

LIAISON LYON - TURIN / COLLEGAMENTO TORINO - LIONE

Partie commune franco-italienne
Section transfrontalière

Parte comune italo-francese
Sezione transfrontaliera

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

**PARTE IN TERRITORIO ITALIANO – PROGETTO IN VARIANTE
(OTTEMPERANZA ALLA PRESCRIZIONE N. 235 DELLA DELIBERA CIPE 19/2015)**

CUP C11J05000030001 – PROGETTO DEFINITIVO

GEOLOGIE – GEOLOGIA

GENERAL – GENERALE

**COMPLEMENTS DE GEOLOGIE / COMPLEMENTI DI GEOLOGIA
MODÈLE GÉOTHERMIQUE / MODELLO GEOTERMICO**

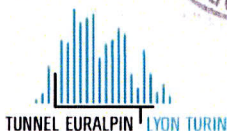
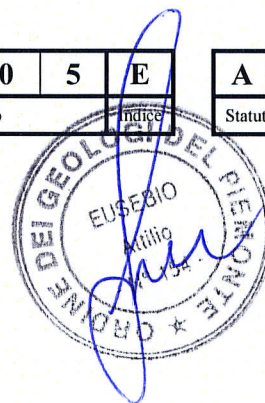
**ETUDE DE VALORISATION DES VENUES D'EAU CHAUDES EN TUNNEL (COTE ITALIE)
STUDIO DI VALORIZZAZIONE DELLE VENUTE D'ACQUA CALDA IN GALLERIA (LATO ITALIA)**

Indice	Date/ Data	Modifications / Modifiche	Etabli par / Concepito da	Vérfié par / Controllato da	Autorisé par / Autorizzato da
0	09/11/2012	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	05/02/2013	Passage au status AP / Passaggio allo stato AP	R. TORRI (SEA) L. GLAREY (LOMBARDI)	R. TORRI C. OGNIBENE	L. CHANTRON M. PANTALEO
C	25/11/2016	Première diffusion phase PRF-PRV Prima emissione fase PRF-PRV	G. RICCI (GEODATA)	A. EUSEBIO C. OGNIBENE	L. CHANTRON A: MORDASINI
D	03/03/2017	Reception observations TELT Recepimento osservazioni TELT	G. RICCI (GEODATA)	A. EUSEBIO C. OGNIBENE	L. CHANTRON A: MORDASINI
E	14/04/2017	Reception observations TELT Recepimento osservazioni TELT	G. RICCI (GEODATA)	A. EUSEBIO C. OGNIBENE	L. CHANTRON A: MORDASINI

CODE DOC	P	R	V	C	3	B	T	S	3	0	1	0	5	E	A	P	N	O	T
	Phase / Fase			Sigle étude / Sigla			Émetteur / Emittente			Numero					Statut / Stato		Type / Tipo		

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

ECHELLE / SCALA	-
-----------------	---



TELT sas – Savoie Technolac - Bâtiment "Homère"
13 allée du Lac de Constance – 73370 LE BOURGET DU LAC (France)
Tél. : +33 (0)4.79.68.56.50 – Fax : +33 (0)4.79.68.56.75
RCS Chambéry 439 556 952 – TVA FR 03439556952
Propriété TELT Tous droits réservés – Proprietà TELT Tutti i diritti riservati

Ce projet est cofinancé par l'Union européenne (DG-TREN)



Questo progetto è cofinanziato dall'Unione europea (TEN-T)

SOMMAIRE / INDICE

1. INTRODUZIONE	8
2. SINTESI DEL MODELLO IDROGEOLOGICO	9
2.1 Tunnel di Base	9
2.2 Gallerie d'interconnessione	11
3. TEMPERATURE DELLE ACQUE DRENATE DAL TUNNEL DI BASE	11
4. CHIMISMO DELLE ACQUE DRENATE DAL TUNNEL DI BASE	12
5. VALORIZZAZIONE DELLE ACQUE DRENATE	15
5.1 Raccolta acque per il consumo idropotabile	18
5.2 Captazione in galleria per acque potabili	19
5.3 Sfruttamento delle acque per valorizzazione termica	21
5.4 Potenziale energetico delle acque del tunnel di base	22
5.5 Potenziali applicazioni	23
6. CONSIDERAZIONI GENERALI	28

LISTE DES FIGURES / INDICE DELLE FIGURE

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.	16
Figura 2 – Schema di drenaggio delle acque da Maddalena 1 e 2 verso il Tunnel di Base	18
Figura 3 – Analisi chimiche eseguite nel cunicolo di Maddalena, valori di cloruri e sodio e relative soglie per il consumo potabile.....	19
Figura 4 – Sistema di captazione delle acque calde potenzialmente potabili. Sezione longitudinale e trasversale della nicchia (ref. Impianti OOCC e drenaggio, PRV C3A TS3 3956 B).....	20
Figura 5 – Sezione tipo del drenaggio delle acque freatiche per scavo con TBM aperta (fonte Rel. Tec. PRV C3A TS3 3956 B)	21
Figura 6 –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).	24
Figura 7 – 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.	25
Figura 8 – Tropicana, Frutigen; serre e vasche per la piscicoltura.....	27

LISTE DES TABLEAUX / INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 – Portate drenate dal tunnel di base e dalle gallerie della Maddalena 1 e 2.....	10
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	12
Tabella 3 – Tratte del tunnel di base per le quali si attendono tenori in solfati che potrebbero risultare aggressivi nei confronti dei calcestruzzi.	13
Tabella 4 – Concentrazioni in solfati attese al portale di Susa nel caso in cui le acque solfatiche non siano isolate dal resto delle venute.	13
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.	14
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.	14
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.	14
Tabella 8 – Concentrazioni in solfati e cloruri associate alle venute d'acqua dei complessi idrogeologici lungo il tracciato delle opere sotterranee	15
Tabella 9 – Criteri per la definizione del potenziale di valorizzazione delle acque drenate dalle opere sotterranee	17
Tabella 10 – Criteri di captazione e potenziale utilizzo delle risorse idriche.....	17
Tabella 11 – Caratteristiche delle venute idriche captabili a scopo idropotabile.....	18
Tabella 12 – Caratteristiche delle acque drenate dalle gallerie della Maddalena	18
Tabella 13 – Scenari di raccolta delle portate diffuse tramite il collettore principale e caratteristiche delle acque drenate.....	22
Tabella 14 – Scenari di raccolta delle portate diffuse tramite il collettore principale e caratteristiche delle acque drenate.....	22
Tabella 15 – Calcoli di potenziale termico in funzione degli scenari delineati	23
Tabella 16 – Valutazione preliminare bacino di utenza per una eventuale centrale di teleriscaldamento a Susa e confronto con gli impianti dei comuni di Tirano e Sondalo.	26

