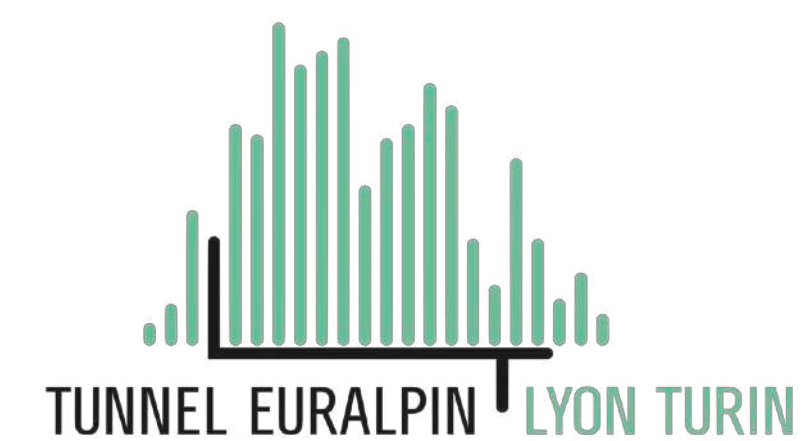
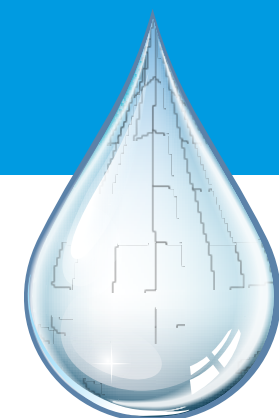


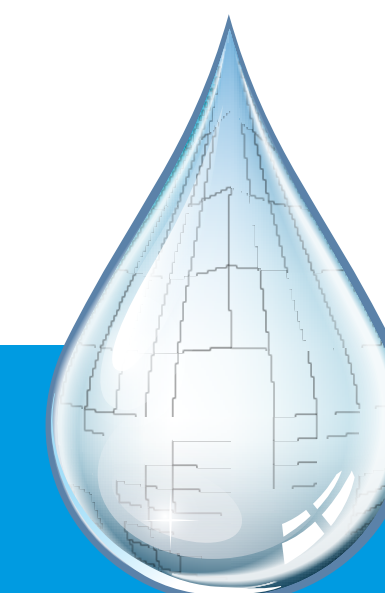


ACQUA: ENERGIA



PER L'ARCO ALPINO

ACQUA: ENERGIA



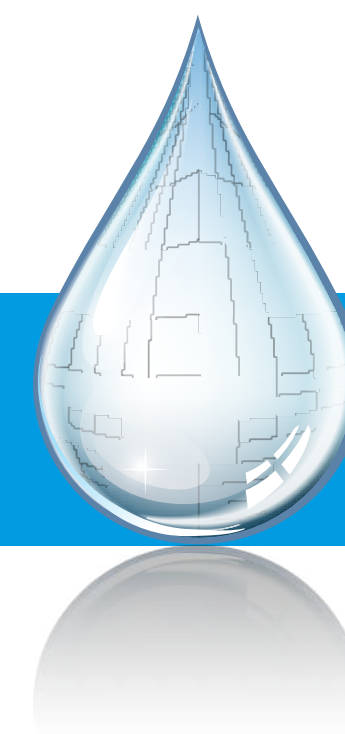
ACQUA: ENERGIA

PER L'ARCO ALPINO

PER L'ARCO ALPINO

Valorizzazione delle risorse geotermiche
del tunnel di base del Moncenisio





SOMMARIO

1. Tuteliamo il Territorio	2
2. I dipartimenti coinvolti	6
3. Un patrimonio da difendere	10
4. Esempi internazionali	20
5. La risorsa disponibile e il quadro di partenza	32
6. L'analisi tecnico-economica di fattibilità	36
7. Lato Francia: possibili valorizzazioni della risorsa	54
8. Conclusioni	62
Bibliografia	67



1

TUTELIAMO
IL TERRITORIO



La collaborazione istituzionale tra TELT - Tunnel Euralpin Lyon Turin e Politecnico di Torino sul tema **“Valorizzazione delle risorse geotermiche del tunnel di base del Moncenisio”** rientra nell’impegno che la società italo-francese ha assunto per tutti i cantieri della nuova linea ferroviaria. “Tuteliamo il territorio” è l’indirizzo di fondo per un programma operativo di ricerca in cui l’ambiente si trova in cima alle priorità.

Gli strumenti sono la territorializzazione del progetto, che in sede di Osservatorio è stato radicalmente modificato approdando a una soluzione per l’89% in galleria, e una gestione dei cantieri caratterizzata da un sistema di controlli ambientali di assoluta avanguardia.

A questo si aggiunge la collaborazione con atenei universitari e centri di ricerca di primario livello internazionale, ciascuno nel suo ambito, che con la loro expertise possono dare un contributo determinante, in termini di innovazione, ad uno dei più grandi cantieri europei. Nello stesso tempo i lavori in corso diventano il contesto ideale per dare un riscontro pratico alla ricerca scientifica che avviene in università.



La VIS – Valutazione di Impatto sulla Salute, studio condotto dall’Università degli Studi di Torino – Dipartimento di Scienze della Sanità pubblica e Pediatriche pubblicato a ottobre 2017, è stato il primo volume della collana “Tuteliamo il territorio”. Sulla base di 62 mila rilevazioni in 40 stazioni di monitoraggio, la VIS ha certificato il rispetto dei valori ambientali nell’area del cantiere di Chiomonte e l’assenza di qualsiasi influenza dei lavori sullo stato di salute dei residenti.

Il secondo volume, sviluppato grazie alla collaborazione con il Politecnico di Torino, approfondisce un altro aspetto legato all’ambiente. La risorsa geotermica resa disponibile dalle acque derivate del tunnel di base è una fonte energetica pulita e rinnovabile che potrà dare origine ad attività produttive, contribuendo a ridurre le emissioni inquinanti nelle regioni interessate.

Non da ultimo, lo studio condotto dall’Ateneo torinese conferma l’elevata qualità progettuale del cunicolo geognostico della Maddalena, le cui previsioni in termini di impatto sul patrimonio idrico della Valle si sono rivelate ancora più cautelative di quanto effettivamente riscontrato nei lavori. Lo ha confermato anche la commissione di VIA del Ministero dell’Ambiente che, esprimendo un giudizio positivo sul tunnel esplorativo, ha specificato come in alcuni casi le condizioni reali siano risultate “ancora migliori delle previsioni progettuali, soprattutto per gli aspetti geomeccanici e idrogeologici”.



2

I DIPARTIMENTI
COINVOLTI

Il Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture (DIATI) è la struttura di riferimento del Politecnico di Torino nelle aree culturali che studiano le tecnologie che mirano alla salvaguardia, alla protezione e alla gestione dell'ambiente e del territorio, all'utilizzo sostenibile delle risorse e allo sviluppo ottimizzato ed eco-compatibile delle infrastrutture e dei sistemi di trasporto.

Il DIATI promuove, coordina e gestisce la ricerca fondamentale e quella applicata, la formazione, il trasferimento tecnologico e i servizi al territorio con riferimento agli ambiti relativi alle applicazioni ingegneristiche delle scienze della terra, delle scienze naturali e delle scienze economiche e gestionali.

Il Dipartimento Energia (DENERG) è il punto di riferimento dell'Ateneo nelle aree culturali che affrontano i temi dell'energia e dello sviluppo sostenibile con l'obiettivo di migliorare le tecnologie energetiche esistenti, di promuoverne di nuove e di contribuire all'uso razionale e consapevole delle risorse energetiche.

Il DENERG promuove, coordina e gestisce la ricerca fondamentale e quella applicata, la formazione, il trasferimento tecnologico e i servizi al territorio con riferimento agli ambiti delle macchine a fluido, dei sistemi energetici, della combustione, della fisica tecnica industriale e ambientale, della fisica dei reattori nucleari e dei plasmi, degli impianti nucleari, dell'elettrotecnica, delle macchine e degli azionamenti elettrici, dei sistemi elettrici per l'energia, delle proprietà termo fisiche ed elettromagnetiche dei materiali, dell'illuminotecnica e dell'acustica.

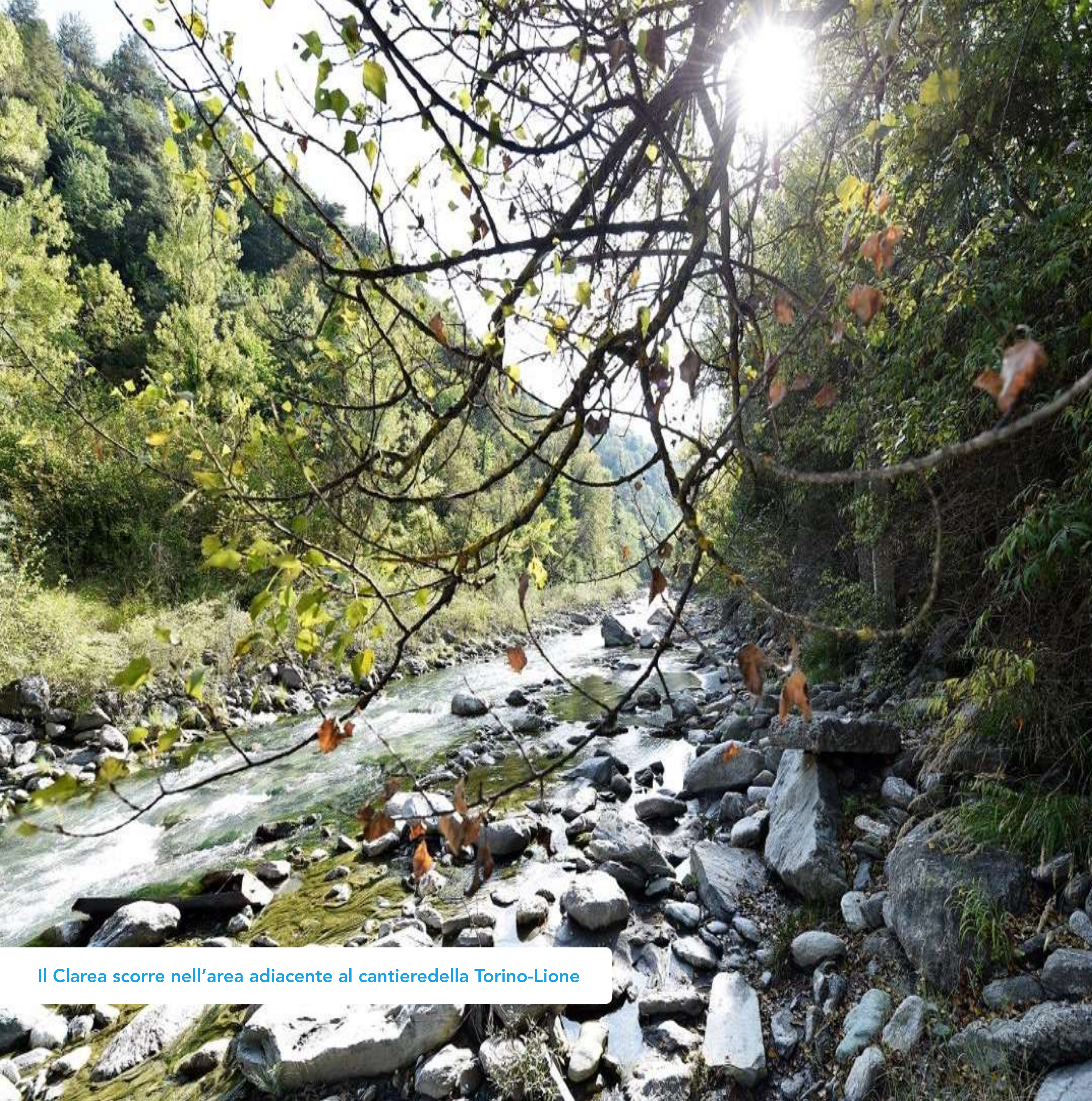


Coinvolti nello studio il Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture (DIATI) e il Dipartimento Energia del Politecnico di Torino



3

UN PATRIMONIO DA DIFENDERE



Il Clarea scorre nell'area adiacente al cantiere della Torino-Lione

UN COSTANTE CONTROLLO DELLE SORGENTI

L'acqua è una risorsa preziosa custodita all'interno dell'arco alpino. La sua tutela è una priorità per TELT, promotore della sezione transfrontaliera della Torino-Lione, un'opera che nasce prima di tutto con finalità di salvaguardia ambientale.

Per questa ragione dal 2009, prima ancora dell'avvio dei cantieri, TELT tiene sotto costante controllo le sorgenti e i fiumi delle valli di Susa e Maurienne. Sul versante italiano sono sotto osservazione circa 170 punti d'acqua in un'area compresa tra il Comune di Exilles a ovest e di Chiusa San Michele a est. Vengono monitorate le sorgenti sotterranee e le acque di superficie (fiumi, torrenti, ecc.), per assicurarsi che non si presenti alcun pericolo d'isterilimento.

Nello stesso tempo l'acqua che verrà incontrata durante lo scavo del tunnel di base del Moncenisio può diventare un'importante opportunità per il territorio, attraverso l'attivazione di progetti di valorizzazione ad uso potabile ed energetico: il calore in galleria è una fonte inesauribile per diverse finalità, prima fra tutte il teleriscaldamento, con un potenziale stimato tra i 2.000 e i 10.000 kW.

