

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N. 443/01**

**TRATTA A.V. /A.C. TERZO VALICO DEI GIOVI PROGETTO ESECUTIVO**

**GALLERIA NATURALE CAMPASSO**

**Geologia**

**Relazione idrogeologica**

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE DEI LAVORI
Consorzio <b>Cociv</b> Ing. G. Guagnozzi	

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
I G 5 1	0 1	E	C V	R G	G N 1 1 0 X	0 0 2	A

Progettazione :

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	IL PROGETTISTA
	Emissione	Rocksoil <i>Emilio Maria</i>	17/09/2012	Ing. F. Colla <i>F. Colla</i>	19/09/2012	E. Pagani <i>Ep</i>	21/09/2012	Dott. Geol. E. De Mattei 

n. Elab.:

File: IG5101ECVRGGN110X002A00

CUP: F81H92000000008



<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	
	<p>IG5101ECVRGGN110X002A00</p>	<p>Foglio 3 di 33</p>

## INDICE

INDICE.....	3
1. <b>PREMESSA</b> .....	4
1.1.   Dati consultati .....	4
1.2.   Inquadramento geologico .....	4
2. <b>MODELLO IDROGEOLOGICO</b> .....	6
3. <b>PORTATE D'ACQUA ATTESE IN GALLERIA</b> .....	8
3.1.   Portate non stabilizzate.....	8
3.1.1.   Metodo.....	8
3.1.2.   Risultati .....	9
3.2.   Approccio analitico .....	10
3.2.1.   Metodo.....	10
3.2.2.   Distribuzione della ricarica in superficie.....	11
3.2.3.   Attribuzione del grado di permeabilità .....	12
3.2.4.   Dipendenza tra la permeabilità e il campo di stress effettivo .....	13
3.2.5.   Risultati .....	14
4. <b>CALCOLO DELLE PORTATE STABILIZZATE</b> .....	15
4.1.   Metodo di analisi .....	15
4.1.1.   Ritorno di esperienza .....	15
4.1.2.   Fattori di riduzione della portata media.....	16
4.1.3.   Portate di picco, transitorie e stabilizzate .....	16
4.1.4.   Fluttuazioni stagionali .....	17
4.1.5.   Conclusione .....	18
4.2.   Risultati .....	20
4.3.   Sintesi delle problematiche idrogeologiche di scavo .....	21
5. <b>INTERFERENZE CON LE SORGENTI</b> .....	22
5.1.   Censimento dei punti d'acqua.....	22
5.1.1.   Codifica dei punti d'acqua.....	22
5.1.2.   Risultati .....	23
5.1.3.   Corsi d'acqua.....	23
6. <b>PROBABILITA' DI IMPATTO</b> .....	25
6.1.   Cenni metodologici .....	25
6.2.   Risultati .....	25
7. <b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	32

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p>IG5101ECVRGGN110X002A00</p> <p>Foglio 4 di 33</p>

## 1. PREMESSA

Il presente rapporto è stato redatto nell'ambito della progettazione esecutiva della linea A.V./A.C. Milano-Genova, "Terzo Valico dei Giovi". In particolare, nella presente relazione si fa riferimento alla parte della Tratta 1 di linea, dalla progressiva chilometrica 0+530 alla 1+160, corrispondente al tunnel denominato Galleria Campasso.

E' importante precisare che, la presente nota revisiona ed integra, ove ritenuto necessario, gli aspetti idrogeologici eseguiti in precedenza e descritti in Progetto Definitivo.

Rispetto alla fase di PD, alla data odierna, non sono disponibili nuove indagini per un affinamento della caratterizzazione idrogeologica dell'area.

### 1.1. Dati consultati

Per la redazione della presente relazione idrogeologica sono stati presi in esame i dati prodotti nell'ambito della realizzazione del Progetto Preliminare e del Progetto Definitivo.

### 1.2. Inquadramento geologico

La galleria attraversa i litotipi dell'Unità tettonometamorfica Figogna, che include le seguenti formazioni (cfr. legenda del Foglio CARG "Genova"):

- argillocisti di Murta,
- argillocisti di Costagiutta,
- metacalcari di Erzelli,
- metasedimenti silicei della Madonna della Guardia,
- metabasalti del M. Figogna,
- serpentiniti del Bric dei Corvi (zona di deformazione di Scarpino).

Di queste, solo gli argillocisti di Murta interessano la galleria Campasso, che si sviluppa lungo la sponda destra del T. Polcevera; gli argillocisti di Costagiutta affiorano in sponda sinistra del Polcevera, mentre i metacalcari di Erzelli e i metabasalti del M. Figogna affiorano in destra, a monte del tracciato, in prossimità dello spartiacque.

La litofacies principale che costituisce la formazione degli argillocisti di Murta è costituita da un'alternanza di argillocisti filladici di colore grigio scuro e grigio argenteo, a patina sericitica, con intercalazioni di sottili straterelli calcarei di spessore centimetrico (1-2 cm), di metasiltiti e metaareniti fini di colore grigio chiaro, nocciola in alterazione, con laminazioni piano-parallele localmente convolute. Gli strati hanno generalmente spessore da centimetrico a decimetrico; sono presenti orizzonti con strati fino a 30 cm di argilliti e metasiltiti.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5101ECVRGGN110X002A00 <span style="float: right;">Foglio 5 di 33</span>

Localmente all'interno degli scisti vi possono essere livelli di spessore da centimetrico a decimetrico di calcari microcristallini molto compatti, con interstrati filladici. La distribuzione delle intercalazioni calcaree è eterogenea, per cui l'occorrenza delle stesse non è quantificabile o prevedibile.

La roccia è normalmente molto deformata da una successione di fasi di piegamento duttile, la cui sovrapposizione è molto evidente dove sono presenti le intercalazioni di calcari, che meglio registrano la deformazione, mentre negli scisti la deformazione assume un carattere per lo più traspositivo e dà origine a foliazioni e clivaggi pervasivi. Il risultato della deformazione duttile è anche la predisposizione della roccia a sviluppare, in regime fragile, giunti di riattivazione della foliazione.

In base a quanto riportato nei documenti geologici allegati al Progetto Preliminare e Definitivo nonché in base alla cartografia di Marini (1998) e allo studio morfostrutturale realizzato in fase PD, sul profilo sono state raffigurate alcune faglie principali, le cui proiezioni al piano galleria restano comunque ipotetiche; poiché la giacitura delle strutture indicata nei documenti cartografici citati è circa verticale, l'intersezione con il tracciato della galleria dovrebbe verificarsi alla progressiva 0+850 circa.

Date le caratteristiche reologiche del litotipo, le discontinuità significative (faglie con spessore della fascia cataclastica almeno decimetrico) sono piuttosto rare e molto difficilmente osservabili sul terreno, anche a causa dell'estesa copertura detritica.

Prevalgono nell'ammasso roccioso discontinuità costituite da giunti di riattivazione della scistosità che, a causa della disomogeneità della foliazione, hanno una distribuzione poco prevedibile. Le fratture discrete sono meglio individuabili nei settori ricchi di intercalazioni calcaree, quindi a comportamento relativamente più rigido, che presentano grado di fratturazione medio.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5101ECVIRGGN110X002A00
	Foglio 6 di 33

## 2. MODELLO IDROGEOLOGICO

L'elaborazione del modello idrogeologico concettuale in fase di Progetto Definitivo, ha portato alla suddivisione dell'ammasso roccioso in complessi idrogeologici omogenei sulla base della permeabilità primaria e per fratturazione. Attraverso l'analisi critica dai dati pregressi e dei dati geochimici e fisici delle sorgenti censite, è stato ipotizzato un sistema di flusso idrogeologico e la sua eventuale interazione con il tracciato della galleria.

I complessi idrogeologici attraversati dalla galleria Campasso sono riconducibili alla formazione descritta nei documenti progettuali (A301-00-D-CV-RO-GE00-01-001-B00, "Relazione geologica e idrogeologica" del Progetto Definitivo) come "scisti micaceo-carbonatici del Passo della Bocchetta" auct. (aP), ora denominata "Argilloscisti di Murta" (AGF) nel foglio CARG "Genova".

Gli argilloscisti di Murta presentano una permeabilità per fratturazione da bassa a molto bassa. In corrispondenza delle principali intercalazioni di calcari è prevedibile che il grado di permeabilità per fratturazione possa essere leggermente più elevato. I dati presentati nel Progetto Preliminare indicano valori dell'ordine di  $10^{-8}$  m/sec con passaggio a termini più permeabili (Figura 1).

I dati di permeabilità per gli argilloscisti di Murta (sigla GARG: AGF) nella tratta della galleria (0+530 - 1+160) sono stati misurati mediante prove di conducibilità idraulica in foro di tipo Lugéon eseguite nel sondaggio SF6, relativo alla campagna geognostica del Progetto Definitivo.

