

5.5 Planimetria dei complessi idrogeologici e profilo idrogeologico longitudinale in asse alle opere autostradali

5.5.1 Planimetria dei complessi idrogeologici

La planimetria dei complessi idrogeologici è stata elaborata con finalità di inquadramento e caratterizzazione complessiva delle diverse unità acquifere.

La cartografia riporta:

- gli elementi strutturali di tettonica fragile influenti sulla circolazione idrica sotterranea (faglie principali e vicarianti, zone di taglio);
- la localizzazione e classe di portata, in regime di magra (misure estive 2010), delle sorgenti censite;
- la localizzazione dei piezometri realizzati nelle diverse campagne di indagine;
- una distinzione delle unità idrogeologiche con riferimento alle distinzioni riportate nello stralcio di legenda in Figura 40.

Nella carta dei complessi idrogeologici vengono pertanto distinti, sulla base della ricostruzione geologica di progetto, i settori di sub affioramento del substrato litologico dalle coperture (alluvionali o detritiche) potenti, queste ultime caratterizzate da differente permeabilità primaria per porosità. Relativamente ai litotipi del substrato, vengono distinte le seguenti unità.

A - Unità sostanzialmente "omogenee", in cui la conducibilità idraulica dipende unicamente dal grado di fratturazione e dalla presenza e tipologia di materiali di intasamento, da frizione o alterazione delle pareti dei giunti. Fanno parte di questa categoria prevalentemente le unità metamorfiche costituite da metabasiti e ultramafiti, geneticamente connesse all'ambiente oceanico di mare profondo (Metagabbri - MG, Serpentiniti - RLO SNV SPF, Lherzoliti - LHP).

B - Unità caratterizzate da una sostanziale variabilità litologica al proprio interno, in cui sono posti a contatto materiali a differente comportamento reologico da cui differente grado di fratturazione e conducibilità idraulica, con conseguente presenza di limiti di permeabilità nell'ambito della medesima unità. Fanno parte di questa tipologia i complessi metasedimentari, prevalentemente in affioramento nel settore in destra del torrente Polcevera, e i litotipi flyschoidi in sinistra del Polcevera stesso.

C - Unità con permeabilità mista per fratturazione e carsismo, condizione in cui ricadono unità costituite da litotipi carbonatici in cui è possibile sia lo sviluppo di grandi vuoti in ambiente carsico (Calcari di Erzelli - ERZ, Dolomia di Monte Gazzo - MDG, Calcari della Serie di Gallareto-Lencisa SGL), sia litotipi flyschoidi (Calcari del Monte Antola - FAN) caratterizzate da sviluppo dei fenomeni carsici più limitato e localizzato, ed in cui la permeabilità per fratturazione può comunque risultare sostanzialmente incrementata da fenomeni chimico-dissolutivi.

Per una descrizione di maggior dettaglio delle cartografie si rimanda integralmente all'elaborato GEO001.

	Unità idrogeologiche	Unità geologiche		Grado di permeabilità (Classificazione da CIRIA 2000)						
				Molto alto-Alto 10^{-2} m/s	10^{-3} m/s	Medio 10^{-4} m/s	Basso 10^{-5} m/s	Molto basso 10^{-6} m/s	Impermeabile 10^{-10} m/s	
Permeabilità primaria per porosità	Unità dei depositi antropici (riporti, rievati, argini, discariche, etc)	Materiale di riporto antropico Depositi di versante Depositi alluvionali attuali Depositi alluvionali antichi Depositi di spiaggia attuali Depositi marini terrazzati	I							
	Unità a comportamento acquifero		II							
	Unità a comportamento acquitardo		III							
	Unità a comportamento acquicludo		IV							
Permeabilità secondaria per fratturazione	Unità a permeabilità variabile in relazione al grado di fratturazione	MBF, S, LHZ, SPF, SPV, GRA, MG, RLO, SNV, LHP, MB	V							
	Unità a permeabilità variabile in relazione al grado di fratturazione e alle variazioni litologiche	C, ROC, LRV, CS, QPC, SAC	VI							
	Unità a conducibilità idraulica molto bassa/semipermeabile	AGI, AGF, LRV, MTE, MGG, ORV, MIG, MGB	VII							(*)
Permeabilità mista per fratturazione e carsismo	Unità a permeabilità mista per fratturazione e carsismo	MDG, ERZ, FAN, SGL, GRS	VIII							

Figura 40 - Legenda relativa alla classificazione delle unità idrogeologiche.

Unità idrogeologiche (substrato)	media	max	min	num
permeabilità variabile in relazione al grado di fratturazione	3,39E-07	1,13E-06	1E-08	14
permeabilità variabile in relazione al grado di fratturazione e alle variazioni litologiche	2,54E-07	2,4E-06	8E-09	47
unità a conducibilità idraulica molto bassa/semipermeabile	3,82E-07	1,00E-06	5E-08	7
unità a permeabilità mista per fratturazione e carsismo	1,89E-06	3,5E-06	8E-08	7

Tabella 17 - Valori di permeabilità per le diverse unità idrogeologiche ricavate dalle prove di iniezione Lugeon (cfr. successivo par. 6.1.1.2).

5.5.2 Profilo longitudinale in asse alle opere autostradali

Il profilo longitudinale, che costituisce l'elaborato di riferimento a supporto alle scelte progettuali, riporta attraverso opportuna simbologia i seguenti elementi:

- le unità geologiche - idrogeologiche, in coerenza con il profilo geologico di progetto;
- la localizzazione e tipologie dei piezometri;
- le quote piezometriche misurate;

- i risultati delle prove di permeabilità per iniezione tipo Lugeon, la localizzazione e il grado di fratturazione dell'ammasso roccioso nel tratto testato espresso attraverso il parametro RQD;
- indicazioni relative ai livelli d'acqua in pressione saltuariamente riscontrati per alcuni fori di sondaggio e relative portate di deflusso artesiani;

Nella fincatura alla base del profilo vengono inoltre riportati i seguenti elementi di sintesi, e di supporto alla progettazione:

- conducibilità idraulica di riferimento dell'ammasso roccioso alla quota di scavo;
- stima orientativa della portata cumulata teorica in regime stabilizzato con il metodo di Heuer (cfr. successivo par. 6.1.1.2);
- tratti per cui si ritiene possibile l'attivazione di venute idriche improvvise in avanzamento, in riferimento alle seguenti distinte condizioni:
 - rapido svuotamento di fasce cataclastiche;
 - afflusso in corrispondenza di soglie o limiti di permeabilità;
 - intercettazione possibile di condotti carsici in pressione;
- necessità di cautele in fase di avanzamento (es. sondaggi al fronte) per condizioni idrogeologiche sfavorevoli o non compiutamente prevedibili;
- indicazioni progettuali connesse a elementi di rilevanza o criticità idrogeologica.

Riguardo agli elementi suindicati, sono necessarie alcune precisazioni sul metodo di elaborazione, e significato e sui limiti di attendibilità delle indicazioni riportate:

- la stima di K (m/s) si riferisce ad un valore cautelativo di riferimento per la stima delle portate con il metodo di Heuer, e può non risultare dunque rappresentativo di situazioni locali, sia di particolare frantumazione sia nel campo opposto, di tratti integri in cui la permeabilità per fratturazione può risultare pressoché nulla;
- come noto la stima della portata drenabile da una galleria profonda rappresenta un elemento di forte incertezza ed aleatorietà. Nel caso in esame la valutazione si è basata sul metodo di Heuer; i risultati costituiscono pertanto la migliore applicazione di una tecnica valutativa tra le più sperimentate ed accreditate per un elemento che rimane comunque difficilmente valutabile in modo preciso e deterministico. Non è peraltro significativa la definizione della portata con criterio probabilistico, in termini di analisi di sensitività, in quanto il parametro incerto è costituito dalla permeabilità K derivante dalle prove Lugeon, che presenta anche per la medesima unità litologica una rilevante dispersione, in assenza di una distribuzione statistica significativa.

E' inoltre da notare come il valore si riferisca alla portata cumulata teorica agli imbocchi, in assenza del rivestimento definitivo. Nella fase post-operam è da ritenere, sulla base delle indicazioni progettuali, che i valori di drenaggio risultino fortemente contenuti dall'anello dei conci.

6. VALUTAZIONE QUALITATIVA DELLE INTERFERENZE ATTESE FRA OPERE DI PROGETTO ED ACQUE SOTTERRANEE

6.1 Metodologia di valutazione

6.1.1 Metodo osservazionale: interferenze prodotte da gallerie in contesti geologici e strutturali simili

6.1.1.1 *Valutazione sulla base della portata drenata dalle gallerie ferroviarie sul territorio in esame*

Nell'area in esame sono presenti numerose gallerie stradali e ferroviarie. La misura del drenaggio indotto da tali opere sugli acquiferi è un elemento empirico rilevante a supporto della quantificazione delle interferenze determinate dalle opere in progetto.

Le misure hanno riguardato:

- a - le gallerie di maggiore sviluppo lineare lungo la linea ferroviaria "storica" Genova-Ovada, con riferimento ai punti di misura indicati in Figura 41;
- b - la galleria ferroviaria Voltri-Borzoli, con misure al canale di scarico della finestra di Borzoli;
- c - la galleria autostradale Monte Sperone (settore Est Polcevera).

Nel seguito vengono riportati e commentati i dati di misura acquisiti.

A - Gallerie linea ferroviaria "storica" Genova-Ovada

Va rilevato come le gallerie esistenti lungo tale tratta presentino, rispetto alle opere in progetto, caratteristiche sostanzialmente differenti, tali da risultare in linea teorica sostanzialmente meno impattanti con la circolazione sotterranea, ovvero, in particolare:

- uno sviluppo largamente inferiore;
- la non interferenza con la rete idrica superficiale;
- uno spessore massimo della copertura generalmente inferiore.

Le misure eseguite sugli scarichi dei sistemi di drenaggio di gallerie esistenti sono riportate in Figura 41, in condizioni idrologiche di magra (20 luglio 2010).

In tale data sono stati misurati i seguenti valori di portata:

- 1 - $Q = 1,7$ l/s (L galleria 729 m)
- 2 - $Q = 1,4$ l/s (L galleria 1005 m)

A partire da tali dati è possibile effettuare alcune valutazioni di massima ed orientative sulle condizioni di ricarica delle portate drenate in galleria.

In particolare sono state prese a riferimento le misure eseguite sul punto 2, maggiormente significative sia per lo sviluppo superiore della galleria sia per l'andamento parallelo alle linee di versante e dunque maggiormente soggetto, al pari delle nuove opere autostradali, ad interferire con la circolazione di versante tipica dei complessi fratturati a bassa permeabilità come quelli in esame.

Considerando la portata di magra, negli ambiti in esame, fortemente ridotta rispetto ai valori medi, sulla base di un rapporto di variabilità non inferiore a 2-2.5, si stima un deflusso medio dell'ordine di $Q_{med} 2.5 \text{ l/s}$ ($\approx 80.000 \text{ m}^3/\text{a}$).

La delimitazione del bacino idrogeologico contribuente può essere fatta sulla base di differenti opzioni, considerando una circolazione estremamente corticale, limitata dagli spartiacque superficiali, o maggiormente profonda, da cui un contributo teorico delle aree scolanti chiuse alla quota dello sbocco lato Genova della galleria.

Si calcola quindi un'estensione del bacino idrogeologico massima nel campo $S = 0.51 \div 1.29 \text{ km}^2$, da cui:

$$I = Q_{med} / S = 80.000 \text{ m}^3/\text{a} / 0.51 \div 1.290.000 \text{ m}^2 = 60 \div 154 \text{ mm/a.}$$

Tali valori risultano congruenti con le stime di cui al precedente paragrafo 5.1.2. Si ritengono maggiormente plausibili valori di infiltrazione nel campo indicato più prossimi a quelli massimi, in quanto è plausibile, come di norma, che la galleria drena aliquote di infiltrazione più profonda e non i circuiti più corticali, rappresentando la portata drenata dalla galleria solo una parte dell'aliquota di infiltrazione totale.

Viste le suindicate differenze tra le gallerie esistenti e le opere in progetto, quello relativo al bilancio di infiltrazione è l'unico elemento indicativo attendibile che può essere ricavato dalle misure della portata di drenaggio delle gallerie esistenti.

Non appare invece corretto, per i medesimi motivi, utilizzare il dato relativo al contributo unitario di drenaggio dalle gallerie esistenti per valutazioni sul regime di drenaggio complessivo delle nuove opere in progetto.

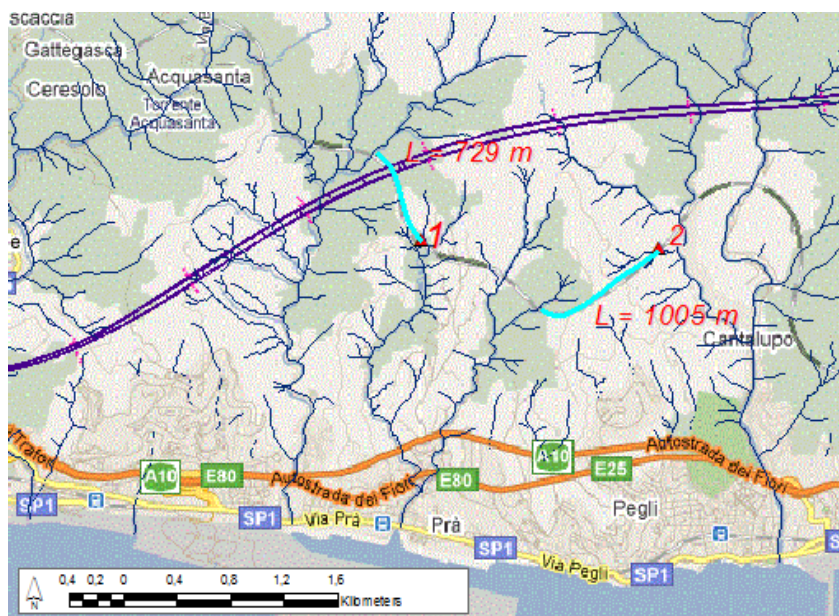


Figura 41 - Punti di misura della portata in uscita dai dreni delle gallerie ferroviarie, linea Alessandria-Genova.
 B - Galleria Voltri-Borzoli, misure alle finestra di Borzoli e di Voltri Prà

La galleria della bretella ferroviaria Voltri-Borzoli è quella che presenta, tra le opere in sottoterraneo già realizzate, le maggiori analogie con le gallerie autostradali in progetto, relativamente al settore ad Ovest del torrente Polcevera.

La galleria di Borzoli si sviluppa infatti entro i medesimi litotipi metamorfici che verranno interessati dalle nuove gallerie autostradali, con un tracciato a profondità (fino a oltre 200 m) di ordine paragonabile.

Le misure sono state eseguite, utilizzando il metodo correntometrico, ai due recapiti del sistema di drenaggio perimetrale, ovvero:

- a NE sul canale di scarico della finestra di Borzoli;
- all'imbocco SW, dallo scarico lato Voltri Prà (scarico loc. via Alassio).

In particolare la misura sul canale di scarico della finestra Borzoli è particolarmente significativa in quanto, trovandosi lo scarico alla quota 65 m s.l.m. circa, la portata non è influenzata da eventuali contributi localizzati di subalveo nel tratto sulla verticale del T. Varenna, ed è quindi rappresentativa del contributo di drenaggio dal complesso acquifero fratturato.

I risultati delle misure sono riportati nella Tabella 18.

	Marzo 2011 (*)	Marzo 2012 (**)
Scarico finestra Borzoli (gall. Fossa dei Lupi, L= 1875 m) – Q (l/s)	27.8	
Scarico Voltri-Prà (gall. Monte Gazzo. L = 3405 m) – Q (l/s)	59.8	39.1
Totale – Q (l/s)	87.6	

(*) Per problemi di accessibilità le misure sono state eseguite in data 22/02/11 (Borzoli) e 23/03/11 (Voltri- Prà)

(**) Misura del 27/03/12 su entrambi i punti di misura

Tabella 18 - Galleria ferroviaria Voltri-Borzoli: risultati delle misure di portata eseguite sugli scarichi delle acque di drenaggio in galleria

Come si può notare dai dati in tabella, la portata drenata risente significativamente della ricarica stagionale. Nella condizione specifica sono significative le differenze di portata drenata in relazione ad un periodo di ricarica invernale 2011-2012 caratterizzato da precipitazioni largamente inferiori rispetto al medesimo periodo 2010-2011.

Complessivamente, si è pertanto misurata in uscita dalla galleria ferroviaria Voltri-Borzoli (che presenta strette analogie geologico-strutturali con le gallerie in progetto nel settore in sinistra del T.Polcevera) una portata al termine del periodo di ricarica invernale 2011 di circa 88 l/s.



Figura 42 - Lo scarico lato Voltri Prà della galleria ferroviaria Voltri-Borzoli.

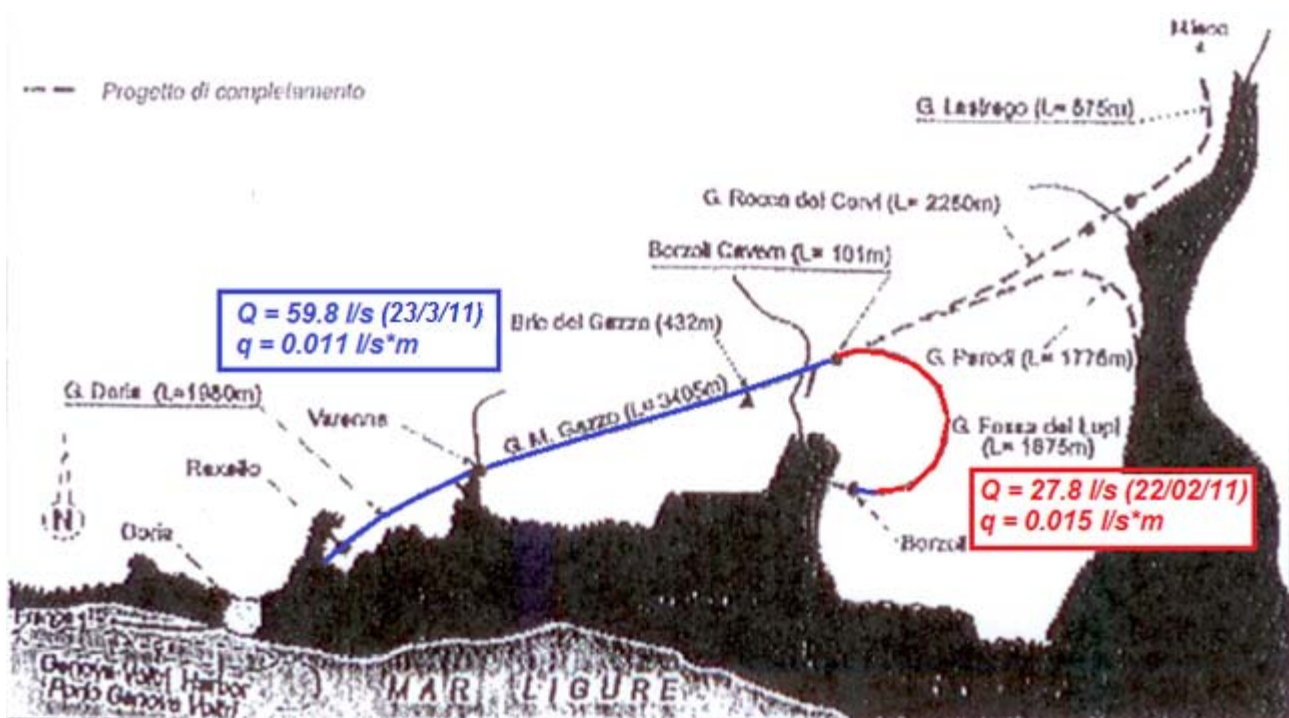


Figura 43 - Tratti in galleria ferroviaria (Porto di Voltri - Finestra di Borzoli) e portate misurate.

C - Galleria Monte Sperone (settore Est Polcevera)

La galleria Monte Sperone esistente, si sviluppa in adiacenza alla nuova omonima galleria in progetto, ed ha uno sviluppo di 1620 m.

La situazione geologica e di tracciato è rappresentativa delle condizioni che verranno incontrate nelle gallerie del tratto in sinistra T.Polcevera, dove le opere in progetto si svilupperanno in litotipi prevalentemente Flyschoidi. Nel caso della galleria Monte Sperone esistente, sulla base dell'assetto geologico locale si ritiene

che la galleria interessi in particolare l'unità marnoso-arenacea di Ronco (ROC), e calcareo-marnosa del Monte Antola (FAN).

In data 22/02/11 è stata misurata una portata totale in uscita dalla galleria Monte Sperone

$Q = 7.0 \text{ l/s}$

6.1.1.2 Valutazione con il metodo empirico di Heuer (2005)

L'approccio proposto vede l'applicazione di un metodo semiempirico (Heuer 1995, 2005) che, partendo da un'analisi statistica dei risultati delle prove di permeabilità in foro eseguite sui vari complessi rocciosi propone una valutazione delle venute d'acqua al fronte, in funzione del carico idraulico a cui è soggetta la galleria.

La correlazione tra permeabilità Lugeon dell'ammasso e venute idriche è basata su una relazione diretta supportata da numerose casistiche studiate relative a tunnel in ammassi rocciosi fratturati, suddivisi in opere superficiali e profonde sulla base del rapporto tra l'altezza di copertura H e il diametro D della galleria stessa.

Le portate stimate con il metodo di Heuer si riferiscono ai valori stabilizzati, ovvero alle portate che si misurano successivamente alla fase transitoria di maggior afflusso registrate in avanzamento al fronte di scavo.

Il metodo di Heuer trova la migliore applicazione per la stima delle venute idriche da circolazione in rete di fratture entro un ammasso in prima approssimazione omogeneo dal punto di vista idraulico. La metodologia presenta invece maggiori limiti per quanto riguarda la valutazione dei contributi dalle zone di faglia, ovvero da settori lineari localizzati di drenaggio, per i quali il contributo, difficilmente valutabile a priori, può risultare sottostimato.

La stima è stata effettuata utilizzando valori caratteristici del coefficiente K dalle prove Lugeon, attribuiti alle singole unità lito-strutturali ed alle specifiche condizioni di fratturazione/tettonizzazione. I risultati delle prove in termini di coefficiente K sono riportati in sintesi nella Tabella 19 (settore Ovest T.Polcevera) e Tabella 20 (settore Est T.Polcevera).

I valori di permeabilità riportati nelle due tabelle, si riferiscono esclusivamente alle prove ritenute attendibili. Non sono state ovvero considerate tutte le prove per cui, sulla base dell'andamento delle curve di carico e scarico, si siano evidenziate marcate "anomalie" (intasamento o dilavamento fratture, moto turbolento), che non consentono un'interpretazione attendibile o comunque univoca.

In Tabella 21, e relativo istogramma di Figura 44, sono riportati i dati medi, minimi e massimi relativi all'intero campione dei dati di prova, in riferimento alle singole unità litologiche.

I valori elevati, in particolare per l'unità di monte Antola (FAN) sono correlabili a prove eseguite in settori corticali di decompressione, generalmente frantumati, in cui si riscontrano valori superiori all'ordine di 10^{-6} m/s (in particolare RE9, RE10 orizzontale, RE11 orizzontale).

Pertanto, nella successiva Figura 45, il dato medio è riferito al campione di dati delle prove Lugeon con l'esclusione dei valori massimi in fascia corticale. Ne deriva un valore medio più rappresentativo delle condizioni profonde riscontrabili al livello del piano di scavo delle gallerie.

Peraltro, le prove in foro, con l'esclusione come detto dei valori di fascia corticale, riguardano prevalentemente campi di profondità tra i 50 e i 150 m da p.c.. Per questo motivo, è necessario valutare la riduzione di permeabilità nei livelli profondi per serraggio delle fratture, e l'opposto fenomeno di incremento per decompressione superficiale, correlabile al carico litostatico.

Per questo motivo, come previsto anche dal metodo di Heuer e comunque da qualsiasi approccio quantitativo all'idraulica nel mezzo fratturato, è stato valutato un fattore moltiplicativo RF della conducibilità idraulica. Nel campo di profondità interessato dalla galleria tale fattore RF è compreso tra 1,8 e 0,5 (cfr. Figura 46).

L'applicazione del metodo di Heuer si basa sul diagramma sperimentale riportato in Figura 47, in cui sono riportati, per differenti campi di valori del rapporto H/D, le portate unitarie in galloni/min / 1000 ft tunnel / ft carico idraulico (in sinistra nel grafico è indicato il fattore di conversione in unità mks).

Le portate sono state calcolate sia utilizzando il fattore di correzione RF della conducibilità idraulica in funzione della profondità, sia senza tenere conto dello stesso, ottenendo in quest'ultimo caso risultati più conservativi (Figura 48 e Figura 49).

I valori di carico idraulico sono stati ricavati dai dati piezometrici riportati sulle stratigrafie dei sondaggi, dove disponibili e significativi. Più frequentemente, dove si riscontra la presenza diffusa di sorgenti in superficie per sfioro della rete piezometrica o soglia di permeabilità, si è considerato, come da modello concettuale, una connessione con la circolazione al livello del piano di scavo, da cui carichi piezometrici prossimi agli spessori di copertura. Tale assunzione è ritenuta accettabile in letteratura per ambiti quali quello in esame (Heuer, 1995) ed è in ogni caso da ritenere accettabile vista la molto maggiore rilevanza dei valori di K_{Lugeon} rispetto alle altezze d'acqua sulle portate calcolate con il metodo semiempirico.

Le portate di calcolo sono in assoluto rilevanti, in relazione allo sviluppo delle opere in galleria, risultando i contributi specifici medi coerenti con quanto osservato per gallerie in contesti litologici e strutturali simili. Il quadro completo delle stime effettuate con il metodo di Heuer per ognuna delle gallerie in progetto (ad eccezione delle gallerie Campursone, Polcevera e Morego per le quali non si prevede significativo drenaggio) è riportato nei grafici da Figura 48 a Figura 56.

Riguardo al margine di approssimazione di tali valutazioni, il metodo di Heuer indica un "Uncertainty factor" = 2 (cfr. diagramma di Figura 47). Fermo restando la reale difficoltà a giungere a valutazioni attendibili e deterministiche, anche in riferimento ad un modello geologico di per sé necessariamente approssimato, si ritiene di aver introdotto già nelle valutazioni stesse elementi di cautelatività, quali in particolare l'ipotesi di una saturazione continua lungo il profilo galleria, altezze d'acqua statiche prossime al piano campagna, applicazione del metodo con e senza il fattore di riduzione RF della conducibilità idraulica con la profondità.

E' tuttavia opportuno specificare che i valori indicati nei grafici rappresentano portate di calcolo. In linea generale, la definizione delle portate di progetto a partire dai valori di calcolo può rendere opportuna l'applicazione di un "fattore di sicurezza", analogamente a quanto previsto per le applicazioni in campo geotecnico, e contenuto nell'ambito dell' "uncertainty factor" previsto dal metodo di Heuer, come indicato dall'Autore. Tale fattore di sicurezza, non significativo per le gallerie in destra Polcevera da realizzarsi prevalentemente con scavo meccanizzato e impermeabilizzazione in avanzamento, può essere invece

valutato per le gallerie nel settore in sinistra del torrente Polcevera, previste con tecnica di scavo tradizionale e drenaggio libero.

Sondaggio	unità litologica	RQD	profondità (m-m da p.c.)	K (m/s) valore di riferimento profilo idrogeo
VV9	CS		88-94	5.62E-8
VV8	SNV (SZ)	30-80%	67-70	2.5E-8
VV8	SNV (SZ)	50-90%	67-70	3.1E-8
SGG9	CS	25-75%	65-70	1,20E-07
SGG9	CS	85-90%	40-45	1,11E-07
VV4	SNV (F)	0	42-45	7.6E-7
VV4	SNV (F)	0	63-66	7.0E-7
VV4	SNV	70%	152-155	3.8E-8
VV5	S		153-156	1,00E-08
VV5	S		165-168	3.6E-8
VV7	CS		67-70	5.6E-7
SGG7	S		17.5-19.0	1.13E-6
SGG6	S		106-115	≈1÷2E-7
SGG5	MB		51.1-56.1	
SGG5	MB		108-112	
VV1	CS	60-70%	51-66	3.2E-7
VV1	CS	70-80%	96-101	3.2E-7
VV1	MG	30-40%	200-205	3.54E-7
VV1	SNV	30-40%	345-350	4.14E-7
VV10	CS		35-41	2.0E-8
VV16	CS		16.5-21.5	1.8E-7
VV16	CS		28.4-34.4	1.6E-7
VV19	CS		34-40	1.10E-7
VV19	CS		52-58	8.1E-8
VB14	RLO	80-95%	69-73	1.5E-7
VB14	RLO	70-75%	139-143	4.9E-7
VB14	RLO	80-85%	177-181	4.06E-7
VB14	RLO	80-85%	223-227	3.5E-7
VB15			19.50-22.0	
VB12	CS	≈90%	217-220	1.4E-8
VB12	CS	70-90%	232-235	1.7E-8
VB11	QPC	50-75%	70-73	2.2E-7
VB8	LRV (AGI?)		182-185	≈8.2E-7
VB8			195-197	6.9E-7
VB7	LRV (AGI?)		247-250	2.4E-6
VB7	LRV (AGI?)		260-263	2.2E-6
VV18	CS		20.50-26.50	-
RO1	CS		28.75-34.75	1.53E-7
RO3	CS		35.90-41.90	1.74E-7

Sondaggio	unità litologica	RQD	profondità (m-m da p.c.)	K (m/s) valore di riferimento profilo idrogeo
RO4	CS		56.0-72.0	1.2E-7
RO4	CS		72.0-78.0	1.5E-7

Tabella 19 - Risultati delle prove di permeabilità Lugeon (settore ovest T.Polcevera).

Sondaggio	unità litologica	RQD	profondità (m-m da p.c.)	K (m/s) valore di riferimento profilo idrogeo
PO1	ROC		40.40-45.50	5,00E-08
PO2	MTE		39.50-42.50	5,00E-08
RE6	ROC	60%	40.00-40.80	8.7E-7 (poco attendibile)
RE6	ROC	60%	53.80-54.60	9.5E-7 (poco attendibile)
RE9	FAN	0-50%	20.50-21.50	≈ 1.5E-6
RE10 (orizz.)	FAN	80%	10.5-11.3	≈ 3.5E-6
RE10 (orizz.)	FAN	35%	40.0-40.80	≈ 3.5E-6
RE11 (orizz.)	FAN	35%	41.0-41.80	≈ 3E-6
RE19	MTE	0%	18.8-19.8	≈ 1.0E-6
MB4	ROC	15%	81.5-84.5	≈ E-8
MB7	ROC	38%	87-90	max ≈ 5E-8
MB7	ROC	19%	100-103	max ≈ 5E-8
MB8	ROC	65%	187-190	2.5E-7
MB8	ROC	50%	200-203	2.2E-7
MB9	ROC	45%	217-220	1.5÷2.5 E-7
MB9	ROC	55%	230-233	4.0E-7
MB11	ROC	32%	200-203	2.9E-7
MB17	ROC	40%	7,80-9,80	
RE02	ROC	95%	24-25	max 8E-8
MB20	ROC		126.55-129.55	
MB20	ROC		140.50-143.50	2.5E-8
MB23	ROC	50%	112.75-115.75	
MB23	ROC	25%	124.60-127.60	8,00E-08
MB24	ROC	55%	37.60-40.00	≈ 4.5E-8
MB26	ROC		122.10-125.10	≈ 1.0E-8
MB26	ROC		141.70-144.70	
MB28	ROC	20%	107.50-110.50	≈ 1.0E-7
MB28	ROC	45%	119.60-122.60	8.5E-8
MB29	ROC		90.75-93.75	3.6E-7
MB29	ROC		103.0-106.0	7.7E-8
MB30	MTE		107.0-110.0	3.25E-7
MB30	MTE		119.80-122.80	1.8E-7
MB31	ROC	25%	67.70-70.70	1.05E-7
MB31	ROC		81.30-84.30	2.2E-8
MB33	ROC		97.15-100.15	≈ 1E-8
MB33	ROC		110.65-113.65	max ≈ 2E-8
RE15	MTE	70%	23.20-24.00	max ≈ 2 E-8

Sondaggio	unità litologica	RQD	profondità (m-m da p.c.)	K (m/s) valore di riferimento profilo idrogeo
RE16	MTE	35%	18.50-20.50	max≈2 E-8
RE02	ROC	95%	24-25	max 8E-8
MS1	ROC		116-120	8,00E-09
MS1	ROC		130.00-133.00	1,00E-08
MS3	FAN	90%	234.50-239.50	8,00E-08
MS3	FAN	90%	249.25-254.15	6.5E-7
RE09	FAN	0-80%	20.50-21.50	≈1E-6
RE23	MTE		70-73	2.0E-6 (dato anomalo)
RE13	ROC	50%	135.00-135.80	2.0E-6 (dato anomalo)
RE13	ROC	60%	146.00-146.80	≈E-5 (dato anomalo)

Tabella 20 - Risultati delle prove di permeabilità Lugeon (settore est T.Polcevera).

lito	K (m/s)			
	media	max	Min	Num
CS	1,57E-07	5,6E-07	1,4E-08	17
FAN	1,89E-06	3,5E-06	8,0E-08	7
LRV	1,53E-06	2,4E-06	8,2E-07	3
MG	3,54E-07	3,54E-07	3,54E-07	1
MTE	3,89E-07	1,0E-6	5,0E-08	6
QPC	2,2E-07	2,2E-07	2,2E-07	1
RLO	3,49E-07	4,9E-07	1,5E-07	4
ROC	1,06E-07	4,0E-07	8,0E-09	25
S	3,44E-07	1,13E-06	1E-08	4
SNV	3,28E-07	7,6E-07	2,5E-08	6

Tabella 21 - Valori di K medi, massimi e minimi ricavati per le differenti unità litologiche sulla base delle prove Lugeon (il campo "num" indica il numero di test disponibili per ogni singola unità).

