

INTRODUZIONE E CONCETTO PROGETTUALE

IL BUS DI TOFANA

Il Bus di Tofana , a 2910 m, una **finestra naturale** sulle maestose cime dolomitiche, **conduce sul versante opposto della Tofana di Mezzo**, ed è una delle mete più ambite degli scialpinisti per lo scenario mozzafiato che rivela. Ai piedi di questa magnifica finestra naturale, **su uno strato di permafrost**, è posizionata la stazione di monte della seggiovia Pian Ra Valles – Ra Valles - Bus Tofana, **impianto già particolarmente innovativo per subire presso la stazione intermedia una deviazione della fune sui cui viaggiano le seggiole di quasi 90 gradi**, risultando essere una soluzione unica nell'arco alpino e grande attrazione per la conca di Ra Valles a Cortina d'Ampezzo.

SINTESI DELL'INTERVENTO

Si descrive un **processo per il raffreddamento dello strato di permafrost** presente nel sottosuolo della stazione motrice della seggiovia Pian Ra Valles – Ra Valles - Bus Tofana per garantirne il mantenimento e mirare ad un consolidamento dello stesso. Il raffreddamento avviene in un impianto geotermico, combinato con una pompa di calore alimentata elettricamente da un impianto fotovoltaico. Il calore dissipato viene utilizzato per il riscaldamento di volumi abitativi o tecnici. In particolare, il processo risulta ideale nei periodi invernali quando il permafrost si scioglie a causa del calore accumulato in estate e poi trasmesso per via conduttiva e convettiva dagli strati detritici/morenici sovrastanti e limitrofi allo stesso.

Il processo è **alimentato da energia rinnovabile, non produce emissioni di CO2**, è da considerarsi sostenibile.

LE CAUSE NATURALI ED IL POSSIBILE RIMEDIO

Lo **scioglimento del permafrost avviene a causa della trasmissione di calore accumulato** nelle aree sovrastanti e limitrofe nei periodi caldi dell'anno, conformemente al secondo principio della termodinamica, che postula come il calore si trasferisca sempre da un corpo più caldo ad un altro più freddo. Questo è un processo spontaneo che si verifica in natura senza bisogno di nessuna attività esterna.

Per impedire/rallentare lo scioglimento del permafrost causato dalla diffusione del calore dalle masse limitrofe ai sensi del citato secondo principio della termodinamica, **la soluzione progettuale risiede nel processo inverso**, ovvero quello che **trasferisce calore da "zone a temperatura più bassa" a "zone a temperatura più elevata"**. Il processo non si verifica spontaneamente e richiede **l'ausilio di un ciclo frigorifero**.

La macchina frigorifera sfrutta energia meccanica e rende possibile lo scambio di calore fra una sorgente fredda (permafrost), a cui sottrae calore, e una sorgente calda (ambiente esterno), a cui cede calore tramite un fluido vettore (acqua e liquido antigelo) che passa dalla fase liquida alla fase gassosa (evaporatore) per poi tornare alla fase liquida (condensatore).

Il raffreddamento della massa limitrofa o sovrastante e del permafrost stesso produce gli stessi effetti di un consolidamento delle masse contro cedimenti, frane e collassi.

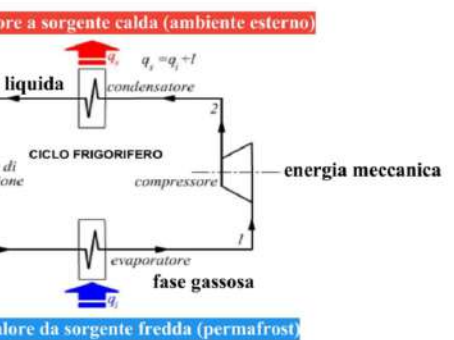
L'INVERSIONE DEL PARADIGMA

- Il lavoro necessario per alimentare il ciclo frigorifero viene prelevato dall'esterno, nella fattispecie da energia elettrica prodotta da pannelli fotovoltaici, che alimenta il compressore (energia meccanica), invertendo il paradigma come di seguito:

- **da energia solare** → irraggiamento → innalzamento della temperatura della superficie circostante il permafrost → **scioglimento del permafrost**
- **da energia solare** → produzione di energia fruibile → ciclo frigorifero → raffreddamento del permafrost → **consolidamento del permafrost**

In questo modo, l'impianto farà uso esclusivamente di fonte energetica rinnovabile e **l'impatto ambientale sarà nullo**, in quanto le sonde geotermiche utilizzate dal fluido vettore, vengono realizzate nel sottosuolo, l'impianto fotovoltaico risulta integrato nelle coperture di edifici ed il calore dissipato utilizzato per scaldare gli edifici limitrofi esistenti.

Dott. Ing. Mario Vascellari
TOFANA SRL - Cortina d'Ampezzo (BL)



IL PERMAFROST, COS'È? IL PERMAFROST NELLE ALPI CRITICITÀ LEGATE AL PERMAFROST NEL CONTESTO DELL'EVOLUZIONE CLIMATICA

IL PERMAFROST

Il permafrost rappresenta un terreno ghiacciato che si caratterizza per temperature negative nell'arco dell'intero anno ed è quindi definito come fenomeno termico condizionato puramente dalla temperatura del sottosuolo e dalla percentuale di ghiaccio per quanto attiene le proprie caratteristiche meccaniche. Lo strato di sottosuolo situato tra la superficie del terreno e il tetto del permafrost è la zona di disgelo o strato attivo, che disgela in estate e congela in inverno. Sotto il tetto del permafrost il terreno presenta temperature negative tutto l'anno. **Lo spessore del corpo del permafrost può variare da qualche metro a diverse decine di metri.** La base del permafrost è il limite inferiore del corpo del permafrost. Al di sotto di questo limite, il terreno resta non gelato tutto l'anno a causa del flusso di calore geotermico proveniente dall'interno della terra. A partire da una certa profondità nel sottosuolo (va intesa in senso radiale e non esclusivamente verticale), ovvero alla profondità dell'escursione annua nulla, la temperatura del terreno non presenta più alcuna variazione stagionale.

