

## CALORE DALLA TERRA

### **Introduzione**

Il progetto nasce da un incontro avvenuto all'inizio dell'anno scolastico con tutto il gruppo dei partecipanti al progetto "Verso ScienzAfirenze". In quell'occasione uno studente fece cenno alla geotermia nell'ambito del sottotema "trasformazioni energetiche". In seguito riuscimmo a stabilire un contatto con l'Unione Geotermica Italiana nella persona del presidente Giancarlo Passaleva. Da quel momento iniziammo a intuire l'importanza della tematica, soprattutto in considerazione del fatto che proprio in Italia, nella regione Toscana, è presente la più grande risorsa geotermica del mondo. Decidemmo di inoltrarci oltre e, sempre grazie al presidente Passaleva, contattammo l'Ing. Francesco Lazzeri, responsabile dell'Operation delle centrali geotermiche di Enel Green Power. Grazie a lui e all'appoggio della nostra Dirigente, organizzammo una visita nel centro di Larderello.

Dalla visita e dalla collaborazione sono emersi parecchi spunti di lavoro che cerchiamo di raccontare in questo documento.

L'attività si propone di: prendere coscienza della risorsa geotermica italiana, analizzarne gli impieghi attuali e futuri, studiare il funzionamento di una centrale, studiare e descrivere le trasformazioni fisiche e chimiche che avvengono nel processo, avvicinarsi al tema dell'energia rinnovabile, assistere a misurazioni chimico-fisiche in loco.

La nostra proposta è collocabile nel filone della ricerca d'ambiente, ma anche osservazione e descrizione di un fenomeno naturale.

A seguito della visita e dello studio che l'ha preceduta e seguita, ci siamo resi conto che, dal momento dell'estrazione del fluido lungo tutto il percorso nei vapordotti e nella centrale fino alla reimmissione, avvengono parecchie trasformazioni fisico-chimiche, alcune più naturali altre maggiormente veicolate dall'uomo, per poter utilizzare nel modo più efficace, sicuro e sostenibile la risorsa energetica geotermica.

### **Indice:**

Collocazione teorica	pag.2
Descrizione e rielaborazione dati sperimentali	pag.3
Discussione	pag.8
Conclusioni e bibliografia	pag.10

## Collocazione teorica

La Geotermia è una scienza che studia e utilizza il calore della Terra.

L'energia geotermica è la forma di energia dovuta al calore endogeno della Terra. La Terra ha una riserva di calore praticamente infinita:  $8 \times 10^{30}$  Kcal. Questa riserva termica deriva dal fatto che, all'origine, quando la Terra si è staccata dal Sole e ha cominciato a ruotare attorno ad esso, ha cominciato a raffreddarsi in superficie ma ha conservato una grande massa incandescente nella sua parte centrale.

Il flusso termico in superficie è modesto ma, oltre i 20 m di profondità, l'aumento medio di temperatura è di  $30^\circ\text{C}/\text{Km}$ . L'energia termica accumulata nel sottosuolo si rende a volte disponibile sottoforma di eruzioni vulcaniche, sorgenti termali, fumarole, lagoni, geysir, soffioni, dove il fluido geotermico fuoriesce per vie naturali dal serbatoio geotermico. L'uomo ha imparato a utilizzare questa risorsa o per il teleriscaldamento (fluido a bassa temperatura) o per convertire l'energia termica in energia elettrica (fluido ad alte/medie temperature) attingendo il fluido dai cosiddetti serbatoi termali. In situazioni di sottosuolo favorevole si può intercettare il fluido ad alte temperature tramite perforazioni profonde pochi chilometri.

La fig. 1 illustra la distribuzione della risorsa geotermica italiana per fasce di temperatura.

Attualmente le applicazioni della geotermia sono molteplici, come illustrato in figura 2, e sono destinati ad aumentare.

La più grande centrale geotermica del mondo, si trova in Italia, precisamente a Larderello, in Toscana. Questa centrale è stata costruita nei primi anni del '900 dal principe Ginori Conti, genero del nobile francese Francesco De Larderel, il quale aveva inizialmente costruito un villaggio fabbrica la cui economia si basava sul commercio dell'acido borico. Quando questo commercio cessò di essere redditizio e si rese necessario convertire l'attività economica, l'ingegno di Ginori permise di accendere le prime 5 lampadine sfruttando il vapore dal sottosuolo. Era il 1904.

