



MINISTERO DELL'AMBIENTE
E DELLA TUTELA DEL TERRITORIO E DEL MARE



Commissario di Governo per le Bonifiche e
la Tutela delle Acque nella Regione Campania



REGIONE CAMPANIA

ACCORDO DI PROGRAMMA

Per la definizione degli interventi di messa in sicurezza e bonifica delle aree comprese
nel Sito di Interesse Nazionale di Napoli Orientale



**INTERVENTI DI MESSA IN SICUREZZA E BONIFICA DELLA FALDA
DEL SIN NAPOLI ORIENTALE E REALIZZAZIONE DELLA PRIMA FASE ATTUATIVA
PROGETTO DEFINITIVO**

Titolo elaborato

**MODELLO IDROGEOLOGICO DI FALDA E
DI TRASPORTO DEI CONTAMINANTI
3/5**

Tavola

ED 04

Redatto da



Project Manager :
Ing. Rosanna GRADO

IL DIRETTORE TECNICO
Ing. Carlo MESSINA



Redatto da :

Geol. A. CARLONI (modello idrogeologico)

Il Responsabile
del Procedimento
Ing. Pasquale PARENTE

Cod. Commessa

CAM 805

Codice

PD ED 0 0 4

rev.
2

Nome file

CAM805_PDEG004_2

Data : Maggio 2016

Rev.	Data	Descrizione modifica	verificato	approvato
0	lug/2015	1ª Emissione		
1	gen/2016	2ª Emissione CdS Istruttoria MATTM 7/10/2015		
2	mag/2016	3ª Emissione Riunione Tecnica MATTM 8/4/2016		

4. SIMULAZIONI PREVISIONALI DI PROGETTO

4.1 Descrizione degli interventi esistenti di MiSE e bonifica delle acque di falda

Con la Legge 426/98 e il DM 468/01 alcune aree del settore orientale del Comune di Napoli sono state ricomprese nel Sito di Interesse Nazionale per gli interventi di bonifica e ripristino ambientale. In seguito a questa classificazione operata dal legislatore, il Commissariato di Governo per la Regione Campania ha presentato richiesta alle stesse aziende di procedere alla caratterizzazione del sito, ai sensi del DM 471/99, nell'ambito della caratterizzazione generale dell'area di Napoli Orientale. In seguito alle attività di caratterizzazione, alcune di dette Aziende hanno progettato e/o eseguito alcuni interventi di messa in sicurezza e/o bonifica delle proprie aree e della falda ad esse sottostanti.

Oltre a questi interventi di MiSE e bonifica delle acque di falda esistono altre opere che prevedono sistemi di barrieramento fisico che non verranno descritti in quanto non interferiscono idraulicamente con le opere di progetto. In sintesi ci si riferisce alla "Barriera Fisica e Progetto di Bonifica della Darsena di Levante" dell'Autorità Portuale; la "Barriera Fisica e Bonifica e degli Arenili San Giovanni a Teduccio" ordinata dal Commissario di Governo per l'Emergenza Bonifiche e Tutela delle Acque nella Regione Campania – delegato ex Ordinanza del Consiglio dei Ministri n.2425 del 18 marzo 1996, in data 31 Marzo 2005; e in fine la "Barriera Fisica Tirreno Power" che comprende l'intero sito produttivo in cui insistono le Centrali termoelettriche di Napoli Levante e di Vigliena, ed è situato in località San Giovanni a Teduccio.

Di seguito sinteticamente descritti e di cui si riporta lo stato di attuazione degli interventi esistenti per quanto riguarda la matrice acque sotterranee:

1) Magnaghi Aerospace S.p.A.

Lo stabilimento Magnaghi Aeronautica è localizzato nel Comune di Napoli, in Via Galileo Ferraris 76, nel settore Orientale della città, circa a metà strada tra la Stazione Centrale e l'area portuale. Il sito in questione si estende su una superficie di 22.400 m², di cui 15.400 m² circa coperti. L'attività dell'Azienda consiste nella produzione di dispositivi e componenti per velivoli per il settore civile e militare.

Nel 2001 l'Azienda ha eseguito le indagini di caratterizzazione preliminare, dalle quali si è avuto riscontro della contaminazione principalmente a carico delle acque di falda, pertanto sono stati attivati interventi di Messa in Sicurezza d'emergenza della falda ed è stato redatto un piano della Caratterizzazione e successive integrazioni dello stesso, approvate dal Ministero dell'Ambiente nel corso delle Conferenze di Servizi decisorie tenutesi in data 15/04/2003 e 30/01/2008.

Le misure di MiSE attivate nel corso degli anni, in seguito alla verifica dello stato di qualità ambientale del sottosuolo, sono consistite nell'escavazione e smaltimento dei terreni maggiormente contaminati, nella realizzazione e gestione di un impianto barriera idraulica costituito da:

- 18 pozzi (denominati da P1 a P18) di emungimento e trattamento delle acque prelevate
- 4 pozzi GAL4, GAL5 E GAL 7 e dal pozzo FMS6 posti a ridosso delle aree sorgenti con il ruolo di Pump & Treat (P&T).

Complessivamente i pozzi del sistema di MiSE e P&T, secondo quanto dichiarato nel report di monitoraggio del giugno 2013, hanno una portata di 4.04 m³/ora (14.54 l/s), ovvero circa 97 m³/giorno; singolarmente i pozzi lavorano a portate comprese tra un minimo di 0.05 e 0.60 m³/ora (da 0.18 a 2.16 l/s). In seguito all'ottimizzazione eseguita in fase di modellazione matematica e monitorata le portate medie sono state ridotte a **0.20 m³/ora** per singolo pozzo, complessivamente ottenendo una portata del sistema di complessiva di circa **82.6 m³/giorno** ovvero **3.44 m³/ora (0.95 l/s)**. Le portate emunte, invece, dalle tre pompe pneumatiche installate nell'Area Galvanica (GAL4, GAL5, GAL7), hanno mantenuto la seguente portata media di acqua emunta: GAL 4 = 0,23 m³/h; GAL 5 = 0,11 m³/h; GAL 7 = 0,21 m³/h. Il sistema permette inoltre di estrarre e trattare circa 10 m³/giorno di acqua nell'area. Ad oggi la MiSE delle acque di falda risulta attiva.

2) Agip Petroli S.p.A. - Ex Deposito

Le principali attività condotte nell'ex Deposito consistevano nello stoccaggio di prodotti petroliferi diversi, in particolare petrolio, olio combustibile, gasoli e benzine. In seguito ad un incendio, nel dicembre 1985, il deposito è stato dismesso e nel 1990 è stata effettuata la definitiva chiusura e lo smantellamento delle strutture industriali. Nelle vicinanze dell'ex Deposito, sul lato sud est, si trova il canale collettore Sperone che defluisce verso il mare a poca distanza dal deposito. Nei mesi di Aprile e Maggio 2004 sono state condotte le prime attività di caratterizzazione sull'area a supporto dei documenti "Progetto Definitivo di Bonifica – Marzo 2002" e del successivo "Integrazione al Progetto Definitivo di Bonifica – Gennaio 2003".

Nel dicembre 2004, presso il sito in esame, è stato realizzato e avviato un sistema di Messa in Sicurezza d'Emergenza delle acque sotterranee ubicato idrogeologicamente a valle rispetto alla direzione di flusso della falda. Il sistema in funzione fino al gennaio 2009, era costituito da un impianto di emungimento e trattamento acque (impianto di "Pump & Treat") così composto:

- 3 piezometri denominati F2, F3 e Fw-PZ2 da 4", profondi rispettivamente 5,5 m, 5,5 m e 7 m da p.c. ed attrezzati con sistema di pompaggio;
- un impianto di trattamento costituito da 2 filtri a carbone attivi;
- 2 serbatoi di stoccaggio da 20 e 25 m³ delle acque sotterranee emunte dall'impianto di "Pump & Treat".

Nel Novembre 2011, a seguito del rilascio dell'autorizzazione allo scarico in continuo in pubblica fognatura da parte di ATO2 – Napoli Volturmo, la Aedilia Sviluppo 1 S.r.l. in Liquidazione, ha

proceduto alla realizzazione e attivazione di un nuovo sistema di MiSE costituito da tre nuove pompe sommerse installate sempre nei piezometri F2, F3, FW-PZ2. Attualmente la barriera non è attiva.

3) ENI - Ex Deposito Costiero

Il sito di proprietà della ENI R&M è ubicato nella zona industriale di San Giovanni a Teduccio, in via Ferrante Imperato n. 260, nel Comune di Napoli. Le attività pregresse svolte nel sito riguardavano lo stoccaggio e la spedizione di prodotti petroliferi finiti, quali: benzine, gasoli ed oli combustibili. Tali attività sono cessate nel 2008.

Nel sito sono presenti serbatoi provvisti di bacino di contenimento con muri di cemento armato e pavimentazione in cemento. Ogni bacino è dotato di un sistema di drenaggio per l'allontanamento delle acque meteoriche. L'area è stata oggetto di attività di caratterizzazione dei suoli e delle acque di falda, a partire dal Gennaio 1999. Nel settembre 2013 hanno avuto inizio le attività di demolizione delle strutture fuori terra del deposito.

Nel sito è presente un sistema di MiSE (Pump & Stock) installato in due tempi diversi: in seguito alla campagna di caratterizzazione del novembre 2001 e successivamente al progetto di implementazione della barriera idraulica, approvato nel 2005.

Nel 2001 è stato avviato l'emungimento mediante il prelievo delle acque da 4 piezometri F02, F04, F08 e F18, posti sui confini nord occidentale e sud occidentale del deposito. Nel Gennaio 2005 è stata potenziata la MiSE attrezzando altri 5 piezometri F01, F03, F12, F15, F17 per l'emungimento, con l'obiettivo di intensificare il fronte di cattura delle acque sotterranee.

Nel febbraio 2013 Eni ha rimodulato l'assetto della MiSE esistente mediante la perforazione e l'allestimento di 6 nuovi pozzi di emungimento identificati come segue: F20, F21, F22, F23, F24, F25 e lo spegnimento di due pozzi F01 e F08. Da Febbraio 2013 la configurazione del sistema di MiSE è così strutturata:

- batteria di 13 pozzi disposti lungo il confine sud e ovest del sito così costituita dai pozzi di emungimento F2; F3; F4; F12; F15; F17; F18; F20; F21; F22; F23; F24; F25;

Si specifica inoltre che la rete piezometrica di controllo è composta da 11 piezometri di controllo (F1; F6; F7; F8; F9; F10; F11; F13; F14; F16; F19). Ad oggi le acque emunte non vengono più raccolte ed inviate ad impianti di trattamento autorizzati esterni al sito, ma è stato adottato un sistema di trattamento in situ con l'utilizzo di un impianto TAF mobile.

A valle delle fasi di trattamento le acque emunte vengono scaricate nel canale "Fosso Reale", così come autorizzato dal Comune di Napoli – Dipartimento Ambiente con la disposizione del Luglio 2012, per una portata massima di scarico non superiore a 1.4 l/s.

Complessivamente i pozzi del sistema di MiSE hanno una portata media di **4.0 m³/ora (1.1 l/s)**, ovvero circa **95.5 m³/giorno**; singolarmente i pozzi lavorano a portate medie di 0.3 m³/ora (**0.085 l/s**).

4) Napoletana Gas S.p.A. - Area Ex Gasometro

Il sito in oggetto è ubicato nell'area urbana orientale della città di Napoli, a circa 600 m dalla linea di costa, e si estende su una superficie di circa 3 ha ad una quota altimetrica media di 3 - 4 metri s.l.m. Nell'area hanno sede i magazzini e gli uffici commerciali, amministrativi e di manutenzione di Napoletanagas, nonché una stazione attiva di depressurizzazione e distribuzione del metano. Gli impianti per la produzione del gas, in passato presenti nell'area, sono stati rimossi da tempo ad eccezione di tre strutture gasometriche.

Nell'aprile 2011 sono state eseguite le indagini previste dal "Piano di Caratterizzazione ai sensi del D.Lgs. 152/06 e s.m.i.", approvato con prescrizioni con la nota del 16/04/10 del Ministero dell'Ambiente e Tutela del Territorio e del Mare.

Si rileva che Napoletanagas, al fine di recepire le prescrizioni del Ministero dell'Ambiente e Tutela del Territorio e del Mare (MATTM), ha realizzato un sistema di Pump & Stock nel Dicembre 2012 - Gennaio 2013. Sono stati avviati i lavori di allestimento dell'impianto di emungimento delle acque di falda in corrispondenza dei 4 piezometri ubicati a valle idrogeologica del sito denominati PM9, PM15, PM11 e PZ4. Dal marzo 2013 è stato avviato l'impianto di emungimento con la conclusione delle operazioni di collaudo dell'impianto nel giugno 2013. L'impianto presuppone l'emungimento a bassa portata in corrispondenza di ciascuno dei quattro piezometri di valle idrogeologica e lo stoccaggio delle acque in adeguati serbatoi fuori terra.

Dai piezometri dell'impianto di Pump & Stock (PM9, PM11, PM15, PZ4), preliminarmente al prelievo dei campioni, è stato estratto, dalla valvola predisposta, un quantitativo di acqua che ha consentito la verifica della portata di emungimento dell'impianto (circa 1,4 l/m) e l'avviamento della stessa valvola.

Complessivamente i pozzi del sistema di Pump & Stock si ha un prelievo pari a circa **0.084 m³/ora** (0.02 l/s) ovvero circa **2 m³/giorno**.

5) Q8 (Kuwait Raffinazione e Chimica S.p.A.) - Stabilimento

I siti Kuwait di Napoli sono ubicati nel polo petrolifero di Napoli Orientale e si estendono su una superficie complessiva di circa 95 ettari in un'area pianeggiante e leggermente degradante verso ovest, in direzione del mare; le aree sono ubicate a circa tre chilometri dal centro della città e a due chilometri dal porto.

Come comunicato con lettera del 24/06/2005, "il Progetto Preliminare di Bonifica inviato dalla KRC il 29/3/05 prevede per le aree operative, in considerazione dell'attività industriale in corso e

della presenza di un gran numero di strutture e di impedimenti logistici, di “potenziare e ottimizzare le misure di sicurezza in atto e di introdurre interventi finalizzati a ridurre la massa di contaminanti nelle aree di nucleo” che risultino compatibili con la prosecuzione delle attività (D.M. 471/99, Art. 10, comma 11), sostenendo che “la bonifica completa del sito verrà eseguita al termine della vita operativa delle aree. A tale riguardo la Kuwait Raffinazione e Chimica ribadisce l’impegno ad eseguire la bonifica completa delle suddette aree al momento del rilascio anche parziale delle stesse, rispettando obiettivi di bonifica definiti in base alle destinazioni d’uso previste dal vigente

PRG.”

A partire dal 1993 è stata realizzata nello stabilimento un’articolata serie di interventi di messa in sicurezza al fine di garantire una tempestiva risposta alle informazioni rese progressivamente disponibili dalle indagini svolte. Gli interventi sono stati finalizzati a impedire la fuoriuscita di contaminanti in aree esterne e alla rimozione di prodotto in fase separata surnatante sulla superficie freatica. Nel seguito la cronologia delle principali azioni di messa in sicurezza introdotti nello stabilimento:

- Barriera DPPS (Dual Phase Pumping System): Nell’anno 1993/94 fu proceduto all’installazione e avviamento della DPPS lungo il confine meridionale e occidentale dell’Area Raffineria. La barriera è costituita da 19 pozzi di emungimento, di cui 12 ubicati lungo il confine ovest e 7 lungo il confine sud. Tutti i pozzi sono dotati di due pompe installate a quote diverse; le pompe a maggiore profondità generano un cono di depressione della superficie freatica che favorisce l’afflusso di prodotto in fase libera che viene estratto dalle pompe ubicate alle quote superiori. Complessivamente il sistema di MiSE occidentale è costituito sia i pozzi DPPS e da quelli SPPS, che insistono appunto lungo tutto il limite sud occidentale; secondo le più recenti stime, relative a gennaio 2008, la portata totale sarebbe di circa **60 - 73 m³/ora (16 - 21 l/s)**, per un totale di **1440 - 1752 m³/giorno**. Secondo queste stime la portata media per ogni singolo pozzo è di circa da **2.5 - 3 m³/ora (0.69 - 0.83 l/s)**.
- Barriera SPPS (Single Phase Pumping System): il è stato installato e avviamento nell’anno 1996/97 della lungo il confine occidentale dell’Area Chimica. Il sistema è costituito da 5 pozzi di emungimento distanziati tra loro circa 40 metri e profondi 8 metri. A differenza della barriera realizzata nell’Area Raffineria i pozzi non sono stati attrezzati con sistemi di recupero di prodotto perché nell’area non ne è stato rinvenuto.
- Sistema FORS (Floating Oil Recovery System): installazione e avviamento avvenuta nel 1999 all’interno dell’Area Raffineria, il sistema consiste in 28 pozzi di recupero distribuiti all’interno dell’area raffineria. I pozzi hanno diametro di 8” e profondità dal piano campagna pari a 8 metri e sono equipaggiati con pompe monofase con portata di circa 3 m³/ora cadauna, in grado di recuperare una fase unica in emulsione. Il sistema estraeva inizialmente dal sottosuolo un flusso medio di acque sotterranee pari a 45-50 m³/ora. Nel mese di giugno 2003, a seguito di una verifica eseguita da Water & Soil Remediation, si è provveduto a fermare 15 dei 28 pozzi del sistema FORS, non più necessari, e la portata

estratta si è ridotta a circa **25 m³/ora**, ovvero circa **600 m³/giorno**, con una media per ogni singolo pozzo di **1.6 m³/ora (0.46 l/s)**.