Nelle Alpi, il permafrost è influenzato, oltre che dalla temperatura, anche dalla topografia (esposizione dei versanti) e dalla presenza di precipitazioni nevose.

L'INFLUENZA DEL CONTENUTO DI GHIACCIO

Il ghiaccio è la componente del sottosuolo gelato che crea maggiori problemi in quanto si determina in qualità di componente interstiziale variabile da cui dipendono le proprietà fisiche e meccaniche del suolo e della roccia; quindi la presenza di ghiaccio determina la tipologia del permafrost quale: permafrost rigido, plastico e secco, ciascuno con diverse caratteristiche meccaniche in funzione della granulometria del terreno, la sua porosità, gli spazi interstiziali, il contenuto di aria, la pressione dei livelli superiori. In figura viene invece espressa la percentuale volumica di ghiaccio presente nel sottosuolo che determina diversità di comportamento:

Un terreno fine gelato resiste meglio al taglio che allo stato non gelato, purché non sia soprassaturo di ghiaccio. Quando la percentuale del ghiaccio di un terreno supera il grado di saturazione (soprassaturazione di ghiaccio), i contatti intergranulari, generatori di attrito interno, scompaiono e le deformazioni per scorrimento aumentano.

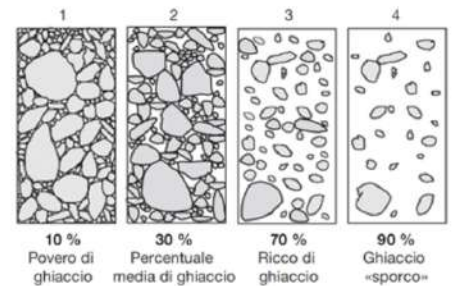
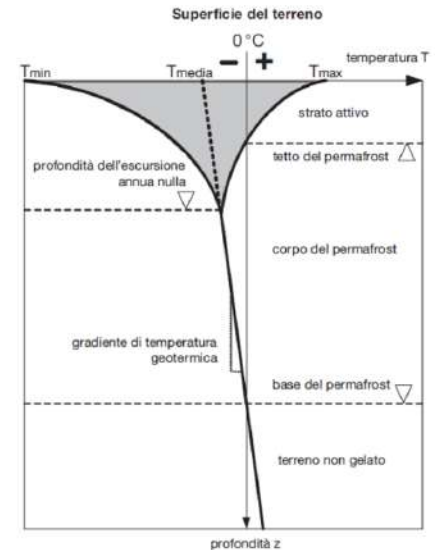
LA PRESENZA DEL PERMAFROST E LE CONSEGUENZE

La degradazione del permafrost causa problemi di stabilità dei versanti, aumentando il rischio di frane e smottamenti, soprattutto in aree antropizzate e infrastrutture di alta quota, come nel caso in esame. Il permafrost ha infatti un ruolo preminente nella stabilizzazione di molti versanti di alta quota, dove agisce come un «collante» nelle fratture della roccia. Buona parte della degradazione che osserviamo in quota è dovuta al riscaldamento climatico e al conseguente scioglimento progressivo del permafrost.

LE CONTROMISURE

Per mitigare gli effetti del riscaldamento e dello scioglimento del permafrost sulle infrastrutture, possono essere adottati interventi attivi o passivi. Gli interventi attivi cercano di rallentare o inibire lo scioglimento mantenendo la temperatura del sottosuolo su valori fisiologici del permafrost, mentre quelli passivi cercano di superare gli effetti negativi ancorando le strutture direttamente in roccia.

In conclusione, la degradazione del permafrost a causa del cambiamento climatico rappresenta una sfida tecnica per la realizzazione e la manutenzione delle costruzioni che interagiscono con questa tipologia di terreno ghiacciato.



Percentuale volumica di ghiaccio



IL FUNZIONAMENTO DELL'IMPIANTO SEGGIOVIARIO IL PROBLEMA RISCONTRATO LE VARIE SOLUZIONI IPOTIZZATE

IL FUNZIONAMENTO DELL'IMPIANTO SEGGIOVIARIO

La seggiovia "Pian Ra Valles - Ra Valles - Bus di Tofana" rientra nella tipologia degli impianti chiamati "ad ammorsamento automatico", quelli che, per garantire una elevata velocità dei veicoli lungo il percorso e, contemporaneamente, dare la possibilità ai passeggeri di salire e scendere comodamente dalle seggiole, disammorsano le seggiole dalla fune, le rallentano, le fanno transitare nel settore di stazione destinato alla salita/discesa dei passeggeri per poi riaccelerarle e, quando raggiungono la velocità della fune, riammorsarle su di essa.

Risulta pertanto di fondamentale importanza che la fune, nella zona di disammorsano/ammorsano dei veicoli (tratto evidenziato in verde) sia perfettamente orizzontale; questi settori sono i tratti di ingresso e uscita dalla stazione.

IL PROBLEMA RISCONTRATO

Nel caso della seggiovia di cui si tratta, già al momento della progettazione e della costruzione, era risaputo che al di sotto della stazione di monte era presente uno strato di terreno ghiacciato (chiamato Permafrost), dello spessore di circa 18-20 m; il sostegno di avanzazione risulta invece posizionato su solida roccia.

A seguito dei noti problemi legati ai cambiamenti climatici ed al riscaldamento globale, si era già ipotizzato un progressivo scioglimento del Permafrost e un abbassamento dell'intera stazione con una conseguente variazione di quota rispetto al sostegno.