RESUME/RIASSUNTO

La phase actuelle du projet (PRV) est encadrée dans le Projet de Référence en Variante (variante de sécurité) de la Nouvelle ligne ferroviaire Turin-Lyon, suivant la prescription de 235 de résolution CIPE 19/2015. La variante de sécurité a déterminé la relocalisation du côté italien du point de début d'excavation de tunnel de base à La Maddalena, en Chiomonte, antérieurement prévue à Susa.

Ce document est basé sur les connaissances du Rapport précédent (Progetto Definitivo Approvato cod. PD2 C3B TS3 0097 B) qui est mis à jour et complété avec des données acquises dans l'excavation du tunnel exploratif de la Maddalena. Ces données avec le nouvel cadre du projet ont permis de recalculer le total de débit drainé vers le portail de Susa. Le débit total est définie en terme de quantité et qualité (chimie et température) afin d'évaluer son potentiel de réutilisation o emploi pour la production d'énergie électrique.

'affiner le modèle de référence hydrogéologique dans le secteur Massif Ambin et de recalculer les débits prévues soit comme quantité soit comme température pour permettre de actualiser le cadre de valorisation des ressources hydriques drainés vers le portail de Susa.

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

L'attuale fase progettuale (PRV) si inquadra nell'ambito del Progetto di Riferimento in Variante (variante sicurezza) della Nuova Linea Ferroviaria Torino-Lione, finalizzata alla progettazione di un nuovo scenario di costruzione del collegamento ferroviario lato Italia, a seguito della prescrizione 235 della delibera CIPE 19/2015. In particolare, la variante sicurezza delocalizzato il punto di attacco dello scavo del lato italiano del Tunnel di Base alla Maddalena di Chiomonte, in precedenza previsto a Susa.

Questo documento è basato sul precedente documento redatto in fase di Progetto Definitivo Approvato (cod. PD2 C3B TS3 0105 B) che viene aggiornato ed integrato grazie ai dati acquisiti nello scavo del cucniolo esplorativo della Maddalena. Questi dati, unitamente alla variazione del quadro progettuale, hanno permesso di ricalcolare il totale dei contributi idrici attesi al portale Susa. Tali contributi sono definiti in termini di quantità (portata) e qualità (temperatura e chimismo) per valutarne il potenziale riutilizzo o impiego per la produzione di energia elettrica.

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 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

Studio di valorizzazione delle acque calde (lato Italia) / Etude de valorisation des eaux chaudes (côté Italie)

chaleur et pour la consommation humaine.

Les éléments ci-décrits, permettent de répondre à la prescription qui demande que 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 inférieure de 10 bar.

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

prescrizione che richiede che 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.

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 gallerie 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 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	si
	> 250 mg/l	no	si
Tenore in cloruri*	< 250 mg/l	si	si
	> 250 mg/l	no	si
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

La captation des venues ponctuelles pour la consommation humaine, dans le tronçon pk 47-52, permettra de recueillir environ 50 l/s qui peuvent augmenter jusqu'à 100 l/s avec la contribution des galeries de Maddalena 1 et 2, dans le cas que les eaux drainées se conforment à la norme de potabilité. Le potentiel thermique des venues ponctuelles peut atteindre un température de 35°C associé à un débit de environ 80 l/s, en étendant les ouvrages de captation jusqu'à la pk 38,5.

La collecte des venues diffusés, convoyée au portal de Susa à l'aide du collecteur principal, peut permettre de accumuler un débit importante (> 200-250 l/s) avec un température > 30°C ce qui permet de obtenir un valorisation thermique relevant.

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 considérer que seulement en régime stationnaire et avec les travaux complètement terminés, il sera possible évaluer l'effective valorisation des eaux drainées par le tunnel de base, Il sera donc nécessaire, selon le scénario choisi, mette en route un plan de suivi des eaux selon les normes en vigueur.

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

- Réchauffement des bâtiments et de la piscine de Suse ;
- Centrale de télé-réchauffement à Suse ;
- Réchauffement et production d'eau chaude sanitaire pour les bâtiments de la gare internationale de Suse et de l'aire technique de Suse (solution optionnelle interne au projet) ;
- Eventuelles opportunités pour le territoire (pisciculture, serres, ecc).

La captazione a fini idropotabili delle venute puntuali, nella tratta da pk 47 a pk 52, sarà in grado di apportare circa 50 l/s che potrebbero essere incrementati a circa 100 l/s dalla aggiunta dell'acqua drenata dalle gallerie di Maddalena 1 e 2, se in linea con i criteri della norma per il consumo umano. Il potenziale termico delle venute puntuali potrebbe arrivare a circa 80 l/s per una temperatura media ponderata di 35°C, estendendo le opere di captazione puntuale fino alla pk 38,5.

La raccolta delle venute diffuse, convogliate al portale Susa tramite il collettore principale permetterebbe di ottenere portate rilevanti (> 200-250 l/s) e temperature > 30°C a seconda degli scenari considerati, che potenzialmente permetterebbero valorizzazioni termiche rilevanti.

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 normativa vigente e dalla buona norma progettuale.

Si propongono come concrete possibilità di valorizzazione le seguente 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

L'attuale fase progettuale (PRV) si inquadra nell'ambito del Progetto di Riferimento in Variante (variante sicurezza) della Nuova Linea Ferroviaria Torino-Lione, finalizzata alla progettazione di un nuovo scenario di costruzione del collegamento ferroviario lato Italia, a seguito della prescrizione 235 della delibera CIPE 19/2015. In particolare, la variante sicurezza ha valutato una serie di scenari alternativi rispetto a quelli proposti nel precedente Progetto Definitivo approvato, coinvolgendo nuove aree e determinando la delocalizzazione del punto di attacco dello scavo del lato italiano del Tunnel di Base alla Maddalena di Chiomonte, in precedenza previsto a Susa.