6) Q8 - Area Deposito Benit

Il deposito a circa 5 ettari di estensione, è ubicato a circa 1 km a sudovest dell'area stabilimento; le attività produttive hanno avuto inizio nel 1932 e fino al 1937 hanno incluso anche la raffinazione del greggio, che dal 1937 è stata trasferita nell'area stabilimento. Attualmente l'area è utilizzata per la ricezione, stoccaggio e distribuzione dei prodotti neri (olio combustibile e prodotti per bunkeraggio). In base ai risultati delle attività di caratterizzazione svolte sono stati introdotti nel sito gli interventi di messa in sicurezza di emergenza nel seguito descritti:

- Sistema di recupero prodotto Dual Phase installato un nel pozzo trincea RW1, l'emungimento delle acque viene effettuato con una pompa sommersa governata da un sistema di sonde di livello ed il recupero di surnatante oleofilo/idrofilo (Filter scavenger), in funzione dal 1995;
- Sistema di pompe nei 4 piezometri SW1, SW2, SW3 e SW13 per il recupero di prodotto (dal 1995), sostituite nel 2001 con un sistema di tipo Total Fluid ad eiettori;
- Installazione di un sistema di recupero di prodotto idrocarburico Total Fluid nel pozzo BMW-6, che viene attivato ogni qual volta si verifica la presenza di prodotto in fase libera nel pozzo (la verifica viene eseguita mensilmente). E' inoltre in fase di realizzazione, in ottemperanza a quanto richiesto nel Verbale di Conferenza di Servizi Decisoria del 22/11/2007, un ulteriore intervento che consiste nell'installazione di un pozzo (denominato BP1) all'interno del bacino di contenimento del serbatoio 511 in prossimità del pozzo BMW13 con una portata di emungimento prevista di circa 2-3 m³/ora.

7) Q8 - Punto Vendita PV7247

Il sito è ubicato nella zona orientale del Comune di Napoli, all'interno dell'area industriale, in prossimità dell'intersezione di via Ferraris, Via Argine e Via Nuova Poggioreale, ha una superficie è di circa 1.150 m² ed un'altitudine media di circa 3 metri s.l.m. Il sito si trova all'interno di un contesto industriale caratterizzato da aree destinate ad ospitare serbatoi di grandi dimensioni per lo stoccaggio di carburanti. Nel lotto di terreno adiacente il sito, in direzione Nord Ovest, si trova il deposito carburanti della Kuwait Petroleum Italia S.p.A., e sulla carreggiata opposta della Via Ferraris, in direzione Sud Est è situato il sito di stoccaggio carburanti AGIP Petroli S.p.A. In direzione Sud, ad una distanza di circa 1 km, si trova la linea di costa.

Le principali attività del sito riguardano lo stoccaggio/distribuzione (erogazione in autoveicoli) di carburanti per autotrazione. Nell'aprile 2004 la Tralice Costruzioni, in nome e per conto della Kupit, ha inoltrato al MATTM il Piano di Caratterizzazione relativo al PV 7247 sito in Via Galileo Ferraris, 172, in Napoli, ai sensi del DM 471/99, che è stato approvato in C.d.S. del 30/12/2004.

Nel sito in esame è stato realizzato un sistema di Pump & Treat della falda acquifera superficiale prevedendo l'emungimento da 4 piezometri PM2, PM3, PM5 e PM6 dove è stato localizzato il focolaio della contaminazione. L'acqua estratta è trattata mediante filtri a carbone attivo, prima di essere inviata in fognatura comunale. L'impianto è in funzione dal settembre 2008 e dal febbraio 2010, le acque in uscita dall'impianto di trattamento sono scaricate in pubblica fognatura, grazie al parere favorevole delle autorità competenti che hanno preso atto che i risultati delle suddette erano conformi ai limiti previsti dal DLgs 152/06. Allo stato attuale non è stato possibile acquisire informazioni sullo stato di attività del sistema di MiSE.

8) Q8 Quaser S.r.l.

L'area è ubicata su via delle Repubbliche Marinare, a circa 1300 m dal mare ed è un deposito petrolifero costruito nel 1967 e da allora ha esclusivamente stoccato e movimentato prodotti petroliferi. Nel sito sono presenti 13 serbatoi. Le indagini di caratterizzazione si sono svolte nel gennaio del 2014 dalle quali, per le acque di falda.

Al fine di ottemperare a quanto prescritto dalla C.d.S. del 06/02/2001 nell'area della Q8 Quaser è stato installato un sistema di messa in sicurezza formato da una doppia barriera di pozzi attrezzati con pompe sommerse:

- la prima composta da 3 pozzi (1, 2 e 3) verso valle idraulica;
- la seconda con 2 pozzi (4 e 5) a monte, con finalità di recuperare il prodotto in fase separata.

Dai dati del collaudo dell'impianto di Pump & Treat del 2001 si ipotizza un emungimento complessivo pari a circa **200 m³/giorno (2.31 l/s)** in condizione di regime con una portata media per ogni singolo pozzo pari a circa **40 m³/giorno (0.46 l/s)**.

In sede di C.d.S. decisoria del 16/12/2014 l'Azienda ha richiesto di sospendere il sistema di Pump & Treat ritenendolo non più necessario, e ha proposto l'esecuzione di un piano di monitoraggio delle acque sotterranee in uscita dall'impianto con cadenza annuale.

9) Esso Italiana - Deposito Carburanti

Il sito è un deposito carburanti attivo con stoccaggio dei prodotti petroliferi all'interno di serbatoi fuori terra ed interrati, ubicato in Via Nuova delle Brecce, n. 127 nella zona industriale portuale di Napoli Orientale, in un'area paludosa bonificata denominata Volla. L'area occupata dal Deposito è di proprietà della Esso ed ha una superficie di circa 135.000 m². All'interno del deposito non sono presenti pozzi idrici di monitoraggio.

In relazione a quanto previsto nel programma di controllo volontariamente adottato dalla Esso, nel rapporto di aggiornamento di settembre 2013 vengono descritti gli interventi di MiSE realizzati nel periodo compreso tra luglio e settembre 2013. Allo stato attuale la MiSE del deposito consiste nell'emungimento delle acque sotterranee dal seguente sistema:

- 7 pozzi PB1, PB2, PB3, PB4, PB5, PB6 e PB7 mediante delle pompe elettrosommerse e nel recupero del prodotto in fase libera;
- 8 pozzi MW9, MW14, MW18, MW20, MW21, MW22, PB3 e PB5 mediante skimmer attivi e dai pozzi MW3, MW13 e MW17 mediante skimmer passivi;
- impianto mobile di trattamento dei rifiuti liquidi per il trattamento delle acque emunte in sito.

Complessivamente i pozzi del sistema di MiSE, monitorati dal gennaio a giugno 2014, avevano una portata di **2.60 m³/ora (0.72 l/s)**, ovvero circa **62.5 m³/giorno**; singolarmente i pozzi lavorano a portate di **0.17 m³/ora (0.05 l/s)**.

10) Esso Italiana - Punto Vendita PV 6629

L'attività svolta sul sito è quella di distribuzione di prodotti petroliferi per autotrazione con stoccaggio provvisorio del carburante all'interno di serbatoi interrati. Tra il 2009 e il 2010 sono state eseguite le indagini ambientali di caratterizzazione, mediante la realizzazione di 4 sondaggi di cui 3 attrezzati a piezometro. In seguito è stato previsto un intervento di messa in sicurezza d'emergenza, eseguito un recupero manuale del prodotto di surnatante dai suddetti pozzi, stoccandolo all'interno del sito al fine del conferimento successivo in impianto autorizzato.

Successivamente sono stati installati 4 skimmer passivi in 4 pozzi di monitoraggio PM2, PM4, PM5, PM6, e successivo svuotamento degli stessi, ed è stata valutata la necessità di implementare la messa in sicurezza delle acque di falda tramite installazione e attivazione di un sistema di recupero attivo del surnatante nei 3 pozzi PM2, PM5, PM6 al fine di raggiungere la completa rimozione del prodotto presente nei pozzi di monitoraggio.

11) Whirlpool Europe S.r.l

Lo stabilimento Whirlpool di Napoli, in esercizio dal 1963, produce lavabiancheria ad uso domestico ed è stato acquisito dal gruppo Whirlpool negli anni '90. Lo stabilimento è costituito da due aree adiacenti, separate da via Tavernola è orientato in direzione Sudovest – Nordest ed occupa una superficie di 54.602 m².

Gli edifici e le strutture coperte occupano circa 32.063 m², mentre 21.122 m² sono occupati da strade, parcheggi e piazzali.

Il Piano della Caratterizzazione è stato presentato agli Enti competenti e approvato in sede di Conferenza dei Servizi il 16 Aprile 2003. In seguito, nel Dicembre 2003, è stata redatta una relazione tecnica di Caratterizzazione di suolo e sottosuolo dello stabilimento in conformità ai requisiti previsti dal DM 471/99. In seguito ai risultati della caratterizzazione si è reso necessario un intervento di messa in sicurezza del sito e, successivamente, di bonifica.

L'impianto di contenimento idraulico è stato messo in funzione nel 2005, nel luglio 2008 sono iniziate, presso lo stabilimento, le attività di adeguamento del sistema di messa in sicurezza d'emergenza: installazione di ulteriori pozzi di emungimento e migliorie all'impianto di trattamento acque. Le attività si sono concluse nel dicembre 2008 e a seguito di tale data è stato messo in esercizio l'impianto che è in funzione a regime dal gennaio 2009.

In conformità a quanto previsto nel documento "Addendum, Barriera di contenimento idraulico" del Gennaio 2006, attualmente il sistema di MISE delle acque sotterranee della Whirlpool comprende:

- 11 pozzi di emungimento di cui 6 pozzi installati nella falda superficiale (filtri tra i 2.5 e i 15 metri di profondità) e 5 pozzi di emungimento installati nella falda intermedia (filtri compresi tra i 12 e 27 metri); tutti i pozzi sono muniti di pompa sommersa, tubazioni di collegamento con l'impianto di trattamento e sonde di livello che regolano la marcia e la fermata in ciascun pozzo;
- 3 coppie di piezometri di monitoraggio a valle del sistema di MiSE installati a profondità di 15 e 25 m da pc, oltre a numerosi piezometri di monitoraggio presenti;

Complessivamente i pozzi del sistema di MiSE avevano una portata di circa **13.8 m³/ora (3.8 l/s)**, ovvero circa **331.2 m³/giorno**; singolarmente i pozzi lavorano a portate comprese tra un minimo di 0.05 e massimi di 1.95 m³/ora (**da 0.14 a 0.54 l/s**).

12) GO.IL. Petroli S.p.A. - Deposito

Il deposito di prodotti petroliferi GO.IL. (ex AGIPFUEL S.p.A.) è ubicato in via delle Industrie 41 Napoli, e occupa una superficie complessiva di 5.500 mq su cui sono ubicati. L'area su cui insiste il deposito si colloca nell'incisione valliva del Fosso Volla, un breve corso d'acqua della lunghezza di circa 10 km, che va dall'abitato di Lufrano al Porto di Napoli, con asse NW-SO. Nel periodo 2003-2005 sono stati realizzati n.10 sondaggi ambientali attrezzati a piezometro (PZ1A - PZ10A), mentre tra Febbraio-Marzo 2012 sono state condotte le indagini ambientali previste dal Piano delle attività da eseguire così come concordato con ARPAC. Le azioni di MISE attualmente in opera sul sito consistono in:

- Emungimento delle acque di falda del PZ5 ed avvio a smaltimento delle stesse in conformità alla vigente norma (Pump & Stock);
- Monitoraggio di tutta la rete piezometrica costituita dai n. 12 piezometri.

Complessivamente i pozzi del sistema di MiSE ha una portata di circa **0.85 m³/ora**, ovvero circa **2 m³/giorno**.

13) Mediterranea ICIOM Bitumi

Il deposito in esame risulta ubicato in Via Argine ai Granili, 161 all'interno dell'area industriale del SIN di Napoli Orientale. Il sito occupa un'area di circa 11.817 m², risulta di proprietà della

Mediterranea ICIOM, e sin dal 1961 è stato adibito allo stoccaggio in serbatoi, alla parziale lavorazione e alla spedizione via autobotti di bitume (asfalto), proveniente dalla raffineria Esso di Augusta e scaricato tramite le attrezzature della Darsena Petroli. La maggior parte della superficie è occupata dal parco serbatoi collegati per mezzo di pompe e tubazioni (poste fuori terra e coibentate) ai tre serbatoi principali.

All'inizio del 2007 è stato installato e messo in esercizio in 2 pozzi denominati MW2 e MW10 un sistema di emungimento delle acque sotterranee per la realizzazione del contenimento idraulico del sito nell'ambito delle azioni di messa in sicurezza delle acque di falda. Nel mese di ottobre 2007, a seguito dell'Ordinanza Sospensiva emessa dal Consiglio di Stato (RG 6479/2007 – RO 5519/2007 del 23 ottobre 2007), è stato spento il sistema di emungimento nei pozzi MW2 e MW10 onde interrompere il richiamo della contaminazione da monte del sito verso le aree interne e non è stata effettuata nessuna altra attività di MiSE e ad oggi l'impianto risulta ancora spento.

14) Petronas - FL Selenia S.p.A. (Ex FL Italia S.p.A.)

L'Azienda Petronas Lubricants, ex-FL Selenia, opera nel settore industriale di studio, produzione e commercializzazione di prodotti chimici e petroliferi in genere ed affini. Il sito ha una superficie pari a 51.550 m² ed è suddiviso in un'area di stabilimento ed in un'area a verde, quest'ultima fisicamente separata dalla precedente da una recinzione in muratura. L'attività di caratterizzazione, svolta tra il 2004 ed il 2005, mentre agli inizi di ottobre 2009 si è verificata la fuoriuscita di olio dal serbatoio 11 (capacità di circa 1150 m³) all'interno del parco serbatoi fuori terra, l'Azienda ha provveduto, dunque, alla comunicazione dell'evento di potenziale contaminazione

Nello stabilimento Petronas Lubricants S.p.A. sono in corso dal 2009 interventi di messa in sicurezza di emergenza della falda (MiSE) nel settore sud sede del parco serbatoi fuori terra. In particolare sono state realizzate infatti le seguenti attività:

- confinamento fisico a valle del sito,
- trincea drenante a valle del bacino serbatoi per consentire il recupero dell'olio surnatante,
- pozzi drenanti all'interno del bacino serbatoi,
- trattamento dell'acqua contaminata da idrocarburi sino a valori conformi allo scarico e monitoraggio idrochimico e piezometrico delle acque di falda.

Tabella 3 - Parametri progettuali dei sistemi privati di MiSE.