Il cunicolo di Chiomonte, un'opera geognostica realizzata tra il 2014 e il 2017, ha permesso di approfondire queste potenzialità. Per promuovere uno studio su questi aspetti TELT ha attivato una Collaborazione Istituzionale con il Politecnico di Torino - Dipartimento Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture (DIATI) e Dipartimento Energia (DENERG). Una ricerca durata due anni e mezzo che ha consegnato diverse ipotesi di impiego delle risorse geotermiche del tunnel di base sul versante italiano.



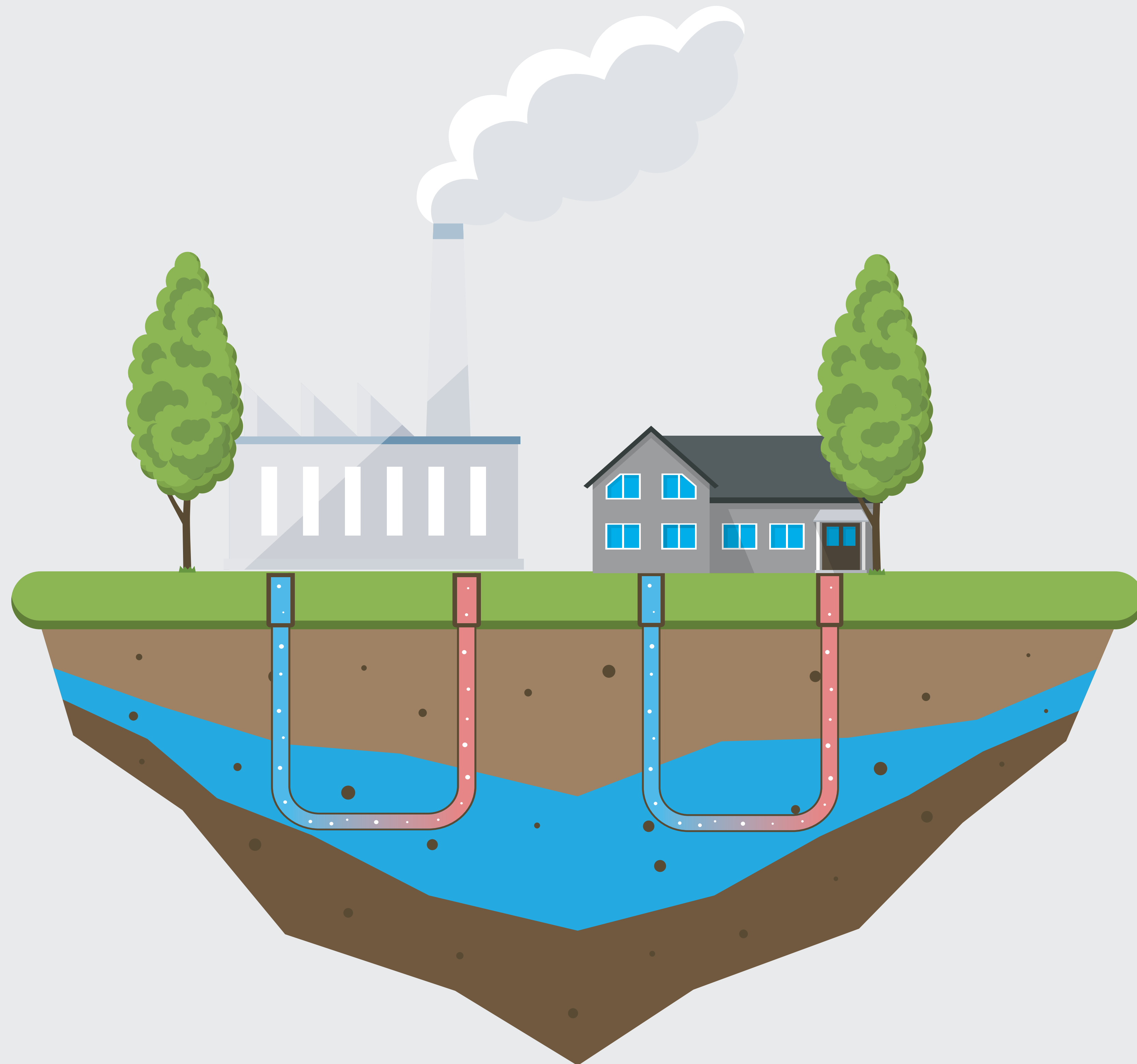
Il cunicolo geognostico di Chiomonte è stato completato nel febbraio 2017



Fasi di monitoraggio delle acque in Val Susa nei pressi del cantiere della Torino-Lione



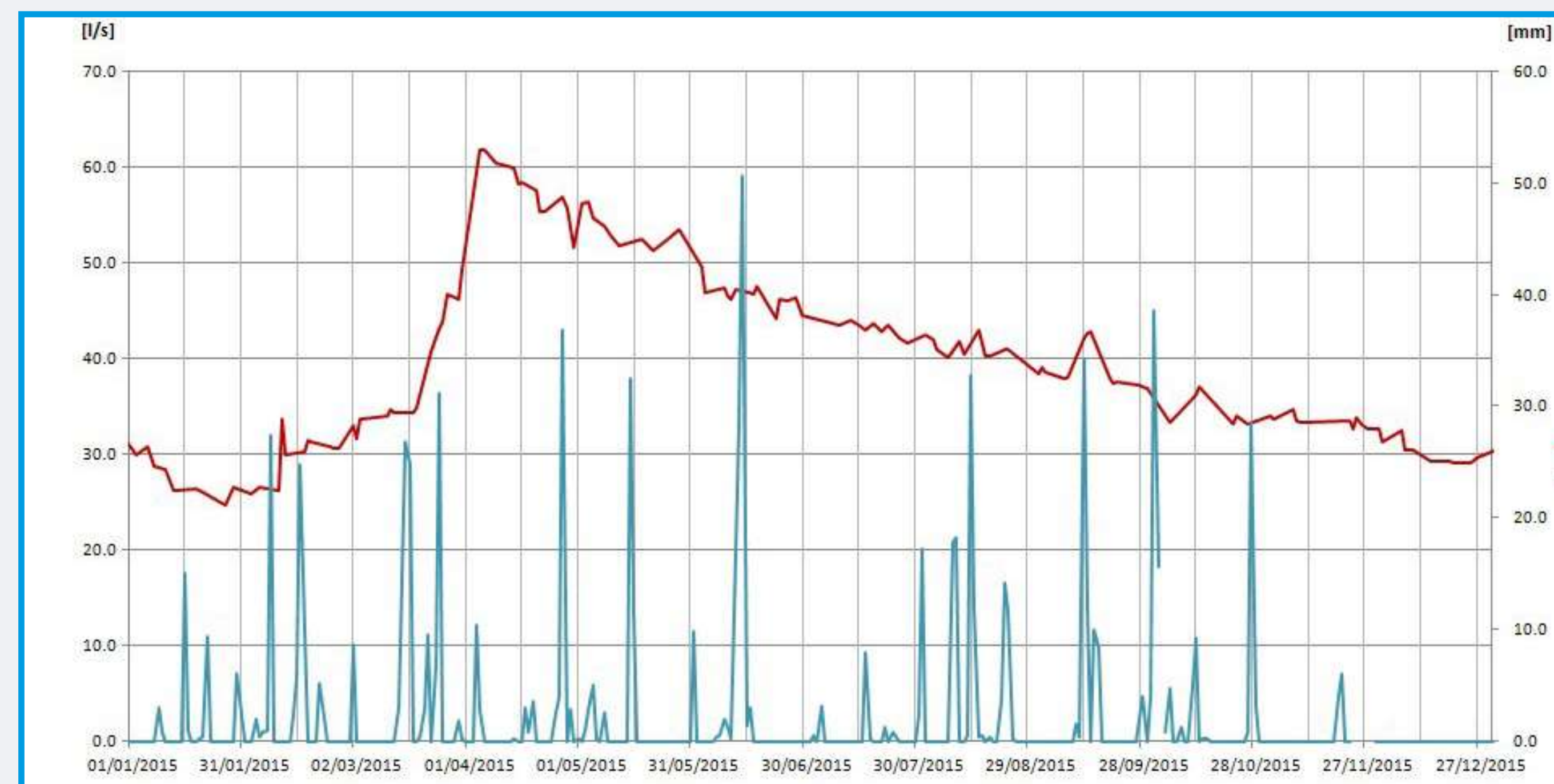
L'ENERGIA GEOTERMICA



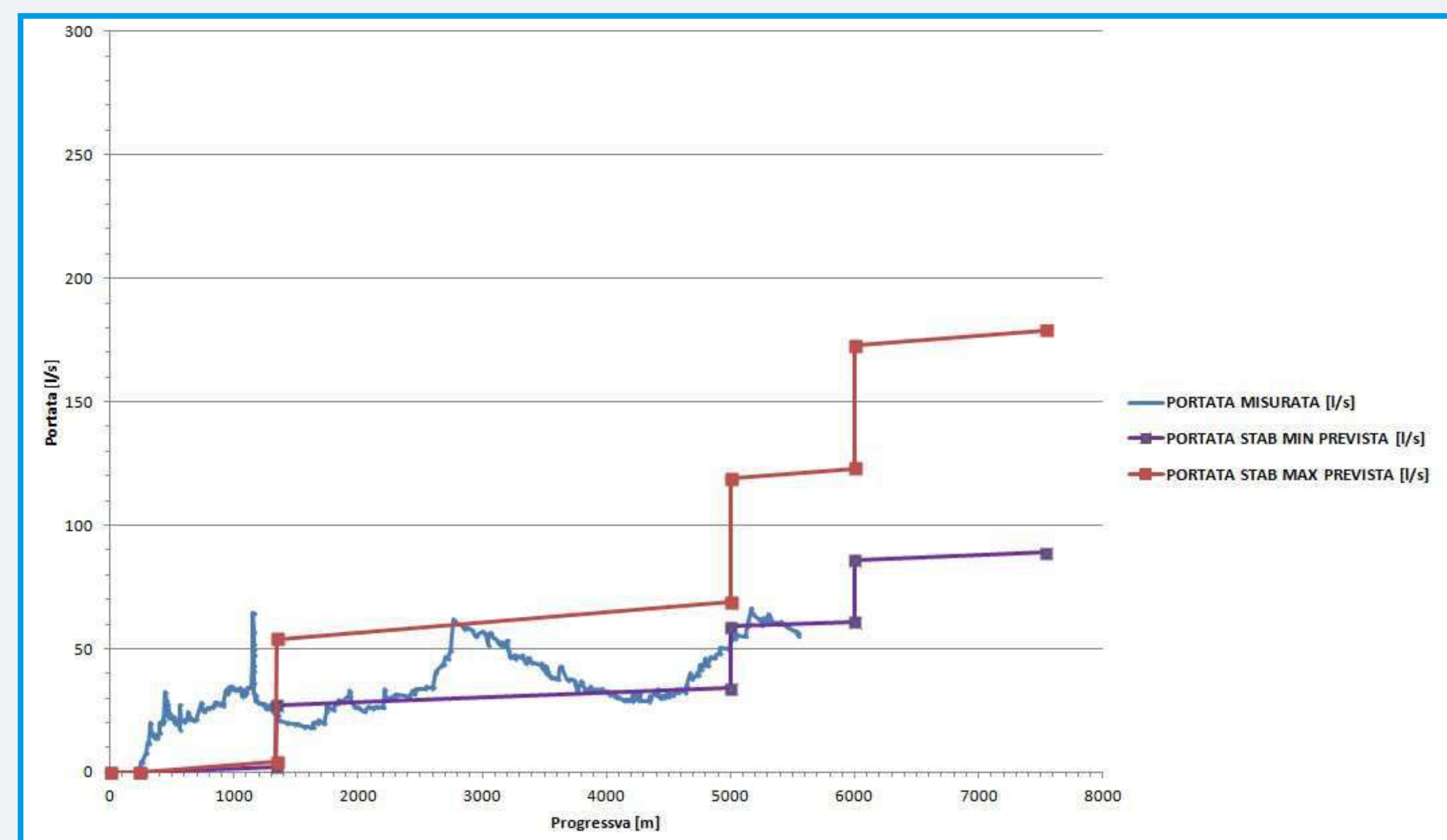
L'energia geotermica è una forma di energia alternativa e rinnovabile, generata per mezzo di fonti geologiche di calore. Si basa sul calore naturale della Terra, il cosiddetto "gradiente geotermico" originato dai processi di decadimento degli elementi contenuti naturalmente all'interno del nucleo, del mantello e della crosta terrestre.

L'energia geotermica fu utilizzata per la prima volta per la produzione di elettricità il 4 luglio 1904 a Lardarello, in Italia, dove si sperimentò il primo generatore geotermico. In seguito furono create delle vere e proprie centrali basate su questa tecnologia. Grazie alla peculiarità della geotermia, l'energia può essere utilizzata sia come fonte di alimentazione elettrica sia di calore, secondo il processo della cogenerazione. La geotermia è dunque usata anche per la produzione di energia termica (calore e acqua calda).

