

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



DIREZIONE TECNICA
UO GEOLOGIA
PROGETTO DEFINITIVO

ITINERARIO NAPOLI - BARI
VARIANTE LINEA CANCELLO NAPOLI

RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE NUMERICA DELLA FALDA ACQUIFERA
SUPERFICIALE

SCALA:



COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA / DISCIPLINA Progr. REV.

I F O E 0 0 D 6 9 R G G E 0 0 0 2 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Aut. / Data
A	Emissione esecutiva	G. RICCI	LUGLIO 2015	S. POLMENI 	LUGLIO 2015	D. APREA 	LUGLIO 2015	Dott. Geologo Esperto MARCHESE Resp. UO GEOLOGIA Ordine Geologi Lazio n. 179 ES

File: IFOE00D69RGGE0002001A

n. Elab.: 001



DIREZIONE TECNICA – U.O. GEOLOGIA
PROGETTO DEFINITIVO
ITINERARIO NAPOLI – BARI
VARIANTE LINEA CANCELLO NAPOLI

**RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE NUMERICA
DELLA FALDA ACQUIFERA SUPERFICIALE**

PROGETTO IFOE	LOTTO 00	CODIFICA D69 RG	DOCUMENTO GE0002 001	REV. A	FOGLIO 2 di 30
------------------	-------------	--------------------	-------------------------	-----------	-------------------

INDICE

1	INTRODUZIONE E OBIETTIVI DELLO STUDIO	3
2	INQUADRAMENTO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO	5
2.1	QUADRO GEOLOGICO GENERALE	5
2.2	QUADRO IDROGEOLOGICO GENERALE.....	7
2.3	ASSETTO IDROGEOLOGICO LOCALE DELL'AREA DI STUDIO	9
3	DESCRIZIONE DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	13
4	MODELLAZIONE NUMERICA DELLA INTERFERENZA	16
4.1	COSTRUZIONE DEL MODELLO.....	16
4.2	CONDIZIONI AL CONTORNO.....	19
4.3	SCENARI SIMULATI	22
4.4	RISULTATI	22
4.5	ANALISI CRITICA DEI RISULTATI	25
5	CONCLUSIONI	29
6	BIBLIOGRAFIA	30

1 INTRODUZIONE E OBIETTIVI DELLO STUDIO

Lo studio si inquadra all'interno del Progetto Definitivo della Variante ferroviaria Canello-Napoli, nell'ambito dell'Itinerario Napoli-Bari.

Il tracciato di progetto ha uno sviluppo complessivo di circa 15km (Figura 1) e comprende, nella sua parte iniziale (dalla progressiva pk 0+589 alla pk 3+518), una serie di gallerie artificiali che si estendono in profondità per alcune decine di metri, al di sotto del livello della falda superficiale.

Il seguente rapporto tecnico è finalizzato all'analisi e quantificazione del fenomeno d'interferenza tra l'acquifero superficiale e le gallerie artificiali presenti nella prima tratta del collegamento ferroviario in progetto. Il modello geologico di riferimento è illustrato nei dettagli nella Relazione Geologica di Progetto Definitivo (IFOE 00 D69 RG GE 0001 001 A).



Figura 1: Area di studio (rettangolo rosso) e tracciato del progetto (linea verde).

In generale, un'opera in sotterraneo a paratie (galleria artificiale) che ostacola il naturale deflusso delle acque sotterranee, causa una modifica della superficie piezometrica che prende la forma di un innalzamento a monte (rispetto alla direzione di deflusso sotterraneo) dell'opera e di una depressione a valle. L'entità dell'interferenza è regolata da diversi fattori sia geo-idrogeologici (entità della riduzione della sezione di flusso, permeabilità dei terreni, angolo di incidenza tra la direzione di deflusso e la struttura) sia costruttivi (tipo di struttura, sua dimensione e profondità).



DIREZIONE TECNICA - U.O. GEOLOGIA
PROGETTO DEFINITIVO
ITINERARIO NAPOLI - BARI
VARIANTE LINEA CANCELLO NAPOLI

**RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE NUMERICA
DELLA FALDA ACQUIFERA SUPERFICIALE**

PROGETTO IF0E	LOTTO 00	CODIFICA D69 RG	DOCUMENTO GE0002 001	REV. A	FOGLIO 4 di 30
------------------	-------------	--------------------	-------------------------	-----------	-------------------

La quantificazione del fenomeno di interferenza è realizzata tramite un modello numerico del flusso idrico sotterraneo implementato con il codice di calcolo 3D MODFLOW 2005 alle differenze finite (USGS 1998, 2005).

Nelle pagine che seguono, saranno descritte le condizioni idrogeologiche dell'area oggetto della modellazione numerica, le caratteristiche delle gallerie artificiali, le condizioni al contorno adottate nel modello numerico e i risultati ottenuti in termini di entità del fenomeno, rispetto alla condizione ante-operam, e una valutazione sulla criticità di questo fenomeno di interferenza nel quadro dell'inserimento del progetto nel territorio.

	DIREZIONE TECNICA – U.O. GEOLOGIA PROGETTO DEFINITIVO ITINERARIO NAPOLI – BARI VARIANTE LINEA CANCELLO NAPOLI					
RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE NUMERICA DELLA FALDA ACQUIFERA SUPERFICIALE	PROGETTO IF0E	LOTTO 00	CODIFICA D69 RG	DOCUMENTO GE0002 001	REV. A	FOGLIO 5 di 30

2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO

2.1 QUADRO GEOLOGICO GENERALE

L'area del progetto di Variante ferroviaria è situata nella porzione nord-orientale della "Piana Campana", un'ampia area pianeggiante, avente superficie pari a circa 1.350 kmq. Geograficamente la piana si estende tra il Volturno e la valle del Sarno, delimitata a ovest e a sud dalla costa tirrenica che corre rispettivamente da Castel Volturno al Golfo di Napoli e a est e a nord dai contrafforti appenninici (Monte Massico, Monti Tifatini, Monti di Durazzano e di Avella, Monti di Sarno e Monti Lattari). Si tratta di un'area con quote medie variabili dallo zero assoluto nei settori costieri occidentali, ai 20÷30 m s.l.m. nelle porzioni centrali della pianura, fino ai 40÷50 m s.l.m. delle fasce pedemontane orientali.

L'area di studio si colloca nella parte iniziale (partendo dal lato meridionale) del progetto, a pochi chilometri dalle pendici nord-occidentali dell'apparato vulcanico Monte Somma-Vesuvio tra i territori comunali di Casalnuovo e Afragola (Figura 1).

L'area è inserita nella zona denominata Piana Campana (Figura 2), che rappresenta un profondo graben carbonatico (Ippolito et al, 1973), o half-graben (Milla & Torrente, 1999), la cui origine è conseguenza di una fase tettonica distensiva, iniziata nel Plio-Pleistocene.

I terreni che colmano il graben sono costituiti nella parte basale dai residui della serie cenozoica, quindi dai prodotti di Roccamonfina e dalla prima attività dei Campi Flegrei, nonché dai prodotti coevi dell'attività erosiva delle acque continentali che avevano sbocco nel braccio di mare che si estendeva tra i monti calcarei e l'attuale edificio del Somma-Vesuvio. In tempi successivi furono depositati i terreni più superficiali, costituiti da prodotti vulcanici dei Campi Flegrei e del Somma-Vesuvio.

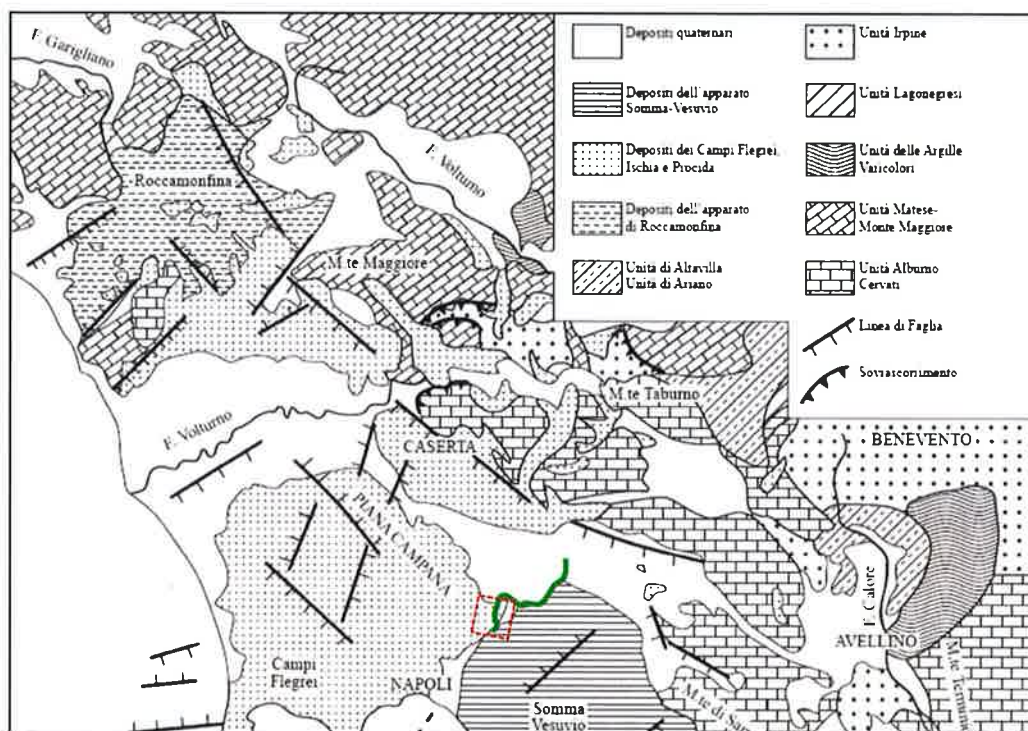


Figura 2: Schema geologico-strutturale della Campania centro-settentrionale. (Orsi, De Vita, Di Vito, 1996).

