

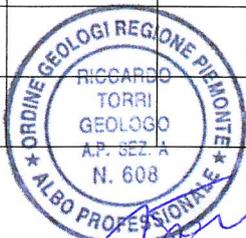
**NOUVELLE LIGNE LYON TURIN – NUOVA LINEA TORINO LIONE
PARTIE COMMUNE FRANCO-ITALIENNE – PARTE COMUNE ITALO-FRANCESE**

**REVISION DE L'AVANT-PROJET DE REFERENCE – REVISIONE DEL PROGETTO DEFINITIVO
CUP C11J05000030001**

**GEOLOGIE – GEOLOGIA
GENERALE – GENERALE
COMPLEMENTS DE GEOLOGIE – COMPLEMENTI DI GEOLOGIA
Géothermie – Geotermia**

**Etude de valorisation des venues d'eau chaudes en tunnel
–
Studio di valorizzazione delle venute d'acqua calda in galleria**

Indice	Date/ Data	Modifications / Modifiche	Etabli par / Concepito da	Vérfifié par / Controllato da	Autorisé par / Autorizzato da
0	911/2012	Première diffusion / Prima emissione	R. TORRI (SEA) L. GLAREY (LOMBARDI)	R. TORRI C. OGNIBENE	L. CHANTRON M. PANTALEO
A	31/01/2013	Révision suite aux commentaires LTF / Revisione a seguito commenti LTF	R. TORRI (SEA) L. GLAREY (LOMBARDI)	R. TORRI C. OGNIBENE	L. CHANTRON M. PANTALEO
B	5/02/2013	Passage au status AP / Passaggio allo stato AP	R. TORRI (SEA) L. GLAREY (LOMBARDI)	R. TORRI C. OGNIBENE	L. CHANTRON M. PANTALEO



**Tecnimont
Civil Construction**
Dott. Ing. Aldo Mancarella
Ordine Ingegneri Prov. TO n. 6271/R



CODE DOC	P	D	2	C	3	B	T	S	3	0	1	0	5	B
	Phase / Fase			Sigle étude / Sigla			Émetteur / Emittente			Numero			Indice	

A	P	N	O	T
Statut / Stato		Type / Tipo		

ADRESSE GED INDIRIZZO GED	C3B	//	//	00	05	01	10	02
------------------------------	-----	----	----	----	----	----	----	----

ECHELLE / SCALA
-



SOMMAIRE / INDICE

RESUME/RIASSUNTO	3
1. INTRODUZIONE	6
2. SINTESI DEL MODELLO IDROGEOLOGICO	7
2.1 Tunnel di Base	7
2.2 Gallerie d'interconnessione	9
3. TEMPERATURE DELLE ACQUE DRENATE DAL TUNNEL DI BASE	9
4. CHIMISMO DELLE ACQUE DRENATE DAL TUNNEL DI BASE	11
5. VALORIZZAZIONE DELLE ACQUE DRENATE	15
5.1 Esempio di captazione in galleria per acque potabili	17
5.2 Potenziale energetico delle acque del tunnel di base	19
6. CONSIDERAZIONI GENERALI	23

RESUME/RIASSUNTO

Le rapport décrit les évaluations pour la valorisation des eaux drainées par le tunnel de base le long le tronçon entre le point haut en France (pk 34+170) et le portail de Suse e par les galeries d'interconnexion entre le portail de Traduerivi et le portail de Bussoleno.

Les évaluations se basent sur les prévisions des débits atteints en galerie en régime stationnaire, des températures des eaux et de leur chimisme. Des solutions de valorisation des eaux interceptées sont présentées. Pour ce but, les tronçons potentiellement caractérisés par des venues spécifiquement captables ont été localisés de façon de pouvoir séparer les eaux pour leur valorisation en termes de chaleur et pour la consommation humaine.

Les éléments ci-décrits, permettent de répondre à la prescription n°51 du CIPE : *le projet définitif doit présenter des systèmes de captage et drainage séparés des eaux avec caractéristique géothermique d'intérêt ($T > 25^{\circ}\text{C}$) avec le but de leur valorisation directe ou pour la récupération de l'énergie thermique ; des solutions concrètes de valorisation des eaux chaudes seront présentées de manière de pouvoir fournir au territoire une compensation environnementale.*

L'étude de valorisation des eaux chaudes a été réalisée sur la base des résultats des études hydrogéologiques menées le long le tracé du tunnel de base en projet. En plus, il a été considéré que le principe de base pour le projet des ouvrages souterrains est celui de minimiser l'impact des creusements des galeries sur les circuits hydriques souterrains. Ceci, pour deux raisons :

1. Minimiser l'impact sur la ressource hydrique souterraine et sur les habitats ;
2. Minimiser les criticités pendant les phases de creusement et de fonctionnement de la ligne.

Un système d'étanchement à 360° est prévu le long les tronçons avec une charge hydraulique

La relazione descrive le valutazioni fatte per la valorizzazione delle acque drenate dal tunnel di base nella tratta delle opere comprese tra il punto alto (pk 34+170) e il portale di Susa e dalle galeries d'interconnessione tra il portale Traduerivi e verso Bussoleno.

Le valutazioni si basano sulle previsioni delle portate attese in galleria in regime stabilizzato, delle temperature delle acque e del loro chimismo. Alcuni scenari di valorizzazione delle acque intercettate sono quindi proposte. In tal senso sono state individuate le tratte di galleria che almeno potenzialmente possono prestarsi alla realizzazione di captazioni specifiche per raccogliere separatamente acque con caratteristiche compatibili al recupero di energia termica e al consumo umano.

Gli elementi contenuti e descritti nella presente relazione concorrono all'ottemperanza della seguente prescrizione CIPE n°51: *il progetto definitivo contempra l'integrazione di sistemi per il collettamento separato delle acque con caratteristiche geotermiche rilevanti ($T > 25^{\circ}\text{C}$) finalizzato al loro sfruttamento diretto o per il recupero di energia; a tale riguardo dovranno essere presentate concrete proposte di utilizzo nel territorio circostante quale opera di compensazione ambientale*

Lo studio di valorizzazione delle acque calde è stato realizzato sulla base dei dati che derivano dagli studi idrogeologici compiuti lungo il tracciato del tunnel di base in progetto. Inoltre, è stato considerato che il principio su cui si basa il progetto delle opere in sotterraneo è di minimizzare l'interferenza indotta dallo scavo delle galeries sui circuiti idrici sotterranei. Questo per due ragioni principali:

1. Minimizzare l'impatto sulla risorsa idrica sotterranea e gli ecosistemi
2. Minimizzare le criticità di scavo e di esercizio della linea

A questo scopo è previsto un sistema di impermeabilizzazione a 360° dove le pressioni d'acqua alla quota della galleria sono minori di

inférieure de 10 bar.

Le potentiel de valorisation a été retenu selon les critères suivants :

10 bar.

Il potenziale di valorizzazione è stato applicato secondo i criteri seguenti:

Criterio	Valore	Valorizzabile per il consumo umano	Valorizzabile per energia termica
Tenore in solfati*	< 250 mg/l	si	-
	> 250 mg/l	no	-
Tenore in cloruri*	< 250 mg/l	si	-
	> 250 mg/l	no	-
Tipo di venuta d'acqua	venuta puntuale	si	si
	venuta diffusa	no	si
Temperatura dell'acqua*	< 25°C	si	no
	> 25°C	no	si

* I valori limite indicati in tabella sono quelli definiti secondo la normativa in vigore sia in Italia che in Francia

Les tronçons qui satisfaisaient simultanément ces critères pour la valorisation du chaleur sont comprises entre les pk 39,5 et environ 55. Les eaux ont une température plus élevée de 25°C et le venues sont généralement de type ponctuel. En plus, dans le scénario de valorisation des eaux, il faudra évaluer la possibilité de valorisation des apports des galeries de Clarea et de Maddalena qui seront collectés dans le tunnel de base respectivement aux pk 48 et 52.

