

# GEOTERMIA

È una delle risorse di energia rinnovabile maggiormente disponibile specialmente in Campania ma, a causa della mancata conoscenza della realtà fisica e ingegneristica, molti pensano che la geotermia equivalga al terremoto. In realtà non è così, esistono delle tecniche geotermiche che hanno dei piccoli rischi di tipo sismico ma, in fin dei conti la geotermia è usata in tutto il mondo senza danni.

In Campania, le aree ricche di risorsa geotermica sono Pozzuoli, tutta l'isola di Ischia, l'area intorno Mondragone, le aree in provincia di Avellino, in provincia di Salerno.

È una risorsa molto diffusa infatti nella zona di campi flegrei potrebbe fare riscaldamento gratis e raffrescamento con assorbitori, utilizzando solo la risorsa geotermica.

Quando si parla di **Gradiente geotermico anomalo** si intende l'esistenza di alcune zone della Terra in cui la T aumenta progressivamente allo scendere al di sotto della crosta terrestre in maniera molto più veloce rispetto alle altre zone del mondo. Il flusso termico normale è di circa un centinaio di mW/m<sup>2</sup> (milliW per m<sup>2</sup> di profondità) con un incremento di T di 30 gradi per km.

Generalmente, l'aumento di T in tutto il mondo è di circa 30 gradi per ogni Km, cioè per avere 30 gradi devo scendere di 1km. Per avere 90 gradi devo scendere 2-3 km. Noi abbiamo un gradiente geotermico di T anomalo perché 90 gradi li abbiamo a 20-30 m in alcune zone e, questo è estremamente vantaggioso perché fare un pozzo di 20-30 km costa molto mentre farne uno di 20-30 m non costa nulla.

Il **principio della geotermia** è quello della **tettonica a zolle**. La crosta terrestre non è uniforme ma, è fatta di placche, zolle che si muovono una rispetto all'altra. La parte superiore è detta LITOSFERA ed è la parte più solida rispetto a quella inferiore che è più fluida. Siccome queste placche si muovono tra loro, esistono delle ZONE DI SUBDUZIONE, cioè delle zone in cui una zolla tende a scivolare sotto la parte inferiore più calda; ed è così che si vengono a formare una serie di vulcani che sono l'espressione di questa tettonica a zolle.

La geotermia come risorsa di energia termica è una delle poche risorse di **energia rinnovabili** che non dipendono dal sole. Il **primo impianto** realizzato utilizzando la geotermia fu l'impianto di Larderello in Toscana che, già dagli inizi del 1900 iniziò a produrre EE dal vapore che spontaneamente usciva dai pozzi geotermici presenti nella zona di Larderello. Attualmente, sull'idea di base, c'è una grossa centrale geotermoelettrica che è la principale sorgente geotermoelettrica ancora in funzione in Italia.

Cosa succede in un **bacino geotermico**: le acque meteoriche o marine, dette fluido termovettore, penetrano nel terreno attraverso le rocce permeabili ed arrivano negli strati più bassi del terreno dove restano intrappolata in rocce impermeabili, come in un serbatoio, dove ci sono delle infiltrazioni di magma. Qui si riscaldano, fino ad alta temperatura e poi vengono recuperate in superficie attraverso un pozzo per l'emungimento.

Contemporaneamente ad un **pozzo per l'emungimento**, c'è bisogno di un **pozzo per la reiniezione** perché, una volta che l'acqua geotermica calda viene utilizzata per fini termici, deve essere reiniettata fredda all'interno del bacino geotermico affinché si riscaldi nuovamente ed io la possa utilizzare ancora. Se non la reinietto e la butto prima o poi finisce perché, il calore della Terra c'è sempre ma, non c'è più un fluido termovettore in grado di utilizzarlo. Per questo motivo, è quasi sempre necessario avere oltre ad un pozzo di emungimento anche uno di reiniezione.

Questi **pozzi** hanno **profondità** elevate e **costi** che dipendono dalla profondità anch'essi elevati, quindi a parità di m scavato, lo scavo a 1000m è più costoso di quello a 100m. Questo dipende dalla resistenza della roccia, più scendi in profondità e più la roccia è dura. Mentre gli strati superficiali sono relativamente morbidi, quelli più profondi sono di roccia più dura e più difficili da scavare e, quindi il costo è molto più elevato anche per le attrezzature da utilizzare.

I sistemi geotermici si classificano in funzione della T e del tipo di fluido.

