CORSO DI ETICA Anno Accademico 2019-2020



Riscaldarsi: come?



Prof. Massimo ODDONE

Dipartimento di Chimica Generale

Università degli Studi di Pavia

Viale T. Taramelli, 12

27100 Pavia

<u>@-mail</u> massimo.oddone@unipv.it



A questa domanda mi porta alla mente i miei studi giovanili sul fuoco e il mito di Prometo

"I fuoco vive della morte della terra e l'aria vive della morte del fuoco; l'acqua vive della morte dell'aria, la terra della morte dell'acqua" (Eraclito)

Racconta la leggenda che quando Zeus incaricò Prometeo di forgiare l'uomo, egli lo modellò dal fango e lo animò con il fuoco divino.

Tanto era importante per il Titano la sua creazione che fu disposto a sottrarre ad Atena il suo scrigno, in cui erano riposte intelligenza e memoria, perdonarle agli umani.

Zeus preoccupato per tale elargizione agli uomini che con queste qualità sarebbero diventati sempre più capaci e potenti, già pensava di distruggerli.

Il conflitto tra Zeus e il Titano si fece sempre più acuto: Prometeo, con uno sfrontato raggiro, riservò la parte immaginabile di un enorme bue agli dei, lasciando agli uomini la parte carnosa; cosa che riempì di ira Zeus, il quale, per rivalsa, tolse il fuoco agli uomini, nascondendolo.

Il Titano allora, con un artificio, rubò il fuoco dall'Olimpo, nascondendolo nel cavo di una canna, per ridarlo agli uomini.

Zeus, quindi oltremodo offeso, inviò sulla Terra Pandora.

Dono tanto affascinante quanto pericolosissimo.

Infatti ella, prima donna del genere umano, porta con sè un vaso sigillato, ma con il divieto assoluto di aprirlo.

Però, si sa, la curiosità è donna: il vaso viene aperto e da esso escono, per sempre, tutti i mali del mondo.

Nel mito, quindi, bene e male si stringono nel fuoco, in un abbraccio fatale.

Nonostante che questa forma di energia abbia per sempre cambiato in meglio le sorti dell'umanità, racchiude in se il mistero: fonte di calore e di luce, elemento dalla materialità domestica, resta però inafferrabile agli uomini, a volte irrefrenabile, spesso temibile e altrettanto seducente.

L'energia è il grande motore della vita vegetale e animale; il Sole fornisce energia per la fotosintesi e scalda la Terra in modo da tenere l'acqua allo stato liquido e da rendere abitabili le terre emerse e gli oceani.

Ma quell'animale speciale che è l'uomo ha bisogno di altre fonti di energia ed è diventato, nel corso dei millenni, capace di utilizzare l'energia del Sole anche per altri fini *economici*.

Qualcuno ha, per esempio scoperto, che sulla riva del mare il Sole faceva evaporare l'acqua lasciando come residuo il prezioso sale, il prototipo della saline solari; qualcuno ha scoperto che gli incendi dei boschi dovuti a fulmini generavano il fuoco che poteva essere conservato e riprodotto e che i vegetali (di origine *solare* anch'essi) erano adatti combustibili per illuminare e scaldare le caverne.

Un ruolo essenziale dell'energia fu rappresentato dalla produzione della luce; le lucerne alimentate con oli e grassi hanno rappresentato la fonte di illuminazione fino al Settecento.

Con il *fuoco* era possibile cuocere e rendere meglio conservabili e digeribili gli alimenti.

Qualcuno ancora ha scoperto che la forza del vento (generato anche lui dal calore solare che scalda diversamente oceani e continenti) poteva essere *raccolta* dalle vele e poteva spingere una barca.

L'energia del lavoro umano era comunque quella, insieme all'energia fornita dagli animali, che ha spinto avanti la "civiltà" fino all'epoca dei grandi imperi.

Del resto l'energia degli schiavi era abbondante e poteva essere usata per scavare e spostare pietre e costruire gli edifici dei re e dei sacerdoti.

A poco a poco ci si è resi conto che il lavoro degli schiavi poteva essere reso più efficiente, oggi la chiamano *produttività*, se erano forniti di strumenti metallici e che alcuni minerali e pietre potevano essere trasformati, con il calore, in metalli duri, dapprima rame e bronzo e più tardi (ma siamo ormai ai *giorni nostri*, tremila anni fa) il ferro.

E poi che il cibo poteva essere conservato in recipienti ottenuti trattando a caldo certe terre che oggi chiamiamo argille.

La più abbondante e comoda fonte di calore per i metalli e per le ceramiche era sempre fornita dalla combustione del legname dei boschi.

Un importante passo avanti si è fatto quando qualcuno, 5000 anni fa, ha osservato che, dopo l'incendio di un bosco, restava del materiale nero che bruciava ancora, anzi bruciava meglio del legno: il carbone di legna prodotto per combustione parziale del legno si prestava meglio del legno per alcune operazioni metallurgiche e nei forni.

Il carbone di legna era in uso comune in Egitto per la produzione di metalli e del vetro.

La successiva importante fonte energetica rinnovabile fu offerta dal moto delle acque, circa 2000 anni fa; ben presto ci si è accorti che quando l'acqua supera un dislivello ha in sè dell'energia che può essere utilizzata per muovere una ruota ed è nata così l'energia idraulica, rinnovabile anche lei perché legata al ciclo naturale dell'acqua.

Molto approssimativamente si può dire che i progressi nel campo dell'energia coincidono con i periodi di grande sviluppo economico, con i grandi imperi, anche se per il primo principio della Termodinamica non tutta energia viene utilizzata per produrre lavoro, ma una parte di essa viene convertita in calore, che è la forma vile, in quanto non è recuperabile.

In questo periodo, grazie al flusso di informazioni portate attraverso l'Asia da mercanti e viaggiatori, si osserva il fiorire di *macchine* alimentate dalle varie fonti di energia principalmente il calore ottenuto con la combustione del legno, l'energia idrica, l'energia del vento e del Sole.