LE VARIE ALTRE SOLUZIONI IPOTIZZATE

Per ridurre gli effetti del fenomeno erano state studiate e poste in opera delle contromisure, precisamente:

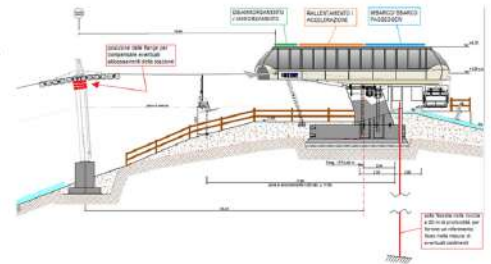
- Un sistema di monitoraggio che rileva le differenze di quota della fondazione della stazione rispetto al piano in roccia posto ad una profondità di circa 20 m sotto il piano campagna.
- Un sistema di compensazione della quota fune mediante delle flange, inserite nella struttura del sostegno di avanzazione, da sfilare per abbassare le rulliere e mantenere la fune orizzontale.
- La predisposizione per un sistema di ancoraggio in roccia della platea fondazionale tramite palificazioni in profondità.

LA SOLUZIONE SCELTA

Tuttavia, vista la potenziale accelerazione del fenomeno di scioglimento - che allo stato attuale non crea alcun problema tecnico o di sicurezza - la tematica doveva essere comunque affrontata in quanto, con il suo proseguire, si sarebbero potute riscontrare anomale usure di alcuni particolari meccanici, problemi di allineamento ecc.

Si è pensato allora per la prima volta di passare da una soluzione prettamente passiva e meccanica (ancoraggi in profondità e flange di compensazione) ad una soluzione attiva di carattere termodinamico (il raffreddamento del permafrost ed il suo conseguente consolidamento). L'intervento messo in opera è destinato a contrastare il fenomeno dello scioglimento ed assicurare al terreno circostante e sottostante la stazione di monte di non superare la temperatura di 0 °C e mantenere quindi allo stato solido la frazione di ghiaccio presente nel Permafrost.

Per l'alimentazione dell'impianto, che null'altro è che un ciclo frigorifero, vengono utilizzati dei pannelli fotovoltaici in modo tale da sfruttare l'irraggiamento solare che provoca il problema per contrastare il problema stesso.



Flange di compensazione



Predisposizione ancoraggio in profondità



LA SOLUZIONE TECNICA IL CICLO FRIGORIFERO

LA SOLUZIONE TECNICA

L'impianto ha l'obiettivo di consolidare il sottosuolo, dove si potrebbero presentare segni di cedimento del permafrost, mediante un impianto di geotermia verticale che viene combinato con un gruppo frigorifero alimentato elettricamente da un impianto fotovoltaico.

Il "consolidamento" del sottosuolo avviene tramite il raffreddamento del permafrost ripristinando lo stato solido della parte di ghiaccio. Il raffreddamento è realizzato da 10 sonde geotermiche della lunghezza di 20m che asportano calore dal terreno. La sonda geotermica è costituita da due tubazioni, (mandata e ritorno) dove scorre un fluido (acqua e liquido antigelo) ad una temperatura di -8 °C.

IL CICLO FRIGORIFERO

Per produrre il fluido freddo a ca. -8 °C si utilizza un gruppo frigorifero elettrico aria-acqua installato al piano terra dell'edificio di servizio della seggiovia; tecnicamente l'impianto asporta calore dal terreno e lo trasferisce all'aria tramite le sonde geotermiche ed il gruppo frigorifero.

Per realizzare il trasferimento del calore, la macchina frigorifera utilizza un gas frigorifero il quale viene messo in circolazione nelle sonde geotermiche e passa attraverso uno scambiatore di calore (evaporatore). Il fluido frigorifero in questo scambiatore di calore evapora, e attraverso il cambiamento di stato (da liquido a gassoso) assorbe energia "dall'esterno" abbassandone la temperatura. Il fluido frigorifero allo stato gassoso viene compresso da un compressore, aumentando così pressione e temperatura e attraverso le tubazioni raggiunge il condensatore, uno scambiatore di calore gas/aria, e viene raffreddato tramite l'aria esterna (ventilatori) ritornando liquido cedendo calore all'aria.

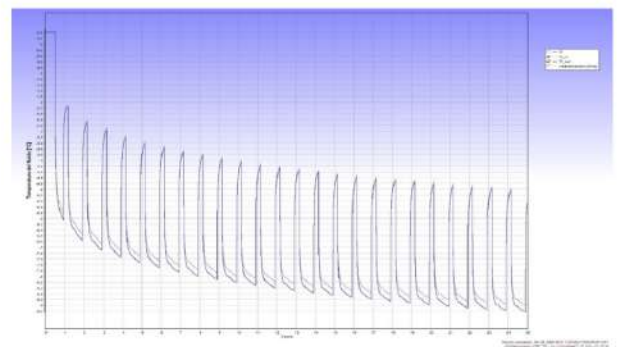
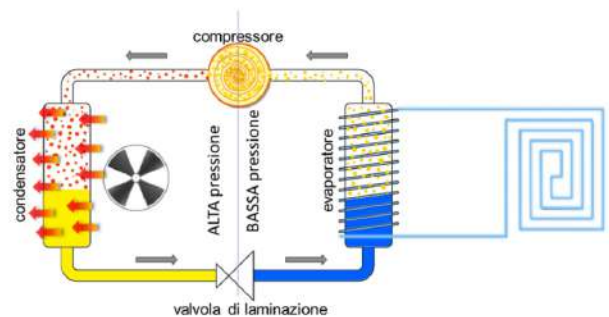
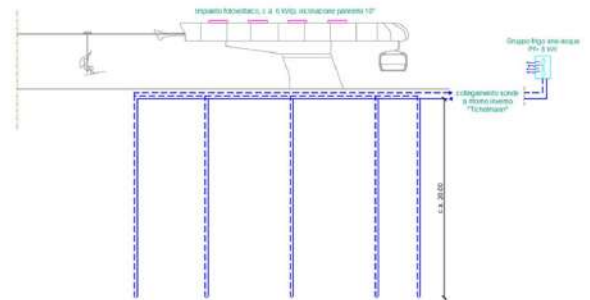
Il gruppo frigorifero garantisce la fornitura della potenza frigorifera di circa 8 kW ad una temperatura di mandata di ca -8/-6 °C e assorbendo circa 4 kW di potenza elettrica.