La zona di Larderello presenta strutture particolari, con rocce impermeabili già ad una profondità di circa 1,5 km. Queste rocce permettono la realizzazione di serbatoi dove l'acqua riscaldata arriva ad una temperatura di circa  $400^\circ\text{C}$  e può essere prelevata da pozzi d'estrazione. Lo schema di figura 3 illustra il sistema geotermico ad alta temperatura.

Alcuni dati interessanti: nel comprensorio toscano, ampio  $1200\text{Km}^2$  ( si estende fino al Monte Amiata), vi sono 500 pozzi (profondità variabile tra 1,5 Km a 5Km), tra pozzi di estrazione, reiniezione (il 60 % del fluido viene reiniettato dopo essere stato utilizzato nella centrale) e di controllo (per le varie ispezioni del terreno). Il rendimento delle centrali varia tra il 20 e il 30% (significa che questa è la percentuale di calore che viene convertito in lavoro elettrico). Il centro geotermico copre il 30% del fabbisogno energetico della regione Toscana e il 2,5% del fabbisogno nazionale. In Italia abbiamo una potenza di 810MW nella totalità delle centrali ad alta temperatura che producono annualmente 5,5 miliardi di KWh di energia.

## Descrizione e rielaborazione dei dati sperimentali

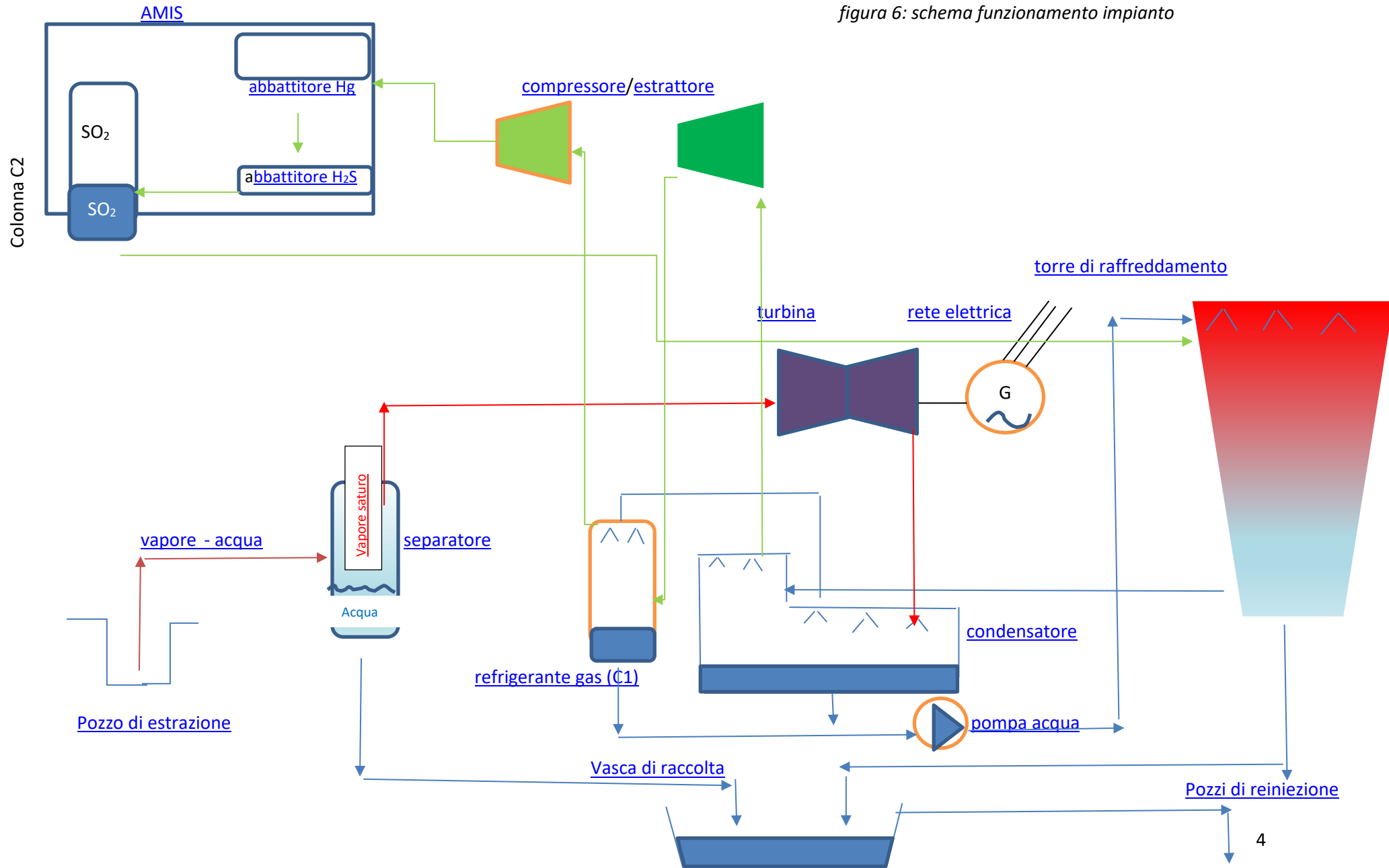
Il giorno 9 dicembre abbiamo visitato il centro di Larderello. Quando si arriva si rimane affascinati dalle tante evaporazioni che animano le colline.