L'energia geotermica costituisce oggi meno dell'1% della produzione mondiale. Tuttavia, uno studio condotto dal Massachusetts Institute of Technology afferma che il potenziale del nostro pianeta si aggira attorno ai 12.600.000 ZJ (10^{21} J) e che con le attuali tecnologie sarebbe possibile utilizzarne 2000 ZJ. In pratica si potrebbe soddisfare il fabbisogno energetico planetario con sola energia pulita per i prossimi 4000 anni, rendendo inutile qualsiasi altra fonte non rinnovabile oggi utilizzata.



Confronto fra la portata misurata durante lo scavo del Cunicolo Esplorativo della Maddalena e le portate previsionali stabilizzate minime e massime



LA DISPONIBILITÀ DELLA RISORSA GEOTERMICA

Durante la prima fase del lavoro i ricercatori del Politecnico di Torino hanno analizzato dal punto di vista idrogeologico le venute d'acqua nel cantiere di Chiomonte, esaminandone la **portata**, la **temperatura** e la **composizione chimica**. L'obiettivo era, sulla base delle evidenze scientifiche riscontrate nel corso dei lavori per il cunicolo esplorativo, elaborare alcuni scenari di disponibilità della risorsa per lo scavo del tunnel di base lato Italia e quantificarne il potenziale di utilizzo a fini energetici o idropotabili.

L'ATTENDIBILITÀ DEI VALORI PROGETTUALI

In termini qualitativi, nel corso dei lavori la temperatura dell'acqua è risultata di poco inferiore a quella della roccia e relativamente ben correlata con quest'ultima. In particolare si è osservato come il calore tenda ad aumentare proporzionalmente all'avanzamento dello scavo (nel cunicolo di Chiomonte le coperture raggiungono il loro massimo rispetto a tutto il tunnel di base, pari a 2200 metri).

In generale gli andamenti delle temperature hanno consentito di avvalorare l'ipotesi di una **non diretta correlazione con le portate delle piogge**, in altri termini l'acqua che è stata incontrata non proviene dalla superficie o dalle falde, ma verosimilmente è acqua interstiziale (intrappolata nelle fessure nel corso degli anni). Conferma questa teoria il fatto che lo scavo del tunnel di base non sembra influenzare il regime idrodinamico e geochimico delle sorgenti esterne monitorate.

In termini quantitativi, il cunicolo esplorativo di Chiomonte è **una galleria prevalentemente asciutta**, in cui le venute d'acqua puntuali non sono distinguibili in maniera netta rispetto a quelle diffuse, ma in ogni caso sono **decisamente inferiori** a quanto preventivato per quantità.

L'ESITO DELLE ANALISI IDROGEOLOGICHE

I dati idrogeologici si sono rivelati **in linea con le previsioni di progetto**. Questo fa ritenere che i dati previsionali possano essere sufficientemente affidabili anche per il prosieguo dell'opera.

Le portate alla Maddalena sono in larga parte diffuse, mentre sono rare quelle **puntuali**. La modalità di raccolta delle risorse può dare origine a scenari diversi.





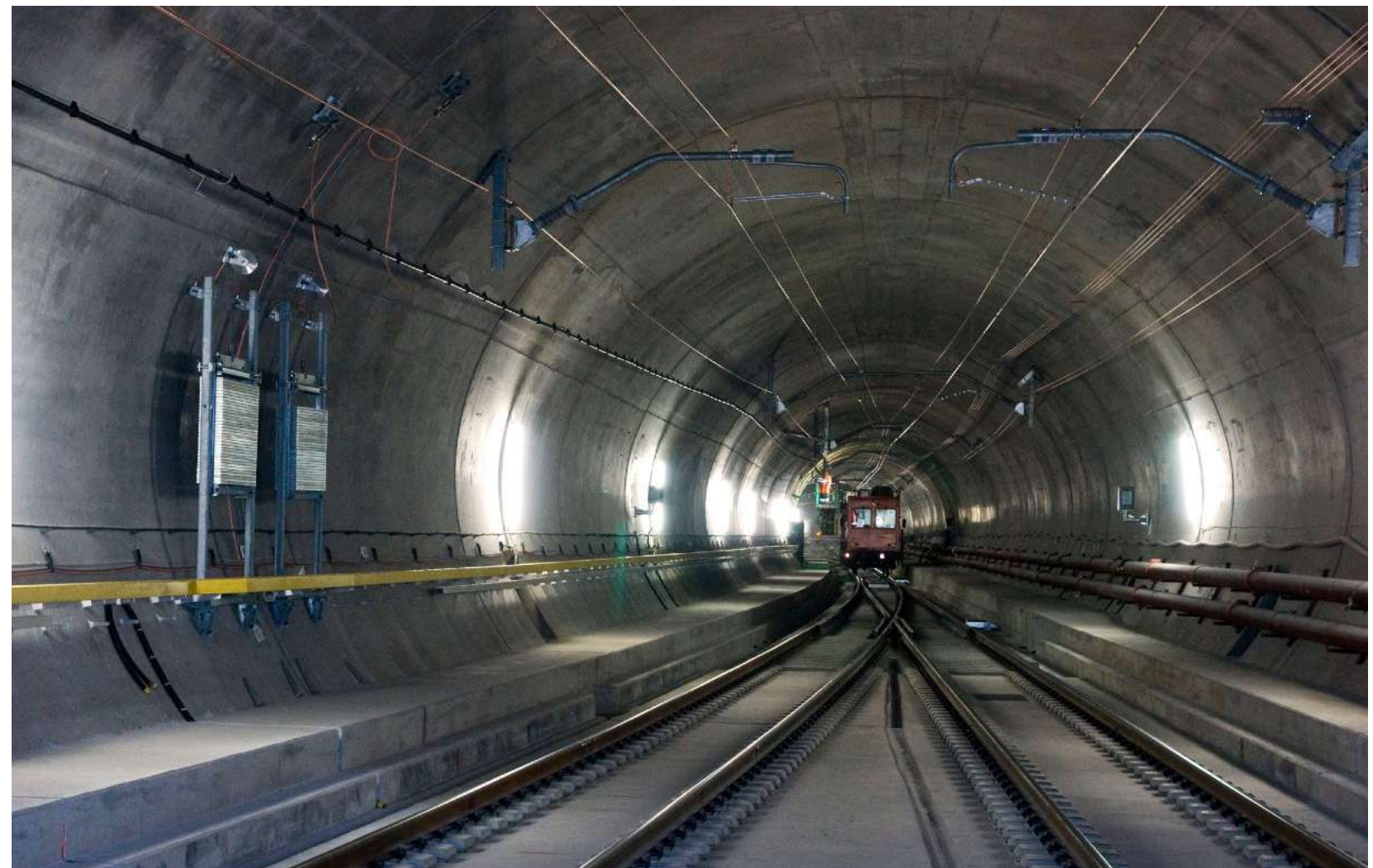
4

ESEMPI INTERNAZIONALI

GALLERIE

Lo sfruttamento a scopo geotermico di acque calde derivanti dalla realizzazione di gallerie presenta diversi esempi di applicazione. Il metodo più economico e semplice per il loro impiego prevede tubazioni per il trasporto delle acque al portale del tunnel, cercando di minimizzare la perdita di temperatura. Se questa all'uscita del tunnel risulta troppo bassa, verrà potenziata tramite pompe di calore.

Gli esempi riportati di seguito riguardano tunnel realizzati in territorio svizzero e riguardanti per lo più il contesto alpino. La valorizzazione delle acque calde prevede diversi tipi di applicazione: riscaldamento, serre, centri benessere e allevamento ittico.



Galleria di base del Lötschberg



Galleria autostradale del Gottardo

Si è poi proceduto al confronto fra le portate attualmente sfruttate a scopo geotermico in gallerie già realizzate e gli scenari previsti per tunnel di base del Moncenisio. Dal paragone emerge come **in tutti gli scenari valutati la risorsa disponibile sia superiore sia per quantità sia per temperatura** ai casi internazionali di successo nell'impiego di questa fonte energetica.



TUNNEL	PORTATA [l/s]	T [°C]
Tunnel di Base Torino -Lione - Scenario 2	379.5	27.8-29.1
Tunnel di Base Torino -Lione - Scenario 4	309.0	29.7
Tunnel di Base Torino -Lione - Scenario 1	243.2	29.1-31.1
Tunnel di Base Torino -Lione - Scenario 3	205.0	31.5
Galleria San Gottardo	112	17
Galleria della Furka	90	16
Galleria di Base del Löetschberg	70	16-18
Galleria Hauenstein	42	19
Galleria Mappo-Morettina	16	16
Galleria di Ricken	12	12

Confronto fra gli scenari presenti in altri tunnel già realizzati e quelli previsti per il tunnel di base del Moncenisio

NOME	TIPOLOGIA	LUNGHEZZA	PORTATA SFRUTTATA	TEMPERATURA AL PORTALE	UTILIZZO
		[km]	[l/s]	[°C]	
Galleria San Gottardo	Autostradale	16.9	112	17	Dal 1979 gli uffici a servizio dell'autostrada posti nei pressi del Portale Sud ad Airolo sono stati riscaldati grazie all'utilizzo di pompe di calore che forniscono 1890 kW sfruttando un ΔT pari a 2.3 °C. Dopo questo primo utilizzo ulteriori studi sono stati realizzati per poter sfruttare al meglio tale risorsa che, prevedendo successivi raffreddamenti, potrebbe fornire ulteriori 4000 kW (Wilhelm & Rybach, 2003).
Galleria della Furka	Ferroviaria	15.4	90	16	L'acqua proveniente dal Portale Ovest viene utilizzata per il riscaldamento di alcuni stabili presso Oberwald. Le strutture interessate secondo il dato aggiornato a fine 2001 sono un centro sportivo e 15 stabili a uso residenziale per un totale di 162 appartamenti (Wilhelm & Rybach, 2003).
Galleria di Ricken	Ferroviaria	8.6	11.5	12	L'acqua proveniente dal Portale Sud grazie all'utilizzo di pompe di calore viene utilizzata per riscaldare un complesso polifunzionale, un centro sportivo, un centro di difesa e un asilo (Wilhelm & Rybach, 2003).
Galleria Mappo-Morettina	Autostradale	5.5	16.3	16	Dal 1999 l'acqua proveniente dal Portale Nord viene
					utilizzata per il riscaldamento di un centro ricreativo/sportivo presso Minusio (TI) (Rybach et al., 2003).
Galleria Hauenstein	Ferroviaria	8.1	41.6	19	L'acqua proveniente dal Portale Sud viene utilizzata dal 1999 per il riscaldamento e la fornitura di acqua calda di tre complessi residenziali ubicati a Trimbach (SO), per un totale di 150 appartamenti. Il calore viene sfruttato tramite utilizzo di pompe di calore (Rybach et al., 2003).
Galleria di Base del Löetschberg	Ferroviaria	34.6	70	16-18	L'acqua proveniente dal Portale Nord viene in parte utilizzata per il Tropenhaus Center ubicato presso Frutigen. Il centro prevede un primo utilizzo diretto dell'acqua per l'allevamento di storioni e un secondo utilizzo del calore tramite pompe di calore per il riscaldamento di serre destinate alla produzione di frutti tropicali. (Link et al., 2015; www.tropenhaus-frutigen.ch)

Esempi di valorizzazione delle risorse geotermiche in gallerie autostradali o ferroviarie già operative



Alcune fasi di lavorazione del cunicolo geognostico di Chiomonte, realizzato tra il 2014 e il 2017



La Tropenhaus di Frutigen, in Svizzera, viene alimentata grazie alle risorse geotermiche del tunnel di base del Loetschberg. Include un giardino esotico e una produzione unica nel suo genere in mezzo alle Alpi, con coltivazioni di frutta tropicale e un allevamento di storioni da cui si ricava perfino un marchio di caviale.

UN GRANDE CANTIERE EUROPEO

La sezione transfrontaliera della Torino-Lione si estende per 65 km tra Susa/Bussoleno in Italia e Saint-Jean-de-Maurienne in Francia. La sua parte principale è il tunnel di base del Moncenisio, una galleria di 57,5 km che consente di attraversare le Alpi alla quota di pianura abbattendo tempi e costi del trasporto di beni e persone.

L'opera è in corso di realizzazione avanzata. Porterà nel suo complesso allo scavo di 162 km di gallerie (57,5 per ogni canna del tunnel, oltre ai bypass di collegamento e ai siti di sicurezza), di cui alcuni tratti già realizzati, e due stazioni internazionali a Susa e a Saint-Jean-de-Maurienne.

Fanno parte dell'opera anche alcuni fondamentali lavori preparatori del tunnel di base del Moncenisio: in Francia le dighe di Saint-Jean-de-Maurienne, argini di rinforzo del fiume Arc con opere di viabilità, la galleria artificiale di Saint-Julien-Montdenis, i pozzi di Avrieux profondi 500 metri; In Italia lo svincolo autostradale di Chiomonte sull'autostrada A32 e l'autoporto di San Didero.

In totale sono stati realizzati finora 65 km di sondaggi che hanno permesso di indagare a fondo la natura dell'intero massiccio attraversato.