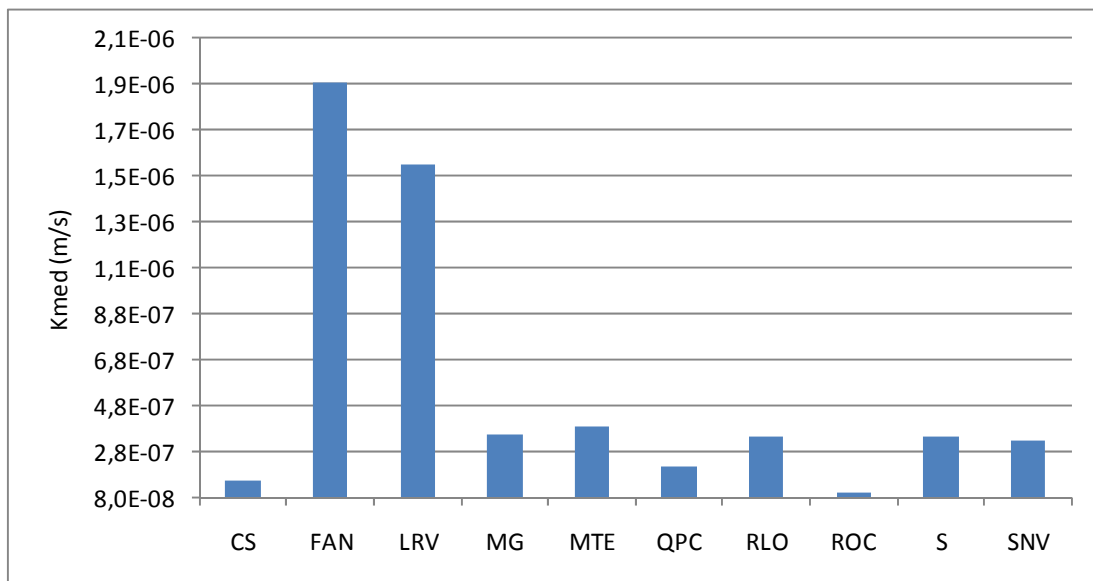


Figura 44 - Valore medio di conducibilità idraulica K sulla base delle prove Lugeon in riferimento alle differenti unità litologiche testate.

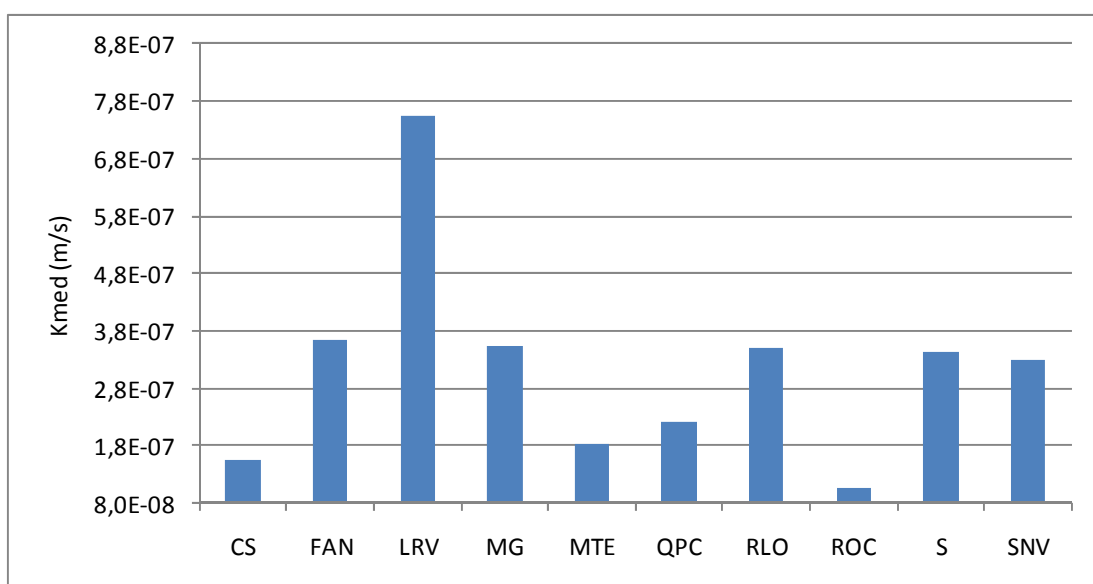


Figura 45 - Valore medio di conducibilità idraulica K sulla base delle prove Lugeon in riferimento alle differenti unità litologiche testate (sono escluse le prove riferite ai settori corticali).

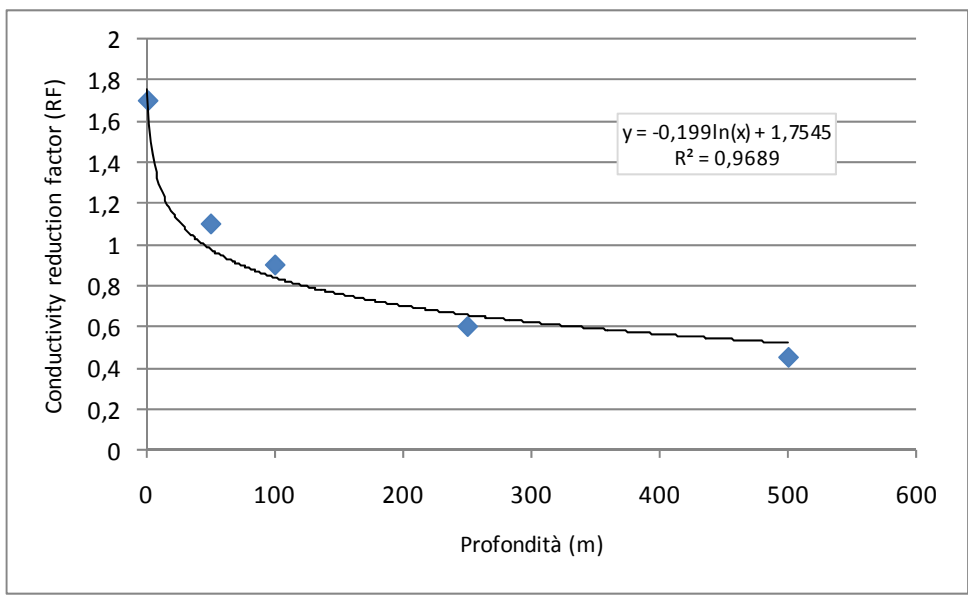


Figura 46 - Fattore teorico di riduzione della conducibilità idraulica per serraggio delle fratture in funzione del carico litostatico.

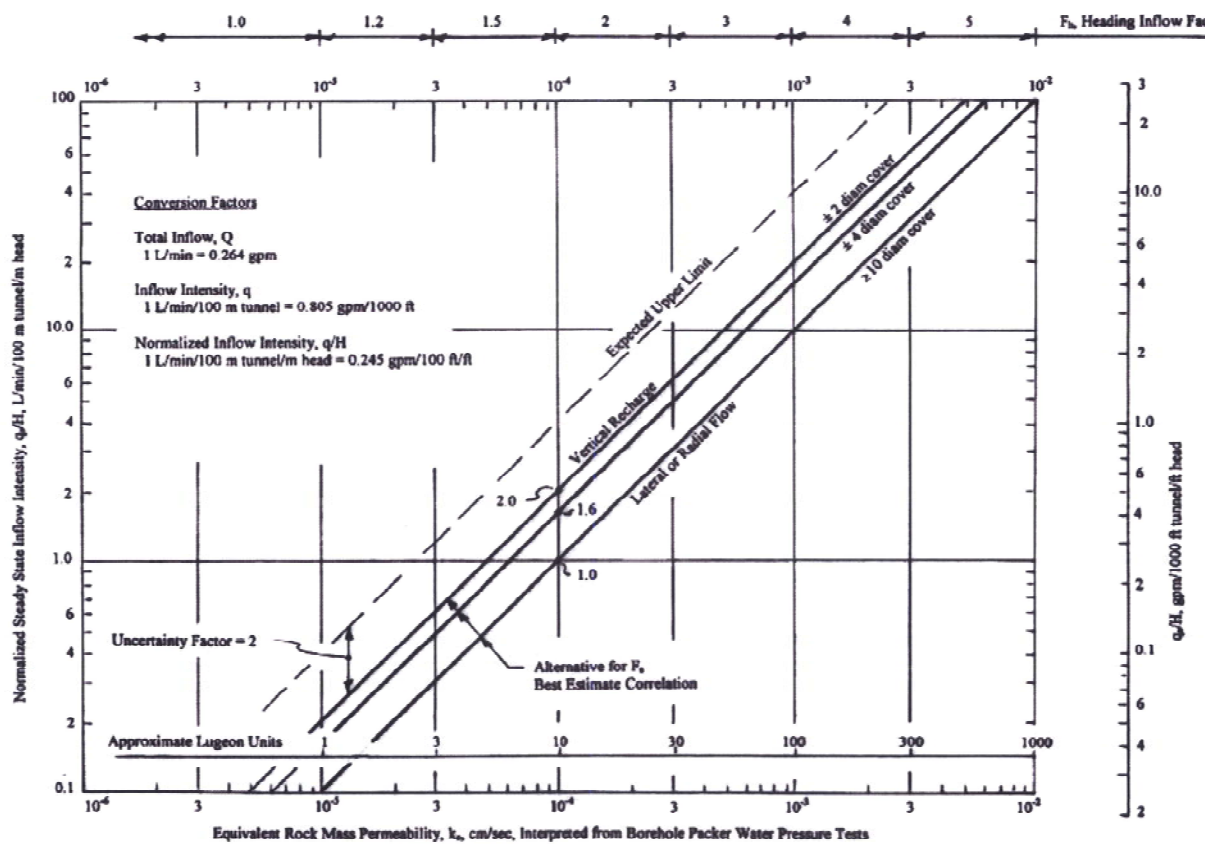


Figura 47 - Corrispondenza tra venute d'acqua stabilizzate dietro al fronte di avanzamento (in l/min/100m tunnel/m carico) e permeabilità del massiccio roccioso (in cm/s) determinata per mezzo di test idraulici (Heuer, 2005).

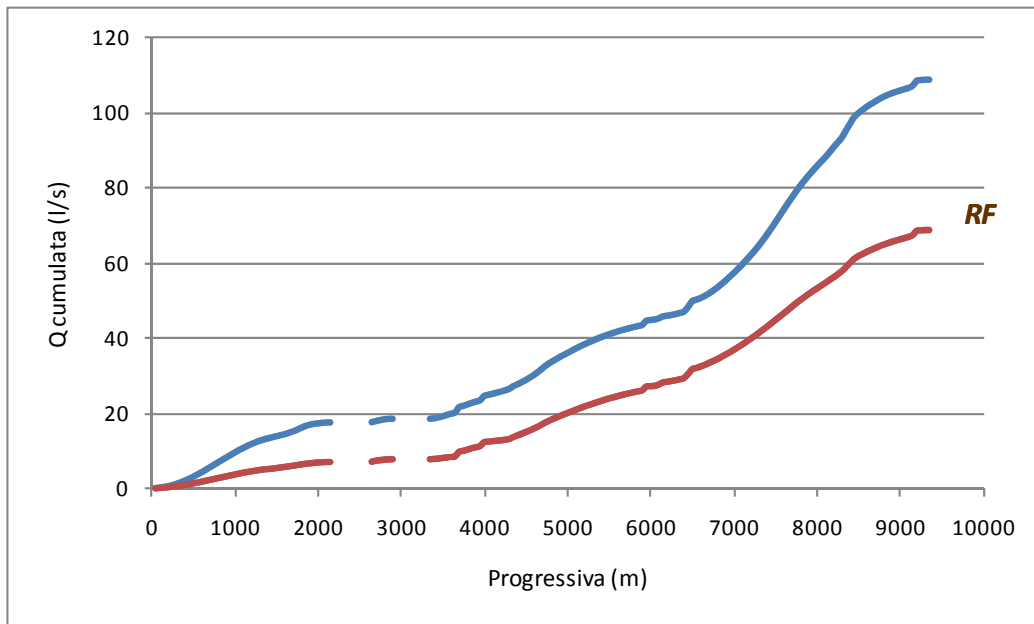
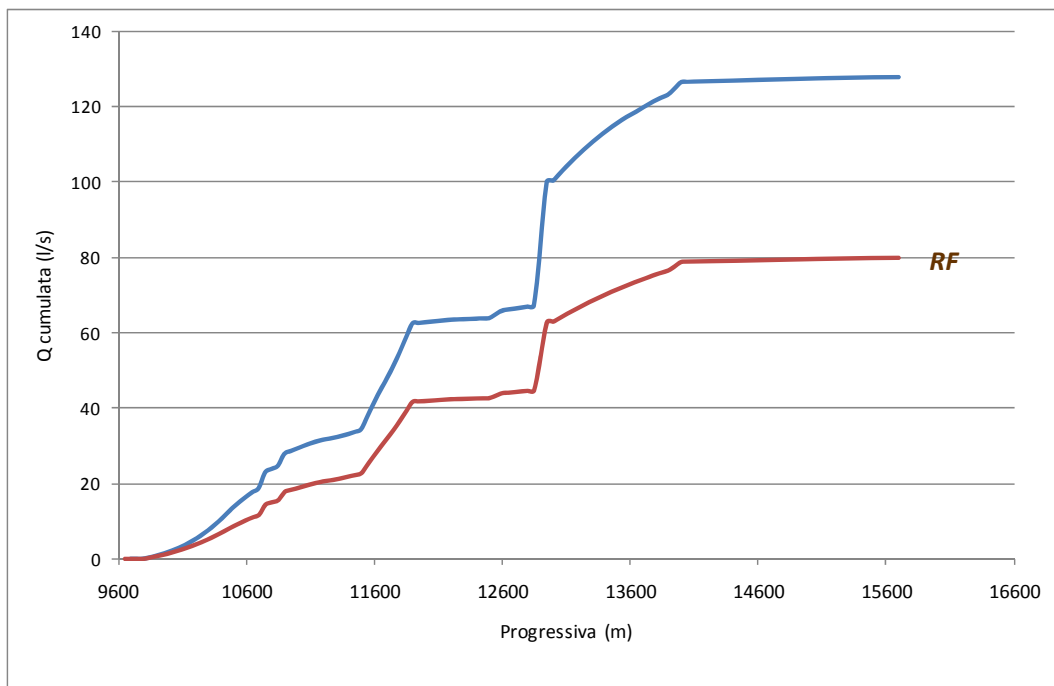


Figura 48 - Gallerie Borgonuovo, Voltri, 3 Amandola: stima delle portate di drenaggio cumulate, in regime stabilizzato, mediante il metodo empirico di Heuer (2005).



Nota: per il settore centrale della galleria Monterosso sono state effettuate stime di maggiore dettaglio mediante l'applicazione di modelli numerici tridimensionali (cfr. cap. 10)

Figura 49 - Galleria Monterosso (ex galleria Borzoli): stima delle portate di drenaggio cumulate, in regime stabilizzato, mediante il metodo empirico di Heuer (2005).

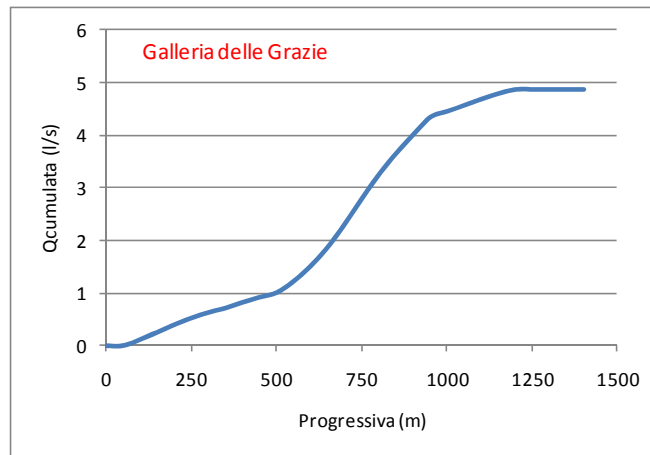
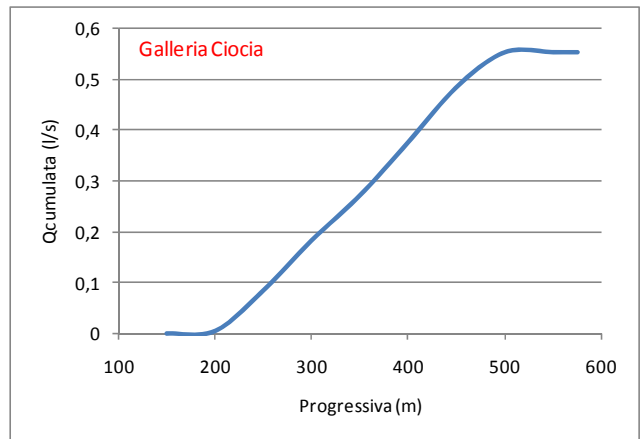
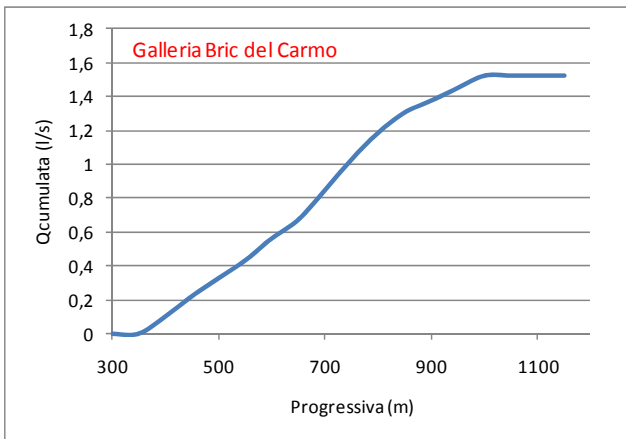


Figura 50 - Gallerie Bric del Carmo, Ciocia, delle Grazie: stima delle portate di drenaggio cumulate, in regime stabilizzato, mediante il metodo empirico di Heuer (2005).

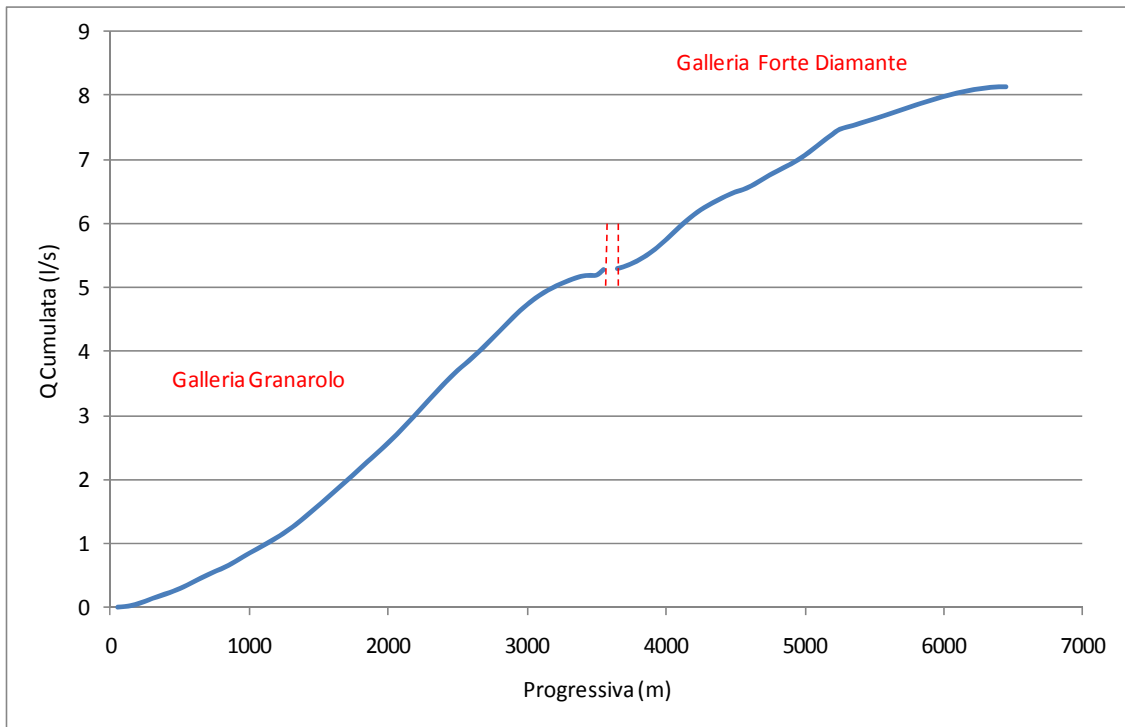


Figura 51 - Settore E Torrente Polcevera, ASSE 3 (galleria Granarolo, galleria Forte Diamante): stima delle portate di drenaggio cumulate, in regime stabilizzato, mediante il metodo empirico di Heuer (2005).

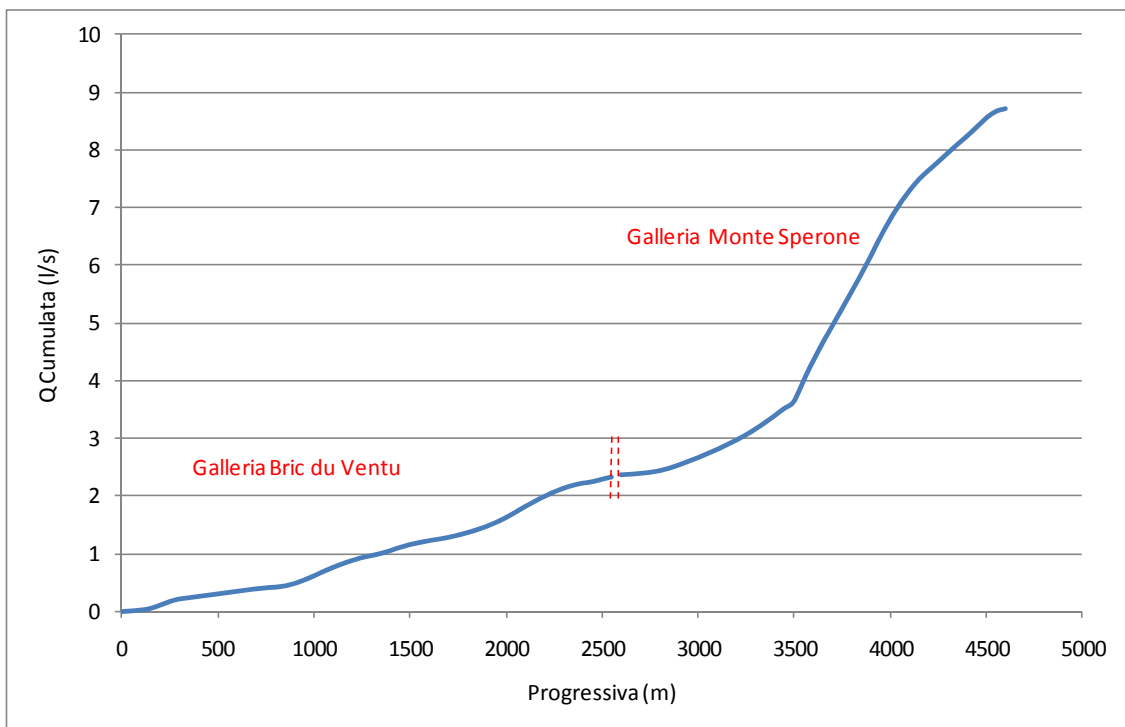


Figura 52 - Settore E Torrente Polcevera, ASSE 4 (galleria Bric du Ventu, galleria Monte Sperone): stima delle portate di drenaggio cumulate, in regime stabilizzato, mediante il metodo empirico di Heuer (2005).

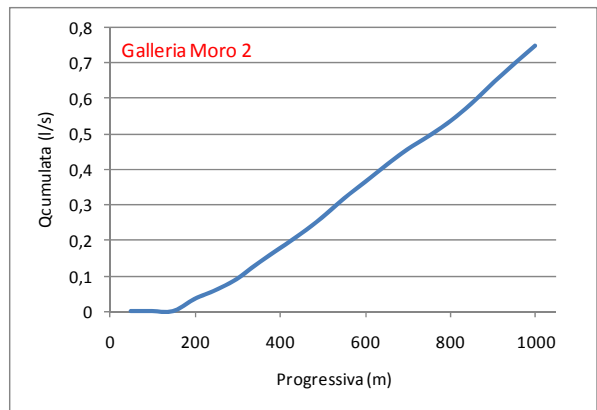
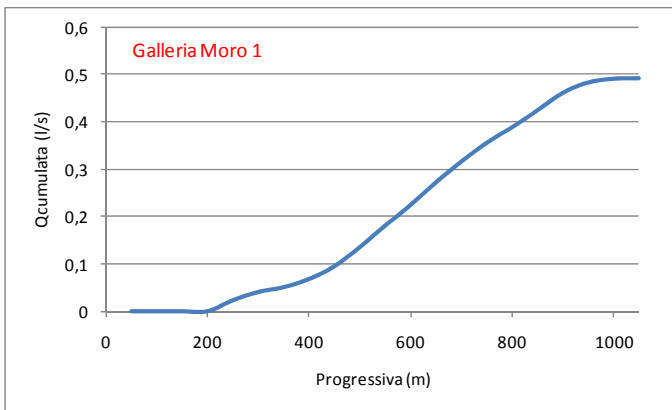


Figura 53 - Settore E Torrente Polcevera, gallerie Moro 1, Moro 2: stima delle portate di drenaggio cumulate, in regime stabilizzato, mediante il metodo empirico di Heuer (2005).

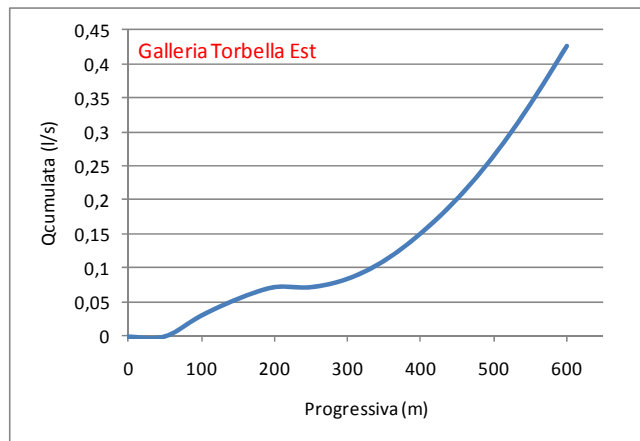
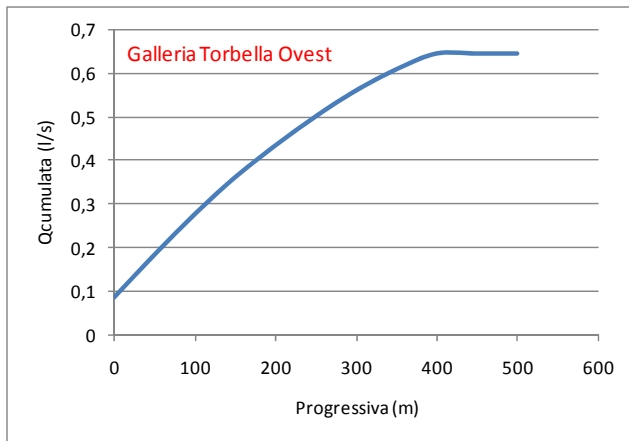


Figura 54 - Settore E Torrente Polcevera, gallerie Torbella Ovest, Torbella Est: stima delle portate di drenaggio cumulate, in regime stabilizzato, mediante il metodo empirico di Heuer (2005).

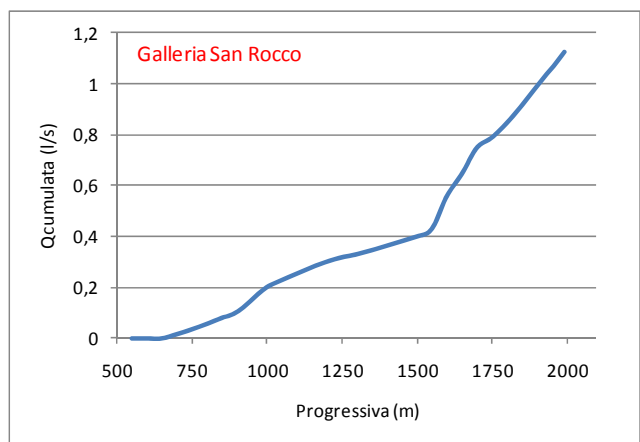
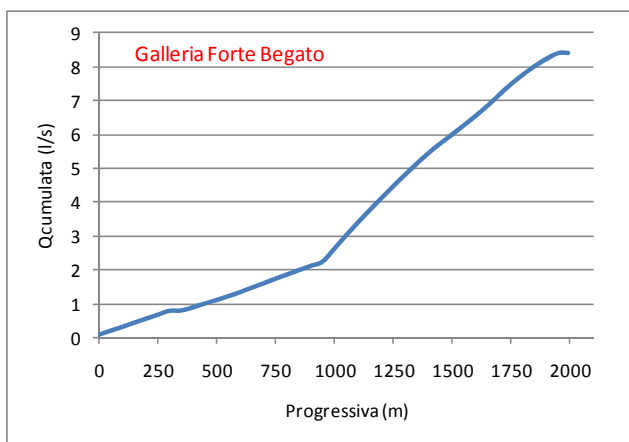


Figura 55 - Settore E Torrente Polcevera, gallerie Forte Begato, San Rocco: stima delle portate di drenaggio cumulate, in regime stabilizzato, mediante il metodo empirico di Heuer (2005).

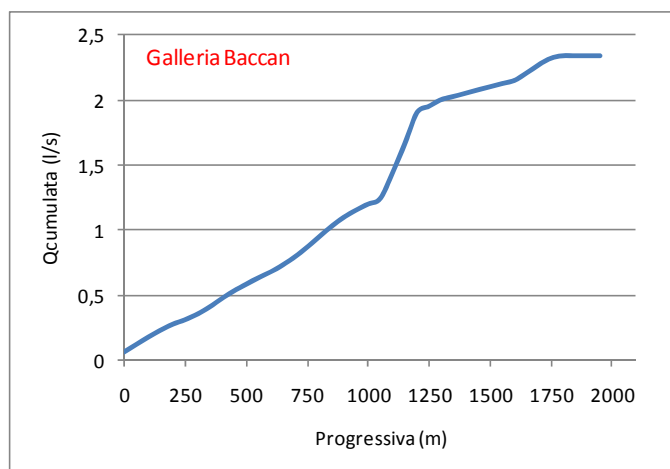


Figura 56 - Settore E Torrente Polcevera, galleria Baccan: stima delle portate di drenaggio cumulate, in regime stabilizzato, mediante il metodo empirico di Heuer (2005).

6.1.2 Approccio analitico

L'afflusso in galleria può essere calcolato con semplici relazioni analitiche, di diretta derivazione dalle comuni formulazioni dell'idraulica sotterranea.

Le metodologie analitiche più utilizzate nell'ambito della progettazione di opere sotterranee sotto battente idrico sono:

- il metodo di Goodman (1965)²;
- il metodo di Jacob & Lohmann (1952)³, approccio in regime transitorio;
- il metodo "del cilindro" (approccio estremamente semplificato in cui la galleria è considerata equivalente a un dreno orizzontale cilindrico)
- il metodo di Herth & Arndts (1973)⁴

Il metodo di Goodman è probabilmente quello di più comune utilizzo per il calcolo del drenaggio in galleria, e fornisce una stima delle portate di attivazione del drenaggio in galleria ("early tunnel inflow rates").

A riguardo, Polubarinova-Kochina (1962)⁵, Goodman (1965), Lei (1999)⁶ e El Tani (1999)⁷ utilizzano diverse formulazioni per derivare la medesima equazione, che approssima l'afflusso per tunnel soggetti ad un carico d'acqua statico (iniziale) molto superiore al raggio del tunnel medesimo.

² Goodman, R.E. (1965): "Ground Water Inflow into a Tunnel Drive". Bulletin of the Association of Engineering Geologists 2(1): 41-56.

³ Tratto da Löw, S. (2002): "Groundwater hydraulics and environmental impacts of tunnel in crystalline rocks". In: Barla, G. & Barla, M. Bologna (eds.): "Le opere in sottterraneo e il rapporto con l'ambiente". 201-218. Patron Editore.

⁴ Herth, W. & Arndts, E. (1973): "Theorie und Praxis der Grundwasserabsenkun.". Berlin, Ernst & Sohn.

⁵ Polubarinova-Kochina, P. Ya (1962): "Theory of Ground Water Movement". Princeton, Princeton University.

⁶ Lei, S. (1999): "An analytical solution for steady state flow into a tunnel". – Ground Water, Vol. 37: 23-26.

⁷ El Tani, M. (1999): "Water inflow into tunnels". World Tunnel Congress – Challenges for the 21st Century.

$$Q = 2\pi \cdot K \frac{\Delta h}{\ln\left(\frac{2 \cdot \Delta h}{r}\right)}$$

In cui:

Q = portata unitaria drenata, per metro lineare di tunnel (m³/s * m),

K = conducibilità idraulica (m/s)

Δh = distanza verticale tra il centro del tunnel e la tavola d'acqua statica (m)

r = raggio del tunnel (m)

Il metodo di Jacob & Lohmann (*"Asymptotic constant head solution"*) costituisce un tentativo di approccio al drenaggio in regime transitorio, valutando il decremento asintotico del carico idraulico in asse galleria con il tempo di drenaggio, in funzione anche del coefficiente di immagazzinamento dinamico:

$$Q(t) = \frac{4\pi \cdot K \cdot L \cdot \Delta h}{2.3 \cdot \log\left(\frac{2.25 \cdot K \cdot L \cdot t}{S \cdot r^2}\right)}$$

In cui:

Q(t) = portata drenata (m³/s), al tempo t

K = conducibilità idraulica (m/s)

L = lunghezza del tratto di galleria in costruzione

Δh = distanza verticale tra il centro del tunnel e la tavola d'acqua statica (m)

S = coefficiente di immagazzinamento dinamico (*"elastic storativity"*, adim.)

r = raggio del tunnel (m)

Le relazioni analitiche, in un mezzo fratturato, possono essere validamente applicate per stime orientative dove si riscontrino condizioni di forte e generale tettonizzazione, ovvero con fratturazione molto spinta o coltri "brecciate" in cui vi siano cioè condizioni prossime all'isotropia del mezzo acquifero.