La stessa macchina frigorifera è presente nelle nostre abitazioni, all'interno del frigorifero di casa; infatti, c'è l'evaporatore che rende il vano freddo, mentre nella parte retrostante c'è il condensatore (retina metallica nera) che scalda l'aria e permette all'energia di essere ceduta all'ambiente.

LE ANALISI DALLA SIMULAZIONE TERMICA

Dalle analisi eseguite è risultata necessaria una potenza termica di raffreddamento per mantenere e ripristinare il congelamento del terreno di ca. 8 kW termici

Il dimensionamento dell'impianto è stato supportato da una simulazione termica del sottosuolo per valutarne il comportamento annuo e anche pluriennale fino a 25 anni di funzionamento, dimostrandone l'efficacia tramite il progressivo abbassamento della temperatura all'interno del fluido vettore.



L'IMPIANTO FOTOVOLTAICO

IMPIANTO FOTOVOLTAICO: FUNZIONAMENTO

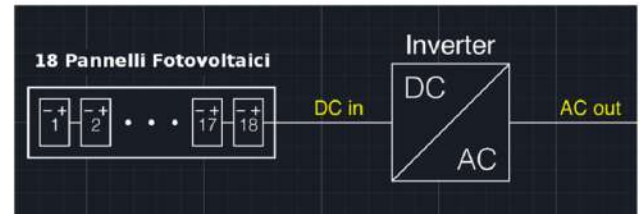
I pannelli fotovoltaici, costituiti dall'unione di più celle fotovoltaiche, convertono l'energia dei fotoni dei raggi solari in elettricità. Semplificando al massimo: **quando un fotone colpisce la superficie della cella fotovoltaica, la sua energia viene trasferita agli elettroni presenti sulla cella in silicio. Questi elettroni vengono "eccitati" e iniziano a fluire nel circuito producendo corrente elettrica.** Un pannello solare produce energia in Corrente Continua.

L'impianto fotovoltaico, con le relative batterie di accumulo, produce nel corso dell'anno tutta l'energia elettrica consumata dell'impianto di consolidamento del permafrost, arrivando quindi ad un bilancio neutro per quanto riguarda le emissioni di CO2 equivalenti.

Sarà poi compito dell'inverter convertirla in Corrente Alternata per trasportarla ed utilizzarla nelle reti di distribuzione. Gli edifici domestici e industriali, infatti, sono predisposti per il trasporto e l'utilizzo di corrente alternata.

IMPIANTO FOTOVOLTAICO: LA PRODUZIONE ENERGETICA

La produzione dell'energia elettrica consumata dal gruppo frigorifero e dalle pompe di circolazione viene prodotta nel sito con un impianto fotovoltaico di potenza di 16,5 kWp. I pannelli vengono installati in orizzontale sulla copertura della stazione di monte della seggiovia; l'installazione orizzontale è stata scelta per minimizzare l'impatto estetico e per massimizzare la resistenza degli stessi al vento e alle intemperie atmosferiche.



IL CAROTAGGIO E LE GEOSONDE

IL PRIMO CAROTAGGIO

Si descrive un **sondaggio geognostico** eseguito nel 2019 presso la località Bus di Tofana, a un'altitudine di circa 2770 m, su incarico della TOFANA Srl per supportare la costruzione di una nuova seggiovia ed evidenziare la presenza di permafrost. La perforazione è stata eseguita quasi interamente con una carotiera doppia e corona diamantata **per individuare con precisione il tetto del substrato roccioso dolomitico e la profondità del permafrost.**

La maggior parte del materiale sovrastante il substrato roccioso è risultato essere ghiacciato, e la **perforazione è stata completata con l'inserimento di una tubazione piezometrica** di diametro \varnothing 80 mm **all'interno della quale è stata fissata un' asta nel substrato roccioso alla base della perforazione finalizzata a fornire un sistema di monitoraggio** che rileva le differenze di quota della fondazione della stazione rispetto al piano in roccia posto ad una profondità di circa 20 m sotto il piano campagna.

LE GEOSONDE

Successivamente per la posa delle geosonde essenziali per la realizzazione del ciclo frigorifero **sono state eseguite le perforazioni** a distruzione di nucleo con martello fondo foro e tubazioni di rivestimento di diametro \varnothing 127 mm, **intercettando la roccia a una profondità media di circa 16,0 metri per tutti i 10 fori.**

Una volta raggiunto il substrato dolomitico, si è continuato con la distruzione di nucleo per la posa della sonda geotermica. È stata installata una sonda geotermica in ogni foro, cementata con un preparato apposito.

Intorno alla stazione di monte della seggiovia è stato eseguito un ulteriore foro con la posa di cinque sonde termometriche PT 100, e un'altra sonda termometrica PT 100 è stata posata in una sonda a 14,0 metri di profondità. **Le sonde termometriche permettono di misurare le temperature nello strato sotto il piano di campagna ed ovviamente nel permafrost, utili alla gestione ed ottimizzazione del ciclo frigorifero previsto.**

IL CONTENUTO DI GHIACCIO

Presso la geosonda nr. S4, è stato eseguito un nuovo carotaggio continuo per recuperare materiale e **sottoporlo a pesata prima e dopo lo scongelamento** e da ciò impostare gli algoritmi per la realizzazione del ciclo frigorifero in funzione del contenuto di ghiacci.