Alla Maddalena di Chiomonte, in Val Susa, è stato completato il 19 febbraio 2017 un cunicolo esplorativo di 7.020 metri. A Saint-Martin-La-Porte, in Savoia, è in corso lo scavo di una galleria geognostica di 9 km nell'asse e al diametro del futuro tunnel di base. Questa attività si svolge nella zona geologica più delicata del massiccio alpino, con frequenti formazioni carbonifere.

Ai 9 km del tunnel di Saint-Martin-la-Porte se ne aggiungono altrettanti di discenderie, ovvero gallerie di accesso per i mezzi di lavoro, già realizzate in Savoia dal 2002 al 2010.

E' solo il primo passo dell'infrastruttura e nei prossimi anni prenderanno il via i cantieri principali su entrambi i versanti delle Alpi. Oltre all'imbocco di Saint-Jean-de-Maurienne le discenderie realizzate permetteranno di utilizzare tutti gli accessi intermedi e a pieno regime si conteranno 15 fronti di scavo e 7 TBM che avanzeranno in contemporanea.

I lavori dureranno 10 anni e la nuova linea entrerà in funzione nel 2029.

ESEMPI INTERNAZIONALI

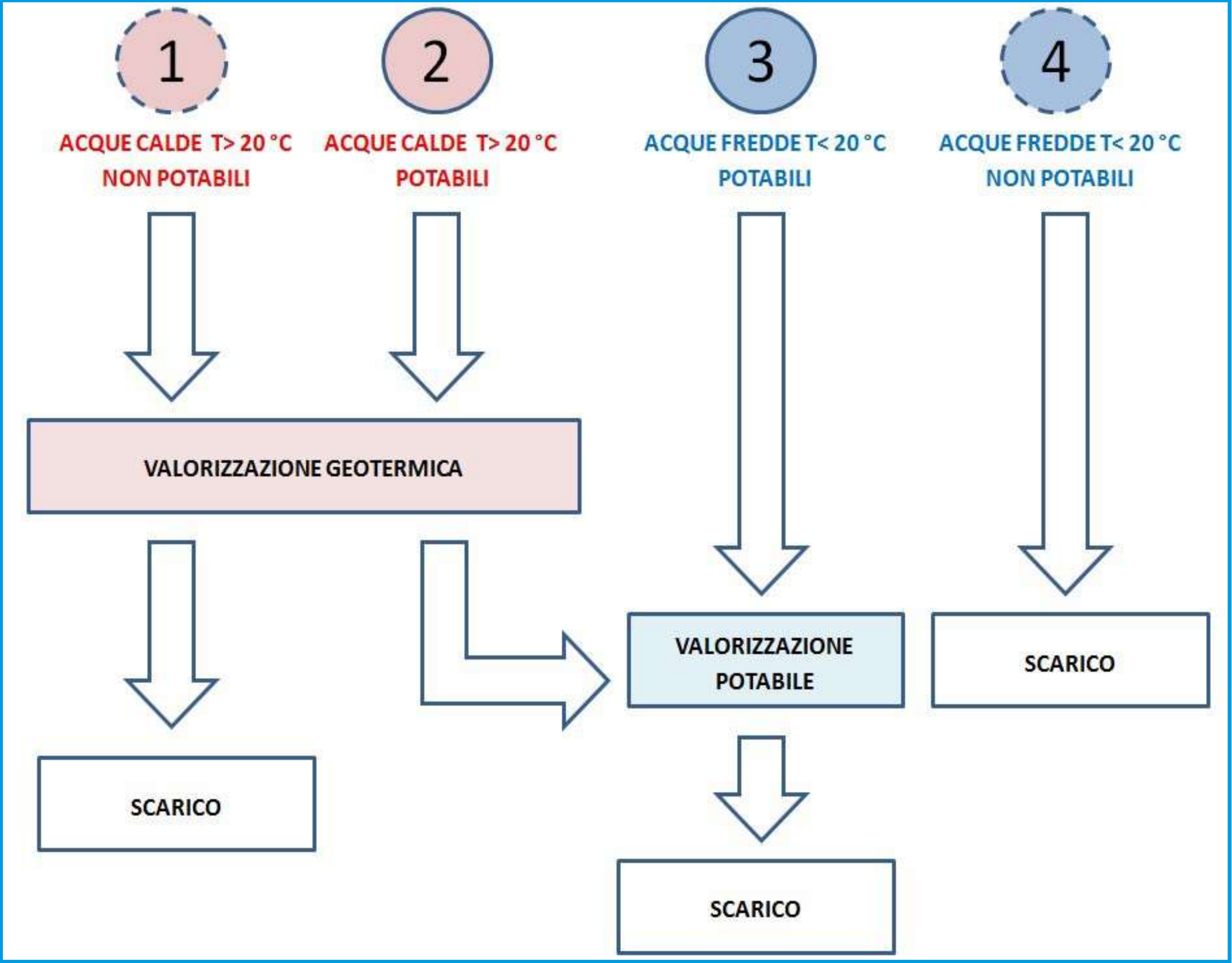


Il cantiere della Torino-Lione a Saint-Martin-la-Porte, in Francia, dove è in corso lo scavo di una galleria geognostica nell'asse e nel diametro del tunnel di base del Moncenisio



5

LA RISORSA DISPONIBILE E IL QUADRO DIPARTENZA



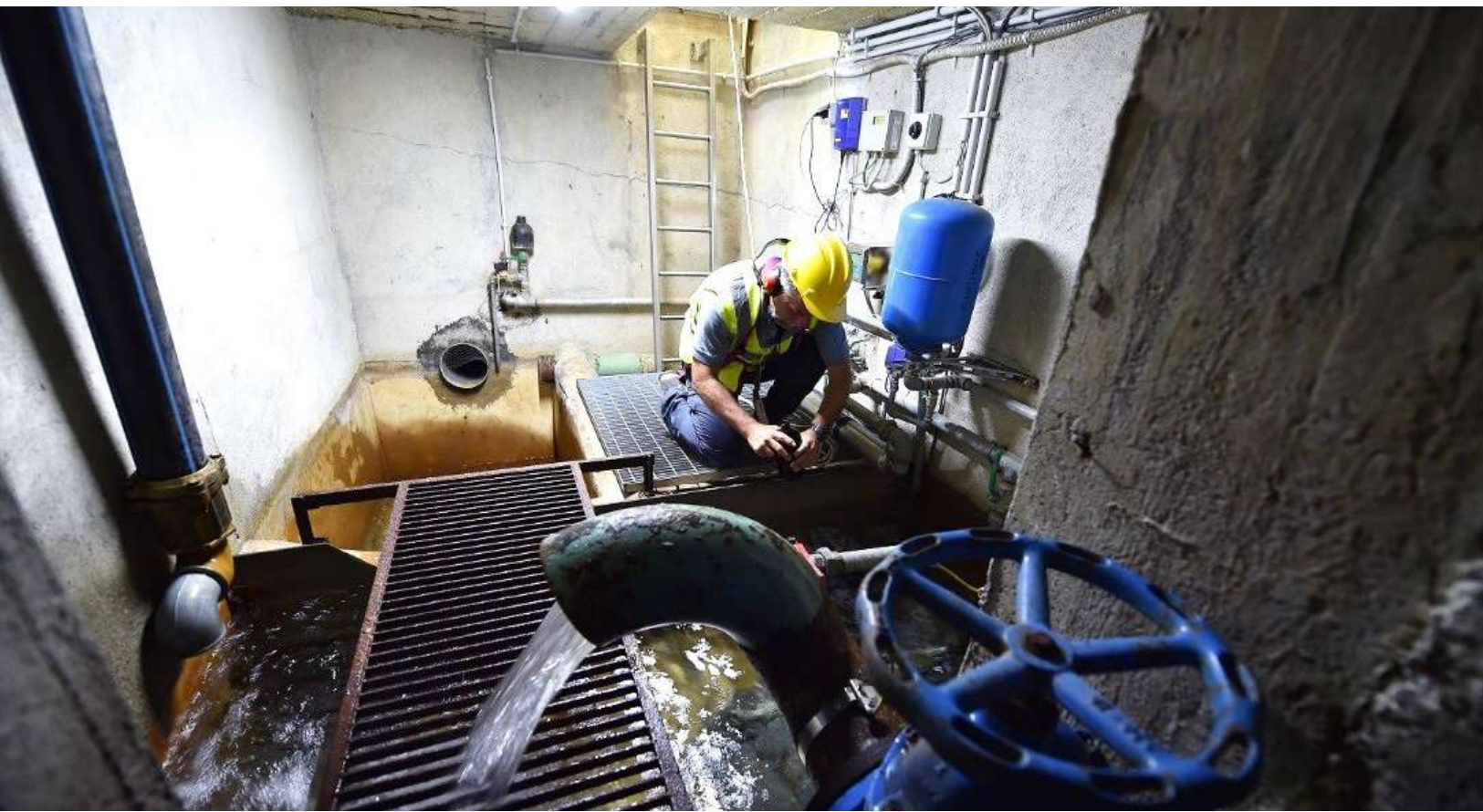
Schema raffigurante i tubi necessari per la raccolta e la valorizzazione delle acque

I DIVERSI SCENARI

In avvio dello studio, la disponibilità di risorsa geotermica è stata valutata considerando diversi scenari a seconda delle ipotesi sulle portate e la temperatura dell’acqua.

La **portata** disponibile è risultata compresa tra 205 kg/s e 379,5 kg/s, che può essere valorizzata grazie a un rivestimento impermeabilizzato della galleria per convogliare le acque in una canalina di raccolta.

Sulla base delle **temperature** minima e massima di ciascuna venuta, si sono ricalcolate le temperature corrispondenti alla portata complessiva e conseguentemente le potenze termiche disponibili, risultate comprese tra **9,3 MW e 14,4 MW**, ovvero l’equivalente della potenza che potrebbe alimentare oltre 1500 abitazioni. Queste ultime sono state determinate nell’ipotesi di sfruttare la risorsa geotermica **fino a una temperatura di 20 °C**.



Una fase del monitoraggio delle acque sotterranee

La disponibilità minima di risorsa, quantificata in **9,3 MW** nella prima fase del progetto, è utilizzata come valore di riferimento della disponibilità di energia termica. Rispetto a questo valore vengono considerati alcuni scenari nei quali la disponibilità energetica è stata progressivamente ridotta, così da proporre soluzioni adatte anche a scenari particolarmente pessimistici, con una quantità di acqua nettamente inferiore rispetto alle attese.

A fronte di queste disponibilità si sono valutate alcune soluzioni di utilizzo a Susa e a Chiomonte, su base tecnico-economica e tenendo conto di possibili effetti di scala.

Gli scenari analizzati in questo documento, riportati nella tabella seguente, corrispondono a:

- a) uno scenario di disponibilità termica nominale, per il quale si è considerato la potenza termica minima individuata nella fase 1, pari a 9,3 MW;
- b) uno scenario di disponibilità media, per il quale si è considerato una riduzione della potenza disponibile di circa un terzo rispetto a quella nominale;
- c) uno scenario di disponibilità bassa, per il quale si è considerato una riduzione della potenza disponibile di circa due terzi rispetto a quella nominale.

Scenario	1	2	3
Disponibilità di risorsa	Nominale	Media	Bassa
Potenza termica disponibile (MW)	9.3	5.9	3.2

Tabella 1. Scenari di disponibilità di risorsa geotermica analizzati



6

L'ANALISI TECNICO-ECONOMICA DI FATTIBILITÀ

SUSA

A Susa sarà collocato il portale est del tunnel di base, dal quale per caduta potranno essere raccolte le acque per la messa a disposizione ai fini dello sfruttamento della risorsa. Di seguito sono descritte nel dettaglio le ipotesi analizzate in fase progettuale e approfondite nell’ambito della ricerca con il Politecnico, ovvero l’alimentazione della **piscina comunale**, delle **aree ferroviarie** e di una **rete di teleriscaldamento**.

LA PISCINA

Il fabbisogno di energia termica varia da un valore medio estivo di circa 550 kWh/giorno a un valore medio invernale di circa 1080 kWh/giorno. Il sistema energetico può essere costituito da una pompa di calore a compressione di vapore che ha lo scopo di elevare il livello termico della risorsa geotermica.

Rispetto a una alimentazione con una caldaia a condensazione questa soluzione consentirebbe un risparmio di energia primaria di 207 MWh/anno, corrispondente a **una riduzione di fabbisogno di oltre 70%**. La corrispondente **riduzione di emissioni di CO2 è di circa 32.8 t/anno**.

LE AREE FERROVIARIE

Anche in questo caso il sistema energetico può includere una pompa di calore e anche qui, rispetto a una alimentazione con una caldaia a condensazione, si avrebbe un **risparmio del 70% di energia primaria, pari a 1026 MWh/anno**, e una **riduzione di emissioni di CO2 è di circa 161 t/anno**.

Locale	Volume [m³]	Fabbisogno [MWh/anno]
Stazione Internazionale Susa	63900	953
Area di sicurezza - uffici	27634	412
Area di Sicurezza - Manovre	1812	27
Area di sicurezza - FSA	4970	74

TELERISCALDAMENTO

La risorsa geotermica disponibile permetterebbe di alimentare oltre 2000 abitazioni, grazie all’integrazione nel sistema di una pompa di calore e l’utilizzo di alcune caldaie per la copertura dei picchi di richiesta.