In maggior dettaglio, l'area compresa tra Afragola e Acerra, interessata dal Progetto Definitivo della Variante ferroviaria Canello-Napoli, e più in dettaglio, l'area in cui s'inserisce la parte iniziale del tracciato oggetto dello studio, è costituita da una successione di piroclastiti di diversa natura.

Si tratta, in massima parte, dei prodotti vulcanici provenienti dal monte Somma Vesuvio e dai Campi Flegrei. I terreni piroclastici affioranti possono essere distinti in sabbie e ceneri flegree e vesuviane; le sabbie e ceneri flegree, alternate a pomici, lapilli e ceneri, sono associabili all'attività flegrea e a quella del monte Somma Vesuvio. Le sabbie e ceneri vesuviane, costituite in prevalenza da ceneri, sabbie e lapilli, sono attribuibili alla sola attività del monte Somma Vesuvio.

Geologicamente i depositi che conformano la Piana sono molto giovani, non oltre 30-35.000 anni fa.

Le caratteristiche litologico-stratigrafiche della successione piroclastica nell'area di studio, evidenti all'esame delle stratigrafie dei sondaggi eseguiti, sono in accordo con l'assetto geologico generale della Piana Campana. Procedendo dall'alto verso il basso stratigrafico, le sequenze risultano costituite da:

- Terreno di riporto per lo più costituito da ghiaia con sabbia limosa con inclusi di natura antropica tipo laterizi, ciottoli, cemento calcestruzzo. Questi terreni, riconosciuti in diversi sondaggi eseguiti, presentano spessori fino a circa 5 m.
- La porzione superiore della sequenza è quasi ovunque costituita da piroclastiti vesuviane di età storica, intercalate a prodotti Flegrei recenti, contraddistinte dalla presenza di materiali sciolti, di

- varia granulometria. Le stratigrafie di sondaggio mostrano una prevalenza di litotipi grossolani, a granulometria sabbiosa e sabbioso ghiaiosa, di natura lapilloso-scoriacea, per gran parte del settore interessato dall'attraversamento dei tracciati.
- Sotto questo primo orizzonte è presente l'Ignimbrite Campana. Essa si presenta localmente secondo facies diverse, costituita da un livello tufaceo con interstrati a maggior grado di cementazione, e piroclastiti a grado di cementazione variabile, da debolmente coerenti a semilitoidi e litoidi, ricche di pomici e scorie inglobate in matrice cineritico-pomicia, con struttura da vacuolare, nei termini meno litoidi, a compatta. Lo spessore della formazione è variabile, ma in genere si attesta sui 10÷15 m che, localmente, possono ridursi a 6÷7 m. La facies tufacea ha generalmente una consistenza litoide; nelle parti più profonde del banco prevale il colore grigio (tufo grigio Campano) mentre nelle parti più superficiali il colore è giallo (a seguito dei processi di zeolitizzazione) e talora rossastri (ignimbrite sommitale).
 - Proseguendo in profondità s'incontra una successione di piroclastiti prevalentemente sciolte o poco addensate, a luoghi mediamente addensate, a granulometria medio-grossolana, di colore grigiastro o nerastro o marrone, costituite da pomici, scorie, lapilli e grossi frammenti litici inglobati in matrice lapilloso-scoriacea. Questi terreni sono stati incontrati in tutti i sondaggi geognostici relativi alle varie campagne d'indagine eseguite nell'area, al di sotto delle quote cui si rinviene l'Ignimbrite Campana, fino a profondità dell'ordine dei 40-45 metri dal p.c.. In diversi casi, sulla base delle indagini eseguite, quando l'Ignimbrite presenta aspetto disgregato nella parte inferiore, l'ubicazione del limite con le sottostanti Piroclastiti di Base non è sempre di facile attribuzione.

2.2 QUADRO IDROGEOLOGICO GENERALE

Il corpo di depositi piroclastici che riempie la Piana Campana è sede dell'acquifero principale del territorio campano centro-settentrionale.

Per quanto la circolazione idrica sotterranea sia localizzata nei livelli piroclastici a granulometria più grossolana presenti alla base dell'Ignimbrite Campana, l'assenza di strati confinanti realmente continui fa sì che la falda risulti a grande scala un unico corpo idrico, come d'altronde testimoniato anche dai livelli piezometrici concordanti in pozzi drenanti a diverse profondità.

La falda è in gran parte a pelo libero, se si escludono quei settori dove le formazioni tufacee riescono a operare, per le loro condizioni giaciture e tessiture, un'azione di tamponamento a tetto, come nell'area settentrionale flegrea e nell'area a sud-est di Napoli.

Gli apporti idrici alla falda sono sostanzialmente rappresentati da:

- afflussi meteorici infiltrati dalla superficie;
- afflussi idrici sotterranei provenienti dalle dorsali carbonatiche orientali;
- afflussi idrici sotterranei provenienti dal complesso Somma-Vesuvio.

Per quanto riguarda gli afflussi idrici provenienti dalle dorsali carbonatiche, il recapito principale è rappresentato dalle sorgenti di Canello e di Sarno, affioranti alla quota di 30 m s.l.m. ed ubicate al piede dei rilievi verso la Piana Campana (Civita et alii, 1970). Tale situazione si deve all'azione di soglia di permeabilità operata, rispetto ai rilievi, proprio dai depositi piroclastici e alluvionali della Piana; il tamponamento non è tuttavia totale poiché nell'ambito della sequenza detritico-piroclastica esistono, a più altezze, vari orizzonti che consentono una certa filtrazione e quindi un'alimentazione, da parte dell'acquifero carbonatico, del sottosuolo della Piana.

Per quanto riguarda, invece, l'area vesuviana, in essa trovano posto due acquiferi, dei quali uno superficiale contenuto nell'apparato vulcanico ed uno profondo contenuto nelle strutture carbonatiche sepolte (Celico et alii, 1998).

La principale aliquota di ricarica idrica dell'acquifero della Piana è comunque costituita da ricarica diretta, ed il suo recapito è rappresentato dalle utenze irrigue ed industriali presenti nel territorio, che captano le risorse idriche attraverso numerosi pozzi.

La Figura 3 mostra uno stralcio della carta dei complessi idrogeologici del Piano Territoriale della Regione Campania ed evidenzia che la falda della Piana Campana, nell'area a nord-est di Napoli, ha un flusso prevalente in direzione sud-ovest, dai margini montuosi orientali verso il mar Tirreno. Tale flusso presenta, però, delle locali perturbazioni dovute alla conformazione del sottosuolo che fanno sì che, nell'area ad est di Napoli, la falda tenda a convergere verso il fosso di Volla, stretto tra l'area flegrea a nord-ovest e quella vesuviana a sud-est.

Il livello piezometrico è generalmente molto superficiale e condizionato, come già detto, dalla presenza o meno a tetto dell'acquifero di orizzonti meno permeabili rappresentati quasi ovunque dalle facies tufacee dell'Ignimbrite Campana; tale materiale in ragione della potenza e del grado di diagenesi, agisce da semipermeabile o come elemento di netto confinamento.

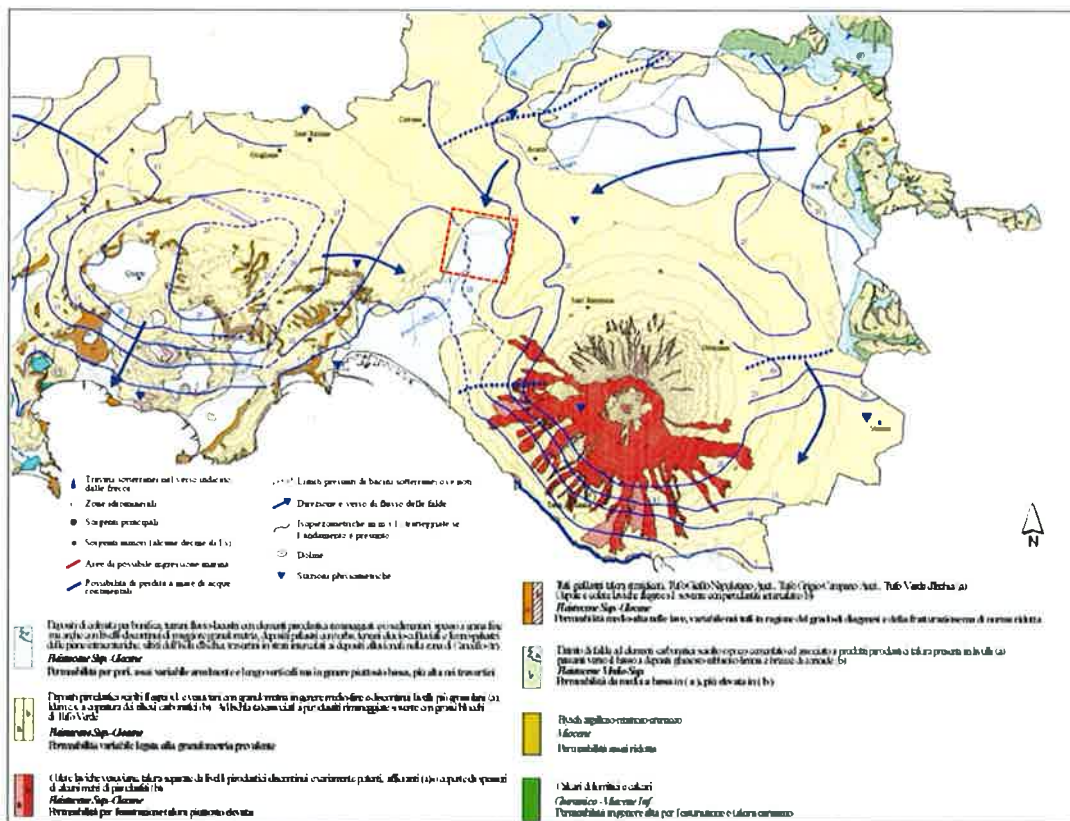


Figura 3: Carta Idrogeologica della Provincia di Napoli (Corniello A. et Alii., 2008). In rosso il perimetro dell'area di studio.

