

## 7. Diagnosi energetica – scuola media “Leonardo da Vinci”

Il complesso scolastico secondario denominato “L. da Vinci” è un insieme di edifici realizzato nei primi anni '70 del Novecento, nella cui sede hanno trovato posto il complesso delle scuole medie, gli uffici della direzione didattica, una piscina, una palestra ed una palestrina, entrambe quest'ultime utilizzate anche al di fuori dell'orario scolastico.

Il complesso ha sempre mostrato problematiche legate alla vetustà dell'impianto ed alla complessità dello stesso, oltre a consumi elevati di gas metano.

Lo stesso è stato oggetto di audit di dettaglio, come ricordato in precedenza, successivamente dettagliato ed aggiornato.



Planimetria del complesso scolastico “L. da Vinci”

Scopo del progetto è l'abbattimento dei consumi unitamente ad un perfezionamento dell'efficienza dell'impianto, il tutto senza trascurare il confort ambientale e la facilità ed economicità degli interventi manutentivi.

Il lavoro proposto parte dallo studio preliminare dello stato di fatto e prosegue con le analisi energetiche di questo stato, al fine di individuare e proporre la più idonea linea di intervento.



*Veduta del complesso scolastico "L. da Vinci"*

L'edificio, costruito negli anni settanta (1973), realizzato in cemento armato a vista con oltre il 40% di pareti finestate ed è costituito da due edifici paralleli a pianta pressoché rettangolare, disposti con l'asse longitudinale in direzione Nord-Sud, sfalsati tra loro e collegati da un passaggio sospeso. Il passaggio collega l'edificio più grande a sud, adibito principalmente alle attività didattiche e alla presidenza dell'istituto comprensivo, a quello di minori dimensioni contenente gli impianti sportivi scolastici (palestra e piscina) a nord.

L'edificio scolastico è costituito da un piano interrato posto a -3,80 m dal piano stradale, da tre piani fuori terra con altezze di interpiano di circa 3,20 m e copertura piana.

L'edificio adibito agli impianti sportivi scolastici parte da una quota di -1,70 m dal piano strada e accoglie due piani ospitanti rispettivamente una piscina a piano terra e una palestra a piano primo, entrambe con relative zone spogliatoi e servizi.

Entrambi gli edifici sono stati realizzati mediante l'utilizzo quasi totale di calcestruzzo armato a vista, non solo per quanto riguarda gli elementi strutturali portanti, ma anche le ampie facciate esterne.

La struttura portante a telai è infatti tamponata da murature gettate in opera, senza rivestimento interno, sovrastate da ampie superfici finestrate o in vetrocemento.

L'intelaiatura è ben evidenziata rispetto al tamponamento, grazie all'utilizzo di lesene e/o scuretti. I blocchi scala, realizzati anch'essi in calcestruzzo armato a vista, sono costituiti da un setto centrale intorno al quale si assestano i gradini e i pianerottoli di forma semi-circolare con parapetti anch'essi in calcestruzzo armato.

La parte dell'edificio scolastico dove ha sede la presidenza dell'istituto comprensivo di Concorezzo presenta invece rivestimento con un intonaco di natura tradizionale (malta bastarda) che di seguito è stato rivestito mediante finitura a spessore di natura sintetica.

Recentemente è stato commissionato dall'Amministrazione Comunale, uno studio della vulnerabilità sismica dell'intero plesso, nonché una campagna di indagini diagnostiche a corredo, incentrata anche sullo stato di conservazione della struttura.

Le indagini diagnostiche hanno prodotto una dettagliata mappatura delle zone di degrado delle facciate del plesso.

Dalle analisi in campo e dai calcoli strutturali, è emersa la necessità di operare sulla struttura, oltre che con una campagna di risanamento delle criticità riscontrate sui cementi armati, anche diversi interventi mirati a ridurre le vulnerabilità della stessa, tra cui alcuni che presentano priorità assoluta, poiché allo stato attuale, è compromessa la stabilità statica di alcuni elementi strutturali, oltre che essere presente un'assoluta mancanza di resistenza degli stessi alla sollecitazione sismica prevista per la zona.

L'edificio è stato realizzato, come visto, prima dell'emanazione della normativa in materia di contenimento dei consumi energetici (373/76) e non sono stati previsti, di conseguenza, accorgimenti in materia di contenimento dei consumi energetici.

Il progetto preliminare prevedeva anche la realizzazione di un auditorium che non è stato più realizzato.