Oltre a comportare lo spostamento del principale cantiere da Susa alla Maddalena, la variante determina la necessità di progettare e realizzare nuove opere in sotterraneo, tra le quali la nuova Galleria della Maddalena 2, dalla quale partirà lo scavo del lato italiano del Tunnel di Base che procederà, una volta arrivato alla quota di progetto del tunnel, verso l'imbocco di Susa. La variante progettuale consentirà lo scavo meccanizzato e la messa in opera di rivestimento definitivo impermeabilizzato degli ultimi 400 m di arrivo al portale Susa, annullando ogni possibile impatto sulle risorse idriche nella tratta a bassa copertura, dove nella precedente fase progettuale (Progetto Definitivo Approvato), era previsto lo scavo tradizionale (dal portale Susa), con un maggior potenziale impatto.

Questa ulteriore diminuzione dell'impatto sulle risorse idriche sotterranee si integra nel quadro della scelta progettuale, già adottata nella fase precedente, di eseguire lo scavo in modalità impermeabilizzata a partire dal contatto del Massiccio d'Ambin con la Zona a Scaglie Tettoniche (circa da pk 54+800).

Inoltre, nell'ambito di questa fase progettuale, è prevista la realizzazione della galleria Maddalena 1bis, che sarà scavata a fianco del cunicolo esplorativo ad una distanza di 50m per una lunghezza complessiva di 1100m, sarà destinata allo stoccaggio del marino proveniente dallo scavo delle tratte in pietre verdi, per cui è prevista la sua totale impermeabilizzazione e dunque non contribuirà ad aumentare il totale delle acque drenate.

Questo documento è basato sul precedente documento redatto in fase di Progetto Definitivo Approvato (cod. PD2 C3B TS3 0105 B) che è aggiornato ed integrato grazie ai dati acquisiti nello scavo della galleria geognostica della Maddalena (cfr. PRF C3B TS3 7200 Relazione ritorno di esperienza scavo Cunicolo Geognostico Maddalena). Questi dati, unitamente alla variazione del quadro progettuale (contributi delle gallerie scavate dal cantiere della Maddalena per i loro contributi in termini di portata e temperatura), hanno permesso di ricalcolare il totale dei contributi idrici attesi al portale Susa. Tali contributi sono definiti in termini di quantità (portata) e qualità (temperatura e chimismo) per valutarne il potenziale riutilizzo o impiego per la produzione di energia elettrica.

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.

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 Brianzese e alcuni lembi delle rocce di copertura permo-triassica 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). Le osservazioni fatte durante lo scavo della galleria geognostica della Maddalena hanno evidenziato, nella tratta tra pk 50-52 (sovrapposizione con il Tunnel di Base) uno scenario di infiltrazione diffusa, con contributi di qualche litro al secondo, non chiaramente localizzabile in fasce ad elevata produttività da captare (nicchie laterali) e convogliare tramite un sistema separato al portale. In generale, proseguendo nel massiccio d'Ambin sono previste venute d'acqua con temperature superiori a 40°C (tra le pk 41 e 50.5, 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 sotto-attraversamento 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>	73		-	-	36	32
<i>Venute diffuse (B)</i>	-		147	312		
<i>Portata al portale (somma A + B)</i>			220	385		
<i>Contributo delle opere accessorie (Galleria Maddalena 1 e 2) (C)</i>	28	50	-		25	20
<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 e delle gallerie Maddalena 1 e 2</i>	-		246	437	34	31

Tabella 1 – Portate drenate dal tunnel di base e dalle gallerie della Maddalena 1 e 2.

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 Definitivo Approvato (PD2). 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 220 e 385 l/s, senza considerare gli apporti delle opere secondarie quali Maddalena 1 e 2 (si considerano, per queste opere, solo le tratte non impermeabilizzate full-round e le relative connessioni), stimate per un totale 28-50 l/s.

La tratta impermeabilizzata del Tunnel di Base 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 $4^{\text{E}}-8$ 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 sono state considerate le temperature medie dell'ammasso roccioso (o dell'acqua, quando direttamente misurate nel cunicolo esplorativo della Maddalena per la tratta coincidente con il TdB) 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 $31-34^{\circ}\text{C}$. Queste temperature sono state valutate considerando anche gli apporti delle opere accessorie (contributi delle gallerie di Maddalena 1 e 2 e relative connessioni) come venute puntuali in corrispondenza delle PK di intersezione delle opere (pk 52+600).

Come evidenziato nel capitolo introduttivo, la realizzazione della galleria Maddalena 1bis, impermeabilizzata per tutta la sua lunghezza, non apporterà variazioni sul totale delle venute stabilizzate.

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. Questi dati sono stati aggiornati in questa fase progettuale con le osservazioni e le misure della temperatura del massiccio d'Ambin eseguite lungo la galleria geognostica della Maddalena (rif Rapporto PRV_C3B_0104_00-05-01_10-01_modello_geotermico_generale_C).

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 dei Gessi	Tunnel di Base	20- 23	22 - 31
Massiccio d'Ambin		13 - 30	21 - 47
Zone a scaglie tettoniche		16	12 - 22
Zona Piemontese		17 - 25	10 - 20
Coperture Dora Maira	Galleria di interconnessione	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 52 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 *mélange* 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 SO₄ che potrebbero risultare aggressivi nei confronti dei calcestruzzi (norma UNI-EN-206-1, vedi Tabella 7).

<i>da PK</i>	<i>a PK</i>	<i>litotipo</i>	<i>Tenore in SO₄ (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), ad eccezione della tratta tra pk 52 e pk 53,5, dove, sulla scorta delle analisi chimiche realizzate nel cunicolo esplorativo della Maddalena, è stato assegnato un valore di 70-80 mg/l.