	DIREZIONE TECNICA – U.O. GEOLOGIA PROGETTO DEFINITIVO ITINERARIO NAPOLI – BARI VARIANTE LINEA CANCELLO NAPOLI					
RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE NUMERICA DELLA FALDA ACQUIFERA SUPERFICIALE	PROGETTO IF0E	LOTTO 00	CODIFICA D69 RG	DOCUMENTO GE0002 001	REV. A	FOGLIO 9 di 30

2.3 ASSETTO IDROGEOLOGICO LOCALE DELL'AREA DI STUDIO

La struttura dell'acquifero dell'area di studio risulta piuttosto articolata. I depositi piroclastico-alluvionali che costituiscono il sottosuolo dell'area di Casalnuovo e Afragola sono caratterizzati da una permeabilità piuttosto variabile, sia in senso verticale, sia in senso orizzontale, in funzione delle frequenti variazioni delle specifiche distribuzioni granulometriche dei depositi sciolti e del grado di fessurazione degli orizzonti litoidi presenti. Appare pertanto difficile che si possano identificare livelli di scarsa permeabilità sufficientemente continui tali da frazionare l'acquifero in più strati distinti. La falda tende pertanto a digitarsi in più livelli, corrispondenti ai materiali grossolani e variamente interconnessi, ma conservando sempre carattere di unicità.

Il banco di tufo rappresentato dall'Ignimbrite Campana, laddove il suo letto si trova a quote inferiori a quella della piezometrica, può esercitare o meno una funzione di semi-confinamento secondo l'entità dello spessore e delle sue caratteristiche fisiche (grado di cementazione, assortimento granulometrico, presenza di banchi di scorie laviche a maggiore permeabilità).

Localmente, nell'area di inizio del progetto i dati contenuti nel P.A.I. del 2002 dell'Autorità di Bacino Nord-Occidentale Campania, hanno evidenziato la presenza di zone definite "conche endoreiche e zone a falda sub-affiorante", in cui non si esclude che, in condizioni favorevoli di afflusso meteorico, la falda possa portarsi a valori di soggiacenze decisamente prossimi al piano campagna.

Tenuto conto di quanto in precedenza descritto, è plausibile che l'assetto idrogeologico dell'area in esame sia contraddistinto da una falda principale contenuta nei depositi piroclastici sciolti presenti sotto al banco di tufo (Ignimbrite Campana), le cui acque tendono tuttavia a confondersi con quelle di una falda idrica superficiale contenuta nei depositi piroclastici superiori, a causa di fenomeni di drenanza e/o a causa dell'assenza del tufo in alcune aree.

Il deflusso delle acque meteoriche avviene in generale per gravità e/o evaporazione anche a causa delle lievissime pendenze; in generale i terreni sul posto presentano capacità di assorbimento variabile da "mediamente discrete" a "mediamente buone".

Solo in occasione di più abbondanti e persistenti precipitazioni si registrano aliquote d'acqua di ruscellamento che vengono generalmente drenate dalla rete di canali presenti in zona, canali principali tributari dei Regi Lagni.

La morfologia della falda acquifera presente nel territorio investigato è stata ricostruita a partire da misure di soggiacenza risultanti da rilievi freaticometrici nei piezometri installati in foro di sondaggio, realizzati nelle diverse campagne di indagini e monitorati nel periodo gennaio-aprile 2015.

Per la ricostruzione si è fatto in particolare riferimento ai dati rilevati nei mesi di marzo-aprile 2015 che, tra quelli registrati, rappresentano i valori di picco di quota della falda acquifera, corrispondenti al probabile raggiungimento delle condizioni di morbida per la superficie freatica dell'area.

L'andamento della tavola d'acqua è stato quindi riportato, attraverso una rappresentazione a linee isopieze (o isopiezometriche) (Figura 4), nella Carta idrogeologica a scala 1:5.000 dello studio di Progetto Definitivo a cui si rimanda per maggiori dettagli (doc. IF0E 00 D69 G5 GE 0002 001/2/3/4 A).

Dall'esame della ricostruzione appare evidente come nella zona oggetto della modellazione il deflusso della falda tende ad incurvarsi verso sudovest e ciò in accordo con i dati bibliografici disponibili per l'area. Le letture effettuate nei piezometri nel periodo che va da maggio 2014 ad aprile 2015, confermano grosso modo quanto già anticipato nella fase di studio precedente (Progetto Preliminare) evidenziando come la superficie di falda, si attesti nel periodo di monitoraggio (condizioni di morbida relative a marzo-aprile 2015) nel settore considerato ad una quota media di 14-16 m s.l.m. (Figura 4), con una soggiacenza che varia, in ragione dell'assetto topografico, da pochi metri (all'inizio della tratta in sotterraneo) a circa 30m dal p.c. in coincidenza del sottopasso autostradale della GA Casalnuovo II (condizione di massima spessore della copertura rispetto al p.f.) (Figura 5).

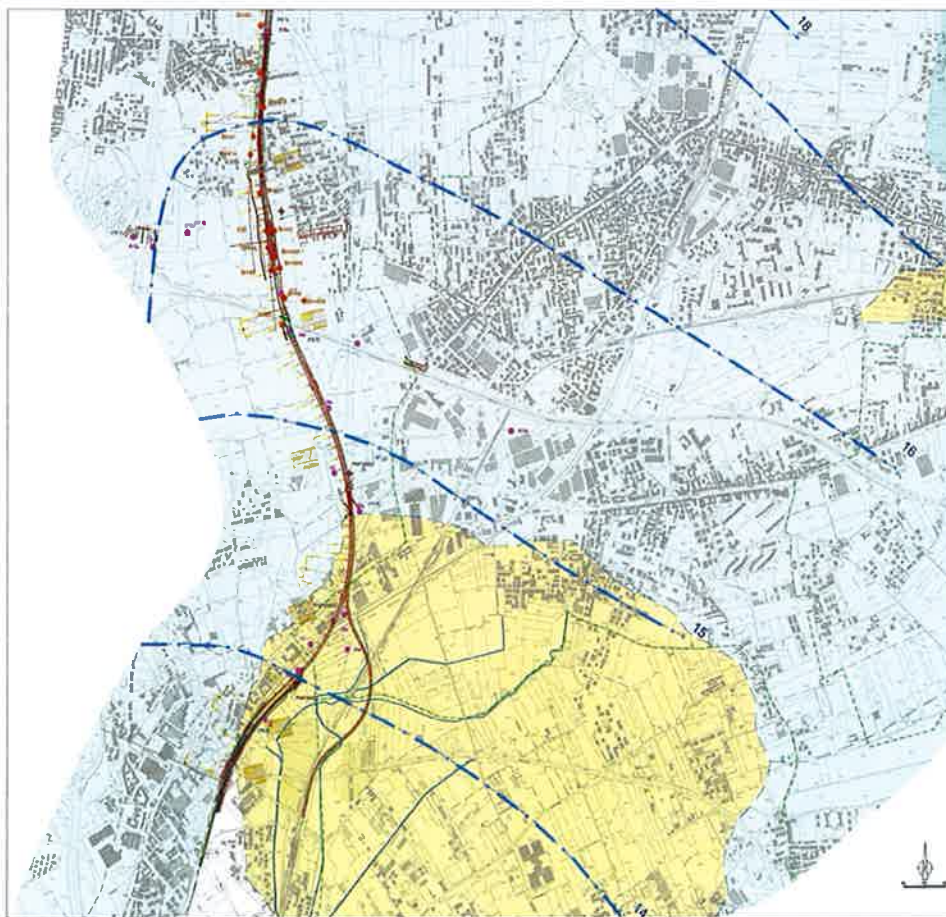


Figura 4: Carta Idrogeologica con rappresentazione a linee isopieze (quote in m s.l.m.) della falda idrica relativa al Progetto Definitivo della Variante ferroviaria Canello- Napoli (stralcio del settore relativo all'area di studio).

I dati derivanti dalle indagini eseguite (prove di permeabilità in foro) sia per lo studio di Progetto preliminare che per il Progetto Definitivo hanno permesso di distinguere nell'area in cui è previsto il progetto della Variante ferroviaria Canello - Napoli i seguenti complessi idrogeologici (Figura 6):

- **Complesso idrogeologico 1:** costituito dai depositi piroclastici rimaneggiati, depositi limnoproclastici, terre nere palustri e torbiere.

- **Complesso idrogeologico 2:** costituito da depositi di varia natura principalmente piroclastici di età recente (**Po**) e piroclastiti di base (**Pb**), di origine flegrea e vesuviana costituiti da lapilli indifferenziati, ceneri, pomici chiare e tufi in facies cineritica pomicia sciolti.
- **Complesso idrogeologico 3:** costituito dall'ignimbrite campana/tufo grigio.
- **Complesso idrogeologico 3a:** costituito dalla parte alterata e fratturata dell'ignimbrite campana/tufo grigio (regolite).

Nel complesso idrogeologico 2 sono accorpati insieme i depositi piroclastici superficiali e quelli posti al di sotto dell'ignimbrite Campana.

