

# Studi idrogeologici per la progettazione delle gallerie ac/av Milano-Genova. verifica e mitigazione degli impatti dello scavo sugli acquiferi esistenti

**Giuseppe LUNARDI**

ROCKSOIL S.p.A. – Amministratore Delegato

**Giovanna CASSANI**

ROCKSOIL S.p.A. – Direttore Tecnico

**Andrea BELLOCCHIO**

ROCKSOIL S.p.A. – Project Manager

**Fiorenza PENNINO**

ROCKSOIL S.p.A. – Geologo

**Paolo PERELLO**

GDP Consultants – Idrogeologo/Geologo

*Nei progetti di gallerie in ambito alpino o peri-alpino, la stima degli impatti delle opere sugli acquiferi costituisce un aspetto che ha importanti ricadute di tipo socio-economico. Tali impatti sono principalmente riconducibili al drenaggio delle acque in galleria, con conseguente abbassamento del livello piezometrico di falda e riduzione o persino azzeramento della sua produttività, con conseguente disseccamento di pozzi e sorgenti. In taluni contesti, l'abbassamento piezometrico può avere conseguenze negative anche dal punto di vista geotecnico, potendo provocare cedimenti in superficie tali da mettere in pericolo strutture e manufatti preesistenti.*

*La caratterizzazione preliminare di questi impatti è importante perché consente, da un lato, di predisporre soluzioni di mitigazione atte a minimizzarli, dall'altro lato di programmare in anticipo misure adeguate di compensazione per i territori e le comunità coinvolte.*

*Per questo, per il progetto delle gallerie della nuova linea ferroviaria AC/AV Milano-Genova sono stati pianificati e compiuti studi idrogeologici accurati e sistematici, mirati a valutare accuratamente l'entità degli impatti attesi sugli acquiferi potenzialmente interessati dalle opere. L'articolo illustra i criteri seguiti per impostare questi studi e i risultati raggiunti.*

## 1. Inquadramento dell'opera

La nuova linea ad alta capacità/alta velocità, Terzo Valico dei Giovi, si svilupperà complessivamente per 53 km, di cui 37 km in galleria, interessando 12 comuni delle province di Genova e di Alessandria tra le regioni Liguria e Piemonte. A sud, la nuova linea, attraverso l'interconnessione di Voltri e il Bivio Fegino, sarà collegata agli impianti ferroviari del Nodo di Genova (per i quali sono in corso i lavori di adeguamento funzionale e di potenziamento), e ai bacini portuali di Voltri e del Porto Storico. A

Nord, dalla piana di Novi Ligure, sarà invece collegata alle linee ferroviarie esistenti Genova-Torino (per i flussi di traffico in direzione Torino e Novara-Sempione) e Tortona-Piacenza (per il traffico in direzione Milano-San Gottardo).

Più in dettaglio, la linea, ad eccezione di un breve tratto allo scoperto in corrispondenza di Libarna, dal nodo ferroviario di Genova (Bivio Fegino) fino alla Piana di Novi si svilupperà interamente sotterraneo attraverso le gallerie d'Interconnessione Voltri, la galleria Campasso, la galleria di Valico e la galleria Serravalle (Fig. 1).

Dall'uscita della galleria Serravalle la linea proseguirà poi interamente all'aperto (a parte la breve galleria artificiale di Pozzolo) fino ad innestarsi con la linea esistente Pozzolo Formigaro – Tortona (itinerario per Milano). Tra Novi Ligure e Pozzolo Formigaro, attraverso un'altra galleria artificiale, si innesterà invece con l'attuale linea Genova – Torino (itinerario per Torino).

Allineato ai più avanzati standard di sicurezza, il progetto prevede che ogni galleria naturale sia consti di due canne affiancate a semplice binario, unite da frequenti collegamenti trasversali (by-pass), in modo che possano servire vicendevolmente da galleria di sicurezza. Inoltre, per la galleria di Valico il progetto prevede la realizzazione di quattro finestre d'accesso intermedio (finestre Polcevera, Cravasco, Castagnola e Vallemme), che fungeranno da gallerie di servizio e di sicurezza.

Le opere più significative del progetto del Terzo Valico, attualmente già in fase di costruzione, sono in definitiva costituite dalle seguenti cinque gallerie naturali:

- galleria Campasso (2x716 m di lunghezza)
  - galleria Interconnessione Voltri pari (2x2.000 m di lunghezza)
  - galleria Interconnessione Voltri dispari (2x2.250 m di lunghezza)
  - galleria di Valico (27.110 m di lunghezza)
  - galleria Serravalle (7.094 m di lunghezza)
- Nel seguito, dopo un breve richiamo dell'i-

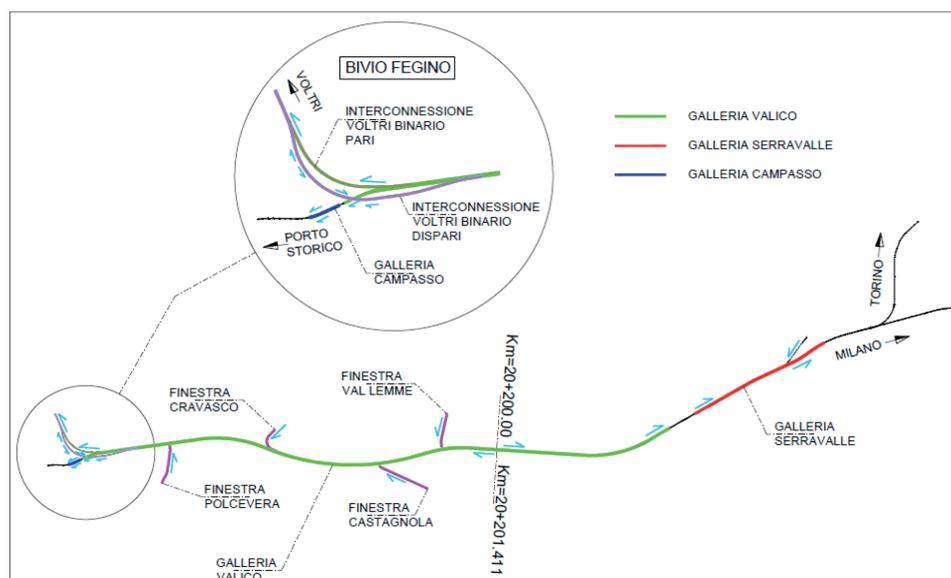


Fig. 1 – Schema generale delle opere previste

ter approvativo percorso dal progetto, si illustreranno le principali problematiche di ordine geologico e idrogeologico che lo caratterizzano, nonché i criteri seguiti per affrontarle e dar loro una soluzione adeguata sia nel breve che nel lungo termine.