Il sistema più comune è quello dei **Serbatoi Geotermici Idrotermali** dove il fluido termovettore è acqua alla T di 100 gradi. Si dividono in: **Sistemi ad ACQUA DOMINANTE** in cui il fluido termovettore è acqua in fase liquida (sono la stragrande maggioranza dei sistemi presenti nel mondo); **Sistemi a VAPORE DOMINANTE** in cui il fluido termovettore è acqua in fase vapore che supera i 200 gradi (sono casi rarissimi tipo in Islanda dove in alcune zone senza nemmeno fare un buco esce vapore dal terreno).

Siccome l'idea di base è: più è alto il livello termico del fluido termovettore, più cose si possono fare; le applicazioni sono maggiori quanto maggiore è la temperatura del fluido termovettore. Allora, il vapore dominante è **più conveniente** dell'acqua dominante perché, il vapore ha una T più alta e quindi, il livello termico è migliore cioè ci si potrebbe fare tutto; invece, con l'acqua ci si può fare acs o riscaldamento.

I **Sistemi Geopressurizzati** sono bacini di roccia argillosa/sabbiosa, contornati da rocce impermeabili e isolanti termicamente, che contengono acqua. Il gradiente geotermico non è anomalo è di 50 100 gradi / km. Le profondità sono molto elevate, superiori ai 4000 m e quindi costi onerosi.

Le **Rocce Calde E Secche** sono rocce naturalmente fratturate e secche cioè che non contengono fluido, allora, si può iniettare al loro interno un fluido (acqua) che si riscalda e viene poi emunto dal terreno. L'acqua scende nelle fratture di queste rocce calde per caduta e poi viene riprelevata e questo comporta un costo enorme di EE per prelevarla dalla profondità fino al piano campagna. Deve essere un sistema impermeabile e quindi le perdite non devono superare il 10%.

Nei **Sistemi Magmatici** non c'è un fluido termovettore ma, si inietta dell'acqua liquida che scende per caduta e arriva in profondità, si riscalda e vaporizza per effetto del calore del magma, poi risale naturalmente (perché il vapore è meno denso) e può essere utilizzato. Anche in questo caso le profondità sono elevatissime, dell'ordine dei 5-6000 m, di conseguenza anche i costi dello scavo sono notevolissimi.

Le sorgenti geotermiche si classificano in base all'**entalpia**, quindi si parla di bassa, media e alta entalpia ma, in realtà si intende temperatura perché l'entalpia dipende sia da T che da P. Tra le due, quella che comanda è la T ma, potrei comunque avere una T bassa e una P alta e il sistema sarebbe utilizzabile lo stesso.

- bassa entalpia sotto i 100 gradi (stragrande maggioranza risorse geotermiche Campania)
- media entalpia tra i 100 e 200 gradi (Larderello)
- alta entalpia sopra i 200 gradi (difficile trovare bisogna scendere troppo in profondità, non conviene).

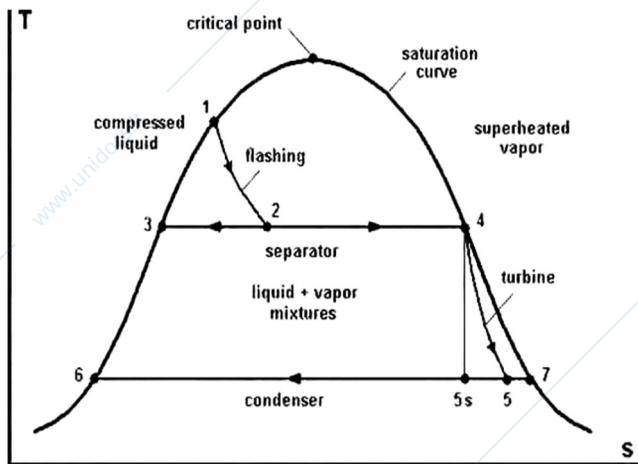
Per capire quali applicazioni è possibile fare con la geotermia, è utile il **diagramma di Lindal** che indica quali possono essere le applicazioni in base alla T della sorgente geotermica. Se c'è un livello termico molto basso è possibile fare, Acs o riscaldamento, Piscine. Se la T sale è possibile fare riscaldamento ambientale o processi industriali. Più sale il livello della geotermia e più sale il numero di applicazioni da poter fare.

In un **IMPIANTO A SINGOLO FLASH** riesco a produrre EE anche se non ho vapore; il fluido geotermico prelevato dal sottosuolo è in fase liquida e per essere utilizzato in varie applicazioni deve essere tramutato in vapore.

Per fare questo ci sono due **condizioni**:

1 - il fluido geotermico **non** deve essere **particolarmente aggressivo** perché, se così fosse arrivato nella turbina, la turbina si romperebbe.

2 - il fluido geotermico deve stare ad un livello di **p e T sufficientemente alti** perché, altrimenti arrivati al processo di laminazione ci sono p così basse che non ha senso inviare in turbina.