Ma dobbiamo ricordarci che quando si fa una qualunque reazione di combustione, ossia si brucia qualcosa, si libera diossigeno di carbonio, schematicamente:

$$C + O_2 \rightarrow CO_2$$

I processi di combustione sino fonti non rinnovabili: le fonti destinate ad esaurirsi

Le prime tre vanno ad aumentare l'effetto serra con gravi conseguenze sull'ambiente.

Passando alle fonti nucleari, la fissione è la modalità di produzione energetica attualmente utilizzata: partendo dagli atomi di uranio e plutonio, un nucleo pesante viene scisso in due nuclei più leggeri e la differenza di massa viene liberata come energia.

Ma da dove derivano le fonti non rinnovabili?

La risposta è dal Sole in senso indiretto che è la principale fonte energetica di l'energia rinnovabile.

Il Sole è l'unico reattore nucleare che funziona!

Buckminster Fuller (1895-1983), "The Grunch of Giants", New York, St. Martin's Press, 1983,

Oggi siano in grado di assicurare, in maniera duratura, a ogni abitante della Terra un benessere da miliardario, usando soltanto meno dell'uno per cento dell'energia che ci arriva ogni giorno dal nostro reattore nucleare cosmico, il Sole, posto a 150 milioni di chilometri di distanza, del tutto sicuro, che trattiene al suo interno le scorie, capace di assicurarci la fotosintesi, la pioggia, il moto ondoso e tutte le altre ricchezze offerte dalla natura.

Quando si parla di energia solare il pensiero corre subito alle distese di pannelli fotovoltaici che si stanno diffondendo in tanti paesi.

In Italia, ma dicono che la Cina sia la più grande produttrice di elettricità dal Sole, e anche la più grande produttrice e esportatrice di pannelli solari e di macchinari che utilizzano fonti energetiche rinnovabili, fra cui motori eolici che producono elettricità utilizzando la forza del vento che deriva, anche lei, dal modo in cui il Sole scalda diversamente i vari continenti.

Innanzitutto il Sole è la fonte di energia che produce la biomassa vegetale che sta alla base dell'unica irrinunciabile *merce* costituita dagli alimenti umani e animali.

Ancora oggi la biomassa vegetale da cui ricavare *merci economiche* come alimenti e legname, assorbe ogni anno una quantità di energia corrispondente a quella *contenuta* in circa 5 miliardi di tonnellate di petrolio, una quantità superiore a quella di tutto il petrolio estratto ogni anno dai pozzi.

Dalla biomassa vegetale solare le società del passato hanno tratto legname come combustibile e come materiale da costruzione; il calore solare è stato sfruttato sulle rive del mare per ottenere il prezioso sale, indispensabile per conservare la carne e le pelli; con il vento sono state mosse le navi e, naturalmente, dalla biomassa solare sono stati tratti gli alimenti per gli esseri umani e per gli animali, il cui lavoro ha fornito lavoro meccanico prima dell'invenzione dei trattori a motore.

Senza contare che dal Sole traggono ancora oggi la maggior parte dell'energia utile gli abitanti delle zone povere del pianeta.

Del resto non c'è da meravigliarsi perché è grandissima la quantità di energia irraggiata dal Sole che raggiunge la Terra, messa a girare intorno al Sole ad una distanza *giusta* tale da ricevere dal Sole, tanta, ma non troppa, energia in modo da raggiungere, grazie all'atmosfera gassosa, una temperatura media un pò superiore a quella che chiamiamo zero gradi Celsius, quella giusta per tenere l'acqua allo stato liquido.

Oggi abbiamo motivo di comprendere lo straordinario ruolo del Sole anche se le antiche società umane hanno da sempre studiato attentamente il Sole, il suo moto apparente nel cielo e si sono interrogate su come ricavarne qualcosa di utile per alleviare la fatica del lavoro umano.

Le notizie sulla utilizzazione intenzionale del calore solare si perdono nelle leggende.

Energia Nucleare: Un pericolo che non esisterà più?

Per Energia Nucleare si intendono tutti quei fenomeni a partire dai quali avviene una produzione di energia a seguito di specifiche trasformazioni dei nuclei atomici pesanti.





L'intuizione che l'atomo potesse rappresentare una fonte energetica l'abbiamo all'inizio del secolo grazie a Albert Einstein che, nel 1905, pose le basi per la teoria della relatività.

La ricerca sull'atomo, in più di un secolo di studi, è progredita in modo talmente spedito che oggi, su tutto ilpianeta, sono molte le centrali nucleari che producono energia per soddisfare le più svariate richieste energetiche.

Ma in che modo si produce energia a partire da un atomo?

Fondamentalmente le modalità di produzione si ritrovano nella fusione (unione) di nuclei leggeri o dalla fissione (rottura) di un nucleo atomico pesante.

Ad oggi, però, non esistono centrali nucleari in grado di utilizzare la fusione come modalità sicura ed affidabile per la produzione di energia.

Si tratta, infatti, di un procedimento instabile e soprattutto in grado di produrre enormi quantitativi di energia il cui effetto può essere decisamente catastrofico.

Proprio sulla fusione, infatti, si basa la cosiddetta bomba atomica o bomba H.

La fissione, invece, è la modalità di produzione energetica che viene attualmente utilizzata e destinata all'uso umano e industriale.

In particolare si tratta di metodologie che, partendo dagli atomi di uranio e plutonio, vengono portate avanti da circa 50 anni, arrivando oggi a produrre circa il 16% dell'energia elettrica mondiale.

La storia della fissione nucleare è, però, recente: i primi risultati pratici si devono ad un illustre fisico italiano.

Fu Enrico Fermi che, per la prima volta nel 1934, bombardò l'uranio con alcuni neutroni, arrivando così a creare un nuovo tipo di energia.

Una scoperta, oltre a conferirgli il premio Nobel, fu anche il punto di partenza di diverse sperimentazioni che presero il via poi in tutto il mondo.

Un processo che è progredito molto in fretta, se si pensa che neanche un secolo dopo il nucleare rappresenta una realtà energetica affermata.