Al suo posto sono stati realizzati una pista di pattinaggio e dei campi di calcetto.

L'intero complesso è caratterizzato da elevati consumi di gas metano ed energia elettrica, proprio in virtù delle caratteristiche edilizie dell'involucro e della vetustà dell'impianto termico e delle sue componenti principali.

Nel corso degli anni sono stati effettuati diversi interventi sull'impiantistica della scuola, finalizzati proprio all'abbattimento dei consumi energetici.

L'impianto, in origine, serviva tutto il complesso scolastico, comprese anche le attività sportive.

Nel 2002 sono stati effettuati interventi di separazione delle utenze con realizzazione di due nuove centrali termiche al servizio degli impianti sportivi (piscina e campi di calcetto) e il rifacimento di quella destinata all'attività scolastica.



*Ingresso della nuova centrale termica del complesso scolastico "L. da Vinci"*

Gli interventi hanno previsto, in particolare, l'esecuzione delle seguenti opere:

- installazione di tre nuovi generatori di calore a temperatura scorrevole complete di tutte le dotazioni di sicurezza e degli accessori d'uso;
- realizzazione di nuovi collettori di alimentazione acqua calda a servizio dei seguenti circuiti:
  - radiatori aule;
  - aerotermi palestra;
  - radiatori palestra;
  - segreteria;
  - produzione acqua calda palestra;
- realizzazione nuova linea di alimentazione bollitore acqua calda per uso igienico-sanitario a servizio della palestra;

- demolizione del vecchio scambiatore di calore e del serbatoio di accumulo nella sottocentrale e sua sostituzione con un produttore ad accumulo.



*Vecchie caldaie installate nella centrale termica del complesso scolastico "L. da Vinci"*

Nel 2007 è stato realizzato l'audit energetico, consegnato nel corso del 2008 da cui emergeva come, operando la sostituzione dei serramenti e la realizzazione del cappotto termico, si potesse arrivare ad avere un risparmio di circa il 60% di energia primaria da combustibile ed il 3% di energia elettrica.

Nell'anno 2009 è stato realizzato un tetto fotovoltaico per la produzione di energia elettrica per un risparmio **per l'ambiente di circa 31.000 Kg/anno di CO<sub>2</sub> di immissione.**

L'intero plesso scolastico necessita però da anni, di un intervento di messa in sicurezza dei cementi armati, imprescindibile dalla posa del cappotto isolante, che costituiscono la quasi totalità dei tamponamenti esterni, oltre che delle strutture portanti.

Nel corso dell'anno 2015 è stato elaborato un progetto per l'installazione di un impianto geotermico a bassa entalpia, alimentante una batteria di pompe di calore, situate nella centrale termica esistente.

Il progetto, non realizzato, prevedeva la realizzazione delle opere con i seguenti materiali e caratteristiche prestazionali:

- sonde geotermiche costituite da tubazioni a doppio U in PE, rubinetti a sfera, valvole di sfogo aria e regolatori di flusso.
- tubazioni di collegamento tra sonde e collettori di mandata e ritorno in PE;
- pompe di calore del tipo terra/acqua, dotate di termoregolazione, possibilità di segnalazione dei guasti, sonde, il tutto opportunamente dimensionato;
- serbatoi inerziali in esecuzione cilindrica verticale in acciaio, non trattato all'interno e verniciato all'esterno, opportunamente dimensionati;
- tubazioni in acciaio nero, da verniciare con doppia mano di antiruggine e coibentazione eseguita con manufatti cilindrici in lana di roccia vulcanica a fibre concentriche, rivestiti con lamierino di alluminio, sagomato e calandrato, fornito e posato in opera con viti autofilettanti zincate;
- sistema di telecontrollo in rete Ethernet.

Le sonde geotermiche dovevano essere realizzate nel giardino della scuola, situato a ovest dell'edificio; in numero pari a 77.

Le perforazioni dovevano essere eseguite ad una distanza di 8 metri l'una dall'altra, occupando dunque un area di dimensioni 96 x 40 m, e raggiungeranno la profondità di 100 m.

Successivamente veniva creato un circuito chiuso del tipo a ritorno inverso così da garantire il bilanciamento idraulico del circuito all'interno del quale sarebbe circolata l'acqua additivata.