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 (galleria Maddalena 1 e 2 e connessioni relative), 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. Il contributo della Zona a Scaglie Tettoniche (pk 55+030-56+058), posta nel settore di galleria dove sarà adottato un rivestimento impermeabile full-round, non è stato considerato in quanto non contribuisce al totale delle portate drenate. 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)	246	437
Concentrazioni in solfati (mg/l)	69	71

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

Isolando i contributi delle venute potenzialmente ricche in solfati (Falda dei Gessi), la portata totale e le concentrazioni attese in solfati sono:

Separazione delle acque ricche in solfati		
<i>Portale di Susa del tunnel di base</i>	<i>da</i>	<i>a</i>
Portate cumulate (l/s)	36	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		
<i>Portale di Susa del tunnel di base</i>	<i>da</i>	<i>a</i>
Portate cumulate (l/s)	210	367
Concentrazioni in solfati (mg/l)	52	54

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.

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 contengano concentrazioni in solfati inferiori ai limiti indicati nella normativa vigente non solo in caso di totale miscelazione, ma anche nel caso di una separazione delle acque ricche in solfati (falda dei gessi). In ogni caso, è da prevedere per le tratte indicate in Tabella 3 l'utilizzo di cementi adatti al contesto idrochimico.

Per quanto concerne la normativa italiana in materia di acque potabili¹, il valore di solfati 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.

¹ D.Lgs. 31/2001 e D.Lgs. 30/2009 (Allegati 3 e 5).

Studio di valorizzazione delle acque calde (lato Italia) / Etude de valorisation des eaux chaudes (côté Italie)

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.

<i>CI</i>	<i>Litologia / lithologie</i>	<i>SO₄ (mg/l)</i>	<i>Cl (mg/l)</i>
1	Carniole / Cargneules	2.000	100
2	Rocce carbonatiche / Roches carbonatiques	50	0-10
3	Scisti carbonatici (IT) / Schistes carbonatiques (IT)	50	0-10
4a	Quarziti / Quartzites	50	0-10
4b	Metabasiti / Métabasites	50	0-10
5	Gneiss e micascisti / Gneiss et micaschistes	50 – 500*	10-20**
6a,b	Calcescisti e flysch / Calcschistes et flysch	50	0
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

** risultati analisi chimiche cunicolo Maddalena nella tratta di sovrapposizione con TdB

*** probabile valore di acque fossili

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 medio-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, in definitiva, per la circolazione attraverso rocce evaporitiche.

5. Valorizzazione delle acque drenate

Il progetto della Nuova Linea Ferroviaria Torino – Lyon si pone come obiettivo quello 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 (spesso associate a tratte con basse coperture), la tecnologia attuale permette di prevedere una sezione tipo impermeabilizzata, che rende nullo il drenaggio e dunque l'impatto.

Studio di valorizzazione delle acque calde (lato Italia) / Etude de valorisation des eaux chaudes (côté Italie)

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.

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.

Le portate drenate dal tunnel sono eliminatee 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).

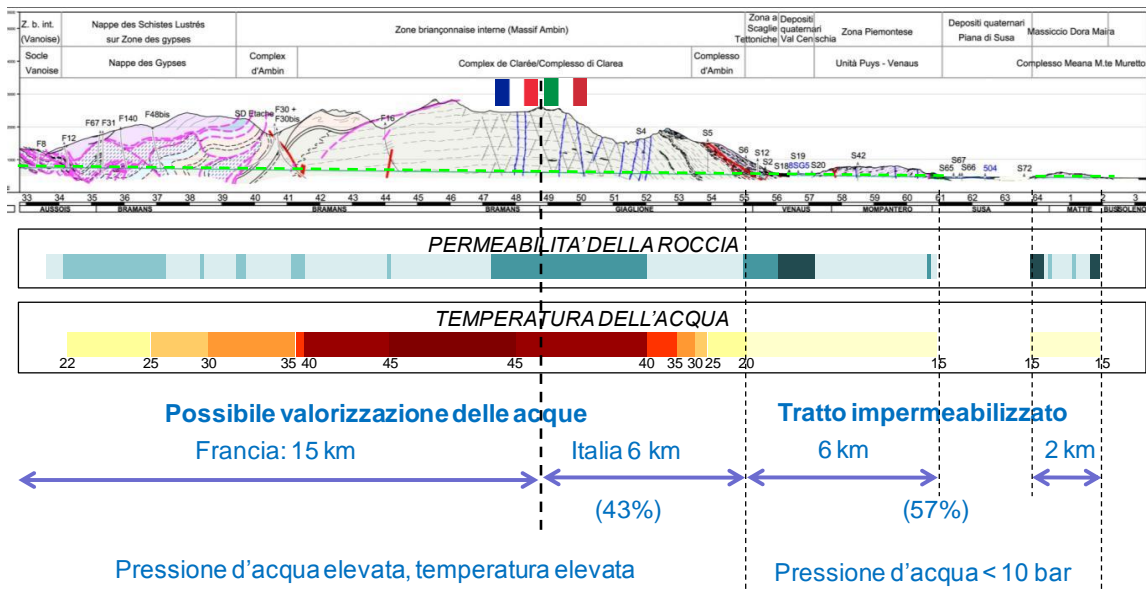


Figura 1 – Profilo idrogeologico con indicazione schematica delle tratte per le quali è prevista l'impermeabilizzazione full-round. Il grado di permeabilità e la temperatura dell'ammasso aumenta per colori più scuri.

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 superare localmente i 40°C nelle tratte a più elevata copertura, in conseguenza del gradiente geotermico locale.

Studio di valorizzazione delle acque calde (lato Italia) / Etude de valorisation des eaux chaudes (côté Italie)

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	si
	> 250 mg/l	no	si
Tenore in cloruri*	< 250 mg/l	si	si
	> 250 mg/l	no	si
Tipo di venuta d'acqua	venuta puntuale	si	si
	venuta diffusa	no	si
Temperatura dell'acqua*	< 25°C	si	no
	> 25°C	si (previo raffreddamento)	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 (Tabella 3 in § 4), le venute puntuali intercettate dal tunnel di base sono caratterizzate da portate relativamente esigue (da pochi litri ad massimo di qualche decina di litri) e da temperature elevate (Massiccio d'Ambin). Questa caratteristica le identifica dunque per un potenziale utilizzo doppio, sia idropotabile che termico.