In termini di storia delle centrali nucleari, i primi veri risultati in termini di utilizzo di energia si ebbero nel 1954, quando la centrale di Obninsk (ex URSS) divenne il primo impianto in grado di generare elettricità.

Tuttavia la prima vera e propria centrale atomica entrò in funzione solo due anni dopo, nel 1956 a Sallafield in Inghilterra.

Realtà energetica affermata, il nucleare è però una continua fonte di dibattito e controversie.

È infatti indubbio che si tratti di una metodologia potenzialmente pericolosa:

il ricordo di Černobyl, nel ex URSS nel 1987 e la memoria delle conseguenze derivate dall'esplosione di uno dei reattori della centrale sono ancora vive nella memoria di tutti e il disastro nucleare alla centrale giapponese di Fukushima nel 2011, fantasma di una nuova contaminazione si rifà vivo a seguito del terribile sisma che ha scosso il Giappone, paese in cui sono presenti e in funzione alcune centrali nucleari.

L'aspetto positivo della produzione energetica tramite il nucleare è quindi controbilanciato dagli svantaggi che la costruzione e la funzione di una centrale del genere porta intrinsecamente con sé.

Vantaggi energia nucleare.

Il vantaggio principale dell'energia nucleare consiste nella produzione di energia elettrica a ciclo continuo per prolungati periodi di tempo.

Complessivamente i vantaggi dell'energia nucleare sono i seguenti: Non produce gas serra.

L'energia nucleare non produce i gas serra. La produzione di energia dall'atomo, non è basata sulla combustione di risorse fossili o vegetali, non causa l'emissione in atmosfera dei gas responsabili del peggioramento dell'effetto serra (es. anidride carbonica).

Produzione di energia elettrica su vasta scala. Da una piccola quantità di uranio una centrale atomica riesce a produrre una grande quantità di energia elettrica a ciclo continuo.

Ciclo di vita della centrale.

L'impianto nucleare può funzionare ininterrottamente per 40-60 anni. Un periodo di tempo così lungo consente di ammortizzare l'elevato costo iniziale della centrale atomica.

Approvvigionamento energetico. L'energia nucleare riduce la dipendenza dall'estero nell'approvvigionamento energetico, in quanto consente di produrre una parte dell'energia elettrica altrimenti prodotta importando gas, carbone o petrolio.

Svantaggi energia nucleare.

Il principale svantaggio dell'energia nucleare sono le conseguenze sull'ambiente e sull'uomo in caso di disastro nucleare.

Complessivamente gli svantaggi dell'energia nucleare sono i seguenti:

Scorie radioattive.

Nel processo di fissione nucleare sono prodotti anche rifiuti radioattivi di vario grado che necessitano d'essere lavorati e/o stoccati in depositi di massima sicurezza per migliaia di anni.

Lo stesso trasporto del materiale radioattivo (scorie) dalla centrale al deposito è un problema sia tecnologico che sociale.

Solo energia elettrica. L'energia nucleare consente di produrre elettricità.

Questo consente di soddisfare la domanda di energia elettrica ma non risolve appieno il problema dell'approvvigionamento energetico di un paese.

Ad esempio, in Italia i consumi elettrici pesano circa 1/3 dei consumi di energia primaria.

Il vettore elettrico soddisfa gran parte delle esigenze della società avanzata ma non tutte (es. carburanti per il trasporto, combustibili per il riscaldamento, ecc.).

Tecnologia capital intensive.

Il nucleare è una tecnologia capital intensive, ossia necessita di grandi investimenti.

Oltre ad essere caratterizzata da elevati costi iniziali, la tecnologia nucleare richiede anche un *know how* tecnologico nel paese sia per quanto riguarda la gestione delle centrali nucleari e sia per la gestione del ciclo del combustibile nucleare.

Queste caratteristiche rendono più complesso il ricorso all'energia nucleare da parte dei paesi poveri ed a bassa industrializzazione, senza aumentare anche la dipendenza tecnologica dai paesi più sviluppati.

Elevati costi iniziali e finali.

Una centrale nucleare richiede elevati investimenti iniziali per la costruzione dell'impianto e del combustibile.

A questi costi si aggiungono i costi finali necessari per il *decommissioning*, lo smaltimento e la messa in sicurezza delle scorie al termine del ciclo di vita dell'impianto.

Sicurezza centrali nucleari.

Le centrali nucleari richiedono un livello di sicurezza maggiore rispetto alle altri centrali elettriche poiché maggiori sono le conseguenze ambientali in caso di disastro o di incidente.

Proliferazione nucleare.

Il ritrattamento del combustibile irragiato negli impianti civili consente di produrre il plutonio tramite il quale si possono produrre le armi nucleari e la bomba atomica.

Per tali ragioni il settore dell'energia nucleare è sottoposto a rigidi controlli da parte della comunità internazionale.

Da questo punto di vista il nucleare è un importante argomento sui tavoli delladiplomazia e della politica internazionale (es. nucleare in Iran).

In sostanza, le teorie su un futuro senza centrali nucleari sono destinate a diventare realtà, in quanto gli aspetti negativi superano nettamente quelli positivi, indipendentemente dalla prospettiva con la quale si analizzano???

L'energia geotermica: Calore terrestre

L'esistenza di un'energia termica all'interno della Terra è un fatto certo e ben conosciuto.

Vulcani, sorgenti termali, soffioni, geyser e le elevate temperature presenti nelle miniere e nei pozzi documentano in modo inequivocabile la presenza di un calore interno.

Le cause che hanno prodotto alla formazione del calore attualmente presente all'interno della terra sono molteplici.

Gran parte di esso deriva dal decadimento degli isotopi radioattivi presenti nelle rocce, in particolare quelle acide della crosta terrestre, che contengono uranio, torio e potassio, con tempo di dimezzamento molto lungo, e sarebbero responsabili del 40% delle emissioni termiche della superficie.

Gli elementi radioattivi avrebbero determinato inoltre la fusione dei metalli, in particolare del ferro.