I risultati dell'applicazione in regime transitorio devono essere sempre considerati con la dovuta cautela, sia per il limite succitato di applicazione in ambiente per sua natura anisotropo dal punto di vista della conducibilità idraulica, sia per l'aleatorietà di norma nel mezzo fratturato della stima del parametro di immagazzinamento S.

Nello studio in esame, l'approccio analitico è stato applicato utilizzando il modello di filtrazione a parametri distribuiti FEFLOW in forma parametrica su sezioni bidimensionali, applicazioni per cui si rimanda al successivo paragrafo 10.4.

I risultati delle simulazioni parametriche hanno mostrato una buona coincidenza con i risultati ottenuti tramite il metodo di Heuer, che è stato dunque preso a riferimento per le valutazioni sul contributo di drenaggio alla scala dell'intero ambito di studio.

6.2 Quadro delle interferenze attese: analisi dei profili idrogeologici

Nel seguito viene riportata una descrizione delle condizioni idrogeologiche e possibili criticità che verranno incontrate in fase di realizzazione delle gallerie, con riferimento a quanto riportato nei profili idrogeologici, Elaborati 309-311.

Nei suddetti elaborati si riportano:

- i risultati delle misure piezometriche in asse gallerie (misure febbraio '11 a seguito del completamento delle indagini);
- i risultati delle prove di permeabilità in foro (permeabilità equivalente K_{Lugeon} , m/s), in correlazione con i valori medi di RQD del tratto di prova;
- osservazioni significative derivanti dalle indagini di superficie e dai sondaggi, quali in particolare la presenza di tratti cataclasati, tratti con $RQD \approx 0$, e la portata di eventuali flussi di risalita in pressione dai sondaggi e piezometri.

Nella fincatura inferiore vengono riportati gli elementi interpretativi, e in particolare:

- i tratti con necessità di cautele in fase di avanzamento per condizioni idrogeologiche sfavorevoli o non compiutamente prevedibili;
- l'indicazione, con riferimento anche al punto precedente, relativa ai tratti con possibilità di venute idriche in avanzamento, per
 - rapido svuotamento di fasce cataclastiche;
 - afflusso in corrispondenza di soglie o limiti di permeabilità;
 - intercettazione di condotti carsici in pressione.

Nel settore inferiore della fincatura vengono riportati i risultati del calcolo della portata di drenaggio valutata con il metodo di Heuer (cfr. precedente par. 6.1.1.2).

La valutazione, come indicato nei profili, riguarda la "portata stabilizzata", ovvero, con riferimento al diagramma di Heuer (cfr. precedente Figura 47) lo "*steady state inflow*". Nel significato dell'idraulica, e nella pratica, si tratta del valore di drenaggio al netto del contributo temporaneo, transitorio e normalmente di breve durata, derivante dallo "svuotamento" delle fasce fratturate intercettate in avanzamento.

Nel caso di gallerie con scavo in tecnica tradizionale e con drenaggio libero, si riscontra sperimentalmente come le portate stabilizzate siano quelle misurate dopo un periodo, in media, dell'ordine di 20-30 giorni dall'attivazione del drenaggio.

Per gallerie scavate con sistemi meccanizzati, dove il rivestimento definitivo è costituito da conci prefabbricati posati immediatamente a tergo del fronte di scavo, e rese pertanto impermeabili e non drenanti già in avanzamento, l'afflusso è prossimo ad un valore nullo.

Nel caso specifico tratti di rivestimento drenante possono essere previsti per limitati sviluppi della galleria, dove è necessario abbattere il carico piezometrico sul rivestimento definitivo.

La valutazione riportata nei profili corrisponde dunque ad una cautelativa condizione di massimo drenaggio teorico.

Dove prevista la realizzazione delle gallerie con scavo meccanizzato, la previsione di "portate stabilizzate" è destinata quindi a ridursi al solo contributo dei tratti drenanti.

E' opportuno inoltre precisare che di norma le gallerie a doppia canna con assi adiacenti sono caratterizzate da un contributo di drenaggio solo di poco superiore a quello relativo alle gallerie a canna singola. Infatti, per scavi in condizioni di interferenza reciproca, la realizzazione di una seconda canna può essere assimilato ad un incremento del raggio equivalente della galleria, che comporta un aumento della portata drenata funzione del logaritmo del raggio equivalente stesso.

Pertanto, nel calcolo idraulico teorico come nella pratica, si riscontra un contributo di drenaggio per gallerie a doppia canna dell'ordine di non oltre il 15-20% superiore a quello relativo al contributo della canna singola⁸. Tale differenza è largamente inferiore al margine di incertezza del calcolo, indicato dal metodo di Heuer (cfr. "uncertainty factor" nel grafico di Heuer in Figura 47), da cui l'assenza nel medesimo metodo di Heuer di una correlazione tra portate drenate e diametro equivalente di scavo.

Pertanto, i valori di drenaggio cumulati indicati nei profili idrogeologici, sono rappresentativi anche del tracciato in galleria a doppia canna, ovvero della somma dei contributi dalle due canne parallele e adiacenti.

6.2.1 Settore ovest T.Polcevera

- Galleria Borgonuovo

Per la galleria Borgonuovo, non sono prevedibili criticità o particolari problematiche idrogeologiche. Dall'applicazione del metodo di Heuer si ricava un drenaggio teorico in regime stabilizzato (ovvero riferito ad una condizione di drenaggio libero come precedentemente specificato) nel campo di 7-17 l/s, a seconda delle differenti assunzioni effettuate, con deflusso verso gli imbocchi Est.

Necessità di cautele in avanzamento si segnalano in corrispondenza dei contatti tra calcescisti CS e litotipi serpentinitici SNV. Tali contatti possono infatti rappresentare soglie di permeabilità, per la conducibilità idraulica localmente maggiore delle serpentiniti stesse, caratterizzate da una fratturazione più pervasiva.

Nello specifico tali cautele sono indicate nel profilo in corrispondenza delle progressive m 1425÷1600, per la presenza di una struttura antiforata con al nucleo le serpentiniti in cui risulterebbe, dal sondaggio VV20, la presenza di acqua in pressione con risalita al p.c..

Tuttavia, ribadendo la necessità di cautela nell'avanzamento in questo specifico settore, si ritiene improbabile, vista l'occorrenza delle serpentiniti in lembi isolati e scarsamente ricaricati, il riscontro di manifestazioni idriche importanti o comunque tali da determinare afflussi temporanei in galleria significativamente superiori ai valori indicati.

- Galleria Voltri

Per la galleria Voltri è valutabile un prevalente sviluppo in assenza di un carico idraulico permanente, con drenaggio limitato a percolazioni dalla superficie. Non si prevedono criticità o particolari problematiche idrogeologiche.

⁸ Tale incremento può essere valutato tramite la formula di Goodman et al., 1965 (da Freeze and Cherry, 1989) cfr. precedente par. 6.1.2.

- Galleria Amandola

Per la galleria Amandola il drenaggio teorico in regime stabilizzato è valutato in complessivi 60-90 l/s, con deflusso verso gli imbocchi ovest.

Necessità di cautele in avanzamento si segnalano per le possibili soglie di permeabilità in corrispondenza dei lembi serpentinitici contenuti entro i calcescisti, tra le progressive 3600-4100 circa, e in particolare nel settore indicato nel profilo intorno alle progressive 3950-4050, dove si riscontra una fascia cataclastica pervasiva, con $RQD \approx 0$. Per tale specifico settore non si ritengono tuttavia probabili rilevanti afflussi, anche temporanei.

Intorno alla progressiva 6100 viene interessato con deboli spessori di copertura il subalveo del rio Branega. Il tratto di attraversamento coincide con una fascia di cataclasiti con $RQD \approx 0$. Tale tratto richiede particolari cautele e idonee soluzioni progettuali per evitare l'afflusso diretto in galleria delle acque di subalveo, ed ogni instabilità in calotta, vista la qualità dell'ammasso roccioso, la saturazione delle cataclasiti e la ridottissima copertura.

Condizioni idrogeologiche sfavorevoli, da indagare in avanzamento, sono previste nel tratto immediatamente successivo, fino alla progressiva 6550 circa, ed in particolare inoltre intorno alle progressive 6375-6525 in cui si riscontrano livelli cataclastici sia in superficie, sia al livello del piano di scavo con risalita di acqua in pressione (sondaggio SGG6). In tale settore è possibile il riscontro di venute idriche improvvise per rapido svuotamento di fasce cataclastiche. La condizione più probabile, in considerazione della ridotta copertura, è quella di drenaggi concentrati con portata anche di alcune decine di l/s, ma con rapido decremento entro i primi giorni, fino alla stabilizzazione sui valori di contributo specifico valutato con il metodo di Heuer per il tratto in esame.

Il successivo tratto, fino alla progressiva 8500 circa, caratterizzato da spessori di copertura più elevati, fino a 300-350 m, è meno conosciuto riguardo le condizioni riscontrabili al livello del piano di scavo, per la difficoltà e aleatorietà nell'extrapolazione dei dati di superficie. Dalla ricostruzione stratigrafica non si evidenziano fasce cataclastiche o discontinuità significative in grado di influire sulle condizioni di drenaggio, da cui le valutazioni riportate sul profilo.

Il tratto successivo, fino agli imbocchi Est, non presenta ulteriori problematiche o condizioni idrogeologiche sfavorevoli.

- Galleria Monterosso

Per la galleria Monterosso è previsto un drenaggio teorico in regime stabilizzato compreso tra 80-140 l/s, con deflusso verso entrambi gli imbocchi ovest ed est.

A partire dagli imbocchi ovest (progressiva m 9600 circa), la galleria si sviluppa fino alla progressiva m 11400 entro calcescisti e serpentini dell'unità tettono-metamorfica di Palmaro-Caffarella. In questo tratto non si riscontrano problematiche o criticità idrogeologiche particolari. Come indicato sul profilo, Necessità di cautele in avanzamento si segnalano in corrispondenza delle soglie di permeabilità al contatto tra lembi serpentinitici e calcescisti.

La presenza delle suddette soglie di permeabilità è evidente nel settore ovest della galleria Monterosso anche per la presenza sistematica in superficie di sorgenti lungo allineamenti al contatto tra Serpentiniti di San Carlo in Cese (RLO) e calcescisti della Val Branega, lungo le linee tettoniche con andamento NNE-SSW.

In tali condizioni sono possibili, in avanzamento dai calcescisti entro le serpentiniti, afflussi concentrati e temporanei di portata anche di alcune decine di l/s, al superamento delle soglie di permeabilità e di eventuali ripetizioni tettoniche. Sulla base del profilo geologico, la condizione suddetta è prevedibile in particolare tra le progressive 10850-10925. Tali afflussi temporanei, sulla base dei modelli parametrici realizzati (cfr. successivo par. 10.4) sono previste in esaurimento esponenziale, con riduzione fino ai valori caratteristici del regime stabilizzato nell'ordine compreso tra pochi giorni e alcune settimane.

Tra le progressive 11500 e 13000 circa la galleria si sviluppa in un tratto nel quale sono riscontrabili criticità idrogeologiche rilevanti, connesse alla presenza di fasce carbonatiche carsificate e forte tettonizzazione in corrispondenza delle discontinuità strutturali connesse alla linea Sestri-Voltaggio.

Per tale tratto viene indicata sul profilo la necessità di indagini geognostiche in avanzamento, in quanto le discontinuità, caratterizzate da ripetizioni tettoniche in sequenza non sono totalmente e compiutamente localizzabili sulla base delle indagini di superficie.

Più in dettaglio, nell'ambito della fascia suddetta si riscontrano le seguenti condizioni:

- tra le progressive 11500-11750 circa la galleria interessa l'unità delle Dolomie di Monte Gazzo, fascia con andamento N-S costituita da litotipi carbonatici, principalmente dolomie e calcari dolomitici, con brecce intraformazionali, strati di calcari marnosi, localmente con caratteri di breccia dolomitica vacuolare di origine evidentemente tettonica, localmente interessata da fenomeni carsici piuttosto consistenti. L'intercettazione di condotti carsici in pressione non può essere esclusa nel tratto specifico sulla base del quadro geognostico attuale, e pertanto l'intera fascia dovrà essere indagata con sondaggi dal fronte di avanzamento, considerata la possibilità di afflussi concentrati per svuotamento rapido dei condotti stessi;
- tra le progressive 11750-11900 circa vengono intercettate fasce cataclastiche e livelli intensamente tettonizzati, in alternanza a fasce più integre, per cui non possono essere esclusi, seppure non ritenuti probabili svuotamenti rapidi e di breve durata;
- intorno alla progressiva 12200, entro l'unità degli scisti filladici di Monte Larvego (LRV), dal sondaggio VB8 si è evidenziata una fascia di estensione non inferiore a 50 m di materiali fortemente disgregati, con frequenti o talora prevalenti livelli con RQD=0, saturi con livelli idrici prossimi al piano di campagna; tale fascia è stata oggetto di specifiche indagini con prove di emungimento di lunga durata, e approfondimenti valutativi mediante l'applicazione di modelli numerici FEM (cfr. par. 10.2). Con riferimento a quanto riportato nella Figura 77, per tale tratto potranno riscontrarsi afflussi temporanei elevati, dell'ordine anche del centinaio di l/s, con rapida riduzione, e successiva stabilizzazione su valori inferiori a 20 l/s;
- tra le progressive 12650-12970, viene interessata una fascia di serpentiniti con livelli frantumati clastici, e livelli salienti oltre il p.c. (sondaggio VB7 bis); anche questo settore è stato oggetto di specifiche indagini con prove di emungimento di lunga durata, e approfondimenti valutativi mediante l'applicazione di modelli numerici FEM (cfr. successivo par. 10.3). Con riferimento alla Figura 86 e Figura 87, per tale tratto sono previste portate di attivazione anche molto elevate, oltre i 100 l/s, in rapido decremento e con stabilizzazione in un campo di portate valutato in $20 \div 70$ l/s.
- tra le progressive 12970-13950 circa vengono interessate dagli scavi le metabasiti dell'unità di Monte Figogna. Per tale settore non vi è disponibilità di indagini dirette, in relazione agli elevati spessori di

copertura. Non sono evidenziati settori di particolare disturbo tettonico. Tuttavia la posizione strutturale di tale unità porta a ritenere probabile la presenza locale di fasce più fratturate, difficilmente localizzabili lungo il profilo, soggette a svuotamento rapido nella fase di avanzamento degli scavi.

- tra le progressive 13950-14070 circa viene interessata una nuova fascia carbonatica ("Calcari di Erzelli"), in cui l'intercettazione di condotti carsici in pressione non può essere esclusa sulla base del quadro geognostico attuale. Pertanto l'intera fascia dovrà essere indagata con sondaggi dal fronte di avanzamento, considerata la possibilità di afflussi concentrati per svuotamento rapido dei condotti stessi;
- tra le progressive 14070 e gli imbocchi Est, la galleria si sviluppa entro argilloscisti dell'unità di Monte Figogna; in tutto questo tratto non è prevedibile alcuna problematica o criticità idrogeologica.
- Gallerie Bric del Carmo, Ciocia, Delle Grazie

Si tratta di gallerie di breve sviluppo e con spessori limitati spessori di copertura (massimo 140 m circa). Non sono previste problematiche o criticità idrogeologiche. Svuotamento rapido di fasce cataclastiche, con portate tuttavia modeste e tempi di esaurimento brevi, visti i ridotti carichi d'acqua, sono prospettabili unicamente per il settore centrale della galleria delle Grazie, in corrispondenza di alternanze lungo linee di faglia di calcescisti e serpentiniti-metabasiti.

6.2.2 Settore est T.Polcevera

- Galleria Granarolo

La galleria si sviluppa interamente entro l'unità torbiditica di Ronco, costituita da areniti fini con frequenti livelli marnoso argillosi, nel complesso caratterizzata da una conducibilità idraulica molto bassa per fratturazione. Non sono prevedibili criticità idrogeologiche o anche significativi afflussi temporanei in corrispondenza di discontinuità strutturali.

- Galleria Forte Diamante

Si tratta di una galleria con caratteristiche simili alla precedente, per litotipi interessati dagli scavi e altezze di copertura. La galleria interessa infatti per circa 2 km, fino alla progressiva 3650 circa, la medesima unità di Ronco, debolmente acquifera, con bassi contributi di drenaggio. A progressive superiori la galleria interessa invece le Argilliti di Montanesi, pressoché impermeabili. La possibilità di drenaggi concentrati, peraltro di ordine di grandezza di alcuni l/s all'attivazione e rapido decremento, è prevedibile in prossimità del contatto tra l'unità di Ronco e le argilliti, che costituisce una soglia di permeabilità. Svuotamento di fasce fratturate potrà inoltre aver luogo all'intercettazione delle faglie con maggiore rigetto (intorno alla progressiva 5300) e su cui si imposta la rete idrografica minore, come indicato sul profilo. L'entità degli afflussi è anche qui da ritenersi molto contenuta, dell'ordine di alcuni l/s in rapida riduzione ed esaurimento.

- Galleria Bric du Vento

La galleria Bric du Vento interessa fino alla progressiva 600 m circa l'unità delle argilliti di Montanesi, con contributi di drenaggio trascurabili. Nel tratto dalla progressiva 600 m circa a fine galleria viene interessata l'unità di Ronco, debolmente acquifera, con bassi contributi di drenaggio. Non sono prevedibili criticità o

problematiche idrogeologiche particolari. Deboli venute concentrate in avanzamento, dell'ordine di alcuni l/s e con rapido decremento/esaurimento della portata potranno riguardare il contatto tra argilliti di Montanesi e unità di Ronco, che costituisce un limite di permeabilità, intorno alla progressiva 600-650. Svuotamento di fasce fratturate potrà inoltre aver luogo all'intercettazione delle faglie con maggiore rigetto (intorno alla progressiva 850), con entità degli afflussi anche in questo caso molto contenuto, dell'ordine di alcuni l/s in rapida riduzione ed esaurimento.

- Galleria Monte Sperone

La galleria Monte Sperone interessa fino alla progressiva 3300 circa l'unità di Ronco, debolmente acquifera, con basso contributo di drenaggio e in assenza di potenziali problematiche o criticità idrogeologiche.

A partire dalla progressiva 3300-3350 circa, verrà interessato il contatto con l'unità carbonatica del Monte Antola. Entro quest'ultima unità litologica, la conducibilità idraulica in frattura può risultare localmente aumentata da fenomeni chimico-dissolutivi. Pertanto il settore di contatto costituisce un limite di permeabilità relativo, in cui potranno essere riscontrati afflussi concentrati.

L'entità di tali afflussi concentrati è difficilmente prevedibile sulla base di modelli teorici, come in generale per i settori interessati da carsismo in cui non sono applicabili le relazioni valide per i moti di filtrazione. Tuttavia non sono attesi afflussi di particolare rilevanza anche in avanzamento, tenuto conto la pervasività dei fenomeni carsici nell'unità dell'Antola, limitata dai livelli e dalle intercalazioni marnose, sia per esperienza diretta dalla limitrofa galleria Monte Sperone esistente, che interessa il medesimo contatto.

Anche per tale tratto non sono attesi pertanto afflussi concentrati in avanzamento superiori all'ordine di qualche decina di l/s, in rapido decremento sui valori di equilibrio valutati con il metodo di Heuer.

Tuttavia, vista la non localizzabilità e caratterizzabilità dei vuoti carsici sulla base dei rilievi geologici di superficie o anche delle indagini geognostiche puntuali, è opportuna l'indagine in avanzamento a partire dal suddetto contatto, estesa almeno a tutto il tratto di maggiore copertura della galleria, come indicato nel profilo idrogeologico.

- Gallerie Campursone, Polcevera, Morego, Campursone

Le gallerie Polcevera e Morego, caratterizzate da breve sviluppo e bassi spessori di copertura si sviluppano interamente entro l'unità delle argilliti di Montanesi, caratterizzata da contributi di drenaggio trascurabili. La galleria Campursone interessa un lembo limitato entro l'unità carbonatica di Monte Antola, in assenza di falda o saturazione permanente. Per le tre gallerie citate non sono previsti contributi di drenaggio significativi.

- Galleria Forte Begato

La galleria Forte Begato presenta caratteristiche e problematiche idrogeologiche analoghe a quelle della galleria Monte Sperone.

Fino alla progressiva 1100 m circa il tracciato entro l'unità di Ronco sarà caratterizzato da deboli contributi di drenaggio e afflussi concentrati temporanei.

A partire dalla progressiva 1100 circa, verrà interessato il contatto con l'unità carbonatica del Monte Antola. Entro quest'ultima unità litologica, la conducibilità idraulica in frattura, come specificato, può risultare localmente aumentata da fenomeni chimico-dissolutivi. Pertanto il settore di contatto costituisce un limite di permeabilità relativo, in cui potranno essere riscontrati afflussi concentrati.

A riguardo valgono le medesime considerazioni, da cui la necessità di cautele in fase di avanzamento riportate sul profilo idrogeologico, già precedentemente indicate per la galleria Monte Sperone (con riferimento al tratto dalla progressiva 3350 circa a fine galleria).

- Galleria Baccan

La galleria Baccan presenta caratteristiche idrogeologiche analoghe a quelle della limitrofa Galleria Forte Diamante. La galleria interessa fino alla progressiva 1300-1350 m circa l'unità di Ronco, debolmente acquifera, con bassi contributi di drenaggio. A progressive superiori la galleria interessa invece le Argilliti di Montanesi, pressoché impermeabili. La possibilità di drenaggi concentrati, peraltro di ordine di grandezza di alcuni l/s all'attivazione e rapido decremento, è prevedibile in prossimità del contatto tra l'unità di Ronco e le argilliti, che costituisce una soglia di permeabilità. Svuotamento di fasce fratturate potrà inoltre aver luogo all'intercettazione delle faglie con maggiore rigetto (intorno alle progressive 1100-1150) e su cui si imposta la rete idrografica minore, come indicato sul profilo. L'entità degli afflussi è anche qui da ritenersi molto contenuta, dell'ordine di alcuni l/s in rapida riduzione ed esaurimento.

- Galleria San Rocco

La galleria San Rocco si sviluppa quasi interamente (fino alla progressiva 1450 circa) entro l'unità delle argilliti di Montanesi, pressoché impermeabile. A progressive superiori (fino a fine tratta progr. 1992) viene interessata l'unità di Ronco, debolmente acquifera, con bassi contributi di drenaggio. Come per le gallerie Baccan e Forte Diamante, La possibilità di drenaggi concentrati, peraltro di ordine di grandezza di alcuni l/s all'attivazione e rapido decremento, è prevedibile in prossimità del contatto tra l'unità di Ronco e le argilliti, che costituisce una soglia di permeabilità. Svuotamento di fasce fratturate potrà inoltre aver luogo all'intercettazione delle faglie con maggiore rigetto (intorno alle progressive 1600-1700) e su cui si imposta la rete idrografica minore, come indicato sul profilo. L'entità degli afflussi è anche qui da ritenersi molto contenuta, dell'ordine di alcuni l/s in rapida riduzione ed esaurimento.

- Gallerie Moro 1, Moro 2

- Gallerie Torbella Est, Torbella Ovest

Le gallerie Moro 1, Moro 2, e le gallerie Torbella Est, Torbella Ovest, si sviluppano entro l'unità di Ronco, debolmente acquifera, con bassi contributi di drenaggio. Non si riscontrano problematiche o criticità idrogeologiche. Non sono previsti afflussi concentrati in fase di avanzamento.

7. ANALISI DEGLI IMPATTI SULLA RISORSA IDRICA SOTTERRANEA E SUPERFICIALE

7.1 Approccio metodologico

Il rischio di interferenza sulla risorsa idrica indotto dalla realizzazione di un'opera in galleria può normalmente essere espresso, a partire dagli studi idrogeologici e dalle applicazioni di modelli, in termini per lo più probabilistici. Solo in presenza di indicazioni univoche sono possibili formulazioni deterministiche del giudizio di rischio, ovvero tali da consentire di escludere l'impatto o viceversa il non impatto dell'opera su una specifica sorgente o pozzo di captazione.

Il carattere probabilistico delle valutazioni si riflette sulla tipologia di giudizio di norma adottato nelle cartografie del rischio redatte in fase di progettazione, dove l'interferenza viene di norma espressa in scala crescente nel campo da "molto bassa" a "moderata", "elevata", "molto elevata", ecc..

In tal senso, sono stati recentemente messi a punto indici quantitativi per la valutazione del rischio di depauperamento delle risorse idriche (cfr. par. 7.2.2). Tali indici si basano sull'analisi quantitativa e parametrica delle diverse variabili predisponenti l'impatto con le opere in galleria (es. distanza dall'opera, altezze di copertura, intercettazione con di sistemi di faglie idroconduttrici, ecc.) e sulla combinazione secondo un sistema di "pesi" a definire un "punteggio" per ogni captazione, indicativo del rischio di depauperamento.

Tali metodologie hanno il grande pregio di consentire una valutazione secondo criteri oggettivi, portando peraltro unicamente, attraverso il sistema dei "punteggi" ad una "graduatoria" che esprime ancora in termini relativi la probabilità che tale interferenza abbia luogo.

L'applicazione di modelli numerici, consente di integrare le valutazioni secondo un approccio anch'esso obbligatoriamente probabilistico, per la grande incertezza della parametrizzazione profonda in acquiferi fratturati eterogenei, che rende necessaria l'effettuazione quanto meno di simulazioni parametriche, ovvero basate su soluzioni rispondenti al campo di variabilità possibile dei parametri di input.

Tale approccio necessariamente "probabilistico" contrasta di norma con la necessità di offrire risposte "certe", ovvero "deterministiche", a supporto dell'effettiva valutazione delle risorse a rischio, con particolare riferimento alle fonti acquedottistiche primarie, e delle relative proposte operative di reintegro delle risorse stesse.

Conseguentemente, la valutazione del rischio di depauperamento non può essere effettuata esclusivamente sulla base di un rischio inteso come "probabilità" di interferenza, ma anche in cautelativo riferimento all'uso attuato, in progetto o potenziale della singola risorsa. Quanto sopra per evitare di porre l'attenzione (in termini di monitoraggio e piano delle risorse alternative) su fonti a maggior rischio, ma francamente di scarso interesse per l'uso attuato o attuabile della risorsa, non tenendo in considerazione risorse con probabilità di impatto anche largamente inferiori ma di valenza strategica.

In conseguenza, come da pratica comune in questo tipo di studi, l'attribuzione di un "rischio di depauperamento" è stata effettuata per ogni punto d'acqua a partire dalla sovrapposizione degli elementi interpretativi di tipo tecnico-idrogeologico a quelli "oggettivi" riferiti alla rilevanza strategica della risorsa (uso attuato, potenziale, presenza o assenza di risorse sostitutive in loco, rilevanza complessiva nel sistema di approvvigionamento locale).

Ne deriva una procedura operativa distinta nelle seguenti fasi:

- a - definizione per tutte le sorgenti di un indice di vulnerabilità "a punteggio", sulla base di metodi probabilistici di analisi delle variabili predisponenti l'impatto con le opere in sotterraneo;
- b - affinamento della valutazione per singoli punti rilevanti, sulla base anche, dove significative, delle simulazioni con modelli di flusso;
- c - valutazione di un "indice d'uso" in funzione della rilevanza del punto d'acqua nel sistema acquedottistico locale;

d - definizione di un “indice di rischio definitivo” sulla base dell’indice di vulnerabilità “a punteggio” e dell’ “indice d’uso”.

Tale procedura è coerente con le usuali metodologie internazionali di valutazione in campo ambientale, dove il rischio R si considera dipendente dalla pericolosità H (“hazard”) ovvero probabilità che un fenomeno abbia luogo e dal valore esposto V, secondo una relazione del tipo:

$$R = H \times V$$

Tale procedura consente, nella fase di definizione delle risorse alternative, di calibrare le azioni sulla base dello specifico “valore esposto”, ovvero della rilevanza nel sistema di approvvigionamento locale pubblico e privato.

7.2 Valutazione di un indice quantitativo di rischio

7.2.1 Sorgenti

7.2.1.1 *Metodologia utilizzata*

Tra le metodologie disponibili in letteratura per la valutazione del rischio di depauperamento delle sorgenti causato dallo scavo delle gallerie naturali, è stato applicato l’approccio seguito dal metodo DHI (Drawdown Hazard Index)⁹, che considera le seguenti variabili:

- frequenza di fratturazione;
- permeabilità del massiccio;
- spessore della copertura;
- ampiezza della zona plastica;
- distanza dal tunnel;
- intersezione con zone di faglia o carsiche;
- tipo di sorgente;
- effetto topografico.

Tale approccio, comprendendo un vasto ed esaustivo ventaglio di fattori che possono determinare il rischio isterilimento di una sorgente, è stato ritenuto valido e applicabile al contesto in esame.

In ambito alpino, tale metodologia è stata recentemente applicata per la valutazione del rischio per le sorgenti connesso alla realizzazione della linea ferroviaria ad Alta Capacità Torino-Lione, in cui, con particolare riferimento alle gallerie di accesso verso il Tunnel di Base, vengono specificamente interessati acquiferi metamorfici fratturati a bassa permeabilità, e specificamente anche estesi settori entro complessi ofiolitici, calcescisti e scisti carbonatici, condizione che presenta pertanto similitudini con quanto riscontrabile per larga parte delle gallerie del tratto autostradale oggetto delle valutazioni.

Le metodologie di analisi basate sulla sovrapposizione delle variabili predisponenti l’interferenza con le gallerie in progetto, consentono, come precedentemente citato, una valutazione con criteri oggettivi ed univoci della probabilità di isterilimento, e possono pertanto risultare molto utili per valutazioni riferite, in particolare, ad un elevato numero di punti d’acqua in condizioni di possibile interferenza con la medesima galleria.

⁹ Dematteis A., Kalamaras G., Eusebio A.: “A system approach for evaluating springs drawdown due to tunneling”, International Tunnelling Association, 2001 World Tunnel Congress, Milano 11-13 giugno 2001. Atti, Vol.1, Session 1-4.

Peraltro, proprio per le approssimazioni e “standardizzazioni” dei parametri su cui si basa la metodologia, l’applicazione deve essere intesa come un primo step valutativo su cui impostare l’effettiva analisi di rischio attraverso le attività precedentemente descritte (cfr. par. 7.1 punti a-d).

I singoli coefficienti attribuiti dal metodo alle variabili predisponenti l’impatto con le opere in galleria sono riportati nello schema di Figura 57.

I “pesi” attribuiti alle singole variabili, per la definizione dell’valore DHI sono espressi dalla seguente relazione, indicata dagli Autori sulla base di un campione significativo di osservazioni relative all’interferenza indotta dalle gallerie sul sistema delle sorgenti:

$$DHI = (41*FF + 22*MK + 17*OV + 20*PZ) * (IF + 1) * (ST + 1) * (DT + 1)$$

L’indice DHI per ogni singola sorgente viene espresso come rapporto tra il valore effettivo ricavato dalla [5] ed il valore massimo:

$$DHI_{Index} = DHI / DHI_{max} (0,045 \div 1)$$

VARIABILI DEL SISTEMA								
Distanza di Tunnel	Intersezione con Faglie maggiori	Tipo di Sorgente	Effetto Topografico	Frequenza di Fratturazione	Permeabilità del Massiccio	Spessore della copertura	Ampiezza della Zona Plastica	
DT	IF	TS	ET	FF	MK	OV	PZ	
Massimo teorico	1,9	2	2	2	1	0,9	0,9	1
DEFINIZIONE DEI VALORI DELLE VARIABILI	Dist Ass < 200m = 1,9	intersezione con faglie che tagliano la galleria = 2	sorgente profonda (alimentata dal substrato roccioso) = 2	variabile tra 1 e 2, cfr. tabella nel testo	faglie principali e/o zone di fratturazione = 1	permeabilità molto alta = 0,9 (Form.: 1)	copertura < 50m = 0,9	zona plastica > diametro galleria = 1
	200m < Dist Ass < 500m = 1,5	nessuna intersezione = 1	sorgente mista = 1,5		faglie minori = 0,8	permeabilità alta = 0,75 (Form.: Q. 3)	50m < copertura < 100m = 0,5	zona plastica < diametro galleria = 0
	500m < Dist Ass < 1000m = 1,2		sorgente superficiale (alimentata da depositi quaternari) = 1		assenza = 0,1	permeabilità medio alta = 0,625 (Form.: 4b)	100m < copertura < 500m = 0,2	
	1000m < Dist Ass < 5000m = 1,1					permeabilità media = 0,5 (Form.: 2, 4a, 6b)	copertura > 500m = 0,1	
	Dist Ass > 5000m = 0					permeabilità bassa = 0,2 (Form.: 5, 6, 7, 8b)		
					permeabilità da bassa a molto bassa = 0,1 (Form.: 8a)			

Figura 57 - Indice di isterilimento (“Drawdown Hazard Index”): Schema di valutazione delle variabili di riferimento.