Sono i vapori che escono dalle varie torri di raffreddamento della centrale, che emanano vapore acqueo, quindi esalazioni naturali e non nocive. Poi vedi la rete di tubazioni che corrono per il bosco e trasportano i vapori caldi dai pozzi alla centrale vera e propria. In tutta la coltivazione vi sono 500Km di vapordotti.

La mattina ci hanno portato alla centrale di Valle Secolo, una centrale costituita da due unità, ognuna da 6 MW. In ogni unità vi sono 8 torri di raffreddamento.

Un addetto al settore chimico ci ha illustrato il funzionamento della centrale. Riportiamo in figura 6 lo schema da noi creato sulla base di immagini e spiegazioni che ci sono state fornite. Nello schema sono presenti segnalibri che permettono di linkare il testo corrispondente.

figura 6: schema funzionamento impianto



## Percorso del fluido geotermico

### I Pozzi di estrazione

Il fluido geotermico ( una miscela di vapore, gas, acqua e sostanze in essa disciolte come mercurio, arsenico, ammoniaca, anidride carbonica) viene estratto attraverso pozzi costruiti con tecnologia avanzata che perforano il terreno ad una profondità variabile tra i 1.000 e 5.000 m. Nella zona di Larderello in particolare i pozzi non hanno bisogno di raggiungere profondità elevate perché la struttura del sottosuolo consente di prelevare il fluido geotermico già a circa 1Km dalla superficie. Il fluido che esce a boccapozzo può raggiungere i 400°C e i 2,50bar.

### Composizione del fluido geotermico

Il fluido geotermico è costituito dalla miscela di:

- Vapore
- Gas
- Fase liquida separata (a boccapozzo o in centrale)

Le caratteristiche del campo geotermico in coltivazione modificano sostanzialmente il rapporto quantitativo tra le diverse fasi e la composizione chimica di ciascuna di esse. Il contenuto del fluido dipende infatti dalla sua geografia e dalla sua storia.

*(I rapporti quantitativi sono estremamente variabili, indicativamente a boccapozzo)*

- **Campi a vapore dominante:** Vapore 90%-98%, Gas 2-10%
- **Campi ad acqua dominante:** Fase liquida 20%-100% del totale estratto; nel fluido da flash vapore 98%-99,8%. Gas 0,1%-2%.

Il campo di Larderello è a vapore dominante.