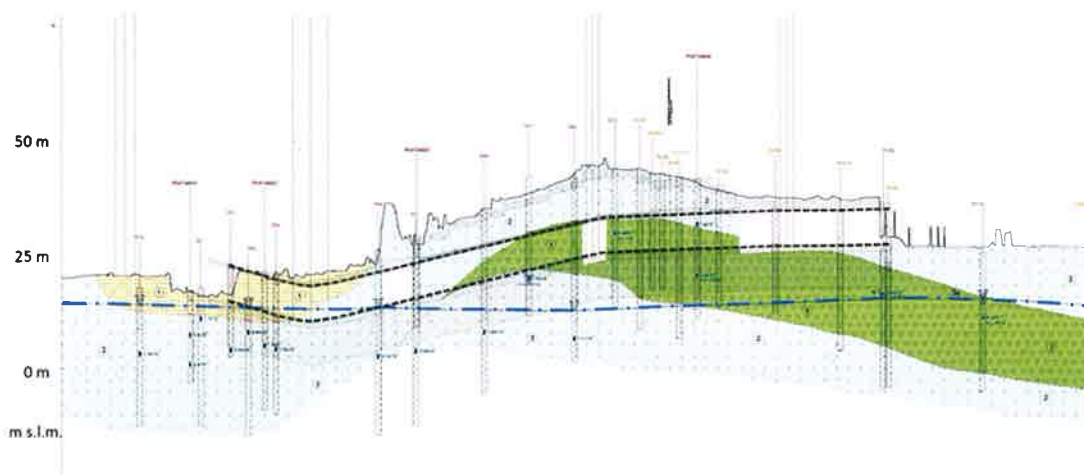


Figura 5: Profilo Idrogeologico relativo al Progetto Definitivo della Variante ferroviaria Canello- Napoli (stralcio del settore relativo all'area di studio). In evidenza: la superficie di falda (tratteggio blu) e il profilo delle gallerie artificiali (tratteggio nero)

La permeabilità per i complessi idrogeologici 1 e 2 è per porosità; nel complesso idrogeologico 3 essenzialmente per fratturazione; nel complesso 3a può essere di tipo misto, sia per porosità che per fratturazione.

Ai fini dell'assetto idrogeologico profondo, pur non disponendo di dati di prove di permeabilità per profondità superiori ai 30 m dal p.c., dall'esame dei dati disponibili si ritiene comunque lecito ipotizzare che il grado di permeabilità dei depositi piroclastici di base (**Pb**), nelle sue porzioni più profonde, diminuisca attestandosi su un valore medio di $E-07$ m/s.

Dal punto di vista areale, nel settore di interesse affiorano solo i complessi idrogeologici 1 e 2.





Sigla	Complesso Idrogeologico	Grado di permeabilità (AFTES, 1992)							
		K1	K2	K3	K4				
		$< 10^{-8} \text{ m/s}$	$10^{-8} < k < 10^{-6} \text{ m/s}$	$10^{-6} < k < 10^{-4} \text{ m/s}$	$> 10^{-4} \text{ m/s}$				
		molto basso - basso	basso - medio	medio - alto	alto - molto alto				
①	 Depositi piroclastici rimaneggiati. Depositi limnopiroclastici, terre nere palustri, torbifere, con molluschi dolcicoli (Di). Permeabilità per porosità.		P						
②	 Prodotti piroclastici di età recente, di varia natura di origine flegrea e vesuviana costituiti da lapilli indifferenziati, cenere, pomice chiare e paleosuoli (Po). Piroclastici di base, poste alla base della serie dell'ignimbrite campana, costituiti da tufi in facies cineritica e pomicea (Pb). Permeabilità per porosità.		P						
③	 Ignimbrite campana (Ic). Permeabilità per fratturazione.			F					
③a	 Ignimbrite campana fratturata/alterata (regolite) (Ica#). Permeabilità per fratturazione/porosità.			F/P					

Figura 6: Legenda dei complessi idrogeologici e loro grado di permeabilità secondo la classificazione AFTES, 1992.

Lo schema idrogeologico di dettaglio risultante dalle ricostruzioni risulta in accordo con le fonti bibliografiche consultate e in linea generale conferma buona parte dei risultati definiti nel precedente studio a base del Progetto preliminare.

3 DESCRIZIONE DELLE OPERE IN SOTTERRANEO

Le opere in sotterraneo lungo il tracciato di Progetto sono costituite da gallerie artificiali, che interessano i primi 3.500 metri circa della porzione sud della Variante ferroviaria Canello-Napoli.

Nell'ambito di questo Progetto, alcune parti d'opera, ubicate in corrispondenza di un sottopasso autostradale e di un sottopasso ferroviario, sono state già realizzate. Inoltre, a fianco del tracciato di Progetto è presente la linea Alta Velocità Roma-Napoli con una galleria artificiale di circa 980m.

La Tabella 1 sottostante riassume i dati principali delle tratte di galleria artificiale già realizzate e da realizzare nell'ambito del Progetto di Variante.

Opera	Realizzata	Lunghezza (m)	Prof. Media (m)
G.A. Santa Chiara	SI	491	30
G.A. Casalnuovo III	SI	155	30
G.A. Casalnuovo	NO	588	28
G.A. Casalnuovo II sottopasso autostradale	SI	97	32
G.A. Casalnuovo	NO	706	28
G.A. Casalnuovo I sottopasso ferroviario	SI	131	40
G.A. Casalnuovo	NO	720	26

Tabella 1: Dati riassuntivi delle opere in sotterraneo.

La posizione delle gallerie artificiali con indicazione della profondità di imposta delle fondazioni profonde (calcolata in metri dalla calotta della galleria), è rappresentata nella successiva Figura 7.

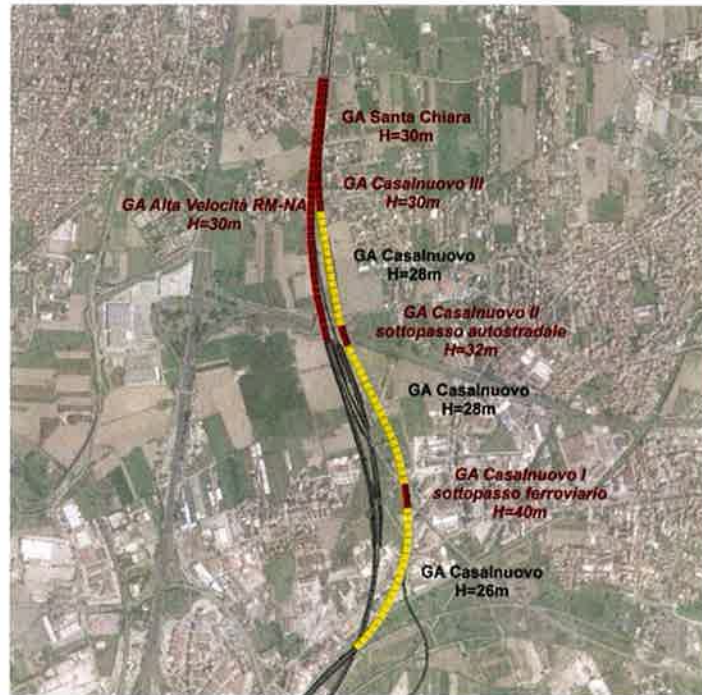


Figura 7: Quadro delle opere già realizzate (rosso scuro) e da realizzare (giallo), con la profondità delle opere di fondazione (in metri dalla calotta della galleria).

Oltre alla potenziale barriera continua rappresentata dalle paratie di sostegno anche le fondazioni delle gallerie artificiali, costituite da paratie di pali accostati non secanti (Figura 8) sono state considerate, ai fini dell'interferenza, una unica barriera continua.

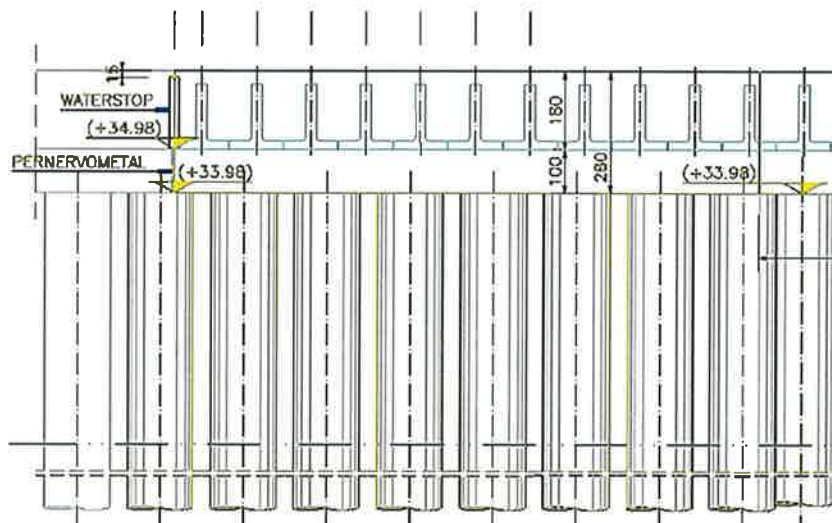


Figura 8: Schema tipologico della fondazione delle opere in sotterraneo.

Ne risulta che, considerando l'ingombro totale (delle strutture di sostegno e di quelle di fondazione), la falda freatica in condizioni di morbida interferisce solamente con una porzione (la prima metà circa) della tratta in galleria artificiale (Figura 9).

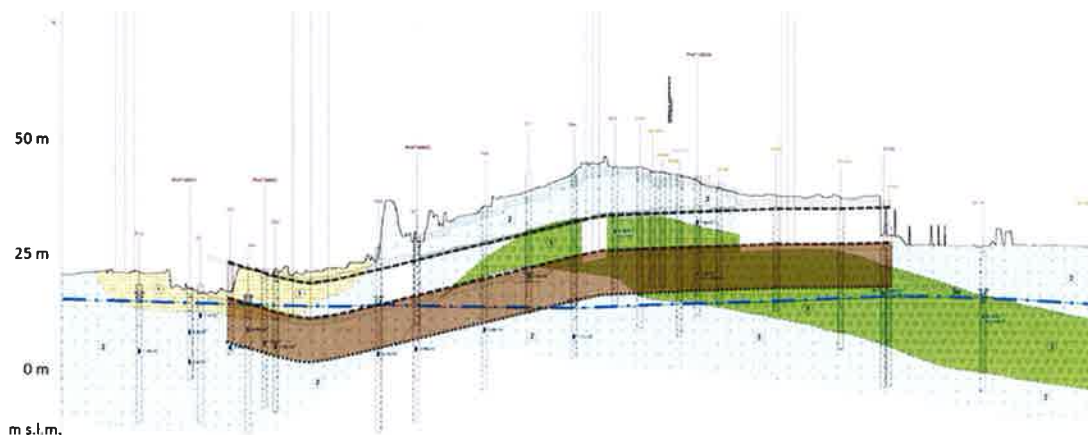


Figura 9: Profilo Idrogeologico con evidenza della superficie di falda (linea a tratteggio blu), della porzione di sostegno (tra la linea a tratteggio nero superiore e mediana) e della porzione di fondazione (campitura marrone) delle paratie della tratta in galleria artificiale.