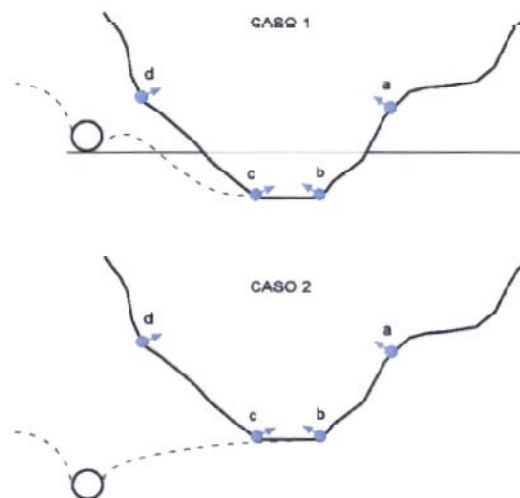


Figura 58 - Esempificazione dei casi per la valutazione dell'effetto topografico.

7.2.1.2 Risultati

I risultati del calcolo relativo all'indice di isterilimento, ovvero della probabilità di interferenza con le opere in progetto, sono rappresentati nella successiva Figura 61, ed in maggior dettaglio nell'elaborato cartografico IDR0305.

Come precedentemente sottolineato l'indice DHI può variare nel campo $0,045 \div 1$.

Nel caso specifico sono stati calcolati valori fino a 0,57.

Come riportato nel diagramma di Figura 59 La condizione locale di più elevata probabilità di isterilimento ($DHI > 0,4$) riguarda 49 sorgenti, localizzate unicamente nel settore in destra T.Polcevera, per interferenza con le gallerie Borgonuovo (4), Amandola (21), Monterosso (22), oltre che per interferenza diretta con tratto a cielo aperto in corrispondenza dell'interconnessione con l'A10 (1).

La valutazione è cautelativa in quanto si riferisce alla condizione di drenaggio libero delle gallerie. Nella fase post-operam i valori del drenaggio stesso risulteranno fortemente contenuti dall'anello dei conci.

7.2.2 Pozzi

7.2.2.1 Metodologia utilizzata

Per i pozzi censiti nell'area, la stima della vulnerabilità nei confronti delle opere in progetto è stata eseguita esclusivamente sulla base di valutazioni idrogeologiche relative all'acquifero captato, approccio ritenuto più attendibile, nello specifico caso, rispetto all'analisi per indici quantitativi (come nel caso delle sorgenti - cfr. precedente 7.2.1.1).

In particolare si è giudicata la probabilità di interferenza e isterilimento dei pozzi sulla base delle condizioni nel seguito riportate.

- "Nulla".

Si è ritenuto di escludere qualsiasi rischio di interferenza per captazioni alimentate da circolazione superficiale, e in particolare:

- dove è intercettata esclusivamente la falda alluvionale di fondovalle dei corsi d'acqua principali, indipendentemente dalla profondità del pozzo;
- per i "pozzi cisterna" di largo diametro e bassa profondità (<5-6 m), intercettanti esclusivamente la circolazione di versante nei corpi detritici superficiali.

- "Molto bassa, bassa".

- pozzi intercettanti circolazione superficiale nell'acquifero fratturato, a distanza >2000 m dall'asse gallerie;

- "Moderata".

- pozzi intercettanti circolazione intermedia o profonda entro l'acquifero fratturato (o comunque cautelativamente considerata tale in carenza di dati per una idonea caratterizzazione), a distanza 1000÷2000 m dall'asse gallerie, non localizzati lungo strutture tettoniche evidenti o comunque intercettate dalle gallerie.

- "Elevata".

- pozzi intercettanti circolazione intermedia o profonda entro l'acquifero fratturato (o comunque cautelativamente considerata tale in carenza di dati per una idonea caratterizzazione), a distanza 500÷1000 m dall'asse gallerie, localizzati lungo strutture tettoniche intercettate dalle gallerie.

7.2.2.2 Risultati

I risultati della valutazione di vulnerabilità dei pozzi per interferenza con le gallerie in progetto sono rappresentati nella successiva Figura 62. .

Dei 43 pozzi censiti la grande maggioranza ricade nella categoria a rischio nullo o molto basso (37). La condizione di rischio "elevato" riguarda 2 pozzi (di cui 1 cautelativamente attribuito a tale categoria per l'impossibilità di acquisire elementi di caratterizzazione della circolazione intercettata).

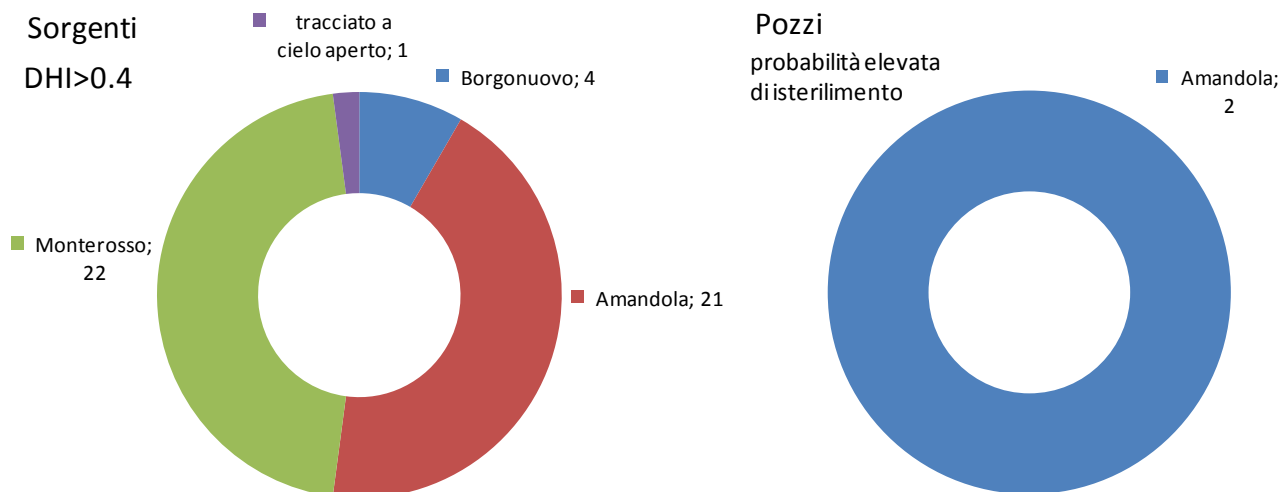


Figura 59 - Numero di sorgenti e pozzi probabilità di a rischio di isterilimento elevato e relativa opera interferente

7.3 Elaborazione del profilo definitivo del rischio di impatto relativo alle sorgenti ed ai pozzi presenti lungo il tracciato delle opere in progetto

Per la valutazione del rischio di impatto ($R = H \times V$) a partire dalla probabilità di interferenza (H), sono state considerate le categorie di "valore esposto" (V) riportate nella successiva Tabella 22.

Le suddette categorie corrispondono ad utilizzi attuati, previsti o potenziali delle singole sorgenti o pozzi, a cui corrisponde un "valore strategico" ovvero una rilevanza nel sistema di approvvigionamento locale. La tabella riporta in una scala decrescente il relativo coefficiente di valore V, compreso nel campo $2 \div 0,2$.

Tale coefficiente, a partire dalla probabilità di interferenza H consente di "rivalutare" il rischio R, con $V > 1$ per fonti di rilevanza strategica, mentre risulta $V < 1$ per fonti di scarsa o nulla rilevanza.

Si sottolinea come la valutazione sia cautelativa in quanto l'indice $R = H \times V$ è calcolato sulla base di un indice di probabilità relativa che consegue alla condizione di drenaggio libero delle gallerie. Nella fase post-operam i valori del drenaggio stesso risulteranno fortemente contenuti dall'anello dei conci.

codice	Descrizione	Coefficiente funzione del "valore esposto"
1	fonti di alimentazione di acquedotti pubblici, o con previsione/progetto di utilizzo per la medesima finalità	2,0
2	fonti di alimentazione di acquedotti privati consortili, o ad uso privato domestico, in aree non raggiunte dalla rete di pubblico acquedotto	1,5
3	fonti di alimentazione di acquedotti privati consortili, in aree servite dalla rete di pubblico acquedotto o agevolmente allacciabili a partire dalla rete esistente	1,0
4	Sorgenti non captate, con portata di magra rilevante (convenzionalmente $Q > 90$ l/min sulla base delle misure luglio 2010), tale da poter essere considerate risorsa strategiche potenzialmente captabili ad uso pubblico	1,0
5	fontane pubbliche in aree già servite da pubblico acquedotto (in cod. 4 se $Q > 90$ l/min)	0,7
6	sorgenti private ad uso domestico in aree servite da pubblico acquedotto	0,6

codice	Descrizione	Coefficiente funzione del "valore esposto"
7	Sorgenti non captate caratterizzate da permanenza delle portate anche in regime di magra (convenzionalmente $Q > 5$ l/min sulla base delle misure luglio 2010)	0,4
8	sorgenti non captate, con regime stagionale o comunque portata molto bassa, $Q < 5$ l/min	0,2

Tabella 22 - Coefficienti funzione del "valore esposto" per l'analisi di rischio.

7.4 Quadro di sintesi degli impatti

7.4.1 Le sorgenti

Nella successiva Tabella 23 è riportato l'elenco delle sorgenti a maggiore "rischio", ovvero per le quali si calcola un indice $R > 0.4$.

Si tratta di punti d'acqua con probabilità di impatto moderata, in cui le condizioni di rischio, sulla base della metodologia utilizzata, sono determinate da un utilizzo rilevante e/o strategico della risorsa.

La potenzialità complessiva in regime di magra delle sorgenti a rischio può essere stimata in circa 20 l/s, (somma delle portate misurate e valutate sulla base del contributo medio dove non è stata possibile la misura diretta).

Dalla medesima Tabella 23, e dalla Figura 63, si evidenzia come la condizione di rischio si determina nella stargrande maggioranza dei casi, per le risorse al servizio di acquedotti privati consortili, o al servizio di singole abitazioni, in aree non servite dalla rete di pubblico acquedotto.

Solamente in un numero molto limitato di casi la condizione di rischio interessa la rete del pubblico acquedotto. Tra questi le due sorgenti limitrofe S 299 ed S300, caratterizzate da una portata di magra complessiva molto rilevante rispetto alla media delle sorgenti locali, hanno una notevole rilevanza nell'ambito dell'approvvigionamento locale.

Le sorgenti su cui insistono condizioni maggiori di rischio "R" ricadono prevalentemente (ma non esclusivamente) in nove settori principali distinti, riferibili a specifiche utenze. Tali settori, sono indicati con i codici A, A', B, C, C', D, E, E', F, con riferimento allo stralcio cartografico di Figura 65 ed in maggior dettaglio all'elaborato cartografico IDR307.

Per tali settori, il ruolo e la rilevanza nel sistema di approvvigionamento pubblico e privato sono descritte nel successivo paragrafo 8.2, a cui si rimanda.

Codice	DHI index	R	COD Uso (*)	Area Utenza (**)	Opera interferente	NOTE_USO
S105	0,40	0,60	2	A	Galleria Amandola	uso domestico e irriguo 20 abitazioni
S110	0,40	0,60	2	A	Galleria Amandola	Proprietà Gaggero; uso domestico
S071	0,39	0,58	2	A	Galleria Amandola	Proprietà Causa Benedetta; uso domestico
S079	0,38	0,57	2	A	Galleria Amandola	Proprietà Gaggero; uso irriguo
S080	0,38	0,57	2	A	Galleria Amandola	Proprietà Bruzzone Maria Rosa; uso irriguo
S082	0,38	0,57	2	A	Galleria Amandola	Proprietà Bruzzone Maria Rosa; uso domestico
S084	0,38	0,57	2	A	Galleria Amandola	Proprietà non nota; uso domestico 20 abitazioni

Codice	DHI index	R	COD Uso (*)	Area Utenza (**)	Opera interferente	NOTE_USO
S085	0,38	0,57	2	A	Galleria Amandola	Proprietà Bruzzone Maria Rosa; uso domestico
S086	0,38	0,57	2	A	Galleria Amandola	Proprietà Rosa Caterina; uso domestico 20 abitazioni
S087	0,38	0,57	2	A	Galleria Amandola	Proprietà Rosa Caterina; uso domestico 20 abitazioni
S089	0,38	0,57	2	A	Galleria Amandola	Proprietà Rosa Caterina; uso domestico
S090	0,38	0,57	2	A	Galleria Amandola	Proprietà Rosa Caterina; uso domestico
S092	0,38	0,57	2	A	Galleria Amandola	Proprietà Bruzzone Maria Rosa; uso irriguo
S093	0,38	0,57	2	A	Galleria Amandola	Proprietà sconosciuta; uso domestico e irriguo
S102	0,38	0,57	2	A	Galleria Amandola	Proprietà Rosa Caterina; uso domestico e irriguo
S111	0,38	0,57	2	A	Galleria Amandola	Proprietà non nota; uso domestico e irriguo
S284	0,38	0,57	2	A	Galleria Amandola	Uso domestico e irriguo
S103	0,29	0,44	2	A	Galleria Amandola	Proprietà Rosa Caterina; uso domestico e irriguo
S081	0,28	0,42	2	A	Galleria Amandola	Proprietà Bruzzone Maria Rosa; uso domestico 20 abitazioni
S088	0,28	0,42	2	A	Galleria Amandola	Proprietà Rosa Caterina; uso domestico
S091	0,28	0,42	2	A	Galleria Amandola	Proprietà Rosa Caterina; uso domestico e irriguo
S188	0,33	0,66	1	A'	Galleria Amandola	
S192	0,33	0,66	1	A'	Galleria Amandola	
S189	0,29	0,58	1	A'	Galleria Amandola	
S190	0,29	0,58	1	A'	Galleria Amandola	
S191	0,29	0,58	1	A'	Galleria Amandola	
S319	0,53	0,79	2	B	Galleria Monterosso	Uso domestico
S320	0,53	0,79	2	B	Galleria Monterosso	Uso domestico e irriguo
S321	0,53	0,79	2	B	Galleria Monterosso	Uso domestico e irriguo
S261	0,45	0,68	2	B	Galleria Monterosso	Uso domestico
S262	0,45	0,68	2	B	Galleria Monterosso	Uso domestico e irriguo
S275	0,45	0,68	2	B	Galleria Monterosso	Una utenza uso domestico
S277	0,45	0,68	2	B	Galleria Monterosso	4 utenze uso domestico
S278	0,45	0,68	2	B	Galleria Monterosso	Una utenza uso irriguo
S315	0,45	0,68	2	B	Galleria Monterosso	Proprietà Alvaro; uso domestico
S358	0,45	0,68	2	B	Galleria Monterosso	Risorgiva carsica; portata derivata minima rispetto l'apporto (uso domestico 4 abitazioni)
S359	0,45	0,68	2	B	Galleria Monterosso	Proprietà Roggerone Lorenzo; uso domestico-irriguo
S360	0,45	0,68	2	B	Galleria Monterosso	Proprietà Roggerone Lorenzo; uso domestico
S311	0,40	0,60	2	B	Galleria Monterosso	Acquedotto Condominio Casa Rosa; uso domestico
S357	0,40	0,60	2	B	Galleria Monterosso	Acquedotto privato loc. S. Pietro ai Prati
S361	0,40	0,60	2	B	Galleria Monterosso	Acquedotto Consortile loc. Fornace
S362	0,40	0,60	2	B	Galleria Monterosso	Proprietà Peruzzo-Pastorino; uso domestico ed irriguo
S363	0,40	0,60	2	B	Galleria Monterosso	Proprietà Buttero; uso domestico
S312	0,53	0,53	3	B	Galleria Monterosso	Acquedotto Consortile loc. Timone; uso domestico
S313	0,53	0,53	3	B	Galleria Monterosso	Proprietà Bruzzone Natalina; uso irriguo
S260	0,33	0,50	2	B	Galleria Monterosso	Uso domestico

Codice	DHI index	R	COD Uso (*)	Area Utenza (**)	Opera interferente	NOTE_USO
S318	0,53	0,79	2	C	Galleria Monterosso	Uso domestico e irriguo
S344	0,53	0,79	2	C	Galleria Monterosso	Proprietà Vaira-Pettirossi-Piu; uso domestico
S300	0,27	0,53	1	C'	Galleria Monterosso	
S218	0,48	0,71	2	D	Galleria Amandola	
S165	0,25	0,51	1	E	Galleria Borgonuovo	
S163	0,22	0,45	1	E	Galleria Borgonuovo	
S164	0,22	0,45	1	E	Galleria Borgonuovo	
S194	0,44	0,44	2	E	Galleria Borgonuovo	
S253	0,29	0,44	2	E	Galleria Borgonuovo	Proprietà Patrone; uso potabile ed irriguo professionale (Agriturismo)
S364	0,29	0,44	2	E	Galleria Borgonuovo	Proprietà Patrone; uso irriguo professionale
S247	0,40	0,80	1	E'	Interconnessione A10	Acquedotto consortile; il troppo pieno è captato dall'Acquedotto Opera Pia Galliera
S302	0,29	0,44	2	F	Galleria Bric du Vento	
S291	0,27	0,41	2	F	Galleria Bric du Vento	
S293	0,27	0,41	2	F	Galleria Bric du Vento	
S303	0,27	0,40	2	F	Galleria Bric du Vento	

(*) cfr. Tabella 22, (**) cfr. Figura 65

Tabella 23 - Le sorgenti: quadro della risorsa con indice di rischio $R > 0,4$.

7.4.2 I pozzi

Per quanto riguarda i pozzi, il quadro delle interferenze potenziali e l'utilizzo / rilevanza strategica della risorsa sono riportati nelle seguenti Tabella 24, Figura 62 e Figura 64.

Il rischio effettivo è complessivamente molto basso, in quanto:

- la probabilità di impatto è nulla per tutti i pozzi al servizio della rete di pubblico acquedotto;
- condizioni di probabilità "moderata" riguardano pozzi piezometrici attualmente abbandonati, realizzati per la ricerca di acque solforose, oltre che una singola opera al servizio di un'abitazione privata, per integrazione domestica, in area attualmente già servita da pubblico acquedotto;
- l'unica situazione di probabilità elevata è relativa a due pozzi al servizio domestico e irriguo di una singola abitazione, in area non servita da acquedotto pubblico.

Codice	Diametro (m)	Profondità (m)	Liv. stat. (m da p.c.)	Probabilità interferenza	COD uso (*)	Note utilizzo
P001	0,3	75,0	10,95	Elevata	2	Proprietà Montero Rosa. Uso potabile (1 abitazione), zootecnico ed irriguo professionale
P002	0,3	80,0	27,15	Elevata	2	Proprietà Montero Rosa. Uso potabile (1 abitazione), zootecnico ed irriguo professionale

(*) cfr. Tabella 22

Tabella 24 - I pozzi: quadro della risorsa a rischio elevato (probabilità di interferenza elevata, utilizzo locale rilevante).

- fonti di alimentazione di acquedotti pubblici, o con previsione/progetto di utilizzo per la medesima finalità
- fonti di alimentazione di acquedotti privati consortili, o ad uso privato domestico, in aree non raggiunte dalla rete di pubblico acquedotto
- fonti di alimentazione di acquedotti privati consortili, in aree servite dalla rete di pubblico acquedotto o agevolmente allacciabili a partire dalla rete esistente

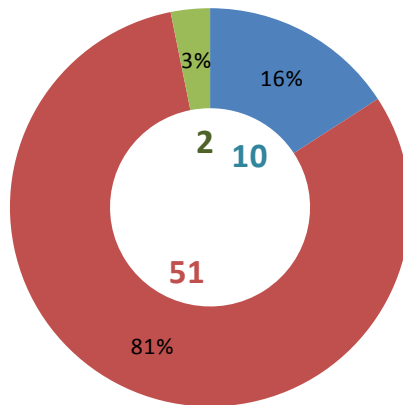


Figura 60 - Utilizzo della risorsa a rischio (sorgenti con $R > 0.4$, pozzi a rischio "Elevato" – cfr. Tabella 23 e Tabella 24)

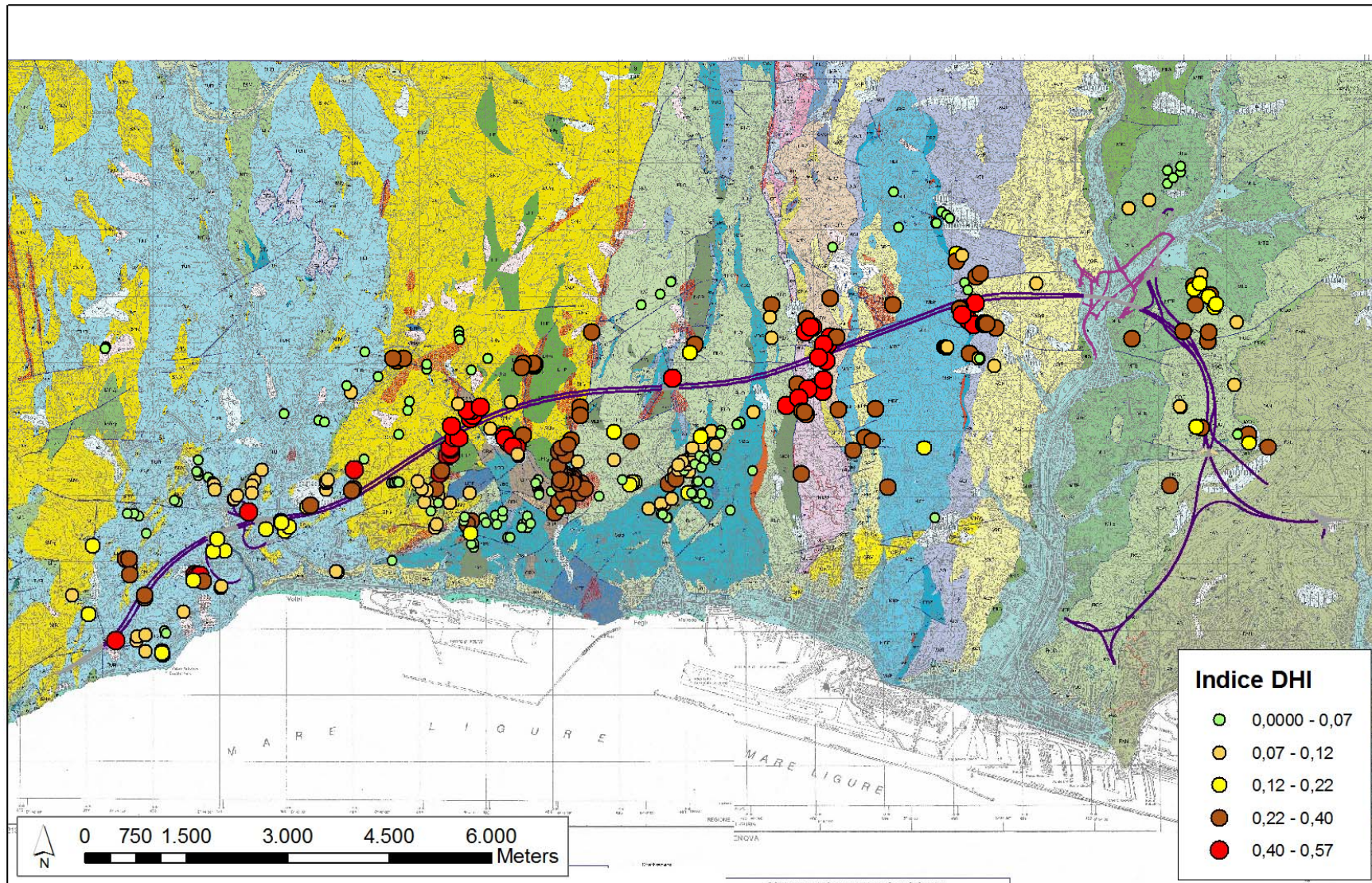


Figura 61 - Indice di probabilità relativa di interferenza per le sorgenti (metodo indice DHI, modificato).

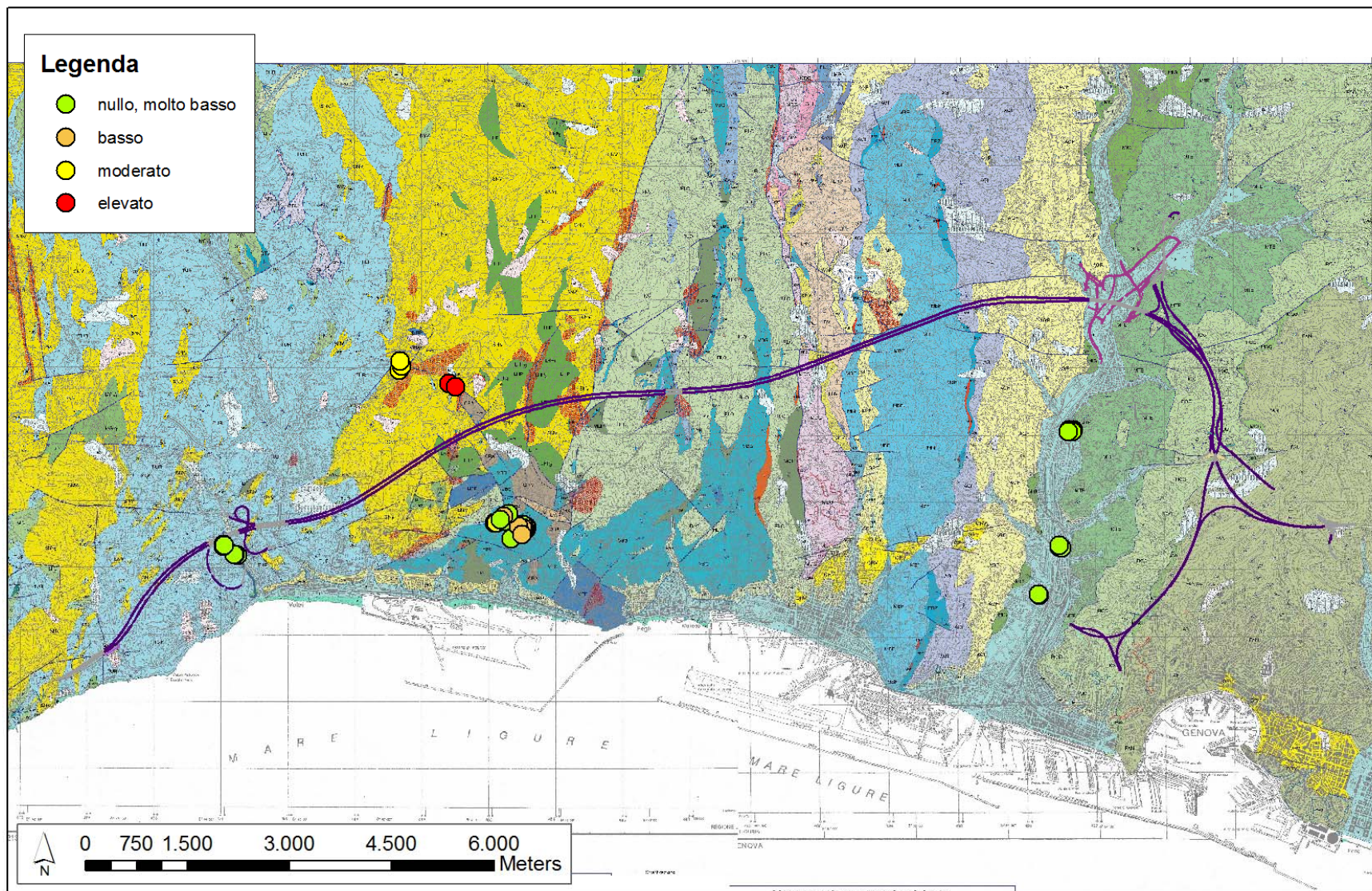
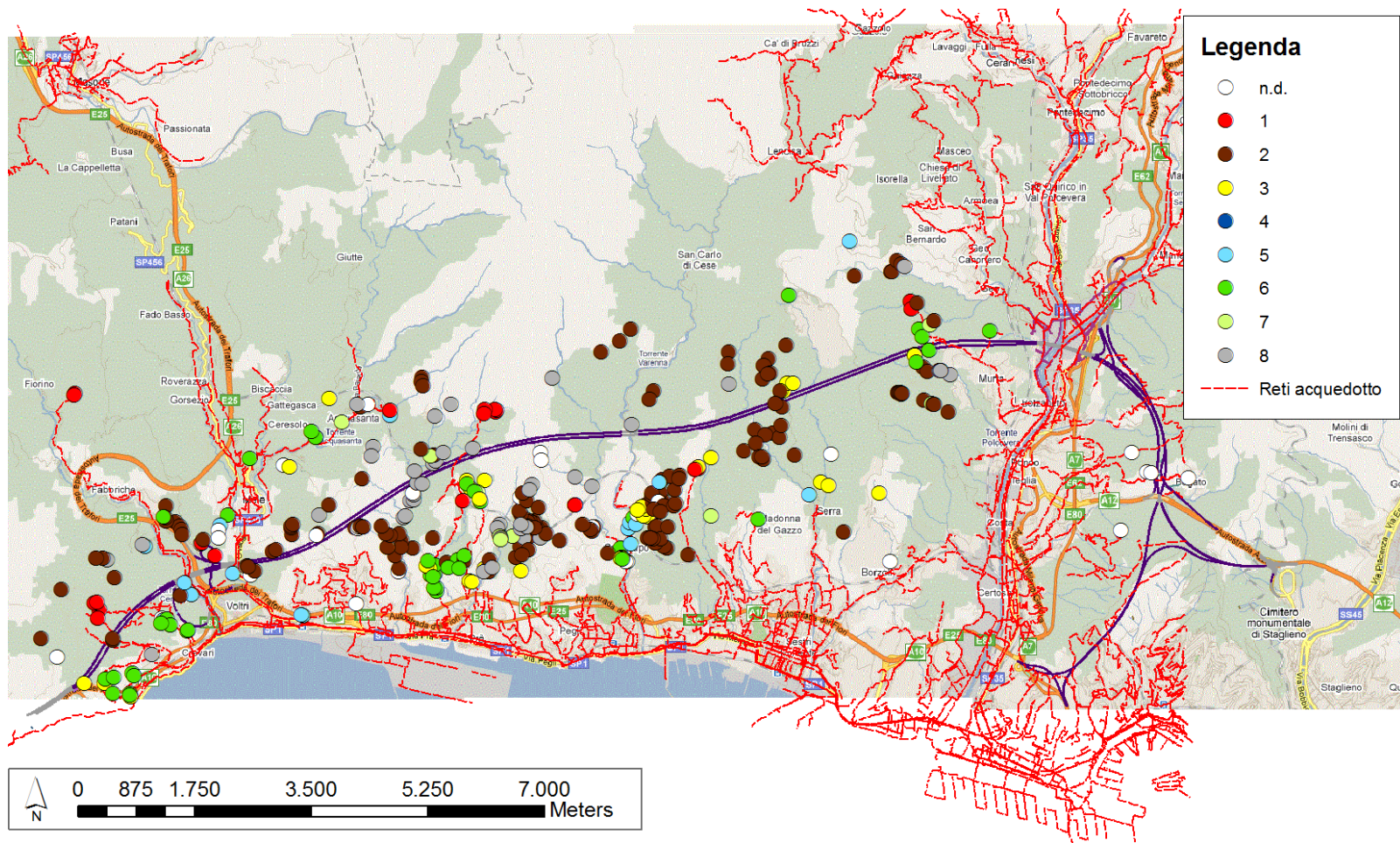
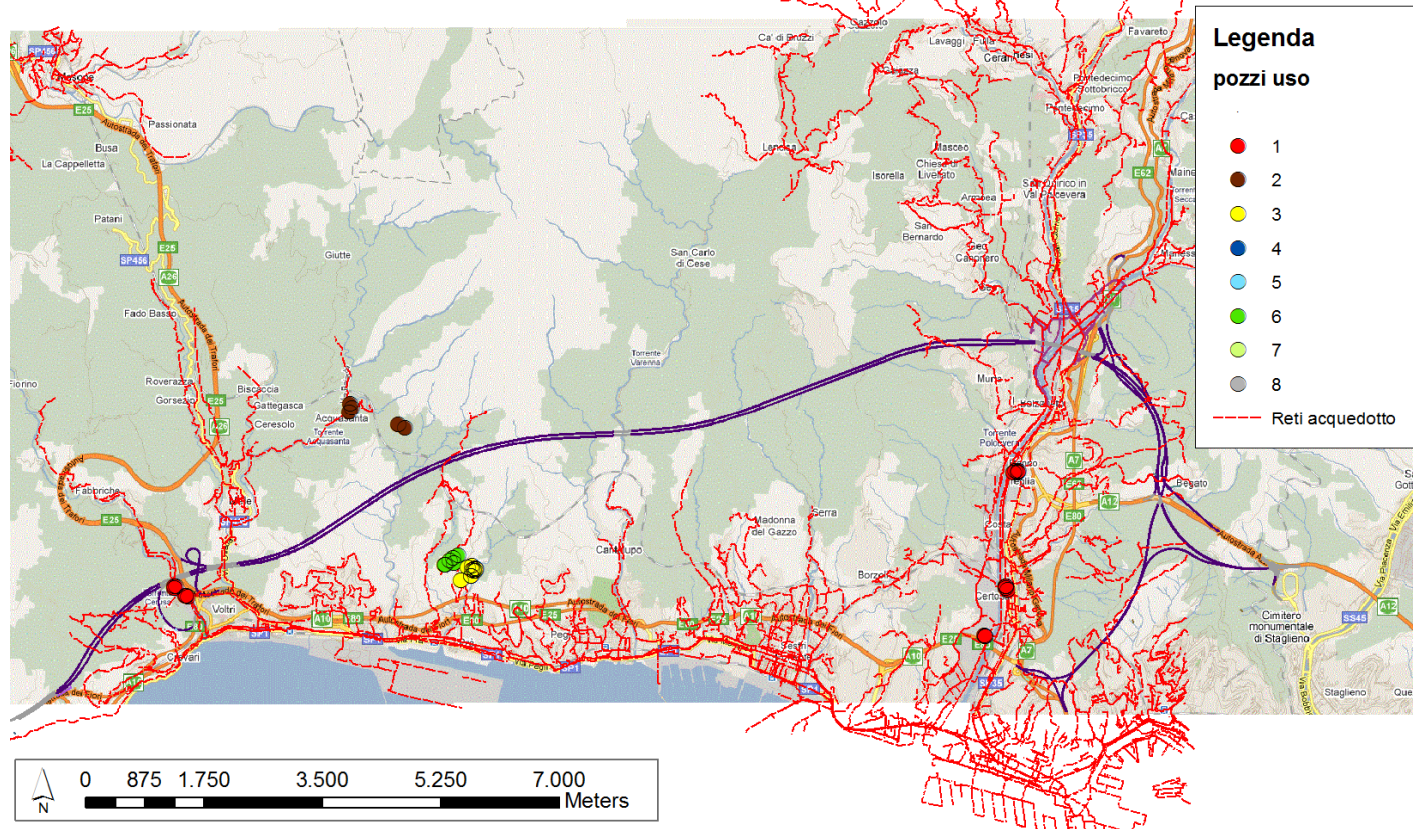


Figura 62 - Probabilità di interferenza per i pozzi censiti.