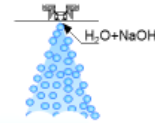
## Il separatore

Il fluido estratto entra nei vapordotti che lo conducono al separatore, componente in cui il fluido viene raffreddato e lavato con un bagno di acqua e soda (NaOH, idrossido di sodio) per togliere i componenti acidi, che, nella fase liquida, vengono neutralizzati dalla soda. L'acquisto dell'idrossido di sodio costituisce un capitolo di spesa molto oneroso ma indispensabile. All'uscita del separatore, la fase liquida viene inviata alla **vasca di raccolta**, mentre la fase gassosa (vapore e gas) passa nella turbina, una macchina che trasforma l'energia termica del vapore in energia meccanica.

### Fenomeni corrosivi: le fasi del "lavaggio" vapore

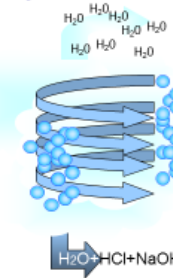
#### INIEZIONE:

E' necessaria la presenza di vapore saturo a contatto con una fase liquida. La saturazione si raggiunge iniettando nel vapore surriscaldato una quantità d'acqua sufficiente a saturare il vapore. A tale acqua è aggiunta una base, in quantità sufficiente a neutralizzare gli acidi.



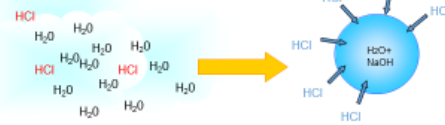
#### SEPARAZIONE:

La fase liquida, in cui si è concentrata l'acidità, viene quindi separata, dal vapore ormai neutralizzato.



#### TRASFERIMENTO DI MATERIA:

Nella fase liquida si concentrano le specie acide. La neutralizzazione a mezzo della base iniettata avviene in questa fase.



2

Laboratori

fig.7: funzionamento del separatore

## La turbina

La turbina è poi collegata ad un alternatore che trasforma l'energia meccanica in energia elettrica e la immette in **rete**. Il vapore esausto che esce dalla turbina dev'essere purificato prima di essere inviato alla torre di raffreddamento. Per questo motivo viene inviato al condensatore.

## Il condensatore

Nel condensatore il fluido viene nuovamente raffreddato mediante un lavaggio con acqua. La fase liquida, ancora calda, entra nel circuito della pompa ad acqua che la invia alle torri di raffreddamento, mentre la fase gassosa, costituita da gas per lo più insolubili, viene aspirata dall'**estrattore/compressore** che la invia ad una prima **colonna refrigerante C1**. Qui il gas viene di nuovo raffreddato e una parte passa in fase liquida (che entra nel circuito della **pompa ad acqua**); la fase gassosa ritorna al compressore che comprime il gas e lo invia all'AMIS, un impianto di recente brevetto ENEL .

## AMIS

E' l'acronimo di abbattimento mercurio e idrogeno solforato. Esso è un impianto costituito da tre componenti fondamentali: l'abbattitore di mercurio (Hg), l'abbattitore di idrogeno solforato (H<sub>2</sub>S) e la colonna C2. Inizialmente il gas, raffreddato a circa 70°C, viene depurato dal mercurio che si lega, in modo irreversibile, a filtri al selenio che, una volta esausti, vengono sostituiti. Poi il gas demercurizzato viene di nuovo riscaldato con uno scambiatore di calore a circa 240°C -250°C e inviato ad un reattore C2, dove avviene una reazione catalitica, catalizzata dal biossido di titanio, nella quale l'idrogeno solforato reagisce con l'ossigeno e si forma l'ossido di zolfo SO<sub>2</sub>, composto nocivo ma solubile in acqua. Tale solubilità ne consente lo smaltimento. Poiché questa reazione è fortemente esotermica, il calore prodotto dalla reazione viene utilizzato per riscaldare il gas inizialmente raffreddato dall'abbattitore di mercurio. In questo modo il ciclo si automantiene. Il gas purificato in uscita dall'AMIS viene poi inviato alle torri di raffreddamento, dove si unisce al vapore e viene disperso nell'ambiente.

## Pozzi di reiniezione

Sono pozzi che reimmettono nel sottosuolo l'acqua in eccesso che fuoriesce dalla vasca di raccolta. Circa il 60% del fluido viene reimpresso nel campo, in questo modo si assicura la rinnovabilità della fonte energetica.