	DIREZIONE TECNICA – U.O. GEOLOGIA PROGETTO DEFINITIVO ITINERARIO NAPOLI – BARI VARIANTE LINEA CANCELLO NAPOLI					
RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE NUMERICA DELLA FALDA ACQUIFERA SUPERFICIALE	PROGETTO IFOE	LOTTO 00	CODIFICA D69 RG	DOCUMENTO GE0002 001	REV. A	FOGLIO 16 di 30

4 MODELLAZIONE NUMERICA DELLA INTERFERENZA

Il codice di calcolo utilizzato è MODFLOW, (USGS 1988-2005) nella versione commerciale implementata dal software GMS 10.1 (AQUAVEO, <http://www.aquaveo.com/software/gms-modflow>), che permette la gestione dei dati di ingresso e delle condizioni di contorno tramite una interfaccia di tipo GIS.

Al fine di simulare l'effetto delle paratie profonde sul regime di deflusso idrico sotterraneo, il modello numerico adottato è stato implementato e sviluppato secondo i seguenti passi temporali:

1. costruzione del modello
2. riproduzione del regime di flusso idrico sotterraneo ante-operam
3. inserimento delle opere interferenti (paratie profonde)
4. simulazione degli effetti indotti
5. confronto delle condizioni ante/post-operam per valutare le anomalie indotte.

Come descritto nel Capitolo 3, le condizioni attuali dell'area evidenziano la presenza di:

- n. 1 opera (GA Santa Chiara) di quasi 500m di lunghezza totale;
- n. 3 opere (GA Casalnuovo I, II e III) di breve sviluppo longitudinale (da 97m a 155m);
- n. 1 galleria artificiale (GA linea AV Roma-Napoli) di circa 980m di lunghezza.

La condizione di deflusso idrico sotterraneo attuale, dunque, risente già della presenza di queste opere, tuttavia gli effetti indotti potrebbero essere talmente limitati da rendere, di fatto, molto difficile la loro percezione dalla ricostruzione del pannello piezometrico.

Dunque, nella scelta degli scenari di modellazione da eseguire, sarà preso in considerazione anche lo scenario relativo all'assenza totale di opere, per valutare l'interferenza (attualmente presente) delle opere già realizzate sul campo di moto dell'acquifero superficiale.

4.1 COSTRUZIONE DEL MODELLO

L'area oggetto della modellazione numerica è stata definita in base ai seguenti criteri:

- estensione areale delle opere in progetto e di quelle già costruite, che saranno inserite nel modello numerico;
- geometria delle condizioni di flusso idrico sotterraneo, in modo da avere i limiti laterali (condizioni di non-flusso) perpendicolari all'andamento delle iso-piezometriche;
- posizione dei limiti a carico imposto a distanza sufficiente perché tali condizioni non influenzino i risultati.

La Figura 10 seguente illustra l'estensione areale del dominio di calcolo.



Figura 10: Estensione del dominio di calcolo e andamento delle isopiezometriche (cfr.Figura 4).

La discretizzazione in pianta dell'area del modello numerico è stata fatta tramite una griglia rettangolare con dimensioni di cella variabili da un massimo di 40m a un minimo di circa 5m.

In verticale si è adottato un modello a n.4 strati (layer) per poter discretizzare, secondo la profondità, sia le caratteristiche dell'opera (come profondità delle paratie), sia la superficie topografica e la diminuzione di permeabilità dei depositi in profondità.

Il modello si estende dal piano campagna (variabile tra 12.5m a 72.5m slm) fino a quota -40m slm, che corrisponde al fondo del layer n.4.

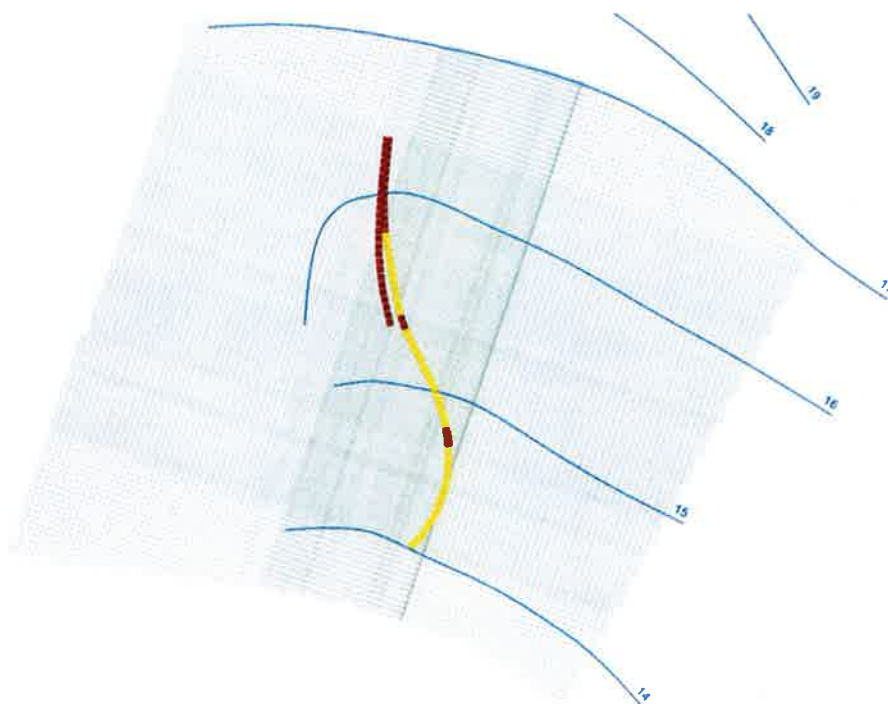


Figura 11: Discretizzazione del dominio di calcolo (pianta) e andamento delle isopiezometriche.

La tabella seguente riassume i dati principali della discretizzazione verticale del modello numerico.

Layers	Δ quota top (m slm)	Δ quota bottom (m slm)	Permeabilità (m/s)	Condizione/elemento modello
1	+12.5 ÷ +72.5	+6.8 ÷ -10.4	1E-05 ÷ 1E-06	top layer corrispondente alla superficie topografia bottom layer per la profondità delle paratie (-30m da calotta) delle GA, da applicare ove presenti
2	+6.8 ÷ -10.4	-10.0	3E-07	limite di permeabilità
3	-10.0	-16.0	1E-07	bottom layer per la profondità delle paratie (-40m da calotta) della GA Casalnuovo I
4	-16.0	-40.0	1E-07	

Tabella 2: Discretizzazione e caratterizzazione verticale del dominio di calcolo.

La Figura 12 riporta una sezione Nord-Sud (profondità ingrandita di fattore 10x) del modello, su una sezione all'incirca in asse al tracciato.

	DIREZIONE TECNICA – U.O. GEOLOGIA PROGETTO DEFINITIVO ITINERARIO NAPOLI – BARI VARIANTE LINEA CANCELLO NAPOLI					
	RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE NUMERICA DELLA FALDA ACQUIFERA SUPERFICIALE	PROGETTO IF0E	LOTTO 00	CODIFICA D69 RG	DOCUMENTO GE0002 001	REV. A

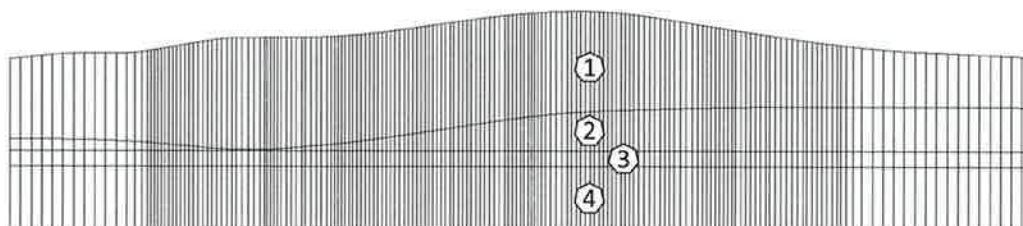


Figura 12: Sezione N-S, discretizzazione del dominio di calcolo (profilo $z=10x$) con indicazione dei layers.

4.2 CONDIZIONI AL CONTORNO

Per riprodurre nel modello numerico il campo dell'acquifero superficiale, così come osservato dalle letture piezometriche eseguite nell'ambito degli studi per il Progetto Definitivo (Carta Idrogeologica, cod. elab. IF0E 00 D69 G5 GE 0002 0001 A), sono state imposte sul bordo nord e sud le condizioni di "carico imposto", al fine di simulare le condizioni di alimentazione della falda superficiale (ricarica laterale prevalente).

Le condizioni di "non flusso" sono state applicate ai bordi del modello dove la direzione di flusso è perpendicolare agli stessi. C'è da sottolineare come il pannello piezometrico abbia una direzione di deflusso sotterraneo verso SSO complicata localmente da geometrie convergenti probabilmente dovute a locali fattori di ricarica (canali) e/o da emungimenti ad opera di pozzi agricoli.