Rispetto ad un impiego esclusivo di caldaie a condensazione per l’alimentazione di tutti gli edifici, **il risparmio di energia primaria è di circa 16.9 GWh/anno**, con una **riduzione di emissioni di CO2 di circa 2630 t/anno**.

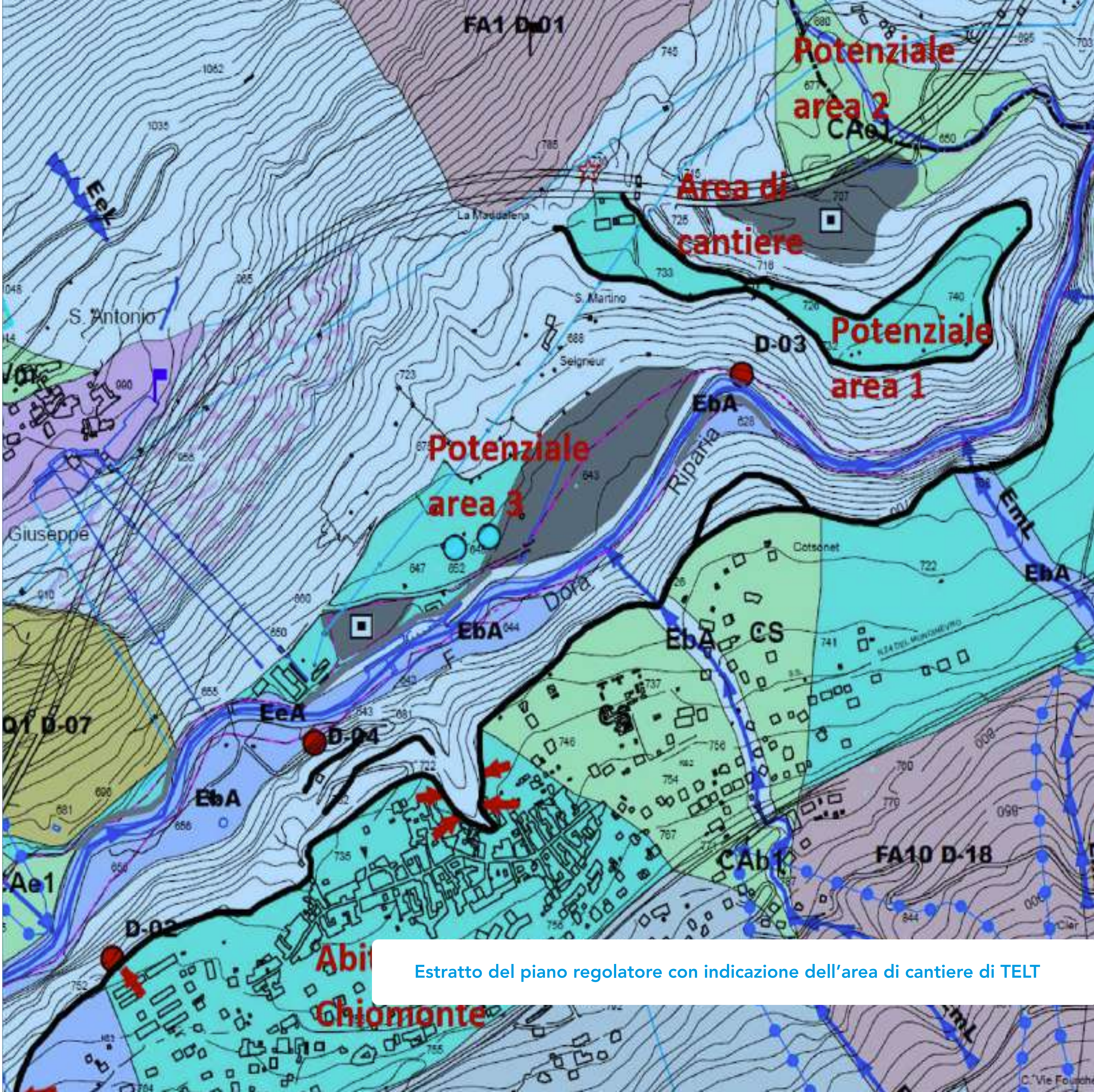


La piana di Susa

CHIOMONTE

Chiomonte ospiterà il cantiere per lo scavo del tunnel di base lato Italia e dal portale della galleria saranno pompate tutte le acque provenienti dallo scavo fino alla conclusione dei lavori. Per tale periodo pertanto è stata presa in considerazione una valorizzazione in quest'area, con soluzioni che eventualmente potranno essere rese perenni se il bilancio economico dell'operazione dovesse confermare la convenienza anche in una seconda fase.

Sono quattro le tipologie di impieghi per le quali è stata considerata la risorsa geotermica del tunnel di base a Chiomonte (**zona cantiere, teleriscaldamento, serre per orto – floricoltura, serre idroponiche**) e si collocano tutte nel perimetro del cantiere e nell'abitato, come dal seguente estratto del piano regolatore.



ZONA DI CANTIERE

Una prima ipotesi analizzata per la valorizzazione della risorsa geotermica è il riscaldamento degli edifici. L’area di cantiere include il riscaldamento ambientale dello **spazio visitatori** e la **Promenade di Colombano**, gli **edifici di cantiere** e il **Museo archeologico**.

Si tratta di una soluzione ampiamente percorribile, dal momento che la potenza termica richiesta è di circa 280 kW, largamente inferiore a quella disponibile dalla risorsa in tutti gli scenari esaminati.

Per il riscaldamento degli edifici i fabbisogni energetici annui possono essere ottenuti considerando come temperature esterne quelle medie mensili per Chiomonte e le ore di funzionamento giornaliere per gli impianti di ciascun edificio. In tabella 3 sono riportati i valori di temperatura considerati. Per quanto riguarda le ore di funzionamento, si tiene in conto una media di 8 ore al giorno per la Promenade e il Museo, mentre si considera che gli edifici di cantiere siano riscaldati in modo continuativo. L’impianto include una pompa di calore che consente di elevare il livello termico fino ad una temperatura sufficiente per l’alimentazione dell’impianto di riscaldamento

Scenario	1	2	3
Disponibilità di risorsa	Nominale	Media	Bassa
Potenza termica disponibile (kW)	9300	5900	3200
Richiesta termica edifici di cantiere (kW)	280	280	280

Tabella 2. Disponibilità termica negli scenari analizzati raffrontata al fabbisogno



La Promenade di Colombano è il concept per un itinerario visitatori che offre un punto di vista panoramico sui lavori del tunnel di base



Mappa del centro abitato di Chiomonte

Rispetto a un impianto di riscaldamento tradizionale, l'impiego del geotermico permette un risparmio di energia primaria di circa 264 MWh, con una conseguente **riduzione delle emissioni di CO2 pari a circa 57t/anno**.

Con questi valori, la soluzione con pompa di calore consentirebbe **un risparmio annuo dei costi di circa 7000 euro** (avendo incluso la rateizzazione dell'investimento su un periodo di 10 anni con un tasso di attualizzazione del 5%). Il tempo di ritorno dell'investimento risulta essere inferiore a 5 anni.

TELERISCALDAMENTO

Tra le ipotesi viene presa in considerazione l'alimentazione degli edifici di Chiomonte. Ancora una volta il fabbisogno è stato determinato partendo dalle temperature medie mensili registrate in questo Comune, assumendo lo stesso profilo di richiesta per tutte le utenze e il funzionamento degli impianti per 12 ore/giorno. L'utenza potenziale è risultata di oltre 300 immobili, anche se per sostenibilità dell'intervento e per massimizzare i benefici energetici e ambientali si considera di poter allacciare alla rete **80 edifici, per una volumetria complessiva di circa 120.000 m³**.

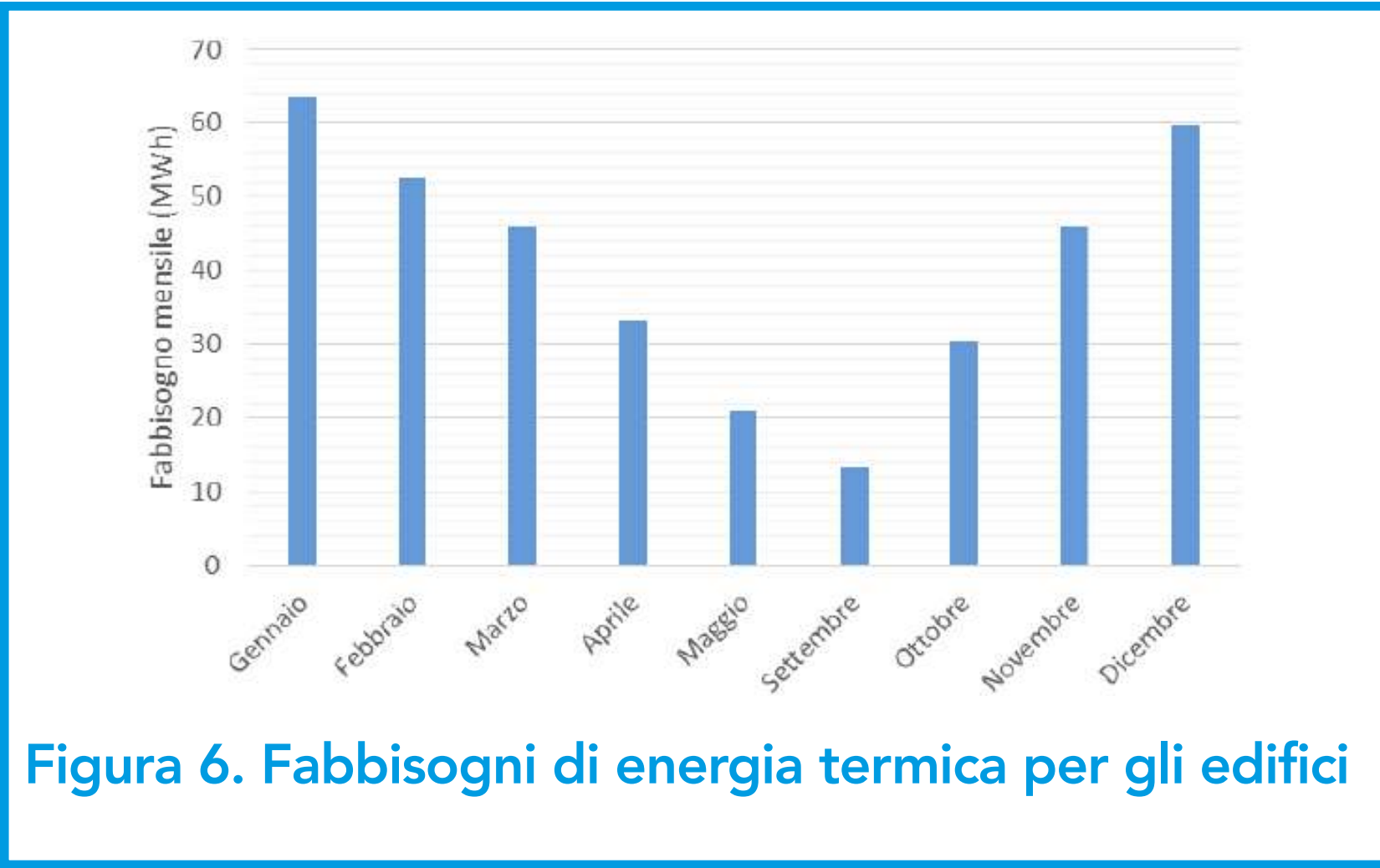


Figura 6. Fabbisogni di energia termica per gli edifici

La potenza termica da fornire in condizioni di progetto è complessivamente di circa 3200 kW, quindi compatibile con la disponibilità di risorsa per praticamente tutti gli scenari considerati. Solo la disponibilità minima relativa al primo scenario risulterebbe inferiore al valore di potenza termica di progetto, pertanto potrebbe rendersi necessaria una piccola integrazione.