## 2. Breve richiamo dell'iter approvativo del progetto

Il primo programma delle opere strategiche ex Legge 443 del 21 dicembre 2001 ("Legge Obiettivo"), che inserisce il Progetto del Terzo Valico ferroviario nell'elenco delle infrastrutture strategiche e delle opere di preminente interesse nazionale ottenne l'approvazione del CIPE nel dicembre 2001 (Delibera n. 121/2001).

L'iter approvativo si è poi sviluppato attraverso i seguenti passaggi:

- settembre 2003: approvazione del Progetto Preliminare da parte del CIPE (Delibera n. 78/2003) e inizio della redazione del Progetto Definitivo;
- marzo 2005: approvazione del dossier economico e finanziario.
- marzo 2006: il CIPE aggiorna il primo programma delle Grandi Opere strategiche e conferma il Progetto Definitivo della linea AV/AC Terzo Valico;
- novembre 2010: il CIPE con Delibera n. 84/2010 autorizza l'avvio della realizzazione della tratta in sei lotti costruttivi non funzionali.

- novembre 2011: firma dell'Atto Integrativo tra COCIV (General Contractor) e RFI (Gruppo Ferrovie dello Stato Italiane).
- aprile 2012: si dà piena efficacia all'Atto Integrativo con l'avvio dei lavori.

## 3. Studi di base propedeutici alla definizione dei modelli geologico e idrogeologico

Gli studi di base, realizzati a partire dal Progetto Preliminare e affinati in fase di Progettazione Definitiva ed Esecutiva per la definizione dei modelli geologico e idrogeologico sono consistiti nella realizzazione delle seguenti attività:

- Rilevamento geologico di superficie
- Sondaggi geognostici
- Prove in foro all'interno dei sondaggi geognostici (prove SPT, prove di permeabilità, prove dilatometriche, prove di fratturazione idraulica)
- Prelievo di campioni per la realizzazione di prove geotecniche e geomeccaniche di laboratorio
- Censimento di pozzi e sorgenti presenti a cavallo del tracciato di progetto.

Essi hanno evidenziato che il tracciato, con particolare riferimento alla porzione in sotterraneo sotto le massime coperture, si sviluppa per circa il 30% all'interno della ZONA SESTRI VOLTAGGIO (costituita da una fascia e non da un semplice lineamento tettonico). Quest'ultima, secondo le inter-

pretazioni più recenti, costituisce «un canale di concentrazione preferenziale della deformazione tettonica» e rappresenta, dal punto di vista geologico-strutturale un grado di complessità molto elevato.

### 3.1. Tipi di problematiche idrogeologiche presenti lungo il tracciato

Lungo lo sviluppo dell'opera si possono distinguere due settori con problematiche idrogeologiche di differente tipologia, sia per le caratteristiche dell'opera stessa, sia per i tipi di corpi acquiferi che ne sono interessati:

- a. il settore montano-collinare (dal km 0+00 al km 36+500 circa)
- b. il settore di pianura (dal km 36+500 circa al km 54+000)

#### 3.1.1. Settore montano-collinare

Nel settore montano-collinare l'opera si sviluppa in galleria e interessa principalmente un substrato cristallino che solo localmente presenta delle potenzialità acquifere. Tali potenzialità si manifestano principalmente: i) ove sono presenti zone di faglia, ii) in corrispondenza di rocce carbonatiche che presentano più o meno marcati fenomeni di dissoluzione ad opera delle acque circolanti (carsismo s.l.); iii) in corrispondenza di complessi rocciosi che presentano un reticolo di fratture ad elevata densità e buona interconnessione idraulica anche in assenza di faglie (es. basalti).

In contesti di questo tipo, nel substrato sono presenti acquiferi scarsamente capacitivi, entro i quali i flussi sotterranei si sviluppano su distanze orizzontali limitate. Tuttavia essi possono costituire una risorsa importante a livello locale, essendo fonte di alimentazione di sorgenti o gruppi di sorgenti.

Generalmente in questi contesti coesistono anche sistemi di flusso molto superficiali, che si sviluppano all'interno dei depositi porosi quaternari, costituiti dalla coltre detritico-colluviale e dal sottostante livello di substrato detensionato e quindi maggiormente permeabile per spessori variabili da qualche metro fino a una decina di metri. I sistemi di flusso presenti in questi acquiferi possono subire delle interferenze di tipo indiretto, giacché sono in equilibrio idrodinamico con i sistemi di flusso del substrato sottostante, che, a loro volta, possono ve-