	S4 - Perforazione eseguita a carotaggio continuo NT6 \varnothing 101 mm Corona Diamantata							
Profondità m	4,5 ÷ 6,0	6,0 ÷ 7,50	7,5 ÷ 9,0	9,0 ÷ 10,5	10,5 ÷ 12,0	12,0 ÷ 13,5	13,5 ÷ 15,0	15,0 ÷ 16,0
Pesata prima Kg	31,4	25,3	20,8	25,9	23,2	22,2	11,7	12,9
Pesata dopo Kg	31,4	24,5	20,5	23,8	19,1	21,1	10,7	10,7
Differenza kg	0,0	0,8	0,3	2,1	4,1	1,1	1,0	2,2
Percentuale ghiaccio	0,00	3,16	1,44	8,11	17,67	4,95	8,55	17,05
Falda	Giorno 29,05 - Profondità foro 10,50 - Falda 7,00 m							



I LAVORI DI REALIZZAZIONE IL POSIZIONAMENTO DEI MACCHINARI E LE REGOLAZIONI

L'ACCANTIERAMENTO

Visto il luogo di installazione e le difficoltà di trasporto del materiale in cantiere, è stato necessario approvvigionare tutto il materiale necessario in tempi molto brevi, visto che il **materiale più pesante ed ingombrante doveva essere trasportato con il gatto delle nevi fino alla zona di installazione. Il tutto è stato trasportato con la zona di cantiere ancora innevata.**

MACCHINARI INSTALLATI, IL LORO POSIZIONAMENTO

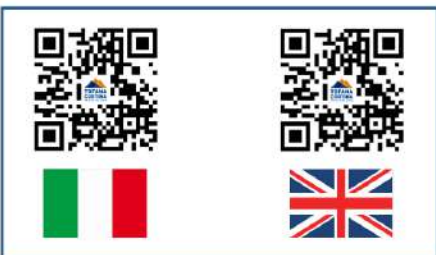
Il lavoro di posa delle tubazioni in PEAD di collegamento delle sonde geotermiche è avvenuto all'interno di uno scavo mentre **la centrale frigorifera è stata installata nel locale adiacente al generatore di emergenza esistente.**

LE FASI DI LAVORO

Al fine di ridurre la durata dei lavori in quota, **le parti in acciaio del locale macchine sono state prefabbricate in officina.** Le tubazioni in PEAD sono state saldate con manicotti elettrosaldabili in modo da ridurre la durata delle lavorazioni all'aperto. Riepilogando le fasi lavorative si possono riassumere in:

- Ordine del materiale
- Realizzazione dei disegni di officina per la prefabbricazione
- Trasporto in cantiere del materiale ed accantieramento
- Realizzazione della centrale frigorifera e posa delle tubazioni in PEAD
- Prova in pressione dell'impianto.
- Riempimento con acqua e glicole
- Messa in esercizio e prove di funzionamento

I lavori sono iniziati il 08.06.2023 e sono stati ultimati con la messa in esercizio dell'impianto il 26.07.2023.



ANALISI PRELIMINARE DINAMICA DELL'IMPATTO DEL SISTEMA GEOTERMICO SUL SUBSTRATO PERMAFROST

IL PROGETTO DI RICERCA

Il progetto di ricerca affronta il problema del cambiamento climatico e della fusione del permafrost in un'area montana, specificamente nella località Bus de Tofana a 2770 m. Il progetto si concentra sull'individuazione e l'applicazione di una soluzione tecnologica, un sistema geotermico, per frenare lo scioglimento del permafrost e preservare la stabilità dell'area.

Nell'ambito del progetto, il Gruppo di Ricerca di Fisica Tecnica Ambientale della Facoltà di Ingegneria della Libera Università di Bolzano si occupa della **valutazione dell'efficacia della soluzione tecnologica proposta (i.e., di un sistema geotermico) e dello studio del relativo contributo in merito alla preservazione del permafrost e della stabilità dell'area in un contesto di cambiamento climatico accelerato.**

ANALISI PRELIMINARE DELL'IMPATTO DEL SISTEMA GEOTERMICO SUL PERMAFROST

A valle dell'analisi dei dati di input, quali le caratteristiche del terreno e le condizioni climatiche locali, sono state condotte **simulazioni preliminari per valutare la risposta termica del terreno** alle oscillazioni di temperatura ambientale, in particolare della zona con presenza di permafrost.

LE SIMULAZIONI DINAMICHE

Successivamente, sono state condotte simulazioni dinamiche tridimensionali per analizzare l'impatto del sistema geotermico sulla temperatura del terreno. I risultati preliminari hanno dimostrato che il sistema geotermico di sonde può influire positivamente sulle condizioni termiche del terreno su cui poggia la stazione di monte dell'impianto di risalita, **contribuendo a mantenere il permafrost nella zona di interesse e nelle immediate vicinanze sotto gli 0 °C, evitando quindi il rischio di fusione.** La analisi è stata effettuata assumendo diversi contenuti volumici di ghiaccio nel permafrost, sia in ambito invernale che estivo, prima dell'apporto dato dal ciclo frigorifero.

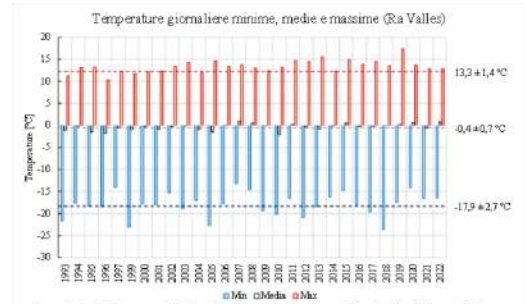
Successivamente considerando un contenuto medio di ghiaccio nel permafrost di circa il 13% è stato **simulato l'andamento delle temperature in profondità in 4 trimestri con l'apporto del ciclo frigorifero, confermando a grandi linee gli assunti progettuali del comportamento dinamico.**

CONCLUSIONE

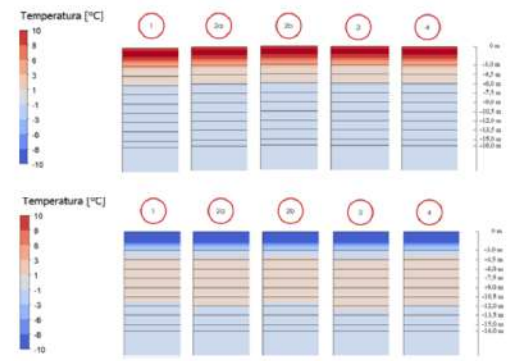
La validazione dei risultati numerici ottenuti ed il monitoraggio delle condizioni del terreno rappresentano gli ultimi due aspetti del progetto, finalizzati a garantire l'efficacia della soluzione tecnologica adottata sul lungo termine, nonché la sua efficienza sotto il profilo energetico. **A tal fine, è stato installato un sistema di sensori sia nel terreno sia in corrispondenza di alcune sonde dell'impianto geotermico, così da poter monitorare le effettive condizioni termiche a varie profondità, validare i risultati ed accertare che l'impianto possa operare in condizioni ottimali, sfruttando al massimo l'energia elettrica da fonte fotovoltaica generata in loco.**

In conclusione, il progetto rappresenta una soluzione promettente per preservare il permafrost in zone montane. L'utilizzo di tecnologie geotermiche innovative, insieme a fonti di energia rinnovabile, può essere replicato in altre località per affrontare gli effetti negativi del cambiamento climatico sul terreno e garantire la fruibilità delle aree montane anche in futuro.

