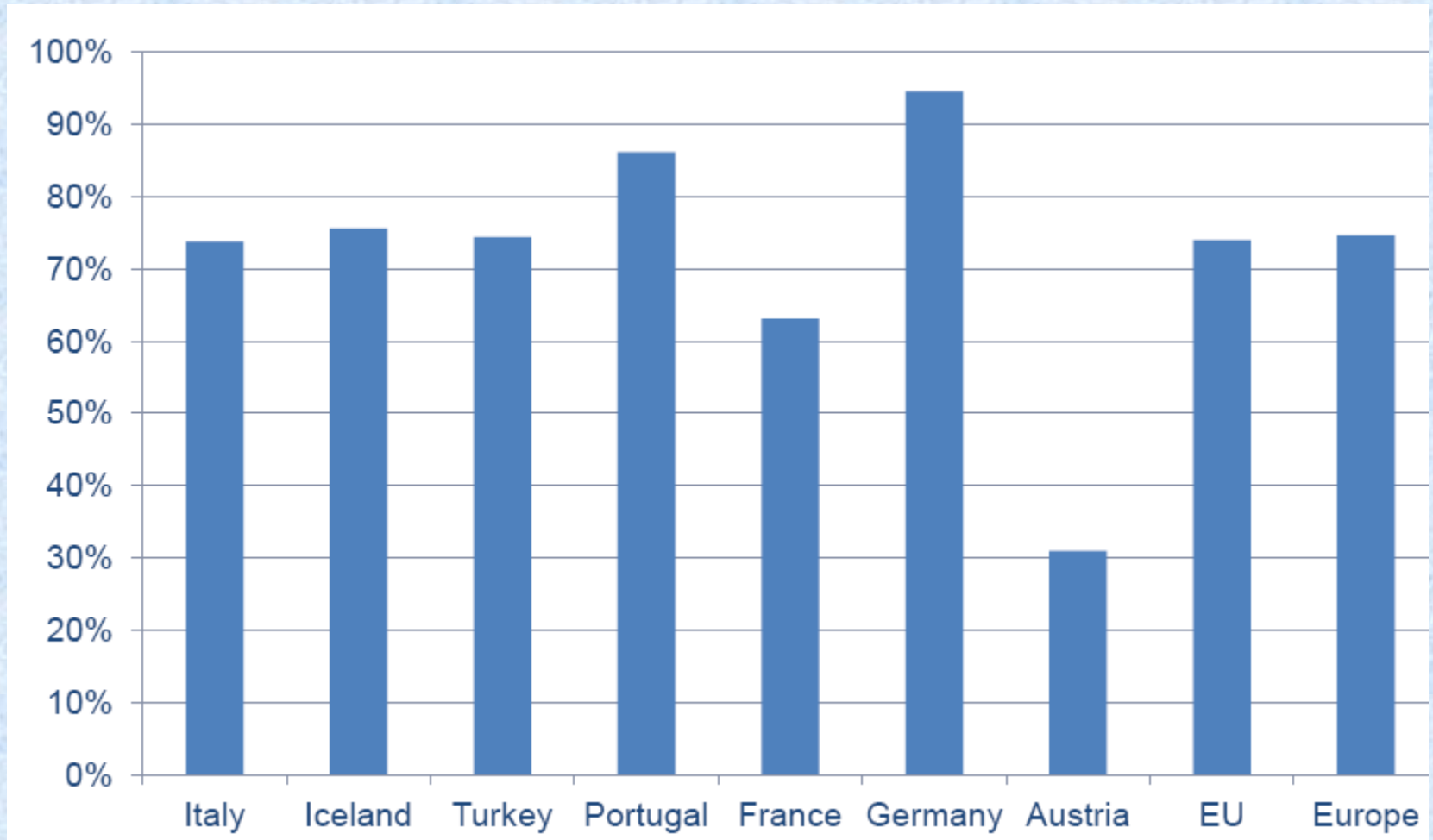
GWh



Geotermico in Europa e previsioni al 2015



Geotermico in Europa-2011



Impianti EGS (Enhanced Geothermal Systems) in Europa-2011



Potenza geotermica nel Mondo-2012

