



CULTURA E VITA
ENERGIA/ENERGIE:
DALLE SCOPERTE ALLE INVENZIONI
13 novembre 2008 - A.A. 2008-2009

Energia dal cuore della Terra

L'Energia Geotermica

Milena Bertacchini

Dipartimento di Scienze della Terra
Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia



2008
2009

Introduzione

L'energia Geotermica è il calore contenuto nell'interno della Terra che è all'origine di molti fenomeni geologici che avvengono a scala globale.

Riferimenti bibliografici

- Geotermia, un'immensa risorsa ancora tutta da sfruttare*, G. Cenci, <http://www.energie-rinnovabili.net/>
- Migration of geothermal fluids in extended terranes: the ore deposits of the Boccheggiano-Montieri area (southern Tuscany, Italy)*, D. Liotta, G. Ruggirei, A. Brogi, P. Fulignati, A. Dini e I. Nardini (2008)
- Risorse geotermiche in Emilia-Romagna. Metodologie di indagine e risultati delle ricerche degli ultimi decenni*, C. Gorgoni (2007)
- Earth's Climate: Past and Future*, W.F. Ruddiman (2006)
- What is geothermal energy?*, M.H. Dickson e M. Fanelli (2004)
- Structures in the continental crust and geothermal resources*, D. Liotta (2000)
- Geothermal energy technology and current status: an overview*, E. Barbier (2002)
- Methods for regional assessment of geothermal resources*, P. Muffler e R. Cataldi (1978)



2008
2009

Introduzione

L'espressione "energia geotermica" è generalmente impiegata per indicare quella parte del calore terrestre, che può, o potrebbe essere, estratta dal sottosuolo e sfruttata dall'uomo.

L'approccio geologico al tema dell'energia geotermica implica il coinvolgimento di diverse discipline legate alle Scienze della Terra:

Geotermia
Tettonica
Magmatismo
Geologia Regionale
Geochimica dei fluidi
Geologia Strutturale
Georisorse
Esplorazioni geofisiche



2008
2009

La Terra, un motore termico

Il calore geotermico è prevalentemente di origine **radiogenica**: decadimento radioattivo degli isotopi radioattivi a lunga vita dell'uranio (U^{238} , U^{235}), del torio (Th^{232}) e del potassio (K^{40}), presenti nell'interno del globo terrestre.

Ad esso si aggiungono, in proporzioni non esattamente definite, altre fonti:

- il calore **cosmogenico**, residuo del calore primordiale del pianeta;
- il calore superficiale **chimico** generato da reazioni esotermiche: ossidazione di solfuri, idratazione dell'anidrite, ecc.

Non c'è equilibrio tra il calore prodotto dal decadimento degli isotopi radioattivi presenti nell'interno della Terra ed il calore disperso per irraggiamento dalla sua superficie verso lo spazio:

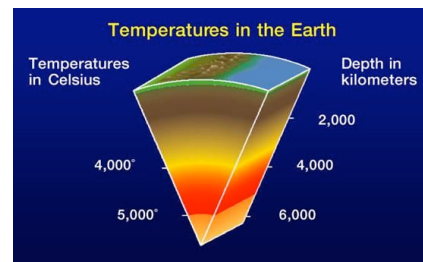
il nostro pianeta si sta lentamente raffreddando.

La Terra, un motore termico

Il raffreddamento del pianeta, comunque, è molto lento. La temperatura del mantello è scesa di circa 300°-350°C in tre miliardi di anni e, alla sua base, è di circa 4000°C.

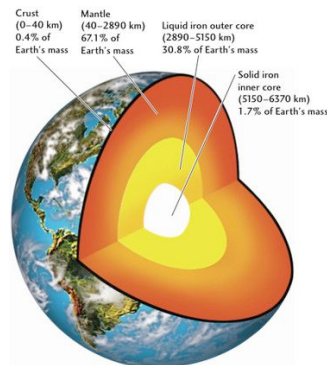
Il **gradiente geotermico** dà la misura dell'aumento di temperatura con la profondità. Sino alle profondità raggiungibili con le moderne tecniche di perforazione, il gradiente geotermico medio è **2,5°-3°C/100 m** (~1°C/33 m).

Se si considera di 15°C la T nei primi metri sotto la superficie, con buona approssimazione equivalente alla T media annua dell'aria esterna, si può prevedere che l'aumento di T con la profondità sia:
65°-75°C a 2000 m,
90°-105°C a 3000 m ecc.



La Terra, un motore termico

Il calore sotterraneo si propaga per **conduzione**, senza trasporto di materia, o per **convezione**, con trasporto di materia fluida.