Prima di inserire gli elementi interferenti il regime di deflusso sotterraneo (paratie) è stata eseguita una calibrazione del campo di permeabilità relativo al layer 1, quello di maggior spessore relativo nel modello 3D e nel quale si dispongono del maggior numero di risultati delle prove di permeabilità. Dall'interpretazione dei risultati (Figura 13), sono stati adottati valori variabili da $1E-05$ a $1E-06$ m/s. Il risultato, in termini di corrispondenza con il campo di moto derivato dal pannello piezometrico (Figura 14), evidenzia una maggior corrispondenza con il valore di $1E-06$ m/s. Le isopiezometriche osservate (Figura 14, in blu) e quelle simulate (in arancione) si sovrappongono meglio per una permeabilità media di $1E-06$ m/s.

Tuttavia, ai fini degli scenari di simulazione delle paratie, saranno adottati entrambi i valori di permeabilità (layer 1) in quanto la condizione peggiore (maggior impatto) è teoricamente associabile al maggior contrasto tra di permeabilità tra il layer 1 e lo sbarramento della barriera (quindi con permeabilità del layer 1 pari a $1E-05$ m/s).

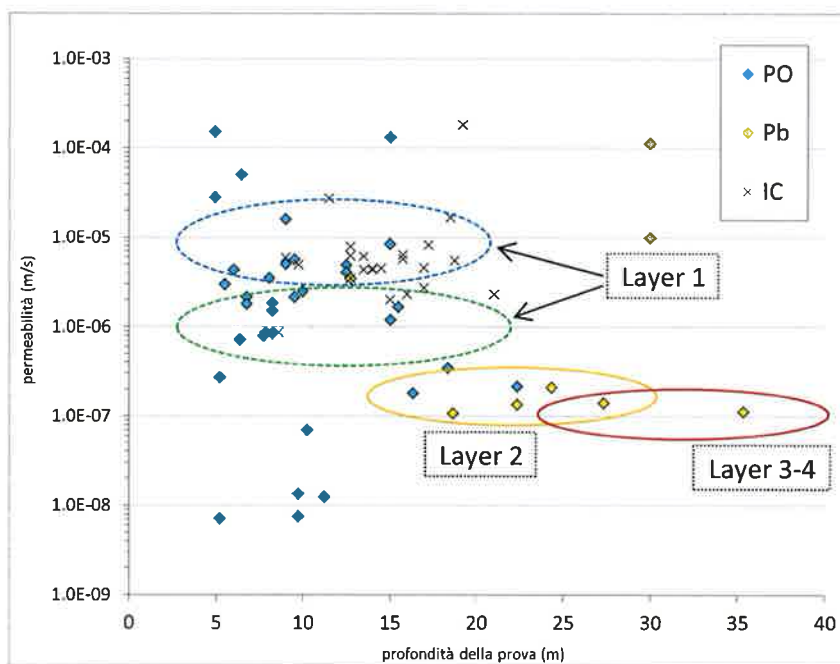


Figura 13: Risultati delle prove di permeabilità rispetto alla profondità della prova e all'unità idrogeologica (Po depositi piroclastici recenti, Pb= depositi piroclastici di base, Ic= ignimbriti).

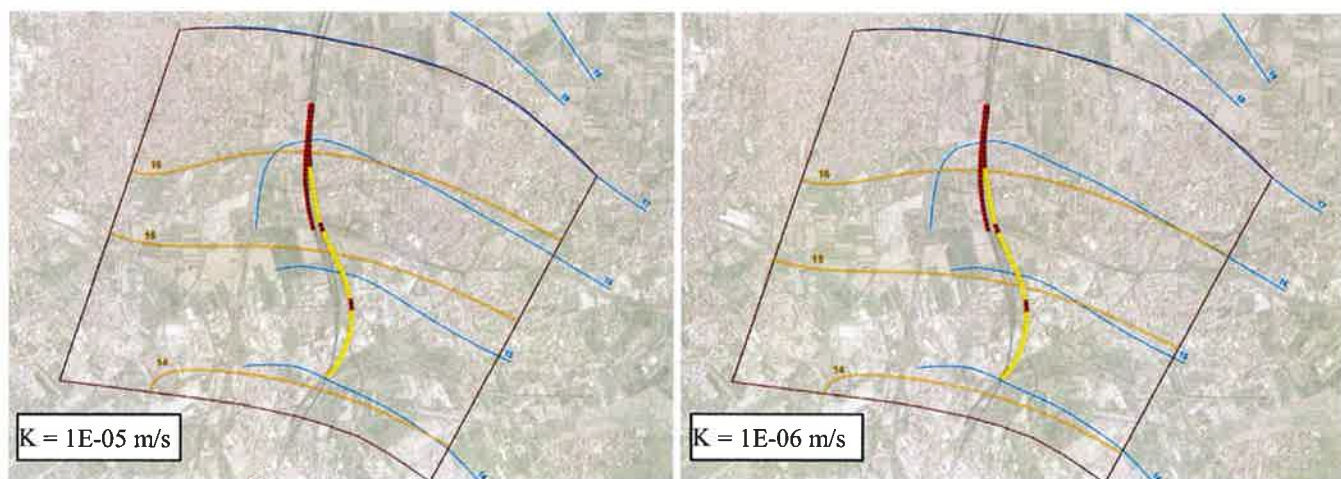


Figura 14: Risultati della calibrazione della permeabilità del layer 1 (linea blu = pannello piezometrico, linea arancione = simulazione).

La simulazione dell'effetto barriera determinato dalla presenza della galleria artificiale e da quella naturale è stata eseguita applicando alle celle di pertinenza (in pianta e in profilo) la proprietà "Horizontal Flow Barrier" (HFB) specificatamente prevista dal codice di calcolo. Il parametro di controllo di tale condizione è determinato dal

rapporto (cfr. *HC hydraulic characteristic* in Modflow 2005) tra la permeabilità dell'elemento (K_b) e lo spessore della barriera (T). Nel caso pratico è stato utilizzato un valore di $K_b = 1E-08$ m/s per uno spessore di 20m, determinando un fattore $HC = 5E-10$ m/s.

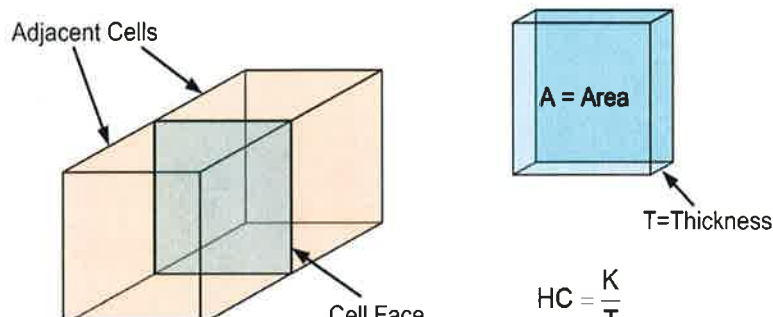


Figura 15: Parametri di controllo della funzione “horizontal flow barrier” HFB secondo MODFLOW (2005).

La Figura 16 mostra una vista 3D ($z=10x$) del modello, con la condizione HFB imposta alle celle che ricadono sullo sviluppo delle opere con paratie.

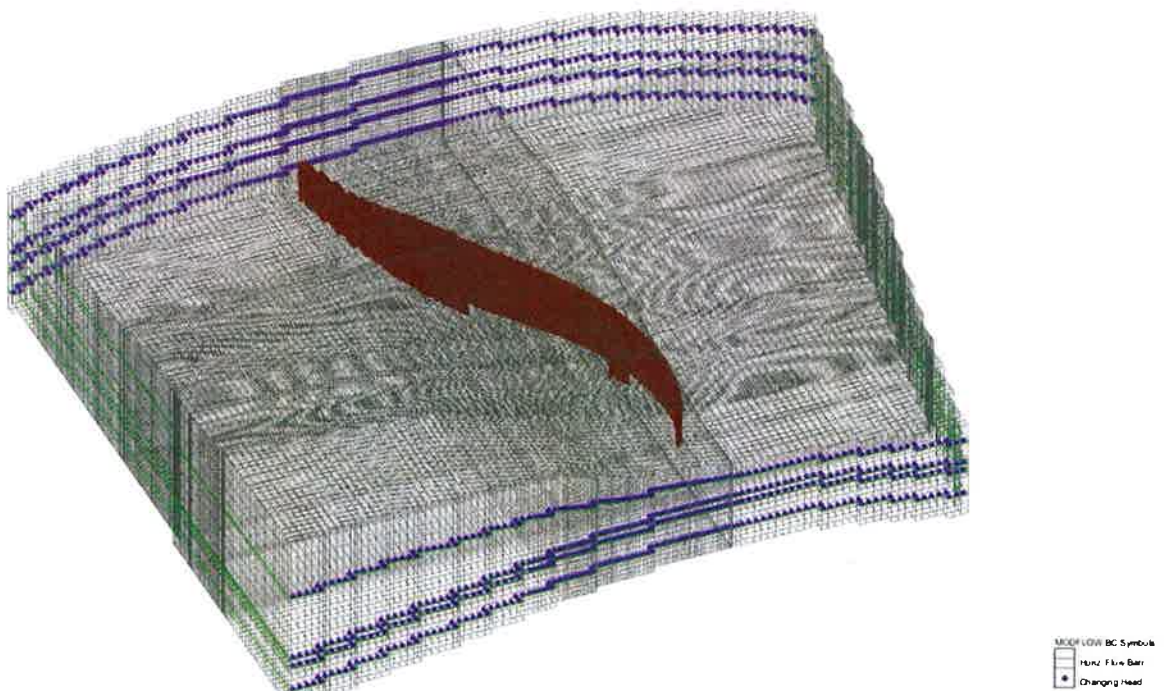


Figura 16: Vista 3D del modello con le condizioni di HFB imposte alle celle di pertinenza.

Tutte le simulazioni saranno svolte in stato permanente (steady state) in quanto tale condizione finale determina il maggiore impatto delle opere sul regime di flusso idrico sotterraneo.