Un altro fattore da considerare nello scenario dello sfruttamento delle risorse idriche è la modalità di raccolta, che è legata da una parte al contesto idrogeologico (venute puntuali o diffuse) e dall'altra alle esigenze progettuali della sezione di scavo, che pone limitazioni nella raccolta delle venute sia quelle puntuali che quelle diffuse.

In pratica, le venute per lo sfruttamento idropotabile, nelle quali la qualità è il fattore più importante, possono essere raccolte solo in modo puntuale e trasportate in un collettore separato per motivi di salvaguardia.

Le venute per lo sfruttamento termico, nelle quali la caratteristica più importante è la temperatura / portata possono essere captate sia in modo puntuale che diffuso.

La Tabella 10 riporta i criteri di associazione tra tipo di venuta, potenziale di sfruttamento e tipo di captazione.

Tipo di venuta	Utilizzo	Captazione in galleria
puntuale	potabile / termico	puntuale (nicchia e collettore dedicato)
diffusa	termico	drenaggio centrale

Tabella 10 – Criteri di captazione e potenziale utilizzo delle risorse idriche

Sulla base dei criteri di valorizzazione descritti nelle precedenti tabelle, si possono individuare diversi scenari per lo sfruttamento della risorsa idrica come descritto nei prossimi paragrafi.

² D.Lgs. 31/2001 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

Si pone in evidenza che le analisi geochimiche recentemente eseguite lungo il cunicolo geognostico della Maddalena 1 (in prima ipotesi valide anche per Maddalena 2), nella tratta pk 1+250 ÷ 2+500, hanno un contenuto in cloruri e sodio che oltrepassa il limite di norma per l'uso potabile (D.Lgs 31/2001), fissato in 200 mg/l per sodio e 250 mg/l per i cloruri. I risultati sono posti nel grafico secondo la pk della Figura 3.

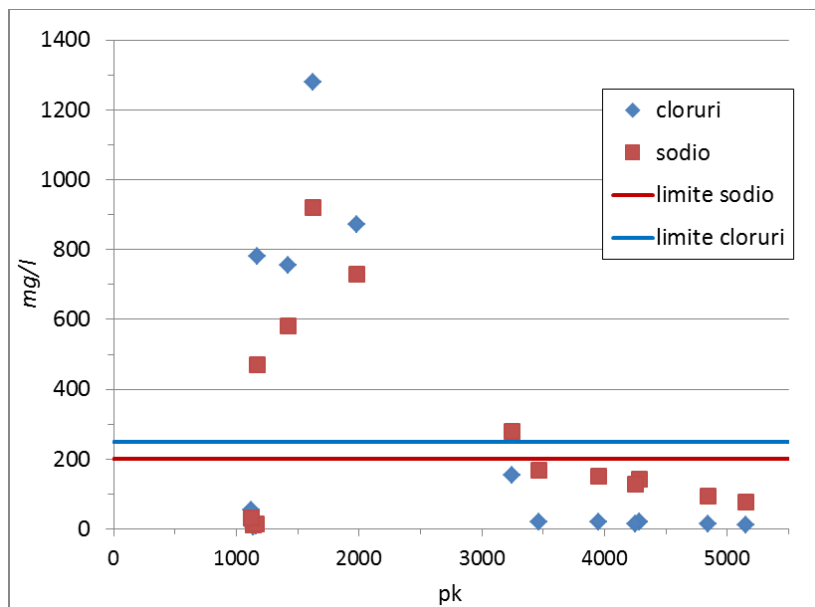


Figura 3 – Analisi chimiche eseguite nel cunicolo di Maddalena, valori di cloruri e sodio e relative soglie per il consumo potabile

Tuttavia, i valori localmente anomali, grazie al miscelamento con le acque meno cariche presenti oltre la pk 3+000 e con il totale del TdB, potrebbero essere abbassati e dunque ricondotti nel campo delle caratteristiche idropotabili.

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.

Pertanto, lo scenario di utilizzo delle acque drenate dal tunnel di base ed eventualmente delle opere accessorie collegate (Maddalena 1 e 2) si delinea attraverso un potenziale di circa 50-100 l/s a seconda degli scenari considerati.

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 mettere in atto i monitoraggi stabiliti dai protocolli della normativa vigente e dalla buona norma progettuale.

5.2 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. In sede di progettazione di fase PRV si è individuato lo schema tipologico seguente.

Studio di valorizzazione delle acque calde (lato Italia) / Etude de valorisation des eaux chaudes (côté Italie)