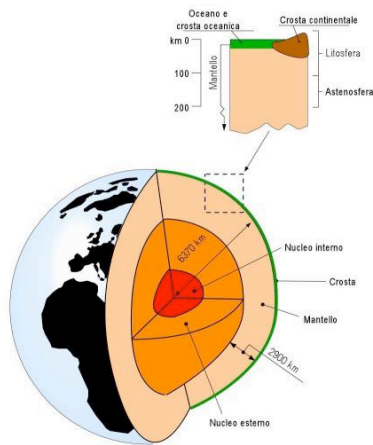


L'unità di misura del flusso di calore è
heat flow unit (h.f.u.) = 42 mW/m²
La media terrestre è 1.5 h.f.u. = 63 mW/m²

Flusso di calore totale dalla superficie terrestre per conduzione, convezione e radiazione = **42 x 10¹² W**

Bilancio termico (Stacey e Loper, 1988)
Crosta terrestre: 8 x 10¹² W, ricca di isotopi radioattivi
Mantello: 32,3 x 10¹² W, calore radiogenico del mantello stimato in 22 x 10¹² W
Nucleo: 1,7 x 10¹² W, no isotopi radioattivi

La Terra, un motore termico



Il nostro pianeta è formato da:
crosta, spessore ~ 20-65 km continenti
e 5-6 km in aree oceaniche,
mantello, spesso circa 2900 km,
nucleo, raggio di circa 3470 km.

La litosfera (crosta e parte esterna mantello) ha uno spessore che va da meno di 80 km nelle aree oceaniche a più di 200 km in quelle continentali e si comporta come un corpo rigido. Sotto la litosfera si trova l'**astenosfera**, formata dalla parte alta del mantello, a comportamento "meno rigido" o "più plastico".

La Terra, un motore termico

Le differenze di temperatura tra le diverse parti dell'astenosfera hanno prodotto *moti convettivi* nei materiali che la costituiscono, innescando in milioni di anni vere e proprie **celle di convezione**.

Il loro lentissimo movimento (pochi centimetri l'anno) è sostenuto dal calore prodotto in continuazione dal decadimento degli isotopi radioattivi e da quello che proviene dalle parti profonde del pianeta.

Questi fenomeni sono il motore della *tettonica a zolle*.

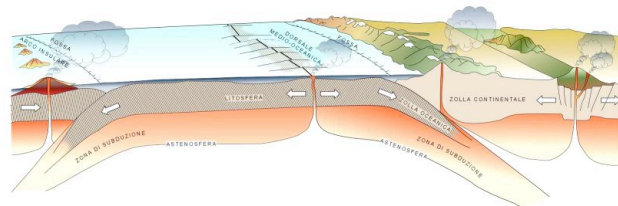
La Terra, un motore termico

I margini delle zolle corrispondono a zone di fragilità e di forte fratturazione della crosta, caratterizzate da un'elevata sismicità, dalla presenza di numerosi vulcani e, a causa della risalita di materiali fusi molto caldi verso la superficie, da un flusso di calore terrestre elevato.



La Terra, un motore termico

Le più importanti aree geotermiche si trovano nei pressi dei margini delle zolle crostali, dove il valore del gradiente geotermico può essere anche notevolmente superiore a quello medio (T da basse sino ad oltre 400°C).





2008
2009

La Terra, un motore termico

I vulcani, i geysers, le fumarole, le sorgenti calde, sono manifestazioni tangibili e visibili del calore interno della Terra, che è di tale grandezza, che la Terra è stata paragonata ad un enorme "motore termico".

L'energia termica della Terra è enorme ma si può considerare **5.000 volte inferiore** al flusso solare.



10



2008
2009

La Terra, un motore termico

Vulcani

Hawaii



Il Vesuvio nel 1944

11

La Terra, un motore termico

Geysers



Geysir è il geyser più importante dell'Islanda, genera fontane che si spingono fino ad altezze di 70-80 m (foto Bertacchini).

La Terra, un motore termico

Sorgenti calde



La Terra, un motore termico

Fumarole



14

Sistemi geotermici

In natura si possono formare sistemi geotermici in varie combinazioni di situazioni geologiche, fisiche e chimiche, che danno origine a tipi diversi di sistemi.

Il sistema geotermico è definito *normale* o *anomalo* a seconda del gradiente geotermico, che a sua volta è influenzato da vari fattori riguardanti:

- lo spessore della crosta continentale (distanza dal mantello);
- la distanza dalle fasce attive marginali;
- la composizione (contenuto di elementi radioattivi);
- il tettonismo e quindi lo stato di fratturazione;
- la quantità dei fluidi circolanti.

Il gradiente sarebbe uguale ovunque se la litosfera fosse omogenea e in assenza dei flussi convettivi nel mantello

15

Un *sistema geotermico* può essere definito come

“un fluido convettivo, che, in uno spazio confinato nella parte superiore della crosta terrestre, trasporta il calore da una sorgente termica al luogo, generalmente la superficie, dove il calore stesso è assorbito (disperso o utilizzato)” (Hochstein, 1990).