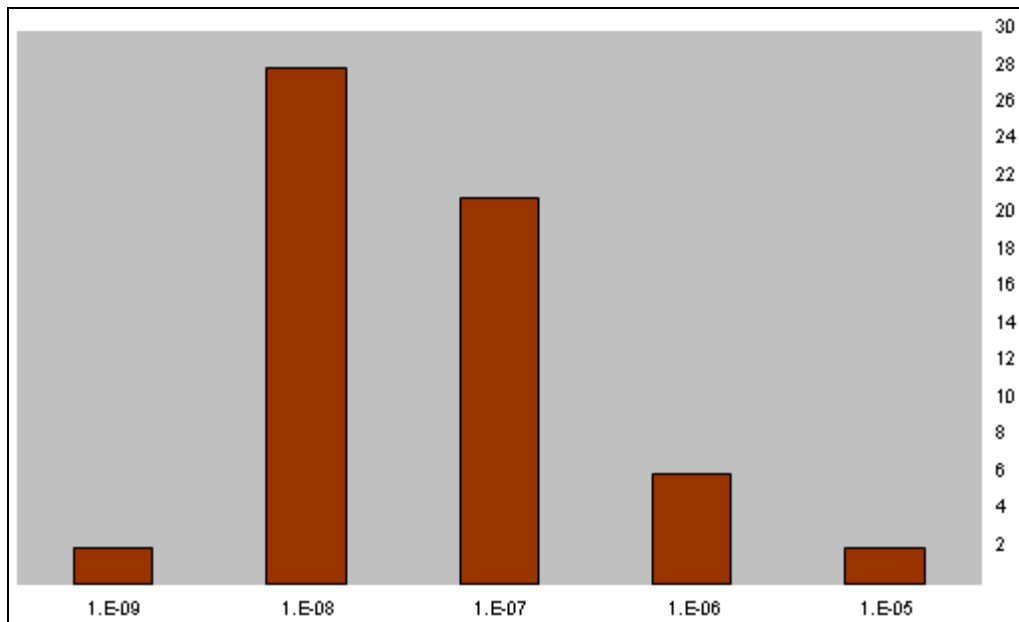
La permeabilità è stata misurata nel range  $4,07E-07$  -  $1,25E-06$  m/s, identificando così valori leggermente più alti rispetto alla bassa permeabilità che solitamente caratterizza gli argilloscisti (classi AFTES IV-V). È probabile che i valori più alti di permeabilità possano essere attribuiti alla presenza di più abbondanti livelli calcarei fratturati.

L'ammasso roccioso si presenta maggiormente alterato e fratturato per fenomeni di rilascio superficiale dei versanti e degli affioramenti, per uno spessore che può andare da pochi metri a una decina di metri; in corrispondenza delle zone a più bassa copertura topografica questa fascia alterata e fratturata può eventualmente interferire con lo sviluppo della galleria. Lo stato di maggiore alterazione e fratturazione fanno aumentare il grado di permeabilità dell'ammasso roccioso, con un comportamento che può a grandi linee essere assimilabile a quello di una formazione porosa.

Sul basamento prequaternario è presente uno strato superficiale di copertura detritico-colluviale dello spessore da 1 m ad alcuni metri; la zona corrispondente ai terreni della coltre detritica e alla fascia di ammasso roccioso fratturata e alterata può essere sede, a tratti, di una circolazione idrica relativamente più intensa rispetto al sottostante ammasso indisturbato a bassa permeabilità.

Data la scarsa permeabilità degli argilloscisti inalterati, è altamente probabile che i sistemi di flusso idrico sotterraneo si sviluppino prevalentemente all'interno di zone intensamente tettonizzate (faglie) e degli orizzonti calcarei fratturati, la cui presenza e posizione non è tuttavia al momento prevedibile con precisione. Alcuni lineamenti tettonici di importanza alquanto modesta, come quello previsto dalla sezione geologica di progetto alla progressiva 0+840, possono rappresentare direttrici di drenaggio potenzialmente significative.

Con riferimento specifico alla galleria, è prevedibile che si possano avere modeste manifestazioni idriche in fase di scavo, connesse con l'attraversamento di faglie principali, fatta eccezione per le faglie che sviluppano importanti spessori di gouge argilloso, che potrebbero costituire setti poco permeabili non in grado di attivare una circolazione idrica significativa. Nei tratti di galleria lontani dalle faglie (e quindi per gran parte del tracciato) è ipotizzabile che si possano verificare condizioni generalizzate di umidità e solo localmente modesti stillicidi, in particolare nelle zone con debole copertura, dove gli scisti sono alterati e presentano una permeabilità relativamente più elevata.



**Figura 1 – Distribuzione dei valori di permeabilità ottenuti da prove in foro per gli Argilloscisti di Murta (AGF).**

In conclusione, alla scala dell'opera si ritiene di poter escludere la presenza di una circolazione idrica profonda significativa, date le caratteristiche di permeabilità degli argilloscisti, che rappresentano il litotipo dominante. Potrebbero essere presenti circolazioni pellicolari di modesta entità, limitate alle coltri detritiche e allo strato alterato e fratturato del basamento prequaternario. In ogni caso gli acquiferi ospitati nella fascia coltre + basamento alterato sono superficiali, estremamente discontinui e fortemente influenzati dal regime delle precipitazioni. A questi sistemi acquiferi superficiali sembrano essere legate la gran parte, se non la totalità delle sorgenti censite negli argilloscisti di Murta.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p>IG5101ECVRGGN110X002A00</p> <p>Foglio 8 di 33</p>

### 3. PORTATE D'ACQUA ATTESE IN GALLERIA

#### 3.1. Portate non stabilizzate

La valutazione delle portate non stabilizzate attese in galleria in fase di scavo è stata eseguita mediante gli approcci empirico e analitico di cui di seguito sono riportate le metodologie. Il tracciato delle galleria Campasso attraversa una tratta idrogeologicamente omogenea, rappresentata dagli argilloscisti di Murta. All'interno di questa tratta sono individuate alcune fasce che probabilmente costituiscono zone di maggiore drenaggio localizzate in corrispondenza di faglie minori.

##### 3.1.1. Metodo

La previsione delle portate attese in galleria mediante l'approccio empirico è basata sulla ricostruzione idrogeologica in asse e a lato dell'opera e sui dati di permeabilità e carico idraulico misurati nei fori di sondaggio e stimati in base alla posizione delle sorgenti e dei corsi d'acqua. Più precisamente, il percorso logico seguito per questa valutazione è il seguente:

1. valutazione della permeabilità delle formazioni acquifere previste in galleria. I dati di ingresso utilizzati per questa valutazione sono:
  - i test idrogeologici in foro, che hanno permesso di definire il campo di variabilità della permeabilità equivalente di ognuna delle formazioni acquifere. Per le formazioni per le quali non sono disponibili dati di permeabilità, la classe di attribuzione è stata stimata sulla base delle evidenze di terreno quali intensità di fratturazione, grado di cementazione e analisi litologica.
  - Il confronto con altre galleria già scavate in formazioni simili delle quali si conoscono le portate specifiche.
2. Valutazione della ricarica, prendendo in considerazione:
  - l'estensione (ipotizzata) del bacino superficiale di alimentazione, che fornisce informazioni sull'estensione della ricarica dei sistemi di flusso sottesi dalle opere in sotterraneo.
  - La geometria dei sistemi di flusso, dedotta dall'analisi idrogeologica e dal profilo idrogeologico elaborato in base al modello geologico. Tale geometria è definita dalla giacitura delle formazioni acquifere e dalle discontinuità principali (faglie, zone di faglia, giunti); essa condiziona la ricarica, impone i limiti permeabile/impermeabile che definiscono la direzione del tensore di permeabilità e la connettività idraulica tra formazioni e, in definitiva, definisce il potenziale drenante della galleria tratta per tratta.
3. Valutazione del livello piezometrico, sulla base dei dati seguenti:
  - misure piezometriche nei fori di sondaggio;
  - posizione delle sorgenti e dei corsi d'acqua nei bacini imbriferi sottesi dalla galleria;



- controllo topografico, che in ambiente montano influenza notevolmente la distribuzione dei carichi idraulici.
4. Individuazione delle strutture tettoniche aventi un ruolo idrogeologico importante, che intersecano la galleria e possono generare delle venute puntuali localmente consistenti; tali venute sono state aggiunte alle portate specifiche per definire le portate totali tratta per tratta.
  5. Definizione delle tratte di galleria caratterizzate da formazioni acquifere costanti e somma della portata di ogni formazione (portata specifica moltiplicata per la lunghezza della tratta) con le portate puntuali eventualmente individuate.
  6. Somma delle portate totali tratta per tratta per definire la portata cumulata al portale.

### 3.1.2. Risultati

L'analisi delle portate attese lungo il tracciato della galleria Campasso mette in evidenza la presenza di formazioni con scarse caratteristiche idrodinamiche (argilloscisti) alternate a una zona di faglia che può essere responsabile di venute d'acqua importanti.

Lungo il tracciato, la tratta in corrispondenza della quale si osservano le venute d'acqua più importanti (5 l/s) sono comprese tra le PK 0+840 e 1+850 in corrispondenza delle zone di faglia e cautelativamente considerata di potenza pari a 10 metri.