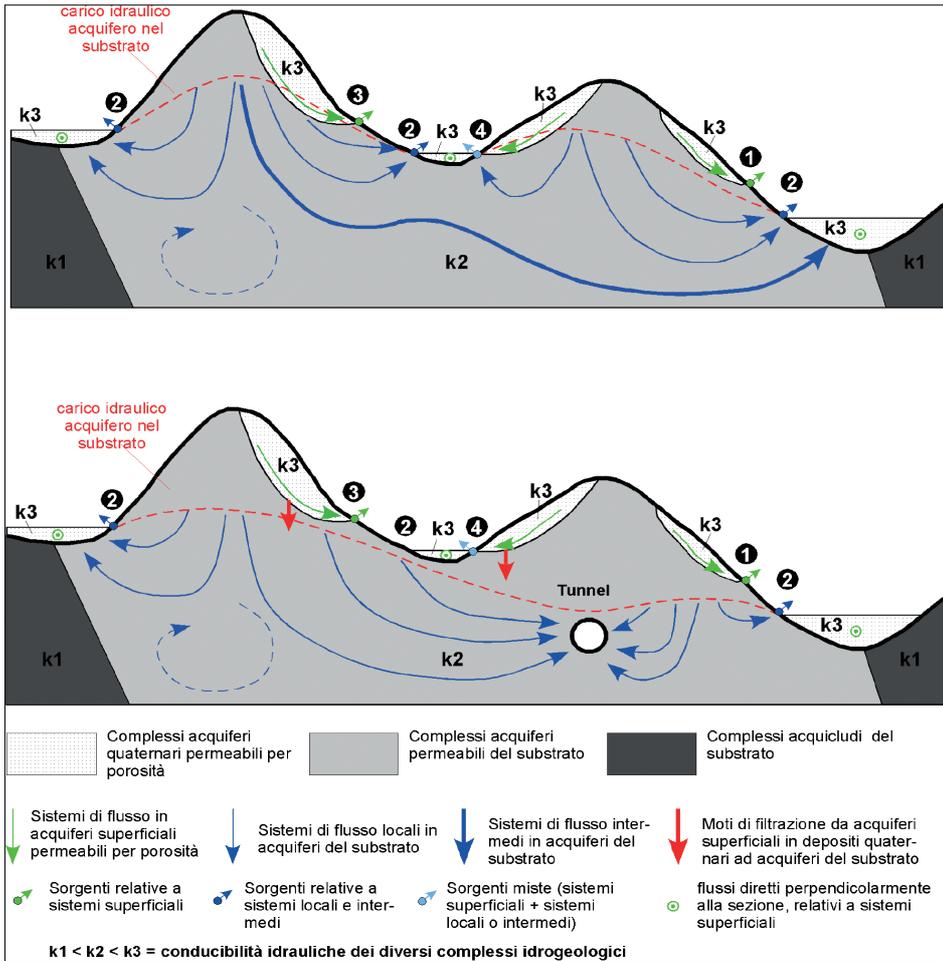


Fig. 2 – Schema concettuale dei sistemi di flusso idrogeologici nell'area montano-collinare; i numeri bianchi su sfondo nero costituiscono i diversi tipi di sorgenti; le sorgenti di tipo 1 non vengono in nessun caso interferite dallo scavo delle gallerie; le sorgenti di tipo 2 vengono sempre interferite seppur in misura variabile; le sorgenti di tipo 3 possono venire interferite ma spesso in misura non sensibile; le sorgenti di tipo 4 vengono interferite parzialmente.

nire interferiti dal drenaggio causato dalle gallerie. Non necessariamente la perturbazione di questo equilibrio idrodinamico è causa di interferenze rilevanti nei sistemi di flusso più superficiali. Spesso questi ultimi risultano essere molto più permeabili e ricaricati dei sistemi di flusso presenti nel substrato. Pertanto la sottrazione di una quota di acqua verso gli acquiferi del substrato viene agevolmente compensata. La maggior parte delle sorgenti presenti nel settore montano-collinare delle Alpi liguri-piemontesi interessate dall'opera sono da correlarsi con sorgenti legate ad acquiferi superficiali di questo tipo. Lo schema in figura 2 illustra in maniera sintetica i tipi di circolazioni che si possono incontrare nel contesto montano-collinare interessato dall'opera in progettazione.

Nell'ambito del contesto montano-collinare gli impatti potenzialmente determinati dal tunnel sono legati al fatto che lungo quasi tutto il suo sviluppo l'opera risulta essere drenante, per l'impossibilità di contenere le elevate pressioni idrauliche presenti sotto le forti coperture presenti lungo il tracciato.

### 3.1.2. Settore di pianura

Il settore di pianura è caratterizzato da acquiferi permeabili per porosità, sviluppati all'interno di estesi corpi sedimentari di origine fluviale. In queste aree l'approvvigionamento di acqua per uso idropotabile e irriguo/industriale avviene esclusivamente mediante emungimento da pozzi. Le interferenze potenziali dell'opera sugli acquiferi sono determinate dalla presenza di gallerie

artificiali (Galleria di Pozzolo e interconnessioni Novi Ligure) e, in misura minore, dallo scavo di trincee.

Per la costruzione di queste opere le interferenze si possono verificare in maniera diversa in fase costruttiva e in fase di esercizio. In fase costruttiva la realizzazione degli scavi può implicare il drenaggio delle acque di falda (pozzi o drenaggio spontaneo sul fondo della trincea). In fase d'esercizio possono verificarsi fenomeni di sbarramento della falda, con innalzamento dei livelli piezometrici sopra flusso rispetto all'opera e abbassamento degli stessi nel settore sotto flusso.

## 4. Metodi di valutazione delle interferenze idrogeologiche nel settore montano-collinare

Nel settore montano-collinare sono state applicate tre diverse procedure di valutazione della pericolosità d'impatto idrogeologico da parte delle gallerie:

- Valutazione mediante metodo parametrico;
- Valutazione mediante modellizzazione numerica idrogeologica;
- Valutazione mediante procedura mista numerico-analitica.

### 4.1. Valutazione mediante metodo parametrico

Il metodo parametrico è stato utilizzato per la valutazione di tutte le sorgenti censite nell'area di studio, poiché esso è di applicazione relativamente rapida. Tra i vari metodi parametrici esistenti in letteratura nel caso del progetto in esame è stato utilizzato il così detto metodo DHI (Drawdon Hazard Index) sviluppato da Dematteis et al. (2001). Esso stima la probabilità di impatto su singole sorgenti utilizzando delle stime di qualità di alcuni parametri significativi in due passaggi. Dapprima, attraverso una matrice d'interazione globale (Jiao & Hudson, 1995) vengono combinati dei parametri utili per definire il potenziale di drenaggio (PI) del tunnel (assunto come liberamente drenante), che sono: i) la permeabilità dell'acquifero, ii) lo spessore della copertura topografica, iii) l'ampiezza della zona plastica nell'intorno del tunnel, iv) la densità di fratturazione nell'acquifero.