- (1 - Fonti di alimentazione di acquedotti pubblici, o con previsione/progetto di utilizzo per la medesima finalità
- (2 - Fonti di alimentazione di acquedotti privati consortili, o ad uso privato domestico, in aree non raggiunte dalla rete di pubblico acquedotto
- (3 - Fonti di alimentazione di acquedotti privati consortili, in aree servite dalla rete di pubblico acquedotto o agevolmente allacciabili a partire dalla rete esistente
- (4 - Sorgenti non captate, con portata di magra rilevante (convenzionalmente $Q > 90$ l/min sulla base delle misure luglio 2010), tale da poter essere considerate risorse strategiche potenzialmente c
- (5 - Fontane pubbliche in aree già servite da pubblico acquedotto
- (6 - Sorgenti private ad uso domestico in aree servite da pubblico acquedotto
- (7 - Sorgenti non captate caratterizzate da permanenza delle portate anche in regime di magra (convenzionalmente $Q > 5$ l/min sulla base delle misure luglio 2010)
- (8 - Sorgenti non captate, con regime stagionale o comunque portata molto bassa, $Q < 5$ l/min

Figura 63 - Utilizzo e valore strategico delle sorgenti censite (cfr. Tabella 22).



- (1 - Fonti di alimentazione di acquedotti pubblici, o con previsione/progetto di utilizzo per la medesima finalità
- (2 - Fonti di alimentazione di acquedotti privati consortili, o ad uso privato domestico, in aree non raggiunte dalla rete di pubblico acquedotto
- (3 - Fonti di alimentazione di acquedotti privati consortili, in aree servite dalla rete di pubblico acquedotto o agevolmente allacciabili a partire dalla rete esistente
- (4 - Sorgenti non captate, con portata di magra rilevante (convenzionalmente $Q > 90$ l/min sulla base delle misure luglio 2010), tale da poter essere considerate risorse strategiche potenzialmente c
- (5 - Fontane pubbliche in aree già servite da pubblico acquedotto
- (6 - Sorgenti private ad uso domestico in aree servite da pubblico acquedotto
- (7 - Sorgenti non captate caratterizzate da permanenza delle portate anche in regime di magra (convenzionalmente $Q > 5$ l/min sulla base delle misure luglio 2010)
- (8 - Sorgenti non captate, con regime stagionale o comunque portata molto bassa, $Q < 5$ l/min

Figura 64 - Utilizzo e valore strategico dei pozzi censiti (cfr. Tabella 22).

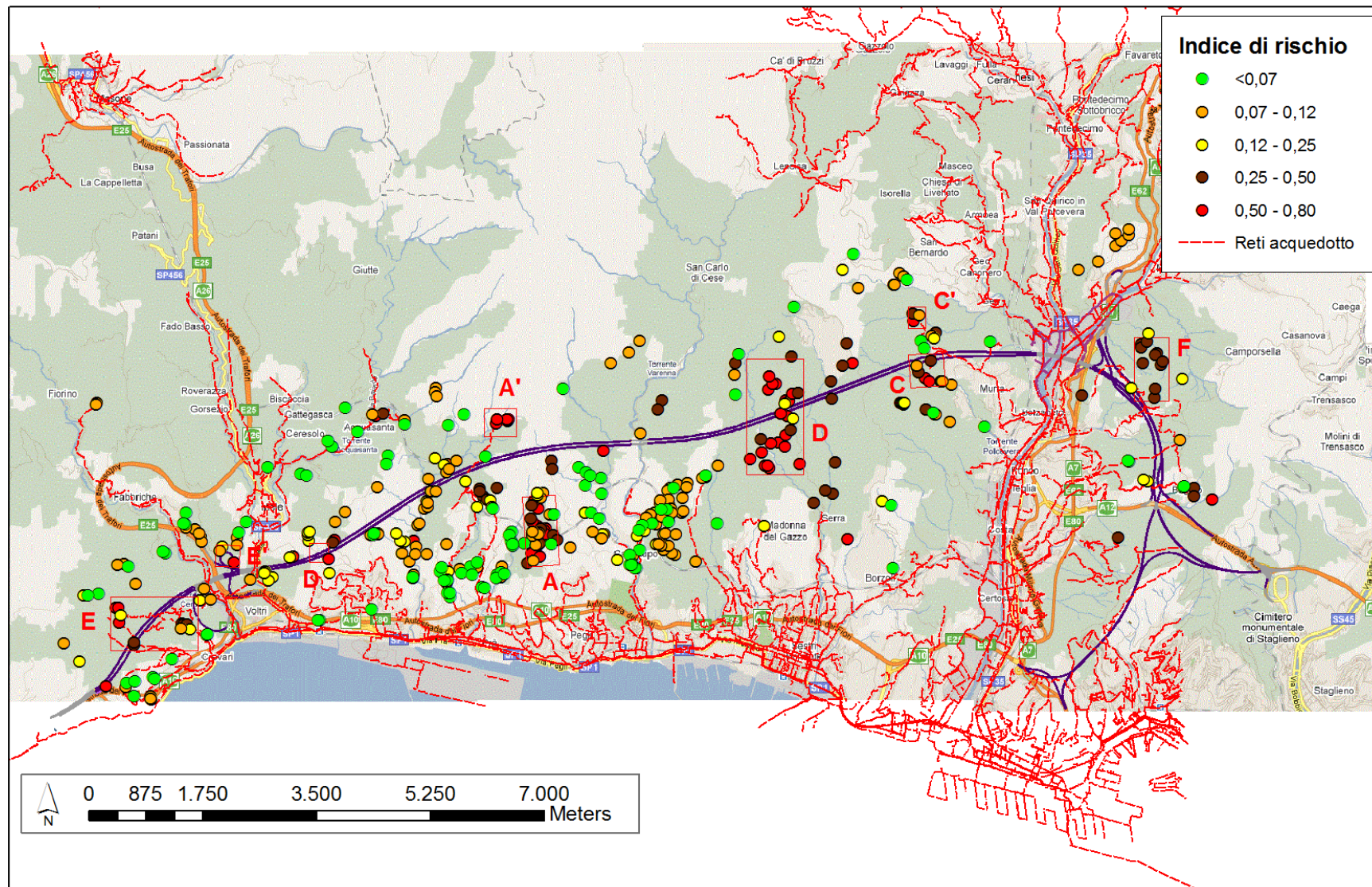


Figura 65 - Indice di rischio per le sorgenti ($R = H \times V$); sono evidenziate le aree a maggiore rischio R lungo il tracciato delle gallerie, in rapporto con la rete acquedottistica pubblica.

8. VALUTAZIONE DELLE PRINCIPALI CRITICITA' NEL SISTEMA IDRICO DI APPROVVIGIONAMENTO IN RELAZIONE ALLO SCAVO DELLE GALLERIE

8.1 IL SISTEMA DI APPROVVIGIONAMENTO IDRICO

L'area di studio delle potenziali interferenze tra lo scavo delle gallerie della Gronda e gli acquiferi sfruttati per l'approvvigionamento idrico pubblico comprende principalmente il Comune di Genova mentre i Comuni di Ceranesi, S.Olcese, Mele ed Arenzano vengono solo marginalmente interessati.

Il servizio idropotabile per i comuni di Genova, Ceranesi e S.Olcese viene gestito da Mediterranea delle Acque; Am.Ter. S.p.A. provvede invece alla gestione dei comuni di Arenzano e Mele.

Di seguito vengono descritte le strutture degli acquedotti dei comuni interessati dallo studio come riportato dalle monografie relative alle ricognizioni svolte dall'Autorità dell'A.T.O. della Provincia di Genova e sulla base di indicazioni ottenute direttamente da Mediterranea delle Acque.

8.1.1 Comune di Genova

I servizi acquedottistici sono attualmente gestiti dalla società Mediterranea delle Acque nata dalla fusione dei tre principali gestori del servizio idrico genovese (Genova Acque, Acquedotto De Ferrari - Galliera e Acquedotto Nicolay).

il servizio idropotabile è suddiviso territorialmente nella zona centro/levante (ex area di Genova Acque) e Ponente (ex area acquedotti De Ferrari - Galliera e Nicolay).

L'acquedotto nella zona centro/levante si compone di 4 reti fortemente interconnesse:

- Brugneto;
- Noci;
- Civico;
- Genovese.

Le risorse idriche principali che Genova Acque utilizza a fini idropotabili sono:

- Lago del Brugneto, con capacità di 25.000.000 m³ (pari ad una potenzialità di 38.158.560 m³/anno) rappresenta la maggiore riserva idrica della Liguria;
- Lago Val Noci con capacità di 3.300.000 m³ (pari ad una potenzialità di 7.253.280 m³/anno);
- Presa d'acqua fluente realizzata sul torrente Laccio, che costituisce una integrazione delle acque addotte dal lago del Brugneto. Portata massima derivabile assentita di 5.000.000 m³/anno;
- Presa d'acqua fluente sul torrente Bisagno che comporta una derivazione d'acqua fino a circa 14 milioni di m³/anno, il che consente una corrispondente riduzione del prelievo di acqua dagli invasi;
- Pozzi di subalveo del torrente Bisagno (concessione per una portata di 4 moduli al secondo) che permettono di estrarre sino ad un massimo 10 milioni di m³/anno circa;
- Diverse sorgenti e captazioni superficiali sparse nel Comune di Genova.

Le linee di adduzione principale sono:

- Quella alimentata dall'acqua proveniente dall'invaso del Brugneto, del 1960, costituita da un canale a pelo libero in c.a. e da due condotte in acciaio di 900 mm di diametro;

- Quella alimentata dall'acqua proveniente dall'invaso del Val Noci, del 1930, costituita da un canale a pelo libero in cemento armato e da una tubazione in ghisa grigia di 500 mm di diametro.;
- Quella alimentata dalle acque fluenti del Bisagno.

I serbatoi di accumulo nel Comune di Genova sono 42. Quelli con capacità maggiore sono Galleria Castellaro e Caviglia, rispettivamente di 14.000 e 12.000 m³.

La rete di distribuzione nel Comune di Genova ha uno sviluppo complessivo di 554 Km.

La potabilizzazione viene garantita attraverso la gestione di 2 principali impianti di potabilizzazione, impianto di Prato (con una capacità di potabilizzazione pari a 155.000 m³/gg) e impianto di Acquafredda (potenzialità di 34.000 m³/gg), e numerosi impianti minori costituiti o da batterie a pressione o da più semplici impianti di disinfezione viene garantita la potabilità di approssimativi 50 milioni di metri cubi anno delle acque immesse in rete.

Il vecchio acquedotto De Ferrari - Galliera si compone di molte reti variamente interconnesse.

Le fonti di approvvigionamento sono costituite essenzialmente da:

- I laghi artificiali del Gorzente (Badana, Lungo e Lavezze), situati tra la Provincia di Genova e quella di Alessandria, che raggiungono un invaso totale di 12.500.000 m³ (pari ad una potenzialità di circa 22.000.000 m³/anno);
- Le captazioni dai torrenti Leira e Cerusa, che forniscono circa 10.000.000 mc/anno;
- I pozzi di Campi, Torbella e Pietra, operanti intorno ai 40 m di profondità, i quali attingono dalla falda del subalveo del torrente Polcevera circa 15.300.000 m³/anno.

Sono tre le linee adduttrici principali:

- Quella alimentata dall'acqua proveniente dai Laghi del Gorzente, costituita da due condotte da 600 mm, che corrono in parallelo in direzione nord-sud lungo tutta la Val Polcevera;
- Quella alimentata dalle acque fluenti di Voltri, che rifornisce tutto il Ponente cittadino con una condotta da 750 mm;
- Quella alimentata dall'acqua emunta dai pozzi del Polcevera, destinata in prevalenza al servizio delle alture del Centro cittadino.

La rete è dotata di 31 serbatoi di accumulo e/o compenso, di cui 3 in Comune di Campomorone, i maggiori dei quali hanno una capacità di circa 11.000 m³. I serbatoi sono costituiti prevalentemente in c.a. e muratura e si trovano in buone condizioni di conservazione.

L'acqua proveniente dalle diverse fonti di approvvigionamento viene consegnata agli utenti per mezzo di una complessa rete di distribuzione, che si estende su una superficie di circa 11.000 ettari ed è costituita da condotte di vari diametri, da 60 a 750 mm, per uno sviluppo di circa 410 Km.

Le zone servite si estendono, dal litorale alle colline, dall'estremo Ponente (Voltri) al Lido di Albaro, comprendendo la Val Polcevera e la Val Bisagno a valle della zona dello stadio Luigi Ferrarsi (piazzale Parenzo).

Il nodo principale della rete è la centrale di sollevamento di Campi, situata nel punto di confluenza delle tre linee e quindi in grado di consentire, all'occorrenza, lo scambio e l'integrazione delle portate.

La particolare orografia della città di Genova rende necessari, per il servizio delle zone alte, numerosi impianti di sollevamento dell'acqua, attuati tramite 22 centraline di pompaggio.

I principali impianti di potabilizzazione sono due: l'impianto di Voltri, situato nella Val Cerusa nei pressi dell'omonima opera di presa e quello di Isoverde, in Comune di Campomorone, nei quali le acque vengono sottoposte a trattamento fisico-chimico, trattate con biossido di cloro e infine subiscono una clorazione con ipoclorito.

Vi sono inoltre una ventina di impianti minori nei quali la disinfezione avviene mediante dosatori di ipoclorito elettrici e/o meccanici.

Il sistema acquedottistico Nicolay si compone di una rete principale e da due piccoli acquedotti in Val Polcevera: Murta e San Biagio.

Le principali fonti di approvvigionamento sono:

- Le acque fluenti del torrente Scrivia, del 1854, captate a Busalla mediante una galleria filtrante protetta da una briglia che forniscono circa 7.200.000 mc/anno;
- L'invaso artificiale della Busalletta, del 1975, avente una potenzialità di circa 7.600.000 mc/anno;
- I due pozzi sul torrente Scrivia, in loc. Sarissola (non in uso);
- I tre pozzi di Voltri che emungono circa 1.500.000 mc/anno dal subalveo del torrente Cerusa.

L'acquedotto di Murta è alimentato da una sorgente da 3 l/s, mentre quello di S. Biagio da un gruppo di sorgenti a Livellato da circa 1 l/s.

L'adduttrice proveniente dalla Busalletta e dalle acque fluenti dello Scrivia è costituita da un canale in muratura lungo circa 3,5 Km parzialmente in galleria, costruito fra il 1910 e il 1915.

I serbatoi di accumulo dell'acquedotto Nicolay sono quattro: quello di Mignanego, in c.a. di 3000 mc, e quello di Voltri, in muratura di 1000 mc; quelli degli acquedotti minori di Murta e S. Biagio sono in c.a. rispettivamente di 70 e 80 mc.

A valle dell'impianto di potabilizzazione di Mignanego, si diparte una condotta di distribuzione in acciaio da 800 mm di diametro, posata lungo la Val Polcevera per circa 13 Km, fino alla centrale idroelettrica di Teglia, dalla quale si sviluppano le due reti di distribuzione principali:

- Rete di bassa pressione a servizio di Val Polcevera, Porto, Centro storico, Foce, Sampierdarena, Cornigliano e Sestri Ponente;
- Rete di alta pressione a servizio di Val Polcevera, Dinegro, Lagaccio, Castelletto, Carignano, Centro storico, Marassi e Albaro

Verso Ponente l'acqua proveniente da Mignanego viene risollevata da una centralina sita a Sestri Ponente, a servizio delle zone alte del quartiere. La rete proveniente da Mignanego è collegata con quella di Voltri: l'equilibrio delle pressioni si verifica nella zona di Multedo.

L'impianto di trattamento di Mignanego, costruito nel 1910 e rifatto totalmente fra il 1975 e il 1980, con una potenzialità di circa 900 l/s, consta di un trattamento fisico-chimico che prevede una preclorazione con ipoclorito, successivi trattamenti di filtrazione, chiariflocculazione, sedimentazione, trattamento con biossido di cloro e cloro-copertura in rete garantita da una successiva disinfezione con ipoclorito.

Le acque provenienti dai pozzi di Voltri e dalle sorgenti vengono disinfettate con ipoclorito di sodio.

8.1.2 Comune di Mele

Le risorse derivano:

- dalla sorgente Aradi/Ceresolo con una portata di circa 4,5 l/s, opera di presa risalente agli anni '50;
- dalla sorgente Ban che si trova in prossimità della sorgente sopra citata che ha una portata media di 0,1 l/s;
- dalla sorgente Buxi a monte di entrambe le precedenti che ha una portata di ca. 1,85 l/s;
- dalla sorgente Grilla con una portata media /annua di 1 l/s;
- dalla sorgente Frageletto, con una portata media annua costante di 1,5 l/s;
- dalla captazione dal Rio Masson con una portata costante giornaliera di 650 m³ di cui ne vengono utilizzati solo 200. L'opera di presa risale al 1980 ma è stata ristrutturata interamente nel 2001.

Da segnalare che le sorgenti Bronzo, a seguito di una alluvione e dei suoi conseguenti danni alla condotta di adduzione, sono state dismesse.

Il volume totale annuo captato è di ca. 250.000 m³; il valore è in parte stimato per la mancanza di informazioni inerenti a due captazioni.

Si possono individuare quattro tratti di adduzione.

Il primo convoglia l'acqua dal Rio Masson al serbatoio Stazione, tramite una condotta in PEAD di diametro di 110 mm.

La seconda condotta, interamente in acciaio zincato, parte dalla sorgente Buxi e arriva al cloratore posto poco sopra il serbatoio Aradi.

La terza è un breve tratto tra la sorgente Frageletto e il cloratore, anch'essa in acciaio zincato.

La quarta collega la sorgente Grilla al cloratore.

I serbatoi di accumulo nel Comune di Mele sono 5 per un totale di 560 m³.

Quelli con capacità minore sono i serbatoi Ferriera e Aradi, 40 m³; il serbatoio più grande è il Ronco, due vasche da 150 m³ ciascuna.

I serbatoi sono in cemento armato/muratura o pietra.

La rete di distribuzione idrica comunale è collegata in un unico sistema distributivo.

E' suddivisa per tipologia come segue:

- Tubazioni in acciaio zincato da 2 pollici;
- Tubazioni in PVC, DN 160-180;
- Tubazioni in PEAD, DN 63 (ca. il 40% del totale).

La disinfezione delle acque destinate all'uso umano avviene tramite cinque dosatori di ipoclorito quattro dei quali a controllo elettrico e uno meccanico a pompetta.

Esiste anche un trattamento di potabilizzazione sulle acque gregge; l'impianto si trova presso l'opera di presa sul Rio Orlandin; consta di un trattamento di filtrazione su letti di sabbia.

8.1.3 Comune di Ceranesi

L'acquedotto di Ceranesi si può dividere in tre sistemi principali:

- Caffarella-SanMartino-Sareto-Ceranesi-Livellato;
- Torbi-Lencisa;
- Geo.

L'acquedotto risulta servito da numerose sorgenti e captazioni superficiali: le sorgenti Castello, Vaccarezza, Canavè, Pian Lupino, Fontanelle e le prese sul rio Cortinelle, Rocche Bianche e Buxe.

L'adduzione è costituita dalla condotta proveniente dalle prese Cortinelle e Rocche Bianche, dalle tubazioni provenienti dalle sorgenti Castello e Vaccarezza e dalle 3 sorgenti Canavè, mentre dalla presa Buxe, in corrispondenza della quale avviene anche la clorazione, parte direttamente la distribuzione.

I serbatoi di accumulo del Comune di Ceranesi sono 4, per un totale di 879 m³: Il serbatoio con capacità maggiore è il Sareto, 700 m³, quello con capacità minore è il Bruzzi, 48 m³. Nel complesso gli accumuli si presentano in buono stato di conservazione.

La distribuzione è costituita da tubazioni del diametro compreso tra 40 e 150 mm.

La disinfezione delle acque destinate all'uso umano avviene tramite dosatori meccanici di ipoclorito liquido opportunamente modificati con l'inserimento di una pompetta.

8.1.4 Comune di S. Olcese

Nel territorio comunale si possono contare 2 acquedotti:

- S. Olcese Capoluogo;
- Cà Lagori.

Parte della popolazione del Comune di S. Olcese risulta inoltre servita dall'acquedotto Nicolay, per un totale di ca. 100.000 mc/anno di acqua erogata.

Le risorse derivano:

- dalla sorgente Mulinetti 1 che tramite sistemi a drenaggi capta 11,5 l/s (portata media annuale). L'opera viene utilizzata in modo continuo e si presenta in buone condizioni di conservazione.

- dalla sorgente Mulinetti 2, sita presso il torrente Sucalu, che capta mediamente 11,5 l/s annui. L'opera si presenta in discreto stato di conservazione e viene utilizzato in modo continuo.
- dalla sorgente Mulinetti 3 che capta, tramite sistema a trincea o a drenaggi, 11,5 l/s (portata media annuale). L'opera viene utilizzata in modo continuo e si presenta in discrete condizioni di conservazione.
- dalla sorgente Casanova, sita presso un affluente del rio basso, che capta mediamente 5,25 l/s annui. L'opera è utilizzata in modo continuo ma a causa di una recente alluvione la struttura esterna è stata danneggiata, per cui risulta in cattive condizioni.

Il volume totale annuo captato è di ca. 1.889.824 m³.

La rete di adduzione è costituita interamente da PE DN 63.

I serbatoi d'accumulo nel Comune di S. Olcese sono 6, la loro capacità totale è di 236 m³. I serbatoi con capacità minore sono il Ronco, il Cà Lagori e il Busalietta, quelli con capacità maggiore risultano il Berti ed il Tullo con 100 m³. Le vasche sono in acciaio o cemento armato.

La distribuzione nel Comune di S. Olcese è costituita interamente da acciaio ¾".

La disinfezione delle acque destinate all'uso umano avviene tramite pompe ad ipoclorito liquido dotate di celle analitiche.

8.1.5 Comune di Arenzano

Sul territorio comunale è presente un unico acquedotto al servizio delle principali località più un acquedotto intercomunale condiviso tra i comuni di Arenzano e Cogoletto.

Le risorse derivano:

- dalle captazioni Ravizza I e II sul Rio Lerone;
- dalla captazione sul Rio Sinsae;
- dalla presa Persico sul Rio Gava.

Le opere di presa risultano in cattivo stato di conservazione. Il volume medio annuo captato è di ca 780.000 m³ e deriva:

- dal gruppo di sorgenti a quota 470 m. s.l.m. Sinsae e Ruggi che captano da roccia ca 1 l/s e risultano in cattivo stato di conservazione;
- dalle sorgenti Cima Ramà I e II, dalle quali viene captata una modesta quantità d'acqua (circa 0,6 l/s a scaturigine);
- dalla sorgente Rocca Meisa situata a 320 m s.l.m., che tramite un sistema a drenaggi capta 10.000 m³ /annui; l'opera è in cattivo stato di conservazione.
- da una captazione superficiale a briglia dal torrente Lerca, 470.000 m³ /annui.

Il volume totale annuo captato è di circa 1.260.000 m³;

Questo dato è da ritenersi stimato per la mancanza di misuratori di portata.

A questo dato si aggiungono:

- una condotta in derivazione dall'impianto di Ge-Voltri dell'acquedotto De Ferrari Galliera. Quest'ultima è stata realizzata negli anni '80 congiuntamente al Comune di Cogoleto per far fronte al costante aumento dei consumi idrici ma viene utilizzata solo durante la stagione estiva e in casi di emergenza o necessità.
- un pozzo da falda freatica collocato in via Veneto presso il torrente Cantarena, 42.000 m³ /annui (utilizzato solo durante la stagione estiva).

L'adduzione può essere divisa in quattro distinti rami:

- Il primo, della lunghezza totale di circa 4 Km., convoglia l'acqua captata dal torrente Lerca al serbatoio Bardella, 150 m. s.l.m, attraverso una condotta in acciaio rivestita di bitume DN 100 alternata a tratti da tubazioni di ugual materiale ma di diametro DN 125.
- Il secondo ramo di adduzione è quello che dalla sorgente Rocca Meisa convoglia l'acqua al serbatoio di distribuzione Bicocca. Il primo tratto, di circa 2 Km, è in acciaio zincato con un diametro di 2 pollici, il secondo tratto è in PEAD 63 mm.
- Il terzo ramo collega il gruppo di sorgenti a quota 470 m s.l.m. (Ruggi e Sinsae) con il serbatoio di accumulo Cravieu e di seguito con il serbatoio di distribuzione Curlo dove avviene la clorazione con ipoclorito liquido e il trattamento di filtrazione rapida.
- Altra grande condotta adduttrice è quella tra l'impianto "G.B. Parodi" dell'acquedotto De Ferrari Galliera di Genova Voltri ed il confine del Comune di Cogoleto. Quest'ultima risulta costituita per 3.000 m da tubazioni in acciaio e per 5.900 m in ghisa sferoidale DN 400. In seguito a lavori, la condotta è stata parzialmente ricostruita nel 1993/94.

I serbatoi di accumulo nel Comune di Arenzano sono 12, di cui 3 in costruzione. Il volume totale dei 9 esistenti è di 2995,5 m³. Quello con capacità minore è il serbatoio Cucù, 2,5 m³; il serbatoio più grande è il Gasca, 672 m³. Tutti i serbatoi, ad eccezione del Cucù, in acciaio, esterno, e la vasca Bardella 2, in vetroresina, sono in cemento armato o muratura e interrati.

La rete di distribuzione idrica comunale si estende per circa 39 Km ed è collegata in un unico sistema distributivo.

E' suddivisa per tipologia come segue:

- Tubazioni in acciaio mannesmann zincato o in PEAD, dei diametri compresi tra ¾ e 2 pollici;
- Tubazioni in ghisa DN 60,;
- Tubazioni in acciaio zincato DN 80-90, in PEAD DN 90;
- Tubazioni in acciaio catramato e ghisa sferoidale 125-150 mm;
- Tubazioni in ghisa sferoidale DN 200.

Sono presenti due stazioni di sollevamento in corrispondenza del serbatoio Bicocca e in località foce Lerone; entrambi i sollevamenti, aventi potenza 45 Kw, portata 20 l/s e prevalenza 150 m., risalgono al 2000 e il loro utilizzo è periodico.

La disinfezione delle acque destinate all'uso umano avviene presso i serbatoi Bardella, Curlo e Bicocca tramite tre rispettivi dosatori di ipoclorito a controllo elettrico.

8.2 Quadro delle criticità

Dalla sovrapposizione tra il quadro delle risorse a servizio dei pubblici acquedotti ed il tracciato delle gallerie della Gronda emerge che il rischio di interferenza è essenzialmente limitato all'area del Comune di Genova.

Le sorgenti che alimentano gli acquedotti dei comuni limitrofi di Arenzano, Mele, S.Olcese, Ceranesi non sono infatti soggette a rischio in quanto interessate da circolazione idrica in sistemi idrogeologicamente differenti da quelli potenzialmente interessati dallo scavo delle gallerie.

Per quanto riguarda le risorse che alimentano l'acquedotto di Genova va precisato che tutte le più importanti fonti di approvvigionamento non risultano minimamente a rischio di interferenza. Gli invasi, le prese da corsi d'acqua superficiali ed i principali campi pozzi che provvedono al rifornimento idrico della città interessano infatti contesti che non vengono neanche lontanamente interessati dalle opere in progetto.

La vasta area in esame ai margini dell'area urbana di Genova è invece caratterizzata da una grande dispersione degli abitati, costituiti da gruppi di case oppure da case isolate in parte adibite all'uso abitativo stanziale in parte a quello stagionale.

In relazione alla frammentazione dell'utenza, molte località non sono servite dal pubblico acquedotto e l'approvvigionamento è affidato a sorgenti di rilevanza anche molta limitata al contesto locale per lo più ad uso di ogni singola abitazione o al servizio consortile di piccoli agglomerati.

Le uniche risorse maggiormente a rischio sono quindi rappresentate da sorgenti oppure gruppi di sorgenti prevalentemente a servizio delle zone altimetricamente più elevate oppure poste ai margini dell'area maggiormente urbanizzata.

Il 21 marzo 2011 è stato effettuato un incontro con Mediterranea delle Acque finalizzato, sulla base dei risultati dell'analisi di rischio idrogeologico delle risorse idriche, ad individuare eventuali criticità nell'approvvigionamento idrico di frazioni o gruppi di case situate in posizioni altimetricamente elevate oppure distanti dalla attuale rete di distribuzione.

Di seguito vengono pertanto descritte, partendo da Ovest verso Est, le maggiori problematiche e le principali caratteristiche delle aree potenzialmente soggette a criticità per l'approvvigionamento idrico.

L'area a rischio indicata con "E" (rif. Elaborati cartografici IDR0401 – IDR0402) è prossima al confine con il Comune di Arenzano e comprende la zona di Crevari; l'alimentazione delle utenze viene normalmente garantita da sorgenti sul versante; nel periodo estivo possono esserci integrazioni su parte delle utenze mediante sollevamento dalla rete di distribuzione costiera. In caso di depauperamento delle sorgenti di versante viene stimato da Mediterranea delle Acque un deficit pari a 3 l/s per le utenze non attualmente collegabili per rilancio dal basso.

Al fine di consentire il sollevamento sarebbe necessario un intervento di potenziamento delle tubazioni esistenti per un tratto di 1 - 1.5 km in settori di versante piuttosto disagiati. Anche lo stesso impianto di sollevamento dovrebbe essere potenziato.

Il gruppo delle sorgenti S 194 - S 200 potrebbe invece essere alimentato dalla parte bassa della rete in caso di criticità senza necessità di interventi particolari.

In sinistra Cerusa, nell'area a Nord di Genova Voltri, una certa criticità è rappresentata dall'Acquedotto privato "Opera Pia" che viene alimentato da sorgenti e provvede al fabbisogno di 40 utenze a Genova Voltri e 10 utenze sparse sul versante. In particolare la sorgente S247 è a rischio elevato per la costruzione della galleria di raccordo tra la Gronda ed il tracciato autostradale esistente.

In tale contesto attualmente non c'è possibilità di allacciamento ma potrà essere previsto un rilancio dal basso da parte della rete di Mediterranea delle Acque oppure in alternativa un approvvigionamento dall'alto dalla rete del Comune di Mele gestita da AM.TER.

Per quanto riguarda le criticità dell'area "D" Mediterranea sottolinea la possibilità di collegamento a loro serbatoi esistenti sul versante presso il quartiere "Canova".

Nell'area "A" è stata dedicata particolare attenzione alle sorgenti Lische (S188 - S192) che sono a rischio di interferenza ed in passato sono state utilizzate dall'acquedotto. Attualmente tuttavia Mediterranea, stante gli onerosi costi di manutenzione delle opere di captazione in relazione alla loro produttività, non è interessata al loro utilizzo, tanto che la stessa concessione non è stata rinnovata; pertanto in caso di mancato impatto tali sorgenti potrebbero costituire una fonte alternativa.

Per quanto riguarda l'area "A" Mediterranea non evidenzia particolari criticità in relazione alle utenze presenti; solo case Fico (S287) risulta essere una località isolata con alcune utenze da servire.

La rete di distribuzione acquedottistica di Genova è caratterizzata dalla presenza di molti impianti di sollevamento, per cui i volumi idrici vengono prevalentemente distribuiti dal basso verso l'alto; solamente in alcuni casi la distribuzione avviene per caduta da captazioni situate in quota; tra questi è da ricordare nell'ambito delle problematiche di interferenza, l'approvvigionamento della Villa Pallavicino (sorgenti S 107 - S108) e di località Cantalupa (sorgenti S229 - S2309).

In questi casi l'approvvigionamento avviene per caduta tramite un acquedotto privato non controllato; per queste captazioni esiste già un progetto del comune per l'approvvigionamento mediante rilancio con sollevamento per un dislivello maggiore di 150 m.

Nella zona di Scarpino (Area "B") l'alimentazione idrica alla discarica proviene dalla rete di Ceranesi attualmente in espansione verso Sud. In caso di problematiche legate all'interferenza con lo scavo della galleria l'allacciamento delle utenze potrà avvenire sia dalla rete di Ceranesi sia da valle con estensione della attuale rete. Le tubazioni attualmente provenienti da Ceranesi non sono adeguate ad assicurare l'approvvigionamento di tutte le utenze presenti nell'area.

La zona di Murta, Area "C", viene raggiunta con sollevamento dal Polcevera per il quale esiste un progetto di potenziamento. Le sorgenti che alimentano Murta sono superficiali e soggette ad intorbidamento. In caso di interferenza e di necessità di allacciamento dal basso sarebbe necessario predisporre l'adeguamento di circa 400 m di tubazione.

Per le captazioni in Area "C" (sorgenti S 345, S344, S318...) può essere previsto un allacciamento dal fondovalle presso località Ciambri.

In zona Est Polcevera (area " F ") non esistono situazioni particolarmente critiche in relazione alla possibilità di allacciamento delle utenze eventualmente impattate alla rete esistente.