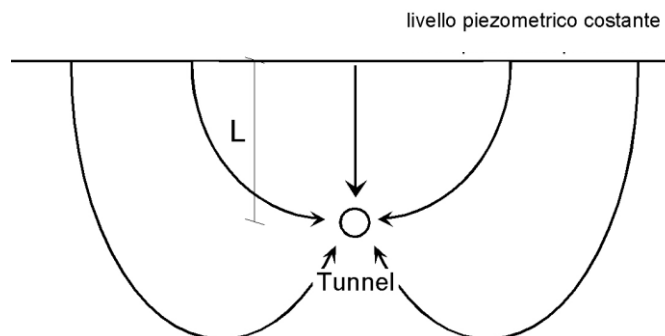
Nella tabella 1 sono riportati i dettagli della stima delle portate per via empirica lungo il tracciato.

Progr.(lineare)		Tipo d'acquifero	Lunghezza	Portata Specifica		Portata puntuale	Portata d'uscita	Portata totale	
da	a			I/s/hm	I/s			m <sup>3</sup> /s	I/s
m	m		m			I/s	I/s		
<b>Galleria Campasso</b>									
530	840	aP	310	0.5	2		2	0.002	
840	850	ZF	10		0	5	5	0.005	
850	1160	aP	310	0.5	2		2	0.002	
<b>Tratta 1</b>					<b>3</b>		<b>5</b>	<b>8</b>	<b>0.002 2</b>

**Tabella 1 – Stima per via empirica delle portate attese per la Galleria Campasso.**

### 3.2. Approccio analitico

#### 3.2.1. Metodo



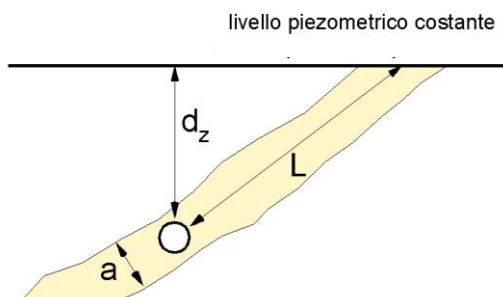
**Figura 2 – Schema concettuale del drenaggio operato dal tunnel.**

Nelle condizioni descritte dallo schema di Figura 2, ovvero in regime permanente in un mezzo semi-infinito con un limite di ricarica imposto a pressione atmosferica, la portata in galleria può essere calcolata mediante la formula classica di Dupuit:

$$Q = \frac{2\pi K l d_z}{\ln\left(\frac{2L}{r_0}\right)} \quad \text{Equazione 1}$$

dove Q è la portata drenata in galleria, K è la conducibilità idraulica della formazione acquifera attraversata dalla galleria, l è la lunghezza del tratto di acquifero attraversato dalla galleria, r<sub>0</sub> è il raggio della galleria stessa, L è la profondità della galleria sotto il livello piezometrico costante e dz è la differenza di quota tra la galleria e il punto dove l'acquifero considerato raggiunge la superficie di ricarica.

Questo parametro è stato introdotto poiché gli strati lungo l'asse del tunnel non sono sempre verticali (Figura 3). Se lo strato è verticale, la differenza d'altitudine sarà uguale alla distanza: dz=L; se lo strato è inclinato, la distanza sarà più grande della differenza d'altitudine: dz<L.



**Figura 3 – Schema concettuale del drenaggio operato da un tunnel su uno strato acquifero inclinato.**

La formula sviluppata per il caso di uno strato inclinato (Figura 5) diventa la seguente (Marechal & Perrochet, 2003):

$$Q = \frac{4\pi K l d_z}{\ln \left( \frac{e^{\frac{4\pi L}{a}} + e^{-\frac{4\pi L}{a}} - 2}{e^{\frac{2\pi r_0}{a}} + e^{-\frac{2\pi r_0}{a}} - 2} \right)}$$

Equazione 2

dove  $a$  è lo spessore dello strato inclinato. L'equazione 2 è valida per valori di  $a$  molto maggiori del diametro della galleria ( $a \gg 2r_0$ ). Si verifica inoltre che per valori molto grandi di  $a$ , l'equazione 2 tende verso l'equazione 1.

### 3.2.2. Distribuzione della ricarica in superficie

Al fine di considerare la distribuzione della ricarica dalla superficie secondo il metodo analitico, il calcolo della portata drenata dal tunnel è effettuato applicando l'equazione 2, integrando una limitazione della ricarica. Nella seguente Figura 6 è esemplificato come la portata totale  $Q$  drenata dal tunnel possa essere rapportata con la portata infiltrata in superficie (percentuale della portata  $\%Q$  e superficie d'infiltrazione corrispondente a  $2\alpha L$ ). Tanto più è ridotta l'area di ricarica in superficie, tanto è minore la portata in galleria.

Ad esempio, se il tunnel si trova a 500 m di profondità e l'ampiezza in pianta della zona di ricarica dalla superficie è limitata a 1000 m (il doppio della profondità del tunnel,  $\alpha=1$ ), allora la ricarica possibile sarà pari alla metà di quella calcolata con la stessa equazione in condizioni di ricarica infinita.

Così, per un valore di portata calcolato considerando applicabile l'equazione 1 si può stimare l'ampiezza delle zone di ricarica, che corrisponde ad una percentuale di portata, e comparare quest'ultima con le portate pluviometriche relative a tale zona di ricarica. In altre parole si considera la ricarica come fattore limitante la portata potenzialmente drenabile dalla galleria. Ad esempio, se il tunnel si trova a 500 m di profondità e l'ampiezza della zona di ricarica è pari a 1000 m in pianta (il doppio della profondità del tunnel,  $\alpha=1$ ), allora la ricarica possibile sarà in prima approssimazione uguale alla metà di quella calcolata tramite le stesse equazioni in condizioni di ricarica infinita (Tabella 2).

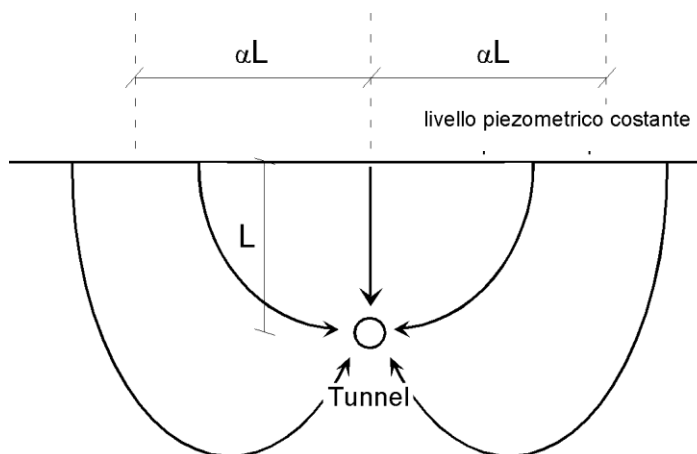


Figura 4 – Schema concettuale del drenaggio operato dal tunnel ed ampiezza della zona di ricarica.

$\alpha$	%Q ( $=2 \cdot \arctan(\alpha)/\pi$ )
0,5	0,30
1	0,50
2	0,70
3	0,80
4	0,84
7	0,91
$\infty$	1

**Tabella 2 – Percentuale della portata che proviene dalla zona  $-\alpha L < R < \alpha L$ .**

Con queste premesse si opera il calcolo delle portate attese in galleria, tratta per tratta, attribuendo ad ognuna di esse la permeabilità (ponderata, minima e massima), la profondità (dz), la lunghezza (l), il raggio del tunnel (r0) e l'ampiezza della zona di ricarica R. Tale zona di ricarica è stata valutata in pianta sulla base dello schema idrogeologico.

### 3.2.3. *Attribuzione del grado di permeabilità*

L'attribuzione del grado di permeabilità ad ognuna delle formazioni attraversate dal tracciato di progetto, è stata eseguita sulla base dei dati sperimentali e di quelli disponibili in letteratura. Per quelle formazioni per le quali non sono disponibili valori misurati, la stima del grado di permeabilità è stata eseguita a partire dalle osservazioni di terreno e per analogia con formazioni con caratteristiche idrodinamiche simili. In particolare, visto il contesto esaminato, durante le fasi di rilevamento di terreno è stato particolarmente preso in considerazione lo stato di fratturazione e il grado di cementazione.

La classificazione della permeabilità adottata in questa fase segue le norme dell'Association Française des Travaux En Souterrain (AFTES; Tabella 3). Questa classificazione non è valida per le rocce carsiche, per le quali è necessaria una valutazione specifica. Inoltre, occorre puntualizzare che la permeabilità dei massicci rocciosi è molto spesso anisotropa e il flusso avviene preferenzialmente in discontinuità e che per questa classificazione è considerato il valore maggiore.