Le diverse sonde geotermiche dovevano essere collegate a collettori situati all'interno della centrale termica, a loro volta allacciati ad una batteria di 7 pompe di calore, nelle quali sarebbe avvenuto lo scambio termico al fine di rendere una potenza di riscaldamento totale pari a 450 kW. Questo sistema avrebbe fornito acqua calda sanitaria ad una temperatura di 55°-60° C, necessaria per alimentare le docce degli spogliatoi presenti in palestra, utilizzando allo scopo l'impianto già presente.

Una sonda geotermica, o sonda di captazione, è una sorta di scambiatore di calore composto normalmente da tubi in polietilene nei quali circola acqua glicolata, strutturato in modo tale da formare un anello sotterraneo con il fine di scambiare calore con il suolo e trasmetterlo al fluido vettore in essa contenuto.

La sonda viene installata in un foro di pochi centimetri che viene scavato in prossimità dell'edificio da climatizzare.

Il numero delle sonde geotermiche e la profondità d'installazione, di solito variabile tra i 30 e i 150 metri, variano in funzione dell'energia richiesta per il riscaldamento/raffreddamento dell'edificio.

I tubi hanno un percorso di andata semplice e ritorno inverso.

Il sistema, in questo caso, si dice chiuso perché non c'è scambio di fluidi con il terreno ma solo uno scambio termico per trasmissione.

Il ritorno inverso consente di avere uno sviluppo lineare uniforme per qualsiasi sonda e, di conseguenza, di avere la medesima perdita di carico su ogni circuito, riducendo al minimo la necessità di installazione di organi di regolazione della portata.

Le sonde geotermiche possono essere divise in tre tipologie: sonde geotermiche orizzontali, sonde geotermiche verticali, sonde a scambio termico con acqua di falda.

Grazie al fatto che il suolo mantiene una temperatura costante durante l'anno, la pompa di calore che viene abbinata alle sonde, mantiene sempre un'alta efficienza.

Per ottenere calore dal sottosuolo mediante una sonda geotermica verticale, il fluido che circola nella sonda deve avere una temperatura di 4-6°C più bassa di quella del suolo, così da permettere un adeguato scambio di calore durante il percorso di salita e discesa.

L'estrazione dell'energia geotermica dal sottosuolo avviene tramite l'installazione di scambiatori di calore, costituiti da tubazioni di polietilene aventi un diametro di 3-4 cm.

I liquidi termici usati sono normalmente una miscela d'acqua e di un antigelo, tipicamente dei glicoli, alcoli o delle soluzioni saline con l'aggiunta di inibitori di corrosione.

L'effetto più evidente è quello del raffreddamento del sottosuolo. Le sonde geotermiche creano un imbuto termico di dimensione molto limitata, dell'ordine di pochi metri.

In zone densamente urbanizzate, il raffreddamento della falda può essere un effetto positivo, considerando che, in queste aree, la temperatura del sottosuolo è generalmente leggermente innalzata a causa delle attività antropiche.

I liquidi termici usati nei circuiti inseriti nel terreno e i liquidi di raffreddamento usati nelle pompe di calore possono essere dannosi nel caso in cui vengano in contatto con l'ambiente.

A titolo di esempio, una sonda geotermica può contenere fino ad oltre 1000 litri di liquidi.

Il problema della perdita di liquidi può essere risolto con l'esecuzione di una prova di pressione subito dopo l'installazione dei circuiti, con l'installazione di spie di pressione e con l'evacuazione immediata del liquido in caso di perdita.

È importante che l'energia richiesta per la climatizzazione invernale sia calibrata sul sistema di pompe di calore e quest'ultime, a loro volta, tarate sull'energia prodotta dal sottosuolo.

In caso contrario, cioè se viene sottratta troppa energia termica dal sottosuolo, il sistema collassa: si passa ad una temperatura d'operazione della pompa di calore troppo bassa e questo risulta in una cattiva prestazione del sistema.

Un altro effetto negativo dell'abbassamento esagerato della temperatura nel sottosuolo è il suo congelamento. È quindi molto importante, che tutto il sistema sia ben bilanciato, che l'impianto d'estrazione d'energia nel sottosuolo sia leggermente sovradimensionato e la pompa di calore di conseguenza sia leggermente sottodimensionata.

La conseguenza è che le temperature operative della pompa di calore sono più alte, favorendo una migliore prestazione generale del sistema.