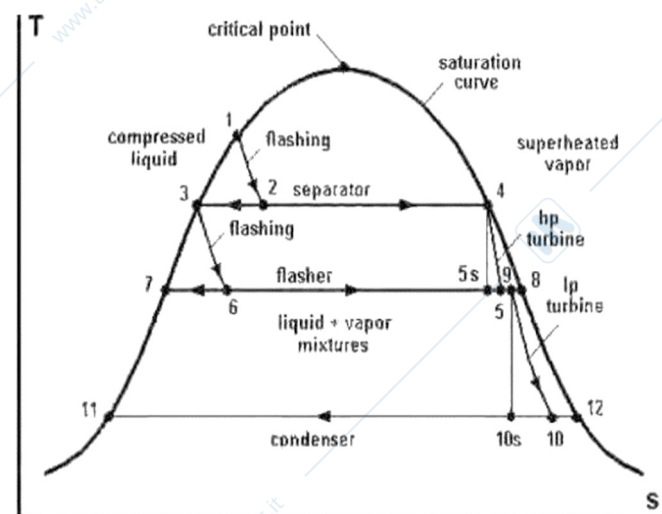


Quando il fluido geotermico è liquido corrisponde alla condizione di liquido saturo sulla curva di saturazione, per trasformarlo in fase vapore bisogna applicare un processo di **laminazione** e quindi sulla curva a campana partendo dal liquido saturo arrivo nella zona di vapore saturo.

Dalla zona del vapore saturo viene inviato nel **flash tank** o separatore di fase (quindi sapendo che il vapore saturo è la coesistenza di una fase liquida e una fase aeriforme), il liquido va sotto perché è più pesante e l'aeriforme va sopra perché è più leggero.

A questo punto, l'aeriforme viene mandato in una turbina (per produrre energia meccanica), in uscita dalla turbina viene fatto condensare quindi riportato allo stato liquido, viene iniettato nel serbatoio geotermico.

Un **IMPIANTO A DOPPIO FLASH** sostanzialmente, è lo stesso procedimento di quello a singolo flash ma ripetuto 2 volte cioè, viene fatta una seconda laminazione in modo da ottenere altro liquido e altro vapore, il vapore poi va in turbina e il liquido viene reiniettato nel serbatoio geotermico.

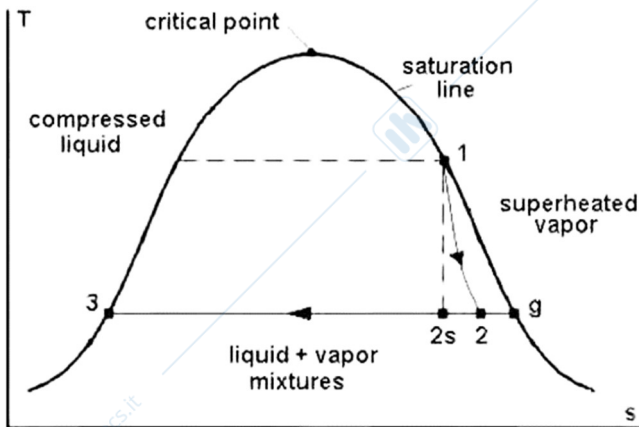


Le **condizioni** che si devono avere per fare un doppio flash sono:

1 - il fluido termovettore **non** deve essere **troppo aggressivo**, altrimenti il vapore geotermico andrebbe a danneggiare i componenti,

2 - la **p e T** devono essere **più elevate** rispetto al singolo flash perché devo fare due salti anziché uno solo

Si chiamano **IMPIANTI DRY-STEAM** quegli impianti in cui il fluido geotermico, prelevato da un pozzo a vapore dominante, è direttamente introdotto in turbina senza subire alcun processo di laminazione per produrre EE.



Sempre nell'ipotesi che il fluido termovettore **non** sia **troppo aggressivo** altrimenti il vapore geotermico andrebbe a danneggiare i componenti.

Purtroppo, **non si realizzano** questo tipo di impianti perché non ci sono sorgenti dalle quali esce direttamente vapore altrimenti questa sarebbe l'alternativa più conveniente e meno costosa.

Quando il fluido termovettore è aggressivo si è costretti a realizzare gli **IMPIANTI BINARI**. Binario significa che ha 2 fluidi: il fluido geotermico non espande direttamente nella turbina ma va a riscaldare un secondo fluido che alimenta un ciclo tipicamente Rankine.