Classe	Permeabilità in m/s	Descrizione
K1	$< 10^{-9}$	da molto bassa a bassa
K2	$10^{-9} \div 10^{-6}$	da bassa a media
K3	$10^{-6} \div 10^{-4}$	da media a alta
K4	$> 10^{-4}$	da alta a molto alta

**Tabella 3 – Descrizione delle classi di permeabilità secondo AFTES.**

In particolare, la classe di permeabilità è stata attribuita assumendo un ordine di grandezza dominante ponderato da un ordine di grandezza secondario che permette di considerare, all'interno dello spettro dei valori di permeabilità misurati o stimati, un valore rappresentativo per ogni complesso idrogeologico. Successivamente, è stato applicato un fattore di affidabilità (F) valutato secondo la disponibilità e la qualità di valori misurati; questo permette di considerare un intervallo di

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5101ECVRGGN110X002A00 <span style="float: right;">Foglio 13 di 33</span>

permeabilità individuato da un valore minimo e uno massimo: per quei complessi per i quali i valori di permeabilità disponibili sono ritenuti rappresentativi, F applicato è  $\pm 10\%$ , per quelli che presentano un più alto grado di incertezza è  $\pm 20\%$ .

### 3.2.4. Dipendenza tra la permeabilità e il campo di stress effettivo

Un altro fattore importante che può ridurre significativamente le portate drenate in una galleria profonda è la dipendenza intercorrente tra la permeabilità e il campo di stress effettivo.

Prima dello scavo del tunnel, le fessure sono caratterizzate da un'apertura in equilibrio con il campo di stress effettivo; in questa situazione d'equilibrio (ammettiamo quasi idrostatico), la pressione dei pori è  $h_0$  e l'apertura delle fessure corrispondente è  $a_0$  ed applicando la legge cubica, la permeabilità risulta  $K_0$ .

Quando il tunnel è scavato, la pressione dei pori diminuisce e la riequilibrio del campo di stress effettivo nel massiccio genera una chiusura delle fratture; questa caduta di pressione nei pori è massima nell'intorno del cavo ( $h = 0$ , pressione atmosferica) e decresce gradualmente con la distanza in funzione della nuova organizzazione del flusso idrico verso il tunnel. La permeabilità complessiva del massiccio tende quindi a diminuire così come anche le portate drenate in galleria. Questa diminuzione può essere stimata per via analitica e comparata con il caso dove la permeabilità è considerata costante.

In regime permanente, se consideriamo la legge sperimentale esponenziale (Louis, 1969), si può dimostrare che il fattore di riduzione può essere anche dell'ordine di qualche unità e che aumenta con la profondità del tunnel.

Considerando la legge cubica ed una dipendenza esponenziale tra l'apertura delle fratture e la pressione sui pori, si può definire:

$$K_h = K_0 e^{-3b(h_0-h)} \quad \text{Equazione 3}$$

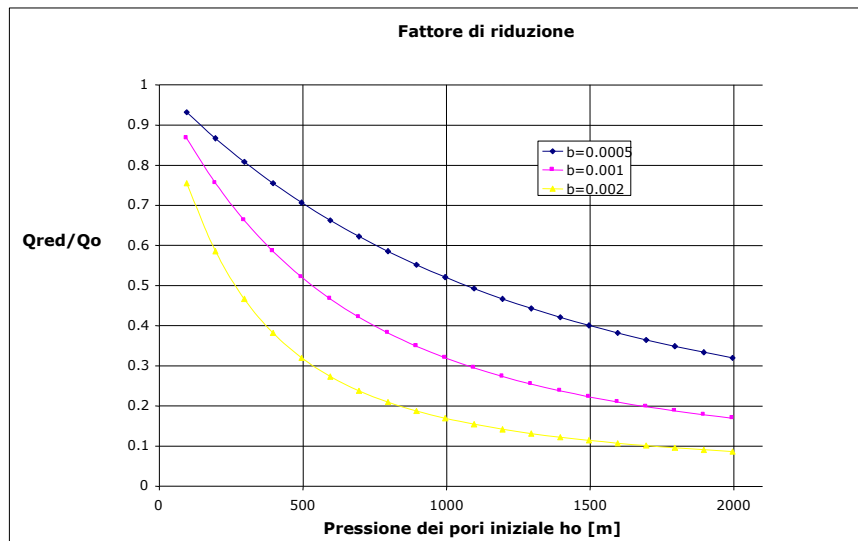
Dove  $h$  è la pressione dei pori, variabile secondo dell'organizzazione del flusso ( $h < h_0$ ),  $h_0$  è la pressione dei pori iniziale (es. se il tunnel è profondo 1000 m),  $K_0$  è la permeabilità iniziale corrispondente alla pressione dei pori  $h_0$ ,  $b$  è un parametro che caratterizza la resistenza delle fessure alla compressione, variabile ma tipicamente nell'ordine di  $0,001 \text{ m}^{-1}$ .

Nel caso di flusso radiale permanente si può calcolare il rapporto tra la portata ridotta, includendo la  $K_h$ , e la portata calcolata con la permeabilità iniziale costante  $K_0$  o  $Q_0$ .  $Q_0$  è noto (formula classica) e  $Q_{red}$  è ottenuto per integrazione radiale della legge di Darcy con  $K_h$ . Sviluppando i calcoli si ottiene la seguente:

$$\frac{Q_{red}}{Q_0} = \frac{1 - e^{-3b(h_0-h_p)}}{3b(h_0 - h_p)} \quad \text{Equazione 4}$$

dove  $h_p$  è la pressione dei pori imposta sul tunnel (generalmente  $h_p = 0$ , pressione atmosferica).

Se consideriamo il caso di un tunnel profondo dove  $h_p = 0$ ,  $h_0 = 1000 \text{ m}$  e  $b = 0,001 \text{ m}^{-1}$ , si trova per esempio un fattore 3 di riduzione delle portate attese in galleria. La seguente Figura 5 mostra la variazione di questo fattore in funzione di  $h_0$  e per tre valori di  $b$  ( $h_p = 0$ ).



**Figura 5 – Variazione del fattore di riduzione delle portate in galleria ( $Q_{red}/Q_o$ ) rispetto alla variazione di  $h_0$  e per  $b=0.0005, 0.001$  e  $0.002 \text{ m}^{-1}$  ( $h_p=0$ ).**

In letteratura esistono altre leggi Kh che danno dei fattori di riduzione delle portate dello stesso ordine di grandezza.

### 3.2.5. Risultati

Il calcolo delle portate attese in galleria con approccio analitico permette d'individuare un valore minimo e un valore massimo che tengono in considerazione delle variazioni di permeabilità all'interno di una formazione acquifero. I due valori segnalati per ciascuna galleria sono stati ottenuti applicando il fattore di affidabilità al grado di permeabilità individuato per ogni tratta a carattere omogeneo.

I risultati dei calcoli effettuati per le gallerie d'interconnessione Campasso sono riportati nella tabella 6 e mostrano un valore medio di 2 l/s.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5101ECVRGGN110X002A00 <span style="float: right;">Foglio 15 di 33</span>

## 4. CALCOLO DELLE PORTATE STABILIZZATE

### 4.1. Metodo di analisi

#### 4.1.1. Ritorno di esperienza

Sono state analizzate in dettaglio una serie di gallerie (cfr. Tabella 6) e per ciascuna di esse si è svolta una suddivisione in tratte omogenee dal punto di vista litologico-strutturale. Successivamente, per ogni tratta, si sono analizzati alcuni parametri principali tra i quali, ad esempio, il contesto geologico generale, le portate stabilizzate e portate transitorie; le portate di picco in corrispondenza delle strutture idrogeologiche principali; l'interazione con le sorgenti superficiali; lo stato geomeccanico e di fratturazione dell'ammasso roccioso, la copertura media, il tipo di ubicazione dell'opera nel contesto geomorfologico (galleria parietale, galleria di base o galleria di valico), ecc.. Tuttavia, bisogna precisare che in taluni casi la carenza di dati o l'irreperibilità degli stessi non ha permesso un'analisi completa.

Le gallerie analizzate comprendono gallerie geognostiche, gallerie idrauliche, ferroviarie e stradali:

- galleria del Sempione (Italia - Svizzera) - BIANCHETTI et al., 1993;
- galleria del Monte Bianco (Italia -Francia) - BAGGIO & MALARODA, 1960, 1962; MARECHAL, 1998;
- galleria autostradale del Gottardo (Svizzera) - KELLER et al., 1987; KOLLA, 1993;
- cunicolo esplorativo per la galleria ferroviaria Alp Transit Gottardo (Svizzera) - KELLER et al, 1987; SCHNEIDER, 1997;
- galleria Cleuson-Dixence (Svizzera) - BUREAU, 1997;
- galleria del San Bernardino (Svizzera) - CANDISH, 1960;
- galleria Vereina (Svizzera) - KOBEL, 1997;
- galleria di Fleres (Italia) (AGOSTINELLI et al., 1995);
- cunicolo esplorativo del traforo del Ciriegia (Italia - Francia) - BORTOLAMI & GRASSO, 1969;
- galleria del Gran San Bernardo (Italia) - GOUFFON, 1993.