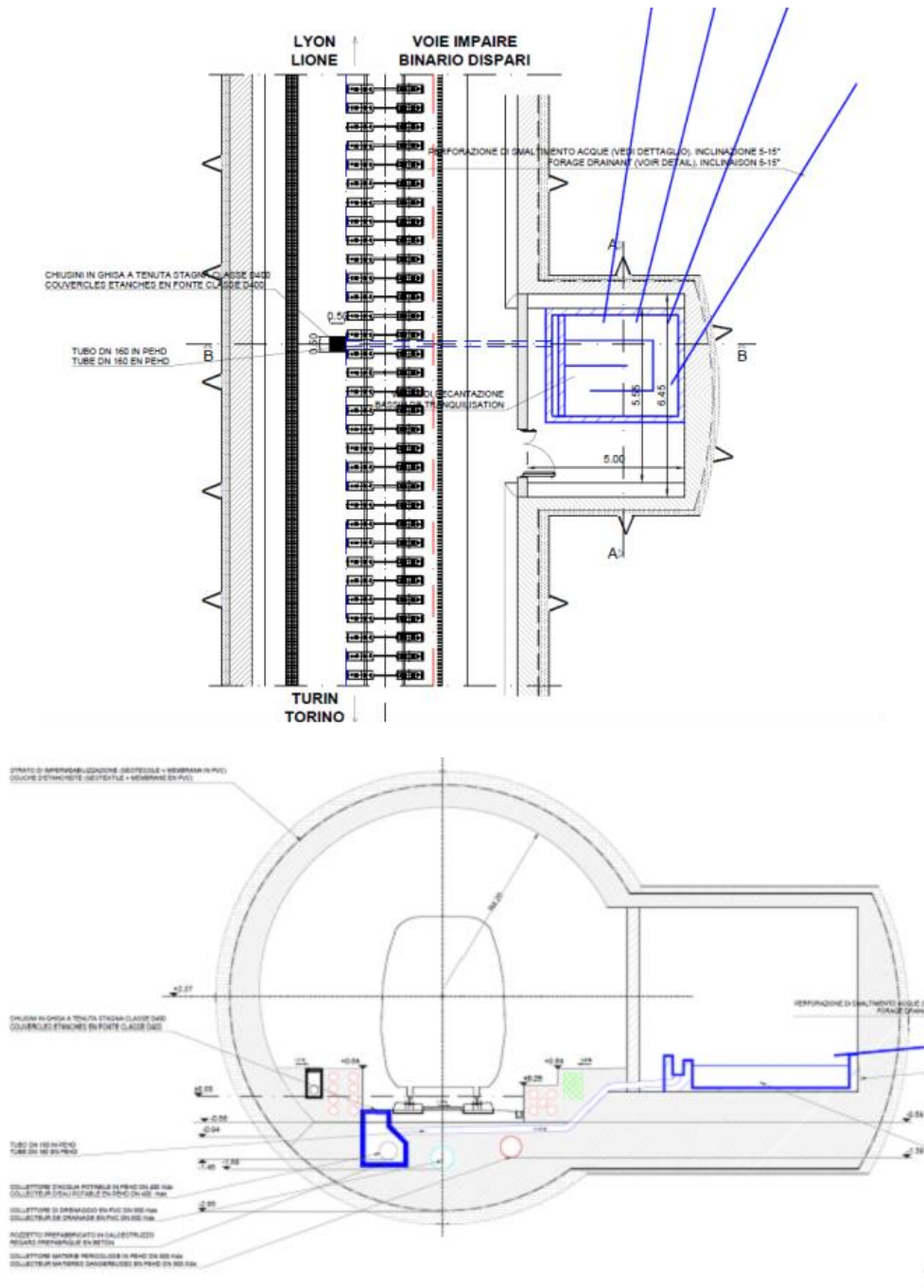


Figura 4 – Sistema di captazione delle acque calde potenzialmente potabili. Sezione longitudinale e trasversale della nicchia (ref. Impianti OOCC e drenaggio, PRV C3A TS3 3956 B).

Le captazioni sono realizzate tramite fori di drenaggio orientati in funzione delle zone permeabili che garantiscono delle venute d’acqua puntuali calde e/o potenzialmente potabili. Queste perforazioni sono realizzate a partire da nicchie presenti in ogni canna del TdB. Si rimanda alla Relazione Tecnica PRV C3A TS3 3956 B per i dettagli costruttivi delle nicchie.

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

Studio di valorizzazione delle acque calde (lato Italia) / Etude de valorisation des eaux chaudes (côté Italie)

- 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;
- Realizzazione del monitoraggio in continuo della portata, della conducibilità elettrica, della temperatura e del pH per un periodo di almeno un anno;
- 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 una valutazione idrogeologica di dettaglio dove saranno definiti:

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

Se la venuta puntuale evidenzierà le caratteristiche idonee al suo sfruttamento, si potrà procedere con la realizzazione dell'opera di captazione secondo progetto.

5.3 Sfruttamento delle acque per valorizzazione termica

Questo scenario utilizza il calore delle acque di drenaggio raccolte per la produzione di energia elettrica ed è pertanto variabile in funzione di temperatura e portata delle acque convogliate al portale di Susa.

Le acque drenate per la valorizzazione termica possono essere raccolte secondo due modalità:

- dalle opere di captazione puntuale (vedi § 5.2)
- nel collettore principale posto sotto il piano del ferro (Figura 5)

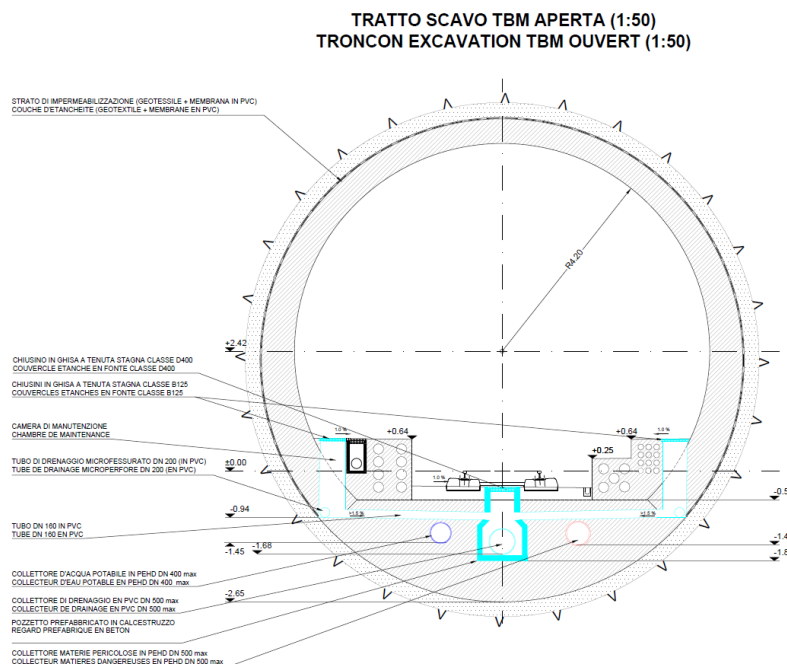


Figura 5 – Sezione tipo del drenaggio delle acque freatiche per scavo con TBM aperta (fonte Rel. Tec. PRV C3A TS3 3956 B)

Studio di valorizzazione delle acque calde (lato Italia) / Etude de valorisation des eaux chaudes (côté Italie)

Nel primo caso le opere di captazione puntuale dovranno essere estese fino alla pk 38+500 circa per poter captare un maggior numero di venute puntuali con temperature > 30°C. Il totale potenzialmente captabile raggiungerebbe i 75-85 l/s con una temperatura media ponderata di 35°C. In Tabella 13 i due scenari in sintesi:

Scenario		Portata Q (l/s)	T media (°C)
P1	Portate puntuali pk 47+000 ÷ 52+000 (come da fini idropotabili)	45-55	37
P2	Portate puntuali pk 38+500 ÷ 52+000	75-85	35

Tabella 13 – Scenari di raccolta delle portate diffuse tramite il collettore principale e caratteristiche delle acque drenate

Nel caso di una captazione delle portate diffuse, tramite il collettore principale, occorre evidenziare che questo è presente dal punto alto pk 34+170 fino al portale Susa e non sarà pertanto possibile escludere alcune tratte poiché caratterizzate da temperature < 25 °C (fino alla pk 35+800). Sulla base di questo dato progettuale, diversi scenari dunque si possono ipotizzare, riassunti nella Tabella 14.