Un sistema geotermico è formato da tre elementi:

la *sorgente di calore*,

il *serbatoio*

il *fluido*, che è il mezzo che trasporta il calore (soprattutto acqua, liquida o in forma di vapore).

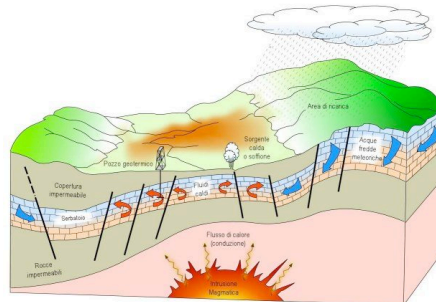
Fanno parte di un sistema geotermico anche

il *tratto di alimentazione esterna* (non sempre) o *interna* (fluidi magmatici);

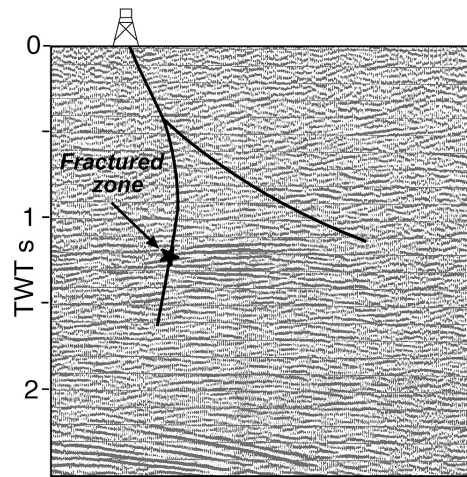
il *tratto di affioramento* (non sempre).

In un sistema geotermico si ha di norma l'infiltrazione e l'approfondimento di un fluido superficiale (acqua meteorica, diretta o indiretta), fino a raggiungere o avvicinarsi a masse rocciose più o meno calde, che trasferiscono a tale fluido il loro calore.

Rappresentazione schematica di un sistema geotermico



Il tratto di alimentazione



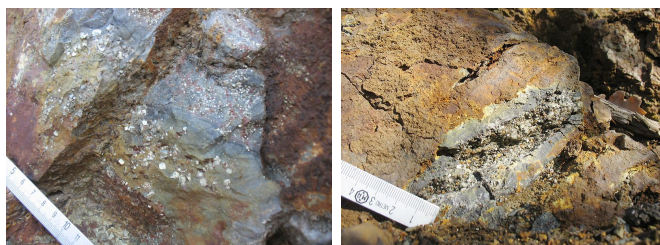
Profilo sismico

Il tratto di affioramento



Foto D. Liotta

Il tratto di affioramento



Il più comune criterio di classificazione delle risorse geotermiche si basa sull'entalpia dei fluidi che trasferiscono il calore dalle rocce calde profonde alla superficie.

L'*entalpia* (più o meno proporzionale alla temperatura) è usata per esprimere il contenuto termico (energia termica) dei fluidi, e dà un'idea approssimativa del loro "valore".

Le risorse sono divise in risorse a bassa, media ed alta entalpia (o temperatura), secondo diversi criteri.

Classificazione delle risorse geotermiche in base alla temperatura (°C)

	(a)	(b)	(c)	(d)
Risorse a bassa entalpia	<90	<125	<100	≤150
Risorse a media entalpia	90-150	125-225	100-200	*
Risorse ad alta entalpia	>150	>225	>200	>150

a) Muffler e Cataldi, 1978

b) Hochstein, 1990

c) Benderitter e Cormy, 1990

d) Nicholson, 1993



2008
2009

Cenni storici

I fluidi geotermici erano già utilizzati, per il loro contenuto energetico, nella prima parte del XIX secolo.

In quel periodo, nella zona di **Larderello** (Toscana), era stata costruita una piccola industria chimica per estrarre l'acido borico dalle acque calde che sgorgavano naturalmente dal suolo o erano estratte da pozzi di piccola profondità.

Nel 1827 **Francesco Larderel**, proprietario di questa industria, ideò un sistema per sfruttare il calore degli stessi fluidi borici nel processo di evaporazione, invece di bruciare il legname dei boschi, che si andavano esaurendo rapidamente.

22



2008
2009

Cenni storici



LARDERELLO in the 19th century

23



2008
2009

Larderello

Nello stesso periodo si cominciò anche ad utilizzare l'energia meccanica del vapore naturale. Questo venne usato per sollevare l'acqua in semplici sistemi a "gas lift" e, in seguito, per il funzionamento di pompe ed argani impiegati nelle operazioni di perforazione o nell'industria dell'acido borico.