Inoltre, due progetti di opere in sotterraneo attualmente in corso dove gli autori hanno maturato esperienze dirette hanno permesso di ricavare ulteriori informazioni:

- galleria ferroviaria ad Alta Capacità (Alta Velocità) Bologna-Firenze (Italia)
- nove gallerie idrauliche di un impianto idroelettrico nel nord Italia.



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5101ECVRGGN110X002A00 <span style="float: right;">Foglio 16 di 33</span>

#### 4.1.2. *Fattori di riduzione della portata media*

Al fine di meglio chiarire quali fenomeni fisici contribuiscono alla riduzione della portata nel tempo, di seguito elenchiamo i principali fattori idrogeologici. La combinazione di questi fattori determina l'effetto di diminuzione osservato nelle gallerie già scavate, come si evince dall'analisi bibliografica esposta in questa nota. Tra i principali fattori ricordiamo:

1. l'abbassamento progressivo del carico idraulico (livello piezometrico) a seguito del drenaggio;
2. l'entità della ricarica degli acquiferi drenati in galleria.
3. la dipendenza tra la permeabilità e il campo di stress effettivo.

I primi due fenomeni sono direttamente legati tra loro. In generale, è possibile affermare che in presenza di scarsa ricarica, l'abbassamento sarà massimo, viceversa, nel caso di una ricarica molto superiore alle quantità drenate in galleria, la riduzione del carico idraulico sarà minima e la portata drenata sarà ridotta di poco.

La dipendenza tra la permeabilità e il campo di stress effettivo è un fattore importante che può ridurre significativamente le portate drenate, soprattutto nei tratti di galleria profonda. Prima dello scavo della galleria, le fessure sono caratterizzate da un'apertura in equilibrio con il campo di stress effettivo; in questa situazione d'equilibrio (ammettiamo quasi idrostatico), la pressione dei pori, l'apertura delle fessure corrispondente e la permeabilità risultano indisturbate. Quando il tunnel è scavato inizia il drenaggio, la pressione dei pori diminuisce e la ri-equilibratura del campo di stress effettivo nel massiccio genera una chiusura delle fratture; questa caduta di pressione sui pori è massima nell'intorno del cavo ( $h=0$ , pressione atmosferica) e decresce gradualmente con la distanza in funzione della nuova organizzazione del flusso idrico verso il tunnel. La permeabilità complessiva del massiccio tende quindi a diminuire, con conseguente riduzione delle portate drenate in galleria.

Sviluppando un calcolo analitico in regime permanente applicando la legge sperimentale esponenziale (Louis, 1969), si può dimostrare che il fattore di riduzione può essere anche dell'ordine di qualche unità e che aumenta con la profondità del tunnel. Se consideriamo ad esempio il caso di un tunnel profondo 1000m, si trova un fattore 3 di riduzione delle portate in galleria.

#### 4.1.3. *Portate di picco, transitorie e stabilizzate*

Al fine di chiarire le terminologie che verranno adottate in questa relazione, in questo paragrafo viene descritta la distinzione tra portate di picco, transitorie e stabilizzate. L'equazione di Maillet (1905), che descrive la curva di esaurimento di una sorgente, può in linea generale essere presa ad esempio per simulare l'evoluzione nel tempo della portata di una venuta in galleria in assenza di ricarica. Sulla base di questa curva distinguiamo tre momenti diversi (Figura 6):

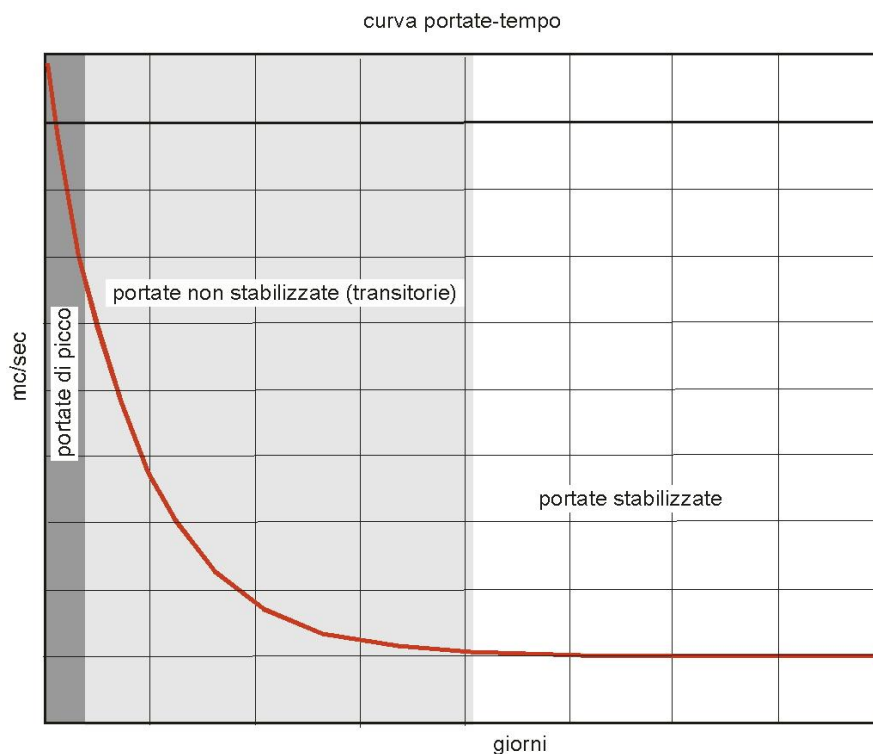
portate di picco: nei primi istanti che seguono l'intercettazione della venuta la diminuzione della portata proceda molto rapidamente;



portate non stabilizzate o transitorie: la parte discendente nella zona centrale della curva;

portate stabilizzate: dopo un certo tempo le portate tendono asintoticamente verso la stabilizzazione o a esaurirsi del tutto

Nel seguito dell'analisi sono discusse portate non stabilizzate e portate stabilizzate. Le portate di picco, che molto spesso non sono documentate, non sono trattate.



**Figura 6 – Curva di esaurimento tipo di una delle venute d'acqua in galleria.**

#### 4.1.4. *Fluttuazioni stagionali*

Infine, al termine di questa breve introduzione metodologica, occorre considerare le possibili fluttuazioni stagionali delle portate dovute alle variazioni delle piogge e conseguentemente dei regimi di ricarica durante l'anno. È importante notare che queste fluttuazioni sono da considerarsi anche per il regime stabilizzato.

Questo effetto è tanto più marcato quanto più le gallerie sono superficiali. Inoltre, in corrispondenza di zone di faglia permeabili ad alto angolo, o in zone carsiche connesse con la superficie, questo fenomeno può essere anche risentito a profondità elevate.

L'esperienza delle gallerie della linea A.V. Bologna Firenze (gallerie Sadurano, Raticosa, Firenzuola e Vaglia) mostra come siano possibili variazioni fino al 40% rispetto alla portata media.

Le portate registrate in fase di scavo e a scavo completato di tratti di galleria significativi (completati da due anni) sono evidenziate nella tabella seguente. Le portate sono attualmente quasi del tutto stabilizzate su valori che variano unicamente in rapporto all'entità e distribuzione delle precipitazioni.

Pertanto, le portate (a completamento lavori) riportate in tabella sono quelle massime del periodo autunnale primaverile e quelle minime del periodo estivo.

Galleria	Portate max in fase di scavo (l/s)	Portate max a completamento lavori (l/s)	Portate min. a completamento lavori (l/s)
Sadurano	22.0	9.0	6.0
Raticosa	58.0	35.0	22.0
Firenzuola nord	350.0	230.0	130.0
Firenzuola sud	420.0	300.0	180.0
Vaglia	95.0	46.0	35.0
Cunicolo di Vaglia	68.0	40.0	25.0

**Tabella 4 – Portate in fase di scavo e stabilizzate con indicazione delle fluttuazioni stagionali nelle gallerie della linea A.V. Bologna Firenze.**

#### 4.1.5. Conclusione

I dati idrogeologici relativi ai 19 casi di gallerie esaminati sono stati organizzati in tabelle riassuntive in cui si è cercato di confrontare i valori delle portate stabilizzate, delle portate non stabilizzate e delle relative portate specifiche. Dove possibile a questi si sono affiancati i dati relativi al carico idraulico medio rappresentato nella maggioranza dei casi dal valore medio della copertura topografica.

Nella tabella seguente le varie gallerie analizzate sono state raggruppate in classi di portata, distinguendo tra il regime non stabilizzato e stabilizzato. Come si può notare, i regimi stabilizzati con portate comprese tra 0,1 e 500 l/s sono abbastanza rappresentati; le portate superiori sono invece tipiche dei regimi non stabilizzati e non sono state riscontrate in alcun caso stabilizzato.