INTERVENTI PRIVATI - BARRIERE IDRAULICHE (MiSE)									
Dati di Progetto	Magnaghi	ENI (Deposito)	Napoletana Gas	Q8 (KRC)	Q8 (Benit)	Q8 (Quaser)	Esso (Deposito)	Whirlpool	GO.I.L. Petroli
Lunghezza settore	225 m	600 m	180 m	1000 m	90 m	200 m	500 m	250 m	100 m
Portata media	82.6 m ³ /day	95.5 m ³ /day	2 m ³ /day	1596 m ³ /day	132 m ³ /day	200 m ³ /day	62.5 m ³ /day	331 m ³ /day	2 m ³ /day
	3.4 m ³ /h	4.0 m ³ /h	0.08 m ³ /h	66.5 m ³ /h	5.5 m ³ /h	8.3 m ³ /h	2.6 m ³ /h	13.8 m ³ /h	0.08 m ³ /h
	0.96 l/s	1.11 l/s	0.02 l/s	18.5 l/s	1.5 l/s	2.3 l/s	0.7 l/s	3.8 l/s	0.02 l/s
n° Pozzi	22	13	4	24	7	5	15	11	1
Interasse Pozzi	10 m	45 m	45 m	40 m	15 m	40 m	35 m	25 m	/ m
Profondita' Pozzi	10-15 m	10 m	10 m	15 m	10-15 m	10-15 m	10-15 m	10-30 m	15 m
Q media singolo Pozzo	3.8 m ³ /day	7.3 m ³ /day	0.5 m ³ /day	66.5 m ³ /day	18.9 m ³ /day	40.0 m ³ /day	4.2 m ³ /day	30.1 m ³ /day	2.0 m ³ /day
	0.16 m ³ /h	0.31 m ³ /h	0.02 m ³ /h	2.77 m ³ /h	0.79 m ³ /h	1.67 m ³ /h	0.17 m ³ /h	1.25 m ³ /h	0.08 m ³ /h
	0.04 l/s	0.09 l/s	0.01 l/s	0.77 l/s	0.22 l/s	0.46 l/s	0.05 l/s	0.35 l/s	0.02 l/s
Q complessiva MiSE	0.030 Mm ³ /year	0.035 Mm ³ /year	0.001 Mm ³ /year	0.58 Mm ³ /year	0.05 Mm ³ /year	0.073 Mm ³ /year	0.023 Mm ³ /year	0.121 Mm ³ /year	0.001 Mm ³ /year
Incidenza Q totale	3.30 %	3.81 %	0.08 %	63.75 %	5.27 %	7.99 %	2.50 %	13.22 %	0.08 %
Lunghezza interventi privati	3145 m								
Portata Complessiva	29.0 l/s	2503.6 m ³ /day	0.91 Mm³/year						
n° Pozzi	102								

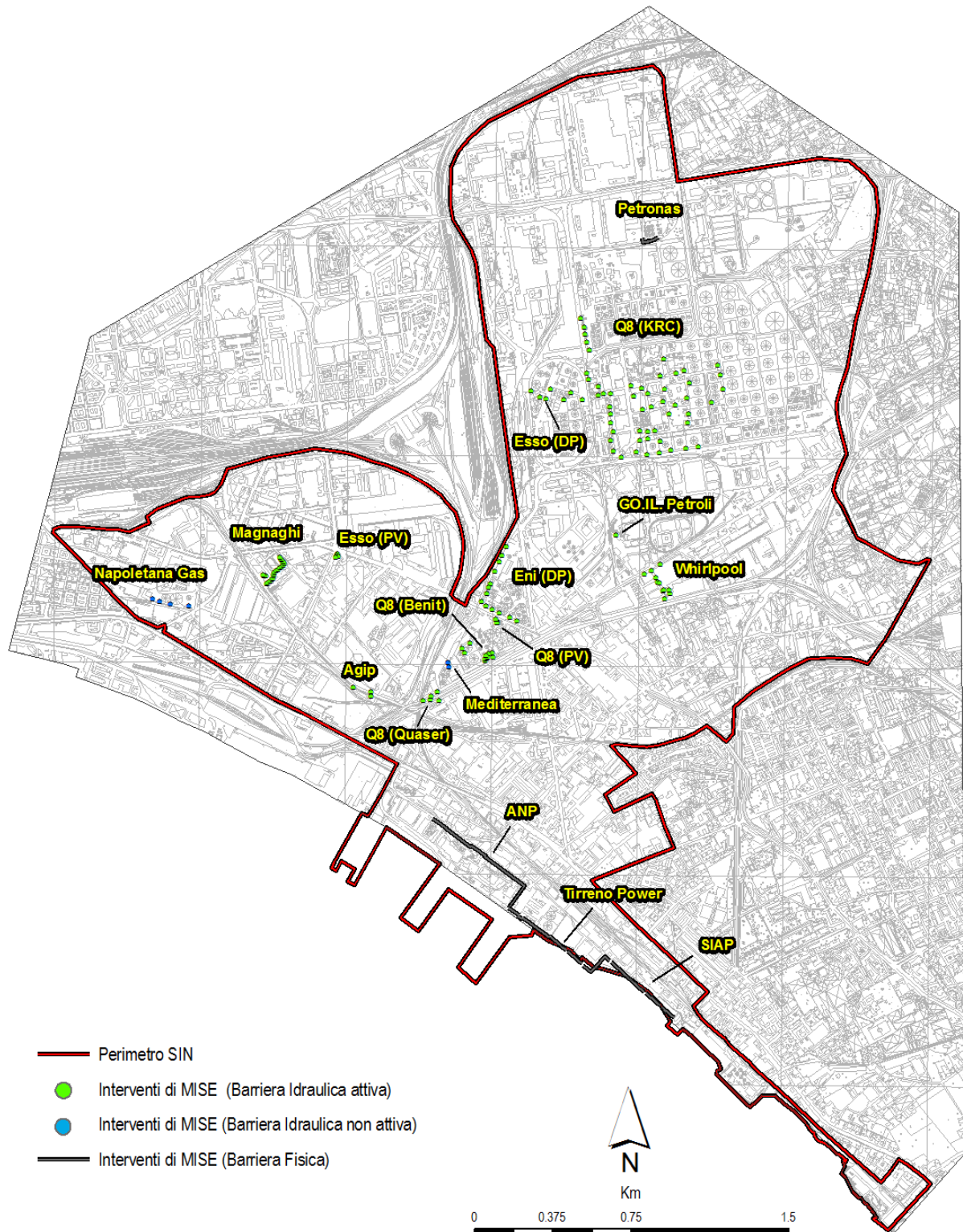


Figura 95 - Interventi di MiSE e bonifica privati presenti nel SIN di Napoli orientale.

4.2 Definizione degli obiettivi e descrizione degli interventi di progetto

Gli interventi di progetto prevedono essenzialmente la realizzazione di sistemi di contenimento atti ad impedire la migrazione della contaminazione verso i principali recettori ambientali dell'area, con particolare riferimento all'ambiente marino. Contestualmente a questo obiettivo si è previsto anche il risanamento ambientale, agendo in più possibile vicino a quelle aree private e pubbliche che in fase di caratterizzazione dello stato di contaminazione hanno fornito particolare rischio di propagazione e persistenza dell'inquinamento. Gran parte degli interventi di bonifica sono stati necessariamente localizzati nelle aree pubbliche prossime a quelle private di maggiore criticità ed urbanisticamente accessibili.

Da un attento esame dello stato di contaminazione delle acque della falda superficiale dell'acquifero costiero del SIN di Napoli orientale, in riferimento ai principali agenti inquinanti, riscontrati in fase di caratterizzazione ambientale e nei successivi monitoraggi, è stato possibile individuare e circoscrivere le principali aree private e pubbliche interessate da superamenti della soglia di contaminazione (CSC) così come stabilito nel D.Lgs 152/2006.

La progettazione ha tenuto in considerazione anche l'insieme degli interventi di bonifica ambientale delle acque di falda privati attualmente presenti nell'area e quelli in fase di realizzazione, oltre a tutte quelle opere di carattere funzionale a strutture non necessariamente collegate alla riqualifica sito specifica. In aggiunta a queste appena citate, di particolare importanza sono state, ai fini progettuali, l'insieme delle opere ingegneristiche funzionali realizzate lungo la linea costiera, che hanno di fatto determinato un cambiamento del naturale deflusso delle acque di falda verso il recapito marino.

In definitiva l'insieme degli interventi progettuali sono stati definiti sulla base di obiettivi specifici di bonifica e messa in sicurezza della falda insistendo essenzialmente in aree pubbliche accessibili (interferenze minime con opere in sotterraneo e sotto servizi), in accordo e in mutua relazione con le attività di messa in sicurezza d'emergenza (MiSE) e bonifica dei privati e con le opere urbanistiche di principale impatto sulla circolazione idrica della falda. Questo approccio ha permesso di ottimizzare in maniera sinergica le opere di bonifica e MiSE dei privati e di poter inquadrare le opere all'interno di un contesto urbanistico complesso minimizzando gli impatti di realizzazione e gestione dei sistemi. Ciò premesso, per ulteriori approfondimenti si rimanda agli specifici elaborati del Progetto.

Nel suo complesso la falda risulta diffusamente inquinata tale da rendere difficile una circoscrizione dei focolai di contaminazione. Nell'approfondito lavoro di ricostruzione concettuale dello stato di contaminazione è stato comunque possibile individuate diverse aree di particolare criticità ed inquinamento, in cui sono stati previsti una serie di Sistemi di Messa in Sicurezza Permanente e Bonifica della falda mediante pozzi di Pump & Treat (MiSPT). La strategia progettuale è quella di impedire la diffusione della contaminazione dalle aree sorgenti (MiS) e di promuove contestualmente la riduzione della massa inquinante presente in falda

attraverso un emungimento delle acque e il loro trattamento on site (PT). In Figura 96 e Figura 97 si riportano gli interventi di progetti e quelli complessivamente presenti nell'area del SIN, di seguito di descriveranno i singoli interventi.

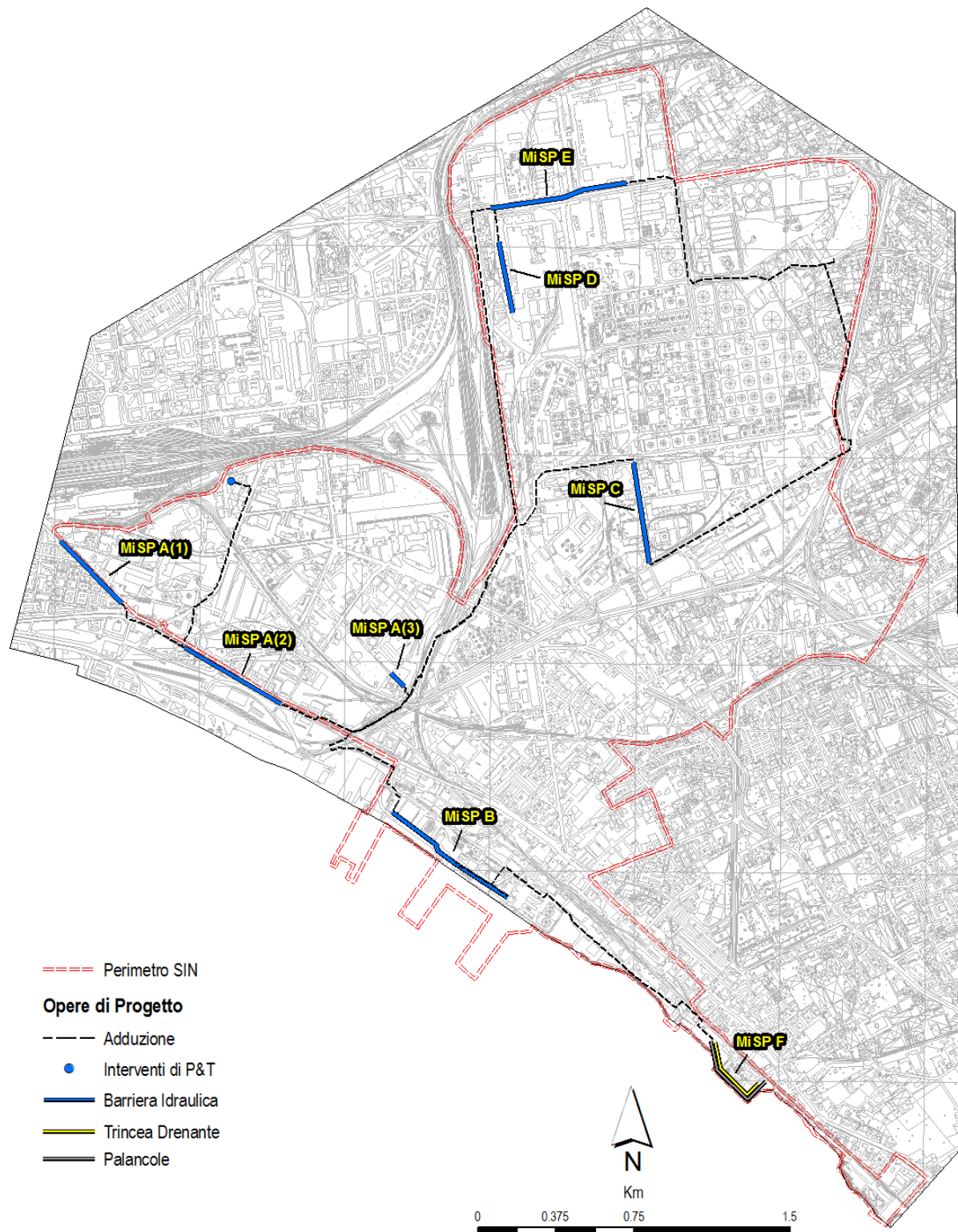


Figura 96 - Interventi di progetto.

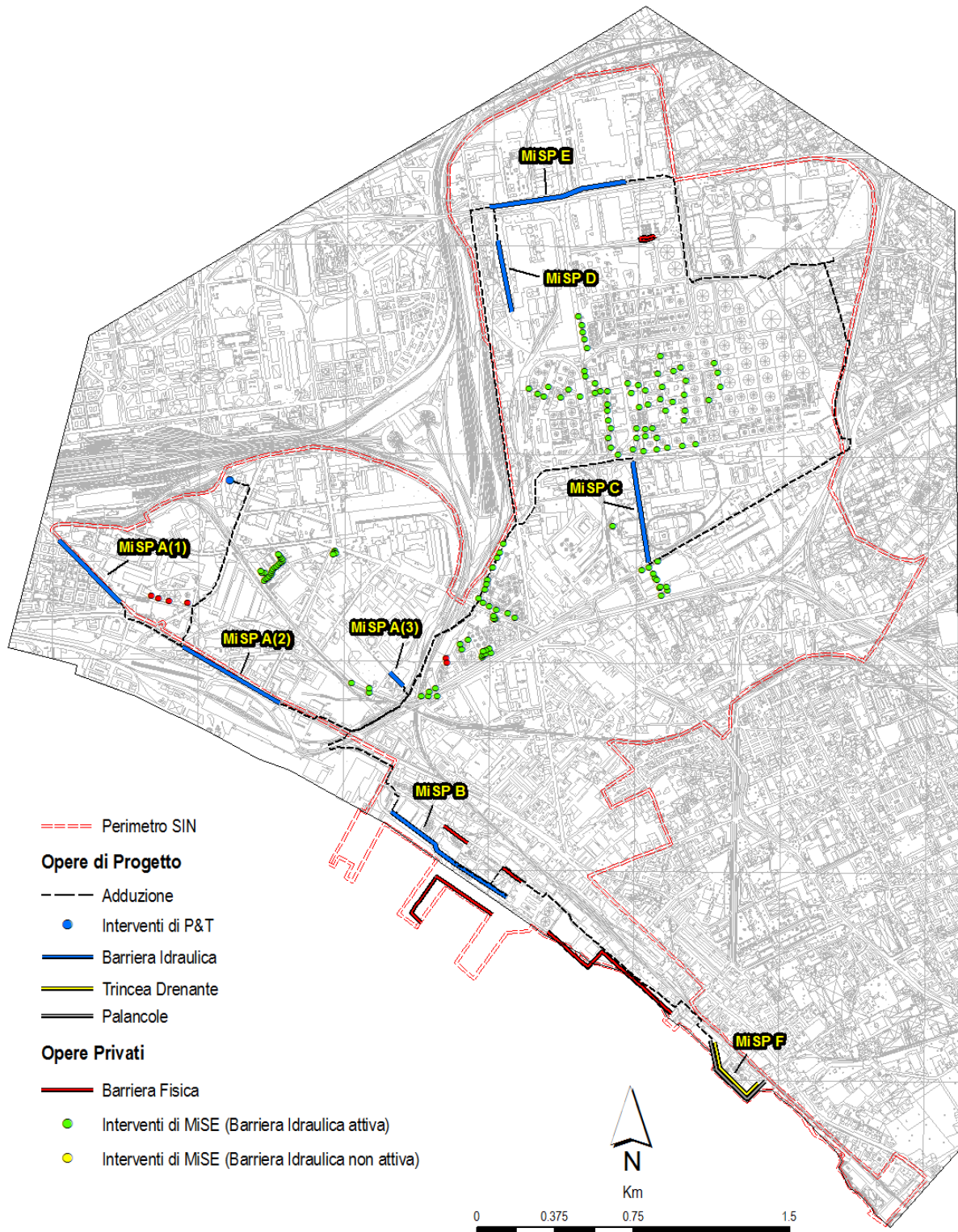


Figura 97 - Interventi complessivi nell'area del SIN di Napoli orientale.

- **MiSPT (A): lungo il settore fronte mare lungo il margine sud ovest del perimetro del SIN.**

Quest'area è diffusamente interessata da hot spot di contaminazione riconducibile a singole attività private. In tale settore sono anche presenti interventi di MiSE e bonifica messi in atto da privati quali: Napoletana Gas, Magnaghi, Esso (PV), Agip, Q8 Quaser (Figura 98). Per impedire che i plume di contaminazione potessero giungere verso il limite marino, non potendo intervenire a valle idrogeologica dei singoli focolai e in presenza di plumes di contaminazione estesi fuori dalle proprietà, si è ritenuto necessario predisporre una barriera idraulica lungo il limite sud ovest del SIN, che corre lungo Corso Arnaldo Lucci, via Alessandro Volta sino fino a via Regina di Portici.

La barriera è stata suddivisa in due segmenti distinti, il MiSPT (A)1 nel tratto più ad ovest e il MiSPT (A)2 per quello ad est, sempre lungo l'asse stradale sopra descritto. Questa è scelta progettuale si è resa necessaria per poter ottimizzare e minimizzare l'impatto dell'opera senza però pregiudicare l'efficienza e l'obiettivo di sbarramento idraulico, andando ad intervenire lungo le sezioni di flusso della falda in cui non sono presenti opere di MiSE private.

Con il MiSPT (A)3 si è voluto indicare quell'insieme di interventi puntuali e localizzati costituiti da pozzi di bonifica P&T. In particolare ci si riferisce a punti presenti all'interno del settore ampio del SIN posto a sud ovest fronte la linea di costa. Un intervento è stato localizzato nell'area residenziale lungo il limite ovest del SIN in via Emanuele Gianturco. Un altro intervento è stato previsto nell'area centrale del SIN ad est dell'ex deposito Agip, in via Traversa delle Breccia a sud della proprietà Mercurio Sud S.r.l (Figura 96).