Si on considère, donc, la possibilité de valorisation de l'ensemble des eaux captables le long le tunnel de base et à l'intersection avec les galeries accessoires, les débits totaux seront comprises entre 40 et 100 l/s.

En ce qui concerne les eaux de la galerie d'interconnexion, aucun potentiel de valorisation n'a été envisagé. En plus ces galeries seront équipées avec système d'étanchéité qui rendront nulles les débits en régime stationnaire.

En conclusion, il faut considerer que seulement en régime stationnaire et avec les travaux complètement terminés, il sera possible évaluer l'effective valorisatoin des eaux drainées par le tunnel de base, Il sera donc nécessaire, selon le scénario choisi,

Le tratte che soddisfano simultaneamente i criteri di valorizzazione termica sono comprese tra le pk 39,5 e circa 55. In questa tratta le acque hanno temperatura maggiore di 25°C e le venute sono generalmente di tipo puntuale. Inoltre, nello scenario di valorizzazione delle acque, bisognerà valutare la possibilità di considerare anche gli apporti delle gallerie di Clarea e de La Maddalena che saranno evacuati tramite il tunnel di base rispettivamente alle pk 48 e 52.

Se si considera quindi l'opportunità di valorizzare l'insieme delle acque potenzialmente captabili lungo il tunnel di base e all'intersezione con le gallerie accessorie è ipotizzabile che le portate totali siano comprese tra circa 40 e 100 l/s.

Per quanto riguarda le acque delle gallerie di interconnessione, esse non presentano interesse per la loro valorizzazione: il progetto inoltre prevede la messa in opera di sistemi di impermeabilizzazione che annullerebbero le portate drenate in regime stabilizzato.

In conclusione, bisogna considerare che solamente in regime stabilizzato e con i lavori terminati sarà possibile valutare l'effettiva valorizzazione delle acque drenate dal tunnel di base. Sarà quindi necessario, a seconda dello scenario di valorizzazione, mettere in atto i monitoraggi stabiliti dai protocolli della

mette en route un plan de suivi des eaux selon les normes en vigueur.

On propose ici comme concrètes solutions de valorisation des eaux, les options suivantes :

- Rechauffement des bâtiments et de la piscine de Susa ;
- Centrale de télé-rechauffement à Susa ;
- Rechauffement et production d'eau chaude sanitaire pour les bâtiments de la gare internationale de Susa et de l'aire technique de Susa (solution optionnelle interne au projet) ;
- Eventuelles opportunités pour le territoire (élevage de poissons, agriculture, ecc).

normativa vigente e dalla buona norma progettuale.

Si propongono come concrete possibilità di valorizzazione le seguenti soluzioni:

- riscaldamento dell'edificio e delle vasche della piscina comunale di Susa;
- impianto di teleriscaldamento a Susa;
- riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria per gli edifici della stazione internazionale di Susa e dell'area tecnica di Susa (soluzione opzionale interna al progetto);
- eventuali altre iniziative del territorio (allevamenti ittici, serre, ecc.).

1. Introduzione

La relazione descrive le valutazioni fatte per la valorizzazione delle acque drenate dal tunnel di base nella tratta delle opere comprese tra il punto alto (pk 34+170) e il portale di Susa e dalle gallerie d'interconnessione tra il portale di monte (Traduerivi) e di valle (verso Bussoleno).

Le valutazioni si basano sulle previsioni delle portate attese in galleria in regime stabilizzato (a distanza di tempo dal termine degli scavi), delle temperature delle acque e del loro chimismo. Alcuni scenari di valorizzazione delle acque intercettate sono quindi proposte. In tal senso sono state individuate le tratte di galleria che almeno potenzialmente possono prestarsi alla realizzazione di captazioni specifiche per raccogliere separatamente acque con caratteristiche compatibili al recupero di energia termica e al consumo umano.

Gli elementi contenuti e descritti nella presente relazione concorrono all'ottemperanza della seguente prescrizione CIPE:

51	<p><i>Geotermia: il progetto definitivo contempli l'integrazione di sistemi per il collettamento separato delle acque con caratteristiche geotermiche rilevanti ($T > 25^{\circ}\text{C}$) finalizzato al loro sfruttamento diretto o per il recupero di energia; a tale riguardo dovranno essere presentate concrete proposte di utilizzo nel territorio circostante quale opera di compensazione ambientale.</i></p>	<p>Le acque drenate dalle gallerie in funzione delle loro caratteristiche chimico-fisiche potranno essere utilizzate in differenti modi, in particolare:</p> <ul style="list-style-type: none"> • eventuali impianti di valorizzazione termica diretta e sfruttamento diretto del calore geotermico o indiretta tramite impianti di pompe di calore e/o scambiatore di calore. • consumo umano • uso irriguo <p>Per consentire un eventuale utilizzo è prevista la captazione separata delle acque con caratteristiche idropotabili o termiche.</p> <p>Nell'ambito del progetto definitivo è realizzato uno studio per la valorizzazione del calore delle acque drenate dal Tunnel di Base e per la valutazione preliminare di concrete proposte di loro utilizzo nel territorio circostante. Le ipotesi prese in considerazione sono le seguenti:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Teleriscaldamento nel Comune di Susa; • Riscaldamento della Piscina Comunale. <p>Ulteriore possibilità è quella di utilizzo nell'ambito dello stesso progetto per il riscaldamento degli edifici ferroviari ubicati in prossimità dell'imbocco del tunnel (Stazione Internazionale di Susa);</p>
----	---	---

2. Sintesi del modello idrogeologico

I terreni attraversati dalle opere sono caratterizzati da permeabilità per porosità primaria pressoché nulla. Essi, infatti, sono costituiti da rocce di basamento e risultano permeabili per porosità secondaria ovvero con un grado di permeabilità connesso al loro stato di fratturazione e/o di carsismo. Fa eccezione il tratto in cui è previsto l'attraversamento del fondovalle Cenischia e della Piana di Susa in cui la realizzazione delle opere sotterranee e all'aperto avverrà in depositi sciolti di tipo alluvionale permeabili per porosità primaria connessa alla porosità efficace del sedimento.

In galleria, quindi, le venute d'acqua importanti si verificheranno in corrispondenza dell'intersezione di faglie e bande di fratturazione intensa che normalmente hanno uno spessore variabile tra qualche metro e qualche decina di metri. Queste venute sono di tipo puntuale con portate che variano nel tempo in funzione del carico idraulico e del loro grado di connessione con le zone di ricarica in superficie.

La permeabilità delle zone di faglia e di fratturazione è normalmente più elevata che quella dell'ammasso roccioso in condizioni di fratturazione media. Tuttavia, oltre al grado di fratturazione, un altro elemento che condiziona fortemente la permeabilità dell'ammasso roccioso è la profondità a cui verranno realizzate le opere. Per profondità elevate, infatti, si registra una tendenza del grado di permeabilità a diminuire in virtù dell'aumento del carico litostatico e del suo effetto di chiusura delle fratture.