## Misure di controllo

Abbiamo anche assistito a operazioni di controllo che vengono effettuate periodicamente al fine verificare le caratteristiche del fluido geotermico e che le emissioni rispettino le normative nazionali. Attraverso un anemometro viene misurata la pressione del fluido in ingresso. Poi è molto importante misurare il rapporto gas incondensabili/vapore. Enel ha brevettato una strumentazione e un protocollo di misure allo scopo (fig.8 e 9)

La procedura di determinazione del rapporto gas/vapore  $R_{G/V}$  si basa sul raffreddamento del fluido prelevato a temperatura inferiore a 100°C e a pressione ambiente, con formazione di due fasi: una fase liquida associabile alla porzione condensabile cioè al vapor acqueo in esso presente, e una fase gassosa contenente i gas incondensabili e vapor d'acqua in quantità dipendente dalla tensione di vapore dell'acqua alla temperatura di condensazione utilizzata.

Il rapporto viene espresso in NI/Kg e rappresenta cioè i litri di gas in condizioni normali (T=0°C e P=760mm Hg) che si separano durante la condensazione di 1Kg di vapor d'acqua. Il rapporto gas/vapore può anche essere espresso in % di peso di gas incondensabili rispetto al fluido totale. Per fare ciò occorre conoscere la densità del gas separato durante la condensazione e quindi la sua composizione. Allo scopo si utilizza un gas cromatografo. In figura 10 riportiamo i dati da noi ricevuti da Enel a seguito delle misure del giorno della nostra visita, 9 dicembre.

## Discussione

### TRASFORMAZIONI CHE AVVENGONO NEI PROCESSI GEOTERMICI

Nel percorso del fluido geotermico avvengono vari tipi di trasformazioni.

**Trasformazioni fisiche:** sono quelle che un materiale subisce nella sua forma, senza che venga alterata la sua natura chimica. Esempi: i cambiamenti di stato e la dissoluzione di uno zucchero o di un sale in acqua.

Nel nostro caso avviene la condensazione nel separatore, nella torre di raffreddamento, nel condensatore, nel refrigerante gas (C1). La condensazione è il passaggio di stato da aeriforme a liquido e la temperatura costante a cui il fenomeno si verifica è detta temperatura di condensazione. Il calore liberato dal sistema nel processo è detto calore latente di liquefazione.

Inoltre sempre nel separatore si verifica l'evaporazione, cioè la trasformazione dalla fase liquida a quella aeriforme. Infatti nel separatore la fase liquida si trova in equilibrio con la fase gassosa, cioè il numero di particelle che dalla fase liquida passano alla fase gassosa è uguale al numero di quelle che si condensano nel liquido. In queste condizioni si parla di vapore saturo. Questo avviene perché si trova in uno spazio chiuso e le particelle di gas vengono compresse e non vengono disperse nell'ambiente. Nel caso di un sistema composto da liquido e vapore in condizione di vapore saturo, la pressione esercitata dal vapore sul liquido prende il nome di tensione di vapore.

La pressione è il rapporto tra la Forza esercitata su una superficie e la superficie stessa. Si può misurare in :

$1 \text{ atm} = 760 \text{ torr} = 760 \text{ mmHg (millimetri di mercurio)} = 1,01325 \text{ bar} = 1013,25 \text{ mbar}$

**Trasformazioni energetiche:** trasformazioni di energia da una forma all'altra. Le principali forme energetiche sono: termica, meccanica, chimica, elettromagnetica, nucleare, solare, eolica. Nella centrale geotermica avviene una trasformazione energetica da energia termica in energia meccanica e poi elettrica, nella turbina e nell'alternatore.

Il vapore ad alta pressione muove la turbina generando energia meccanica. La turbina trasmette il movimento all'alternatore che genera energia elettrica, questa passa nella centralina di distribuzione che poi la immette in rete.



**Trasformazioni chimiche:** sono le reazioni chimiche, in cui la sostanza subisce una variazione, modificando le sue proprietà chimiche.

Esse avvengono nel separatore e nell'abbattitore di idrogeno solforato (AMIS).

Nel separatore l'idrossido di sodio reagisce con l'acido cloridrico, secondo la reazione :  $\text{NaOH} + \text{HCl} \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{NaCl}$ .