4.3 SCENARI SIMULATI

Gli scenari oggetto delle varie simulazioni sono:

Scenario	Permeabilità layer 1	Opere interferenti
1A	1E-05 m/s	Nessuna
1B	1E-06 m/s	Nessuna
2A	1E-05 m/s	<i>Esistenti</i> GA Santa Chiara e Casalnuovo I, II e III GA Alta Velocità RM-NA
2B	1E-06 m/s	<i>Esistenti</i> GA Santa Chiara e Casalnuovo I, II e III GA Alta Velocità RM-NA
3A	1E-05 m/s	<i>Esistenti</i> GA Santa Chiara e Casalnuovo I, II e III GA Alta Velocità RM-NA <i>Progetto PD</i> GA Casalnuovo
3B	1E-06 m/s	<i>Esistenti</i> GA Santa Chiara e Casalnuovo I, II e III GA Alta Velocità RM-NA <i>Progetto PD</i> GA Casalnuovo

Tabella 3: Elenco degli scenari simulati.

4.4 RISULTATI

La tabella seguente riassume i risultati dei vari scenari adottati. I valori sono espressi in termini di isoanomalie, calcolate come differenza tra il livello di falda ante e post opera.

I valori massimi sono localizzati dal lato a monte della direzione di deflusso sotterraneo mentre quelle negative a valle dell'opera. Come prevedibile dal comportamento teorico, i valori maggiori di interferenza si registrano negli scenari con permeabilità del layer 1 = 1E-05 m/s (scenari 2A e 3A).

Scenario	Opere interferenti	Altezza max isoanomale indotte (cm)
1A	Nessuna	
1B	Nessuna	
2A ($k_{layer\ 1}=1E-05\ m/s$)	<i>Esistenti</i> GA Santa Chiara e Casalnuovo I, II e III GA Alta Velocità RM-NA	+ 5 cm - 10 cm
2B ($k_{layer\ 1}=1E-06\ m/s$)	<i>Esistenti</i> GA Santa Chiara e Casalnuovo I, II e III GA Alta Velocità RM-NA	+ 2 cm < -1 cm
3A ($k_{layer\ 1}=1E-05\ m/s$)	<i>Esistenti</i> GA Santa Chiara e Casalnuovo I, II e III GA Alta Velocità RM-NA <i>Progetto PD</i> GA Casalnuovo	+ 18.0 cm - 14.0 cm
3B ($k_{layer\ 1}=1E-06\ m/s$)	<i>Esistenti</i> GA Santa Chiara e Casalnuovo I, II e III GA Alta Velocità RM-NA <i>Progetto PD</i> GA Casalnuovo	+ 3.1 cm - 2.2 cm

Tabella 4: Risultati degli scenari simulati.

Trascurando lo scenario 2B, che determina variazioni di pochi centimetri, sostanzialmente trascurabili, la figura seguente illustra lo scenario 2A.

Le isoanomale (max +5 cm) sono legate alla presenza della galleria artificiale della linea AV Roma-Napoli e della GA Santa Chiara posta a fianco. Le opere di sotto attraversamento (GA Casalnuovo I, II e III) non determinano impatti rilevanti, data la loro scarsa lunghezza.

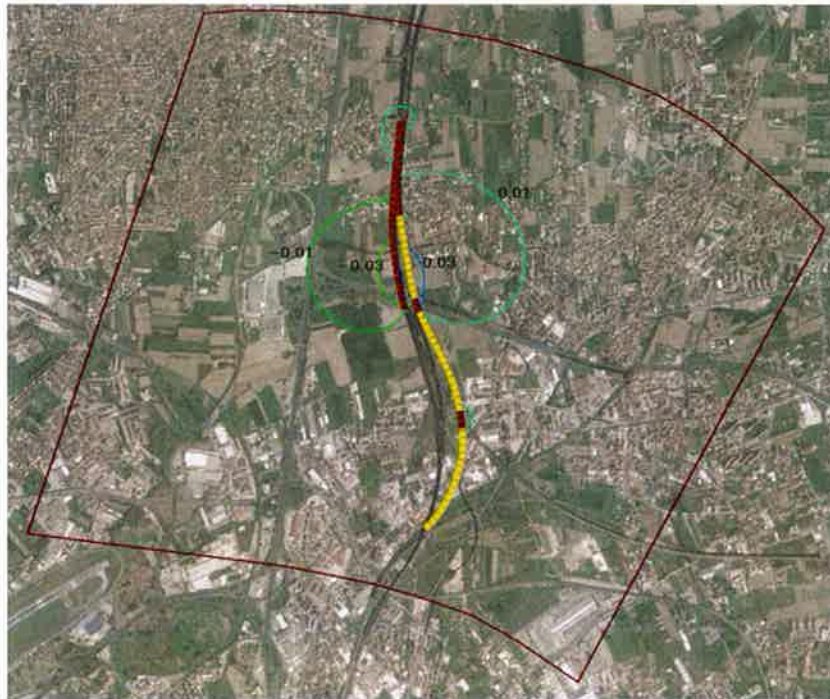


Figura 17: Isoanomalie (in metri) scenario 2A

Lo scenario relativo alla costruzione delle strutture profonde (paratie) delle gallerie artificiali previste in progetto è riportato nella Figura 18. In questo caso (scenario 3A, permeabilità layer 1 = $1E-05$ m/s) l'interferenza generata arriva circa a 18cm, con un massimo posizionato circa in coincidenza della GA Casalnuovo II.

Nel caso dello scenario 3B, layer 1 = $1E-06$ m/s, l'impatto generale è molto limitato, inferiore a 5 cm, quindi praticamente trascurabile.

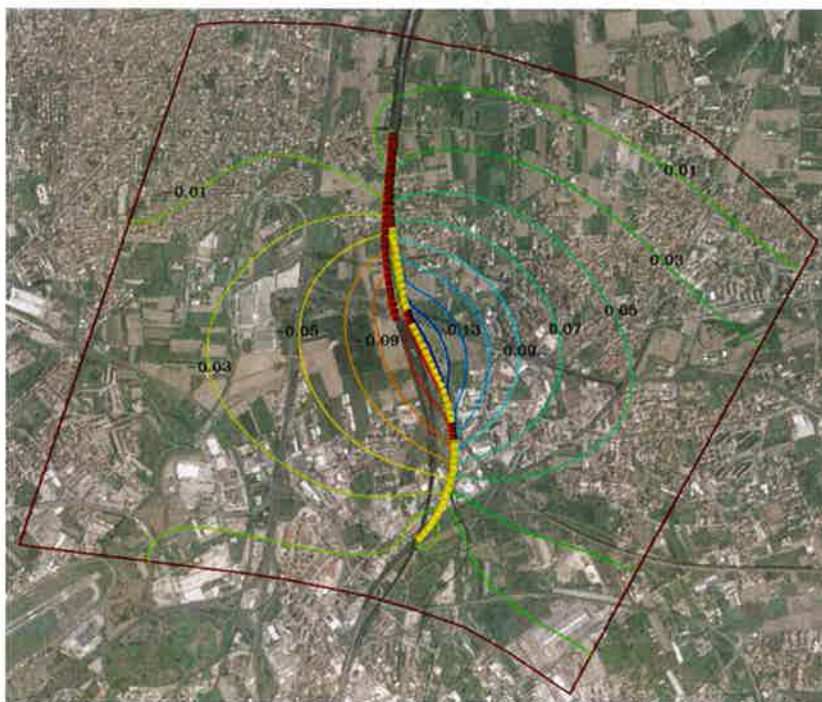


Figura 18: Isoanomalie (in metri) scenario 3A

4.5 ANALISI CRITICA DEI RISULTATI

La Figura 19 riporta il dettaglio della zona di massima interferenza dello scenario 3A. Si può notare come la zona non sia oggetto di densa urbanizzazione e come l'entità dell'interferenza positiva sia circa di 10cm nelle zone abitate.

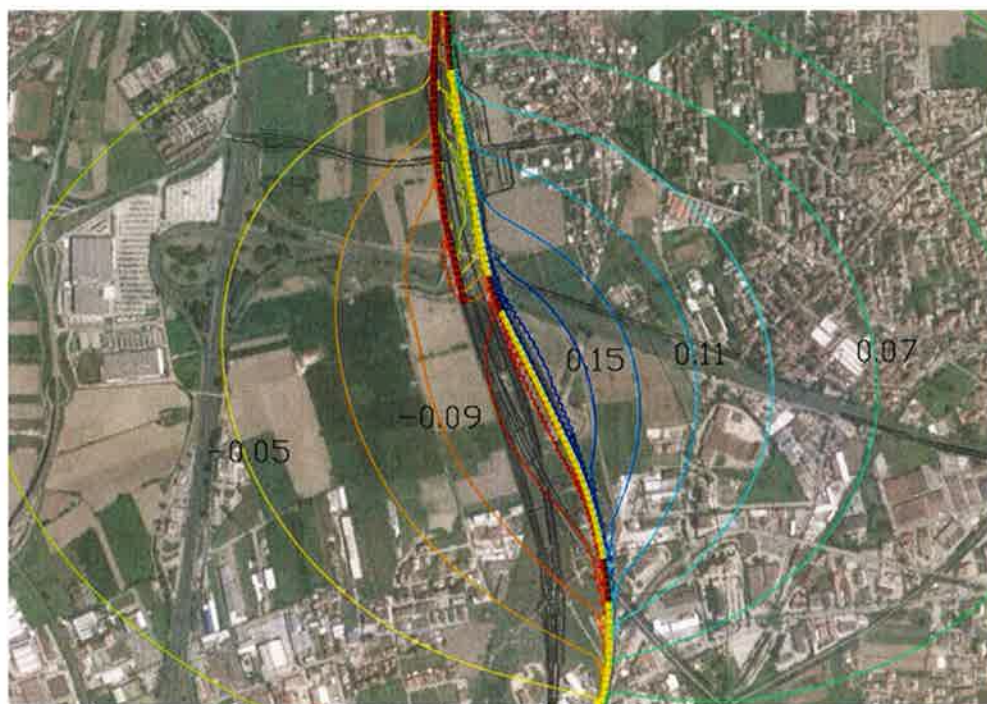


Figura 19: Dettaglio isoanomale (in m) scenario 3A.