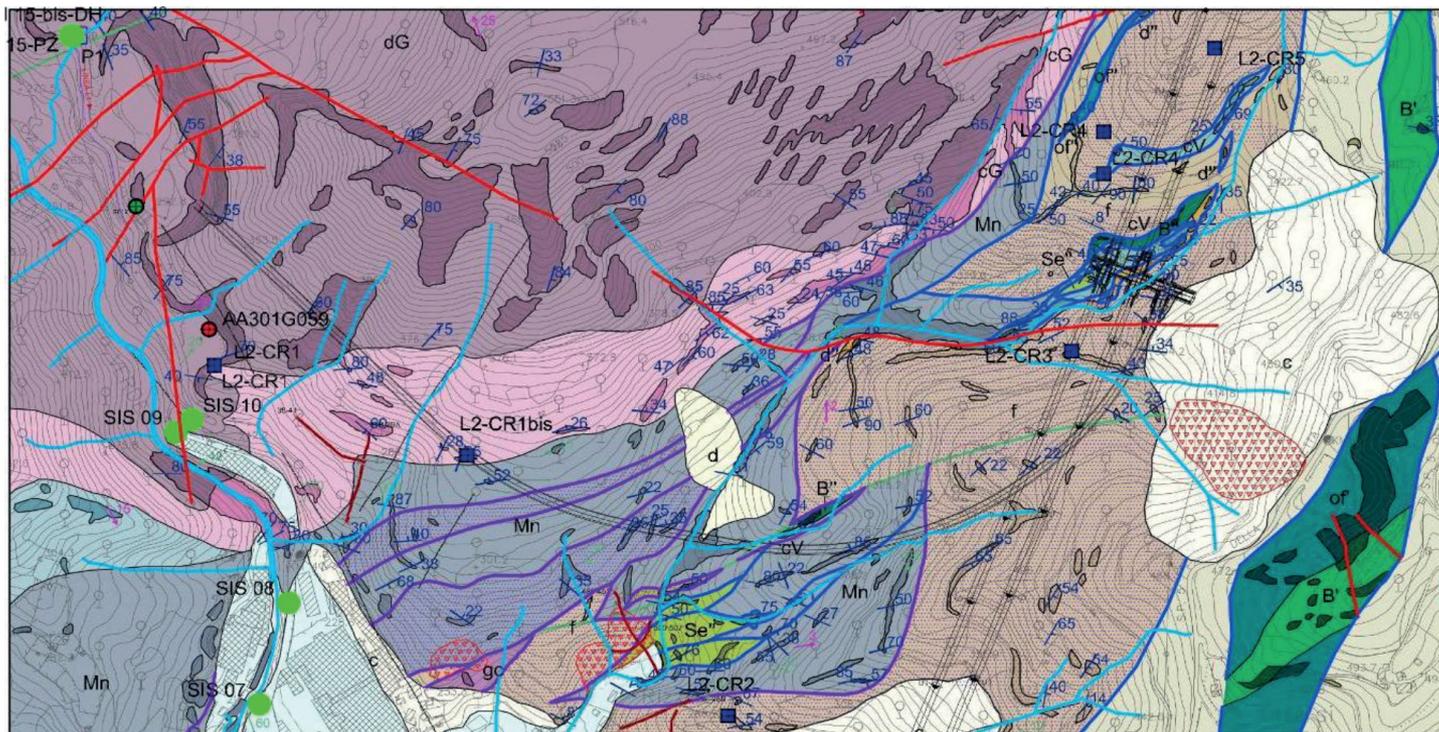


Fig. 3 – Carta geologica del settore di Cravasco-Isoverde i quadrati blu indicano l'ubicazione dei sondaggi geognostici realizzati; Successioni metamorfiche - dG: Dolomie del Gazzo, cG: Calcari di Gallaneto, Mn: Argilloscisti neri, B': Metabasalti di Cravasco, of': Metaofalciiti, f: Argilloscisti filladici; depositi quaternari - c: Coltre detritico-colluviale, d: frana con blocchi.

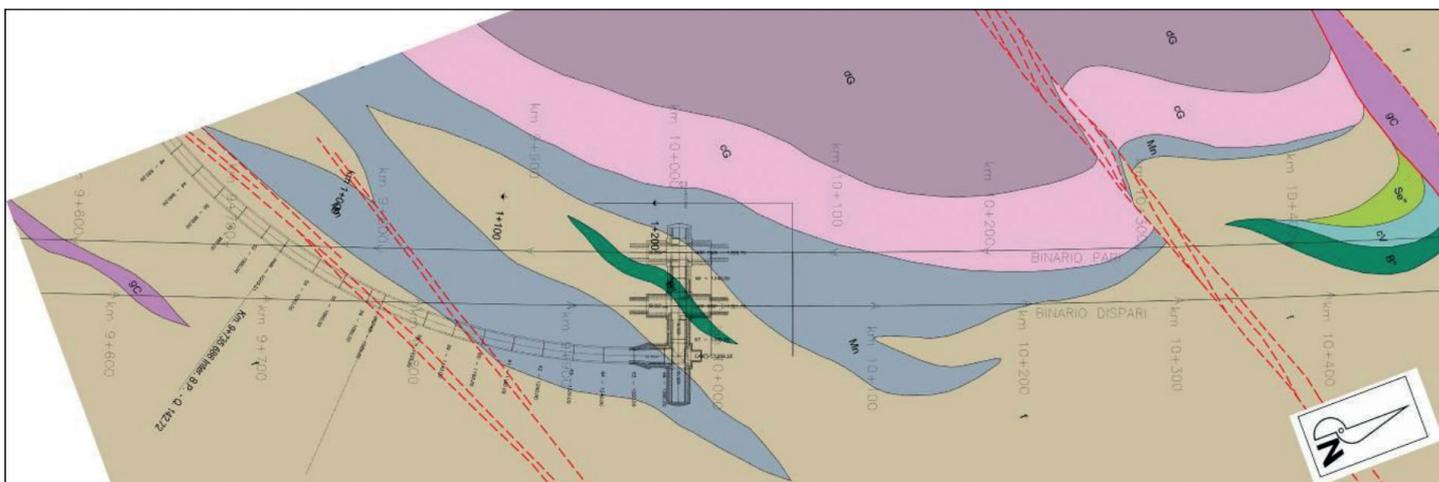


Fig. 4 – Pianta geologica a quota galleria del settore di Cravasco-Isoverde; i colori hanno il medesimo significato del settore precedente.