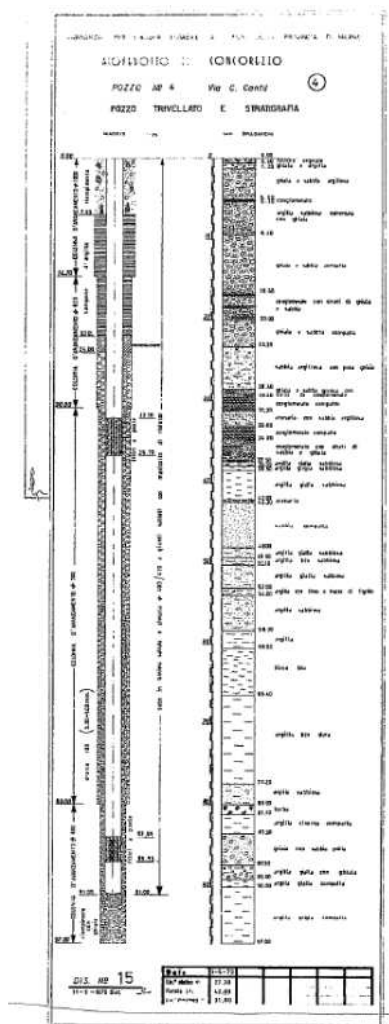
Il dimensionamento dell'un impianto prevede l'integrazione dei vari elementi: sottosuolo, scambiatore di calore, tubature di connessione, pompa di calore, sistema di riscaldamento e la rispettiva ottimizzazione dell'interazione.

Il dimensionamento dell'impianto si basa sull'analisi e la conoscenza dei seguenti aspetti:

- caratteristiche dell'edificio da riscaldare e fabbisogno energetico relativo, valutando l'incidenza del solo il riscaldamento e, quando presente, anche della produzione di acqua calda per uso igienico-sanitario;
- individuazione del sistema geotermico più adatto, considerando le caratteristiche del sottosuolo e i vincoli imposti dalla normativa;
- caratteristiche tecniche delle pompe di calore da utilizzare;
- caratteristiche tecniche delle elettropompe necessarie a far circola il fluido vettore nel circuito d'estrazione;
- caratteristiche dell'allacciamento, ovvero distanze e cadute di pressione.

In via preventiva, è stata acquisita la stratigrafia del pozzo di prelievo dell'acqua potabile posto in adiacenza al plesso scolastico, dal quale può evincersi in prima approssimazione la composizione del terreno interessato dall'esecuzione delle trivellazioni per l'alloggiamento delle sonde geotermiche.





Stratigrafia del pozzo di prelievo acqua potabile di Via Cantù

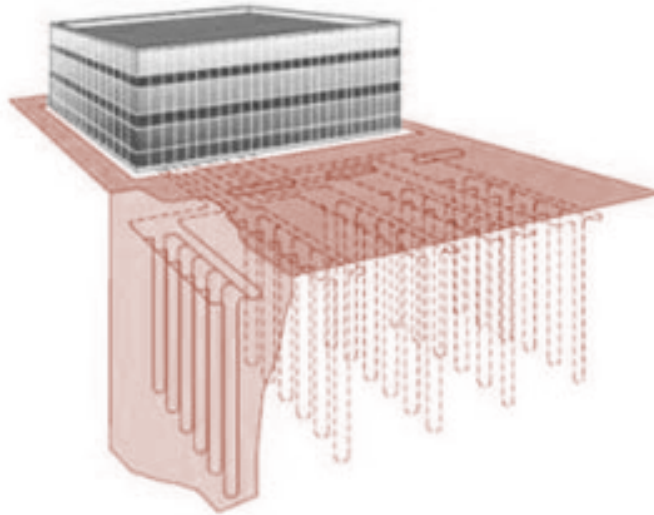
Le principali problematiche ambientali che si manifestano durante l'installazione di sonde geotermiche verticali, sono riferibili alla fase di perforazione e di esercizio dell'impianto stesso, in particolare:

Fase di perforazione:

- inquinamento potenziale della falda idrica che può essere causato dall'utilizzo di additivi per la perforazione non compatibili con la qualità degli elementi acquiferi;
- perforazione di strati impermeabili con eventuale e conseguente collegamento di elementi acquiferi aventi caratteristiche qualitative differenti e allo stato originario separati;
- eccessiva risalita di falde artesiane, tali da non consentire l'immediata ricostruzione dei livelli impermeabili di separazione delle falde stesse;
- modificazione dei caratteri quali/quantitativi attinenti ad emungimenti idrici adiacenti, titolati a derivare acque pubbliche dal sottosuolo.