Quest'ultimo spostandosi verso il centro della Terra a causa della gravità, avrebbe liberato grandi quantità di energia gravitazionale sotto forma di calore, alzando ulteriormente la temperatura.

Infine, va aggiunto il calore primordiale della Terra, che si aggirerebbe attorno ai 1000°C, dovuto alla pressione prodotta dalla compattazione delle particelle e dal loro attrito.

Una possibilità di misurare direttamente la quantità di uranio presente nel nostro pianeta, e quindi il suo contributo radiogenico al calore terrestre, è rappresentata dai *geoneutrini*, ovvero gli antineutrini prodotti dai decadimenti beta dei nuclei radioattivi naturali contenuti nella Terra, fracui i più importanti sono quelli che costituiscono la catena di decadimento dell'uranio-238.

Nel 2005 i *geoneutrini* sono stati osservati per la prima volta dall'esperimento Kamlandin Giappone e quindi confermati dall'esperimento Borexino, presso i Laboratori Nazionali del Gran Sasso.

La bassissima probabilità di interazione tra gli antineutrini e i nuclei di idrogeno degli idrocarburi liquidi utilizzati per la loro rivelazione (Borexino misura un geoneutrino circa ogni quattro mesi) rendono queste misure ancora troppo incerte per poterporre dei vincoli stringenti ai modelli che stimano il calore radiogenico prodotto dall'uranio in un intervallo compreso tra 5 TW e 13 TW.

Con l'integrazione dei dati raccolti dai rivelatori Sno+ (Canada) e Juno (Cina), attesi per il prossimo decennio, la possibilità di stimare la massa di uranio presente sulla Terra diventerà più concreta.

Oltre a innescare una catena di decadimenti, il nucleo di uranio può rompersi spontaneamente in due parti, dando origine alla cosiddetta "fissione spontanea".

Sebbene sia un evento molto raro (la probabilità per un nucleo di uranio-238 è inferiore a uno su 100 milioni) è possibile osservarne le tracce in alcuni minerali come gli zirconi.

Il processo di fissione può innescare una reazione a catena che produce una notevole quantità di energia: in prossimità del fiume Oklo (Gabon) nel 1972 è stato ritrovato l'unico reattore nucleare naturale al mondo.

Che si è attivato circa 2 miliardi di anni fa, ha funzionato per qualche centinaia di anni scaldando la roccia circostante fino a circa 450 °C.

Nel 1934 i "ragazzi di via Panisperna", guidati da Enrico Fermi, realizzarono la prima fissione artificiale di nuclei di uranio utilizzando neutroni.

Questi pioneristici esperimenti segnarono l'inizio dell'era della fissione nucleare per la produzione di energia elettrica e di armamenti nucleari.

Nel 2016 i 451 reattori nucleari operativi in tutto il mondo hanno prodotto circa 0,4 TW di potenza elettrica, sufficiente per il fabbisogno di circa 400 milioni di persone.

L'uranio, pertanto, è una fonte di energia non solo per il pianeta Terra, ma anche per l'umanità che lo abita.

Per queste ragioni dalla fine della seconda guerra mondiale l'uranio è diventato sempre più un elemento strategico da estrarre dalle rocce della crosta terrestre dove abitualmente si trova in concentrazioni di una parte per milione, ma in particolari depositi può raggiungere abbondanze dell'ordine del percento.

L'uranio rimane un elemento ricco di fascino, ultimo tra gli elementi naturali della tavola periodica, ma capostipite di una serie di processi radioattivi associati spesso a problemi scientifici interdisciplinari e fortemente legati alla vita dell'uomo.



La struttura interna dell'esperimento Borexino, grazie al quale è stato possibile misurare i geoneutrini prodotti dall'uranio presente nella Terra

Ha un valore medio di 2-3 °C/100 metri, ma può variare anche notevolmente da località a località, con punte di 0.6°C/100 m e 14°C/100 m, a causa di particolari fenomeni geologici.

Il grado geotermico è il numero di metri che bisogna scendere sotto la superficie terrestre per avere l'aumento di 1°C. Il grado geotermico è in media circa 39 m.

Applicando questo valore all'intero raggio terrestre, otterremmo una temperatura al centro della Terra di oltre 190000 °C, ma una tale situazione provocherebbe la fusione del nostro pianeta, per cui questo valore deve avere validità solo per la superficie.

Sappiamo, infatti, dalla sismologia che le onde trasversali, che non si trasmettono sui fluidi, attraversano tutto il mantello, vengono bloccate nel nucleo esterno per ricomparire nel nucleo interno; perciò si può dedurre, in base alla composizione mineralogica, che la temperatura del centro della Terra non può superare i 5000°C.

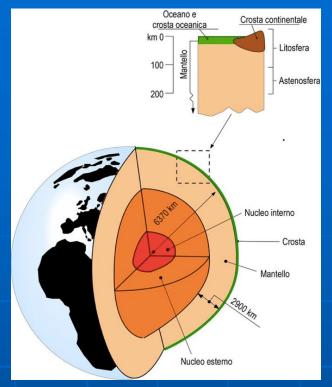
A tale temperatura, le rocce dovrebbero fondere ma, a causa dell'elevatissima pressione, ciò non avviene. Attraverso i dati forniti dalle onde sismiche e dai valori della pressione, è stato calcolato l'andamento delle temperature all'interno della Terra, descritto da una curva chiamata geoterma.

Comunque, teorie e modelli termici realistici non sono stati disponibili sino agli anni '80, quando è stato dimostrato che non c'è equilibrio tra il calore prodotto dal decadimento degli isotopi radioattivi presenti nell'interno della Terra ed il calore disperso dalla sua superficie verso lo spazio, e che il nostro pianeta si sta lentamente raffreddando.

Per dare un'idea della grandezza dei fenomeni di cui si parla, si può fare riferimento al bilancio termico di Stacey e Loper (1988), nel quale il flusso di calore totale dalla superficie terrestre è valutato 42×10^{12} W (conduzione, convezione e radiazione).