In un secondo passaggio il potenziale di drenaggio del tunnel (PI) viene combinato attraverso una semplice somma pesata, con altri tre parametri significativi che sono: i) la distanza della sorgente dal tunnel, ii) il tipo di sistema di flusso che alimenta la sorgente; iii) la posizione della sorgente rispetto alla topografia, iv) la relazione della sorgente con canali principali di permeabilità quali faglie, canali carsici ecc. Al termine della valutazione per ogni sorgente

si ottiene un indice DHI, variabile da 0 a 1 che ha il seguente significato:  $0 < DHI < 0,1$  pericolosità di impatto trascurabile;  $0,1 < DHI < 0,2$  pericolosità di impatto bassa;  $0,2 < DHI < 0,3$  pericolosità di impatto media;  $0,3 < DHI < 1$  pericolosità di impatto elevata. Dei 476 punti d'acqua censiti per il settore montano-collinare, 420 presentano una pericolosità d'impatto trascurabile, 43 una pericolosità bassa, 12 una pericolosità media e 1 una pericolosità elevata.

#### 4.2. Valutazione mediante modellizzazione numerica idrogeologica

Alcune zone del settore montano-collinare risultano essere particolarmente sensibili nei confronti delle problematiche di impatto idrogeologico, sia perché in queste zone sono presenti risorse idriche particolarmente importanti per l'approvvigionamento idropotabile, difficilmente compensabili con fonti alternative, sia perché in queste

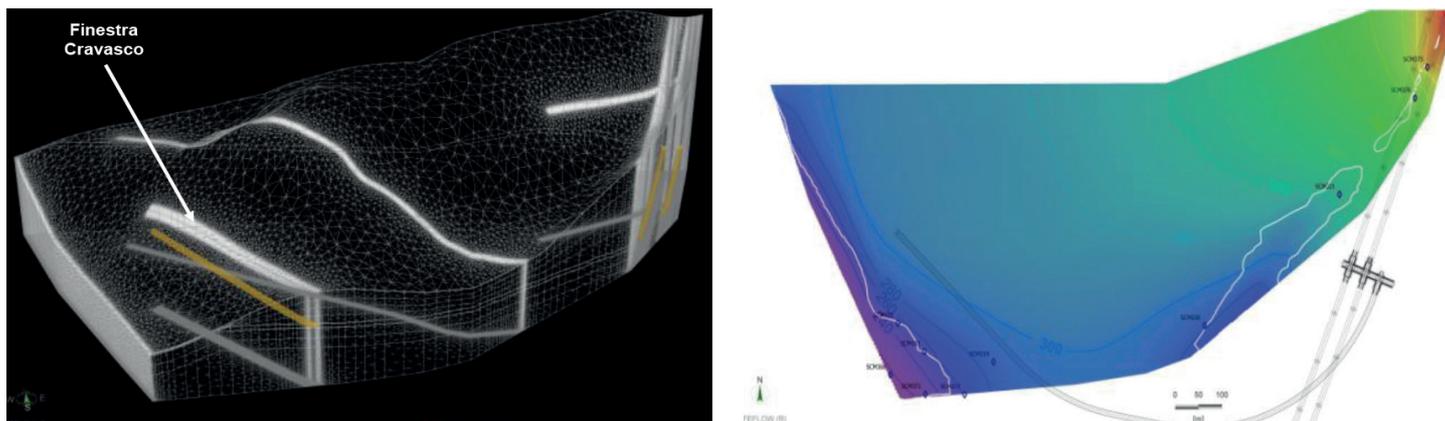


Fig. 5 – Reticolo ad elementi finiti utilizzato per la modellizzazione tridimensionale nell'area di Cravasco (immagini a sinistra); risultato della calibrazione dei carichi idraulici: carichi decrescenti dal rosso al viola; la linea bianca illustra le sone di intersezione della superficie di falda con la superficie, ovvero con il Rio Verde (sinistra) e il io Rizzolo (destra).

aree sono presenti acquiferi molto permeabili e importanti che presentano delle condizioni di equilibrio idrodinamico anche con corsi d'acqua.

In queste aree si è ritenuto opportuno procedere ad eseguire delle modellizzazioni numeriche di dettaglio volte sia a verificare, per maggior sicurezza, i risultati ottenuti con il metodo parametrico, sia per ottenere delle stime anche sul grado di impatto nei confronti dell'intero acquifero, oltre che sui singoli punti d'acqua, nonché delle possibili conseguenze nei confronti dei corsi d'acqua che con esso si trovano in equilibrio. Le aree investigate in dettaglio con modelli numerici sono:

- Area di Cravasco-Isoverde
- Area di Borlasca.

Le modellazioni numeriche sono state realizzate utilizzando il software Feflow® (DHI-Wasy), ver. 6.2, un codice agli elementi finiti che permette di gestire simulazioni di flusso idraulico sotterraneo, in condizioni sia stazionarie che transitorie

Nell'area di Cravasco-Isoverde è prevista la realizzazione di una galleria d'accesso discendente il cui scavo interesserà un corpo di calcari dolomitici (Dolomie del Gazzo – dG in figura 3 e 4) e calcari (Calcari di Gallaneto – cG) bordati da argilloscisti milonitici (f in figura 3 e 4). Il corpo carbonatico (calcari dolomitici e calcari) costituisce un rilevante acquifero, permeabile sia per fratturazione che per carsismo, che alimenta alcune sorgenti d'interesse locale e in cui sono presenti dei sistemi di flusso in equilibrio idrodinamico con alcuni corsi d'acqua minori superficiali. Considerando la rile-

vanza ambientale della problematica, per verificare, da un lato, i possibili effetti d'interferenza tra lo scavo della discenderia e delle gallerie principali coi sistemi di flusso in questione e predisporre, dall'altro lato, le eventuali opportune opere di mitigazione, si è realizzato un modello idrogeologico numerico tridimensionale. Il dominio modellizzato si estende per circa 4 km<sup>2</sup>. Alcune immagini del modello idrogeologico prodotto sono visibili in Figura 5.