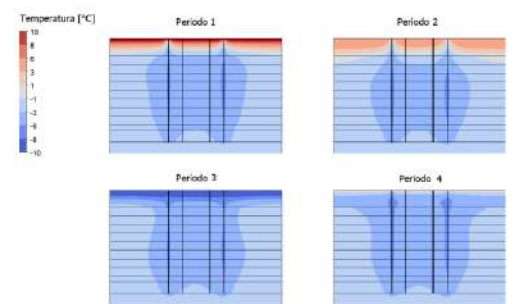
Prof. Andrea Gasparella – Dott.Ing. Giovanni Pernigotto, Ph.D.
GRUPPO DI FISICA TECNICA AMBIENTALE DELLA FACOLTÀ DI INGEGNERIA
DELLA LIBERA UNIVERSITÀ DI BOLZANO Bolzano (BZ)



Analisi delle condizioni climatiche locali: statistiche della serie storica di temperature medie giornaliere rilevate a Ra Valles



Campo di temperatura a diverse profondità nel periodo estivo (in alto) e invernale (in basso)



Andamento delle temperature in 4 trimestri nella sezione trasversale del sistema



ANALISI DELL'EFFICIENZA ENERGETICA NELL'ARCO TEMPORALE

L'OBIETTIVO DA RAGGIUNGERE

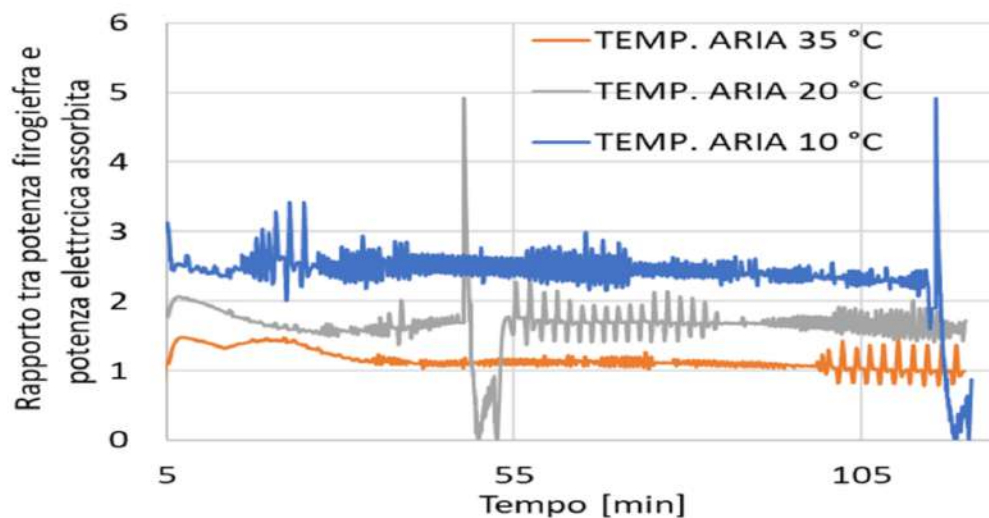
Catturare l'energia del sole per conservare il permafrost: questo è l'obiettivo ambizioso che si vuole raggiungere. Nel corso dei millenni il pianeta terra aveva trovato un meraviglioso equilibrio tra l'energia che arriva quotidianamente dal sole e quella che la Terra riemette verso lo spazio. L'azione dei gas serra emessi dall'uomo ha alterato questo delicato equilibrio e sta portando ad un progressivo riscaldamento globale che, tra le varie conseguenze, sta mettendo in grave rischio lo strato di permafrost che si era formato sulle nostre montagne migliaia di anni fa.

Il sole può aiutarci a preservare il permafrost attraverso la sua energia: in questo impianto i pannelli fotovoltaici catturano le radiazioni solari e le trasformano in energia elettrica. Tale energia elettrica alimenta una macchina frigorifera progettata appositamente per estrarre il calore dal terreno attraverso un fluido refrigerato che viene fatto circolare nelle sonde geotermiche.

La sfida da vincere è ottimizzare tutto l'impianto, ovvero consumare la quantità minima della preziosa energia elettrica per ottenere il massimo beneficio per il permafrost.

ANALISI DELL'EFFICIENZA ENERGETICA NELL'ARCO TEMPORALE

Una macchina frigorifera ben progettata può rendere disponibile fino a più di 3 volte l'energia che ha consumato. Questo fattore può risultare però molto inferiore se non si riesce ad utilizzare in maniera efficiente l'energia elettrica, tenendo conto che sia l'irraggiamento solare che la temperatura dell'aria cambiano in continuazione. Un esempio di funzionamento di una macchina frigorifera simile a quella che verrà installata in questo impianto è riportato in figura, dove si vede il rapporto tra la potenza frigorifera ottenuta e la potenza elettrica assorbita nel tempo per tre diverse temperature dell'aria ambiente. La curva blu si riferisce alla temperatura ambiente di 10 °C, mentre quella arancione si riferisce ad una calda giornata estiva a fondo valle. Si cercherà di privilegiare il funzionamento quando l'aria ambiente è più fredda, accumulando l'energia frigorifera prodotta nel terreno.