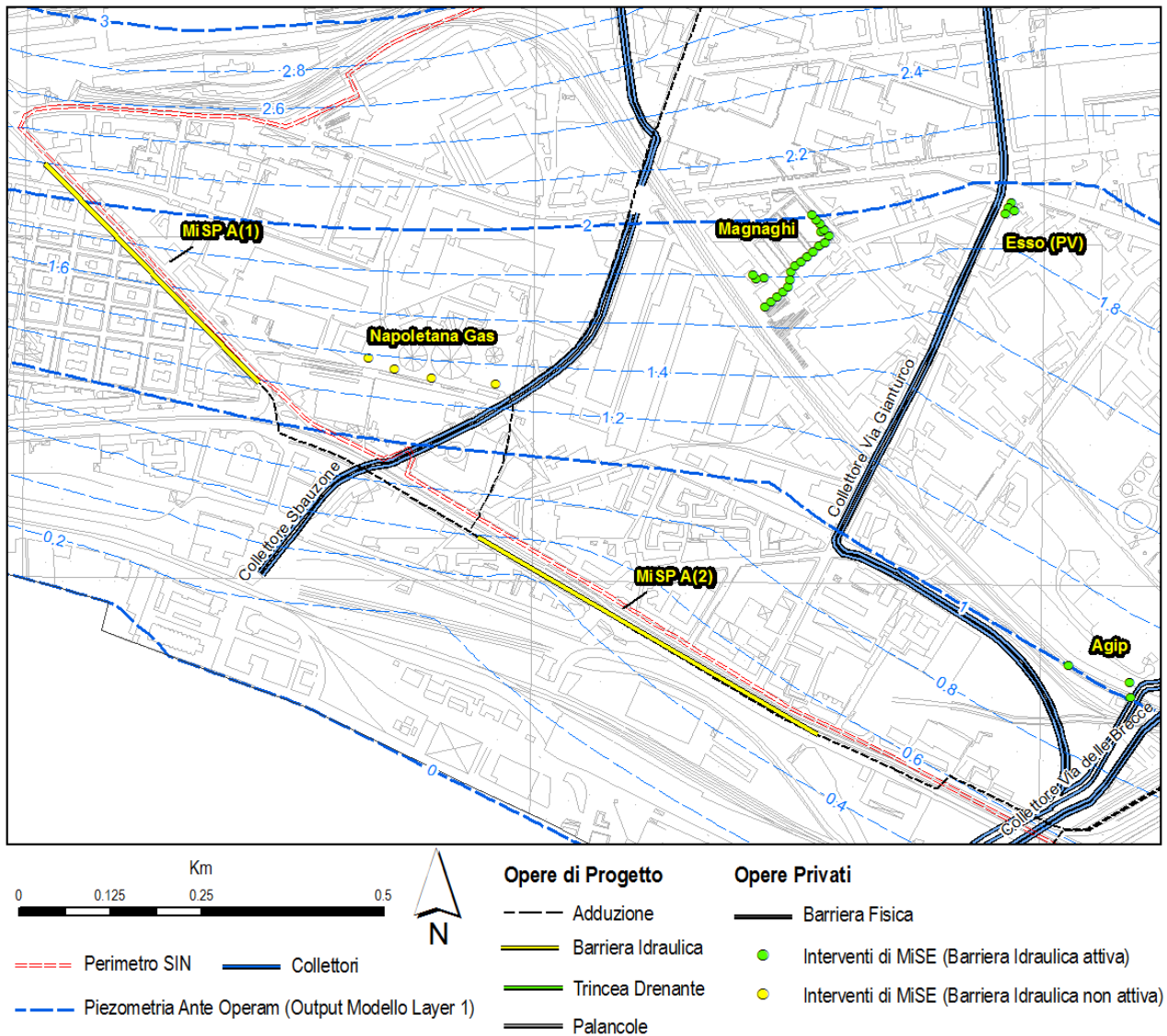


Figura 98 - Interventi di progetto MiSPT (A) con piezometria Ante Operam (Output Modello Layer 1).

• **MiSPT (B):** lungo il settore fronte mare lungo il margine sud ovest del perimetro del SIN.

Anche questa zona, come quella descritta nel punto 1, risulta essere diffusamente interessata da hot spot di contaminazione riconducibile a singole attività private. In tale settore al contrario sono anche presenti interventi di MiSE e bonifica messi in atto da privati quali (Figura 99), di contro sono state realizzate delle opere di contenimento fisico delle acque di falda, nello specifico la “Barriera Fisica e Progetto di Bonifica della Darsena di Levante” dell’Autorità Portuale. Anche in questo caso, con l’obiettivo di impedire che i plumes di contaminazione potessero giungere verso il limite marino, è stata prevista l’istallazione di una barriera idraulica continua lungo, a monte idrogeologico della barriera fisica dell’Autorità Portuale, attualmente solo parzialmente realizzata (Figura 99).

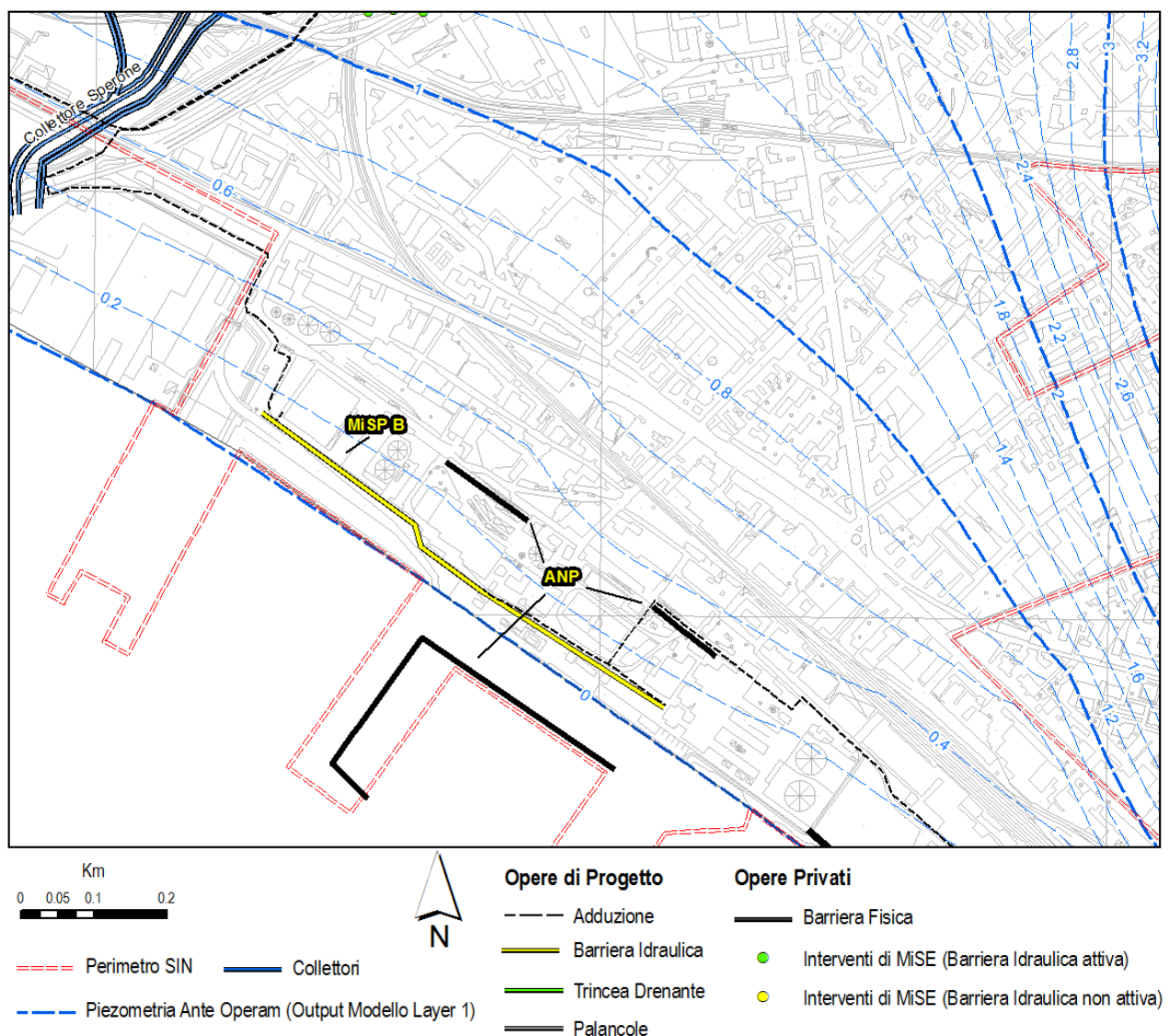


Figura 99 - Interventi di progetto MiSPT (B), MiSPT (I) con piezometria Ante Operam (Output Modello Layer 1).

- **MiSPT (C): lungo il settore est del SIN nel tratto compreso tra l'area Whirpool e quella Q8 (KRC).**

Questo settore vede la presenza sia di hot spot localizzati sia l'incidenza dovuta all'area di stoccaggio carburanti Kuwait Raffinazione e Chimica (Figura 100). La parte più a sud della zona è interessata da un sistema di MiSE attivo messo in funzione all'interno della proprietà Whirpool dalla stessa azienda che impedisce la propagazione della contaminazione verso est, ovvero verso valle idrogeologica individuata dall'asse di drenaggio della falda lungo il paleoalveo del Sebeto. La parte a nord di tale settore è interessato dagli interventi nella proprietà Q8, in cui sono presenti lungo il limite di proprietà ovest e sud due sistemi di barrieramento idraulico e all'interno vede il funzionamento di pozzi di P&T per la bonifica della falda (Figura 100). Per dare continuità ai sistemi privati già presenti e impedire la propagazione della contaminazione verso est si è scelto di introdurre una barriera idraulica a congiungimento di quella a nord di Q8 e a sud di Whirlpool posta lungo via delle Industrie.

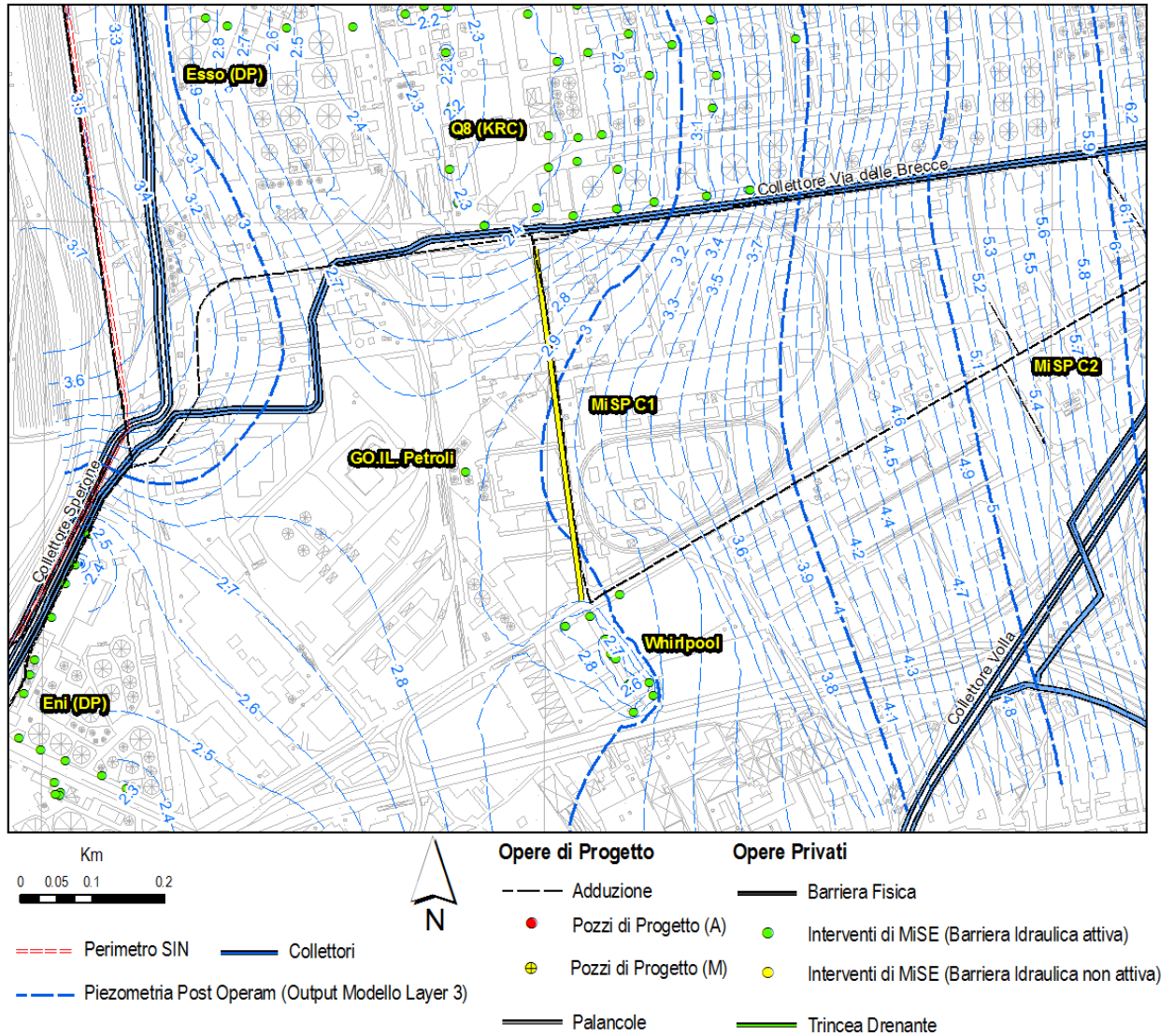


Figura 100 - Interventi di progetto MiSPT (C) con piezometria Ante Operam (Output Modello Layer 3).

- **MiSPT (D): lungo il settore nord del SIN a margine della Ex-ICMI.**

L'area è ubicata immediatamente a nord del sito Q8 (KRC) e ad est del tracciato ferroviario. L'area è interessata da contaminazione diffusa e, ad eccezione della parte più a nord degli interventi in area Q8, non sono presenti altri sistemi di MiSE e bonifica privati (Figura 101). Per impedire la migrazione della contaminazione verso l'asse centrale di drenaggio della falda posto nella parte topograficamente più depressa dell'area in corrispondenza del tracciato ferroviario e della linea del collettore dello Sperone, è stata prevista l'istallazione di una barriera idraulica che corre continua e parallela allo stesso collettore che procede nord sud nell'area afferente alla Ex-ICMI (Figura 101), dal limite nord del deposito carburanti Esso sino al limite sud della proprietà Italcost Srl.

- **MiSPT (E): lungo il margine nord del perimetro SIN.**

Quest'area riguarda la parte più a nord dell'intero SIN e presenta diversi spot di contaminazione ed un pattern abbastanza diffuso di inquinamento, così come evidenziato dalle caratterizzazioni ambientali. Non sono presenti interventi privati di MiSE e bonifica. Per impedire la contaminazione possa migrare verso sud e est, secondo il regime di flusso della falda, è stata prevista l'istallazione di una barriera idraulica sia lungo il limite sud della proprietà Italcost Srl in via via Traccia a Poggioreale e di quella Ergom Automative SpA che procede in via Domenico de Roberto (Figura 101). In particolare l'allineamento dei pozzi barriera corre parallelo al collettore Via De Roberto.