Il modello prodotto ha permesso di fornire una stima delle portate drenate dalla discenderia e dalle gallerie principali sia in re-

gime transitorio (ovvero in corso di scavo) che in regime stabilizzato (ovvero a distanza di uno o più anni dal momento dello scavo). Le stime ottenute con la modellizzazione sono state successivamente confermate per la finestra Cravasco, che è attualmente in corso di realizzazione, la quale, come previsto dal modello numerico, ha intercettato delle portate dell'ordine di una decina di litri per secondo in regime stabilizzato. Per quanto attiene alle possibili interferenze, il modello ha permesso di mettere in luce le zone critiche, che verranno gestite con opportuni provvedimenti compensa-

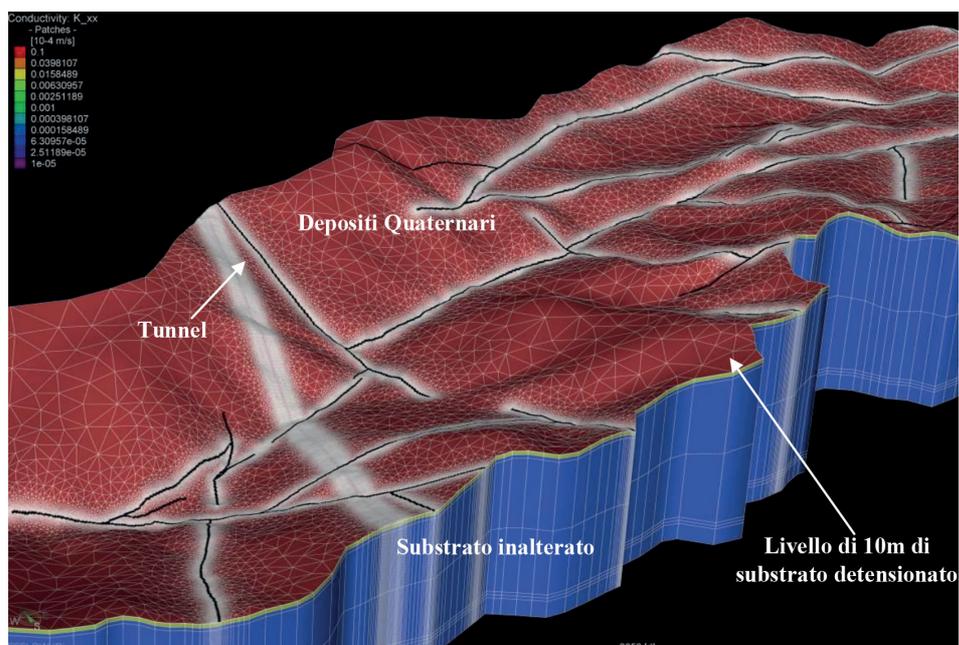


Fig. 6 – Reticolo ad elementi finiti utilizzato per la modellizzazione tridimensionale nell'area di Borlasca. I colori blu rappresentano il substrato costituito dalla Formazione di Molare, mentre il colore amaranto rappresenta la coltre di depositi detritici

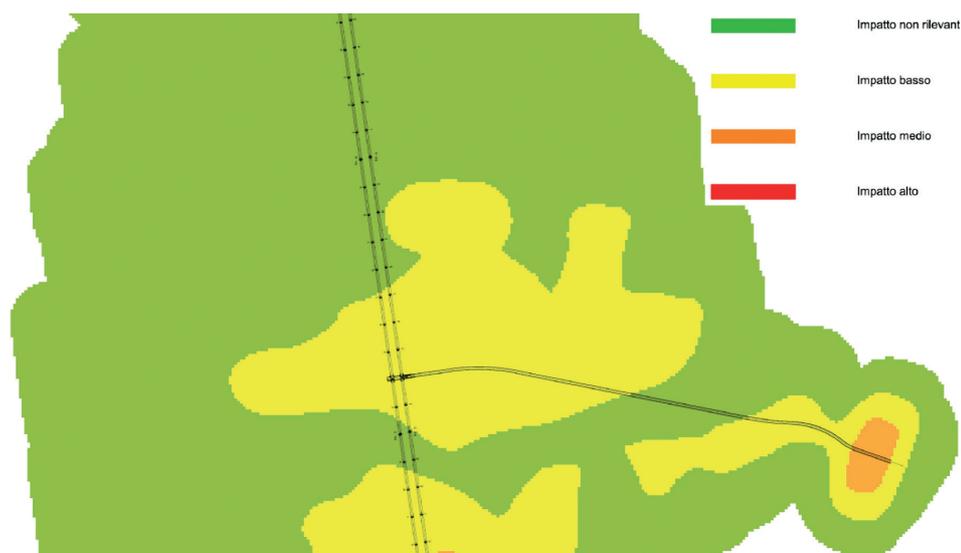


Fig. 7 – Esempio di valutazione di impatto areale in corrispondenza dell'intersezione tra il tracciato e la Finestra Castagnola; verde=impatto non rilevante; giallo=impatto basso; arancione=impatto medio; rosso=impatto elevato.

tori e accorgimenti progettuali in fase costruttiva.

L'area di Borlasca è in realtà un settore distante dal tracciato, ove però sono presenti sorgenti che alimentano importanti acquedotti. La necessità di realizzare un modello di dettaglio per questo settore nasce dalla presenza di alcune zone di faglia, che in parte saranno intercettate dalle canne delle gallerie di linea. Lateralmente (verso est) queste zone di faglia si spingono fino al settore in cui vengono a giorno i sistemi di flusso che alimentano le sorgenti. In questo caso il substrato pre-quadernario in cui si sviluppano le zone di faglia è costituito dalla Formazione di Molare, composta da conglomerati in matrice ghiaioso-sabbioso-limoso cementata. Le faglie che si sviluppano in questi litotipi non risultano particolarmente permeabili, ma possono comunque giocare un ruolo idrogeologico. Le sorgenti sono in realtà tutte riconducibili a sistemi di flusso relativamente superficiali che si sviluppano nella coltre detritica di

alterazione, ma non si può escludere che ricevano anche un limitato apporto da flussi che avvengono lungo le faglie, per tale motivo è stata valutata la possibile entità delle interferenze qualora le faglie fossero drenate dalla galleria. L'immagine in figura 6 rappresenta una vista del reticolo di discretizzazione del modello tridimensionale che è stato realizzato. Esso presenta uno sviluppo di circa 27 km in lunghezza per circa 7 km in larghezza. La zona di emergenza delle sorgenti si trova all'estremità destra del dominio di modellazione, a distanza dal tracciato compresa tra 8 e 15 km.

In questo caso, le simulazioni eseguite hanno permesso di escludere qualsiasi possibilità di interferenza con le sorgenti rilevanti ai fini acquedottistici.