Fase di esercizio:

- perdita di fluidi termovettori contenuti all'interno delle sonde;
- rottura delle sonde geotermiche in aree caratterizzate da dissesto idrogeologico;
- diffusione di anomalie termiche con conseguenti ripercussioni sulle falde potabili.



*Schema di impianto geotermico a bassa entalpia*

Un **impianto di geotermia a bassa entalpia** sopperisce totalmente al riscaldamento nel periodo invernale e alla refrigerazione nel periodo estivo, nonché consente la produzione di acqua calda sanitaria fino a 60°C, tutto per mezzo del medesimo impianto.

L'impianto risulta costituito da due circuiti idraulici separati:

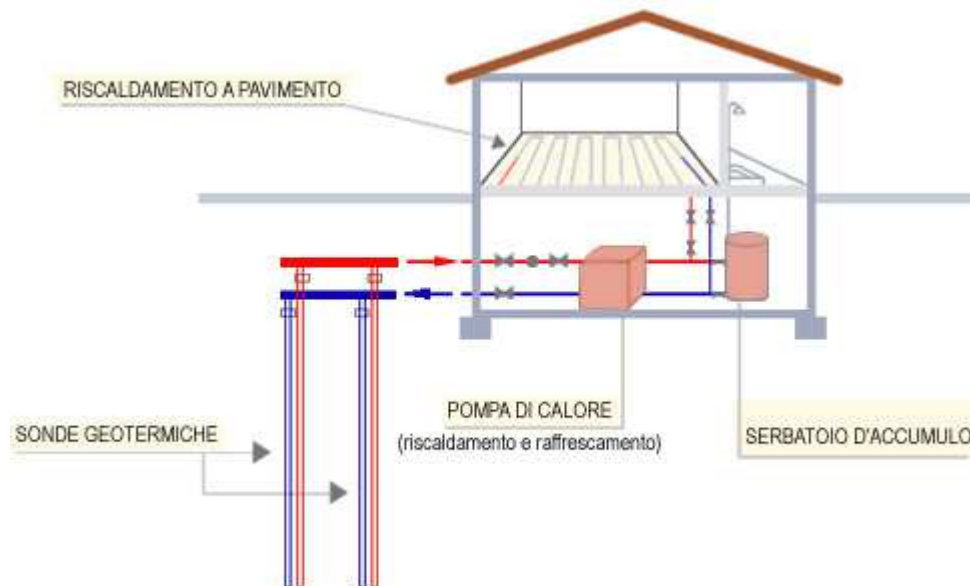
- la sonda geotermica posizionata in fondo alla perforazione ove circola acqua glicolata;
- l'impianto di distribuzione del calore, del raffrescamento e dell'acqua calda sanitaria all'interno dell'edificio.

Le sonde geotermiche verticali sono scambiatori di calore, installati verticalmente in perforazioni profonde da 50 a 250 m con fori di diametro pari a 150 mm.

La profondità delle perforazioni è determinata in base al volume dei locali da scaldare ed al tipo di terreno.

Terminata la perforazione, viene inserito in profondità un tubo ad U in polietilene.

Lo spazio vuoto restante è riempito con una miscela ternaria di acqua-cemento-bentonite, per assicurare un buon contatto termico tra i tubi e la parete della perforazione.



*Schema impianto geotermico a bassa entalpia*

In seguito viene creato un circuito chiuso tra la perforazione ed il sottosuolo dell'edificio e dell'acqua addizionata a glicole è pompata nello scambiatore di calore ubicato all'interno di un locale tecnico.

Il fluido circolante nella perforazione accumula calore e fornisce energia geotermica ad una o più pompe di calore, dimensionate in base alla potenza di riscaldamento necessaria ed alimentate a corrente elettrica.

L'energia elettrica per la pompa di calore va fornita esternamente, è per questo che normalmente si associa all'impianto geotermico anche un impianto fotovoltaico per alimentare l'elettropompa.