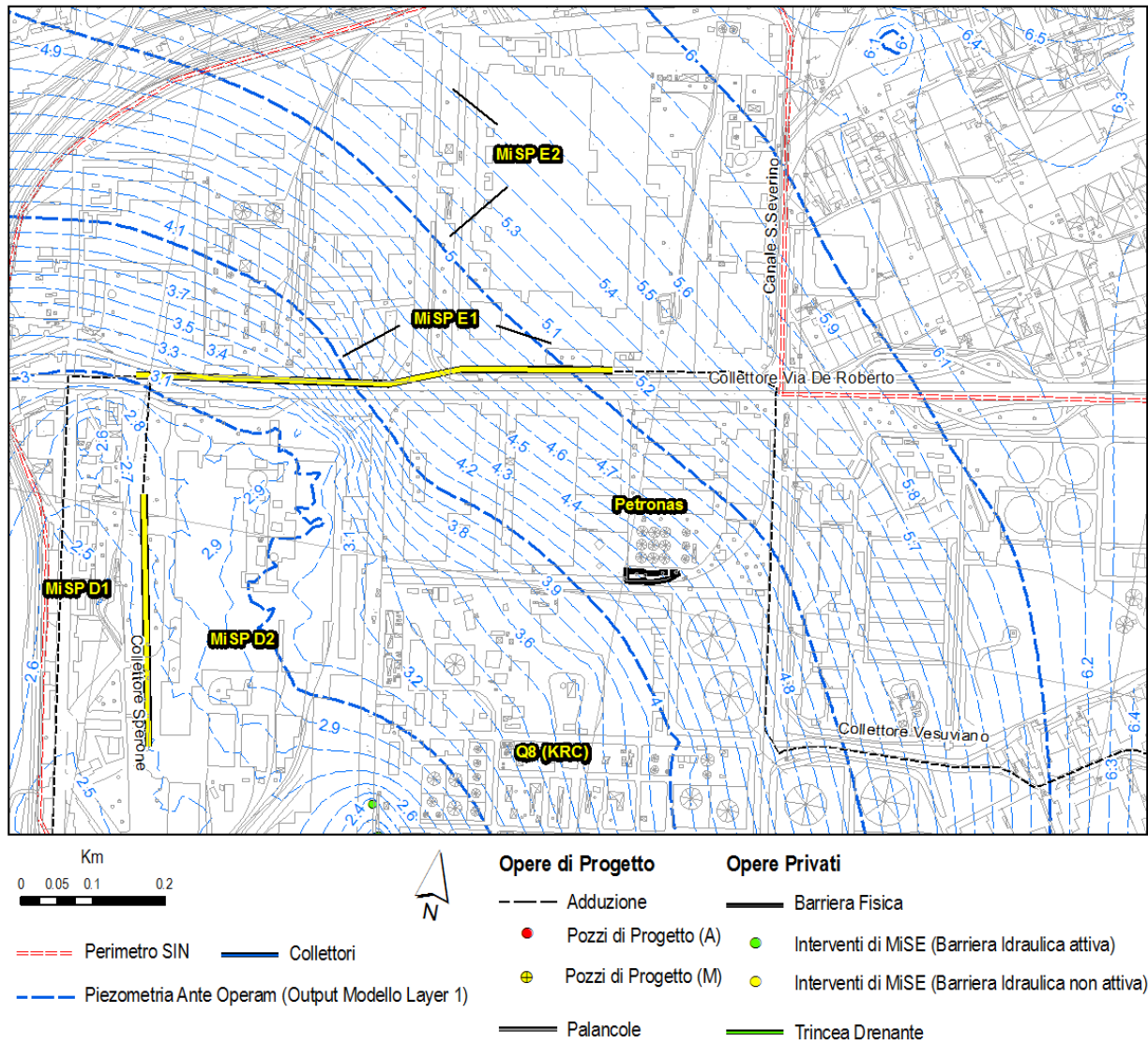


Figura 101 - Interventi di progetto MiSPT (D) e MiSPT (E) con piezometria Ante Operam (Output Modello Layer 1).

- **MiSPT (F): nel settore sud est del SIN nell'area del Ex-Depuratore di San Giovanni a Teduccio.**

Per poter limitare la diffusione in mare della contaminazione presente nelle acque di falda sottostanti l'area del vecchio Depuratore di San Giovanni a Teduccio, essendo direttamente a contatto con il fronte marino, si è reso necessario dover intervenire mediante un sistema di contenimento fisico (palancole) che dovranno immorsarsi nella porzione di tufo presente ad una profondità ricompresa tra i 10 e i 25 metri dal p.c. così come dimostrato e avvenuto per la progettazione della Barriera Fisica e Progetto di Bonifica della Darsena di Levante” dell’Autorità Portuale, quello della “Barriera Fisica e Bonifica e degli Arenili San Giovanni a Teduccio” e della “Barriera Fisica Tirreno Power” che comprende l’intero sito produttivo in cui insistono le Centrali termoelettriche di Napoli Levante e di Vigliena, ed è situato in località San Giovanni a Teduccio. Al barrieramento fisico sarà associata una trincea drenante a tergo dello stesso, che avrà la funzione di regolare e stabilizzare il livello piezometrico a monte, che per effetto di sbarramento subirà un innalzamento, che sarà appunto mitigato dalla trincea (Figura 96).

4.3 Simulazione e verifica degli interventi di progetto

Per la verifica dell'efficienza dei sistemi di sbarramento idraulico, dinamico e passivo, e la definizione dei parametri progettuali ottimali si è proceduto all'analisi delle soluzioni del modello numerico. L'obiettivo che ha guidato il processo di ottimizzazione è stato quello di individuare le condizioni specifiche di ogni singolo sistema di MiSPT in grado garantire l'interruzione del flusso idrico sotterraneo della porzione superiore del complesso acquifero interessato dall'inquinamento. A tale riguardo, in fase di elaborazione delle soluzioni del modello, sono state variate le seguenti condizioni:

- (1) numero di pozzi;
- (2) interasse tra pozzi;
- (3) profondità dei pozzi;
- (4) portate dei pozzi;
- (5) profondità delle trincee;
- (6) conduttanza lineare delle trincee.

Di fondamentale importanza nello studio di questi parametri sono state le numerose indicazioni sulle caratteristiche di intervento private di MiSE esistenti nell'area, che hanno permesso di confrontare i valori di portata dei pozzi realizzati con quelli simulati nel modello, di definire le profondità, gli interassi e le potenziali interferenze tra i singoli pozzi, avendo a disposizione i dati di monitoraggio sull'efficienza degli interventi.

Successivamente sono riportate le soluzioni del modello di flusso ottimizzato con tutte le opere di progetto come descritto del paragrafo precedente. In Figura 103, Figura 105, Figura 107, sono presenti le isopiezometriche post operam riferite al Layer 1, e Figura 106 quelle nel Layer 3 del modello. Le soluzioni rappresentate mostrano gli effetti derivate della messa in funzione dei sistemi di MiSPT nella porzione superiore della falda dell'area. Si accentuano fortemente i bassi piezometrici nella parte centro orientale assimilabili alle zone Q8 (KRC), in cui la mutua azione delle MiSE private e quelle in progetto determinano la formazione di una vasta zona di richiamo che produce la cattura e la bonifica delle acque contaminate dell'intero settore est del SIN. Anche le due MiSPT fronte mare producono un effetto di sbarramento idraulico con minimi piezometrici intorno a 0 metri s.l.m, il funzionamento dei pozzi lungo la fascia costiera produce di fatto un'ampia zona di stagnazione con gradiente nullo.

Gli effetti di sistemi MiSPT non sono presenti nella porzione più profonda della falda, ovvero quella al di sotto dei depositi tufacei a bassa permeabilità che dividono il sistema acquifero in due falda tra loro ben distinguibili. In Figura 108 e Figura 107 sono visibili le soluzioni del modello con le isopiezometriche riferite al Layer 5 del modello stesso, si può apprezzare come di fatto il campo di moto non subisca variazioni rispetto alle soluzioni ante operam.

Per la verifica dell'efficienza idraulica dei sistemi di MiSPT è stata eseguita simulando la cattura dei filetti fluidi provenienti dal monte idrogeologico della barriera. Il Figura 109, Figura 110 e Figura 111 si riportano le soluzioni di efficienza idraulica riferite ai layer 1, 2 e 3 con il

tracciamento delle traiettorie di flusso delle particelle fluide della falda in moto puramente advettivo provenienti dal monte idrogeologico della barriera. Con quest'analisi è stato possibile dunque modulare i parametri di ottimizzazione, quali numero di pozzi, interasse e portata, affinché la condizione di cattura fosse rispettata. Queste elaborazioni sono state utili nella stesura del progetto generale che in seconda analisi ha visto la definizione di un dettaglio relativo ad una I Fase degli interventi da eseguirsi nel settore nord est del SIN. Le verifiche di efficienza idraulica sopra citate sono da ritenersi utili nello studio delle MiSPT (A) e (B), mentre per quelle relative al settore nord est, si rimanda alle elaborazioni successive eseguite utilizzando un modello di dettaglio costruito ad hoc per la definizione delle opere di MiSPT (C), (D) ed (E).

In ultima analisi si riportano le elaborazioni della carta della soggiacenza della falda post operam in Figura 112 e quella delle potenziali aree di risorgiva in Figura 113. Come è evidente, l'azione di emungimento delle MiSPT produce un sensibile abbassamento della piezometria e aumenta la soggiacenza della falda dal piano campagna, conseguentemente le aree in cui vi erano soggiacenze minime delle acque di falda inferiori ad 1 metro si riducono al settore nord ovest, non interessato direttamente dalle opere di progetto.

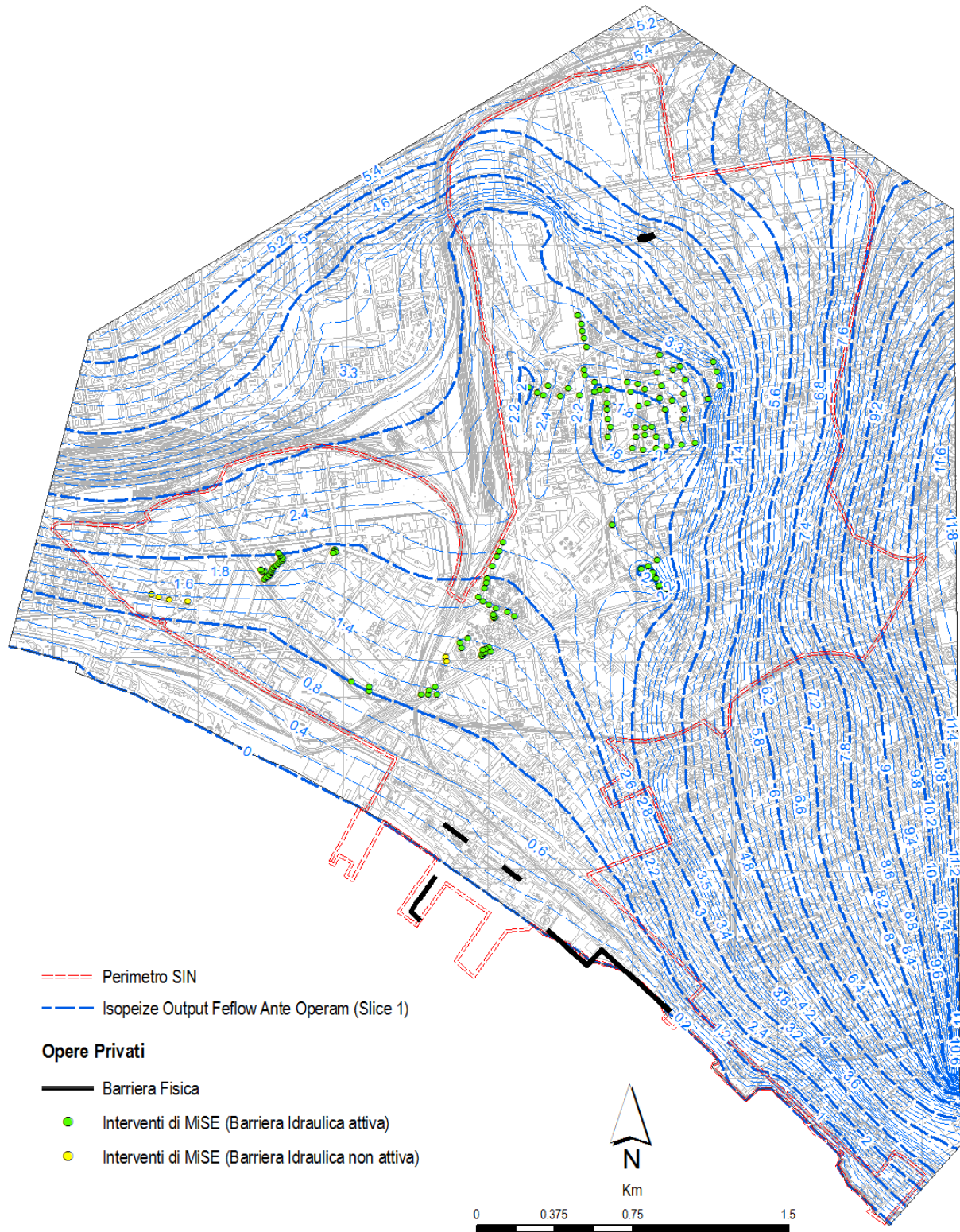


Figura 102 - Piezometria Ante Operam (Layer 1) con opere di bonifica dei privati esportate in GIS.

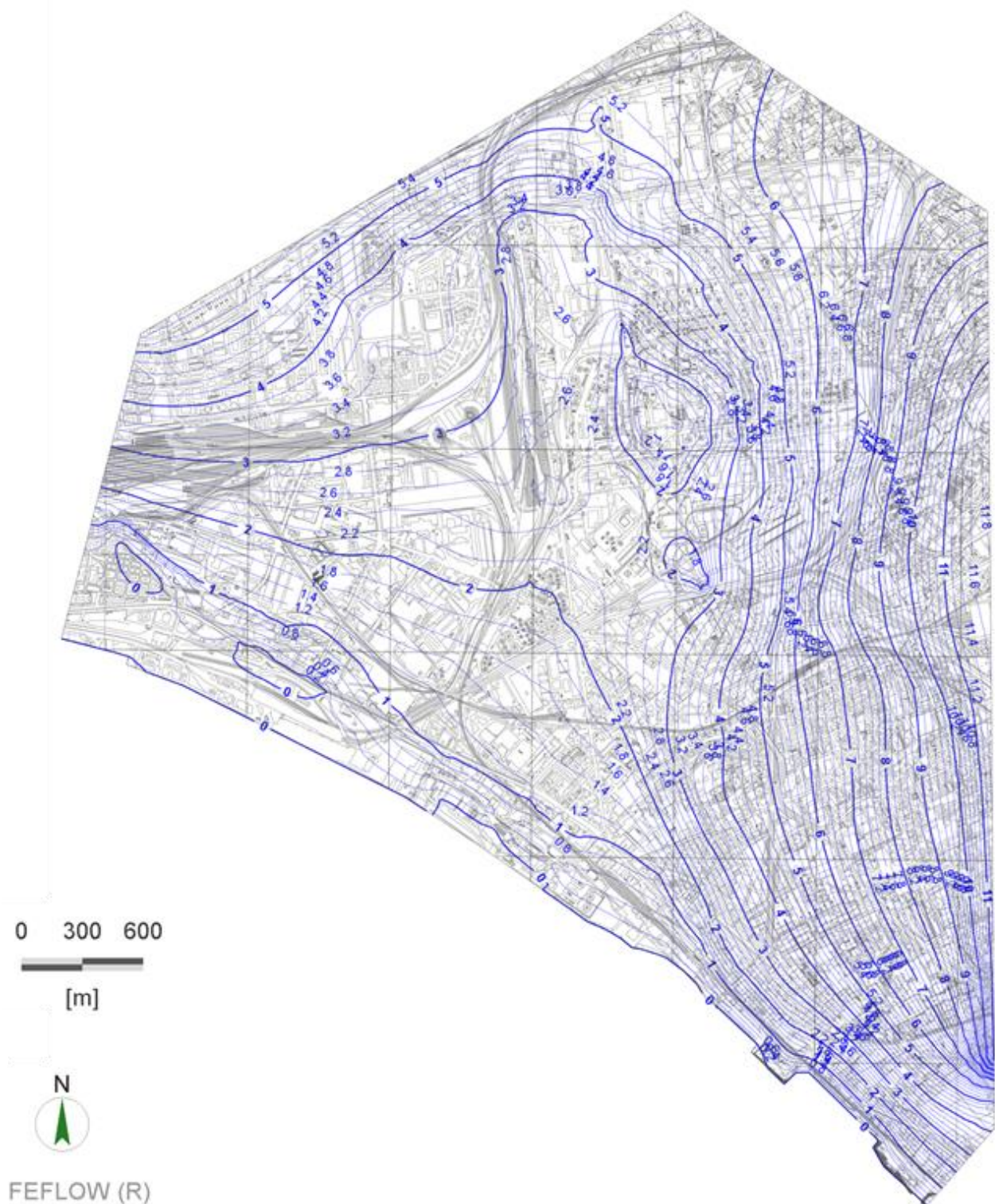


Figura 103 - Piezometria Post Operam (Layer 1) con opere di progetto esportate in GIS.