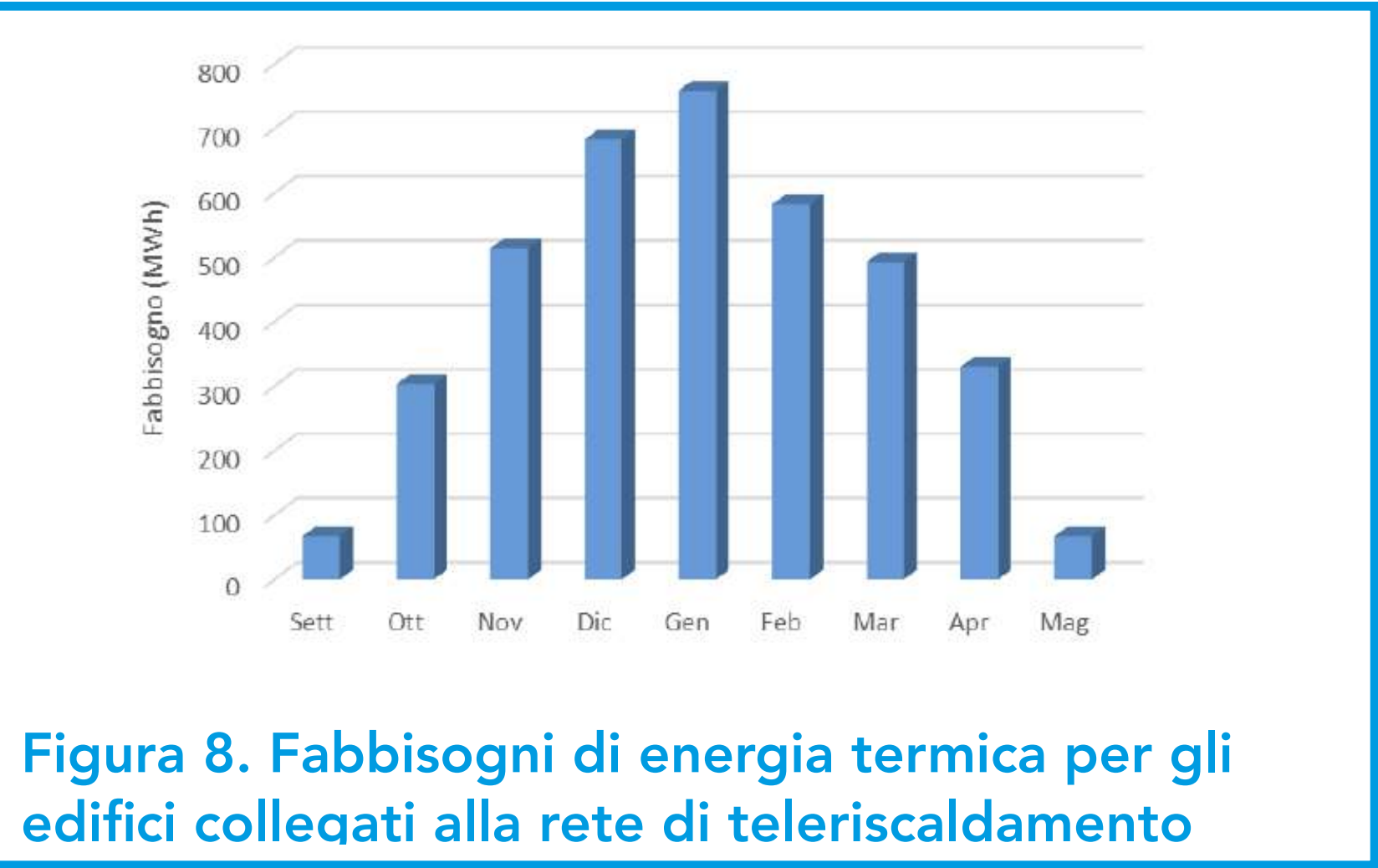


Figura 8. Fabbisogni di energia termica per gli edifici collegati alla rete di teleriscaldamento

Il collegamento al teleriscaldamento richiede un tratto di tubazione lungo circa 1,6 km e di 30 cm di diametro. Sulla base della disposizione delle utenze si può stimare una lunghezza complessiva della rete di distribuzione di circa 1,2 km e del diametro medio di 10 cm.

Il fabbisogno energetico della rete di teleriscaldamento presenta due componenti principali: l'energia elettrica richiesta per portare gli impianti a temperatura, attraverso una pompa di calore, e quella necessaria per il pompaggio dell'acqua dal punto di raccolta all'utenza. La prima componente è pari a circa 1330 MWh/anno, avendo considerato un coefficiente di prestazione media della pompa di calore di 3. La seconda voce ammonta a circa 330 MWh/anno.

MESE	TEMPERATURA MEDIA (°C)
Gennaio	0.1
Febbraio	1.8
Marzo	5.6
Aprile	9.3
Maggio	13.4
Giugno	16.7
Luglio	19.1
Agosto	18.6
Settembre	15.7
Ottobre	10.5
Novembre	5.1
Dicembre	1.3

Tabella 3. Temperature medie mensili di Chiomonte

Dal punto di vista energetico e ambientale, il teleriscaldamento risulta vantaggioso, presentando una **riduzione di energia primaria di circa 835 MWh/anno e di 128 t/anno di CO2** rispetto ad un convenzionale riscaldamento a caldaia.

L'investimento economico complessivo è circa 1,6 milioni di euro, equivalenti a una spesa annua di circa 435.000 €, comprensiva dell'ammortamento e dei costi di energia elettrica. La spesa complessiva annua derivante dall'impiego di caldaie a metano è dell'ordine di 310.000 €. Il teleriscaldamento **non risulta al momento particolarmente vantaggioso, pur essendo interessante dal punto di vista ambientale**, principalmente a causa dell'elevata distanza tra il punto di disponibilità della risorsa e l'utenza.

SERRE

Un allevamento di storioni o un giardino tropicale alimentati dal calore della galleria? Se ne hanno esempi vicino al tunnel di base di Lötschberg, in Svizzera, dove queste attività produttive rispondono anche all'esigenza di abbassare la temperatura dell'acqua, che sgorga dalla montagna a 18°C, prima di immetterla nel fiume Kander.

Nel caso del tunnel di base del Moncenisio la temperatura intorno ai 28-31°C rende ancor più utilizzabile la risorsa, sia per il riscaldamento sia per sistemi a pompa di calore che permettano di elevarne ulteriormente il livello termico.

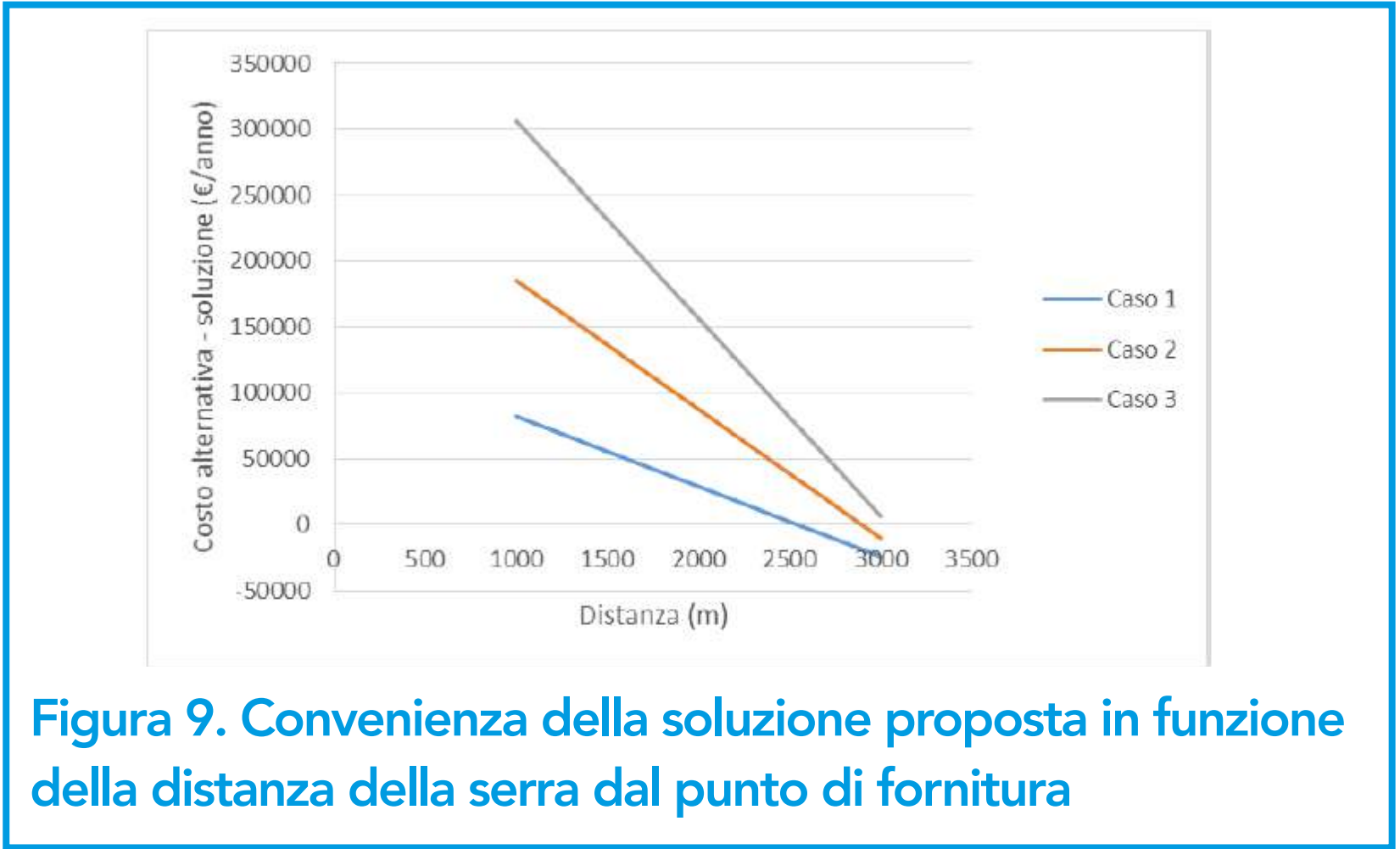
SERRE PER ORTO – FLORICOLTURA

L'alimentazione di serre per attività agricole nell'area limitrofa al cantiere di Chiomonte, in un raggio che non superi i 1200 metri, è una tra le ipotesi prese in considerazione, in aggiunta alla copertura del fabbisogno energetico nel perimetro dei lavori.

La soluzione richiederebbe una tubazione principale e una rete di distribuzione secondaria, entrambe necessarie a coprire una domanda di energia stimabile in 227 kWh/m². La superficie delle serre alimentabili con il calore dell'acqua di Chiomonte risulta compresa tra i 27 500 e i 95.400 m².



I costi, particolarmente contenuti grazie alla possibilità di ricorrere a tubazioni in polietilene del diametro di 10 cm, possono variare dai 534.000 euro a 1,5 milioni. **Il risparmio è di almeno il 50%** rispetto all'alternativa con pompa di calore. Per di più beneficia aumenta leggermente con la potenza disponibile e quindi della superficie delle serre.



Infine è stata analizzata la fattibilità economica rispetto alla distanza delle serre dal punto di fornitura, in modo da tenere conto della possibilità di collocare l'attività in una delle aree identificate o in altre circostanti. Il risultato è stato tradotto nel grafico seguente.

Scenario	1	2	3
Differenza di costo tra alternativa e soluzione proposta (k€/anno)	72	166	276
Rapporto tra differenza di costo e costo dell'alternativa	0.46	0.50	0.51

Tabella 9. Costo di funzionamento relativo all'alternativa (pompa di calore)

SERRE IDROPONICHE

Quarto scenario preso in considerazione prevede un’attività di allevamento ittico ad una distanza massima di 1.200 metri dal cantiere, una configurazione che permette di fare a meno di una rete di distribuzione.

L’analisi tecnico-economica risulta indipendente dal quantitativo di pesce allevato. Il dato di riferimento in termini di fabbisogno energetico annuo risulta essere molto variabile a seconda della specie prodotta e del tipo di allevamento, con valori di letteratura compresi tra circa 7000 kWh/t e 14000 kWh/t.

La quota preponderante è relativa al pompaggio, aerazione, ecc., mentre il fabbisogno di energia termica è dell’ordine di 30%. Per determinare la superficie occupata, si considera in questa analisi un fabbisogno di energia termica di 4200 kWh/t e la temperatura interna di 20 °C.

Scenario	1	2	3
Differenza di costo tra alternativa e soluzione proposta (k€/anno)	17	74	151
Rapporto tra differenza di costo e costo dell’alternativa	0.1	0.22	0.28