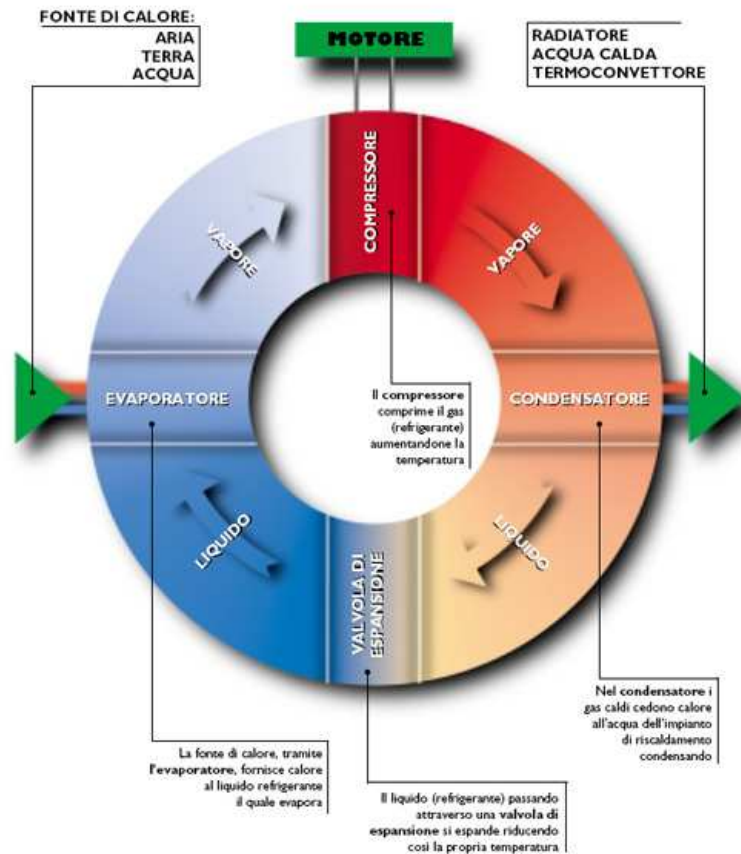
Nell'immobile in esame, l'impianto fotovoltaico è già presente e funzionante.

Con il termine **energia geotermica** si definisce l'energia termica presente nel sottosuolo.

Sotto la superficie della terra si trovano enormi quantità di calore che possono essere efficacemente sfruttate per gli utilizzi energetici.

Lo sfruttamento dell'energia geotermica avviene grazie alla differenza di temperatura che esiste tra l'atmosfera ed il sottosuolo e questo permette di ottenere acqua calda sanitaria, di riscaldare gli edifici in inverno e rinfrescarli in estate.

L'energia geotermica è un'alternativa molto interessante alle fonti energetiche tradizionali che sfruttano combustibili fossili quali petrolio, gas, uranio, ecc.



Al contrario dei combustibili fossili, l'energia geotermica è una fonte energetica inesauribile

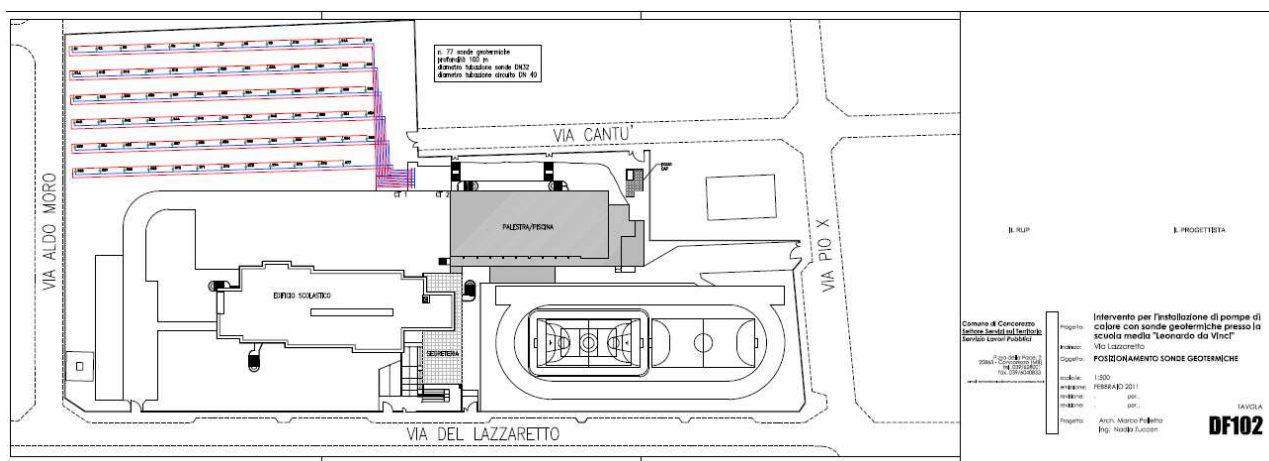
La pompa di calore geotermica è una macchina in grado di trasferire calore da un ambiente a bassa temperatura, in questo caso il terreno oppure l'acqua di falda, ad un ambiente a temperatura maggiore, e cioè l'interno dell'edificio, in modo contrario a quello che avverrebbe spontaneamente in natura.