Questa reazione permette di neutralizzare la componente acida del vapore, che causerebbe problemi ai componenti meccanici della centrale.

Nell'abbattitore di idrogeno solforato l'  $\text{H}_2\text{S}$  reagisce con l'ossigeno generando ossido di zolfo, secondo la reazione:  $2\text{H}_2\text{S} + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$  . Questa reazione dev'essere catalizzata dal biossido di titanio  $\text{TiO}_2$ . I catalizzatori sono particolari molecole che intervengono in specifiche reazioni chimiche agendo sulla velocità e sull'energia d'attivazione necessaria. Non sono né reagenti né prodotti, quindi durante la reazione non si trasformano e si ritrovano inalterati alla fine della reazione.

La reazione permette di trasformare idrogeno solforato, che è incondensabile, in biossido di zolfo che è invece solubile in acqua e di conseguenza può essere eliminato dal circuito.

### **ANALISI DEI COSTI**

Visto che siamo studentesse dell'indirizzo Amministrazione Finanza e Marketing, abbiamo voluto procedere ad un'analisi dei costi delle varie tipologie di riscaldamento. In figura 11 mostriamo il riepilogo dei costi al Kw dei vari carburanti raffrontati con il teleriscaldamento (si è tenuto conto del rendimento medio degli impianti).

#### RIEPILOGO COSTO PER KW RESO

- Gasolio = 0,101 €/Kwh
- G.P.L. = 0,109 €/Kwh
- Metano (Caldaia tradizionale) = 0,086 €/Kwh
- Metano (Caldaia condensazione) = 0,079 €/Kwh
- Teleriscaldamento = € 0,05 €/Kwh

*fig.11 : raffronto costi per riscaldamento*

Da questa analisi si può dedurre che con il teleriscaldamento si risparmia circa il 50% rispetto agli impianti a gasolio e G.P.L.e circa un 40% rispetto a impianti a metano.

Il teleriscaldamento presenta però, dal punto di vista dei costi, uno svantaggio in quanto i costi di installazione sono elevati, anche se in parte rimborsati dallo Stato. Per esempio si può stimare che un impianto di teleriscaldamento per un complesso di 1000 famiglie abbia i seguenti costi di installazione: 10,5 M€ (comprensivo delle spese di allaccio) ma con 0,42 M€/anno pagati dallo Stato attraverso il credito di imposta. È previsto un risparmio annuo sui consumi di circa 1M€ (per l'intera comunità).

Poi occorre tener presenti i vantaggi ambientali: temperatura delle abitazioni più regolare, minore inquinamento locale, minori preoccupazioni legate all'impiantistica della caldaia, maggior sicurezza, minori emissioni di agenti inquinanti e polveri sottili.

## **Conclusioni**

Quest'attività ci ha permesso di conoscere la realtà della geotermia italiana, visitare i luoghi di lavoro e parlare con persone esperte del settore, vedere come lavorano. Dal punto di vista scientifico ci è sembrato complicato comprendere il linguaggio tecnico utilizzato per spiegare l'argomento, tuttavia con l'aiuto dei nostri docenti siamo riuscite a capire il funzionamento della centrale.

Prima di questa esperienza ignoravamo l'esistenza del teleriscaldamento, invece adesso sappiamo che esiste e che è molto vantaggioso, sia dal punto di vista dei costi che dell'impatto ambientale.

Inoltre abbiamo conosciuto la realtà aziendale di Enel Green Power e preso contatti con operatori della stessa. Riteniamo importante il concetto di "coltivazione" del campo geotermico, perché questo significa utilizzo rispettoso delle risorse messe a disposizione dalla natura.

Il lavoro ci ha insegnato che il metodo scientifico permette di analizzare in modo oggettivo e approfondito i fenomeni naturali, consentendo una visione d'insieme e non parziale che conduce ad osservazioni pertinenti e ponderate. La conoscenza della chimica, della fisica e dell'ingegneristica permette un utilizzo intelligente e proficuo delle risorse naturali, probabilmente sempre migliorabile.

## **Bibliografia**

Documentazione varia fornita da EGP e UGI