Tale fenomeno, tuttavia, non deve essere considerato in maniera generalizzata in quanto il comportamento idrogeologico in profondità è funzione, oltre che della profondità, dell'orientazione delle strutture geologiche, della reologia della roccia quindi del suo comportamento alla rottura e alla connettività dei sistemi di fratturazione e di faglia con le aree di ricarica ovvero con la superficie. In particolare, le strutture geologiche a permeabilità più elevata e con giacitura verticale o sub-verticale come le zone di faglia e le bande di fratturazione sono quelle che risentono meno di quest'effetto.

2.1 Tunnel di Base

Nel settore francese del Tunnel di Base dalla pk 34+170 (punto alto) alla pk 39+900 circa lo scavo interessa i litotipi della zona brianzonese e alcuni lembi delle rocce di copertura permotriassica del massiccio d'Ambin (quarziti e meta dolomie). In questo settore sono presenti livelli evaporitici e carbonatici a quali potrebbero essere associati fenomeni di dissoluzione chimica con formazione di strutture carsiche. Se intercettate queste sono responsabili di venute d'acqua importanti di natura sia puntuale che diffuso. Le temperature valutate a quota galleria variano tra circa 23 e 31°C e aumentano procedendo dalla Francia verso l'Italia in funzione dell'aumento della copertura topografica.

Dalla pk 39+900 alla pk 55+000, a copertura più elevata compresa tra circa 1000 e 2000 metri, lo scavo interesserà nel suo insieme il complesso di Clarea (micascisti) ed in parte quello dell'Ambin (gneiss). In questo tratto è quindi ipotizzato di avere dei carichi idraulici superiori a 500 metri e fino a 1000 metri. Sono previste venute d'acqua con temperature superiori a 40°C (tra le PK 41 e 52, Tmax 47° C).

La copertura rocciosa decresce dalla pk 52 regolarmente fino alla pk 56 passando da circa 1000 a circa 150 metri. In questo settore il Tunnel di Base attraverserà i terreni che costituiscono le coperture del massiccio d'Ambin e gli orizzonti di scollamento della Zona a Scaglie Tettoniche caratterizzati da permeabilità per dissoluzione chimica e dove è possibile il drenaggio di acque aggressive sature in SO₄. Le temperature delle acque che circolano nel massiccio diminuiscono fino a scendere al di sotto dei 20°C essendo fortemente influenzate dalle circolazioni discendenti lungo le bande di fratturazione che caratterizzano questa tratta.

A partire dalla pk 54+800 circa il tunnel di base sarà equipaggiato con rivestimento definitivo impermeabilizzato full-round in modo da annullare le venute d'acqua in galleria.

Il tratto di sottoattraversamento del fondovalle Cenischia, all'interno dei depositi alluvionali, sarà realizzato in condizioni non drenanti (scavo meccanizzato con confinamento delle pressioni al fronte) in modo da annullare le venute in galleria. Per questo motivo, ai fini della valutazione delle portate stabilizzate drenate dal Tunnel di Base, questa tratta non è stata computata.

Il seguente attraversamento della Zona Piemontese, fino all'imbocco est, si caratterizza per coperture comprese tra 50 e 200 metri circa. Le criticità possono essere connesse alla presenza di faglie e fasce di fratturazione che potrebbero mettere in comunicazione la quota del tunnel di base con la superficie. Non si segnalano particolari condizioni termiche e le temperature valutate a quota tunnel sono dell'ordine di 10-20°C.

Nella tabella che segue, sono indicate le portate complessive attese al portale di Susa del tunnel di base.

	<i>Portate stabilizzate al portale di Susa</i>					
	<i>Venute puntuali</i>		<i>Venute diffuse su 2 canne</i>		<i>Temperature delle acque</i>	
	-		<i>min</i>	<i>max</i>	<i>max</i>	<i>min</i>
	l/s		l/s	l/s	°C	°C
<i>Venute puntuali (A)</i>	102		-	-	37	33
<i>Venute diffuse (B)</i>	-		104	293		
<i>Portata al portale (somma A + B)</i>			206	395	37	33
<i>Contributo delle discenderie (galleria ventilazione Clarea e Galleria Maddalena) (C)</i>	31	52	-	-	41	36
<i>Portata totale al portale (somma A+B+C) Le temperature al portale qui indicate risultano dalla media ponderata delle temperature drenate dal tunnel di base, dalla galleria di ventilazione Clarea e dalla galleria Maddalena</i>	-		237	447	38	33

Tabella 1 – Portate drenate dal tunnel di base e dalle gallerie di Clarea e Maddalena.

I valori esposti si riferiscono al potenziale di drenaggio in presenza di misure di mitigazione e annullamento delle venute in galleria (impermeabilizzazioni e iniezioni al fronte) compreso il tratto di attraversamento in sotterraneo della Val Cenischia, già previsto in Progetto Preliminare. L'impermeabilizzazione full-round delle gallerie, nella Revisione del Progetto Definitivo, è infatti ritenuto possibile per le tratte per le quali il carico idrostatico è stato valutato inferiore a 10 bar. Si tratta, in particolare, dei settori compresi tra il portale di Susa e la pk 54+800 circa in corrispondenza del contatto tra le coperture del Massiccio d'Ambin e la Zona a Scaglie Tettoniche di Venaus.

Se si considera che in regime stabilizzato, lungo questo settore si otterrà l'annullamento delle venute d'acqua in galleria, le portate attese al portale del tunnel di base a Susa, sono comprese tra circa 206 e 395 l/s.

La tratta impermeabilizzata è caratterizzata da acque generalmente fredde ($T < 25^{\circ}\text{C}$) non valorizzabili da un punto di vista termico.

2.2 Gallerie d'interconnessione

Le gallerie d'interconnessione (binario pari e binario dispari) attraversano lo stesso contesto idrogeologico che si sviluppa completamente all'interno delle unità di copertura mesozoica del Massiccio Dora Maira del complesso idrogeologico degli scisti e calcemicascisti (*CI 6b*) il cui grado di permeabilità per fratturazione è di grado basso e medio basso. In condizioni standard di fratturazione dell'ammasso, il valore di permeabilità caratteristico è di circa 4^E-8 m/s.

I battenti idraulici sono stimati inferiori a 10 bar anche in virtù del fatto che le due canne della galleria d'interconnessione si inseriscono in un contesto idrogeologico già perturbato dalla presenza della galleria autostradale Prapontin e dalla galleria ferroviaria Tanze.

Le temperature dovrebbero, similmente a quanto valutato per la tratta a basse coperture del tunnel di base nella Zona Piemontese, essere comprese tra 10 e 15°C. Non si prevedono tenori in solfati di rilievo.

Anche per la galleria d'interconnessione è prevista l'impermeabilizzazione a 360° a tergo del rivestimento e la realizzazione di iniezioni lungo le eventuali bande di fratturazione più intensa. Si prevede, quindi, che in regime stabilizzato le portate ai portali siano pressoché nulle.

Le tratte impermeabilizzate sono state escluse per la determinazione dei valori di portata e temperatura delle acque valorizzabili, forniti al § 5.

3. Temperature delle acque drenate dal tunnel di base

Le temperature delle venute d'acqua sono state calcolate considerando che esse siano in equilibrio termico con l'ammasso roccioso. Il bilancio di massa per la valutazione della temperatura al portale è stato eseguito considerando che le acque si miscelino istantaneamente e perfettamente con quelle circolanti nel collettore di drenaggio ovvero son state considerate le temperature medie dell'ammasso roccioso in corrispondenza dei punti d'ingresso delle venute lungo il tunnel ponderate secondo le rispettive portate delle venute d'acqua.