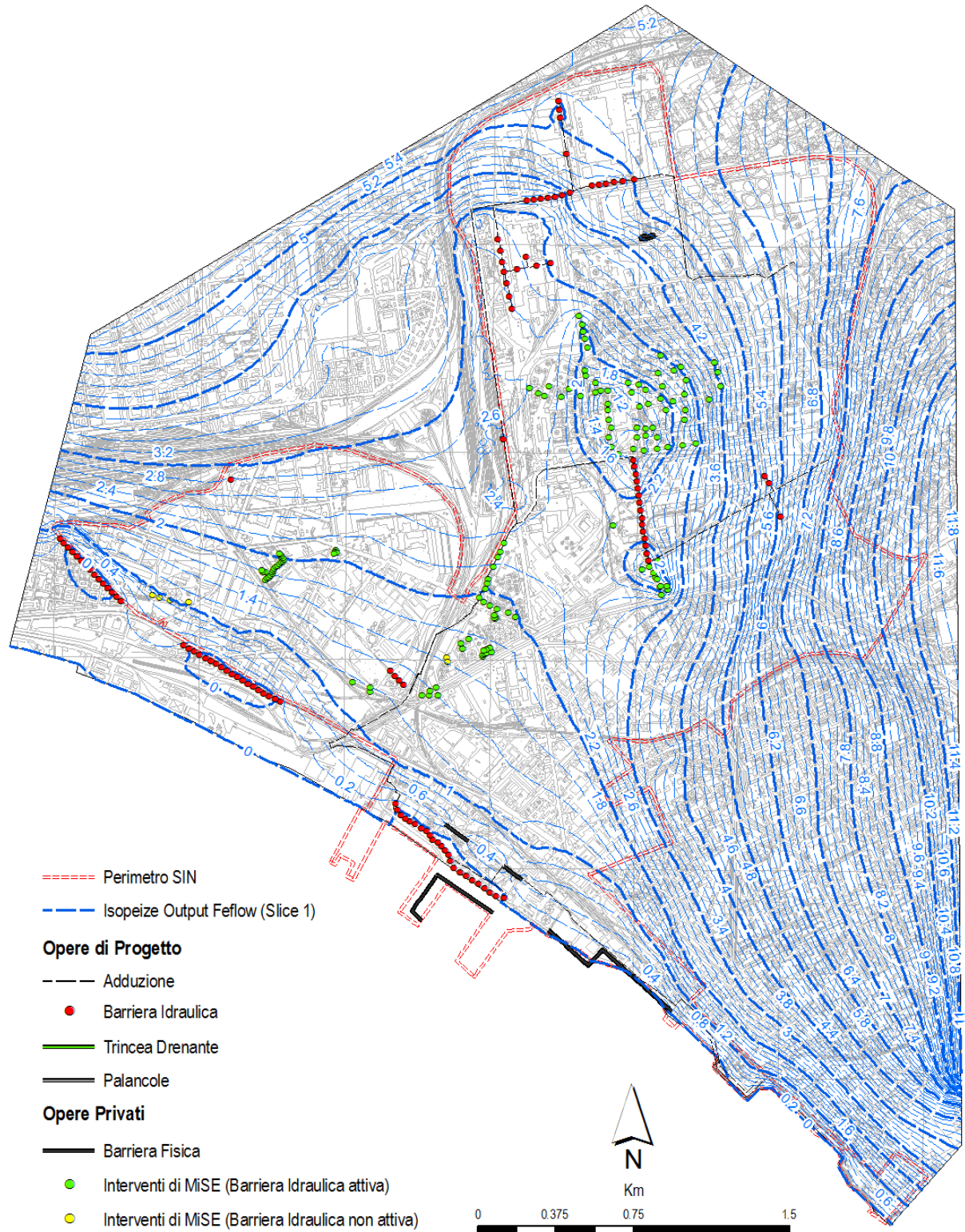


Figura 104 - Piezometria Post Operam (Layer 1) con opere di progetto esportate in GIS.

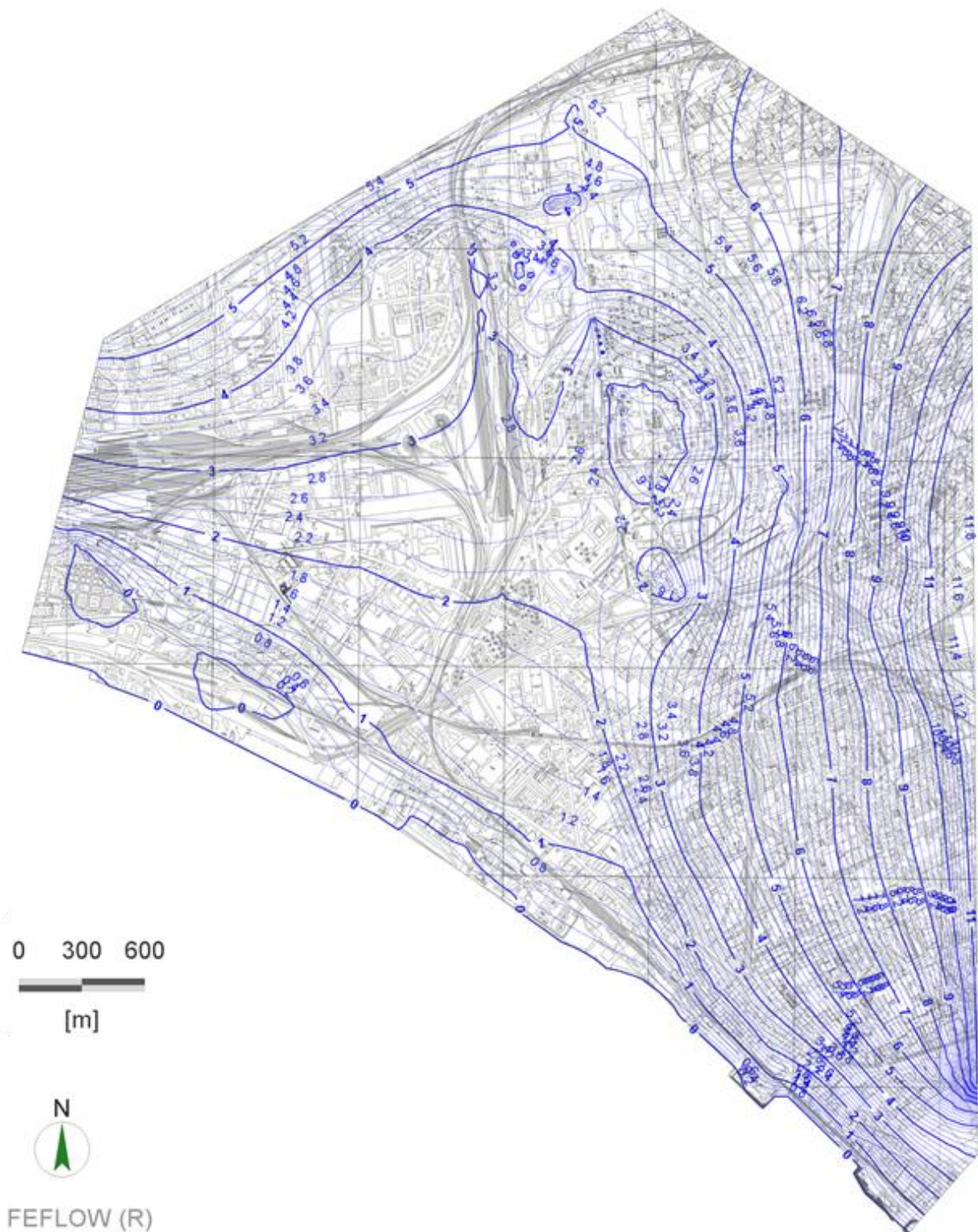


Figura 105 - Soluzione del modello di flusso Post Operam: isopiezometriche Laye 3.

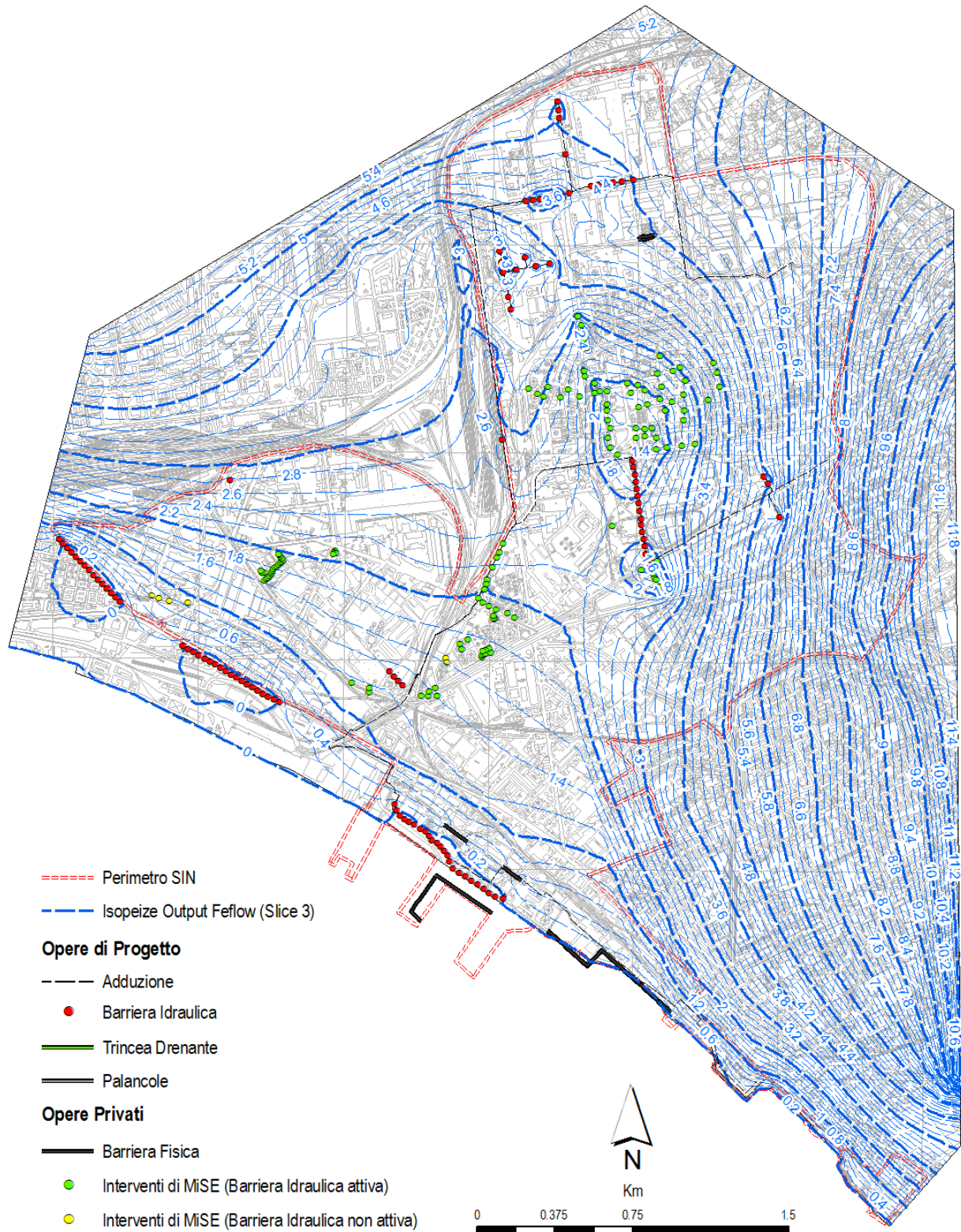


Figura 106 - Piezometria Post Operam (Layer 3) con opere di progetto esportate in GIS.

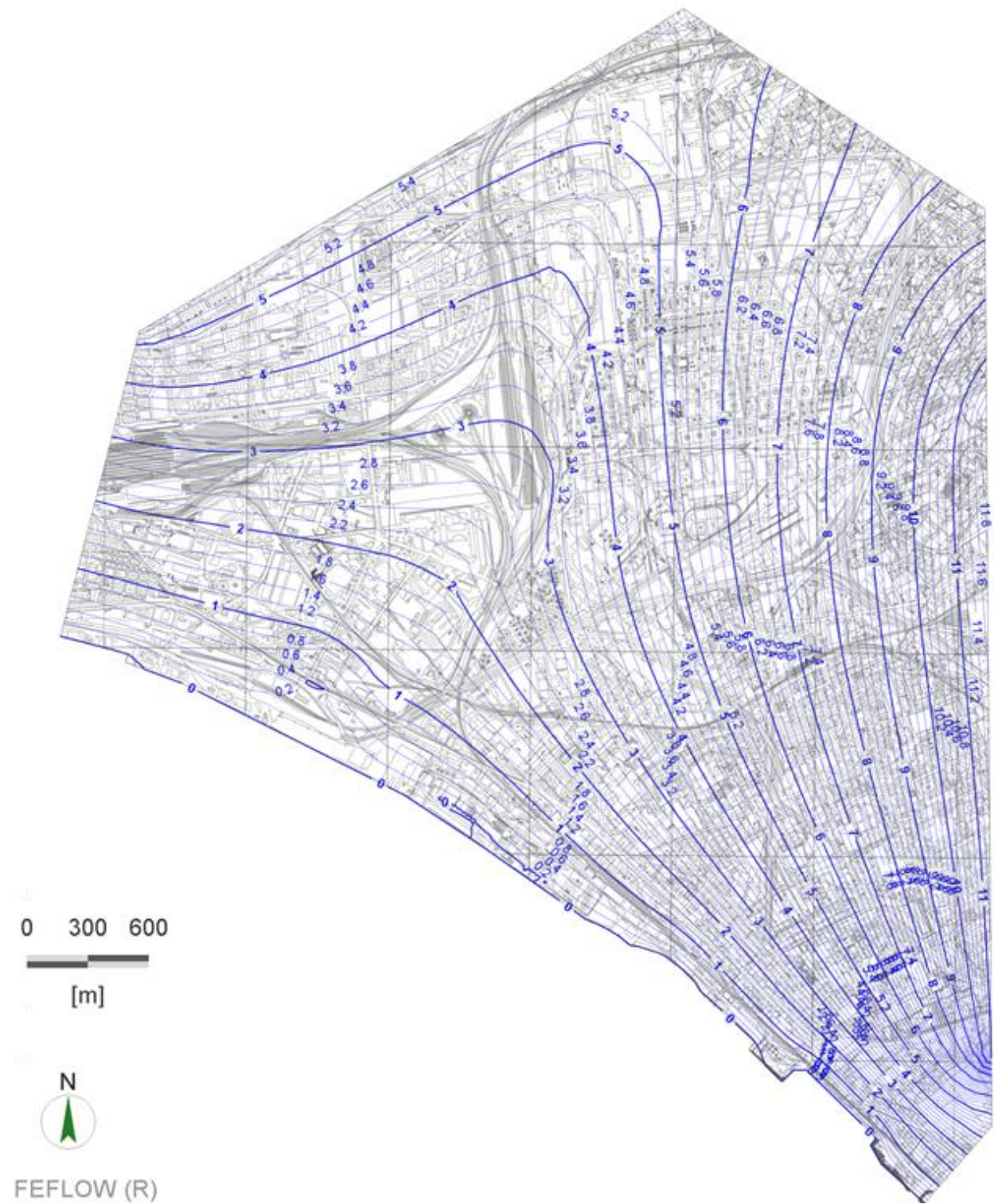


Figura 107 - Soluzione del modello di flusso Post Operam: isopiezometriche Layer 5.

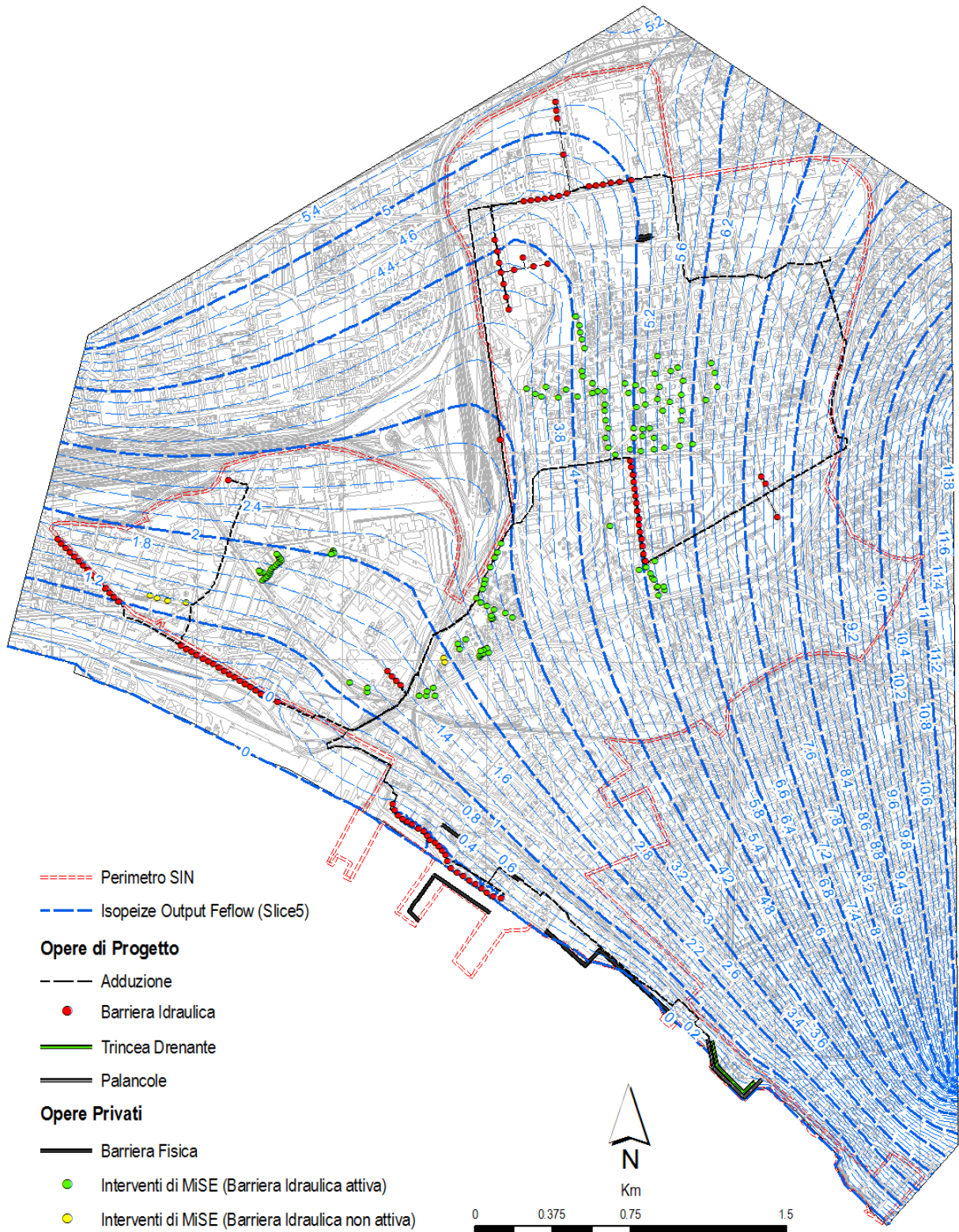


Figura 108 - Piezometria Post Operam (Layer 5) con opere di progetto esportate in GIS.