Numero dei casi	0,1 - 10 (l/s)	10- 100 (l/s)	100- 500 (l/s)	500 - 1000 (l/s)	> 1000 (l/s)	mancanza dati
Portate non stabilizzate (l/s)	-	3	4	4	2	6
Portate stabilizzate (l/s)	2	1	6	-	-	10

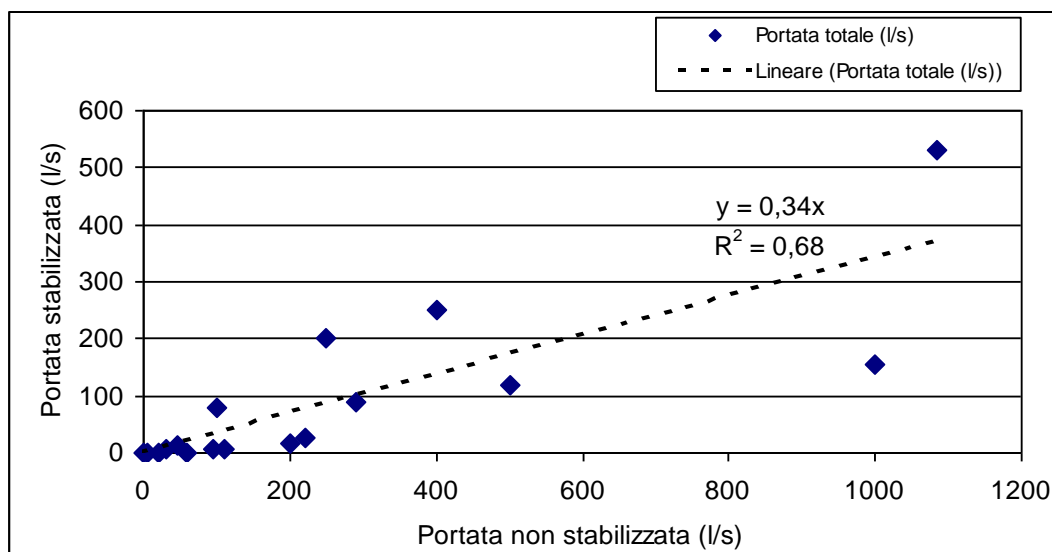
**Tabella 5 – Numero di gallerie analizzate per classi di portata, in regime non stabilizzato e stabilizzato**

Nella Tabella 6 sono riportati tutti i dati raccolti di portate, carichi idraulici e lunghezza delle tratte.

Un primo dato che emerge dall'analisi della tabella è che i valori maggiori di portata sono localizzati nelle zone con carico idraulico maggiore. La proporzionalità tra le venute d'acqua in galleria ed il carico idraulico è stata riscontrata in numerose situazioni analizzate, anche se risulta difficile arrivare a definire in modo univoco un coefficiente di proporzionalità tra questi due parametri, poiché oltre al valore del carico idraulico intervengono anche gli effetti della dimensione del bacino di alimentazione e dello stato di fratturazione dell'ammasso roccioso, che influenza la permeabilità. Esistono inoltre casi particolari rappresentati dai livelli carsici o di dissoluzione in cui la permeabilità della roccia si discosta dal normale campo di variazione ed assume un comportamento particolare.

In tali situazioni spesso si verificano improvvise ed importanti venute puntuali con conseguente rapido aumento delle portate transitorie seguito da un analogo rapida diminuzione e conseguenti bassi valori di portate stabilizzate (fino in alcuni casi al loro completo esaurimento), a meno che la ricarica non garantisca una venuta perenne.

Per quanto attiene alla relazione tra la portata non stabilizzata e quella stabilizzata, la Figura 6 mostra il grafico di correlazione dei punti per ogni galleria analizzata per la quale fossero disponibili i dati. In generale si nota una relazione lineare tra le due portate. Il coefficiente angolare della retta d'interpolazione è pari a 0,34, indicando che le portate iniziali totali drenate da una galleria tendono progressivamente a stabilizzarsi dopo una diminuzione di circa il 65%.



**Figura 6 – Relazione tra le portate stabilizzate e le portate non stabilizzate ricavata dal ritorno di esperienza**

Anche Looser (1998) analizza una serie di 32 gallerie dell'arco alpino e giunge ad una conclusione simile alla nostra, affermando che la diminuzione media tra la portata transitoria e quella definitiva da lui riscontrata è pari a circa 55%.

In conclusione possiamo affermare che, il ritorno esperienza di gallerie già scavate ha permesso di stabilire un valore medio percentuale di abbassamento delle portate compreso tra il 55% ed il 65% rispetto alla portata non stabilizzata.

Opera	Litotipo	Condizione non stabilizzata		Condizione stabilizzata		Carico idra galleria (m)
		Portata totale (l/s)	Portata specifica (l/s* m-1)	Portata totale (l/s)	Portata specifica (l/s* m-1)	
Impianto idroelettrico Pont Ventoux Susa Canale derivatore in pressione	gneiss aplitico-quarzitici	7,00	0,006			400
	micascisti e micascisti grafici	30,00	0,012			
Impianto idroelettrico Pont Ventoux Susa Galleria di fuga e cunicolo di calotta	Gneiss con intercalazioni di quarziti	15	0,136			165
	calcescisti grafici	55	0,417			
	calcescisti grafici	40	0,455			
	calcescisti milonitici	30	5,0			
	calcescisti milonitici	4	0,037			
	calcescisti e calcescisti marmorei	3	0,014			
Impianto idroelettrico Pont Ventoux Susa Galleria di accesso alla centrale	Gneiss cloritici	110	0,604			240
	Calcescisti e carniole	40	1,379			
	Calcescisti	80	80			
	Brecce tettoniche (carniole)	250	3,378	200	2,703	
	Micascisti e gneiss minuti	50	0,242			
	Calcescisti e porzioni di roccia tettonizzata	25	0,347			
Cunicolo pilota traforo del Ciriegia (Mercantour)	roccia cataclastico-milonitica	20	0,182			600
	Gneiss leucocratici	0	0	0	0	
Impianto idroelettrico Pont Ventoux Susa Canale derivatore tratto Clarea - Finestra 2	Gneiss leucocratici			4	0,012	500
	micascisti quarzosi			5	0,006	
	micascisti quarzosi			14	0,014	
	micascisti quarzosi			19	0,005	
Mont Blanc	Scisti cristallini	60	0,017			1100
	Graniti	210	0,048			
	brecce e cataclasi	1084	1,795	530	0,877	
	Graniti	12	0,009			
	Calcarei	200	0,099	18	0,009	
Gothard	Gneiss e micascisti	66	0,110			
	Gneiss, micascisti ed anfiboliti	30	0,012			
	Gneiss	5	0,008			
	Gneiss e gneiss granitico	1	0,001			
	Gneiss	20	0,022			
	Gneiss e gneiss granitico	150	0,052			
	Paragneiss	1	0,001			
	Scisti e gneiss	0,1	0			
	Gneiss e micascisti	0,1	0			
	Graniti	4	0,001			
Alp TransitGothard	Gneiss	6	0,002			80
	Gneiss	2	0,001			
Cleuson-Dixence	Scisti fillitici, micascisti e quarziti	25	0,010			550
	Rocce verdi, micascisti e quarziti					
	Gneiss, micascisti e quarziti	100	0,077	80	0,062	
	Rocce verdi, micascisti e gneiss	400	0,048	250	0,030	
Fleres-Terme di Brennero	dolomie, calcari cristallini arenacei	500	0,820	120	0,197	
San Bernardino	Ortogneiss con lenti di dolomite	110	0,017	6	0,001	250
Gran San Bernardo	Quarziti, gneiss a grana fine, gneiss a bande e micascisti			0	0	300
	Micascisti			0	0	
Vereina	Anfiboliti ed ortogneiss	10	0,001			1000
Impianto idroelettrico Pont Ventoux canale derivatore tratto Pont Ventoux- Finestra 2	Gneiss leucocratici			1	0	400
	Metabasiti	60	1,875	0	0	
	Micascisti quarzosi a grana fine			110	0,029	
	Micascisti quarzosi a grana fine			40	0,060	
	Micascisti quarzosi a grana fine	290	0,330	90	0,102	
	Gneiss leucocratici e micascisti quarzosi a grana fine	32	0,020	8	0,005	
	Scisti calcareo-argillosi	46	0,011	13	0,003	
	Gneiss e subordinati marmi, scisti calcareo-argillosi, anidriti, gessi e dolomiti	4,5	0,001	0	0	
Simplon	Scisti calcarei e marmi	96	0,074	8	0,006	1100
	Scisti calcarei, marmi e metaconglomerati ad elementi granitici	20	0,004	2	0,000	
	Marmi	1000	10,00	156	1,560	
	Ortogneiss massicci	220	0,050	25	0,006	

**Tabella 6 – Sintesi dei parametri idrogeologici ricavati dall'analisi di gallerie già scavate.**

## 4.2. Risultati

Le portate indicate nel capitolo precedente sono considerate significative per la quantificazione dell'acqua in galleria durante la fase di scavo.

La previsione della portata stabilizzata è proposta sulla base dei fattori di riduzione ricavati dall'analisi delle esperienze pregresse illustrate nei paragrafi precedenti. In particolare, sulla base della forchetta di valori calcolati per la fase di scavo, sono stati considerati i valori massimi e minimi ridotti delle idonee percentuali in modo tale da considerare l'involuppo totale delle possibili portate stabilizzate. Allo scopo, sulla base dei risultati precedentemente esposti, il valore minimo è stato ridotto del 65% e il valore massimo del 55%.