Scenario		Portata Q (l/s)	T media (°C)
D1	Totale delle portate diffuse e puntuali	246-437	31-34
D2	Portate diffuse, escluse quelle potabili da pk 47 a pk 52 (captate puntualmente)	200-380	29-33
D3	Portate diffuse, escluse quelle potabili da pk 47 a pk 52 e contributi di Maddalena 1 e 2 (se convogliati nella rete idropotabile)	170-330	30-34

Tabella 14 – Scenari di raccolta delle portate diffuse tramite il collettore principale e caratteristiche delle acque drenate

5.4 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]

Secondo gli scenari delineati nei paragrafi precedenti è possibile stimare i seguenti potenziali termici indicativi, in funzione di un salto termico di 20°C rispetto alla temperatura di ingresso.

Studio di valorizzazione delle acque calde (lato Italia) / Etude de valorisation des eaux chaudes (côté Italie)

Scenario		Portata Q (l/s)	T _{in} media (°C)	Potenziale termico indicativo (kW)
P1	Portate puntuali pk 47+000 ÷ 52+000 (come da fini idropotabili)	45-55	37	4'100
P2	Portate puntuali pk 38+500 ÷ 52+000	75-85	35	6'600
D1	Totale delle portate diffuse e puntuali	246-437	31-34	28'300
D2	Portate diffuse, escluse quelle potabili da pk 47 a pk 52	200-380	29-33	24'200
D3	Portate diffuse, escluse quelle potabili da pk 47 a pk 52 e contributi di Maddalena 1 e 2	170-330	30-34	20'800

Tabella 15 – Calcoli di potenziale termico in funzione degli scenari delineati

5.5 Potenziali applicazioni

Nel corso delle fasi precedenti del Progetto sono 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 delle sue caratteristiche termiche.

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		

Studio di valorizzazione delle acque calde (lato Italia) / Etude de valorisation des eaux chaudes (côté Italie)

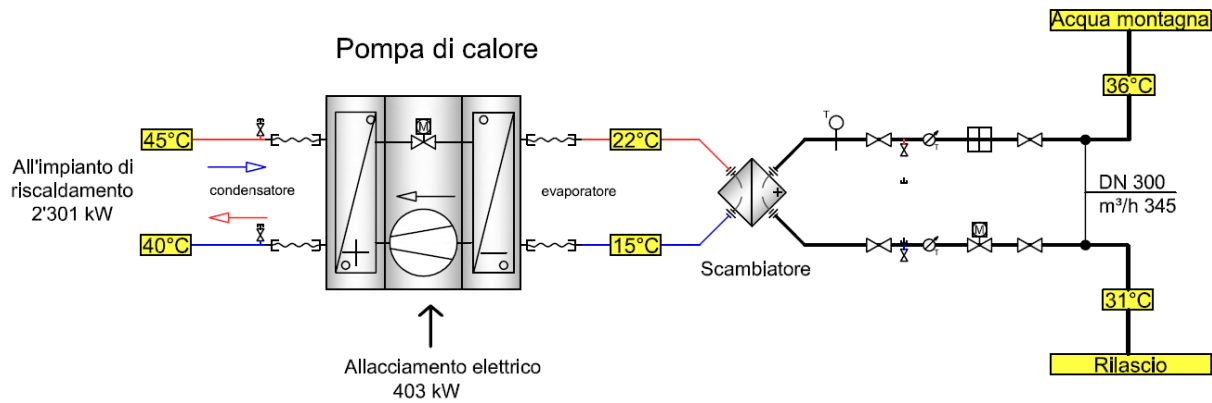


Figura 6 –Schema di funzionamento e resa degli impianti di valorizzazione nel caso di valorizzazione per il riscaldamento della piscina comunale di Susa (edificio + vasche). È anche illustrato il caso opzionale di riscaldamento degli edifici della Stazione e dell'area di sicurezza di Susa. Si osserva 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).

Studio di valorizzazione delle acque calde (lato Italia) / Etude de valorisation des eaux chaudes (côté Italie)

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 simile)	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