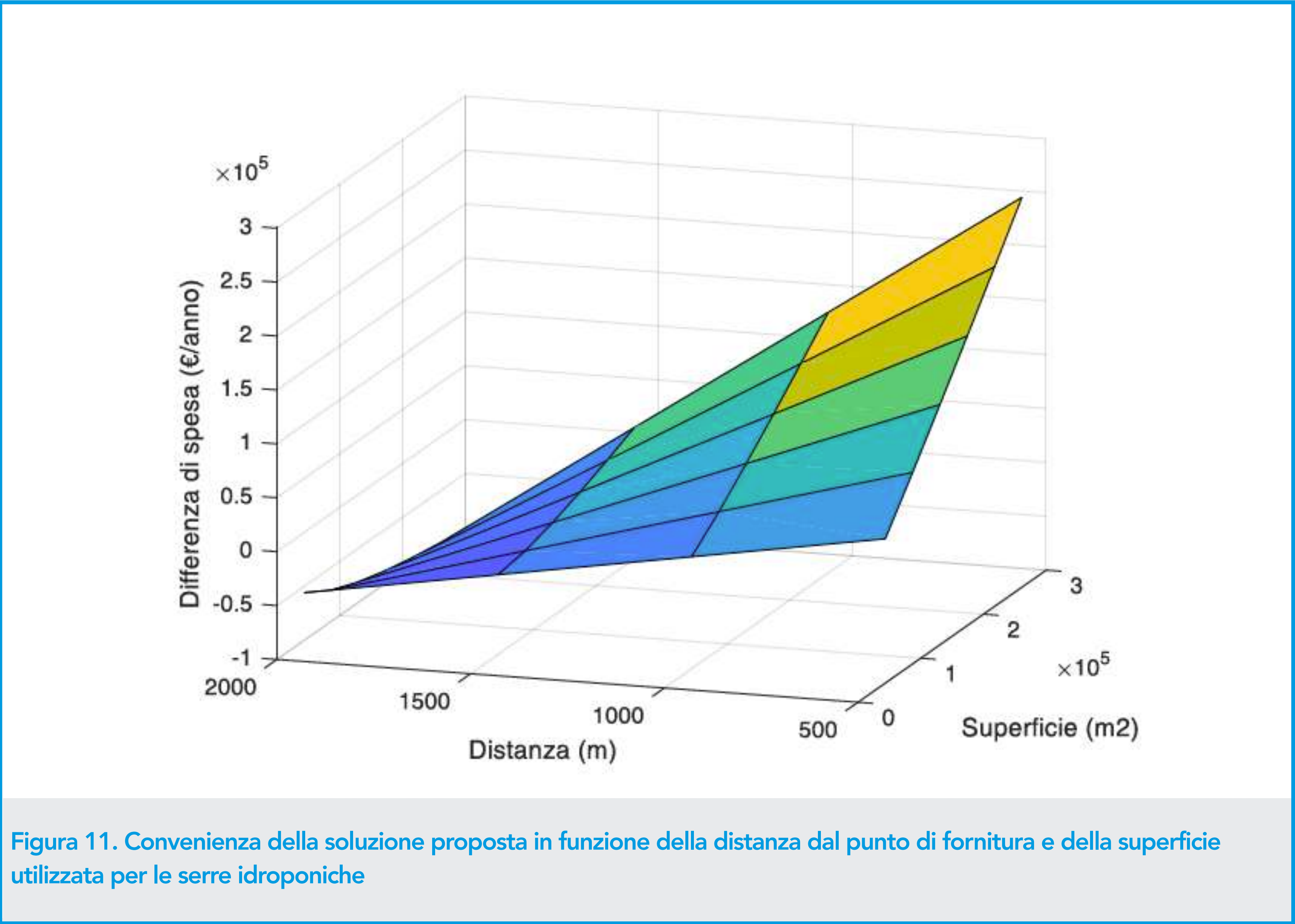
Tabella 14. Costo di funzionamento relativo all’alternativa (pompa di calore)

Vista la temperatura di funzionamento è possibile impiegare tubazioni in polietilene, pertanto **l’investimento risulterebbe significativamente ridotto** anche perché, come nel caso precedente, non è necessaria alcuna pompa di calore.

Il rapporto tra la differenza di spesa e il costo dell’alternativa risulta quindi inferiore rispetto all’utilizzo della risorsa geotermica per l’alimentazione delle serre, il che denota anche una minore convenienza. A questo si deve inoltre sommare il fatto che il risultato è estremamente dipendente dal tipo di allevamento. Qualora venisse adottata una temperatura di funzionamento dell’impianto inferiore, la convenienza della soluzione risulterebbe progressivamente ridotta rispetto al tradizionale.

Infine è stata analizzata la fattibilità economica rispetto alla distanza della serra dal punto di fornitura della risorsa geotermica, risultata conveniente entro una distanza di circa 1.300 m (figura 10). Per i casi relativi a potenze maggiori, aumenta la distanza entro la quale l’alimentazione geotermica è economicamente vantaggiosa rispetto alla pompa di calore.

In figura 11 è invece riportata la differenza di costo annuo tra l’alternativa e la proposta, in funzione dell’estensione della superficie utilizzata per l’attività produttiva e la distanza rispetto al punto di fornitura. La figura evidenzia ulteriormente il fatto che **la distanza risulti essere il fattore di influenza principale**. Per distanze superiori a circa 1.700 m la soluzione non risulta mai conveniente; per quelle inferiori invece si osserva come la convenienza aumenti all’aumentare della superficie utilizzata.



ESPERIENZE PRODUTTIVE: UNA SERRA E UNA PISCINA

Una volta assicurata la sostenibilità economica e ambientale dell'impiego della risorsa geotermica, lo studio del Politecnico ha preso in esame una possibile esperienza nell'area di cantiere. L'intervento valutato coinvolgerebbe una superficie di 20.000 m², che potrebbero accogliere 14.000 m² di serre e una piscina di 1.000 m².

Nel caso della serra, la potenza termica necessaria per l'alimentazione è di circa 1.250 kW, la cui fornitura richiede una portata di acqua di circa 37 kg/s. In tali condizioni la potenza richiesta per il pompaggio è di 7,5 kW, con un fabbisogno annuo di circa 35.500 kWh, che potrebbe essere coperto utilizzando pannelli fotovoltaici installati direttamente sulle serre.

Dopo essere stato impiegato in serra, il calore dell'acqua potrebbe essere utilizzato anche per la vasca, dal momento che la sua temperatura sarebbe ancora adeguata.

Per la copertura dell'intero fabbisogno energetico della serra idroponica (comprensivo anche del fabbisogno elettrico) si potrebbe ampliare la superficie di serre coperta da fotovoltaico, arrivando all'installazione di 650 moduli da 1 kWp per una produzione di circa 685.000 kWh.

L'investimento complessivo risulta dell'ordine di 240.000 €. Anche in questo caso il calcolo è stato effettuato considerando una tubazione pre-isolata in acciaio, mentre sarebbe consigliabile una tubazione in polietilene se si vuole ridurre la spesa.

Nell'ipotesi di un ammortamento sulla vita utile di 10 anni, il costo annuo risulterebbe dell'ordine di **30.000 €/anno**. L'alternativa, rappresentata dall'installazione di un impianto di riscaldamento a pompa di calore, comporterebbe una spesa dell'ordine di 85.000 €/anno. Il confronto pertanto evidenzia un **significativo beneficio economico dell'installazione**.

In ultimo si potrebbe considerare la realizzazione di una piscina di 500 m², eventualmente suddivisa in più vasche (per il nuoto, una vasca ludica e una per bambini con zona idromassaggio). Per provvedere ai consumi di questa attività è possibile considerare i dati di letteratura, che evidenziano come il fabbisogno di energia termica si aggiri sui 460 MWh/anno. La quota copre sia il fabbisogno direttamente richiesto per l'acqua della vasca, sia per l'impianto di ventilazioni. Anche in questo caso si considera necessario elevare il livello termico della risorsa geotermica, utilizzando una pompa di calore.

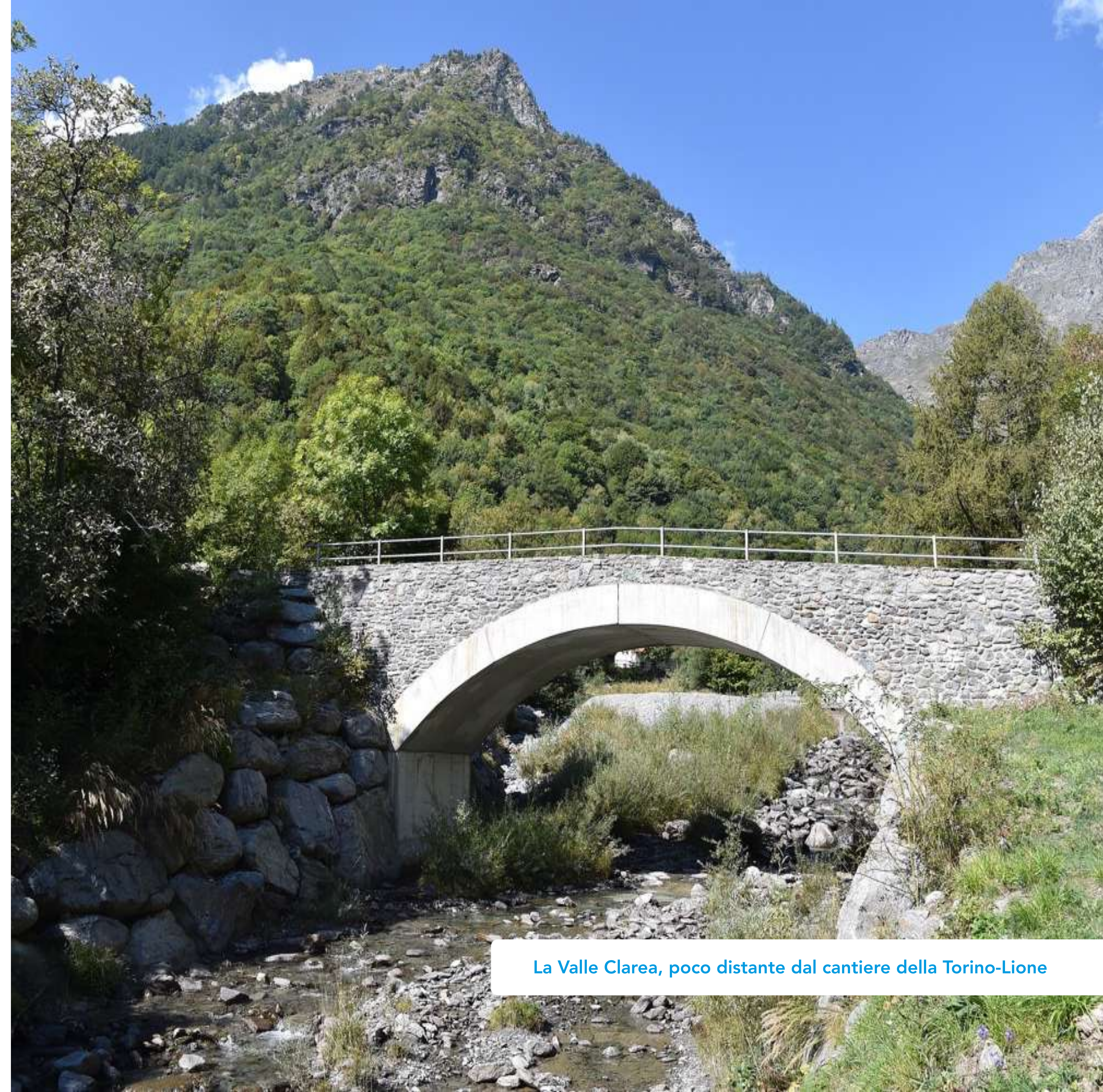
Considerando di voler ottenere una temperatura dell'acqua di alimentazione dell'impianto di riscaldamento di circa 50°C, l'efficienza attesa della pompa di calore è di circa 7,2. Questo comporterebbe un consumo di energia elettrica di circa 64 MWh/anno. Rispetto a una alimentazione con una caldaia a condensazione questo comporterebbe un risparmio di energia primaria di 320 MWh/anno, corrispondente a una **riduzione di fabbisogno di oltre 70%**.



L'impianto per il trattamento delle acque del cantiere di Chiomonte

Dal punto di vista economico, questo tipo di intervento comporterebbe un investimento di circa 30.000 € per la pompa di calore e una spesa annua di energia elettrica di circa 9.600 €/anno. L'alternativa comporterebbe una spesa annua di combustibile di oltre 33.000 €/anno. Questo significa che il tempo di ritorno dell'investimento impiantistico è di poco più di un anno!

La risorsa geotermica complessivamente richiesta per l'alimentazione di tutte queste utenze ammonta a circa 1.400 kW, cioè largamente inferiore alla disponibilità in tutti gli scenari considerati.

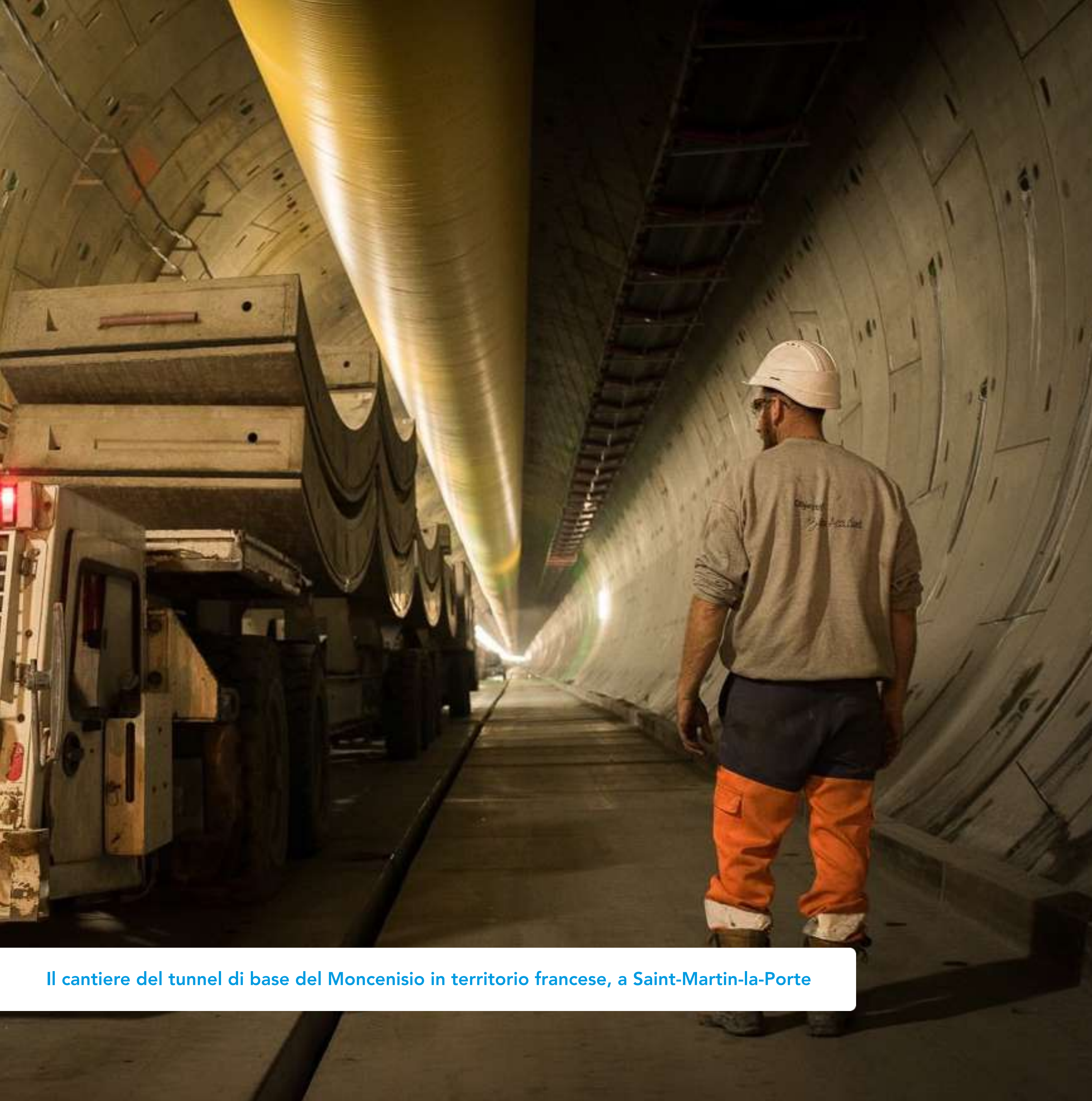


La Valle Clarea, poco distante dal cantiere della Torino-Lione



7

LATO FRANCIA: POSSIBILI VALORIZZAZIONI DELLA RISORSA



Il cantiere del tunnel di base del Moncenisio in territorio francese, a Saint-Martin-la-Porte