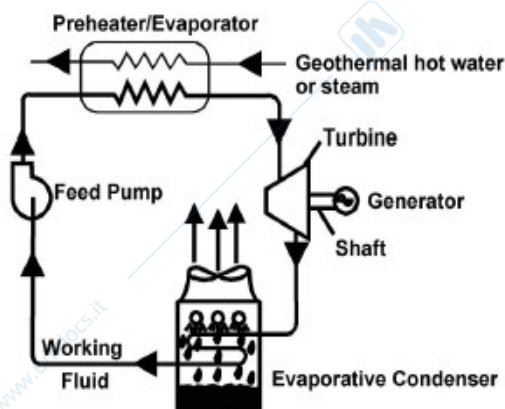


Figure 2. Schematic of the binary cycle (Rankine cycle) (Nichols, 1986).

Lo **schema** dell'impianto binario è semplice: il fluido geotermico riscalda il fluido binario che va ad alimentare un ciclo Rankine.

Si fa l'impianto binario perché il fluido geotermico è aggressivo altrimenti si fa direttamente l'espansione diretta in turbina.

Supponiamo di avere un **diagramma Ts** e di avere una risorsa geotermica che si trova alla temperatura viola. Per massimizzare il ciclo Rankine lo devo fare più largo possibile, quindi dovrei fare (nero): 1 coincidente con 2, arrivare sopra con un delta T tra la sorgente geotermica e il fluido da riscaldare, arrivare nella condizione 3 e poi espandere nella turbina fino alla condizione 4.

Il problema è che l'espansione in turbina avviene tutta in vapore saturo ma ciò è molto difficile da realizzare perché abbiamo una sostanza con una densità 1000 volte più grande di quella del liquido; quindi, la turbina lavorerebbe con grandissime inefficienze a parte che con problemi meccanici.

Allora si fa ciò che si fa nei cicli Rankine cioè con il riscaldamento non si arriva fino a lassù, ma si arriva un po' più sotto (azzurro) poi si surriscalda fino alle condizioni 3 e poi si espande. In questo caso non ho problemi nella turbina per il 3-4 è tutto nel surriscaldato.

Se però invece di avere un fluido termovettore con la curva a campana avessi un fluido termovettore che ha una curva fatta così (curva gialla) in cui l'altro ramo della curva a campana ha pendenza positiva, l'espansione sarebbe tutta nel surriscaldato. In questo caso non avrei bisogno di abbassare la T evaporazione e surriscaldare. Un sistema di questo tipo è molto conveniente, infatti, si scelgono di proposito questi fluidi detti **FLUIDI SECCHI** che hanno queste caratteristiche:

- sono fluidi organici perché contengono carbonio,
- la pendenza della curva di saturazione sul lato destro sia positiva o al più verticale.
- 

Esistono due modifiche dell'impianto binario.

**Impianto binario a doppio fluido** in cui si usano due fluidi binari, uno con una curva di saturazione più alta detto **altobollente** e, un altro con una curva di saturazione più bassa detto **bassobollente**. Il calore geotermico alimenta solo la fase di evaporazione del primo fluido che dopo espansione in turbina condensa e cede calore. Questo calore invece di dissiparlo in ambiente lo cede al secondo fluido. Come se fosse un ciclo combinato di due cicli Rankine.

**Impianto binario a doppio livello di pressione** in cui il fluido viene prelevato dal serbatoio geotermico e va ad alimentare HPE (evaporatore di alta pressione) cioè la trasformazione 3 5 quindi produce il vapore in uscita 5. sempre questo fluido geotermico va ad alimentare un evaporatore di bassa pressione dove esce nelle condizioni 6. dal secondo evaporatore va nella turbina di bassa pressione LPT. Da qui il fluido geotermico esce e va una parte al HPPH (trasformazione di riscaldamento 1 2 preriscaldare fluido che va evaporatore bassa p) e una parte a LPPH (trasformazione di riscaldamento 2 3 preriscaldare fluido che va evaporatore alta p). Poi escono e viene reiniettato nel pozzo geotermico.

**METODO EGS:** Quando vogliamo utilizzare bacini geotermici che si trovano isolati da rocce impermeabili bisogna romperle e per farlo si invia acqua ad alta pressione all'interno di queste rocce, le quali si spaccano l'acqua penetra nel bacino geotermico caldo si riscalda e può essere utilizzata.

Il **problema** di questa metodologia è che può causare microsismi e quindi non è molto accettata dal punto di vista sociale.

In questa metodologia lo **scambiatore di calore** viene messo direttamente nel pozzo anziché prelevare il fluido e avere uno scambio termico in superficie. Facendo in questo modo, si devono vincere solo le **perdite di carico** e non quelle legate al salto di quota e quindi risparmio un sacco di soldi in termini di costi di pompaggio. Di contro il **pozzo geotermico** deve essere più largo perché deve entrarci lo scambiatore di calore. Ovviamente i **costi di manutenzione** sono più elevati proprio perché lo scambiatore di trova nel pozzo.