La temperatura media dell'acqua in uscita al portale di Susa è valutata in 28°C (37°C per le acque potabili e 17°C per le acque non potabili). Queste temperature sono state valutate considerando anche gli apporti delle opere accessorie (galleria di Clarea e de La Maddalena) come venute puntuali in corrispondenza delle PK di intersezione delle opere (rispettivamente 47+998 e 52+006).

Per quanto concerne le temperature delle acque potenzialmente potabili, si è ipotizzato di poter isolare le venute caratterizzate da contenuti di solfati inferiori ai limiti previsti dalla normativa ovvero le venute intercettate all'interno delle rocce di basamento del Massiccio d'Ambin.

Gli studi di geotermia sono stati condotti con lo scopo di attribuire alle differenti formazioni geologiche attraversate dalle gallerie valori specifici di conduttività termica sulla base delle misure effettuate nei carotaggi.

In particolare, per ogni sondaggio sono state estrapolate le temperature relative al massiccio roccioso alla quota delle opere. Le temperature rilevate in ogni singolo sondaggio sono quindi state riportate lungo il tracciato delle opere alle profondità corrispondenti e in modo da caratterizzare tratte termicamente omogenee.

I dati a disposizione sono comunque discontinui. Se lungo il tracciato del Tunnel di Base, i dati sono sufficientemente dettagliati per poter ricavare un profilo geotermico, Per quanto riguarda la galleria d'interconnessione, non ci si è potuti riferire che ai dati registrati nei

sondaggi presenti lungo il versante sinistro dello stesso settore della Valle di Susa. Tali dati sono stati utilizzati al fine di una valutazione qualitativa delle condizioni termiche dell'ammasso roccioso.

Nella tabella che segue sono riportati, quindi, i valori rappresentativi dei gradienti termici ottenuti e le temperature attese a quota galleria in corrispondenza dell'attraversamento in sotterraneo delle unità litologiche principali.

Unità tettonica	Opera	Gradiente geotermico	Temperatura a quota tunnel
		°C/km	°C
Falda de Gessi		20 - 23	22 - 31
Massiccio d'Ambin	tunnel di base	25 - 33	21 - 47
Zona a Scaglie Tettoniche		16	12 - 22
Zona Piemontese	tunnel di base	17 - 25	10 - 20
Coperture Dora Maira	galleria. Int.	17 - 18	10 - 20

Tabella 2 – Variazione dei gradienti geotermici medi valutati per le unità tettoniche interessate dallo scavo delle opere. È inoltre indicato l'intervallo di variazione della temperatura a quota tunnel

I risultati degli studi geotermici evidenziano una zona di circa 8 km del tracciato (tra le pk 41 e 52 circa) nella quale la temperatura è superiore a 40°C, con una temperatura massima di 47-48°C raggiunta nell'intorno delle pk 44 e 48. Su oltre 14 km, tra le pk 39 e 53 circa, la temperatura è superiore a 30°C.

4. Chimismo delle acque drenate dal tunnel di base

Il ritorno di esperienza dello scavo delle discenderie, in particolare quella di Modane, e delle opere sotterranee realizzate nel settore di studio come quelle connesse alla centrale idroelettrica di Pont Ventoux, oltre che le analisi chimiche delle acque prelevate nei sondaggi di prospezione, mostrano come le acque che saranno evacuate attraverso il portale del tunnel di base a Susa costituiscono un melange di acque caratterizzate da tenori variabili di mineralizzazione totale, ed in particolare in solfati e cloruri, che rappresentano gli elementi maggiori più sensibili nel determinare l'aggressività delle acque.

Infatti, a seconda del contesto geologico, durante lo scavo saranno attraversati settori di gessi e anidriti potenzialmente soggette a dissoluzione chimica; saranno intercettati circuiti idrici più o meno potenzialmente saturi in SO_4 che potrebbero risultare aggressivi nei confronti dei calcestruzzi ().

<i>da PK</i>	<i>a PK</i>	<i>litotipo</i>	<i>Tenore in SO_4 (mg/l)</i>
34+170 (punto alto)	37+255	Falda dei Gessi – Anidriti	500 - 2000
55+030	56+058	Zona a Scaglie Tettoniche - Carniole	2000

Tabella 3 – Tratte del tunnel di base per le quali si attendono tenori in solfati che potrebbero risultare aggressivi nei confronti dei calcestruzzi.

Ai restanti settori sono state attribuite concentrazioni in solfati pari a 50 mg/l in coerenza con i tenori misurati nei sondaggi realizzati nel Massiccio d'Ambin (sondaggi S4) e nella Zona Piemontese (S8 e S9).

Per quanto riguarda la galleria d'interconnessione, nessuna criticità connessa alla concentrazione di solfati è stata evidenziata.

Considerando che gli apporti di ciascuna venuta si diluiscano nel totale delle acque attese al portale di Susa drenate dall'insieme delle opere connesse al Tunnel di Base (doppia canna + galleria Clarea + galleria Maddalena), le concentrazioni potenziali allo stesso portale sono date dal rapporto tra la somma dei singoli contributi e le portate totali drenate.

Nella tabella che segue sono riportate le concentrazioni in solfati attese al portale di Susa in regime stabilizzato nel caso in cui le acque solfatiche non siano isolate dal resto delle venute. In questo caso, quindi, non sono considerate le tratte impermeabilizzate e quindi non è considerata la tratta della Zona a Scaglie Tettoniche. Il contributo in solfati con concentrazioni maggiori a 50 mg/l è quindi dovuto al drenaggio della tratta della Falda dei Gessi in territorio francese.

Nessuna separazione		
<i>Portale di Susa del tunnel di base</i>	<i>da</i>	<i>a</i>

Portate cumulate (l/s)	206	395
Concentrazioni in solfati (mg/l)	68	70

Tabella 4 – Concentrazioni in solfati attese al portale di Susa nel caso in cui le acque solfatiche non siano isolate dal resto delle venute.

Separando i contributi delle venute potenzialmente ricche in solfati (Falda dei Gessi), le seguenti concentrazioni si osserverebbero al portale di Susa :

Separazione delle acque ricche in solfati		
Portale di Susa del tunnel di base	da	a
Portate cumulate (l/s)	38	70
Concentrazioni in solfati (mg/l)	164	175

Tabella 5 – Concentrazioni in solfati attese al portale di Susa nel caso in cui le acque ricche in solfati siano isolate dal resto delle venute.

Le restanti acque drenate sarebbero caratterizzate dai seguenti valori :

Separazione delle altre acque		
Portale di Susa del tunnel di base	da	a
Portate cumulate (l/s)	197	377
Concentrazioni in solfati (mg/l)	50	50

Tabella 6 – Concentrazioni in solfati delle acque attese al portale di Susa nel caso in cui le acque ricche in solfati siano isolate dal resto delle venute.

L'effetto della diluizione determina che la concentrazione maggiore in solfati si riferisce al valore di portata minima e viceversa.

Per quel che riguarda l'aggressività delle acque nei confronti dei calcestruzzi, la normativa in vigore (Norma UNI-EN-206-1) pone i limiti inferiore e superiore delle classi di aggressività dovuta al contenuto in solfati dell'acqua nel terreno secondo quanto riportato nel Prospetto 1 (Classi di esposizione ad attacco chimico) e Prospetto 2 (Valori limite per le classi di esposizione all'attacco chimico nel suolo naturale e nell'acqua del terreno) di cui la tabella che segue riporta gli elementi principali.