IL PROGETTO DI RICERCA

L'obiettivo di ottimizzazione energetica viene ottenuto attraverso lo studio svolto dal gruppo di Fisica Tecnica del Dipartimento di Tecnica e Gestione dei Sistemi Industriali dell'Università di Padova per una corretta gestione della macchina frigorifera, basata sulla misura e il monitoraggio delle temperature sia dell'ambiente che del terreno dove sono installate le sonde geotermiche.

Prof. Claudio Zilio
DIPARTIMENTO DI TECNICA E GESTIONE DEI SISTEMI INDUSTRIALI
DELL'UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA Dip. di Vicenza (VI)



LA STAZIONE NIVOMETEOROLOGICA DI RA VALLES

LA STAZIONE NIVOMETEOROLOGICA DAL 1992 AD OGGI

La stazione nivometeorologica di Ra Valles (2615 m) fa parte della rete regionale di monitoraggio del manto nevoso gestita da ARPA Veneto-UNVSV- Centro Valanghe di Arabba.

La stazione è attiva nel sito attuale (a circa 300 metri dalla stazione di monte dell'impianto seggioviario Ra Valles – Pian Ra Valles – Bus di Tofana) dal 8 settembre 1992 mentre prima era ubicata a quota 2500 m (di fianco alla pista "Cacciatori) dove ha funzionato dal 1° settembre 1986 fino al 21 novembre 1990 quando una grande valanga la danneggiò. La stazione è formata da sensori tipicamente meteorologici per la misura del vento, della temperatura e umidità dell'aria, della radiazione solare incidente e da altri specifici per il manto nevoso quali la radiazione solare riflessa dalla neve, la temperatura superficiale e interna al manto nevoso e l'altezza della neve al suolo. I dati sono trasmessi via radio ogni 10 minuti alla centrale di acquisizione del Centro Funzionale Regionale del Veneto e al Centro Valanghe di Arabba. I dati sono utilizzati per la gestione e previsione del pericolo valanghe sulle Dolomiti e la stazione è una delle più in quota e quindi riveste una importanza cruciale. I dati della stazione alimentano diversi processi decisionali e anche il modello di simulazione della stratigrafia del manto nevoso (Snowpack) per una migliore valutazione delle condizioni ambientali. La stazione è anche importante dal punto di vista climatico funzionando ormai da oltre 30 anni.

ANALISI STATISTICHE DELLE MISURAZIONI NEGLI ANNI

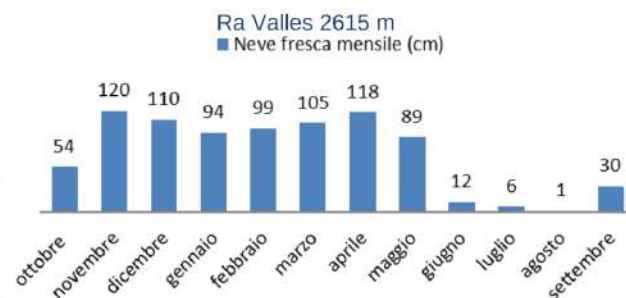
La temperatura media annuale del sito (periodo 1991-2020) è di $-0,33\text{ }^{\circ}\text{C}$ con estremi di $+0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ (2022) e $-2,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ del 2010. La temperatura media dell'inverno climatologico (DJF) è di $-6,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, della primavera $-2,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, dell'estate $+6,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ e dell'autunno di $+0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Il giorno più freddo misurato nel sito è stato il 27 febbraio 2017 con $-23,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ e il più caldo il 17 giugno 2017 con $+17,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (valori medi giornalieri).

Di seguito sono riportate le temperature medie della stazione a quota 2615 m (anni 1991-2020)

GENNAIO	FEBBRAIO	MARZO	APRILE	MAGGIO	GIUGNO	LUGLIO	AGOSTO	SETTEMBRE	OTTOBRE	NOVEMBRE	DICEMBRE
$-7.2\text{ }^{\circ}\text{C}$	$-6.8\text{ }^{\circ}\text{C}$	$-5.5\text{ }^{\circ}\text{C}$	$-2.8\text{ }^{\circ}\text{C}$	$+1.6\text{ }^{\circ}\text{C}$	$+5.1\text{ }^{\circ}\text{C}$	$+7.5\text{ }^{\circ}\text{C}$	$+7.9\text{ }^{\circ}\text{C}$	$+4.2\text{ }^{\circ}\text{C}$	$+0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$	$-3.8\text{ }^{\circ}\text{C}$	$-6.2\text{ }^{\circ}\text{C}$

Sul sito della stazione cadono quasi 8 m di neve in una stagione invernale (790 cm, periodo di osservazione 2009-2023). I mesi più nevosi sono novembre e aprile mentre la fase centrale dell'inverno (gennaio e febbraio) risulta meno nevosa. Dal punto di vista idrologico sono importanti anche gli apporti nevosi di settembre e ottobre.

Dal 2009 al 2023 la stagione più nevosa è stata quella dell'anno 2013 con oltre 12 metri (1224 cm) di neve fresca e la stagione più secca quella dell'anno 2017 con 528 cm di neve fresca.



L'UTILIZZO DEI DATI RILEVATI

I dati rilevati dalla stazione meteorologica sono funzionali alle elaborazioni del Dipartimento di Tecnica e Gestione dei sistemi industriali dell'Università degli Studi di Padova e del Gruppo di Fisica tecnica ambientale della facoltà di Ingegneria della Libera Università di Bolzano sia per i valori relativi ai dati storici che hanno permesso di impostare i modelli, che per i valori futuri che rappresentando alcune variabili del modello faranno sì che il modello stesso possa produrre i risultati reali e non simulati, necessari per l'analisi approfondita del funzionamento del sistema.