Per l'intero percorso situato ad ovest dell'altezza massima del tunnel di base (568 m sul livello del mare), l'acqua intercettata dalla galleria scorrerà verso l'imbocco Villard-Clément, nei pressi della città di Saint-Jean-de-Maurienne. Quest'acqua può rappresentare una risorsa geotermica molto interessante per lo sviluppo di progetti sul versante francese dell'opera.

A causa delle differenze tra il lato francese e quello italiano del tunnel, sia per estensione e natura delle strutture sotterranee sia per altezza della copertura e contesto idrogeologico, anche le caratteristiche delle acque drenate sul lato francese saranno diverse.

La **portata totale sarà più alta**, ma la **temperatura sarà molto più bassa** rispetto al versante italiano. In particolare, dato che la temperatura complessiva è **vicina ai 20 °C**, il recupero geotermico dovrebbe riguardare un solo ciclo in pompa di calore. La potenza termica disponibile all'uscita della pompa di calore, in uno scenario medio o addirittura piuttosto pessimistico, sarebbe di **circa 7,9 MW**. In analogia con lo studio italiano, la stima del potenziale della risorsa geotermica può variare notevolmente.

Come descritto sopra, l'utilizzo dell'acqua calda della galleria potrebbe andare a sopperire al fabbisogno energetico della **futura stazione internazionale di Saint-Jean-de-Maurienne** e negli **edifici tecnici del nuovo collegamento ferroviario**. Sono fabbricati relativamente lontani dall'imbocco, ma la loro vicinanza ai binari può facilitarne il collegamento con l'acqua del tunnel. Tuttavia, il fabbisogno energetico, che non dovrebbe superare i 500 MWh/anno, è molto ridotto rispetto alla disponibilità della risorsa geotermica.

Un uso rilevante della risorsa geotermica può essere ripreso, in modo simile dallo scenario ipotizzato per Susa, **in una rete di teleriscaldamento centralizzato**: il centro di Saint-Jean-de-Maurienne, denso e compatto, sembra molto adatto per questa finalità. Il Comune ha già avviato uno studio per creare una rete di riscaldamento il cui fabbisogno di energia termica potrebbe essere integrato dalla risorsa geotermica. In questo modo, anziché prevedere un circuito decentrato alimentato direttamente dall'acqua calda del tunnel e gestito individualmente dagli utenti, l'uso di un sistema **centralizzato con pompa di calore ad alta potenza** sarebbe più efficace per alimentare una rete di acqua calda a 50-70 °C.

Inoltre l'Unione dei Comuni ha lanciato anche la proposta di **un centro termale a Saint-Jean-de-Maurienne**, che si potrebbe sviluppare grazie alla presenza di una sorgente termale naturale di portata moderata sul territorio. Se il progetto trovasse uno sviluppo si dovrebbe approfondire il potenziale contributo delle acque provenienti dal tunnel di base del Moncenisio.

TELT ha condotto uno studio che ha fornito un'ampia panoramica di tutti gli altri possibili usi di una fonte di acqua calda di temperatura simile a quella prevista in galleria. La base considerata per la ricerca è la letteratura disponibile sui vari impieghi nelle gallerie ferroviarie, ma anche per impianti che utilizzano la risorsa geotermica a bassa energia (ad esempio quelli che riciclano l'acqua di raffreddamento delle centrali nucleari). Questa analisi ha permesso di individuare le soluzioni più realistiche e sostenibili dal punto di vista socio-economico fra una ventina di ipotesi, che vanno dalla rete di riscaldamento alla coltivazione dei funghi.

Anche sul lato francese del tunnel di base, fra le soluzioni più convenienti ci sono le **serre riscaldate e l'acquacoltura**, eventualmente integrate in un parco zoologico-botanico.

Le serre geotermiche sono particolarmente indicate perché necessitano di riscaldamento giorno e notte per lunghi periodi dell'anno. Inoltre sono attività che non incontrano troppa concorrenza sul territorio - in una valle relativamente isolata come la Maurienne, l'argomento **"locale"** è rilevante. Gli investimenti sono limitati, il che rende il progetto meno rischioso e difficile da realizzare rispetto ad un parco botanico e zoologico, che **d'altra parte potrebbe** creare un forte dinamismo economico e sociale.

Tuttavia, data la temperatura prevista dell'acqua, la necessità di installare una pompa di calore sembra inevitabile. Questo elemento potrebbe ridurre il margine economico sul progetto agli occhi di un investitore privato, ma non ne esclude la fattibilità.

L'**acquacoltura** può riguardare l'allevamento ittico e ha il vantaggio di utilizzare l'acqua direttamente a 20°C, giorno e notte tutto l'anno, senza pompa di calore, scambiatore o impianto di trattamento. D'altra parte, forme di acquacoltura diverse, come la produzione di spirulina, sembrano meno rilevanti dal momento che, oltre ad essere più adatte a produzioni di dimensioni ridotte in relazione alla disponibilità della risorsa geotermica del tunnel, sembrano più difficili da integrare nel tessuto economico locale.

C'è invece un'altra possibilità molto più rilevante che si offre al territorio, quella **dell'essiccazione del legno**. Questa può riguardare la produzione di legno per mobili, pavimenti o anche falegnameria. C'è inoltre un impiego meno nobile ma più pragmatico nell'ambito del sistema economico della Maurienne, la produzione di "cippato" o di pellet per caldaie a legna. L'essiccazione del legno è un **anello mancante nel settore del legno** della vallata francese e lo sviluppo di questo settore porterebbe al rilancio di un comparto che oggi vive una fase difficile a livello locale. Tuttavia lo sviluppo di un progetto simile, economicamente interessante solo su grandi dimensioni, richiede garanzie affidabili sia sullo sfruttamento del legname sia sulla presenza di un mercato locale per il prodotto.



L'acquacoltura può riguardare l'allevamento ittico e ha il vantaggio di utilizzare l'acqua direttamente a 20°C, giorno e notte tutto l'anno, senza pompa di calore, scambiatore o impianto di trattamento

C'è invece un'altra possibilità molto più rilevante che si offre al territorio, quella **dell'essiccazione del legno**. Questa può riguardare la produzione di legno per mobili, pavimenti o anche falegnameria. C'è inoltre un impiego meno nobile ma più pragmatico nell'ambito del sistema economico della Maurienne, la produzione di "cippato" o di pellet per caldaie a legna.

L'essiccazione del legno è un **anello mancante nel settore del legno** della vallata francese e lo sviluppo di questo settore porterebbe al rilancio di un comparto che oggi vive una fase difficile a livello locale. Tuttavia lo sviluppo di un progetto simile, economicamente interessante solo su grandi dimensioni, richiede garanzie affidabili sia sullo sfruttamento del legname sia sulla presenza di un mercato locale per il prodotto.



L'essiccazione del legno è un anello mancante nel settore del legno della vallata francese e lo sviluppo di questo settore porterebbe al rilancio di un comparto che oggi vive una fase difficile a livello locale



8

CONCLUSIONI



L'impianto per il trattamento delle acque del cantiere di Chiomonte

In questo documento sono state esaminate dal punto di vista tecnico tre soluzioni di utilizzo della risorsa geotermica a Susa e da quello tecnico-economico quattro ipotesi nell'area di Chiomonte: il riscaldamento degli edifici della zona di cantiere, il teleriscaldamento, l'alimentazione di serre agricole e di serre idroponiche.

Tra gli impieghi a Chiomonte, la prima soluzione è identificata come prioritaria, principalmente per la vicinanza dell'utenza rispetto alla produzione. Le altre tre sono invece considerate in parallelo. L'analisi si è svolta per confronto economico ed ambientale rispetto alle varie opzioni per il riscaldamento.

Nel caso degli **edifici di cantiere** si evidenzia come la proposta risulti vantaggiosa sia sotto il profilo delle emissioni di CO₂, sia da quello economico.

Per quanto riguarda **l'alimentazione di una rete di teleriscaldamento** per Chiomonte, l'ipotesi non appare tra le più vantaggiose dal punto di vista economico, principalmente per via della distanza dal punto di disponibilità.

Infine **l'alimentazione delle serre** (agricole o idroponiche), alternativa risultata economicamente vantaggiosa in entrambi i casi. Le serre tradizionali risultano tuttavia preferibili per via di una maggiore differenza rispetto ad un'alimentazione energetica più convenzionale (pompa di calore), ma anche per una minore sensibilità rispetto agli elementi di incertezza relativi allo scenario.

Per entrambe le tipologie di serre è consigliabile una collocazione prossima al perimetro del cantiere. A queste si potrebbe aggiungere **una vasca o una piscina** e l'intero complesso si potrebbe alimentare efficacemente grazie a una copertura delle serre con **pannelli fotovoltaici**. Una soluzione **sostenibile dal punto di vista ambientale ed economico** rispetto a strumenti quali le pompe di calore ad aria o alle caldaie a condensazione.

Tutte le ipotesi di impiego del calore dell'acqua sono trasponibili anche **sul versante francese** del tunnel di base, per il quale analoghi studi sono stati condotti in passato generando progettualità direttamente gestite da parte del territorio. Le comunità locali in Francia hanno avanzato la proposta di utilizzo in una rete di teleriscaldamento o per un nuovo centro termale. Allo stesso tempo sono possibili altri impieghi della risorsa geotermica, che attendono solo l'emergere della volontà e della proprietà da parte dei soggetti locali per essere studiati in termini più concreti.



Il lago del Moncenisio

[1] Hufschmied P. (2018). Utilisation of Tunnel Groundwater in Tropenhaus Frutigen. Swiss Tunnel Congress.

[2] Vadiee A., Martin V. (2014). Energy management strategies for commercial greenhouses. AppliedEnergy 114 : 880–888

[3] Djevic M., Dimitrijevic A., (2009). Energy consumption for different greenhouse contructions. Energy 34: 1325–1331

[4] Pelletier N., Audsley E., Brodt S., Garnett T., Henriksson P. (2011). Energy intensity of agriculture and food systems. Annual Review of Environment and Resources 36: 223-246

[5] FAO (2015). FUEL AND ENERGY USE IN THE FISHERIES SECTOR Approaches, inventories and strategic implications. Rome.

[6] Tyedmers P. (2004). Fisheries and Energy Use. Encyclopedia of Energy.

[7] Toner D., Mathies M. (2002). The Potential for Renewable Energy Usage in Aquaculture.

[8] RCI. (2016). Geotermia per le serre. (www.clivet.com)

[9] <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/PVcalc.php>

[10] Margarito A.,2016. Analisi di Soluzione di risparmio energetico negli impianti natatori. Tesi di laurea magistrale. Politecnico di Torino.

[11] Lazzarin R.M., Longo G.A., 1996. Comparison of heat recovery systems in a public indoor swimming pool. Applied Thermal Engineering 16, pp. 561-570.

Hanno partecipato alla realizzazione delle attività di ricerca:

TELT

Ing. Manuela Rocca
Dott.ssa Maria Elena Parisi
Ing. Simon Viat

Politecnico di Torino | Dipartimento Ingegneria dell’Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture

Prof. Stefano Lo Russo (coordinatore)
Dott.ssa Glenda Taddia
Dott.ssa Elena Cerino Abdin

Dipartimento Energia

Prof. Vittorio Verda (coordinatore)
Ing. Elisa Guelpa