Classe	Descrizione	Limite inferiore (mg/l)	Limite superiore (mg/l)
XA1	Ambiente chimico debolmente aggressivo	≥ 200	≤ 600
XA2	Ambiente chimico modestamente aggressivo	> 600	≤ 3000
XA3	Ambiente chimico fortemente aggressivo	> 3000	≤ 6000

Tabella 7 – Valori limite per le classi di esposizione all'attacco chimico nel suolo naturale e nell'acqua del terreno secondo la norma UNI-EN-206-1.

È dunque ragionevole ritenere che le acque in uscita al portale di Susa possano contenere concentrazioni in solfati inferiori ai limiti indicati nella normativa vigente anche nel caso in cui si separino le acque povere in solfati da quelle ricche in solfati per una loro possibile valorizzazione ad uso idropotabile. È comunque necessario prevedere l'utilizzo di calcestruzzi adatti al contesto idrochimico.

Per quanto concerne la normativa italiana in materia di acque potabili¹, il valore limite è pari a 250 mg/l. Tale valore soglia determina che, in caso di valorizzazione per il consumo umano, le acque evacuate al portale di Susa si pongano al di sotto di tale limite.

Parallelamente alla definizione dei tenori in solfati, le acque sono state caratterizzate anche in funzione dei tenori in cloruri. La stessa normativa italiana fissa il limite per l'acqua destinata al consumo umano a 250 mg/l. Le concentrazioni indicate nella tabella che segue sono state associate alle venute d'acqua dei complessi idrogeologici lungo il tracciato delle opere sotterranee.

Cl	Litologia / lithologie	SO4 (mg/l)	Cl (mg/l)
1	Carniole / Cargneules	2.000	100
2	Rocce carbonatiche / Roches carbonatiques	50	0
3	Scisti carbonatici (IT) / Schistes carbonatiques (IT)	50	0
4a	Quarziti / Quartzites	50	0
4b	Metabasiti / Métabasites	50	0
5	Gneiss e micascisti / Gneiss et micaschistes	50 – 500*	100
6a,b	Calcescisti e flysch / Calcschistes et flysch	50	0

¹ D.Lgs. 152/2006 e D.Lgs. 30/2009 (Allegati 3 e 5).

7a	Houiller arenaceo / Houiller gréseux	0	0
7b	Houiller scistoso / Houiller schisteux	0	0
8	Anidriti e dolomie / Anhydrites et dolomies	500 - 2.000	10.000

* settore di Modane

Tabella 8 – Concentrazioni in solfati e cloruri associate alle venute d'acqua dei complessi idrogeologici lungo il tracciato delle opere sotterranee

Si può notare che esclusivamente i circuiti del complesso idrogeologico 8 delle anidriti e delle dolomie presentano concentrazioni molto elevate sia di cloruri che di solfati. I complessi 1 e 5 presentano concentrazioni elevate in solfati mentre concentrazioni di cloruri deboli. Gli altri complessi sono caratterizzati da tenori deboli se non nulli sia in solfati che in cloruri.

In definitiva, il tenore in solfati rappresenta in modo esaustivo i circuiti idrici con impronta geochemica tipica di acque fortemente mineralizzate.

5. Valorizzazione delle acque drenate

Appare doveroso premettere quale sia il principio su cui si basa il progetto della Nuova Linea Ferroviaria Torino – Lyon, ovvero di minimizzare il drenaggio indotto dalle opere sotterranee sui circuiti idrici sotterranei. Questo per due ragioni principali:

1. Minimizzare l'impatto sulla risorsa idrica sotterranea;
2. Minimizzare le criticità legate alle venute d'acqua in galleria in corso di scavo e di esercizio della linea.

A questo scopo il progetto prevede una sezione tipo drenante solo per quei settori ove la pressione d'acqua a tergo del rivestimento superi i 10 bar di pressione. Nei casi in cui si prevedono pressioni inferiori, la tecnologia attuale permette di prevedere una sezione tipo impermeabilizzata, che rende nullo il drenaggio.

Basandosi su questo principio, in questo capitolo sono descritte le quantità e qualità delle acque che si prevedere di drenare nei tratti con pressione d'acqua superiore a 10 bar.

Nei casi in cui si prevedono pressioni inferiori, la tecnologia attuale permette di prevedere una sezione tipo impermeabilizzata, che rende nullo il drenaggio. Nella figura seguente è indicata la tratta per la quale è previsto l'installazione di sistema di impermeabilizzazione full round (360°) del tunnel di base e della galleria d'interconnessione. In particolare, tale accorgimento è previsto per l'intera lunghezza delle due canne della galleria d'interconnessione e per la tratta del tunnel di base compresa tra l'imbocco di Susa e la pk 54+800 circa ovvero al contatto tra la Zona a Scaglie Tettoniche e le unità del Massiccio d'Ambin.

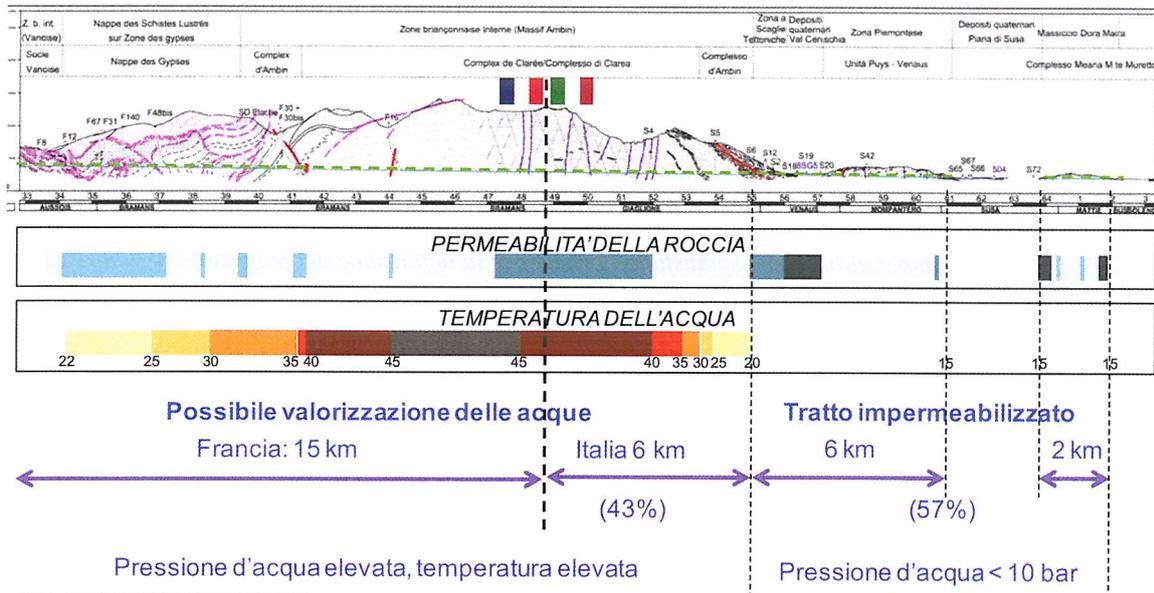


Figura 1 – Profilo idrogeologico con indicazione schematica delle tratte per le quali è prevista l'impermeabilizzazione full-round. Il grado di permeabilità e la temperatura dell'ammasso aumenta per colori più scuri.

In particolare, sono stati presi a riferimento parametri chimici che maggiormente influenzano l'aggressività e potabilità dell'acqua (solfati e cloruri) e la temperatura dell'acqua, che può raggiungere localmente, oltre 40°C nelle tratte a più elevata copertura, in conseguenza del gradiente geotermico locale.