Dott. Gianni Marigo – Tecnico ricercatore Mauro Valt
ARPA VENETO- UNVSV- CENTRO VALANGHE
DI ARABBA Arabba (BL)



MONITORAGGI DEI MOVIMENTI DELLE PLATEA FONDAZIONALE DELLA STAZIONE DI MONTE DELLA SEGGIOVIA

LA DEGRADAZIONE DEL PERMAFROST

La degradazione del permafrost, può innescare lo spostamento del terreno nelle Dolomiti e in altre regioni montuose. **Il riscaldamento globale è una delle principali minacce per il permafrost poiché può causare il graduale scioglimento dello stesso, portando a un indebolimento del suolo e all'aumento dei movimenti terreni, come nel caso della stazione di monte della seggiovia Pian Ra Valles – Ra Valles - Bus Tofana.**

I MONITORAGGI DEI MOVIMENTI

Oltre al sistema messo in atto per il raffreddamento del permafrost **sono necessarie misurazioni precise e puntuali dei movimenti della platea di fondazione**, ovvero del basamento in cemento armato su cui poggia l'impianto per verificare il raggiungimento di consolidamento del permafrost.

Per effettuare tale monitoraggio si è deciso di utilizzare il sistema GNSS (in lingua inglese "global navigation satellite system") e di installare un modulo di elaborazione dati GPS Leica GM10 che trasmette regolarmente la posizione delle coordinate 3D (latitudine, longitudine ed elevazione) con un'antenna montata sull'infrastruttura della stazione dell'impianto di risalita Pian Ra Valles – Ra Valles - Bus Tofana oggetto del monitoraggio. Il ricevitore Leica GM10 funziona in modo molto simile al GPS installato nel vostro cellulare.

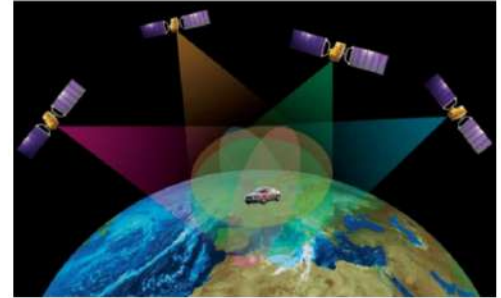
IL FUNZIONAMENTO DEL SISTEMA GNSS

Il funzionamento del sistema GNSS si basa sullo scambio di segnali tra una costellazione di satelliti in orbita attorno alla terra con dispositivi dotati di apposito ricevitore. Il satellite invia un segnale contenente la propria posizione e l'ora di trasmissione del segnale, mentre il ricevitore confronta il tempo della trasmissione con quello misurato dal proprio orologio interno, calcolando il tempo impiegato dal segnale per arrivare dal satellite.

Una volta nota la posizione dei satelliti il ricevitore calcola la propria posizione tramite un procedimento matematico di triangolazione e **questo permette al sistema di ricavare il posizionamento dell'oggetto dotato di ricevitore.**

I dati raccolti nel tempo permetteranno di capire se ci sono spostamenti della struttura e ne riporteranno l'eventuale ampiezza. Grazie a questo sistema si riesce ad ottenere una precisione in post-elaborazione di 3 mm in orizzontale e 4 mm in verticale, quindi un grado di misurazione elevatissimo per valutare la stabilità della platea fondazionale dell'impianto seggioviario a seguito del funzionamento del ciclo frigorifero.

Il monitoraggio GNSS viene automatizzato e fornisce misure 3D continue e indipendenti per verificare la stabilità della stazione. **Nel caso ci fossero cambiamenti sostanziali rispetto all'ultima posizione registrata, significherà che la platea di fondazione ha subito degli spostamenti.** Lo storico degli spostamenti della struttura si potranno visualizzare su un grafico, in modo da essere più facilmente interpretabili.



L'APPLICAZIONE ALL'IMPIANTO DELLA DISCIPLINA SULLE ENERGIE RINNOVABILI, GLI ASPETTI AMBIENTALI, PAESAGGISTICI ED IMPIANTISTICI

ASPETTI PAESAGGISTICI

L'area nella quale è stato insediato l'impianto, per le sue straordinarie caratteristiche naturalistiche, è sottoposta a una tutela particolarmente incisiva, che si sostanzia nel vincolo ministeriale a tutela del paesaggio e nel suo inserimento nella zona speciale di conservazione "Dolomiti d'Ampezzo" della Rete Natura 2000.

L'APPLICAZIONE DELLA NUOVA DISCIPLINA SULLE ENERGIE RINNOVABILI

Le particolari modalità di realizzazione dell'impianto hanno consentito di rientrare nell'applicazione della nuova normativa di semplificazione delle procedure autorizzative prevista per la realizzazione dei piccoli impianti a fonti rinnovabili.

In particolare, i pannelli fotovoltaici che sono collocati sulla falda del tetto dell'edificio non sono visibili dai punti di vista panoramici circostanti il sito o da altri spazi pubblici esterni.

ASPETTI IMPIANTISTICI E ASSENZA DI IMPATTO AMBIENTALE

Sul piano impiantistico, poi, l'intervento non ha determinato variazioni nelle caratteristiche costruttive della seggiovia secondo la normativa tecnica sulla costruzione e la gestione degli impianti a fune, né l'installazione delle geosonde, per dimensione e potenza termica del sistema, hanno richiesto deroghe alla normativa vigente in materia.

La soluzione tecnica che è stata realizzata si avvale infatti di componenti tecniche già conosciute, ma le coordina fra loro in modo innovativo per favorire la stabilità dell'impianto.

I pannelli fotovoltaici alimentano l'impianto, che si sostanzia in un ciclo frigorifero che viene utilizzato per il consolidamento del terreno permeato dal permafrost.

È quindi lo stesso irraggiamento solare che è causa del disgelo del permafrost a fornire l'energia necessaria a contrastarne gli effetti.

Sfruttare l'energia del sole per conservare il permafrost: questo è l'ambizioso obiettivo che si vuole raggiungere. In questo modo, l'impianto farà uso esclusivamente di energia da fonte rinnovabile e l'impatto ambientale sarà sostanzialmente nullo, in quanto le sonde geotermiche utilizzate dal fluido vettore vengono realizzate nel sottosuolo, l'impianto fotovoltaico è integrato nelle coperture di edifici ed il calore dissipato del ciclo frigorifero viene utilizzato per scaldare gli edifici limitrofi.