#### 4.3. Valutazione mediante procedura mista numerico-analitica

Al fine di rispondere ad alcune osservazioni degli enti pubblici sorte in sede di

esame degli elaborati di progetto definitivo, durante la progettazione esecutiva si è reso necessario mettere a punto un metodo di valutazione che permettesse di verificare l'impatto delle opere sulla risorsa idrica nel suo complesso e non solo gli effetti puntuali sulle sorgenti o su acquiferi locali. Pur non volendo in questa sede entrare nel merito della metodologia predisposta, è sufficiente osservare che la stima dell'impatto areale è stata effettuata raffrontando l'entità delle portate drenate dalla galleria rispetto all'infiltrazione efficace media sui bacini idrogeologici sottili. Il metodo per tale valutazione si compone di tre parti:

- Quantificazione della ricarica dei corpi acquiferi allo stato naturale mediante metodo di Kennessey (Barazzuoli, 1986).
- quantificazione preliminare dell'estensione della zona di alimentazione della galleria e delle infiltrazioni efficaci attraverso il substrato roccioso basata sui risultati di modelli numerici concettuali;
- utilizzo della quantificazione preliminare della zona di alimentazione e delle infiltrazioni efficaci per la quantificazione delle portate drenate dalla galleria e della stima definitiva delle zone di alimentazione della galleria. Questa fase è stata gestita applicando ai risultati numerici di fattori correttivi empirici che consentono di differenziare tra diverse condizioni geologico-geomorfologiche dei diversi tratti di tracciato della galleria.

La figura 7 mostra uno stralcio della carta di valutazione dei possibili impatti areali sulla risorsa idrica.

## 5. Metodi di valutazione delle interferenze idrogeologiche nel settore di pianura

Anche nel settore di pianura le procedure di valutazione della pericolosità idrogeologica si sono articolate in funzione della risorsa da valutare e della sua rilevanza. In particolare le valutazioni eseguite si possono distinguere in due tipologie:

- Valutazione mediante metodo parametrico;
- Valutazione mediante modellazione numerica idrogeologica.

Tab. 1 – Schema concettuale della matrice di valutazione di pericolosità di impatto sui pozzi in fase costruttiva.

Abbassamento falda (m)	Profondità pozzo (m)			
	<10	10-30	30-50	>50
<1	1	1	1	1
1-3	2	1	1	1
3-5	3	2	1	1
>5	4	3	2	1

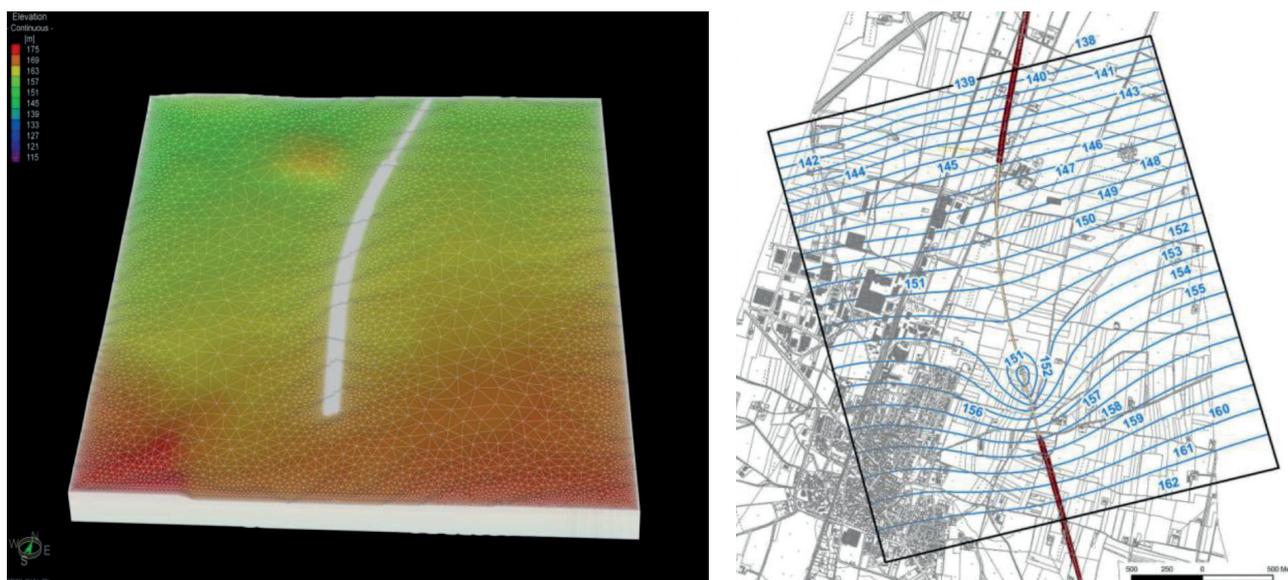


Fig. 8 – Prospettiva 3D del modello numerico eseguito per la Galleria artificiale di Pozzolo Formigaro, con esagerazione verticale 5:1 (Figura a sinistra); Distribuzione piezometrica in presenza di batteria di pozzi lungo il secondo campo di avanzamento dello scavo in Cut & Cover; scenario di abbassamento dal livello minimo dopo 20 giorni dall'inizio del pompaggio (Figura a destra).

### 5.1. Valutazione mediante metodo parametrico

Il metodo parametrico è stato utilizzato per la valutazione della pericolosità di impatto nei confronti di singoli pozzi. In questo caso si tratta infatti essenzialmente di una valutazione di impatto puntuale.

La valutazione degli impatti sui pozzi è comunque strettamente legata ad una stima degli impatti areali indotti da trincee o gallerie. Questi impatti areali sono stati desunti sia da estrapolazioni dei modelli numerici eseguiti (si veda paragrafo successivo), sia attraverso l'applicazione di formulazioni analitiche. In altre parole, nota l'entità degli abbassamenti della falda è possibile stabilire degli impatti per i pozzi in funzione dell'ubicazione dei pozzi stessi rispetto alle fasce di abbassamento.

Gli impatti sono stati distinti tra, impatti in fase di realizzazione e impatti in fase di esercizio. In fase di realizzazione si verificano i maggiori abbassamenti, poiché la costruzione di trincee e gallerie artificiali prevede il pompaggio e aggotamento delle acque per abbattere il livello di falda al di sotto del piano di costruzione. Va però notato che gli effetti di interferenza in fase di costruzione hanno valenza transitoria, poiché una volta terminata la costruzione il pompaggio cessa. Potranno invece sussistere effetti di

sbarramento del flusso di falda legato all'inserimento delle nuove opere nell'acquifero. Un altro principio preso in considerazione per questa analisi di impatto sui pozzi consiste nell'ipotizzare che l'impatto dei pozzi aumenta in maniera inversamente proporzionale alla profondità dei pozzi. Si considera che a parità di abbassamento indotto dall'aggotamento della falda, un pozzo più profondo, risenta in maniera proporzionalmente minore di quanto risentirebbe un pozzo relativamente meno profondo.