Il potenziale di valorizzazione è stato applicato secondo i criteri seguenti:

Criteria	Valore	Valorizzabile per il consumo umano	Valorizzabile per energia termica
----------	--------	------------------------------------	-----------------------------------

Criterio	Valore	Valorizzabile per il consumo umano	Valorizzabile per energia termica
Tenore in solfati*	< 250 mg/l	si	-
	> 250 mg/l	no	-
Tenore in cloruri*	< 250 mg/l	si	-
	> 250 mg/l	no	-
Tipo di venuta d'acqua	venuta puntuale	si	si
	venuta diffusa	no	si
Temperatura dell'acqua*	< 25°C	si	no
	> 25°C	no	si

* I valori limite indicati in tabella sono quelli definiti secondo la normativa in vigore sia in Italia² che in Francia³.

Tabella 9 – Criteri per la definizione del potenziale di valorizzazione delle acque drenate dalle opere sotterranee

Per quanto riguarda la possibilità di valorizzare le acque per il consumo umano, bisogna sottolineare che, se si escludono le tratte ricche in solfati (vedere tabella § **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**), le venute puntuali intercettate dal tunnel di base sono o di debole portata (settore della Zona Piemontese) o sono caratterizzate da temperature elevate (Massiccio d'Ambin), che necessitano d'essere raffreddate.

Sulla base dei criteri di valorizzazione descritti nella precedente tabella sono stati individuati i settori del tunnel di base che rispondono alle condizioni ritenute utili ai fini della valorizzazione delle acque in termini di consumo umano e per il recupero del calore ai fini energetici.

Le tratte che soddisfano simultaneamente i criteri di valorizzazione sono i seguenti:

da PK	a PK	Tipo venuta	SO4 (mg/l)	Cl (mg/l)	T (°C)	Q (l/s)	Valorizzazione
47+000	52+000	puntuale	50	100	46	42	Idropotabile / termico
39+500	57+500	Puntuale / diffusa	50 - 500	100	36	65	termico

Tabella 10 – Tratte del tunnel di base che soddisfano i criteri per la definizione del potenziale di valorizzazione delle acque drenate dalle opere sotterranee

Inoltre, nello scenario di valorizzazione delle acque, bisognerà valutare la possibilità di considerare anche gli apporti delle gallerie di Clarea e de La Maddalena che saranno evacuati tramite il tunnel di base rispettivamente alle pk 48 e 52.

Opera	SO4 (mg/l)	Cl (mg/l)	Q (l/s)	T (°C)
Galleria geognostica La Maddalena	50	100	5 - 11	37
Galleria di ventilazione Clarea	50	100	26 - 41	42 - 36
<i>Portata totale / temperatura media</i>	<i>50</i>	<i>100</i>	<i>31 - 52</i>	<i>41 - 36</i>

² D.Lgs. 152/2006 e D.Lgs. 30/2009 (Allegati 3 e 5).

³ Arrêté du 11 janvier 2007, Annexe I, Partie II, Tableau B relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine mentionnées aux articles R. 1321-2, R. 1321-3, R. 1321-7 et R. 1321-38 du code de la santé publique

Tabella 11 – Caratteri delle acque drenate dalla galleria Maddalena e Clarea in funzione della loro potenziale valorizzazione

Se si considera quindi l'opportunità di valorizzare l'insieme delle acque potenzialmente captabili lungo il tunnel di base e all'intersezione con le gallerie accessorie (galleria di ventilazione Clarea e galleria geognostica Maddalena), è ipotizzabile che le portate totali siano comprese tra circa 40 (solo le acque drenate dal tunnel di base tra le pk 47 e 52, ovvero 42 l/s) e 100 l/s (somma tra le acque drenate dal tunnel di base tra le pk 39,5 e 57,5 e le portate drenate dalle gallerie di Maddalena e Clarea, ovvero 117 l/s).

Le restanti tratte del tunnel di base risultano di scarso interesse per la potenziale valorizzazione.

Per quanto riguarda le acque delle gallerie di interconnessione, esse non presentano interesse per la loro valorizzazione: il progetto inoltre prevede la messa in opera di sistemi di impermeabilizzazione che annullerebbero le portate drenate in regime stabilizzato. Inoltre, le temperature sono basse (tra 10 e 15°C) e le portate valutate in regime stabilizzato scarse (tra 25 e 32 l/s): allo stato attuale delle conoscenze, la risorsa non è valorizzabile.

In conclusione, bisogna considerare che solamente in regime stabilizzato e con i lavori terminati sarà possibile valutare l'effettiva valorizzazione delle acque drenate dal tunnel di base. Infatti, a seconda delle condizioni idrogeologiche incontrate durante lo scavo, le acque che saranno oggetto di captazione dovranno mantenere nel tempo le caratteristiche valorizzabili. Sarà quindi necessario, a seconda dello scenario di valorizzazione, mettere in atto i monitoraggi stabiliti dai protocolli della normativa vigente e dalla buona norma progettuale.

5.1 Esempio di captazione in galleria per acque potabili

La captazione normalmente realizzata in galleria è di tipo puntuale ed è posizionata all'interno di una nicchia laterale del tunnel principale e completata da dreni opportunamente inclinati. Lo schema tipologico della captazione prevista in progetto (documento di riferimento: PD2 C3A 3962 26-19-40 40-04 Captazione delle acque potabile e calde) è rappresentato nella figura seguente.

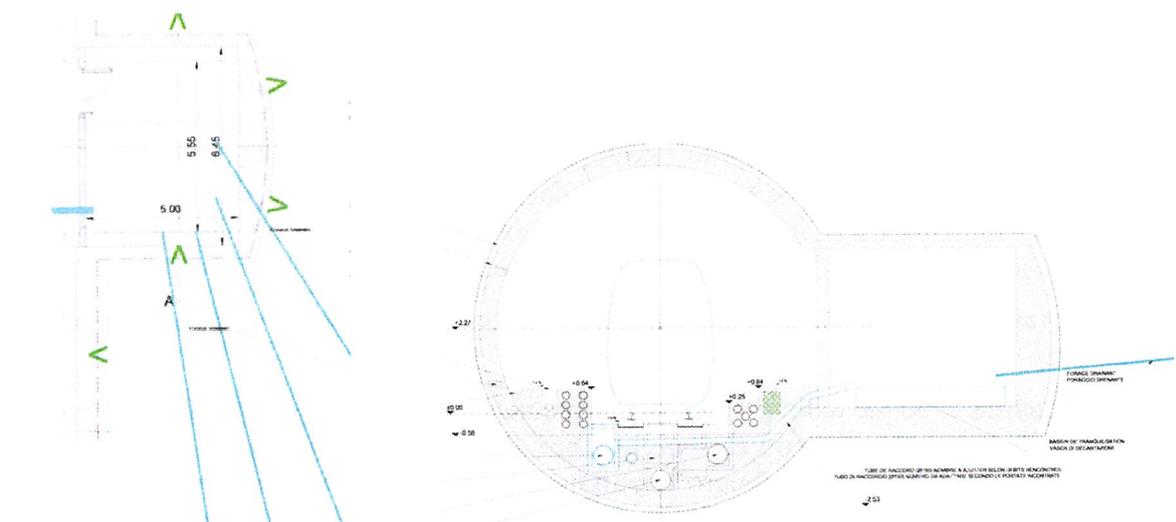


Figura 2 – Tipologico di captazione in sotterraneo a partire da una nicchia laterale del tunnel principale. Le linee azzurre indicano la posizione approssimata dei drenaggi lineari previsti per la captazione diretta delle venute d'acqua (doc. di riferimento: PD2 C3A 3962 26-19-40 40-04 Captazione delle acque potabile e calde).