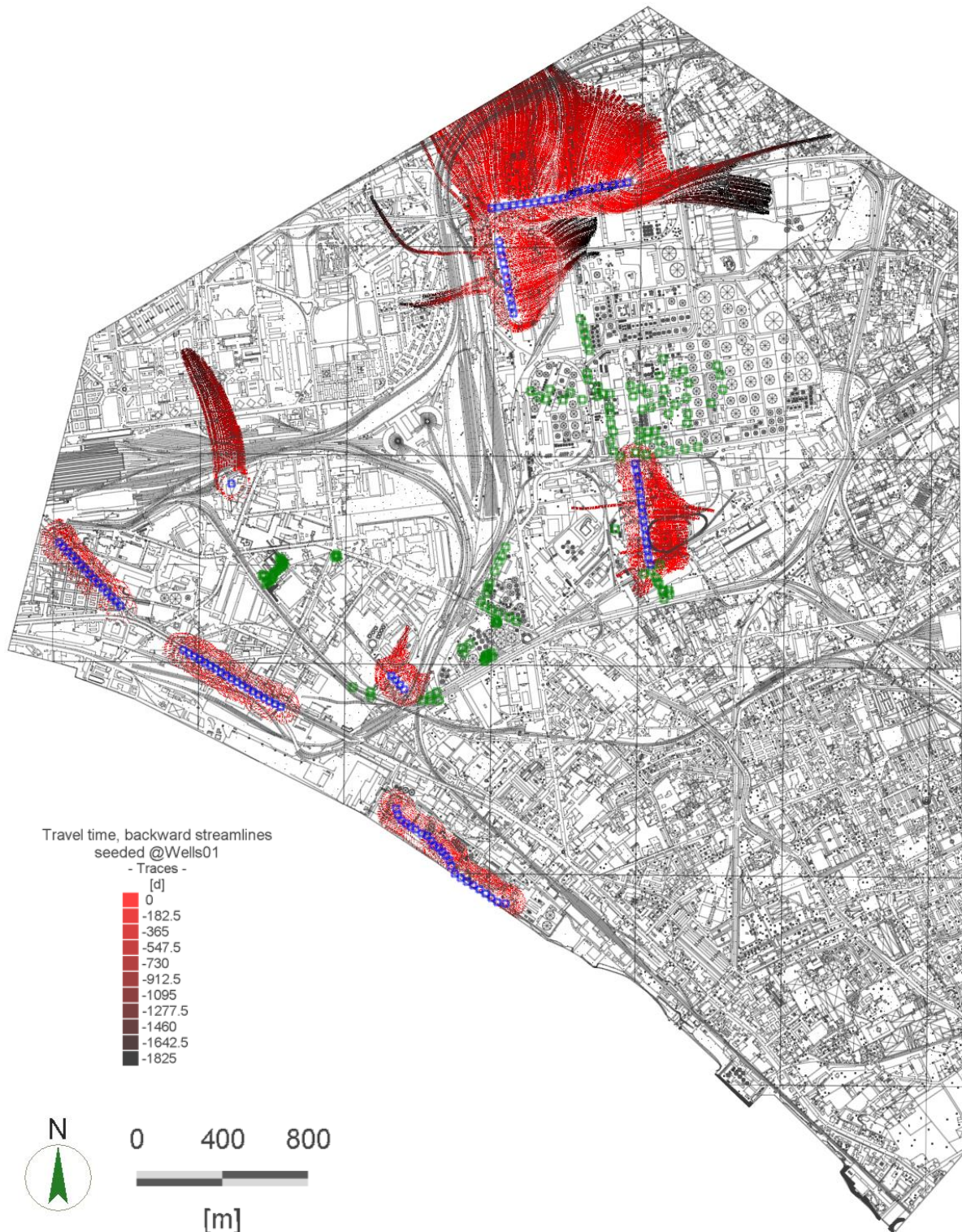


Figura 109 - Efficienza idraulica degli interventi: area di influenza e cattura dei pozzi di MiSPT (Layer 1).



Figura 110 - Efficienza idraulica degli interventi: area di influenza e cattura dei pozzi di MiSPT (Layer 2).



Figura 111 - Efficienza idraulica degli interventi: area di influenza e cattura dei pozzi di MiSPT (Layer 3).

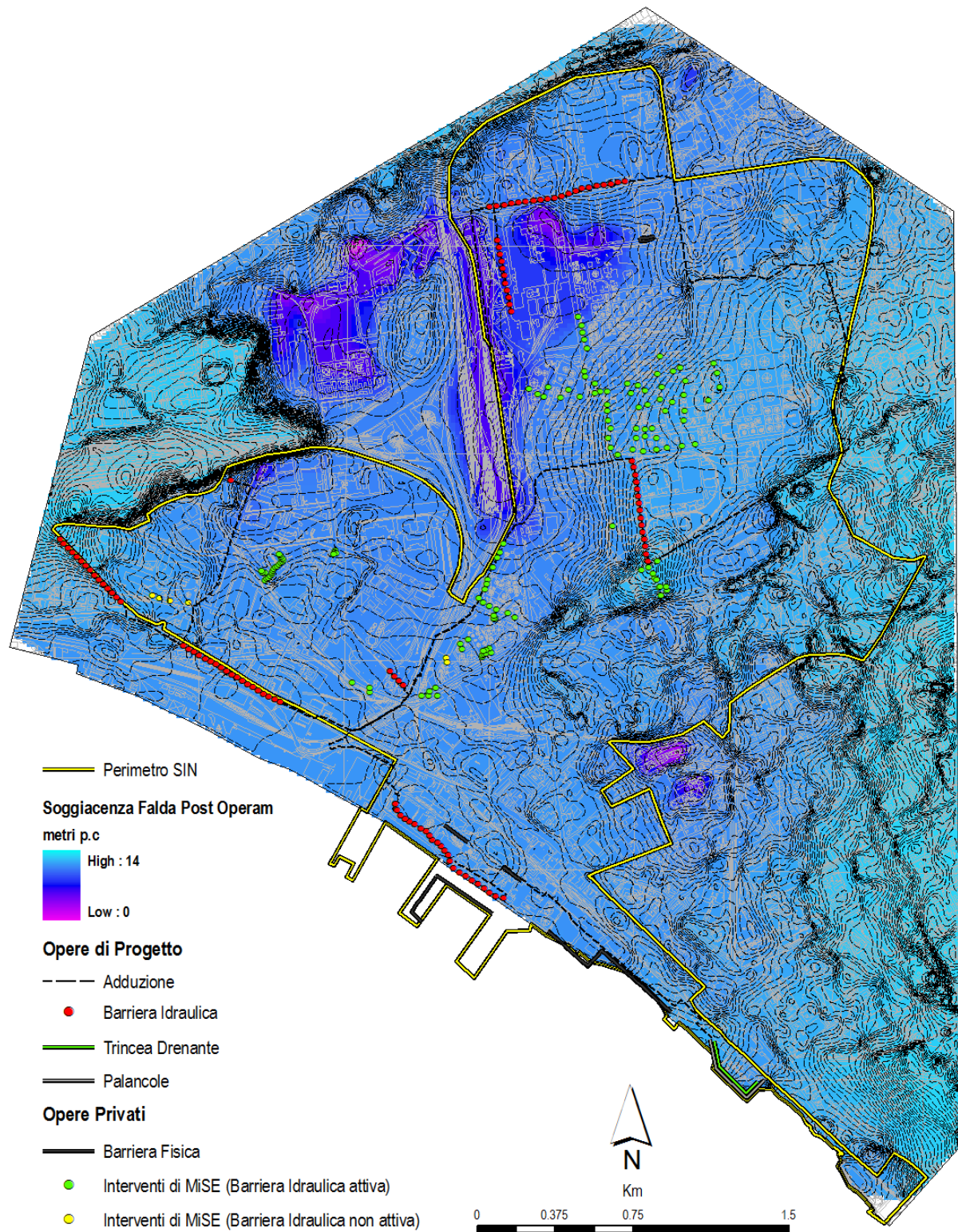


Figura 112 - Soggiacenza della falda calcolata dal modello di flusso Post Operam.

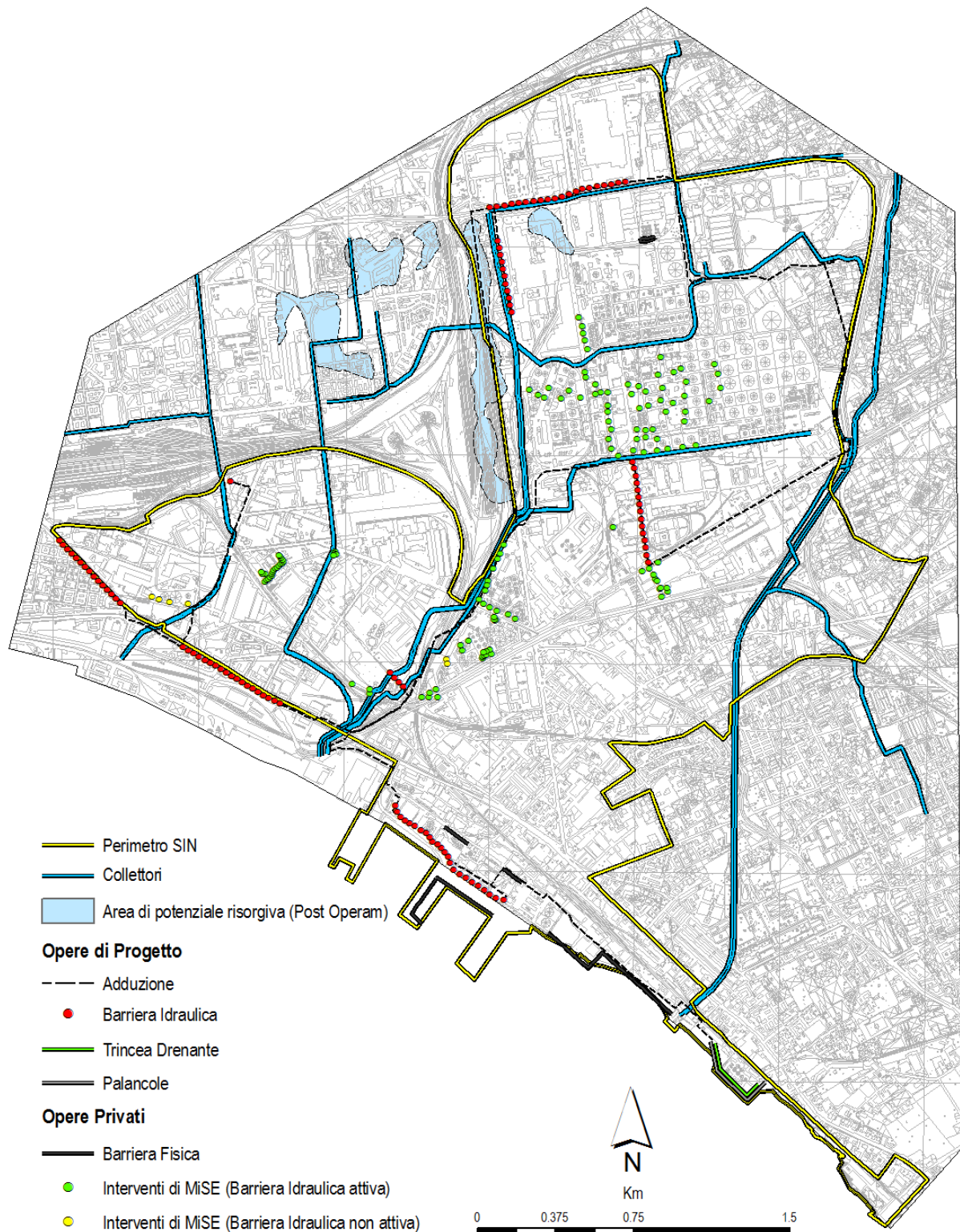


Figura 113 - Aree di potenziale risorgiva delle acque di falda calcolate dal modello Post Operam.

Si riporta di seguito la descrizione delle soluzioni del modello ottimizzate per ogni singolo MiSPT:

- **MiSPT (A)**

Il tratto interessato dal MiSPT (A) è lungo 1125 metri, per rendere efficace lo sbarramento idraulico sono stati definiti un numero di pozzi pari a 39 con un interasse medio ottimale di 30 metri, variabile tra un minimo di 25 ed un massimo di 35 metri in relazione anche condizioni urbanistiche e alle interferenze sito specifiche. I pozzi dovranno avere una profondità massima di 15 metri. Si intende adottare tale profondità massima dei pozzi per scongiurare i possibili fenomeni di *upconing* del cuneo salino, in quanto la riduzione del carico idraulico dovuta agli emungimenti, unita all'azione dinamica di prelievo dei pozzi, potrebbe generare una risalita della zona di interfaccia tra le acque di falda e quelle salate. Lo sbarramento idraulico avrà il compito di intercettare le acque di falda che defluiscono verso il mare proprio dalla parte superiore del complesso acquifero facendo particolare attenzione a non produrre un richiamo del cuneo salino. Le portate specifiche dei singoli pozzi sono state ottimizzate sino ad ottenere un valore giornaliero medio pari a 66.0 m^3 , ovvero **$2.70 \text{ m}^3/\text{ora}$** pari a **$0.76 \text{ l/s}$** . Complessivamente l'intero sistema a regime avrà una portata giornaliera di 2908 m^3 , che nell'esercizio annuale determina un emungimento di 1.06 Mm^3 .

In particolare, come descritto nel paragrafo precedente, questo sistema è costituito da tre diverse linee di pozzi barriera tra loro discontinue, ognuna delle quali è stata ottimizzata singolarmente tenendo conto delle mutue interferenze. Nello specifico la MiSPT (A)1 è lunga 450 metri ed è costituita da 15 pozzi con portate medie di **0.96 l/s** ($3.44 \text{ m}^3/\text{ora}$); la MiSP (A)2 è lunga 550 metri ed è stata dimensionata con 19 pozzi aventi portata di **0.90 l/s** ($3.25 \text{ m}^3/\text{ora}$); infine la MiSP (A)3 che in totale è costituita da 4 pozzi in allineamento per un tratto di 125 metri e un pozzo di P&T dislocato in un altro settore, per i 4 pozzi di sbarramento sono state definite portate di **0.43 l/s** pari a $1.55 \text{ m}^3/\text{ora}$.

Il singolo pozzo di P&T, definito nell'intervento, assolve un ruolo limitato e specifico di risanamento e non tanto quello di sbarramento al flusso in generale. Il dimensionamento è stato eseguito tenendo in considerazione l'ampiezza del raggio di cattura e l'influenza dei pozzi nella porzione immediatamente a monte idrogeologico. Il pozzo localizzato in un'area di particolare criticità, avrà una profondità compresa tra i 20 ed i 30, con una portata media giornaliera di circa $35\text{-}40 \text{ m}^3$, ovvero circa **$1.6 \text{ m}^3/\text{ora}$** pari a **$0.45 \text{ l/s}$** . Con questi valori portata, associati a quelli conducibilità idraulica assegnati al modello, si determinano raggi d'influenza dei pozzi minimi di 20 metri e un'ampia zona di cattura. Se in fase di realizzazione dovessero emergere sostanziali discordanze locali nella permeabilità è opportuno rimodulare in eccesso o in difetto i parametri appena descritti.

Le portate saranno modulate e potranno avere delle variazioni rispetto al valore medio ottimale stimato in relazione alle condizioni sito specifiche di conducibilità idraulica. Il sistema così concepito in fase di simulazione ha permesso di definire un'ampia zona di cattura e con carichi idraulici minimi di 0 metri s.l.m, che costituiscono il valore piezometrico da

raggiungere per impedire il deflusso delle acque di falda verso mare. Il sistema ottimizzato permette di generare due ampi bassi piezometrici nell'intorno delle due barriere con una zona di stagnazione che si estende a valle idrogeologica per circa 200 metri, distante 150 – 100 metri dalla linea di costa. Per realizzare questa condizione obiettivo sono stati indotti abbassamenti medi del livello piezometrico di circa 1.4 metri lungo la MiSPT (A)1 e di 0.7 metri nella MiSPT (A)2.

Per la verifica dell'efficienza della barriera idraulica è stato simulato l'effetto di cattura e di influenza dei pozzi mediante il tracciamento delle traiettorie di flusso di particelle fluide della falda in moto puramente advettivo provenienti dal monte idrogeologico della barriera stessa. Come riportato in Figura 109, Figura 110 e Figura 111 queste sono completamente intercettate dal sistema di pozzi del MiSPT (A), si viene a creare un'ampia zona con carico idraulico prossimo a 0 metri s.l.m nel tratto tra la linea di costa e la barriera idraulica, come visibile dalla Figura 114 e Figura 115, per quanto riguarda la falda superiore ricompresa sino ai 35-40 metri di profondità dal p.c..