9. INTERVENTI PER IL MANTENIMENTO DELL'APPROVVIGIONAMENTO IDRICO IN FASE TRANSITORIA E DI ESERCIZIO

Le indagini svolte nell'area oggetto di intervento, hanno consentito di definire nel dettaglio lo schema di alimentazione delle utenze, potenzialmente a rischio di depauperamento per interferenza con le gallerie in progetto.

Parallelamente è stato effettuato lo studio idrogeologico finalizzato all'analisi delle modificazioni indotte dal tracciato in galleria sulle risorse idriche sotterranee e alla definizione delle misure di mitigazione degli eventuali effetti negativi.

I risultati hanno evidenziato la presenza di nove aree in cui potenzialmente si potrebbero verificare effetti di isterilimento e criticità delle risorse idriche locali.

Le aree sono state contrassegnate con le lettere A, A', B, C, C', D, E, E' ed F; di queste, le prime otto sono ubicate in destra Polcevera e solo una in sinistra Polcevera.

In caso di compromissione delle risorse attualmente esistenti, durante la fase di scavo delle gallerie, si ipotizza un intervento di soccorso immediato, attraverso la predisposizione in campo di serbatoi di compenso, da ubicare in punti ottimali per un funzionamento a gravità e/o in prossimità dell'utenza; questi serbatoi, della capacità ognuno di 12 m³, possono essere parzialmente interrati e non presentano difficoltà tecniche di installazione.

Una volta allacciati alla rete locale si ipotizza il rifornimento tramite autobotti con frequenza 1-2 giorni/settimana, in funzione delle esigenze/consumi dei singoli nuclei famigliari allacciati.

Questo schema di soccorso dovrà essere attivato prima che i lavori di scavo possano interessare le singole aree critiche in modo tale da poter far fronte all'eventuale emergenza in tempo reale.

La sintesi delle proposte è riportata nelle tavole IDR 0401 - Corografia - fase transitoria, in cui sono evidenziate le zone a rischio e l'ipotesi di predisposizione dei serbatoi di soccorso e nella tavola IDR 0402 - Corografia - fase di esercizio, in cui sono riportate schematicamente le azioni di progetto da intraprendere per le singole aree; in concomitanza con l'eventuale riscontro di una o più interferenze si dovranno studiare, anche in affiancamento con gli Enti Gestori del Servizio Idrico Integrato le soluzioni più opportune ed economicamente più vantaggiose per gli utenti.

Le suddette tavole costituiscono un primo approccio schematico al problema del reintegro della risorsa idrica, con particolare riferimento al periodo transitorio. Si segnala che, alla data di revisione del presente studio (maggio 2012), anche a partire dalle suddette indicazioni generali sono stati elaborati specifici progetti in fase definitiva riferiti alle soluzioni di reintegro della risorsa eventualmente impattata.

A riguardo si rimanda all'elaborato IDR 0400 e relativi allegati grafici IDR 0405- 0410.

10. SIMULAZIONE CON MODELLI NUMERICI DELLE INTERFERENZE TRA LE OPERE IN PROGETTO E GLI ACQUIFERI INTERCETTATI

10.1 Obiettivi e metodi della modellizzazione numerica

La modellizzazione numerica è strettamente mirata ad una definizione quantitativa relativamente a specifiche problematiche che potranno essere riscontrate in fase esecutiva e post realizzativa, non compiutamente valutabili attraverso l'applicazione delle formulazioni analitiche e correlazioni empiriche di cui alle precedenti fasi di studio.

In particolare, l'orientamento dell'attività di modellizzazione si basa sulle seguenti considerazioni generali, derivanti dalla fase di analisi geologica-idrogeologica e dai risultati delle indagini attualmente disponibili:

- si ritiene poco attendibile e dunque forviante un modello di flusso a scala degli interi tratti in galleria, ovvero un modello globale esteso anche agli ambiti estranei alle zone specificamente indagate;
- una modellizzazione di dettaglio, in regime permanente e transitorio, si ritiene pertanto applicabile a specifici settori del tracciato in galleria, già definiti sulla base delle indagini geologiche e idrogeologiche precedentemente condotte, e per i quali sono state eseguite prove di emungimento di lunga durata per la determinazione delle caratteristiche e dei parametri idrodinamici dell'acquifero fratturato;
- tali settori di possibile "criticità" sono riferibili al tratto compreso tra le progressive Km 11+900 e 13+100, lungo la galleria Monterosso, per peculiarità ampiamente descritte negli elaborati dello studio geologico;
- per altri settori al di fuori delle aree di approfondimento, l'attività di modellizzazione può essere comunque eseguita con finalità di valutazione parametrica dell'afflusso in galleria per drenaggio libero (verifica con strumenti di calcolo analitici delle valutazioni effettuate con il metodo semiempirico di Heuer).

Sulla base di tali considerazioni si sono definite le attività di modellizzazione numerica nel seguito descritte.

A - Tratto di approfondimento tra le progressive Km 11+900 e 13+100, galleria Monterosso.

Per il tratto di approfondimento sono stati realizzati sia modelli bidimensionali in sezioni ortogonali al tracciato, sia un modello tridimensionale, basato, per quanto riguarda la parametrizzazione idrodinamica, sull'interpretazione delle prove di emungimento dei pozzi realizzati in prossimità dei piezometri di controllo VB7 e VB8.

Le simulazioni hanno riguardato sia il regime transitorio sia quello permanente, condizioni rappresentative rispettivamente della fase di cantiere e di quella post realizzativa.

Per la fase di cantiere è stata assunta una condizione di drenaggio libero, valutando la variazione nel tempo di carico idraulico / pressione sulla sezione di scavo e della portata di afflusso in galleria.

Per la fase post realizzativa, la simulazione ha riguardato sia lo scenario di drenaggio libero sia differenti ipotesi di consolidamento/impermeabilizzazione e/o drenaggio controllato. Per tali analisi di lungo termine, le verifiche riguardano le portate attese e la valutazione dei possibili abbattimenti dei livelli della falda, a tergo del rivestimento definitivo della gallerie, relativamente alle soluzioni progettuali previste e comunque tecnologicamente possibili per lo scavo con TBM della galleria.

B - Tracciato in galleria non ricompreso nel tratto di approfondimento di cui al punto approfondimento di cui al precedente punto A

Sono stati predisposti modelli in sezione bidimensionale, ortogonale al tracciato. Le simulazioni, parametriche, sono riferite a differenti classi di carico statico sull'asse galleria e unità idrogeologiche a differente conducibilità idraulica da prove Lugeon, e riguardano il solo regime permanente. Sono stati verificati esclusivamente scenari di drenaggio libero.

Le simulazioni sono state effettuate utilizzando il codice di calcolo FEFLOW 6.0 (WASI-Danish Hydraulic Institute), tridimensionale agli elementi finiti.

FEFLOW (Finite Element subsurface FLOW system), originariamente sviluppato presso l'Accademia delle Scienze di Berlino, è attualmente uno dei più avanzati codici di calcolo agli elementi finiti, in grado di simulare il flusso e il trasporto bi e tri-dimensionale in mezzi porosi e fratturati, in condizioni confinate e non confinate, soggetti a prescritte condizioni al contorno. Il problema di flusso viene risolto ricoprendo il dominio di interesse mediante una mesh costituita da elementi finiti di forma semplice (triangoli e quadrilateri per domini 2D, esaedri e tetraedri per domini 3D) e applicando l'equazione di flusso tridimensionale. Le principali caratteristiche del codice sono:

- l'utilizzo di griglie tridimensionali non strutturate, a geometria complessa, che permette una fedele ricostruzione sia delle condizioni stratigrafiche e idrogeologiche sia delle strutture inserite nell'ambiente acquifero e interferenti con la circolazione sotterranea;
- proiezioni 2D orizzontali ed in sezione verticale o assi-simmetrica, proiezioni 3D a layer orizzontali o verticali;
- l'assegnazione di parametri idrodinamici e condizioni al contorno variabili nello spazio e nel tempo;
- la possibilità di simulazioni di flusso saturo e insaturo.

Completano le funzionalità del codice FEFLOW specifici moduli per il trasporto di massa (adsorbimento lineare o non lineare, decadimento, dispersione e trasferimento di calore), trasporto di calore (moti convettivi, termodispersione), flussi dipendenti dalla densità (intrusione di acque marine e salmastre, inquinanti densi o flottanti).

10.2 Settore A1 - Progressiva Km 12+200 in asse alla galleria Monterosso

10.2.1 Modello concettuale di riferimento del sistema acquifero

10.2.1.1 *Determinazione delle caratteristiche e dei parametri idrodinamici del sistema acquifero attraverso prove di emungimento*

L'acquifero in corrispondenza del tratto in esame è stato studiato a partire da prove di emungimento eseguite su un pozzo di prova realizzato presso il piezometro VB8 e spinto alla profondità di 200 m, corrispondente al piano di scavo della galleria in progetto, fenestrato nell'intervallo 160-200 m (cfr. schema Figura 71).

In Figura 66 è riportato il grafico tempo (s) - soggiacenza da p.c. (m) relativamente alla prova a portata costante $Q= 0.5$ l/s e successiva curva di risalita. Le differenti curve si riferiscono alle registrazioni in asse pozzo e nei piezometri VB8, PZ1, PZ2, posti rispettivamente alle distanze di 10, 20, 40 m dal pozzo stesso. In Figura 67 sono riportati su diagramma semilogaritmico $\Delta/\log(t)$ i dati relativi alla prova "in discesa".

L'andamento per il piezometro PZ1, vista la maggiore distanza dal pozzo e conseguente maggiore volume dell'acquifero impegnato rispetto a VB8, risulta il più significativo ai fini dell'interpretazione.

Per entrambi i piezometri si nota una rottura di pendenza, ovvero un andamento schematizzabile attraverso due differenti coefficienti angolari (c_1 , c_2 in Figura 67) della retta rappresentativa della funzione $\Delta/\log(t)$. Per PZ2 è ben rappresentato unicamente il primo tratto a minore pendenza.

Tale andamento a curva spezzata è caratteristico di prove in acquiferi con chiusura laterale (cfr. Figura 68, da Castany, 1985), ovvero dove una fascia più trasmissiva risulta confinata lateralmente da un limite stagno o con trasmissività inferiore.

Per tale specifica condizione il calcolo dei parametri idrodinamici può essere effettuato utilizzando il noto metodo di Theis-Jacob per prove in regime transitorio, in cui la trasmissività T (m^2/s) è data da $T = 0,183 Q / c$

dove Q (m^3/s) è la portata costante di emungimento e c (m) è l'abbassamento misurato al piezometro per un ciclo logaritmico.

Il coefficiente di immagazzinamento S (adim) è dato da

$$S = 2,25Tt_0 / x^2$$

dove t_0 (s) rappresenta il tempo di primo abbassamento, T la trasmissività (m^2/s) e x (m) la distanza del piezometro dall'asse pozzo.

Considerati i seguenti dati di prova, riferiti al sistema pozzo - piezometro PZ1:

$$Q = 5.0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$c_1 = 1.1 \text{ m}$$

$$c_2 = 8.2 \text{ m}$$

$$t_0 = 5040 \text{ s}$$

$$x = 20 \text{ m}$$

si calcolano, per i due tratti:

I tratto	$T = 8,32E-05 \text{ m}^2/\text{s}$	$K \approx 2,08E-06 \text{ m/s (*)}$
	$S = 0,00236 \text{ (adim.)}$	
II tratto	$T = 1,12E-05 \text{ m}^2/\text{s}$	$K \approx 2,80E-07 \text{ m/s (*)}$
	$S = 0,00113 \text{ (adim.)}$	

(*) T/L , con $L = 40 \text{ m}$ corrispondente all'estensione lineare dei filtri nel pozzo di prova

Pertanto la prova evidenzerebbe l'emungimento da una fascia fratturata più trasmissiva (corrispondente al primo tratto di curva), limitata lateralmente da un complesso a minore trasmissività. L'ampiezza di tale fascia può essere sommariamente valutata a partire dall'espressione (Castany, 1985):

$$d = x/2 (t_i / t_0)^{0.5}$$

dove t_i rappresenta il tempo di intersezione (cfr. Figura 68), valutato sul grafico di Figura 67 pari a $3.4 \cdot 10^4$ s (piezometro PZ1).

Come valore di prima stima si calcola pertanto una distanza dal limite $d = 26$ m, ovvero, nello scenario di un punto di emungimento localizzato al centro della fascia più fratturata, un'ampiezza complessiva $2d \approx 50$ m.

Tale dato è ritenuto compatibile con i dati geologici e geognostici.

L'interpretazione ottenuta in "discesa" è coerente con quella relativa alla curva di risalita.

A riguardo, in Figura 69 è riportato il grafico $\log t+t'/t'$ (adim.) - Δ residuo (m), per il calcolo della trasmissività a partire dalla curva di risalita, dove

t = tempo di emungimento a portata costante che precede la risalita (s);

t' = tempo dall'inizio della risalita (s).

Il grafico si riferisce ancora al piezometro PZ1, per cui l'interpretazione è più significativa rispetto a VB8 e PZ2, come precedentemente evidenziato. Dall'osservazione del grafico si può notare come successivamente alla prima risposta del piezometro (" t_i " inizio risalita), il recupero avviene per un breve tratto sulla base di un coefficiente medio $c_1 = 1.5$ m, e successivamente con $c_2 = 7,0$ m.

utilizzando il medesimo metodo di Theis-Jacob, in cui

$$T = 0,183 Q / c$$

Si ricava:

I tratto (risalita)	$T = 6,10E-05 \text{ m}^2/\text{s}$	$K \approx 1,53E-06 \text{ m/s}$
II tratto (risalita)	$T = 1,27E-05 \text{ m}^2/\text{s}$	$K \approx 3,18E-07 \text{ m/s}$

Tali valori risultano pressoché analoghi a quanto precedentemente calcolato attraverso l'interpretazione del tratto "in discesa", e confermano peraltro l'interpretazione basata su un acquifero più trasmissivo lateralmente limitato (cfr. schema Figura 70 - Da Castany, 1985).

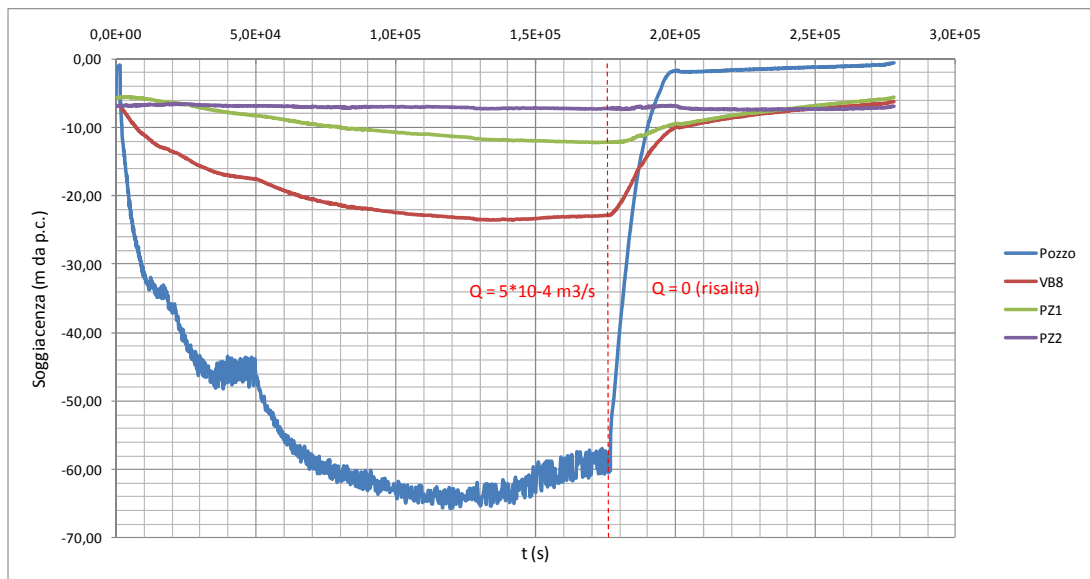


Figura 66 - Prova di emungimento e risalita. Grafico tempo (s) - soggiacenza da p.c. (m).

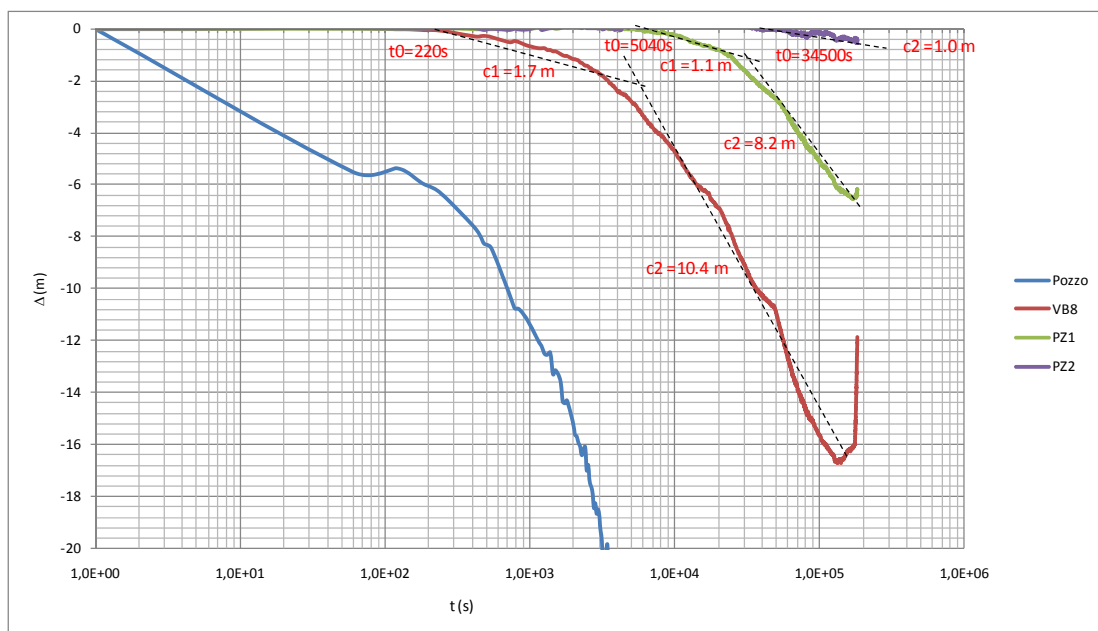


Figura 67 - Grafico log (t) - Δ relativo all'emungimento, ed indicazione dei parametri per l'applicazione del metodo di Theis-Jacob.

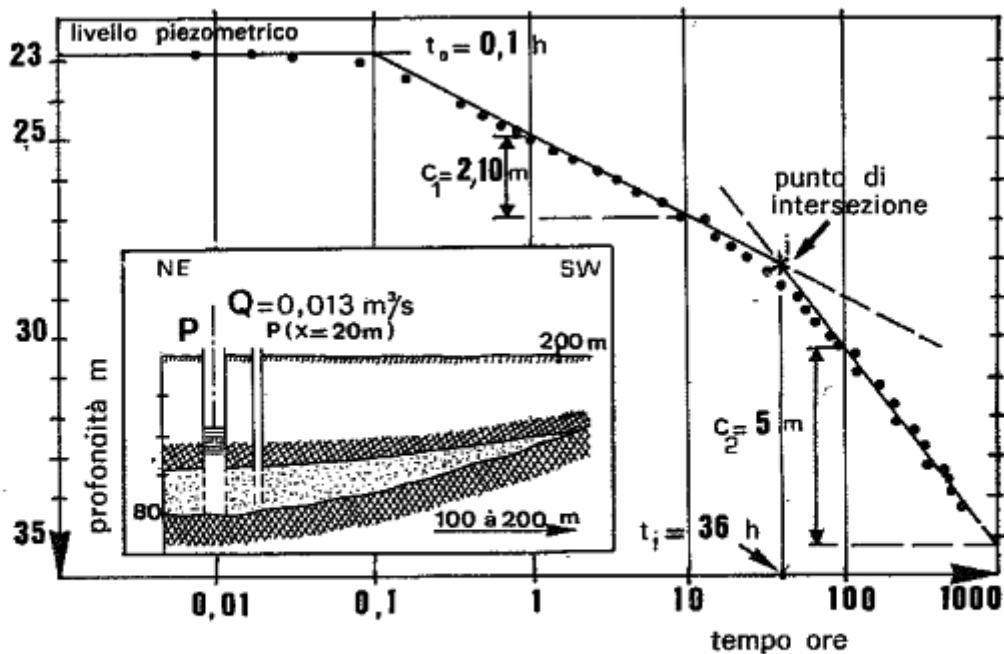


Fig. 85 - Prova di pompaggio nell'acquifero a falda imprigionata, limitato lateralmente da un limite stagno (chiusura laterale stratigrafica), nel Niger. Da J. Forkasiewicz (1972). Retta rappresentativa della discesa. Notare il raddoppiamento dell'inclinazione della retta.

Figura 68 - Esempio di curva relativa al pompaggio da acquifero limitato lateralmente.

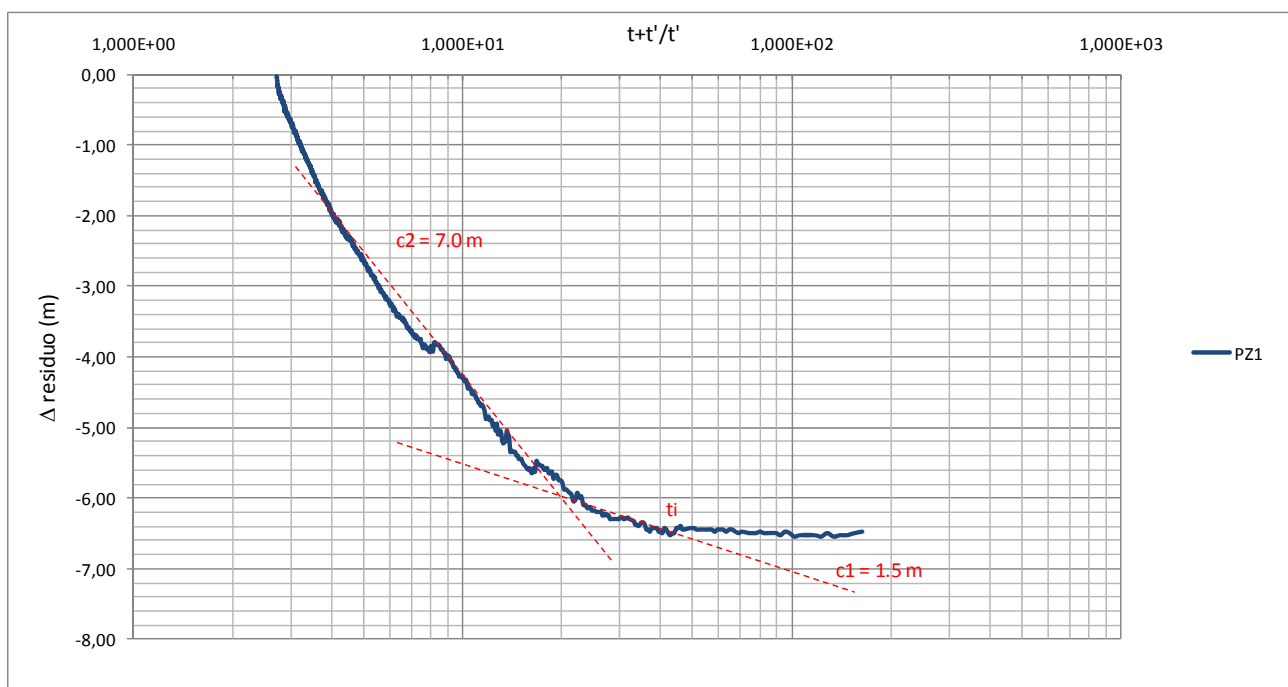


Figura 69 - Grafico relativo alla curva di risalita (Δ - $t+t'/t'$).

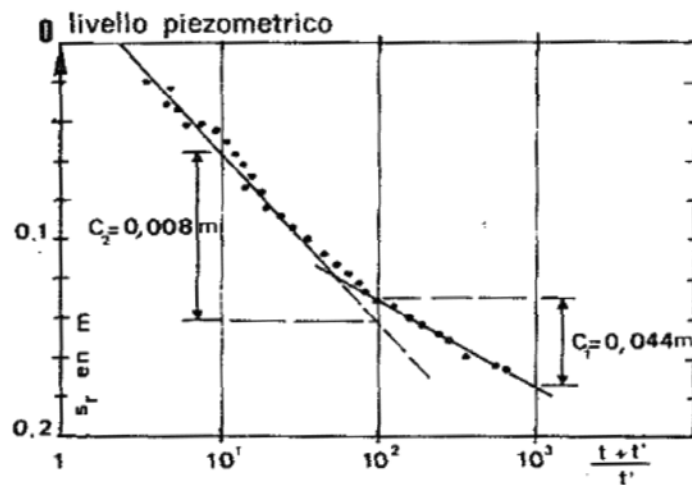


Fig. 87 - Prova di pompaggio a Manga. Retta rappresentativa della risalita. Notare il raddoppiamento dell'inclinazione della retta.

Figura 70 - Esempio di curva relativa al pompaggio da acquifero limitato lateralmente.

10.2.1.2 Schema di riferimento per la modellizzazione

Ai fini della modellizzazione l'acquifero è stato schematizzato come riportato in Figura 72, attraverso una griglia agli elementi finiti triangolari a layer verticali.

Viene simulata una fascia tettonizzata (*FF*), attraversata dalla galleria per un tratto di estensione pari a 50 m compreso tra due layer verticali, come da schema interpretativo della prova di emungimento (Figura 71), e compatibile con i dati stratigrafici.

Tale fascia ha orientazione N-S ortogonale all'asse galleria e parallela alla direzione dei layer verticali di modello.

La fascia *FF* costituisce un acquifero semiconfinato con i seguenti parametri idrodinamici (cfr. par. 10.2.1.1):

$$K = 2,0E-06 \text{ m/s}$$

$$S = 0,00236 \text{ (adim.)}$$

La fascia *FF* è delimitata da un acquitardo con

$$K = 2.0E-7 \text{ m/s}$$

$$S = 0,001 \text{ (adim.)}$$

Al contorno del modello è fissata una condizione di carico imposto (1st order BC) di monte e di valle, ovvero ai due estremi dei layer verticali di modello.

La condizione piezometrica iniziale è rappresentata da una saturazione continua, con carichi piezometrici prossimi al p.c., come risultante dalle misure effettuate in VB8, nel pozzo e nei piezometri di prova.

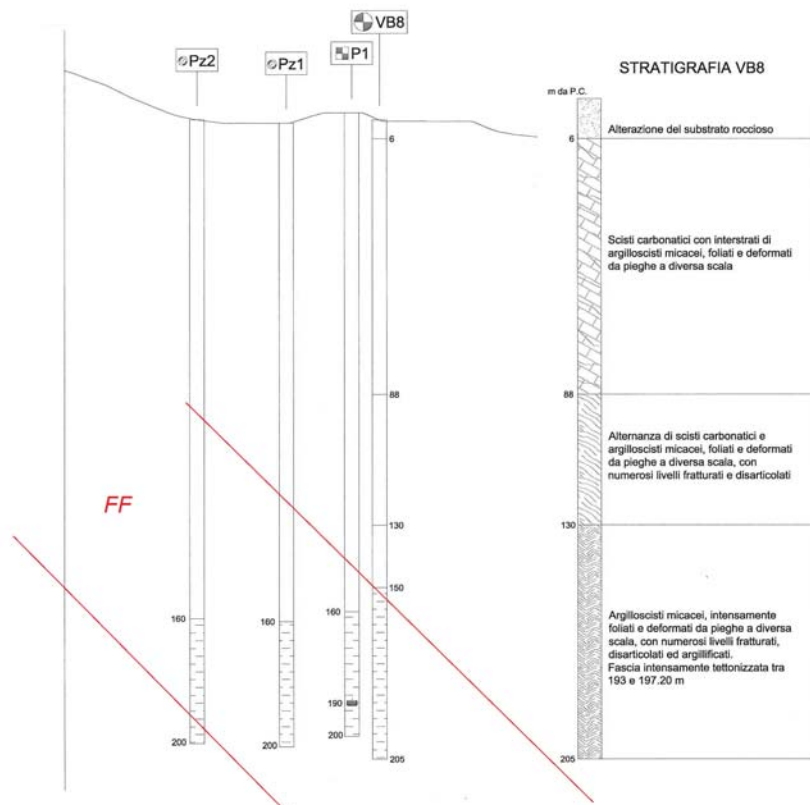
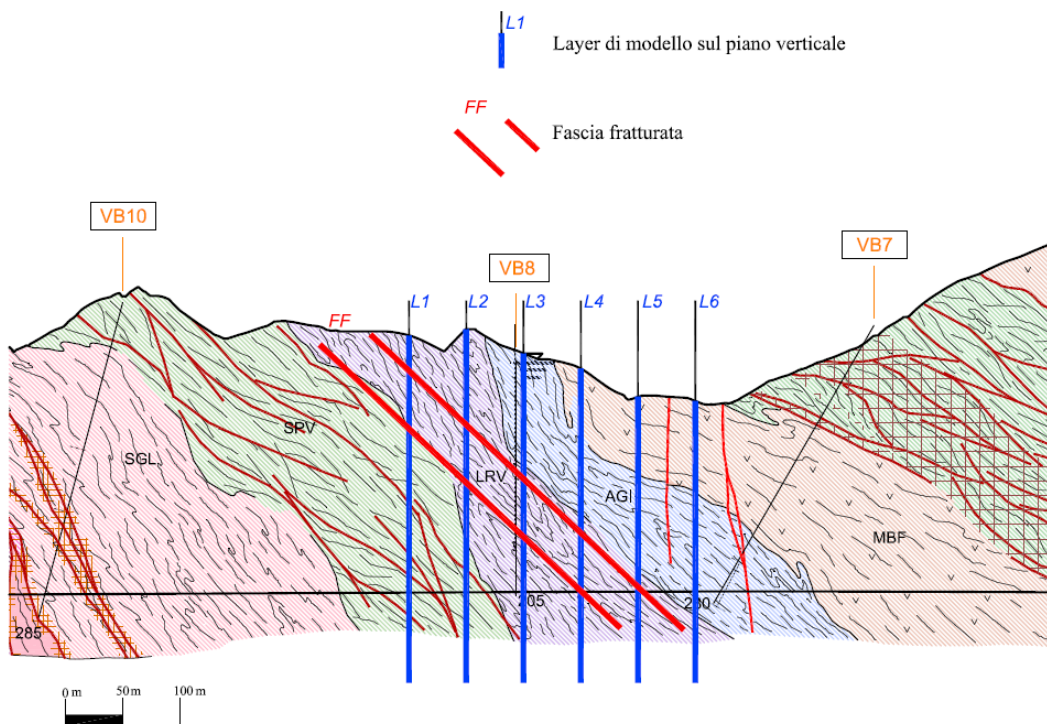


Figura 71 - Schematizzazione della fascia fratturata (FF) testata con la prova di emungimento.



Nota: L1-L6 Layer di modello sul piano verticale; FF fascia fratturata ($K = 1.5 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$)

Figura 72 - Schema del modello a layer verticali.

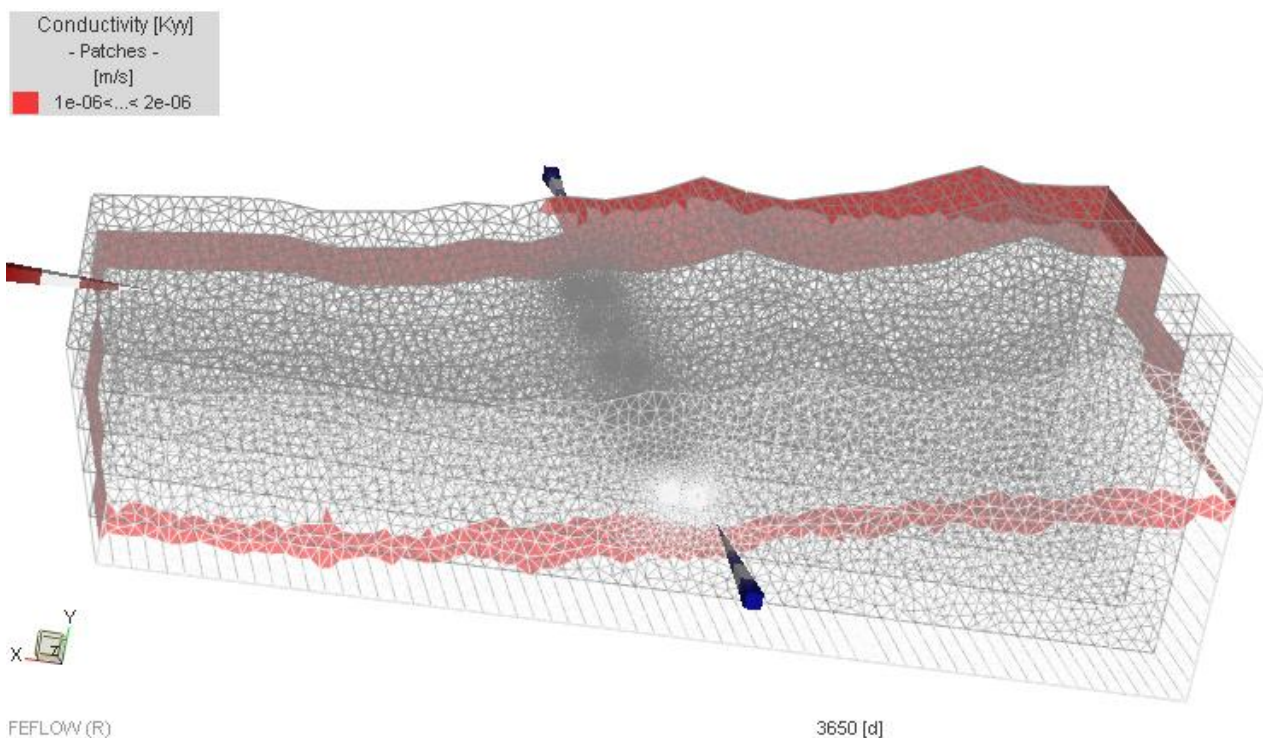


Figura 73 - Visualizzazione del dominio di modello a layer verticali; la fascia in colore rosso è evidenziata la fascia fratturata con $K = 2.0E-6$ m/s.