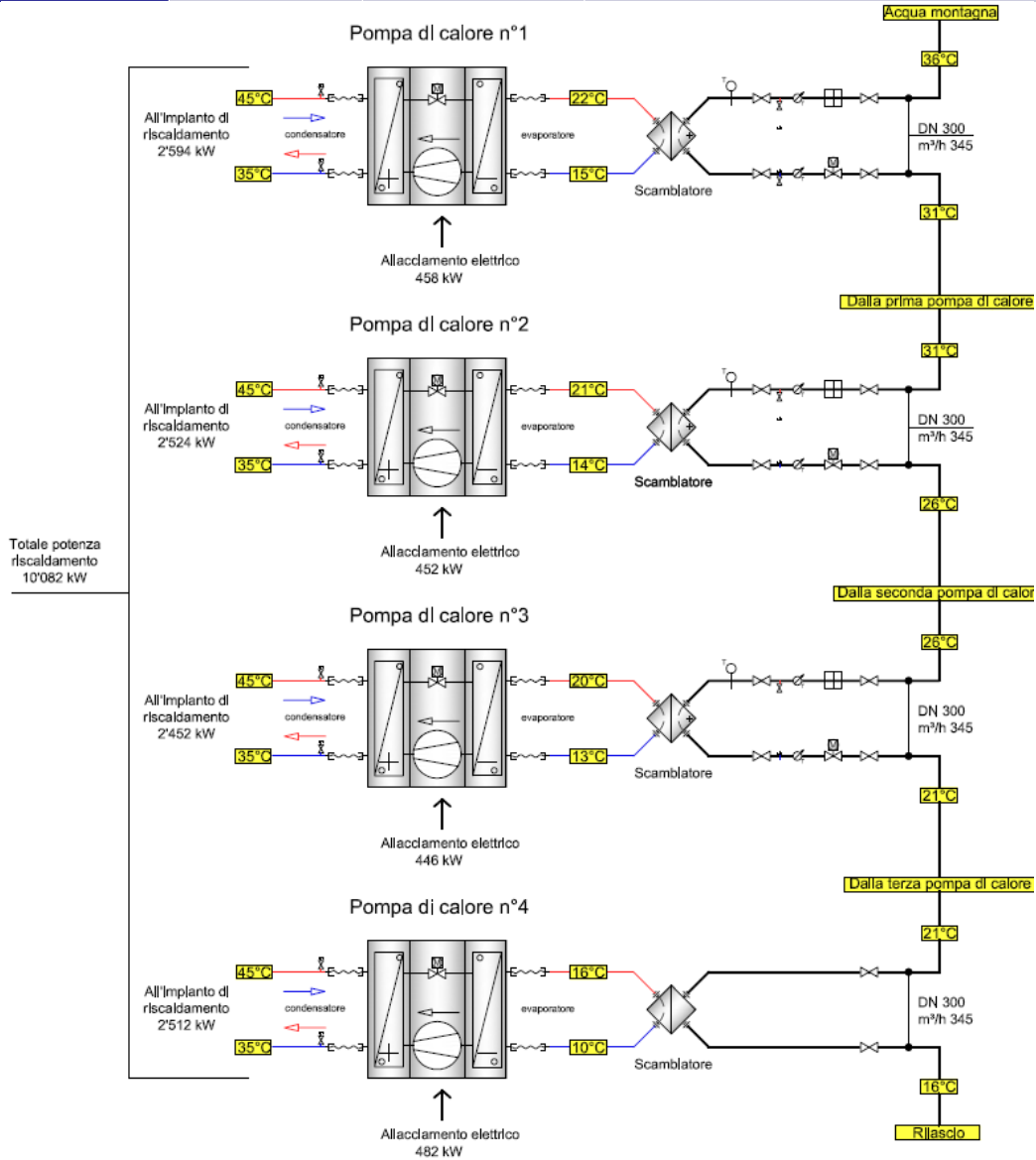


Figura 7 – Fabbisogno termico, potenza termica disponibile e caratteristiche principali dell'impianto nell'ipotesi di valorizzazione tramite installazione di una centrale di teleriscaldamento a servizio della città di Susa. Sotto, schema di funzionamento e resa degli impianti di valorizzazione nel caso dell'ipotesi di valorizzazione tramite installazione di una centrale di teleriscaldamento a servizio della città di Susa.

Studio di valorizzazione delle acque calde (lato Italia) / Etude de valorisation des eaux chaudes (côté Italie)

L'ipotesi di realizzazione di una centrale di teleriscaldamento è potenzialmente realistica solo nel caso di disponibilità di portate superiori a 100 l/s e temperature di ingresso di circa 35-36°C. Temperature di ingresso minori necessariamente dovrebbero essere accoppiate a portate maggiori, come nel caso di drenaggio delle portate diffuse raccolte dal collettore centrale del Tunnel di Base.

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 16 – 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.

Nelle fasi progettuali precedenti erano state identificate altre possibilità per un utilizzo diverso ed alternativo dell'acqua calda proveniente dal tunnel, quali:

- 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 (Figura 8) a Frutigen (Svizzera), all'imbocco Nord del Tunnel del Lötschberg (portata disponibile pari a 110 l/s con una temperatura di 17-20°C).

Studio di valorizzazione delle acque calde (lato Italia) / Etude de valorisation des eaux chaudes (côté Italie)



Figura 8 – Tropenhaus, Frutigen; serre e vasche per la piscicoltura

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

6. Considerazioni generali

Il Tunnel di Base convoglierà al portale di Susa le acque intercettate a partire dal punto alto posto a pk 34+170. Fatta eccezione per un tratto definito sulla base del modello geologico/idrogeologico (valori di solfati elevati tratta nella falda dei Gessi presente dal punto alto fino a circa pk 37,3) e dalle condizioni geotermiche (temperature superiori a °C 25 a partire da pk 36 ca.), le acque raccolte sono caratterizzate da una qualità adatta al consumo idropotabile e soprattutto hanno caratteristiche adatte ad una valorizzazione termica.

A partire dalla precedente fase di Progetto Definitivo è stata prevista la possibilità di raccogliere, in un collettore separato, le acque con caratteristiche idonee al consumo idropotabile e con caratteristiche geotermiche rilevanti ($T > 25^{\circ}\text{C}$), per il loro possibile sfruttamento diretto o per il recupero di energia. Questo collettamento riguarderà gli apporti puntuali, tramite nicchie di captazione appositamente ubicate in coincidenza delle venute più idonee.

Tuttavia, i dati raccolti lungo lo scavo del cunicolo esplorativo della Maddalena, che rappresentano una parziale copertura del tratto del TdB nel Massiccio d'Ambin, evidenziano che le manifestazioni idriche siano perlopiù legate a forme diffuse, difficilmente captabili con interventi localizzati. A questo si aggiunge il fatto che, se per le acque destinate all'uso potabile il collettore separato è una soluzione quasi obbligata, per un puro sfruttamento termico, dove la quantità è un fattore importante, una raccolta diffusa fornisce un risultato migliore.

Sono stati quindi considerati ulteriori scenari per permettere, congiuntamente, una valorizzazione delle acque idropotabili e termica delle restanti infiltrazioni diffuse.

E' stata verificata la fattibilità di alcune concrete possibilità di utilizzo dell'acqua calda proveniente dal tunnel e resa disponibile all'imbocco del Tunnel di Base. I progetti realizzabili sono molteplici e la lista qui sotto riportata è stata, a livello di fattibilità, verificata sulle disponibilità e sulle caratteristiche previste per il 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.)

La scelta sull'utilizzo finale sarà, all'atto pratico, basata sulle necessità del territorio locale e sulle caratteristiche definitive della risorsa una volta terminato lo scavo dell'opera.