Con lo scopo di definire il progetto di captazione della risorsa idrica, i parametri seguenti devono essere a loro volta definiti:

- Individuazione e localizzazione della venuta d'acqua principale;
- Portata della venuta;
- Pressione della venuta;
- Qualità idrogeochimica delle acque;
- Concessioni amministrative e quadro legislativo vigente;
- Caratteristiche tecniche dei materiali e scelta della tecnologia in relazione al contesto idrogeologico.

Inoltre, bisognerà valutare e identificare gli utilizzatori potenziali della risorsa valorizzabile.

Dal punto di vista operativo, durante la fase di scavo i seguenti elementi devono essere previsti e considerati:

1. Realizzazione di una captazione provvisoria: durante lo scavo della galleria principale una volta intercettata una venuta puntuale ritenuta valorizzabile. Essa sarà finalizzata alla messa in opera di un programma di monitoraggio della venuta d'acqua;
2. Realizzazione del monitoraggio in continuo della portata, della conducibilità elettrica, della temperatura e del pH per un periodo di almeno un anno;
3. Realizzazione del monitoraggio della qualità delle acque (parametri idrogeochimici, batteriologici, isotopici e radiometrici) tramite analisi di laboratorio per almeno un anno e comunque secondo le normative vigenti a seconda del tipo di utilizzo previsto.

Sulla base dei dati raccolti durante il monitoraggio, sarà realizzato uno studio idrogeologico di dettaglio in cui, tra l'altro, saranno definiti:

1. La struttura geologica – idrogeologica a cui è connessa la venuta d'acqua (p.es. faglia);
2. Il tipo e il bacino di alimentazione della venuta;
3. La sua persistenza nel tempo della venuta d'acqua;
4. La vulnerabilità della venuta d'acqua.

5.2 Potenziale energetico delle acque del tunnel di base

Il potenziale energetico dall'acqua calda è stimabile mediante la formula seguente:

$$Pot = P \times C \times D \times dT$$

Dove:

Pot = Potenza termica [w]

P = Portata [m³/s]

C = Calore specifico dell'acqua [4'186 J/kg/K]

D = Densità dell'acqua [997 kg/m³]

dT = Salto termico [K]

Nelle condizioni di progetto (portata massima pari a circa 100 l/s e temperatura pari a 36°C) è possibile stimare i seguenti potenziali termici in funzione del salto termico (ipotizzando l'utilizzo di un semplice scambiatore di calore).

Temperatura acqua in ingresso [°C]	Temperatura acqua in uscita (rilascio) [°C]	Salto termico dT [K]	Potenziale termico indicativo [kW]
36	31	5	2'000
36	26	10	4'000
36	16	20	8'000

Nel corso del Progetto Preliminare erano state identificate alcune concrete possibilità di utilizzo dell'acqua calda proveniente dal tunnel, compatibili con la disponibilità energetica:

- riscaldamento edificio e vasche della piscina comunale di Susa;
- riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria per gli edifici della stazione internazionale di Susa e dell'area di sicurezza di Susa;
- impianto di teleriscaldamento a servizio del Comune di Susa.

Tali concrete possibilità di utilizzo sono confermate dalle analisi eseguite nell'ambito del Progetto Definitivo riguardo alle portate drenate lungo il tunnel di base e alle temperature delle venute d'acqua. In questo documento, le soluzioni concrete di valorizzazione delle acque calde sono presentate e sviluppate solo a livello di studio di fattibilità. Il progetto sarà sviluppato nelle fasi successive in funzione della reale disponibilità della risorsa idrica e termica.

È comunque importante tenere in considerazione che la valorizzazione per il solo riscaldamento dell'acqua della piscina comunale (temperatura della vasca pari a circa 28°C) potrebbe essere effettuato mediante semplice scambiatore di calore (senza utilizzo della pompa di calore); gli impianti di riscaldamento e teleriscaldamento utilizzano in genere acqua ad una temperatura più elevata di 36°C. Per questi scopi sarà quindi necessario prevedere l'utilizzo di pompe di calore che richiedono la fornitura di una certa potenza elettrica (vedasi tabelle seguenti).

Utilizzo	Fabbisogno termico stimato	Potenza termica disponibile	Caratteristiche principali dell'impianto (ipotesi da confermare in sede di progetto tecnico)
Piscina Comunale di Susa (edificio + vasche)	400 kW	2'301 kW (esempio equivalente 20 appartamenti)	Utilizzo di una pompa di calore acqua/acqua: - Potenza elettrica (fabbisogno) 403 kW - Coefficiente di rendimento (COP) 5,71 - Temperatura rilascio dell'acqua: 31 °C
Edifici Stazione e area di sicurezza di Susa (OPZIONE)	830 kW		

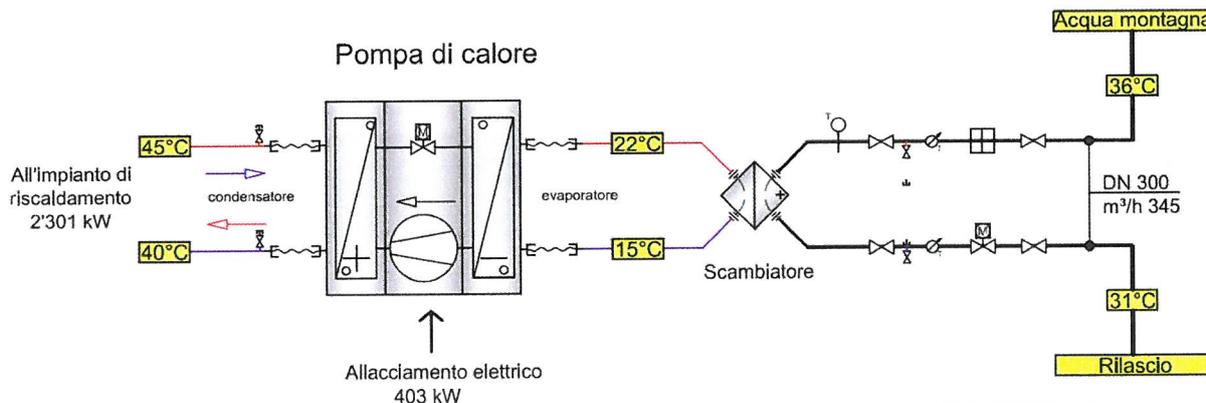


Figura 3 – Schema di funzionamento e resa degli impianti di valorizzazione nel caso di valorizzazione per il riscaldamento della piscina comunale di Susa (edificio + vasche). È anche illustrato il caso opzionale di riscaldamento degli edifici della Stazione e dell'area di sicurezza di Susa. Si osserva come le potenzialità termiche sono molto superiori al fabbisogno (2301 kW a fronte di 400 kW nel caso della piscina e 830 kW nel caso degli edifici della Stazione e dell'area di sicurezza).