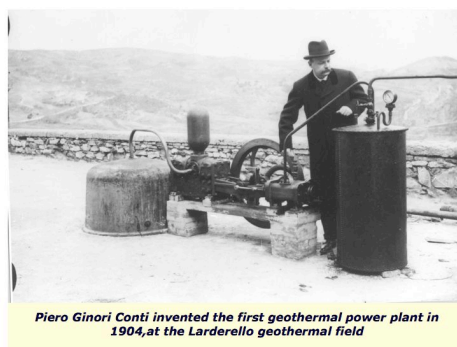
L'industria chimica di Larderello detenne, tra il 1850 ed il 1875, il monopolio della produzione dell'acido borico in Europa. Nella medesima area geotermica, tra il 1910 ed il 1940, si avviò, ampliandosi progressivamente, l'utilizzazione del vapore a bassa pressione per il riscaldamento di edifici residenziali ed industriali, e di serre.



2008
2009

Larderello

Il primo tentativo di produrre elettricità dall'energia contenuta nel vapore geotermico è stato fatto a Larderello nel 1904.



Piero Ginori Conti invented the first geothermal power plant in 1904, at the Larderello geothermal field

La produzione di elettricità a Larderello fu un successo commerciale, oltre che della tecnica, tanto che, nel 1942, la potenza geotermoelettrica installata aveva raggiunto 127.650 kW.

Nel 1928 anche l'Islanda, un altro paese all'avanguardia nell'utilizzazione dell'energia geotermica in Europa, cominciò a sfruttare i fluidi geotermici, soprattutto acqua calda, per il riscaldamento di edifici.

L'esempio italiano fu seguito da numerosi altre nazioni.



Foto M. Bertacchini



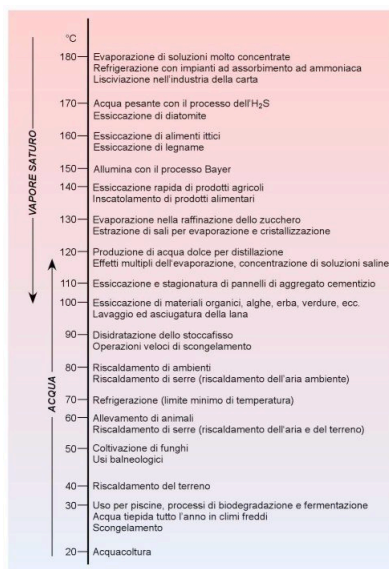
Foto M. Bertacchini



La produzione di elettricità è la forma di utilizzazione più importante delle risorse geotermiche ad alta temperatura ($>150^{\circ}\text{C}$).

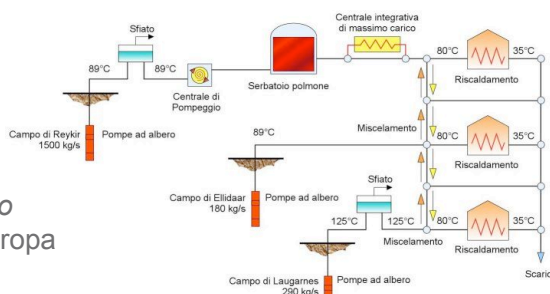
Le risorse a temperatura medio – bassa ($<150^{\circ}\text{C}$) sono adatte a molti tipi di impiego.

Il classico diagramma di Lindal (Lindal, 1973) mostra i possibili usi dei fluidi geotermici tra 20° e 180°C .

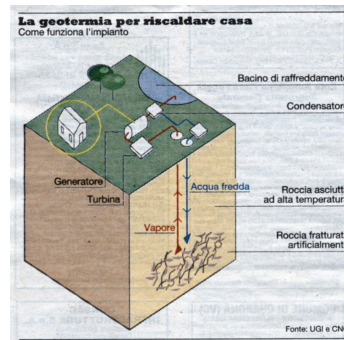


L'utilizzazione diretta del calore è la forma di sfruttamento dell'energia geotermica più antica, più diversificata e versatile e più comune. I bagni termali, il riscaldamento urbano e di ambienti, gli usi agricoli, l'acquacoltura e gli impieghi industriali sono le utilizzazioni meglio conosciute e più diffuse.

Il *riscaldamento di ambienti e quello urbano* hanno avuto un grande sviluppo in Islanda, dove sono operativi (1999) sistemi di riscaldamento geotermico per una potenza di 1200 MW_t .



Il *riscaldamento di ambienti e quello urbano* è molto diffuso anche in Europa Orientale, negli Stati Uniti, in Cina, Giappone, Francia, ecc.



Il condizionamento di ambienti con l'energia geotermica si è diffuso notevolmente a partire dagli anni '80.