Lo scambio di calore con il sottosuolo si svolge all'interno della sonda geotermica, che è collegata alla pompa di calore attraverso un apposito collettore.

Durante la stagione invernale il terreno, come abbiamo visto, ha una temperatura quasi costante superiore a quella esterna: il fluido glicolato scendendo in profondità attraverso le sonde geotermiche, cioè l'elemento evaporatore del sistema e durante il flusso di ritorno verso la superficie evapora espandendosi e in questo modo **assorbe calore** dalla sorgente esterna, cioè

tramite le sonde geotermiche, dal terreno, ottenendo così una temperatura maggiore rispetto all'andata.

All'uscita dell'evaporatore il fluido, che ora si trova allo stato gassoso, viene inviato al compressore che, mosso da un motore elettrico, comprime il fluido, ottenendo così un aumento di pressione e di conseguenza anche di temperatura.



Schema disposizione sonde geotermiche

Il fluido si trova così nelle condizioni ideali per passare nel condensatore (scambiatore). In questa fase del processo abbiamo il cambiamento di stato del fluido inverso, che passa dallo stato gassoso a quello liquido che quindi **cede calore** al sistema di riscaldamento dell'edificio.

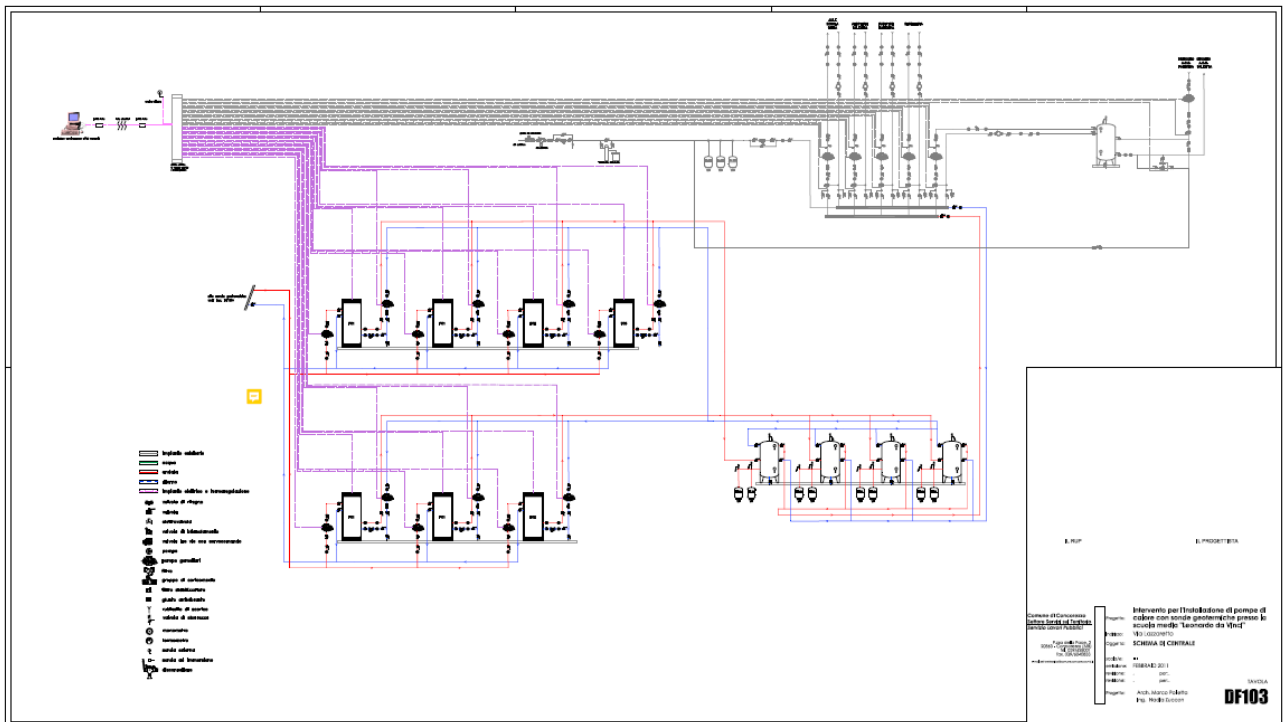
Normalmente questo è costituito da acqua o aria che sono utilizzati come fluidi vettori per il riscaldamento degli edifici o per produrre acqua calda sanitaria.