Di questa grandezza, $8x10^{12}$ W provengono dalla crosta terrestre, che rappresenta soltanto il 2% del volume totale della Terra, ma è ricca di isotopi radioattivi, $32,3x10^{12}$ W derivano dal mantello, che è l'82% del volume totale della Terra, e $1,7x10^{12}$ W provengono dal nucleo, che costituisce il 16% del volume totale del pianeta e non contiene isotopi radioattivi (uno schema della struttura interna della Terra è rappresentato nella Figura 1). Poiché il calore radiogenico del mantello è stimato in $22x10^{12}$ W, il raffreddamento di questa parte della Terra è $10,3x10^{12}$ W.

Calcoli più recenti, basati su un numero maggiore di dati, hanno portato ad un valore del flusso di calore totale dalla superficie del 6% più alto di quello utilizzato da Stacey e Loper, modificando leggermente le conclusioni di questi ultimi.



Schema della struttura interna della Terra: crosta, mantello e nucleo. A destra in alto, un dettaglio della crosta e della parte superiore del mantello.

Il raffreddamento del pianeta, comunque, è molto lento.

La temperatura del mantello è scesa, al più, di 300°-350°C in tre miliardi di anni e, alla sua base, è di circa 4000°C.

È stato stimato che il calore totale contenuto nella Terra, assumendo una temperatura superficiale media di 15° C, sia dell'ordine di $12,6x10^{24}$ MJ e che quello contenuto nella crosta sia dell'ordine di $5,4x10^{21}$ MJ .

L'energia termica della Terra è quindi enorme, ma soltanto una parte di essa può essere sfruttata. Sino ad oggi, l'utilizzazione di questa energia è stata limitata a quelle aree nelle quali le condizioni geologiche permettono ad un vettore (acqua in fase liquida o vapore) di "trasportare" il calore dalle formazioni calde profonde alla superficie o vicino ad essa, formando quelle che chiamiamo risorse geotermiche.

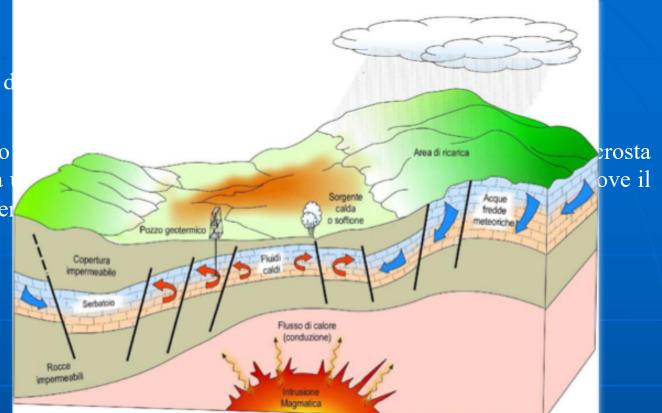
Nuove vie potrebbero però essere aperte in un futuro prossimo da metodi innovativi e tecnologie d'avanguardia, alcuni già in fase di sperimentazione.

Molte risorse, tra queste anche quelle geotermiche, sono state sfruttate, all'inizio, senza conoscerne esattamente la natura e solo in un secondo momento sono state studiate scientificamente e ne è stata sviluppata la tecnologia.

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

Un sistema geotermico viene d

un sistema acqueo convettivo terrestre, trasporta il calore da calore stesso è assorbito (disper



È caratterizzato da tre elementi fondamentali:

Sorgente di calore che permette il riscaldamento delle rocce e dei fluidi (aria, acqua o fasi miste) che circolano al loro interno

Serbatoio che permette l'accumulo dei fluidi, la loro circolazione e ricambio

Fluido che entrando freddo nel sistema, si riscalda ed assume quindi la vera funzione di vettore di calore trasportandolo verso i livelli più superficiali

Frequentemente viene fatta una suddivisione tra sistemi geotermici ad acqua dominante e sistemi geotermici a vapore dominante:

ACQUA DOMINANTE:

- l'acqua liquida è la fase continua, che controlla la pressione; vapore può essere presente, in forma di bolle.
- Questi sistemi geotermici, la cui temperatura può andare da 125° a 225°C, sono i più diffusi nel mondo e possono produrre acqua calda, una miscela di acqua e vapore, vapore umido o, in alcuni casi, vapore secco.
- VAPORE DOINANTE (a vapore secco): coesistono nel serbatoio acqua liquida e vapore. che è la fase continua e controlla la pressione.
- Sono sistemi ad alta temperatura, anche superio ri ai 350°C e normalmente producono vapore secco o surriscaldato (Larderello in Italia e The Geysers in California).
- Viene anche fatta una suddivisione in funzione della modalità di ricarica del serbatoio geotermico.calda pressurizzata, che è rimasta intrappolata al momento della deposizione.

SISTEMI DINAMICI:

l'acqua ricarica in continuazione il serbatoio, si riscalda ed è poi scaricata alla superficie o nel sottosuolo stesso nelle formazioni rocciose permeabili all'intorno. li calore è acquisito dal sistema per convezione e per effetto della circolazione dei fluidi.

SISTEMI STATICI:

la ricarica del serbatoio è molto ridotta e lo scambio termico avviene soltanto per conduzione. Comprende sistemi a bassa T e i sistemi geopressurizzati.

Questi possono formarsi nei grandi bacini sedimentari a profondità di 3-7 km. Sono formati da rocce sedimentarie permeabili, inglobate entro strati impermeabili a bassa conduttività, contenenti acqua calda pressurizzata, che è rimasta intrappolata al momento della deposizione.