Sulla base di questo approccio, che combina l'entità degli abbassamenti piezometrici con la profondità dei pozzi è stata elaborata la matrice di pericolosità di isterilimento dei pozzi mostrata in Tabella 1. Tale matrice attribuisce ai vari pozzi una codifica relativamente a quelli potenzialmente più impattabili (4) a quelli di cui si ipotizza un impatto ininfluente (1).

### 5.2. Valutazione mediante modellizzazione numerica idrogeologica

Come per il caso del settore montano-collinare, anche nel settore di pianura esistono zone in cui la problematica idrogeologica è stata approfondita in maggior dettaglio attraverso modellizzazioni numeriche. In questo caso gli approfondimenti si sono concentrati nelle aree in cui sono previste

le opere in sotterraneo di maggior rilevanza, ovvero il settore di Pozzolo Formigaro, ove è prevista una galleria artificiale, il settore di Novi Ligure, ove sono previste le interconnessioni alla linea storica. A titolo di esempio viene qui brevemente illustrato il caso della galleria artificiale di Pozzolo-Formigaro.

Dal punto di vista idrogeologico, il settore in cui ricade la galleria artificiale di Pozzolo-Formigaro è caratterizzato dalla presenza di un acquifero superficiale a falda libera costituito da depositi alluvionali di pianura. Il substrato impermeabile o molto poco permeabile è invece costituito dalle Argille di Lugagnano. I depositi sono di tipo fluviale recente (f13) e sono costituiti da ghiaie sabbioso-limose con percentuali variabili di matrice fine. All'interno di questi depositi è possibile distinguere tra un orizzonte superiore, maggiormente alterato e poco addensato (f13b), e uno inferiore maggiormente addensato e caratterizzato da un maggior contenuto limoso (f13a).

Un aspetto di rilievo che caratterizza il settore di realizzazione della galleria di Pozzolo è che la permeabilità dei terreni è sensibilmente variabile sia in senso orizzontale che in senso verticale. In particolare, i terreni ubicati nell'orizzonte superiore f13b e inferiore f13a dei depositi alluvionali hanno permeabilità differenti, con il primo orizzonte

che presenta valori generalmente superiori al secondo. L'orizzonte superiore fl3b ha una permeabilità media di  $2.5E 04$  m/s, mentre quello inferiore presenta permeabilità medie dell'ordine di  $1.0E 05$  m/s.

Durante le fasi realizzative dell'opera si procederà ad un abbattimento della falda in corrispondenza degli scavi che sarà all'origine di temporanei abbassamenti anche nell'intorno.

Le immagini di figura 8 mostrano rispettivamente il reticolo ad elementi finiti che è stato utilizzato per la modellizzazione e una

simulazione dell'effetto di drenaggio indotto dall'opera in corrispondenza di uno degli stadi di avanzamento degli scavi.

### Bibliografia

Barazzuoli P., Micheluccini M., Salleolini M., Salvadori L. (1986) – *Valutazione delle risorse idriche nella Toscana meridionale: applicazione del metodo di Kennesey al bacino del torrente Farma e sua verifica con i calcoli di bilancio*. Boll. Soc. Geol. It., n. 105.

Dematteis A., Kalamaras G., Eusebio A. (1999) – *A systems approach for evaluating springs draw-down due to tunneling*. Atti del convegno AITES ITA, 69 Hudson, 1992.

Jiao Y., Hudson J.A. (1995) – *The Fully-Coupled Model for Rock Engineering Systems*. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., 32, 5, 491-512.

Lunardi P. (2006) – *Progetto e costruzione di gallerie - Analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli* (ADECO-RS), Ed. HOEPLI, 575 pagine

## Summary of:

# Hydrogeological studies for designing the high speed/capacity Milan-Genoa railway line underground works - Assessment and mitigation of the tunnelling impacts on the existing aquifers

### G. LUNARDI

ROCKSOIL S.p.A. – Managing Director

### G. CASSANI

ROCKSOIL S.p.A. – Technical Manager

### A. BELLOCCHIO

ROCKSOIL S.p.A. – Project Manager

### F. PENNINO

ROCKSOIL S.p.A. – Geologist

### P. PERELLO

GDP Consultants – Hydrogeologist/Geologist

In design of tunnels in the Alpine or peri-Alpine area, assessment of works impacts on aquifers is an aspect with important socio-economic repercussions. These impacts are mainly due to the drainage of water into the tunnel, resulting in lowering of the groundwater level and reduction or even zeroing of the productivity, with a consequent drying up of wells and springs. In certain contexts, groundwater lowering may have negative consequences in terms

of geotechnical, being able to cause surface subsidence such as to endanger existing structures and buildings.

Preliminary characterization of these impacts is important because it enables, on the one side, to prepare mitigation solutions to minimize them, on the other side to program in advance the appropriate compensatory measures for the territories and communities involved.

For this, for the design of the tunnels of the new high speed/capacity Milan-Genoa railway line we have planned and made detailed and systematic hydrogeological studies, targeted to accurately assess the extent of the expected impacts on aquifers potentially affected by the underground works. The studies have been developed through two steps: in a first step we tried to identify the areas in which excavating the underground works would cause most likely important impacts on aquifers, in a second

step, for the areas with the greatest probability of impact, studies have been refined with numerical flow models aimed to assess the local impact and distribution patterns on existing water resources.

An example of this is represented by the studies carried out for the Cravasco access tunnel. The geognostic surveys performed and monitoring of groundwater levels have made it possible to reconstruct a detailed geological-hydrogeological context. The subsequent development of a numerical model of the same has allowed to assess in advance the impact that drainage caused by the access tunnel excavation could determine on water resources and on the existing surface drainage network. Using the same model is finally possible to arrive to a reliable assessment of the likely inflow of water inside the tunnel, both transient (during tunnel excavation) and steady (during operation).