Utilizzo	Fabbisogno termico necessario	Potenza termica disponibile	Caratteristiche principali dell'impianto (ipotesi)
Centrale di teleriscaldamento a servizio della città di Susa	10 MW (derivante da una stima preliminare in base ad impianti di taglia similare)	10'082 kW	Utilizzo di 4 pompe di calore (in formazione doppia) acqua/acqua in serie (si veda slide successiva): – Salto termico globale: $4 \times 5^\circ\text{C} = 20^\circ\text{C}$ – Potenza elettrica: 1'838 kW – Temp. di rilascio dell'acqua: 16°C – COP 5,49

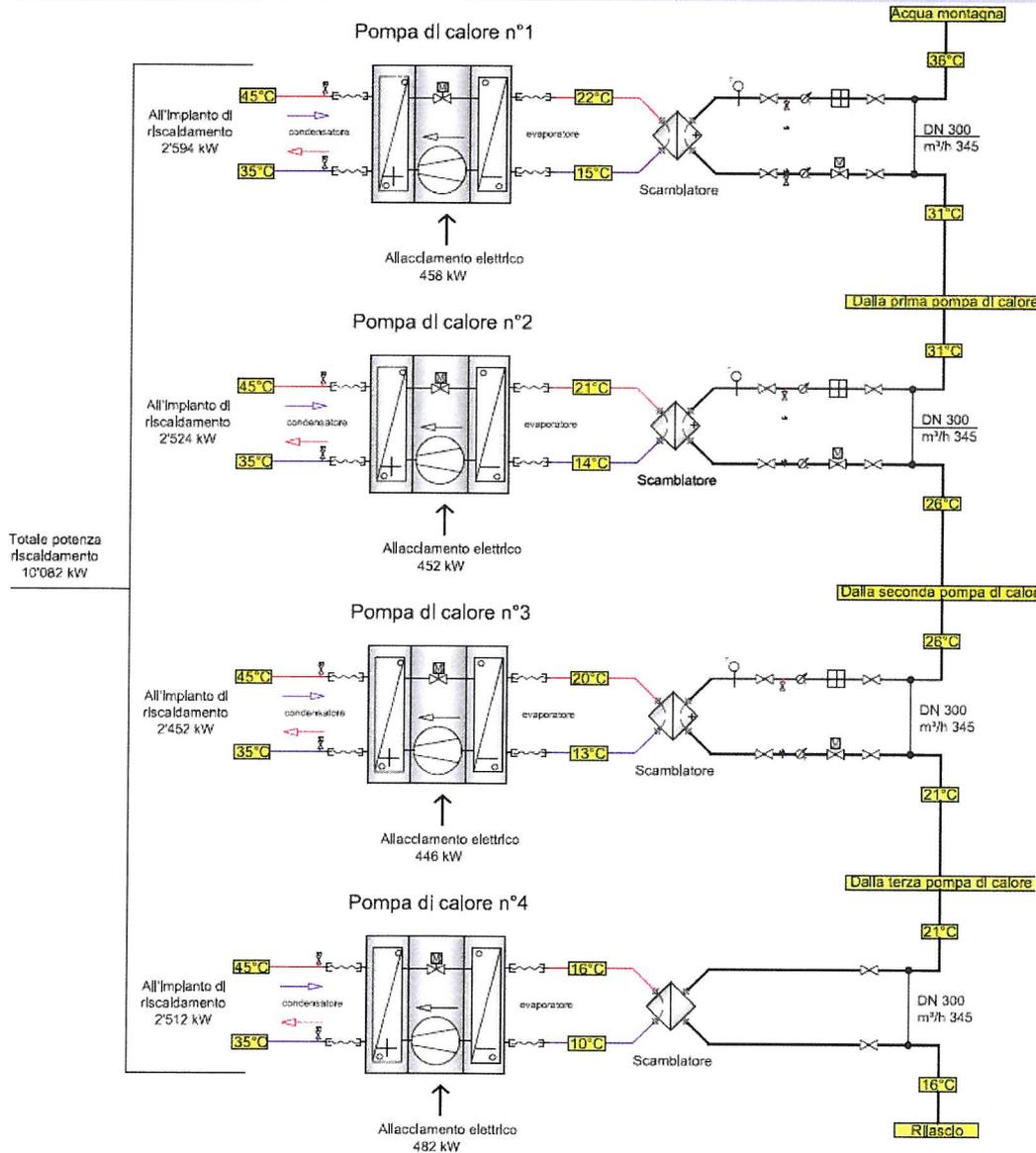


Figura 4 – Fabbisogno termico, potenza termica disponibile e caratteristiche principali dell'impianto nell'ipotesi di valorizzazione tramite installazione di una centrale di teleriscaldamento a servizio della città di Susa. Sotto, schema di funzionamento e resa degli impianti di valorizzazione nel caso dell'ipotesi di valorizzazione tramite installazione di una centrale di teleriscaldamento a servizio della città di Susa.

L'ipotesi di realizzazione di una centrale di teleriscaldamento è realistica. La taglia della centrale potrebbe essere simile a quelle realizzate in città quali Sondalo e Tirano che

presentano caratteristiche di popolazione e ubicazione geografica (quota e ambito montano) del tutto simili a quelle di Susa.

	Susa	Tirano	Sondalo
Abitanti	6'800	8'800	5'200
Altitudine (m slm)	503	441	939
Zona climatica	F	E	F
Gradi giorno	3108	2'696	3'403
Potenza caldaia		20MW	10MW
N° utenze		691	361
Popolazione servita		7350	4130
Energia termica prodotta annua		63'890 MWh	30'029 MWh

Tabella 12 – Valutazione preliminare bacino di utenza per una eventuale centrale di teleriscaldamento a Susa e confronto con gli impianti dei comuni di Tirano e Sondalo.

Questa possibilità di utilizzo prevede di effettuare 4 volte il salto termico di 5°C all'acqua, restituendola, all'uscita dell'impianto, a circa 16°C.

La potenza termica recuperata è quindi pari a circa 4 x 2'500 kW (10 MW).

La potenzialità termica dell'acqua in uscita dal Tunnel di Base sarebbe così sfruttata al pieno delle proprie potenzialità.

Nel corso del Progetto Preliminare erano state identificate altre possibilità per un utilizzo diverso ed alternativo dell'acqua calda proveniente dal tunnel:

- Realizzazione di serre per coltivazione di frutta e verdura esotica
- Realizzazione di bacini per l'allevamento di storioni e la produzione di caviale

Una realizzazione già illustrata per la valorizzazione di questa risorsa è la Tropenhaus a Frutigen (Svizzera), all'imbocco Nord del Tunnel del Lötschberg (portata disponibile pari a 110 l/s con una temperatura di 17-20°C).

Le potenzialità termiche dell'acqua proveniente dal TdB sono tali da rendere concretamente realizzabili tali soluzioni.

6. Considerazioni generali

Il Progetto Definitivo prevede il collettamento separato delle acque con caratteristiche geotermiche rilevanti ($T > 25^{\circ}\text{C}$), mediante apposite tubazioni, finalizzato al loro possibile sfruttamento diretto o per il recupero di energia.

E' confermata la fattibilità di alcune concrete possibilità di utilizzo dell'acqua calda proveniente dal tunnel e resa disponibile all'imbocco del Tunnel di Base :

- riscaldamento della Piscina Comunale di Susa
- Impianto di teleriscaldamento
- riscaldamento/raffrescamento degli edifici ferroviari (opzione in caso di eccedenza)
- eventuali altre iniziative del territorio (allevamenti ittici, serre, ecc.)

Le portate drenate dal tunnel sono eliminate nelle gallerie di interconnessione e nei primi 6 km del TdB grazie ad un rivestimento definitivo impermeabile

Queste tratte impermeabilizzate sono quelle a copertura più bassa ed a temperatura più fredda, ove le pressioni d'acqua in galleria sono minori (< 10 bar).

Di conseguenza, sono minimizzati gli impatti sulle risorse idriche di superficie (sorgenti e pozzi).