Il ciclo si completa con l'ultima fase in cui il liquido passando attraverso una valvola di espansione si trasforma parzialmente in vapore e raffreddandosi, tornando di nuovo nelle condizioni iniziali del ciclo.

Invertendo il ciclo sopra descritto, la pompa di calore può essere utilizzata per raffrescare durante la stagione estiva, prelevando il calore dall'ambiente da raffrescare e trasferendolo al sottosuolo tramite le sonde geotermiche.

Quindi lo stesso impianto funziona per riscaldare d'inverno e rinfrescare d'estate semplicemente invertendo il senso di funzionamento.

Le pompe di calore geotermiche si contraddistinguono per un alto livello di rendimento dell'impianto nell'arco dell'intera stagione, con un utilizzo di energia elettrica molto basso rispetto alle prestazioni prodotte.



*Schema centrale termica con sonde geotermiche a bassa entalpia*

L'efficienza di una pompa di calore è definita dal coefficiente di prestazione "COP", che è il risultato del rapporto tra l'energia prodotta e l'energia consumata; in genere ha un valore vicino a 4, ma può variare in base al tipo di macchina; da ciò si ottiene che una pompa di calore che produce all'incirca 4 kWh di energia termica utilizza solamente 1 kWh di energia elettrica.

Inoltre, quando è in funzione, la pompa di calore non produce alcuna gas di scarico dannoso e non ha bisogno quindi di una canna fumaria come le normali caldaie a combustione.

Nel corso dell'anno 2016, non essendo stato finanziato il progetto con sonde geotermiche, l'Amministrazione comunale ha dato corso al rifacimento della centrale termica, sostituendo i vecchi gruppi termici con sei gruppi termici modulari funzionanti a cascata, ai quali è stato abbinato, ai fini di un miglior funzionamento, uno scambiatore di calore a piastre.

Contestualmente sono stati rifatti i camini e l'impianto elettrico, introducendo anche il sistema di telecontrollo dell'impianto.



*Nuove caldaie installate nella centrale termica del complesso scolastico "L. da Vinci"*

L'impianto termico non è stato rinnovato, fatta eccezione per l'installazione di valvole termostatiche sui corpi scaldanti posti negli ambienti del complesso scolastico.

Alcuni corpi scaldanti sono stati lasciati volutamente privi di valvola, al fine di garantire una portata minima dell'impianto anche in presenza di una chiusura completa delle valvole, abbinando comunque il tutto all'installazione di una nuova elettropompa di circolazione di tipo gemellare a portata variabile.

Nel corso dell'anno 2017 ha trovato completa realizzazione la riqualificazione energetica completa del plesso, attraverso la sostituzione dei serramenti e posa di cappotto isolante, previa messa in sicurezza delle facciate in cemento armato faccia a vista deteriorato e delle gronde, nonché nell'attuazione di parte degli interventi di adeguamento sismico.





Come si può osservare il risultato ottenuto è ben maggiore di quello prospettato dall'audit energetico, in quanto si posiziona al 67%.

**CENTRALE TERMICA SCUOLA LAZZARETTO**

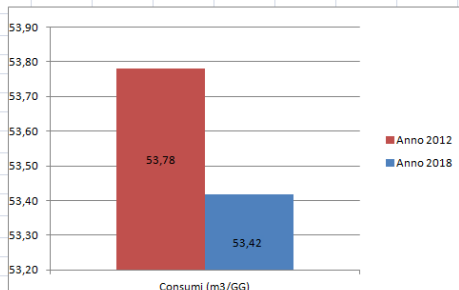
Volumetria	31.254 m <sup>3</sup>
2012	2.539 GG effettivi
2017	2.300 GG effettivi

Consumi	
2012	136.520 m <sup>3</sup>
2017	122.869 m <sup>3</sup>
2012	53,78 m <sup>3</sup> /GG
2017	53,42 m <sup>3</sup> /GG

Risparmio 0,67%

Valori unitari	
2012	4,37 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
2017	3,93 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>

Valori unitari corretti con GG	
2012	4,37 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
2017	4,34 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>



mese	2012	2017
gennaio	30.639	27.575
febbraio	33.363	30.027
marzo	13.595	12.236
aprile	7.680	6.912
ottobre	6.430	5.787
novembre	16.861	15.175
dicembre	27.952	25.157
<b>totale</b>	<b>136.520</b>	<b>122.869</b>