L'impatto generato, anche nello scenario più cautelativo (maggiore permeabilità dello strato superficiale) è piuttosto modesto. Tale scenario, anche adottando un fattore precauzionale pari al 100% per tenere in conto delle eventuali anisotropie e disomogeneità del quadro idrogeologico, non dovrebbe determinare fenomeni di innalzamento localizzato superiori a qualche decina di centimetri.

Tuttavia, per valutarne l'effetto sul territorio è stato messo in relazione al piano topografico, per valutare la soggiacenza della falda, dopo la realizzazione delle opere di fondazione delle gallerie artificiali (Figura 20).

Dal confronto risulta che l'area di massima interferenza è localizzata dove la soggiacenza della falda è varia da 20 a 25 metri, dunque non determina criticità rilevanti nel contesto idrogeologico attuale e futuro. L'entità del fenomeno non suggerisce, pertanto, l'adozione di eventuali contromisure progettuali quali opere di drenaggio superficiale o profonde.

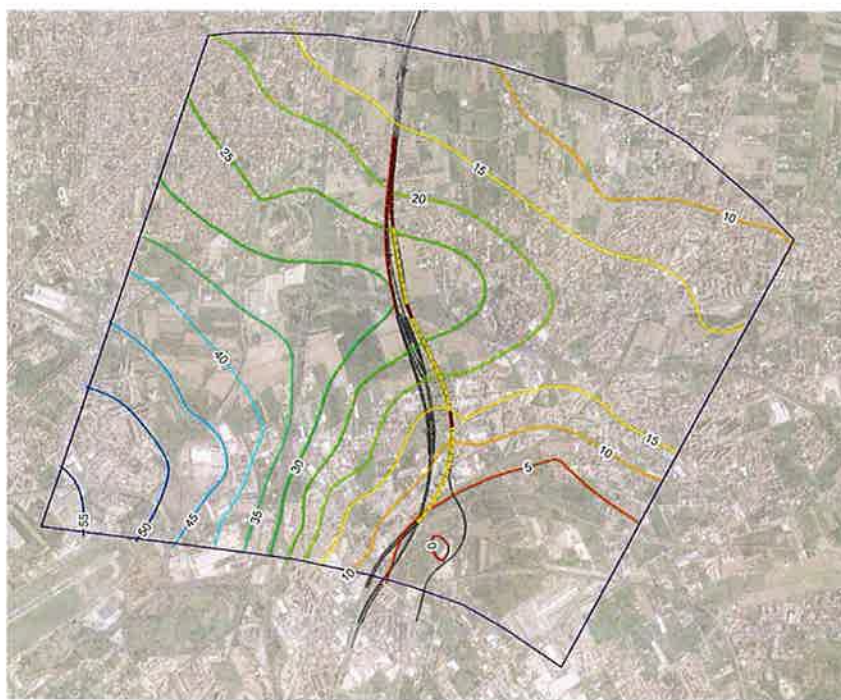


Figura 20: Scenario 3A, soggiacenza della falda da piano campagna (in metri).

La Figura 20 evidenzia una piccola area a bassa soggiacenza ubicata poco a est dell'imbocco sud della GA Casalnuovo. L'interferenza provocata dalle strutture profonde (paratie) delle gallerie artificiali è nulla in questa zona e il problema della bassa soggiacenza è già evidenziato dal Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino Nord Occidentale della Campania (aggiornamento anno 2010), Carta della Pericolosità Idraulica (tematismo) "conche endoreiche e/o zone a falda sub-affiorante".

La Figura 21 riporta il confronto tra la Carta della pericolosità idraulica e la soggiacenza elaborata in condizioni post-opera.



Figura 21: Confronto tra la Carta della Pericolosità Idraulica (sx) e l'area di bassa soggiacenza (dx).

	DIREZIONE TECNICA – U.O. GEOLOGIA PROGETTO DEFINITIVO ITINERARIO NAPOLI – BARI VARIANTE LINEA CANCELLO NAPOLI					
RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE NUMERICA DELLA FALDA ACQUIFERA SUPERFICIALE	PROGETTO IFOE	LOTTO 00	CODIFICA D69 RG	DOCUMENTO GE0002 001	REV. A	FOGLIO 29 di 30

5 CONCLUSIONI

Un modello numerico per il calcolo dell'interferenza provocata dalle strutture profonde (paratie) delle opere in sotterraneo (gallerie artificiali) presenti e future è stato implementato per valutare, secondo diversi scenari temporali e progettuali, l'interferenza causata sul regime di flusso idrico sotterraneo della falda superficiale.

Il modello è stato calibrato sull'osservazione del campo di moto misurato (andamento delle isopiezometriche) in regime di flusso permanente.

Il modello numerico adottato riproduce l'effetto indotto dalle paratie delle opere in sotterraneo sulla falda superficiale nel lungo termine e non valuta l'eventuale effetto transitorio determinato dalla fase di costruzione e dalle singole lavorazioni (esecuzione delle paratie, installazioni del cantiere e attività correlate). Altresì, il modello assume lo scenario di un acquifero unico e non riproduce l'eventuale presenza di livelli saturi sospesi, di natura temporale e potenzialmente presenti in periodi di forte ricarica per precipitazione.

Il modello numerico, pur dovendo semplificare la complessità dell'assetto stratigrafico e le disomogeneità ed anisotropie proprio dell'assetto idrogeologico, ha adottato alcune condizioni cautelative, nell'inserimento delle condizioni al contorno e delle caratteristiche delle opere di interferenza al regime di flusso idrogeologico. E' stata inoltre condotta una preliminare calibrazione del modello attraverso la definizione dell'intervallo di permeabilità da adottare. Successivamente sono stati fatti due scenari di simulazione:

- ✓ per simulare l'impatto attuale determinato dalla presenza di una parte delle opere già costruite;
- ✓ per simulare l'impatto finale, relativo alla presenza di tutte le opere previste in progetto.

Il risultato, nello scenario di maggior impatto, non risulta critico o comunque tale da richiedere l'adozione di opere di mitigazione del fenomeno indotto.

	DIREZIONE TECNICA – U.O. GEOLOGIA PROGETTO DEFINITIVO ITINERARIO NAPOLI – BARI VARIANTE LINEA CANCELLO NAPOLI					
	RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE NUMERICA DELLA FALDA ACQUIFERA SUPERFICIALE	PROGETTO IF0E	LOTTO 00	CODIFICA D69 RG	DOCUMENTO GE0002 001	REV. A

6 BIBLIOGRAFIA

AA. VV. – Foglio n°183-184 “Napoli” della Carta geologica d’Italia in scala 1:100.000 – APAT - Servizio Geologico d’Italia.

Andronico, D., Cioni, R., Di Vito, M.A., Fulignati, P., Gioncada, A., Gurioli, L., Manieri, C., Marianelli, P., Santacroce, R., Sbrana, A., Sulpizio, R., Zanchetta, G. (1997) – Risultati delle ricerche vulcanologiche e magmatologiche sul Somma-Vesuvio – Convegno nazionale 1996 del Gruppo Nazionale di Vulcanologia, Roma.

Autorità di bacino Nord-Occidentale della Campania, (2002) – Piano di Assetto Idrogeologico – Relazione generale.

Bonardi, G., D’Argenio, B., Perrone, V. (1988) – Carta geologica dell’Appennino meridionale (1:250.000) – Atti del 74° Cong. Società geologica italiana, 13 -17 settembre 1988, Sorrento (Na).

Budetta, P., Celico, P., Corniello, A., De Riso, R., Ducci, D., Nicotera, P. (1994) – Carta idrogeologica della Campania – IV Convegno Internazionale di Geoingegneria (Torino, 10-11 Marzo 1994) Difesa e Valorizzazione del suolo e degli acquiferi.

Celico, P. (1978) – Schema idrogeologico dell’Appennino carbonatico centromeridionale – Mem. e note dell’Istituto di Geologia Applicata di Napoli, 14, 3-97, Napoli.

Corniello A., De Riso R. e Ducci D. (2008) - Carta idrogeologica della Provincia di Napoli

Celico, P., Stanzone, D., Esposito, L., Ghiara, M.R., Piscopo, V., Caliro, R., La Gioia, P. (1998) – Caratterizzazione idrogeologica e idrogeochimica dell’area vesuviana – Boll. Società geologica italiana, 117 (1998), 3-20.

Civita, M., De Riso, R., Vallario, A., De Masi, R. (1970) – Idrogeologia del massiccio del Taburno-Camposauro (Campania) – Mem. Società geologica italiana, 10 (1971), 62-120.

GMS 10.2 Advanced three-dimensional groundwater modeling with MODFLOW:
(<http://www.aquaveo.com/software/gms-modflow>)

Ippolito F., Ortolani F., Russo M (1973) – Struttura marginale tirrenica dell’Appennino campano: reinterpretazione di dati di antiche ricerche di idrocarburi. Mem. Soc. Geol. It., 12, 227-250.

Italferr S.p.A. – Direzione Tecnica Centro Produzione Napoli – Nodo di Napoli – Studio di Fattibilità Variante della Linea Cassino-Napoli nel territorio di Acerra – Relazione geologica ed idrogeologica.

Milia A. & Torrente M.M. (1999) - Tettonica e architettura stratigrafica di una mezza-graben peri-tirrenica (Golfo di Napoli, Italia). Tettonofisica, 315, 301-318.

Modflow USGS three-dimensional finite-difference ground-water model (1998-2005):
(<http://water.usgs.gov/ogw/modflow/MODFLOW.html>).

Orsi G., De Vita S., Di Vito, M. (1996) – The restless, resurgent Campi Flegrei nested caldera (Italy): constraints on its evolution and configuration – J. Volcanol. Geotherm. Res, 74, 179-214.