Sistemi geotermici vengono anche cl

L'entalpia, solitamente indicata con l che un sistema termodinamico può s

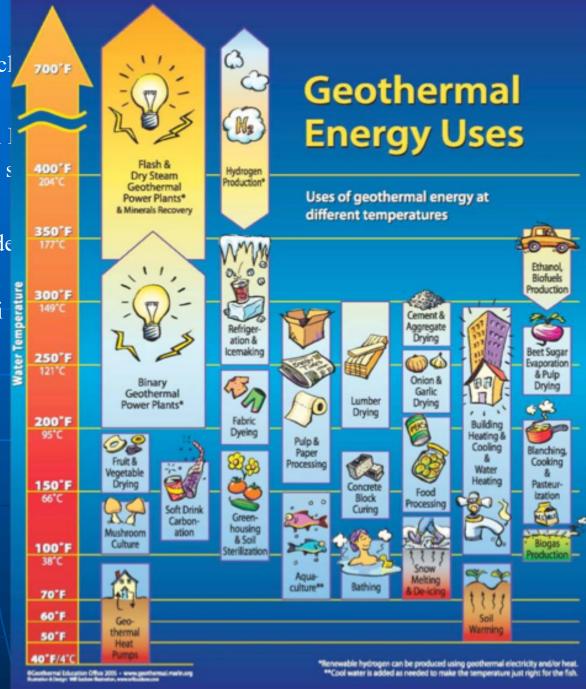
L'entalpia è definita dalla somma de sistema.

La figura riporta il diagramma di funzione della temperatura.

Alta H (T >150°C)

Media H (T<150°C)

Bassa H (T<90°C)

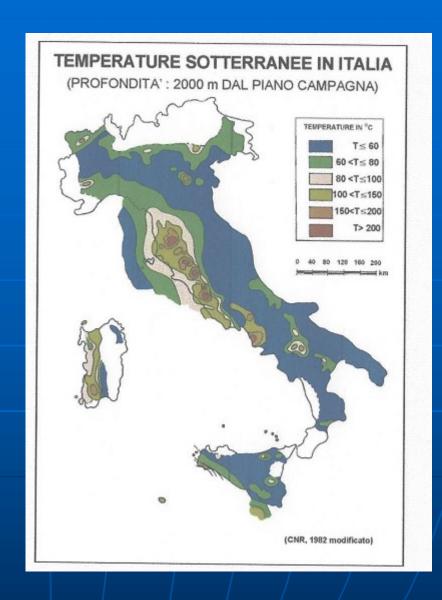


In Italia...

In particolare nel centro Italia esistono aree di interesse geotermico (viola).

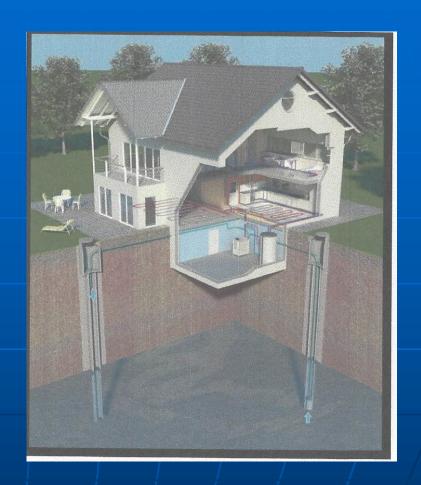
Anche però nei settori a scarso potenziale (verdi) non mancano aree ancora interessanti (es Valdieri, Vinadio e Acqui Terme in Piemonte).

Inoltre, acque a relativamente basse temperature sono diffuse praticamente sull'intero territorio nazionale e le tecnologie a pompe di calore permettono l'utilizzo del sottosuolom come scambiatore di calore in qualsiasi condizione

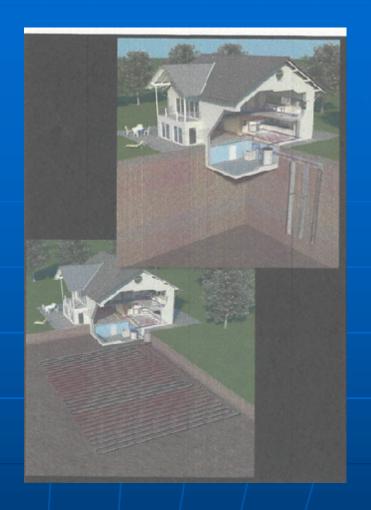


Circuito Aperto: si sfrutta l'acqua di falda sia come sorgente di energia termica sia come fluido che scorre nel circuito che scambia energia con la pompa di calore.

In questa tipologia di impianti vengono realizzati dei pozzi, alimentati dalla falda, da cui l'acqua viene prelevata ed inviata allo scambiatore che si connette con la pompa di calore, per poi essere pompata nuovamente in falda (utilizzando un pozzo diverso da quello di mandata o, nel caso in cui sia utilizzato lo stesso pozzo, l'acqua di ritorno viene pompata sulla superficie del pozzo mentre quella di alimentazione viene prelevata dal fondo).



Circuito Chiuso: viene installato un circuito di tubazioni in PVC ad "U", poste verticalmente in apposite pozzi ottenute mediante perforazioni (sistema verticale) o orizzontalmente mediante escavazione nel terreno di una trincea (sistema orizzontale). In entrambi i casi si tratta di un circuito chiuso, impermeabilizzato, in cui il fluido termovettore (acqua mista a glicole liquido antigelo} presente all'interno svolge solamente la funzione di trasferire il calore dal suolo al circuito della pompa di calore e viceversa



La geotermia è spesso considerata come una fonte di energia alternativa rinnovabile, pulita e sostenibile rispetto a quelle convenzionali. li suo sfruttamento (in particolare l'alta entalpia) può produrre sia benefici che effetti negativi sull'ambiente e sulla popolazione locale.

Ogni stadio dello sviluppo geotermico (esplorazione, perforazione e produzione) ha un impatto sull'ambiente, specialmente per quanto riguarda l'inquinamento di aria e acqua, impatti di tipo paesaggistico e uso del suolo.

Nelle regioni ad alto potenziale geotermico dovranno essere considerati anche gli aspetti sociali ed economici.

Vedremo però che la geotermia ha gli impatti ambientali più bassi non solo rispetto alle fonti tradizionali ma anche rispetto alle altre fonti rinnovabili.