Con questo approccio risulta che le portate drenate dalla galleria Campasso, saranno probabilmente comprese tra 2 e 3 l/s. Si ricorda, infine, che saranno possibili variazioni stagionali fino al 40% del valore stabilizzato stimato. Questo significa che nei mesi estivi, più siccitosi, la portata minima potrà scendere fino a circa 1 l/s.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG5101ECVRGGN110X002A00</p>	<p>Foglio 21 di 33</p>

### 4.3. Sintesi delle problematiche idrogeologiche di scavo

Nel complesso la Galleria Campasso non dovrebbe presentare problematiche di scavo particolari dal punto di vista idrogeologico vista la permeabilità molto bassa del litotipo attraversato, a meno di interferenze tra le faglie maggiori e gli acquiferi dei basalti della dorsale Teiolo – Figogna. Possono presentarsi modeste manifestazioni idriche in corrispondenza di faglie, in particolare intorno alla progressiva chilometrica 0+840 e nelle zone a bassa copertura.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5101ECVRGGN110X002A00
	Foglio 22 di 33

## 5. INTERFERENZE CON LE SORGENTI

L'interferenza dello scavo della galleria con le sorgenti esistenti nell'area è stata valutata verificando il censimento dei punti d'acqua presenti lungo il tracciato della galleria e conducendo un'analisi di pericolosità di isterilimento di ogni punto d'acqua preso in considerazione.

In allegato a questa relazione sono presenti le schede di ciascuna sorgente censita con le misurazioni effettuate.

### 5.1. Censimento dei punti d'acqua

Il censimento dei punti d'acqua e la raccolta dei dati disponibili al momento dell'avvio del Progetto Esecutivo, fanno riferimento all'attività svolta tra gennaio e aprile 2004 in fase di redazione del Progetto Definitivo. I dati raccolti sono quindi da riferirsi a un periodo in cui la ricarica dei corpi idrici è importante e dovuta alle precipitazioni atmosferiche a carattere sia piovoso che nevoso.

In fase di progettazione esecutiva è stata svolta, nel periodo tra luglio e agosto 2012, una nuova campagna di verifica del censimento delle sorgenti, su di un'area incentrata sulla Galleria Campasso. Gli obiettivi del nuovo censimento sono:

- la verifica che i punti d'acqua censiti durante il Progetto Definitivo siano ancora attualmente esistenti;
- la verifica precisa della loro localizzazione;
- la loro eventuale implementazione con nuovi punti d'acqua, in particolare nel caso che alcuni non risultino più esistenti o accessibili;
- la misurazione dei principali parametri chimico-fisici (T, pH, conducibilità elettrica).

Le integrazioni previste in fase di progettazione esecutiva sono quindi prettamente legate al censimento delle sorgenti.

#### 5.1.1. Codifica dei punti d'acqua

La codifica adottata, necessaria per l'identificazione univoca dei punti, è composta da una sequenza alfanumerica composta da tre lettere e tre cifre (es. SGE121):

- la prima lettera indica la tipologia del punto d'acqua secondo lo schema:

S	sorgente
P	pozzo
V	vasca o serbatoio
Pr	presa d'acqua in alveo di un corso d'acqua

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5101ECVRGGN110X002A00
	Foglio 23 di 33

➤ le seconde due lettere indicano la sigla del comune dove si trova il punto:

- NL Novi Ligure
- AR Arquata Scrivia
- IS Isola del Cantone
- RS Ronco Scrivia
- GA Gavi
- CA Carrosio
- VO Voltaggio
- FR Fraconalto
- SV Savignone
- MG Mignanego
- SR Serra Riccò
- CE Ceranesi
- CM Campomorone
- GE Genova

Per la zona della Galleria Campasso, che ricade nel comune di Genova è stata usata la sigla GE.

➤ le cifre seguenti indicano la numerazione progressiva dei punti d'acqua.

### 5.1.2. Risultati

Per ogni punto d'acqua censito è stata redatta una scheda monografica standard nella quale sono riportati in modo sintetico ed uniforme tutte le sue informazioni rilevate.

In totale per la zona della Galleria Campasso sono state prese in considerazione 12 sorgenti censite e misurate nell'ambito della redazione del Progetto Definitivo, delle quali 9 sono state censite anche per il Progetto Esecutivo. La totalità delle sorgenti è captata, in parte da privati e in minor parte da società e consorzi locali per l'approvvigionamento di acqua potabile. Il censimento effettuato durante il Progetto Esecutivo ha confermato i dati del Progetto Definitivo.

### 5.1.3. Corsi d'acqua

Per quanto riguarda i corsi d'acqua, l'unico che appare potenzialmente soggetto a interferenze da parte dello scavo della galleria è il Rio Trasta; a seguito delle verifiche svolte nel corso della campagna di rilevamento idrogeologico inerente il presente studio, risulta che questo corso d'acqua può subire un'interferenza potenziale, da parte dello scavo delle gallerie, sia direttamente, per

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">IG5101ECVRGGN110X002A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 24 di 33</p>

filtrazione dall'alto, in corrispondenza di settori a bassa copertura o di lineamenti tettonici in potenziale interconnessione idraulica con la galleria, sia indirettamente, per impoverimento dei deflussi estivi generato da interferenza con altre sorgenti presenti nel medesimo bacino; ciò in accordo con le conclusioni già espresse nell'ambito del Progetto Definitivo.

Si consiglia quindi di effettuare, in fase di scavo, il monitoraggio in alveo dei parametri di temperatura, portata, pH, e conducibilità elettrica. Si ritiene sufficiente una stazione di misura di valle rispetto al tracciato di progetto.



GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5101ECVRGGN110X002A00 <span style="float: right;">Foglio 25 di 33</span>

## 6. PROBABILITA' DI IMPATTO

### 6.1. Cenni metodologici

Il metodo utilizzato prevede il calcolo di un indice di pericolosità di isterilimento delle risorse idriche (Drawdown Hazard Index DHI, Dematteis et al., 1999). Si tratta di un metodo di analisi probabilistica che si applica allo scavo in sotterraneo. Il DHI è stato efficacemente applicato in diversi studi previsionali di impatto del drenaggio di gallerie sulle sorgenti. L'analisi viene condotta con approccio di sistema utilizzando delle matrici di interazione binaria e globale (Hudson, 1992, Jiao, 1995) e fornisce come risultato il grado di pericolosità di isterilimento per ogni punto d'acqua analizzato:

- nessuna pericolosità riconosciuta;
- grado di pericolosità basso;
- grado di pericolosità medio;
- grado di pericolosità alto.

Ai fini dell'analisi vengono prese in considerazione, per ogni sorgente analizzata, una serie di variabili cui viene assegnato un valore numerico. Le seguenti variabili sono riferite alle condizioni previste in galleria, in un tratto significativo in corrispondenza della sorgente:

- grado di permeabilità media della formazione idrogeologica;
- frequenza di fratturazione prevista in galleria;
- spessore della copertura in corrispondenza della sorgente;
- ampiezza della zona plastica (che corrisponde al raggio della struttura drenante).

Inoltre, sono anche considerate le seguenti variabili riferite alla sorgente:

- distanza della sorgente dalla galleria;
- intersezione con zone di faglia o carsiche che si estendono fino a quota galleria;
- tipo di sorgente: sono stati distinti tre tipi di sorgente: superficiale, profonda e mista, sulla base dei dati geologici, idrogeologici e geochimici disponibili;
- effetto topografico: si tratta di una variabile che considera l'aspetto morfologico del versante, assegnando ad esempio un parametro di pericolosità maggiore alle sorgenti ubicate sullo stesso versante della galleria.

### 6.2. Risultati

Le sorgenti che presentano un grado di pericolosità non nullo sono in generale localizzate in corrispondenza di quelle aree in cui le coperture non sono elevate e dove il particolare assetto idrogeologico e strutturale determina situazioni di criticità

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG5101ECVRGGN110X002A00</p>	<p>Foglio 26 di 33</p>

Nella carta dei punti d'acqua (presentata in allegato) è stato indicato per ogni sorgente il grado di pericolosità d'isterilimento più elevato determinato in base al DHI e nella Tabella 7 sono riportati i singoli valori dei parametri misurati e il calcolo del DHI.