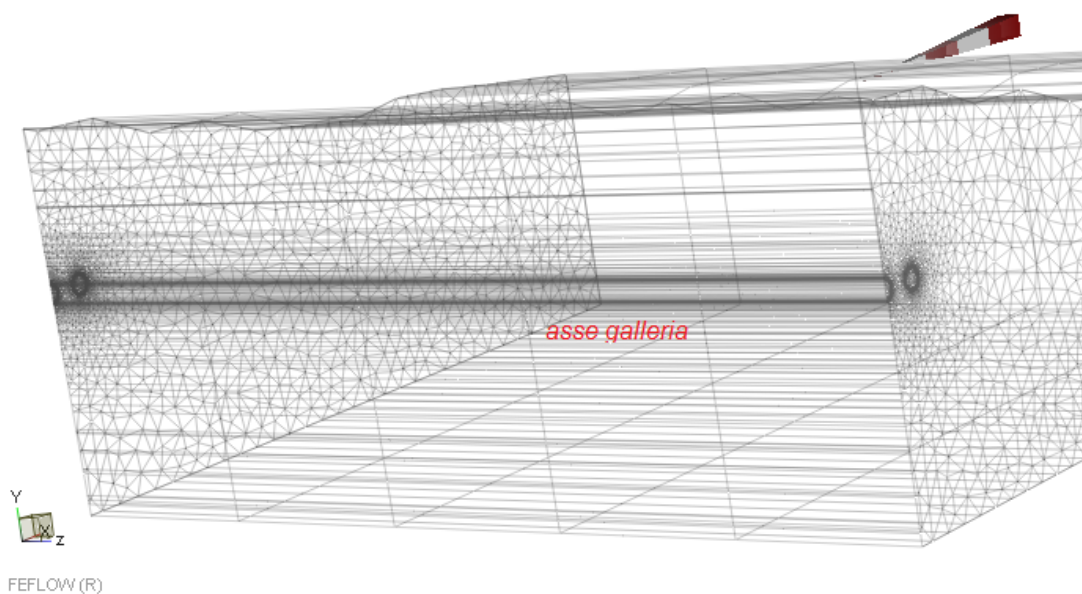


Figura 74 - Sezione longitudinale della griglia di modello in asse galleria.

10.2.2 Simulazione di scenari previsionali

Il modello di flusso è stato applicato alla simulazione dello scenario di drenaggio libero della fascia fratturata

FF intercettata dalla galleria, a partire dal tempo $t=0$.

Le simulazioni sono state eseguite in regime transitorio. Per valutare l'andamento delle pressioni nell'intorno dello scavo sono stati inseriti nel modello 8 piezometri di controllo in posizione simmetrica rispetto all'asse galleria (canna direzione Est), come riportato in Figura 76, suddivise in 4 coppie poste rispettivamente a 0.5 e 7 m dalla superficie di scavo.

Il modello ha consentito la definizione di:

- curve tempo/pressione ai piezometri di controllo localizzati alle diverse distanze dall'asse galleria;
- curve tempo/portata drenata dalla galleria.

Le curve di riduzione delle pressioni e portate sono state calcolate fino alla stabilizzazione asintotica dei valori (fase realizzativa e successivo regime di equilibrio).

La condizione di drenaggio è stata inserita nel modello per entrambe le canne utilizzando la boundary condition "seepage face" di FEFLOW, che definisce al nodo di riferimento una condizione di carico idraulico pari alla quota del nodo, ovvero di pressione nulla.

In Figura 76 è riportato l'output di simulazione relativa alla condizione di drenaggio libero, in proiezione su sezione verticale.

Il grafico riporta la variazione della pressione a partire dal tempo $t=0$ di attivazione del drenaggio, in riferimento ai punti di controllo piezometrico a 0.5 m e 7 m dalla seepage face, in corrispondenza della canna direzione Est.

Nel grafico di Figura 77 è rappresentato il corrispondente andamento delle portate drenate, come sommatoria del contributo dalle due canne.

Con riferimento alle suddette uscite grafiche, si evidenzia quanto segue relativamente alle condizioni di drenaggio libero simulate:

- a partire dal tempo $t=0$ di attivazione del drenaggio in galleria dalla fascia fratturata FF, si osserva una pronta riduzione dei carichi piezometrici, che decadono da un massimo iniziale di 1900 KPa fino ad un massimo di circa 300 KPa entro le prime 48 ore;
- le portate di drenaggio decadono da un valore iniziale di circa 140 l/s, sulla base di una curva logaritmica con asintoto intorno a 18-20 l/s.

La schematizzazione di modello, basata sull'attivazione simultanea del drenaggio lungo l'intera fascia FF di estensione 50 m, può comportare una sottostima dei tempi di riduzione di pressione e portate drenate. Ulteriori affinamenti delle simulazioni potranno essere effettuati a riguardo nell'ambito delle indagini per il progetto esecutivo, noti con maggior dettaglio l'assetto stratigrafico, le velocità di avanzamento e le modalità di drenaggio.

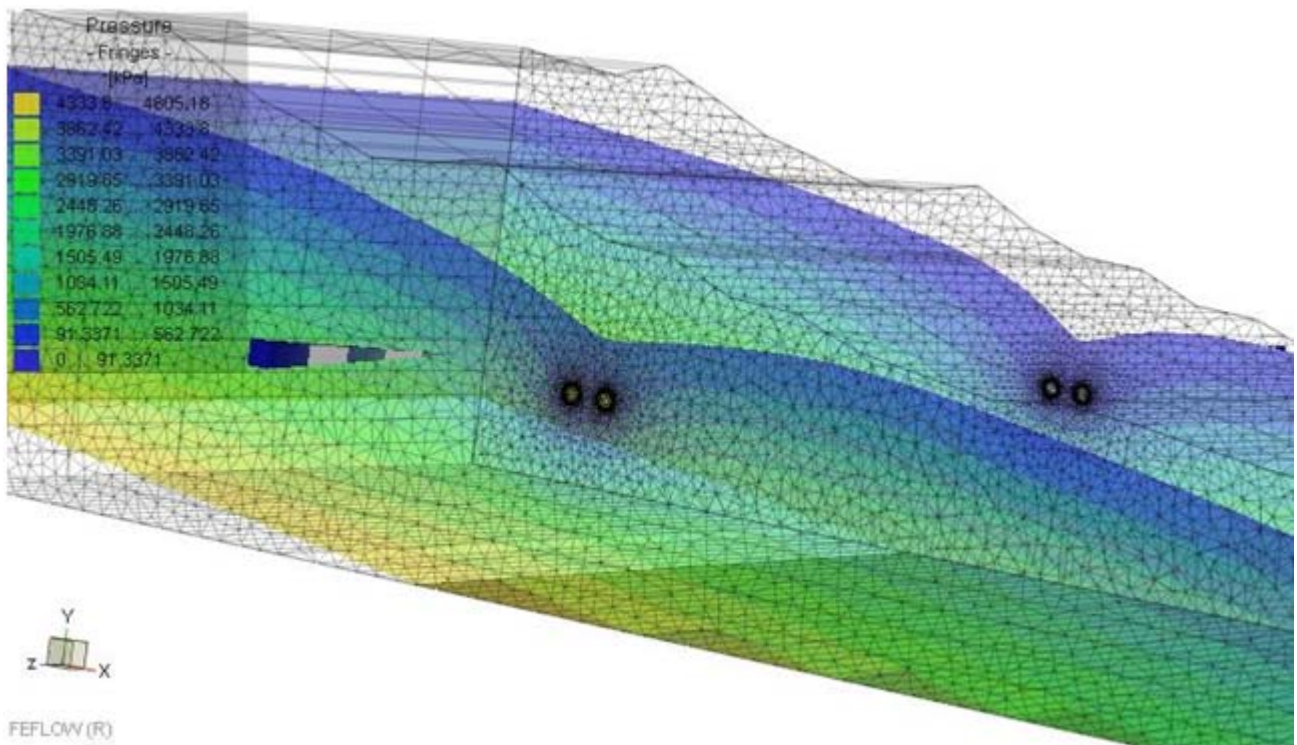


Figura 75

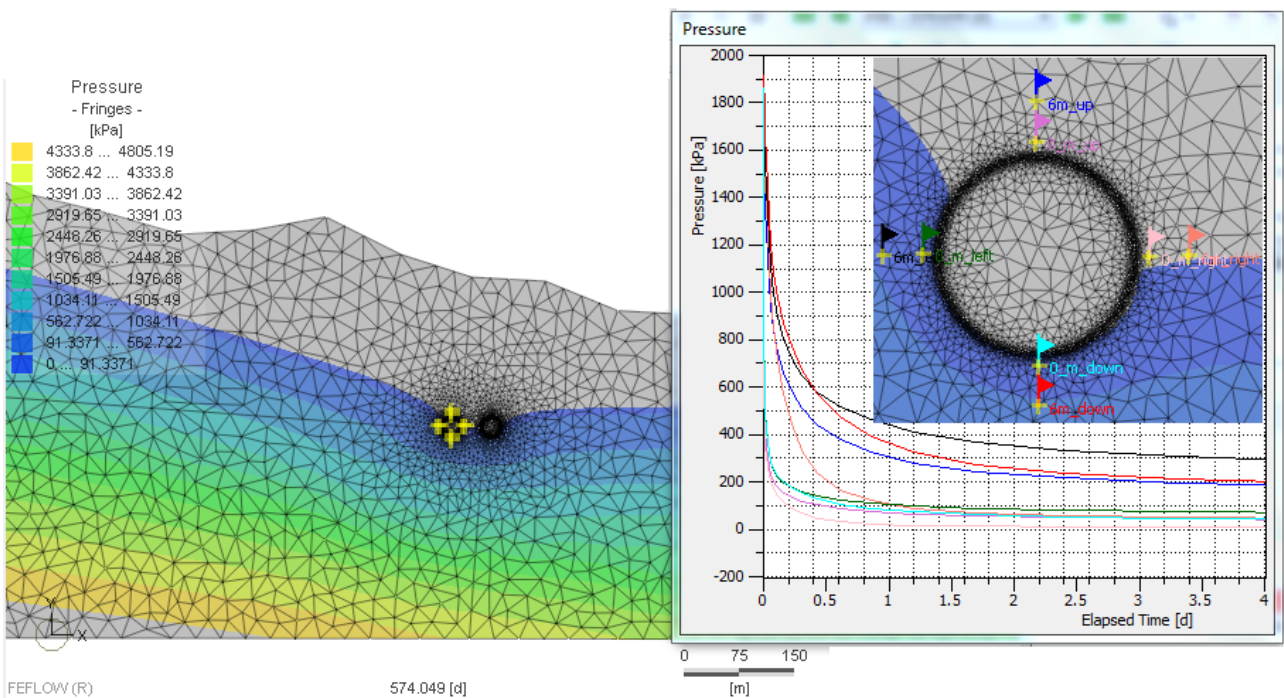


Figura 76 - Curve di riduzione delle pressioni sulla galleria a partire dal tempo t=0 di attivazione del drenaggio.

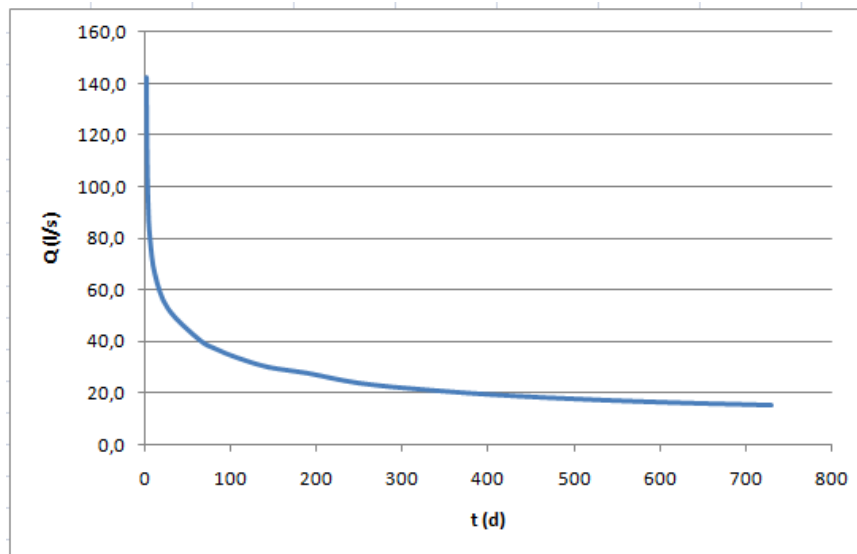


Figura 77 - Curva di esaurimento delle portate in galleria.

10.3 Settore A2 - Progressiva Km 12+700 in asse alla galleria Monterosso

10.3.1 Modello concettuale di riferimento del sistema acquifero

10.3.1.1 *Determinazione delle caratteristiche e dei parametri idrodinamici del sistema acquifero attraverso prove di emungimento*

L'acquifero nel tratto in esame è stato studiato a partire da prove di emungimento eseguite su un pozzo di prova realizzato in adiacenza al sondaggio VB7, della profondità di 100 m da p.c., entro livelli di serpentini cataclasate.

In Figura 78 è riportato il grafico tempo (s) - soggiacenza da p.c. (m) relativo alla prova a portata costante con $Q = 0.25$ l/s e successiva curva di risalita.

Le differenti curve si riferiscono alle registrazioni in asse pozzo e nei piezometri PZ3 e PZ4, posti rispettivamente alle distanze di 7 e 20 m dal pozzo stesso.

In Figura 79 sono riportati su diagramma semilogaritmico $\Delta/\log(t)$ i dati relativi alla prova "in discesa".

Si può notare come solo il piezometro PZ3 abbia un andamento significativo ai fini dell'interpretazione della prova. Una minima influenza del pompaggio è osservabile tuttavia anche in PZ4.

In particolare per PZ3 si ritiene significativo per la valutazione della trasmissività dell'acquifero il tratto sub rettilineo compreso circa tra $5 \cdot 10^3$ e $2.5 \cdot 10^4$ s. Dubitativamente può essere attribuita a chiusura laterale la rottura di pendenza (indicata sul diagramma) osservabile per tempi di pompaggio superiori.

Il calcolo dei parametri idrodinamici può essere effettuato utilizzando il noto metodo di Theis-Jacob per prove in regime transitorio, in cui la trasmissività T (m^2/s) è data da

$$T = 0,183 Q / c$$

dove Q (m^3/s) è la portata costante di emungimento e c (m) è l'abbassamento misurato al piezometro per un ciclo logaritmico.

Il coefficiente di immagazzinamento S (adim) è dato da

$$S = 2,25Tt_0 / x^2$$

dove t_0 (s) rappresenta il tempo di primo abbassamento, T la trasmissività (m^2/s) e x (m) la distanza del piezometro dall'asse pozzo.

Considerati in riferimento al sistema pozzo - piezometro PZ3:

$$Q = 2.5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$C = 2.9 \text{ m}$$

$$t_0 = 1300 \text{ s}$$

$$x = 7 \text{ m}$$

si calcolano:

$T = 1,58E-05 \text{ m}^2/\text{s}$	$K \approx 3,2E-07 \text{ m/s (*)}$
$S = 0,001 \text{ (adim.)}$	

(*) T/L , con L (m) corrispondente all'estensione lineare dei filtri nel pozzo di prova

Attribuendo alla rottura di pendenza osservata nella curva sperimentale il significato di una chiusura laterale, ovvero di un limite con una porzione a minore trasmissività, l'ampiezza di tale fascia può essere sommariamente valutata a partire dall'espressione (Castany, 1985):

$$d = x/2 (t_i / t_0)^{0.5}$$

dove t_i rappresenta il tempo di intersezione (cfr. Figura 68), valutato sul grafico di Figura 67 pari a $1.4 \cdot 10^4$ s.

Come valore di prima stima si calcola pertanto una distanza dal limite $d \approx 12$ m, ovvero, nello scenario di un punto di emungimento localizzato al centro della fascia più fratturata, un'ampiezza complessiva $2d \approx 20-25$ m. Tale dato rientra nell'ambito delle normali alternanze di livelli più o meno fratturati riscontrabili nei sondaggi stratigrafici.

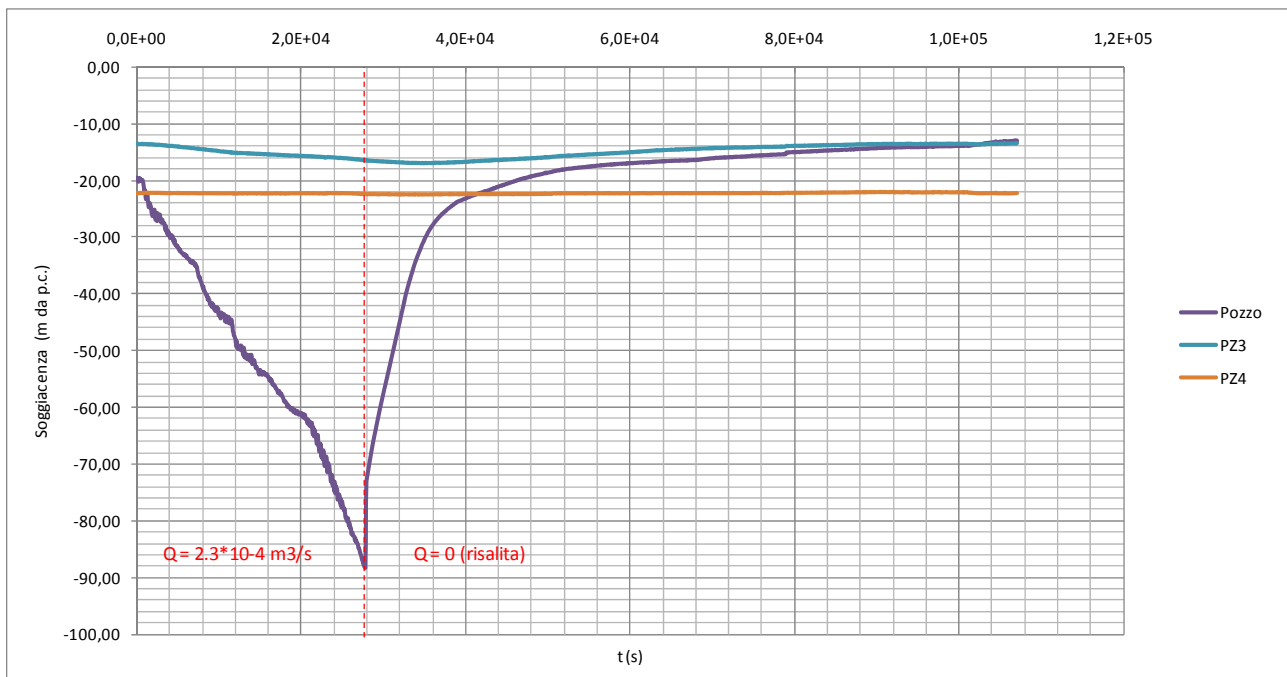


Figura 78 - Prova di emungimento e risalita (pozzo 2). Grafico tempo (s) - soggiacenza da p.c. (m).

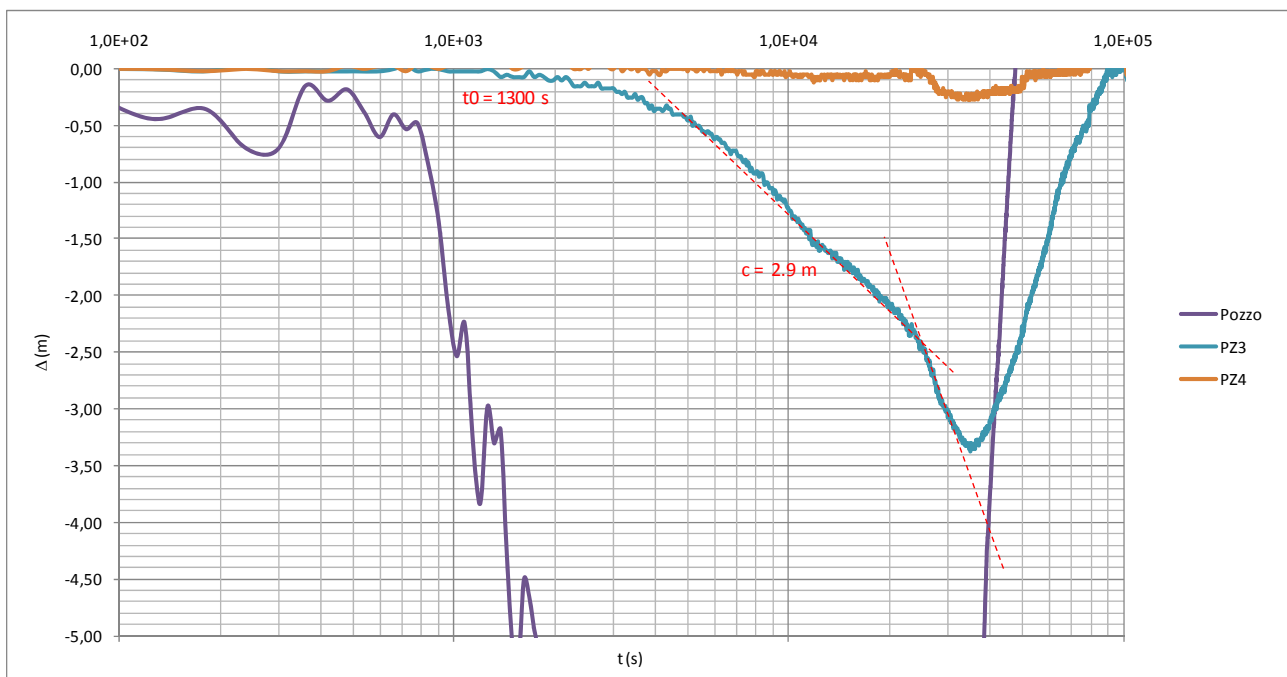


Figura 79 - Grafico log (t) - Δ relativo all'emungimento, ed indicazione dei parametri per l'applicazione del metodo di Theis-Jacob.

Il dato relativo alla trasmissività nel settore testato, non costituisce pertanto un valore elevato, ma è in linea con i valori medi riscontrati puntualmente nella medesima unità litologica a partire dalle prove Lugeon. Si ritiene a riguardo che lo stato di frantumazione della fascia cataclastica determini una rilevante eterometria e incidenza della matrice fine, tali da limitare la trasmissività della fascia cataclastica.

Indubbiamente di maggior rilievo è il riscontro nel medesimo settore di importanti venute dal foro di sondaggio orientato PZ7bis, rilevate in avanzamento entro una fascia di serpentiniti fratturate, nel settore esterno della zona di taglio di Scarpino verosimilmente in prossimità del contatto con le metabasiti.

Per tale venuta è stata misurata in data 27/03/11 una portata di 4.0 l/s. Il livello artesiano è stato stimato dall'impresa in non meno di +10 m dal p.c.. Tale portata è andata incrementando al procedere del sondaggio sino a 12 l/s circa alla profondità di 285 m, con un carico d'acqua, misurato nel corso di prova pressiometrica corrispondente a circa 30 m sulla quota di p.c.. Tali dati di pressione potranno essere rivalutati a seguito del completamento del sondaggio con piezometro e manometro in testa, e di una prova di emungimento e risalita su pozzo singolo, a supporto della fase di progettazione esecutiva.

Sulla base dei dati disponibili, possono essere tuttavia fatte significative valutazioni a livello di ordine dimensionale.

Considerando a livello di stima preliminare e speditiva, sulla base delle usuali correlazioni semiempiriche

$$T \approx 1.2 Q_s \text{ (Logan, 1973) [1]}$$

Dove Q_s è la portata del pozzo in rapporto all'abbassamento unitario, si valuta:

$$T \approx 1.2 * 4.0 * 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} / 10 \text{ m} = 4.8 * 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

Da cui, per una fascia fratturata dell'ordine dei 50 m

$$K \approx 9,6 * 10^{-6} \text{ m/s [1]}$$

Seppure tali calcoli siano necessariamente approssimati, si evidenzia dunque a livello di ordine dimensionale la presenza nell'ambito delle fasce maggiormente fratturate nelle serpentiniti, valori di conducibilità idraulica dell'ordine di 10^{-5} m/s, largamente superiore ad un valore "di fondo" del medesimo litotipo intorno a 10^{-7} m/s, riscontrato con le prove Lugeon in foro.



Figura 80 - Venuta d'acqua in pressione dal foro di sondaggio VB7 bis.

10.3.1.2 Schema di riferimento per la modellizzazione

Ai fini della modellizzazione l'acquifero è stato schematizzato come riportato in Figura 81, attraverso una griglia agli elementi finiti triangolari a layer verticali.

La schematizzazione si basa sul riscontro, come precedentemente evidenziato, di una fascia *FF* a maggiore permeabilità nel settore più prossimo al contatto con le metabasiti (MBF), intercettata dal sondaggio orientato VB7bis. Tale fascia è delimitata alla base da livelli cataclastici-milonitici in cui la permeabilità è limitata dall'eterometria e dalla presenza di limi di frizione, e al tetto dalle meta basiti più integre, al di fuori della zona di disturbo tettonico.

In accordo con tale schema interpretativo viene pertanto simulata una fascia *FF*, attraversata dalla galleria per un tratto di estensione pari a 50 m (distanza tra due layer verticali del modello di flusso), inclinata a 35° con direzione N-S e vergenza E (ortogonale all'asse galleria e parallela alla direzione dei layer verticali di modello), ovvero concorde con quella delle strutture, come da profilo geologico di progetto. La fascia fratturata *FF* è caratterizzabile dal punto di vista idrodinamico sulla base dei dati disponibili per la presente fase di progetto, con riferimento alla prima interpretazione dei dati di portata/pressione valutati per in corrispondenza del sondaggio orientato VB7bis, come precedentemente riportato.

Con riferimento ancora allo schema interpretativo di Figura 81, la fascia inclinata *FF* è delimitata superiormente e inferiormente da livelli a acquitardo corrispondenti a:

- fascia di frizione alla base (permeabilità ridotta per eterometria e matrice fine nei livelli cataclastici), caratterizzata dalle prove di emungimento nel settore del sondaggio VB7;
- complesso delle metabasiti (MBF) al tetto, la cui conducibilità idraulica "di fondo", ovvero al di fuori delle zone tettonicamente disturbate è ricavabile dalle prove in foro Lugeon eseguite in settori di galleria limitrofi.

La fascia *FF* costituisce dunque un acquifero semiconfinato con i seguenti parametri idrodinamici (cfr. par. 10.2.1.1):

$$K = 2,0E-06 \div 1.0E-5$$
$$S = 0,002 \text{ (adim.)}$$

La medesima fascia *FF* è delimitata da livelli acquitardo alla base e al tetto con:

$$K = 3.0E-7 \text{ m/s}$$
$$S = 0,001 \text{ (adim.)}$$

come da prove su pozzo/piezometri VB7 e concordanti prove Lugeon.

Al contorno del modello è fissata una condizione di carico imposto (1st order Dirichlet BC) di monte e di valle, ovvero ai due estremi dei layer verticali di modello.

La condizione piezometrica iniziale è rappresentata da una saturazione continua, con carichi piezometrici fino a +10 m da p.c., come risultante dai dati relativi al sondaggio orientato VB7bis.

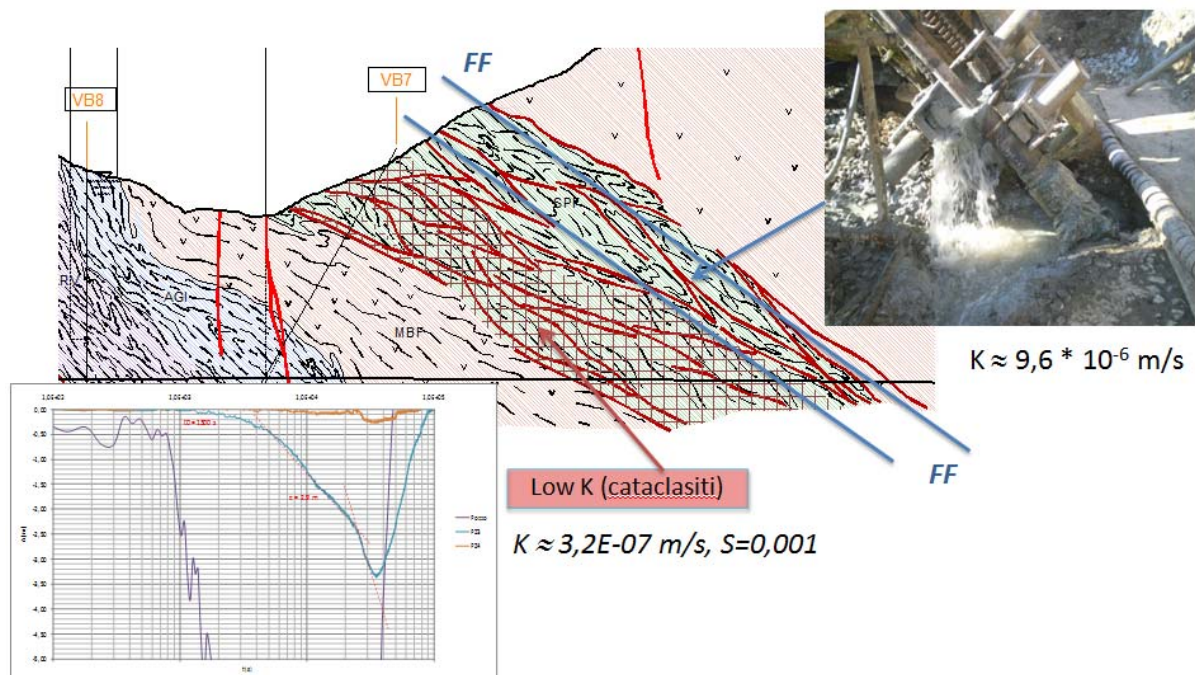
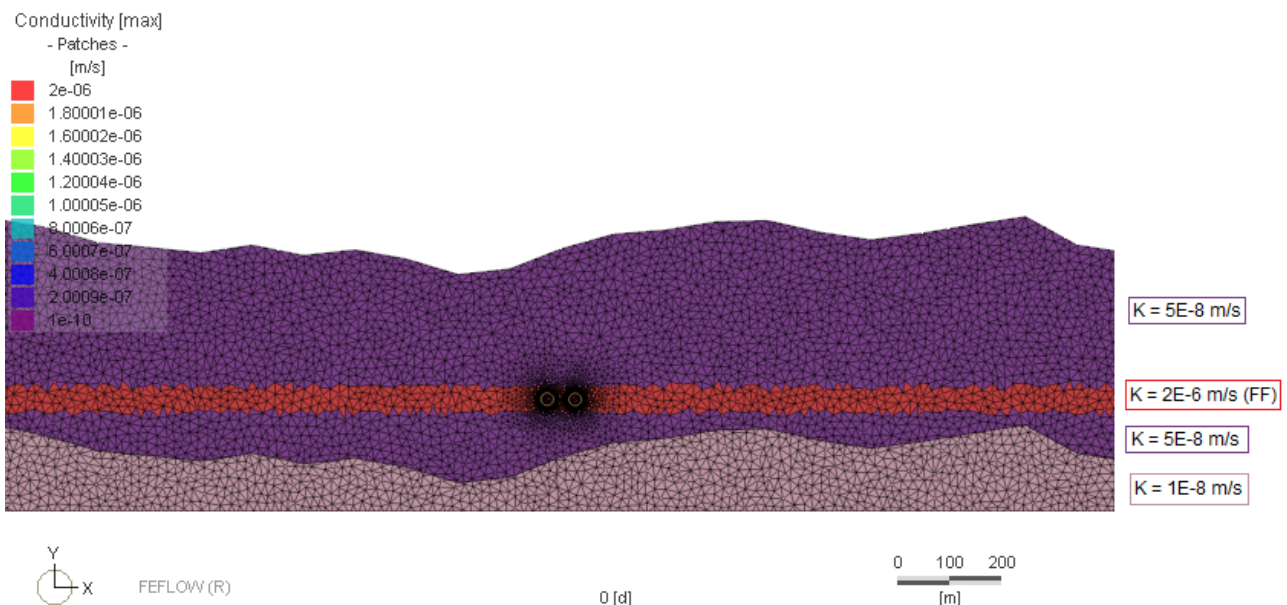


Figura 81 - Schema di riferimento per la modellizzazione.



Nota: la fascia fratturata FF è suborizzontale in sezione ortogonale all'asse gallerie
 Figura 82 - Sezione ortogonale all'asse galleria (in rosso la fascia fratturata FF).

10.3.2 Simulazione di scenari previsionali

A supporto degli aspetti progettuali il modello di flusso è stato applicato alla simulazione dei seguenti scenari relativi alla fase realizzativa e post realizzativa del tratto in galleria:

- drenaggio libero della fascia fratturata FF intercettata dalla galleria, a partire dal tempo $t=0$;
- drenaggio controllato a seguito di interventi di consolidamento, come attualmente definiti o allo studio, determinanti una riduzione della conducibilità idraulica nell'anello roccioso a ridosso del cavo galleria.

Le simulazioni sono state eseguite in regime transitorio. Sono stati inseriti nel modello 8 piezometri in posizione simmetrica rispetto all'asse galleria (canna direzione Est), come riportato in Figura 83, suddivise in 4 coppie di piezometri poste rispettivamente a 0.5 e 7 m dalla canna. La posizione dei piezometri è stata definita in funzione delle profondità attualmente previste dei possibili interventi di consolidamento, come nel seguito specificato.