Si possono individuare i seguenti tipi di conseguenze ambientali:

- 1. emissioni di gas in atmosfera
- 2. utilizzo e contaminazione delle acque
- 3. emissioni solide sia in superficie che in atmosfera
- 4. inquinamento acustico
- 5. uso del suolo ed impatti visivi
- 6. Subsidenze
- 7. sismicità indotta
- 8. Frane
- 9. alterazione degli habitat di flora e fauna
- 10. eventi catastrofici

Emissioni di gas in atmosfera

I fluidi geotermici contengono gas disciolti costituiti principalmente da anidride carbonica (CO₂) e acido solfidrico (H₂S) oltre a piccole quantità di metano, ammoniaca, idrogeno, azoto e radon. Sono presenti, inoltre, alcune specie volatili come boro, arsenico e mercurio.

In generale gli impianti binari non producono nessuna emissione di CO₂ mentre gli impianti a vapore o flash producono quantità di CO₂ sensibilmente inferiori agli impianti tradizionali di produ zione di energia elettrica.

Tipo di inquinqmento	CO ₂ (kg/ MWh)	SO ₂ (kg/ MWh)	NO _x (kg/ MWh)	Particolato (kg/ MWh)
Carbone	994	471	1,955	1,022
Petrolio	758	554	1,814	-
Turbina a gas	550	0,0998	1,343	0,0635
Geotermico (Flash)	27,2	0,1588	0	0
Geotermico a vapore dominante	40,3	0,000098	0.000458	trascurabile
Geotermico Binario	0	0	0	О

Utilizzo e contaminazione delle acque:

Uno dei maggiori effetti dell'utilizzazione dell'energia geotermica è l'inquinamento chimico delle falde acquifere superficiali per contaminazione con i fluidi geotermici profondi. I fluidi geotermici "esausti" contengono inquinanti ad alto rischio ambientale come l'arsenico (As), il boro (B), il mercurio (Hg), l'antimonio (Sb) ed altri metalli pesanti come il piombo (Pb), il cadmio (Cd), il ferro (Fe), lo zinco (Zn) e il manganese (Mn). Litio (Li), ammoniaca (NH₃) e alluminio (Al) possono essere, inoltre, presenti in concentrazioni dannose ed aumentano all'aumentare della temperatura dei fluidi geotermici.

Le acque che fuoriescono dagli impianti vengono opportunamente depurate e filtrate in appositi impianti di trattamento e depurazione per ridurre al minimo le possibilità di contaminazione.

Emissioni solide sia in superficie che in atmosfera:

I solidi che generalmente possono risultare da un impianto geotermoelettrico solo legati a sostanze inizialmente dissolte nei fluidi geotermici che durante la circolazione nell'impianto precipitano.

Anche in questo caso esistono dei metodi di trattamento di tipo chimico che permettono sia di controllare la precipitazione di queste sostanze sia di reimmetterle in soluzione nei fluidi che poi vengono iniettati di nuovo nel *reservoir* nel caso in cui i precipitati possano andare ad inficiare il rendimento del *reservoir* ad esempio riducendone la permeabilità vengono stoccati in apposite serbatoi.

Inquinamento acustico:

Il rumore percepibile nell'area di un campo geotermico è principalmente associato alle fasi di perforazione (impatto temporaneo e raramente al di sopra di 90 dB) e in quello derivante da prove di produzione (raramente al di sopra dei 120 dB).

Mentre, nella fase di produzione un dispositivo silenziatore può ridurre il rumore ambientale al di sotto del limite di 65 dB - un Jet ad una distanza di 30 metri raggiunge i 130 dB, un aspirapolvere i 70 dB, un ufficio i 50 dB, un'area residenziale di sera i 40 dB.

Gli effetti prodotti possono essere, tuttavia, mitigati scegliendo opportunamente siti isolati ed anche implementando provvedimenti di buona pratica lavorativa, come ad esempio diminuendo il numero di ore lavorative dei dipendenti esposti a queste condizioni.

Uso del suolo ed impatti visivi:

Un impianto geotermico, comprensivo anche delle zone di perforazione e pertinenze dipende dalla potenza dell'impianto, dal tipo di impianto, dalle proprietà del fluido geotermale e dal sistema di tubature impiegate per raccogliere il fluido sia in fase di prelievo dal reservoir che in uscita dall'impianto.

L'impianto deve essere realizzato in prossimità delle perforazioni per evitare perdite termodinamiche legate alla presenza di lunghe tubazioni.

Un campo di perforazioni (comprendendo zona di perforazione e tubature) per un impianto da 50 MW può coprire aree considerevoli che variano dai 2 ai 10 km² ma sono aree che possono essere impiegate anche per altri utilizzi di tipo agricolo, acquacolture, allevamento.

Facendo un breve confronto con altre tipologie di impianto risulta che un impianto geotermico (al MW) ricopre il 5% dell'area necessaria per un impianto solare, il 2% rispetto ad un campo fotovoltaico, un impianto a carbone necessita di circa 30 - 35 %voltre la superficie di un impianto geotermico ed il nucleare ne necessita di circa 7 volte.

Subsidenze:

La subsidenza è il lento sprofondamento del suolo naturale o indotto antropogenicamente attraverso l'estrazione di fluidi dal sottosuolo.

La subsidenza può causare danni alle costruzioni, agli impianti e alle strade o addirittura provocare l'allagamento delle terre prospicienti ai corpi idrici.

La subsidenza in aree geotermiche, dovuta ad una diminuzione della pressione del serbatoio, può essere stabilizzata grazie alla tecnica della re-iniezione dei fluidi geotermici "esausti" nel serbatoio profondo tramite pozzi appositi.

Sismicità indotta:

Gli eventi sismici sono vibrazioni della superficie terrestre provocate da una improvvisa liberazione di energia in un punto più o meno profondo del sottosuolo dal quale si propagano in tutte le direzioni onde sismiche.

La sismicità indotta è un fenomeno in cui un cambiamento di pressione dei fluidi all'interno di un formazione rocciosa sottoposta a stress porta in profondità al movimento delle rocce fratturate con conseguente liberazione di energia che si propaga fino alla superficie.

Questo fenomeno può capitare quando un bacino idroelettrico viene riempito per la prima volta, quando i combustibili fossili vengono estratti dal sottosuolo e anche quando i fluidi geotermici vengono iniettati in profondità ad elevate pressioni.