Le sorgenti prese in considerazione per il calcolo del DHI nell'area della Galleria Campasso hanno valori del DHI compresi tra 0 e 0,1, corrispondenti ad un rischio di isterilimento nullo

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



IG5101ECVRGGN110X002A00

Foglio  
27 di 33



Progressiva da a	Tipo d'acquifero	Parametri di calcolo											Portata prevista									
		I	r <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	L	R	α	%Q	a	K			Stima dell'incertezza									
		Lunghezza della sezione d'acquifero attraversata dal tunnel	Raggio del tunnel	Distanza tra il tunnel e la topografia	Lunghezza dello strato acquifero sulla sezione	Estensione della superficie di ricarica	Fattore limitante la ricarica (R/2d <sub>2</sub> )	% portata rispetto alla superficie d'infiltrazione [-αL, αL]	Spessore dello strato inclinato	Permeabilità Media ponderata	Permeabilità Media ponderata minima	Permeabilità Media ponderata massima	Ipotesi minima			Ipotesi massima						
m	m	m	m	m	m	%	m	m/s	m/s	m/s	Per sezione	Per tratta	Totale al portale	Per sezione	Per tratta	Totale al portale	Per sezione	Per tratta	Totale al portale			
Galleria Campasso												0.0020			0.0018			0.0022				
Tratta 1												0.0020			0.0018			0.0022				
530	840	aP	310	5	50	50	500	5	87%	310	3.4E-08	3.1E-08	3.7E-08	0.0009	0.0020	0.0020	0.0008	0.0018	0.0018	0.0010	0.0022	0.0022
840	850	ZF	10	5	70	80	1000	7	91%	50	1.4E-07	1.1E-07	1.7E-07	0.0001	0.0010	0.0010	0.0000	0.0009	0.0009	0.0001	0.0011	0.0011
850	1160	aP	310	5	70	100	1000	7	91%	310	3.4E-08	3.1E-08	3.7E-08	0.0010	0.0010	0.0010	0.0009	0.0009	0.0009	0.0011	0.0011	0.0011

**Tabella 6 – Portate attese in fase di scavo, calcolate per settori omogenei e per zone di faglia puntuali con approccio analitico.**

Codice Sorgente	Progressiva ortogonale	Progressiva geologica	Quota Sorgente (m s.l.m.)	Quota Galleria (m s.l.m.)	Distanza Verticale (m)	Distanza Orizzontale Ortogonale (m)	Distanza Orizzontale Geologica (m)	Distanza Assoluta Ortogonale (m)	Distanza Assoluta Geologica (m)	Distanza di Tunnel	Intersezione con Faglie maggiori	Tipo di Sorgente	Effetto Topografico	Frequenza di Fratturazione	Formazione aquifera	Permeabilità del Massiccio	Spessore della copertura	Ampiezza della Zona Plastica	Potenziale di Drenaggio	Indice di Probabilità di laceramento	GRADO (1= nessuno; 2=basso; 3=medio, 4=alto)
	m	m														MK	OV	PZ	PI	DHI	
SGE329	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SGE272	287	-	130	52	78	623	-	628	-	1.2	1	1	1.2	0.1	AGF	0.2	0.9	1	0.44	0.05	1
SGE271	536	-	175	56	119	565	-	577	-	1.2	1	1.5	1.2	0.1	AGF	0.2	0.9	1	0.44	0.07	1
SGE270	536	-	145	56	89	416	-	425	-	1.5	1	1.5	1.2	0.1	AGF	0.2	0.9	1	0.44	0.09	1
SGE274	668	-	55	57	-2	185	-	185	-	1.9	1	1	1.5	0.1	AGF	0.2	0.5	1	0.37	0.08	1
SGE275	1,050	-	50	64	-14	185	-	185	-	1.9	1	1	1.5	0.1	AGF	0.2	0.5	1	0.37	0.08	1
SGE31	1,250	-	240	67	174	586	-	611	-	1.2	1	1	1.2	0.1	AGF	0.2	0.9	1	0.44	0.05	1
SGE281	1,300	-	110	67	44	298	-	301	-	1.5	1	1	1.2	0.1	AGF	0.2	0.5	1	0.37	0.05	1
SGE29	1,500	-	570	69	501	1,521	-	1,601	-	1.1	1	1	1.2	0.1	AGF	0.2	0.5	1	0.37	0.04	1
SGE258	1,600	-	195	70	125	419	-	437	-	1.5	1	1.5	1.2	0.1	AGF	0.2	0.5	1	0.37	0.07	1
SGE38	1,650	-	195	72	123	519	-	533	-	1.2	1	1.5	1.2	0.1	AGF	0.2	0.2	1	0.32	0.05	1

**Tabella 7 – Calcolo del DHI per le sorgenti che possono avere un impatto sulla Galleria Campasso**

GENERAL CONTRACTOR



Consorzio Collegamenti Integrati Veloci

ALTA SORVEGLIANZA



IG5101ECVRGGN110X002A00

Foglio  
30 di 33



GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5101ECVRGGN110X002A00 <span style="float: right;">Foglio 32 di 33</span>

## 7. BIBLIOGRAFIA

- Agostinelli, G., Comin, C., Pedemonte, S. (1995) – *Aspetti geologici applicativi allo scavo della galleria Fleres-Terme di Brennero*. Geologia Tecnica ed Ambientale, 3/95.
- Baggio, P., Elter, G., Malaroda R. (1962) – *Il traforo del Monte Bianco; prime osservazioni geologiche sul tratto dalla progressiva 2500 alla progressiva 3700 (parte italiana)*. Accademia nazionale dei Lincei, serie VII, vol. XXVIII, fasc. 3-4, p. 471-476.p. 150-152.
- Baggio, P., Elter, G., Malaroda, R. (1960) –*Il traforo del Monte Bianco; prime osservazioni geologiche sul tratto dall'imbocco italiano alla progressiva 1300*. Accademia nazionale dei Lincei, serie VII, vol. XXVIII, fasc. 4, p. 471-476.
- Bianchetti, G., Zuber, F., Vuataz, F.-D., Rouiller, J.-D. (1993) – *Hydrogeologische und geother-mische Untersuchungen im Simplontunnel*. Schweizerische Kommission, ETH-Zentrum Zurich., 75 pp.
- Bortolami, G., Grasso, F. (1969) - *Osservazioni geologico-applicative sul cunicolo d'assaggio del traforo del Ciriegia e considerazioni sull'intero tracciato*. Estratto degli atti del primo congresso internazionale sui problemi tecnici nella costruzione di gallerie. Torino settembre 1969, p. 112-126.
- Bureau, N. (1997) – *Rapports géologiques sur la galerie de Cleuson-Dixence*. Inédit.
- Candish, E. (1960) – *Rapports géologiques sur le tunnel du San Bernardino*. Inédit.
- Capponi, G., Crispini, L., Cortesogno, L., Gaggero, L., Firpo, M., Piccazzo, M., Cabella, R., Nosengo, S., Bonci, M.C., Vannucci, G., Piazza, M., Ramella, A., Perilli, N., et alii (2009) - *Note illustrative della carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000, foglio 213-230 – Genova*.
- Dematteis, A., Kalamaras, G. & Eusebio, A. (1999) - *A systems approach for evaluating springs drawdown due to tunneling*. Atti del convegno AITES ITA, 69 HUDSON, 1992.
- Gouffon, Y. (1993) – *Géologie de la nappe du Grand St-Bernard entre la Doire Baltée et la frontière suisse*. Mémoires de Géologie (Lausanne), 12, 1993.
- Jiao Y. & Hudson, J.A. (1995) - *The Fully-Coupled Model for Rock Engineering Systems*. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., 32, 5, 491-512.
- Keller, F. & Locher, T. R. (1994) – *Die geologie des Zugwanld – und Vereinatunnels*. Schweizer Inge-nieur und Architekt, 44, 1994, p.892-896.
- Keller, F., Wanner, H., Schneider, T.R. (1987) - *Geologischer Schlussbericht. Gotthard-Strassentunnel*. Beitrage zur geologie der Schweiz. Geoltechnische serie 70.
- Kobel, M. (1997) - *Rapports géologiques sur le tunnel de la Vereina*. Inédits.
- Kolla, E. (1993) – *Gotthard-Basistunnel – Regionale Hydrogeologie im Projektgebiet uter besonderer Beru-cksichtigung des Ritom-Gebietes*. Rapporto inedito del 30.11.1993.
- Loser, M. (1998) - *Valorisation des ressources en eaux drainées par les tunnels*. Tesi post-dottorato, Università La Sapienza, Roma.
- Louis, C. (1969) - *A study of groundwater flow in jointed rock and its influence on the stability of rock masses*. Imperial College Rock Mechanics Research Report nr. 10, 90 pp.
- Maillet, E. (1905) – *Essais d'hydraulique souterraine et fluviatile*. Librairie Scientifique A. Hermann- Paris-1905.



<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG5101ECVRGGN110X002A00</p>	<p>Foglio 33 di 33</p>

Marechal, J. C. (1998) - *Les circulations d'eau les massifs cristallins alpins et relations avec les ouvrages*. Thèse de Doctorat, Université de Lausanne.

Marechal, J.C., & Perrochet, P. (2003) - *New analytical solution for the study of hydraulic interaction between Alpine tunnels and groundwater*. Bulletin de la Société Géologique de France, 174 (5), 441-448.

Marini, M. (1998) - *Carta geologica della Val Polcevera e zone limitrofe (Appennino Settentrionale) alla scala 1:25.000. Note illustrative*. Atti Ticinesi di Scienze della Terra, 40, 33-64.

Schneider, T. R. (1997) - *Rapports géologiques sur la galerie Alp Transit Gotthard*. Inédits.