Per entrambe le condizioni di drenaggio libero e controllato il modello consente la definizione di:

- curve tempo/pressione ai piezometri di controllo localizzati alle diverse distanze dall'asse galleria;
- curve tempo/portata drenata dalla galleria.

La condizione di drenaggio è stata inserita nel modello per entrambe le canne utilizzando la boundary condition "seepage face" di FEFLOW, che definisce al nodo di riferimento una condizione di carico idraulico pari alla quota del nodo, ovvero di pressione nulla.

- Condizioni di drenaggio libero

In Figura 83 è riportato l'output di simulazione relativa alla condizione di drenaggio libero, in proiezione su sezione verticale.

Il grafico riporta la variazione della pressione a partire dal tempo $t=0$ di attivazione del drenaggio, in riferimento ai punti di controllo piezometrico a 0.5 m e 7 m dalla seepage face, in corrispondenza della canna direzione Est.

Nel grafico di Figura 85 è rappresentato il corrispondente andamento delle portate drenate, come sommatoria del contributo dalle due canne.

Con riferimento alle suddette uscite grafiche, si evidenzia quanto segue relativamente alle condizioni di drenaggio libero simulate:

- a partire dal tempo di attivazione del drenaggio in galleria dalla fascia fratturata FF, si osserva una pronta riduzione dei carichi piezometrici, che decadono da un massimo iniziale di 2700 KPa fino ad un massimo di circa 300 KPa entro le prime 48 ore;
- nelle condizioni in esame, le portate di drenaggio decadono da un valore iniziale all'attivazione di circa 160 l/s, sulla base di una curva logaritmica con asintoto intorno a 20 l/s.

Un ulteriore scenario di simulazione ha riguardato il valore massimo di permeabilità $K = 1E-6$ m/s da cui valori di attivazione ulteriormente elevati e un asintoto di stabilizzazione intorno a 60 l/s (Figura 86).

La schematizzazione di modello, basata sull'attivazione simultanea del drenaggio lungo l'intera fascia FF di estensione 50 m, può comportare una sottostima dei tempi di riduzione di pressione e portate drenate. Ulteriori affinamenti delle simulazioni potranno essere effettuati a riguardo nell'ambito delle indagini per il progetto esecutivo, noti con maggior dettaglio sia l'assetto stratigrafico sia una stima relativa alle velocità di avanzamento e alle modalità di drenaggio.

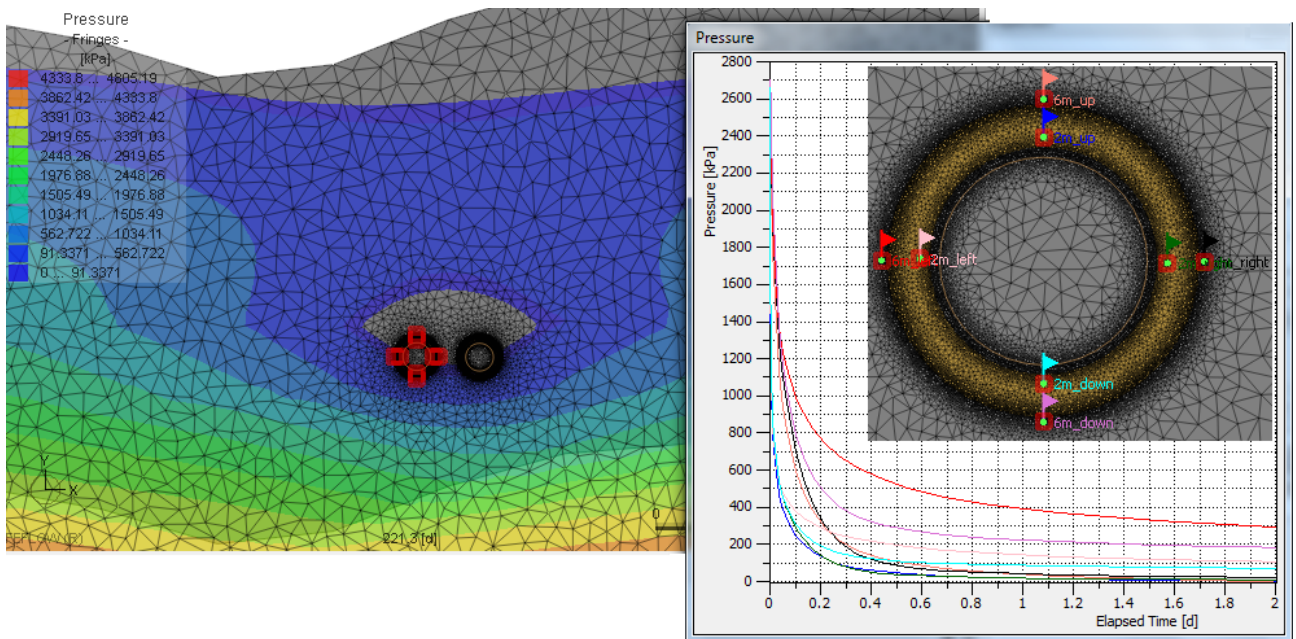
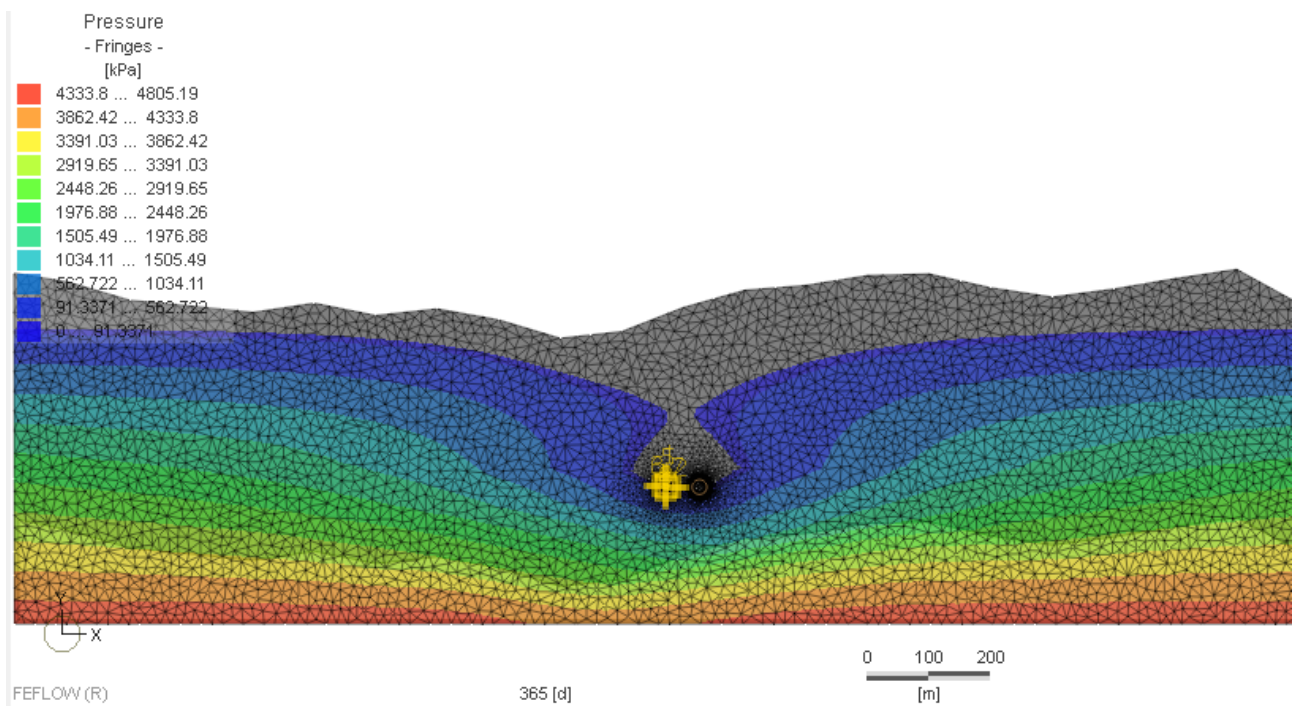
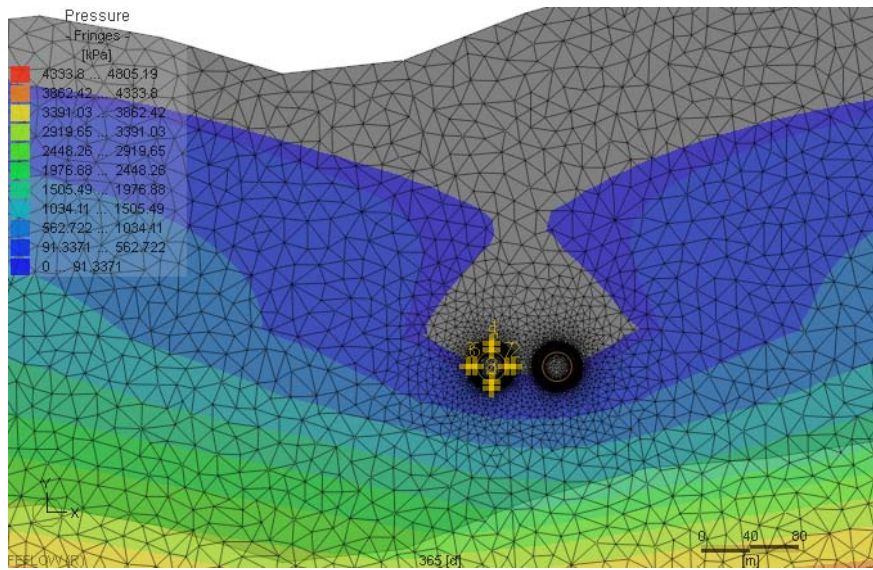


Figura 83 - Simulazione della condizione di drenaggio libero della fascia fratturata FF.



a



b

Figura 84 a,b - Condizione iniziale (drenaggio libero dopo 365 gg), della simulazione in presenza di consolidamento e rivestimenti.

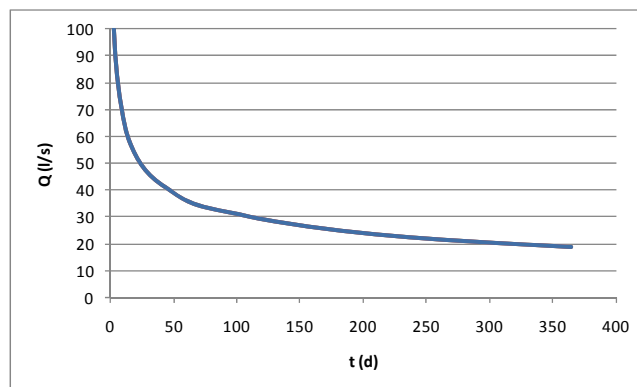


Figura 85 - Curva di esaurimento delle portate in galleria.

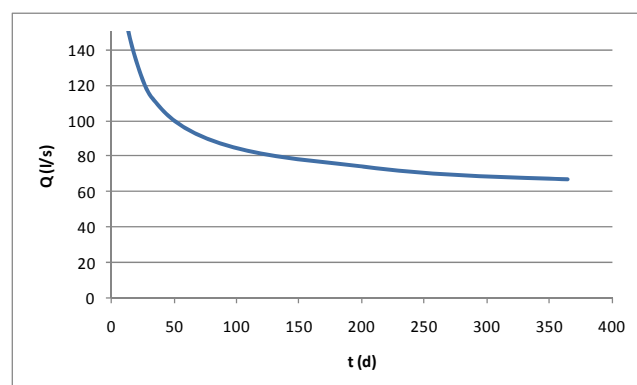


Figura 86 - Curva di esaurimento delle portate in galleria nell'ipotesi di una conducibilità idraulica lungo la fascia fratturata FF $K = 1 \cdot 10^{-5}$ m/s (valore ritenuto possibile dalle correlazioni approssimate tra i valori di pressione artesiani e portata in uscita dal piezometro PZ7 bis, cfr. formulazione [1] nel precedente par. 10.3.1.1).

- Condizioni di drenaggio controllato

Relativamente alle condizioni di drenaggio controllato, per le analisi a lungo termine, come da indicazioni di progetto è stato simulato un anello di rivestimento definitivo in cls di spessore di 60 cm con permeabilità di 10^{-10} m/s e un anello al contorno di estensione pari a 5 m con permeabilità ridotta a 5×10^{-9} m/s per effetto di iniezioni di impermeabilizzazione, realizzabili in avanzamento dalla testa della fresa.

Tali condizioni sono state inserite nel modello a partire da una mesh rifinita sulla base delle geometrie anulari intorno al foro galleria delle dimensioni suindicate.

In Figura 87 è riportato l'output di simulazione relativa alla condizione di drenaggio controllato, in sezione ortogonale all'asse galleria.

Il grafico riporta la variazione della pressione a partire dal tempo $t=0$ di attivazione del drenaggio, in riferimento ai punti di controllo piezometrico a 0.5 m e 7 m dalla seepage face, in corrispondenza della canna direzione Est.

Nel grafico di Figura 88 è rappresentato il corrispondente andamento delle portate drenate, come sommatoria del contributo dalle due canne.

Con riferimento alle suddette uscite grafiche, si evidenzia quanto segue relativamente alle condizioni di drenaggio controllato:

- l'intervento determina un recupero delle pressioni sul cavo galleria fino ad un valore asintotico intorno a 1900-2000 KPa (pertanto inferiore fino a circa 700 kPa rispetto al valore statico iniziale ante-operam);
- a seguito dell'incremento di pressione sulla galleria, si osserva nel tempo un corrispondente aumento delle portate, fino ad un valore asintotico stimato dal modello intorno a 0,25 l/s (inferiore pertanto di circa due ordini di grandezza rispetto ai valori stabilizzati in condizioni di drenaggio libero - cfr. precedente Figura 85).

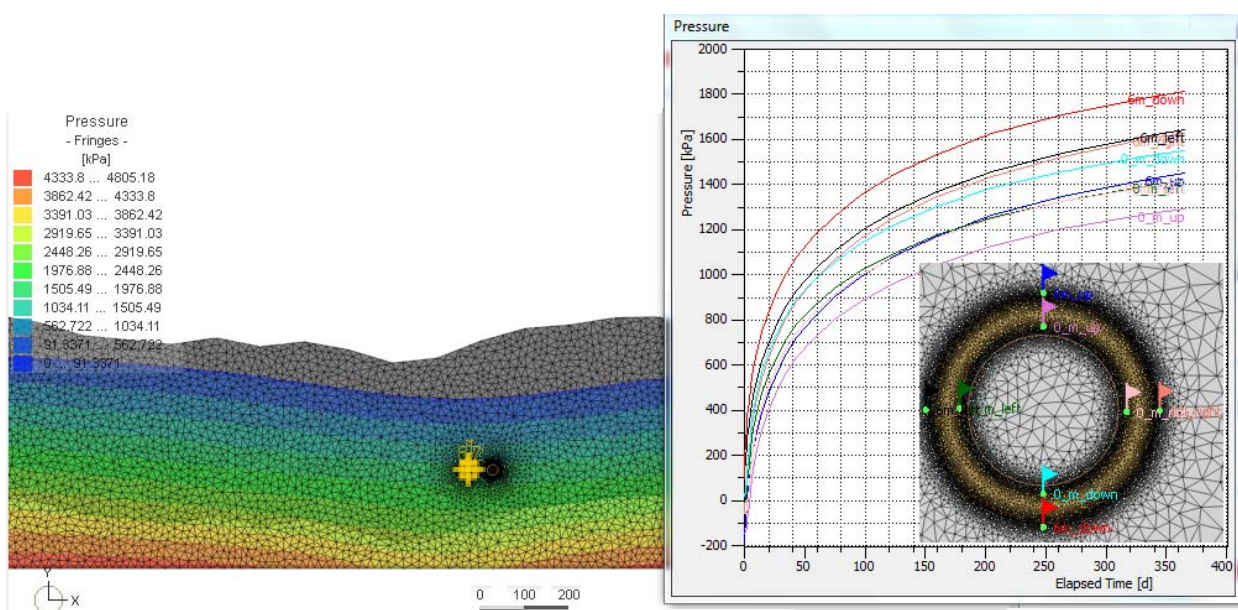
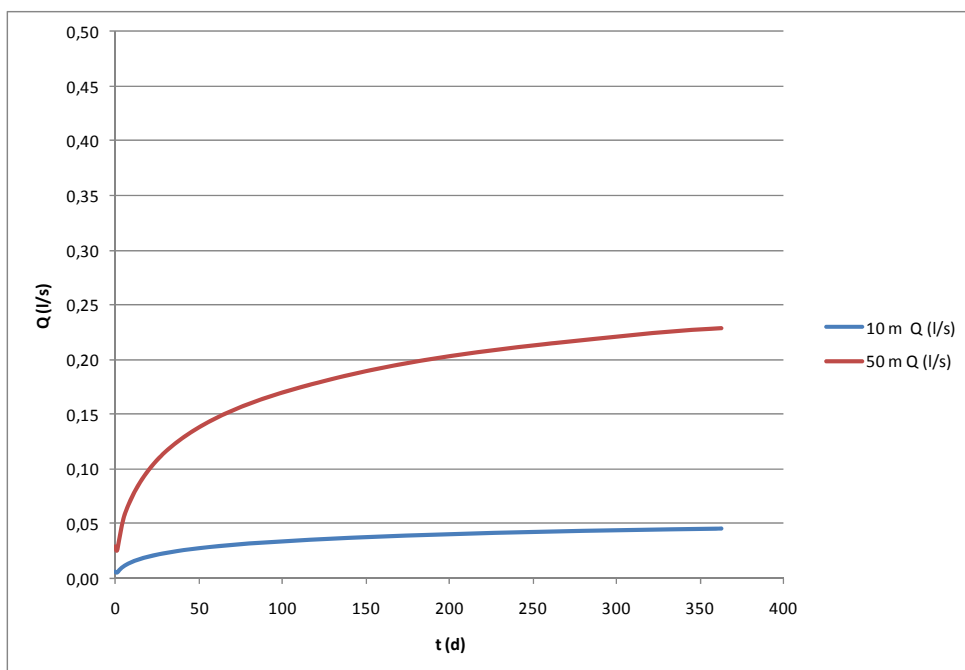


Figura 87 - Ripresurizzazione dell'acquifero in presenza di consolidamento e rivestimenti.



Nota: oltre allo scenario di intercettazione della fascia fratturata per un tratto di estensione L=50 m come da schema concettuale sopradescritto, è stata valutata anche l'ipotesi di una fascia di intercettazione della medesima fascia per un tratto di galleria di estensione L=10 m

Figura 88 - Andamento delle portate di drenaggio successive al consolidamento; si osserva un incremento asintotico degli afflussi correlato all'incremento delle pressioni.

10.4 Tracciato in galleria non ricompreso nel tratto di approfondimento di cui al punto A

Relativamente al tracciato in galleria non ricompreso nel tratto di approfondimento, l'applicazione di modelli numerici presenta limiti di attendibilità, per la minore definizione del modello concettuale di base, stratigrafico e idrodinamico.

Per tale motivo, al di fuori di tale settore, l'analisi idrogeologica si è basata su valutazioni qualitative e sull'applicazione di metodi analitici e correlazioni empiriche. In particolare, oltre all'indice DHI per la valutazione delle interferenze ambientali sul sistema delle sorgenti, l'afflusso in galleria è stato valutato sulla base del noto metodo dei diagrammi di Heuer, a partire dai risultati delle prove di permeabilità Lugeon (cfr. precedente par. 6.1).

Il modello di flusso, applicato in termini parametrici, ha peraltro consentito una verifica delle valutazioni effettuate a più ampia scala con il metodo di Heuer.

In particolare le verifiche, su modello bidimensionale, hanno riguardato la condizione di una fascia in sezione verticale di conducibilità idraulica $K = 2E-7$ m/s, valore "di fondo" ricorrente sulla base delle prove Lugeon eseguite sui tratti fratturati al livello del piano di scavo delle galleria (cfr. Tabella 21), e di carico statico in asse galleria pari ad 80 m.

Per tale schema, rappresentativo di condizioni medie riscontrabili nei settori fratturati in cui sono state eseguite le prove Lugeon, è stato valutato dal modello l'afflusso in galleria, nell'ipotesi di drenaggio libero dalle due canne (cfr. Figura 89b), in regime permanente.

In Figura 89a è riportato per confronto il calcolo con il metodo di Heuer.

Per una fascia acquifera confinata (condizione "Radial flow", no "vertical recharge"), si stima con il metodo di Heuer un afflusso di 2.5 l/min/ m di carico idraulico H, in riferimento a un tratto di galleria di 100 m.

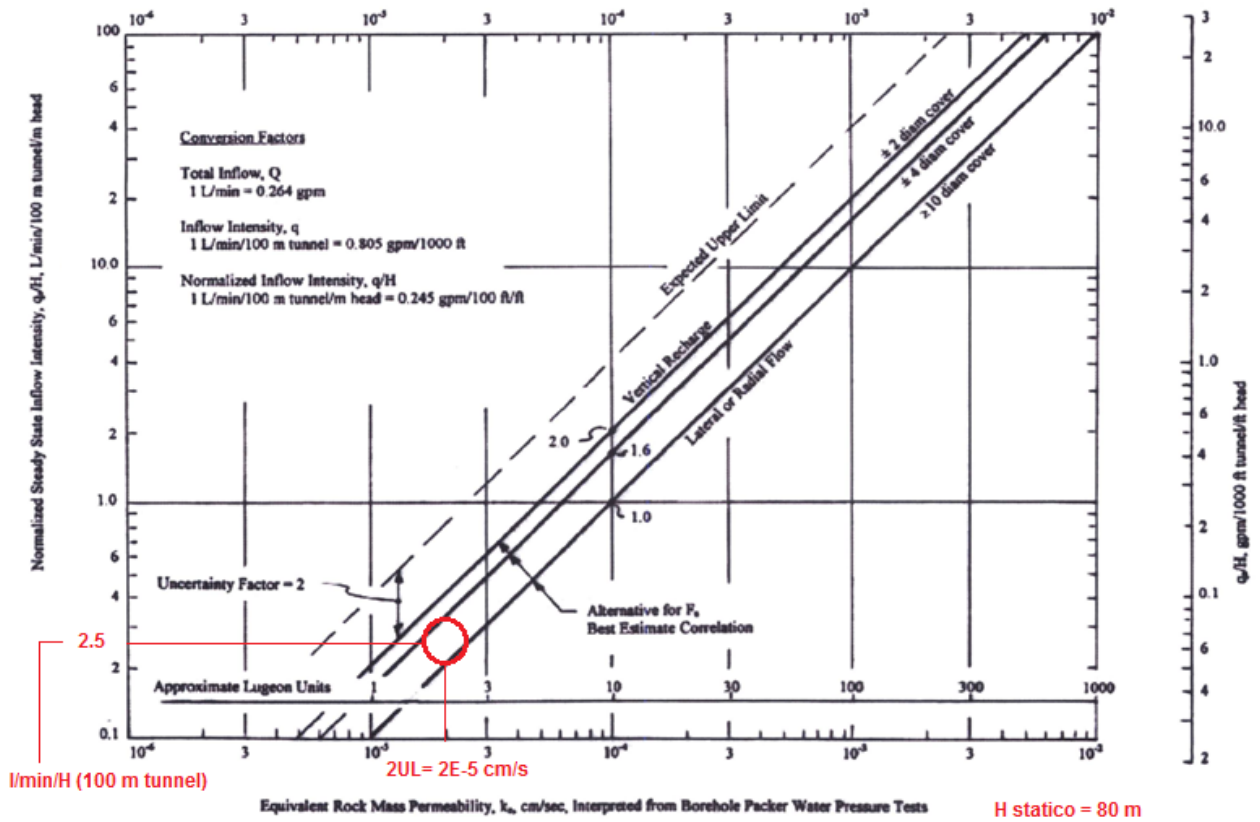
Per il carico H=80 m, come riportato nella medesima Figura 89a si stima una portata unitaria

$$q = \underline{0,033 \text{ l/s} * m}$$

Da modello di flusso si calcola nelle medesime condizioni una portata unitaria di 2,92 m³/d *m (Figura 89b), corrispondente al medesimo valore precedentemente calcolato con il metodo di Heuer:

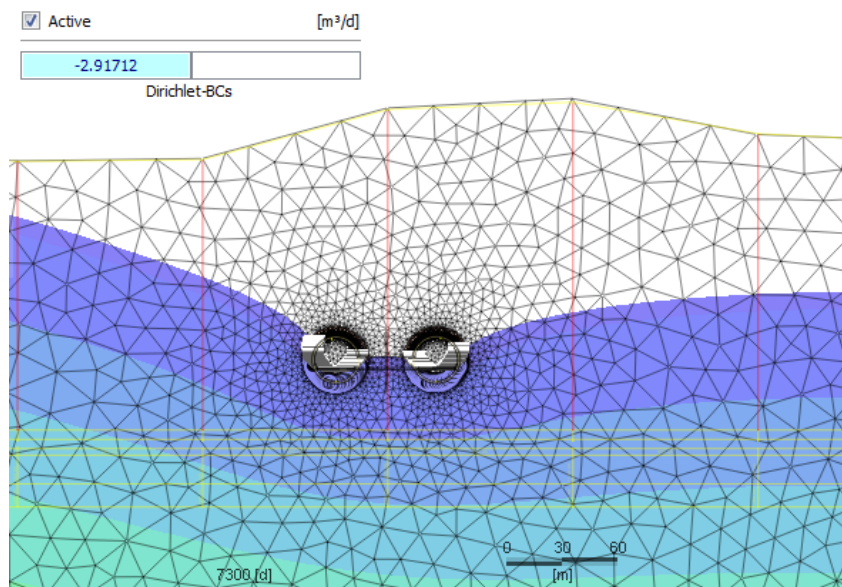
$$q = 2,92 \text{ m}^3/\text{d} * m / 86400 \text{ s/d} * 1000 \text{ l/m}^3 = \underline{0,033 \text{ l/s} * m}$$

Tale applicazione parametrica evidenzia come la valutazione degli afflussi in galleria effettuata alla scala dell'intero tracciato utilizzando il metodo di Heuer (2005), di cui al precedente paragrafo 6.1, fornisca anche in condizione "medie" tipicamente riscontrabili per il tracciato in esame i medesimi risultati del calcolo analitico eseguito mediante modello di flusso in regime stazionario a parametri costanti. Di fatto tale osservazione conferma l'utilizzabilità della relazione di Heuer per una valutazione dell'afflusso in galleria nelle condizioni di drenaggio libero, approccio che fornisce risultati analoghi a quello analitico.



$$Q \text{ (Heuer)} = 2.5 \text{ l/min/m (head)} / 60 \text{ s/min} * 80 \text{ m} = 3.3 \text{ l/s (cumulata 100 m tunnel)}$$

(a)



(b)

Figura 89 - Afflussi in galleria calcolati (a) con il metodo di Heuer (applicato nel presente studio per la stima delle portate di drenaggio) e (b) mediante modello numerico bidimensionale.

10.5 Considerazioni conclusive sui risultati e limiti dei modelli di flusso

La complessità della situazione strutturale consente un utilizzo attendibile del modello di flusso solo per applicazioni di dettaglio, dove disponibili specifiche indagini di approfondimento a supporto del modello concettuale e idrodinamico.

Pertanto, nel presente studio, le valutazioni a scala “complessiva” relative all’interferenza delle gallerie in progetto con gli acquiferi, sono state prevalentemente basate sull’utilizzo di modelli empirici e semi-analitici riconosciuti e validati nella letteratura tecnica mondiale, ovvero in particolare:

- il metodo delle curve di Heuer (2005) per la valutazione delle portate di afflusso in galleria a drenaggio libero;
- il metodo dell’indice DHI (“Drawdown Hazard Index”) per la stima degli effetti indotti dal drenaggio sul sistema sorgentizio e delle utilizzazioni idriche.

Con riferimento in particolare alla valutazione degli afflussi in galleria, per tale valutazione complessiva, il modello numerico è stato applicato in forma parametrica su sezione bidimensionale, unicamente al fine di validare o eventualmente calibrare i risultati derivanti dalle formulazioni sperimentali.

In tal senso, nel campo dei parametri idrodinamici e dei carichi statici caratterizzanti il tracciato delle gallerie in esame, si è evidenziata la sostanziale corrispondenza dei risultati del modello di flusso (applicazioni in regime permanente e a parametri costanti) con il calcolo a partire dalla relazione di Heuer (cfr. Figura 89 a, b).

Si è pertanto confermata la validità dell’approccio utilizzato a scala complessiva (cfr. precedente paragrafo 6.1), evidenziando come non sia conseguibile a tale scala una maggiore definizione dei risultati con applicazioni modellistiche rispetto all’utilizzo delle formulazioni analitiche o semi empiriche.

Un approfondimento modellistico di dettaglio, tridimensionale in regime transitorio, è stato effettuato per il tratto compreso tra le progressive Km 11+900 e 13+100, lungo la galleria Monterosso, che presenta peculiarità e criticità potenziali ampiamente descritte negli elaborati dello studio geologico, in relazione all’intercettazione con le gallerie di fasce fratturate connesse al sistema della cosiddetta linea “Sestri-Voltaggio”. Tale approfondimento, supportato da una specifica caratterizzazione sperimentale degli acquiferi con prove di emungimento, ha consentito una valutazione degli effetti indotti dalle gallerie nelle condizioni di drenaggio libero e controllato, sia in fase realizzativa che di equilibrio.

La simulazione ha riguardato due differenti fasce fratturate acquifere di ampiezza 50 m, caratterizzate con le prove di emungimento, con orientazione N-S e vergenza E (parallela all’andamento delle strutture), in condizioni semiconfinate ovvero delimitate al tetto ed alla base da livelli aquitardo.

In sintesi, rimandando per i dettagli alle precedenti elaborazioni grafiche e tabellari, dalle applicazioni di modello sono derivabili le seguenti valutazioni generali sulle condizioni riscontrabili all’attraversamento delle suddette fasce fratturate:

- all’attivazione del drenaggio in avanzamento, si osserva un rapido decadimento della pressione a ridosso del cavo galleria (valutata dal modello in un anello tra 0.5 m e 6 m dall’interfaccia di scavo), dai valori originari ante operam (max 2700 KPa) fino ad un valore massimo inferiore a 300 KPa dopo 48 ore;
- nelle condizioni in esame, le portate di afflusso simulate decadono da un valore iniziale all’attivazione del drenaggio superiore a 160 l/s, sulla base di una curva logaritmica con asintoto intorno a 20 l/s; il raggiungimento di portate prossime alla stabilizzazione richiede tempi dell’ordine dei 2-3 mesi.

- per la fascia fratturata intorno alle progressive km 12+900 - 12+950, vi sono margini di incertezza sulla determinazione della conducibilità idraulica; è pertanto cautelativo considerare a fini progettuali i risultati di uno scenario di simulazione effettuato sulla base dei massimi valori di K, da cui valori di attivazione ulteriormente elevati e un asintoto di stabilizzazione intorno a 60 l/s.
- per il controllo del drenaggio sono state valutate opzioni di permeabilità ridotte in un anello roccioso intorno allo scavo di 6 m circa ritenute conseguibili attraverso iniezioni cementizie in avanzamento; il modello ha evidenziato per tale scenario teorico la ripresurizzazione dell'acquifero fino a valori prossimi al carico ante-operam, e la riduzione fino a due ordini di grandezza delle portate di afflusso in galleria. La riduzione di carico nell'anello oggetto dell'intervento di consolidamento (6 m) risulta di soli circa 200 Kpa.

Dal punto di vista ambientale, in riferimento anche all'impatto sul sistema delle sorgenti in superficie, possono essere svolte le seguenti considerazioni aggiuntive rispetto a quanto già valutato con gli indici DHI:

- il drenaggio non isotropo ma da fasce orientate N-S, determina un'estensione rilevante del settore di influenza, fino a oltre 1 km dall'asse anche in direzione monte, da cui si giustificano le valutazioni d'impatto cautelative già previste per tale condizione dall'indice qualitativo DHI;
- per le fasce oggetto dei modelli di dettaglio, si è evidenziato come i massimi effetti transitori riguardino un tempo entro l'anno dallo scavo, da cui sono attesi effetti sul regime delle sorgenti eventualmente osservabili già in questo intervallo temporale;
- nel caso delle fasce fratturate secondarie (modellizzazioni parametriche per $K \approx 2 \cdot 10^{-7}$ m/s) i tempi transitori risulterebbero di ordine superiore alla decina di anni, da cui effetti anche significativamente ritardati sul sistema delle sorgenti, non rilevabili attraverso il solo monitoraggio post-operam di breve termine.

ALLEGATO 1 - Censimento delle sorgenti idriche -
Sportello Cartografico della Regione
Liguria

ALLEGATO 2 - Censimento delle sorgenti idriche -
Ufficio Tecnico del Comune di
Genova

ALLEGATO 3 - Censimento sorgenti e pozzi oggetto di
monitoraggio ARPAL

ALLEGATO 4 - Censimento delle sorgenti nella
Provincia di Genova - Dipartimento
per lo Studio del Territorio e delle
sue Risorse (Università di Genova)

ALLEGATO 5 - Dati idrometrici dei pozzi oggetto di
monitoraggio ARPAL

ALLEGATO 6 - Ufficio Ambiente del Comune di Genova (Area Territorio, Sviluppo Urbanistico ed Economico, Direzione Ambiente Igiene Energia) - stralci planimetrici con indicazioni delle piezometrie disponibili

ALLEGATO 7 - Stralcio degli Annali Idrologici 1932 -
2002 relativi alle stazioni di interesse per il tracciato
della Gronda

ALLEGATO 8 - Dipartimento per lo Studio del Territorio
e delle sue Risorse (Università di Genova). Database
analisi chimiche

ALLEGATO 9 - Certificati di misura delle analisi
chimiche

ALLEGATO 10 - Certificati di misura delle analisi isotopiche

ALLEGATO 11 - Censimento dei corpi idrici superficiali
- schede dei corsi d'acqua

ALLEGATO 12 – certificati delle misure di portata
correntometrica