Le attività di sfruttamento dei campi geotermici, come le operazioni di produzione e re-iniezione dei fluidi, possono provocare micro-terremoti, in genere non dannosi e non percepiti dall'uomo.

Frane: Le frane che si manifestano naturalmente in alcune zone geotermiche sono prodotte dalla sono prodotte dalla combinazione di diversi eventi e circostanze; attualmente, non è del tutto chiarito il ruolo che riveste la presenza del campo geotermico in questo contesto.

Alterazione degli habitat di flora e fauna:

Lo sviluppo di un campo geotermico genera un limitato impatto sulla flora e sulla fauna.

Tuttavia, precedentemente allo sfruttamento di un'area, è richiesto uno studio ambientale al fine di evitare di costruire impianti in aree ad elevata sensibilità per specie animali e vegetali.

Inoltre uno st udio ambientale è utile per individuare e sostituire la vegetazione eventualmente distrutta o per identificare gli effetti potenziali a lungo termine sulle specie autoctone.

Durante la fase di perforazione di pozzi i rumori dovuti alla perforazione stessa e alle prove di produzione possono causare l'allontanamento temporaneo degli animali dalle zone prospicenti al sito.

Mentre durante la fase di sfruttamento i danni ad animali sono pressoché improbabili, a differenza di quanto avviene per la vegetazione che può essere parzialmente danneggiata.

Eventi catastrofici:

Oltre alle problematiche legate a frane, sismicità e subsidenze sono molteplici gli eventi catastrofici che possono venire in un campo geotermico e nell'impianto ad esso collegato: esplosioni, rotture alle tubazioni, problemi alle turbine ed ai pozzi, incendi.

Molti di questi incidenti sono comuni a tutti i tipi di impisnti per la produzione di energia elettrica.

Gli unici che coinvolgono solo gli impianti geoterm perforazione e test dei pozzi.

All'inizio dello sfruttamento dei campi geotermici le eruzioni dei pozzi erano un evento non raro, ma oggigiorno tutti i sistemi di controllo meccanico e tecnico-scientifico (conoscenza geologica controllo delle pressioni del *reservoir*,) hanno praticamente eliminato ogni rischio alla vita degli operatori.

Approfondendo meglio questi punti è fondamentale distinguere tra sviluppo per quanto riguarda la produzione di energia elettrica (tuttora limitata nella zona della Toscana Meridionale) e sviluppo per quanto riguarda le applicazioni dirette.

Per la generazione geotermoelettrica nel 2013 sono entrati in funzione 4 nuovi impianti in modo da arrivare ad un incremento di potenza installata di 150 MW e conseguente aumento di generazione di energia di 1000 GWh all'anno, così da arrivare ai 6000 GWh (o 6TWh)

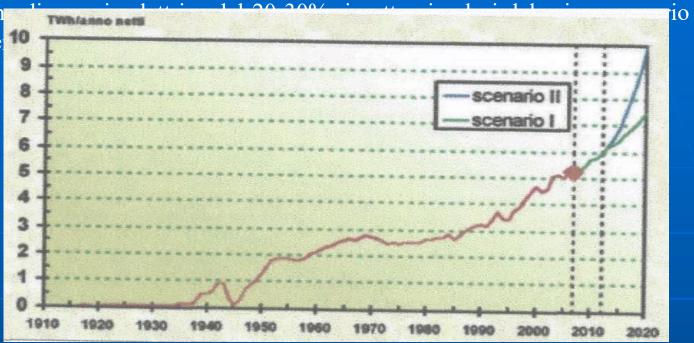
Per la fine 2020 si possono configurare 2 scenari:

Incrementare l'esplorazione geotermica al di fuori delle aree attualmente esplorate in modo da reperire ulteriori fluidi geotermici in modo da arrivare ad una potenza installata complessiva di 1200 MW e conseguente produzione di 7,5 TWh annui anche attraverso l'ammodernamento degli impianti attualmente in funzione.

Implementare lo sviluppo degli impianti termodinamici binari con fluidi a bassa temperature di vaporizzazione, nel caso in cui il fluido geotermico abbia temperature tra i 90° ed i 150° e sviluppare l'impiego del calore delle Rocce Calde Secche.

In Italia ci sono situazioni geologiche idonee per entrambe le configurazioni e si potrebbe

incrementare la produzion arrivando così ad una pote



Produzione geotermica in Italia dal 1913 al 2019 e previsioni di crescita

Per quanto riguarda gli usi diretti, considerando l'ampio spettro di possibilità di impieghi e la facile reperibilità della risorsa, la geotermia presenta possibilità di sviluppo notevoli.

Attualmente oltre il 95% del riscaldamento degli ambienti avviene attraverso fonti non rinnovabili e solo il 4,73% tramite fonti rinnovabili, valore assolutamente insoddisfacente. Considerando l'andamento dei prezzi di petrolio e gas si capisce come sia fondamentale rivolgere l'attenzione verso il consumo tramite fonti rinnovabili.

La GEOTERMIA è tra le diverse fonti d'energia rinovabili quella che assicura un'approvvigionamento di risorsa più continuo nel tempo, la maggiore ottimizzazione dello sfruttamento della risorsa e la maggiore varietà di possibili utilizzi.

Tuttavia gli investimenti richiesti per sviluppare progetti geotermici, sopratutto per la produzione di energia elettrica sono ancora troppo alti rispetto alle altre rinnovabili.

Inoltre così come tutte le rinnovabili non è esente da impatti sull'ambiente che possono comunque essere mitigati.

Nonostante questi pro e contro sia l'ambiente accademico, sia quello industriale stanno mostrando un crescente interesse verso la geotermia non solo in Italia ma in tutto il mondo.

Un tale approccio potrà sicuramente portare nelle prossime decine di anni ad uno sviluppo notevole anche in quelle nazioni che sono attualmente in via di sviluppo e che necessiteranno di una crescentep roduzione di calore e di elettricà.