La parte inferiore del sistema acquifero, al di sotto dei depositi tufacei, ovvero a profondità superiori a circa 40 metri dal p.c., non risente dell'effetto di perturbazione cagionato dalla barriera idraulica e il deflusso naturale verso mare non viene alterato, così come dimostrato dalla Figura 116, che rappresenta le isopieze del layer 5 del modello di flusso. Vi è da notare che nella parte est della MiSPT (A)2, i pozzi inducono un abbassamento piezometrico anche per quanto concerne la falda più profonda, evidente dalla presenza di un cono piezometrico a 0 metri slm. Ciò è dovuto al fatto che in questo settore le due falde sono di fatto in connessione idraulica diretta per l'assenza o la presenza di spessori ridotti dei depositi tufacei. In fase di esercizio sarà necessario monitorare con attenzione gli abbassamenti dei livelli piezometrici per evitare appunto la salinizzazione delle acque di falda fronte mare.

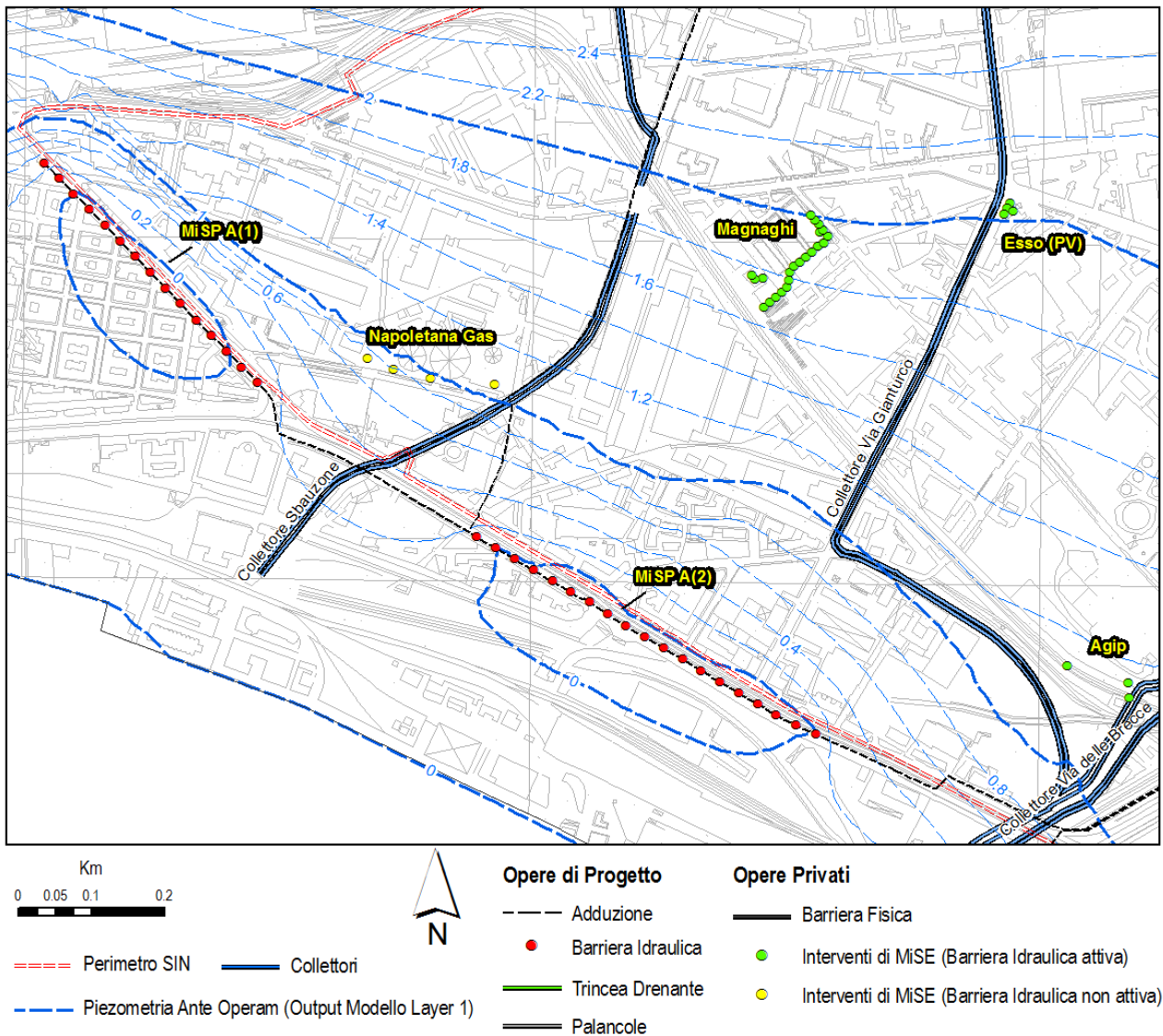


Figura 114 - Interventi di progetto MiSPT (A) con piezometria Post Operam (Output Modello Layer 1).

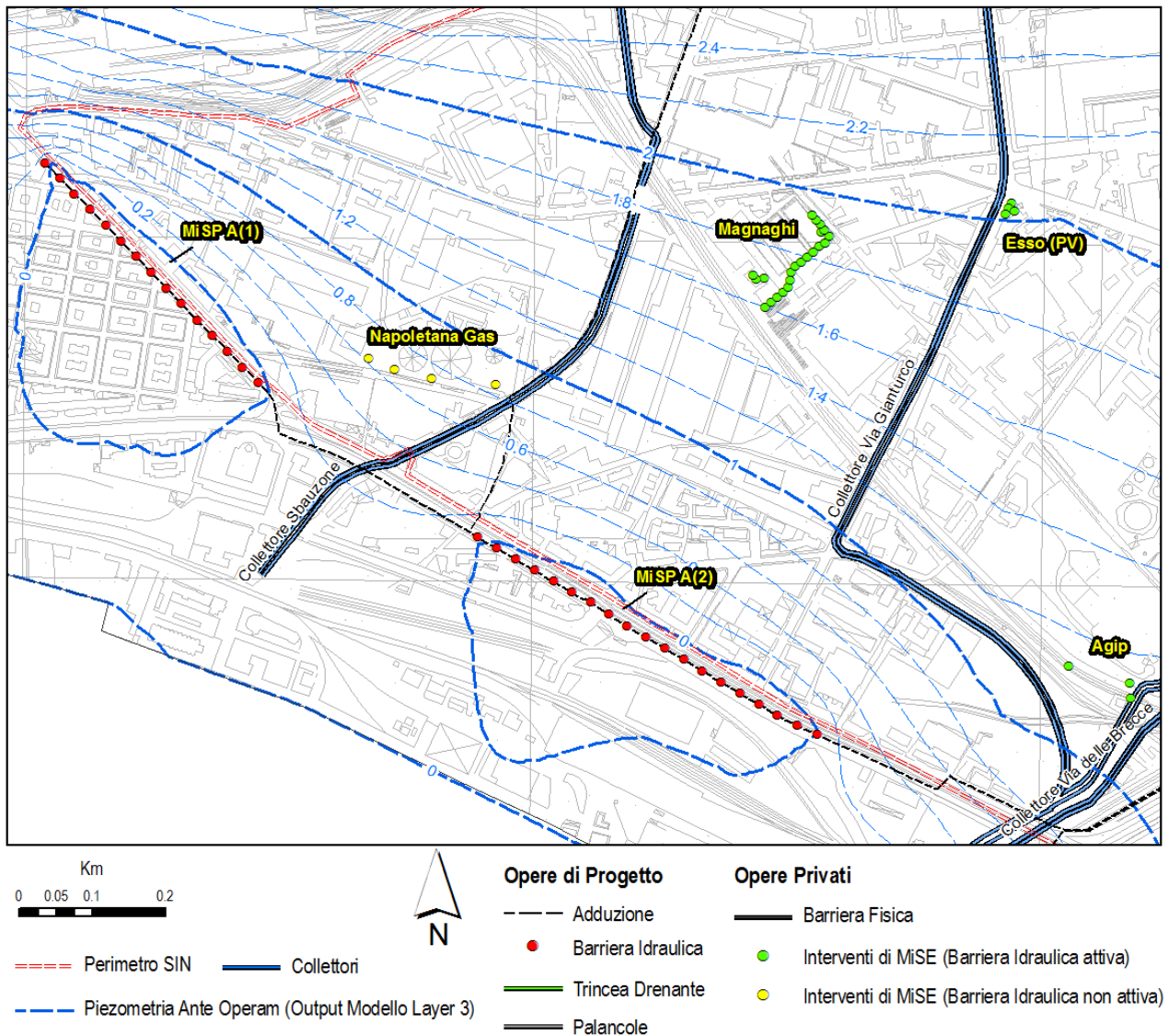


Figura 115 - Interventi di progetto MiSPT (A) con piezometria Post Operam (Output Modello Layer 3).

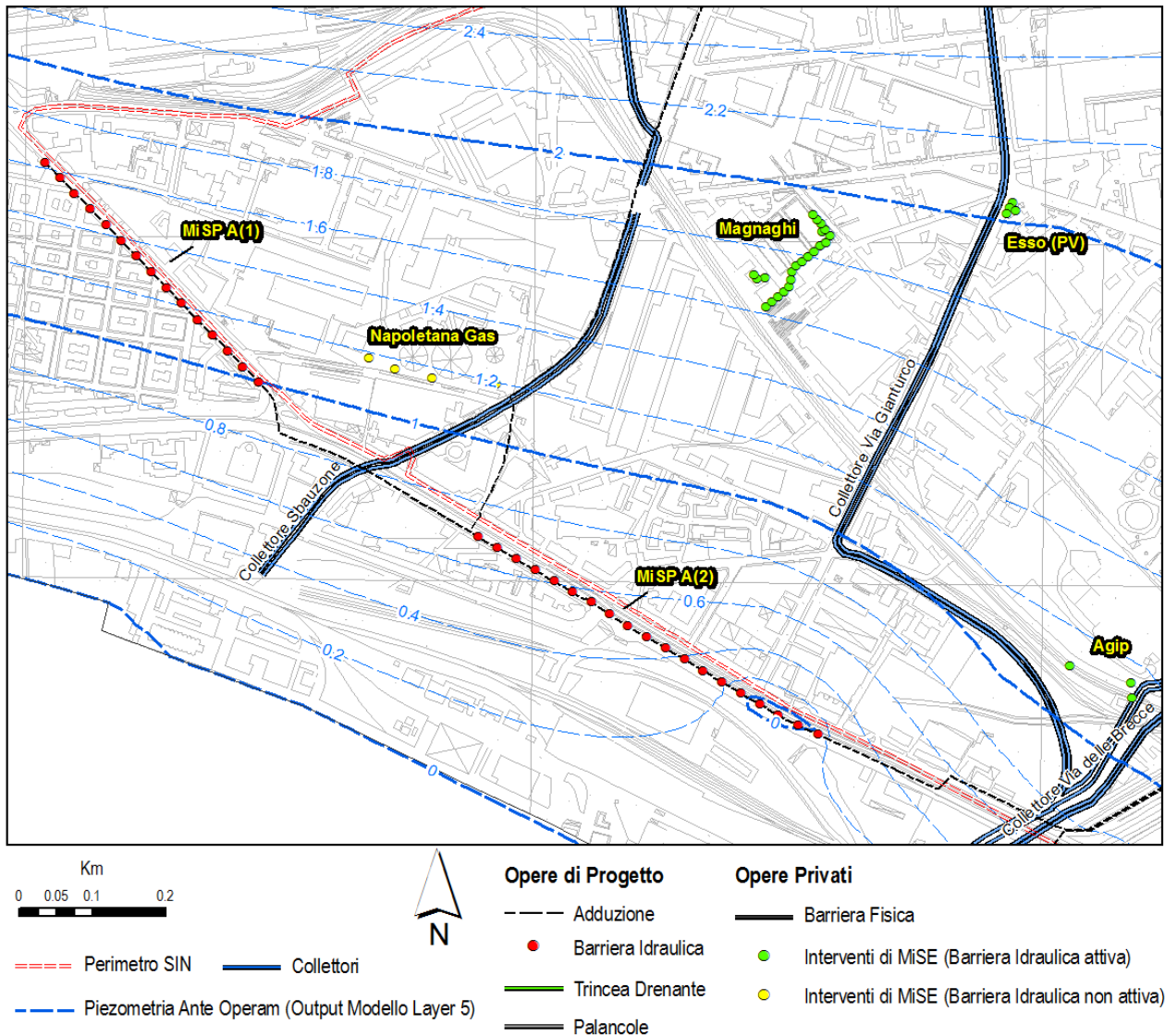


Figura 116 - Interventi di progetto MiSPT (A) con piezometria Post Operam (Output Modello Layer 5).

- **MiSPT (B)**

Il tratto interessato dal MiSPT (B) è lungo 750 metri, per rendere efficace lo sbarramento idraulico sono stati definiti un numero di pozzi pari a 24 con un interasse medio ottimale di 30 metri, variabile tra un minimo di 25 ed un massimo di 35 metri come già specificato per il MiSPT (A). I pozzi dovranno avere una profondità massima di 15 metri per evitare fenomeni di *upconing*. Come per il MiSPT (A) lo sbarramento idraulico in esame avrà il compito di intercettare le acque di falda che defluiscono verso il mare proprio dal parte superiore del complesso acquifero facendo particolare attenzione a non produrre un richiamo del cuneo salino. Le portate specifiche dei singoli pozzi sono state ottimizzate sino ad ottenere un valore giornaliero medio pari a 31.7 m^3 , ovvero **$1.32 \text{ m}^3/\text{ora}$** pari a **$0.37 \text{ l/s}$** . Complessivamente l'intero sistema a regime avrà una portata giornaliera di 761 m^3 , che nell'esercizio annuale determina un emungimento di 0.28 Mm^3 .

Le portate saranno modulate e potranno avere delle variazioni rispetto al valore medio ottimale stimato in relazione alle condizioni sito specifiche di conducibilità idraulica. Il sistema così parametrizzato ha permesso di definire un'ampia zona di cattura e con carichi idraulici minimi di 0 metri s.l.m, ovvero il valore piezometrico da raggiungere per impedire il deflusso delle acque di falda verso mare come visibile dalla Figura 117 e Figura 118. Per realizzare questa condizione obiettivo sono stati indotti abbassamenti del livello piezometrico di circa 0.2 metri lungo il settore ovest e di 0.1 metri nella parte più ad est. La parte inferiore del sistema acquifero, al di sotto dei depositi tufacei, ovvero a profondità superiori a circa 40 metri dal p.c., non risente dell'effetto di perturbazione cagionato dalla barriera idraulica e il deflusso naturale verso mare non viene alterato, così come dimostrato dalla Figura 119. L'efficienza idraulica della barriera è verificata dalla cattura completa dei filetti fluidi provenienti dal monte idrogeologico della barriera, come riportato in Figura 109, Figura 110 e Figura 111.

L'effetto di abbattimento della piezometria svolto dalla barriera permette di creare appunto una vasta zona a gradiente nullo in tutto il fronte a valle idrogeologica alla barriera fronte mare. Questa situazione indotta produce una sostanziale annullamento dei flussi di falda verso mare nel tratto ricompreso tra la barriera ed il limite marino. Data l'estrema vicinanza alla linea di costa, in fase di esecuzione e di gestione del sistema dovranno essere messi a punto opportuni sistemi di controllo del carico idraulico nei pozzi barriera, così da impedire che in relazione a variazioni di livello indotte da mutate condizioni stagionali oppure legati alle oscillazioni del livello di base marino, possano produrre un abbassamento del livello idraulico al di sotto di 0 metri slm. Data la complessità nella definizione degli equilibri dei livelli in un sistema interessato anche da opere antropiche di notevole impatto nelle dinamiche di flusso, si ritiene che le portate definite dal modello debbano essere necessariamente attentamente verificate con le specifiche caratteristiche idrodinamiche sito specifiche in fase di esecuzione.

Durante le fasi di progettazione è stata presa in considerazione una diversa localizzazione dei pozzi di MiSPT(B), più distanti dalla linea di costa per ridurre i rischi di intrusione del cuneo

salino. Purtroppo non è stato possibile allineare i pozzi in corrispondenza della barriera fisica dell'Autorità Portuale dato che, in fase di analisi delle interferenze proprio in tale settore, sono state individuate strutture in sotterraneo che hanno impedito ipotesi progettuali diverse da quelle proposte, come ad esempio la realizzazione di trincee drenanti e/o barriere fisiche, e anche di completare la barriera fisica dell'Autorità Portuale. La difficoltà di accesso a tale aree e la cantierizzazione stessa in un area altamente urbanizzata ha pilotato la progettazione verso soluzioni più versatili e di facile realizzazione come la realizzazione di pozzi, pur evidenziando il rischio di salinizzazione delle acque costiere data la vicinanza delle aree di intervento dalla linea di costa. Si ricorda comunque che a valle idrogeologica della MiSPT(B), nel tratto fronte mare più ad est, è presente un sistema di barrieramento fisico con palancole che riduce il rischio di richiamo del cuneo salino.

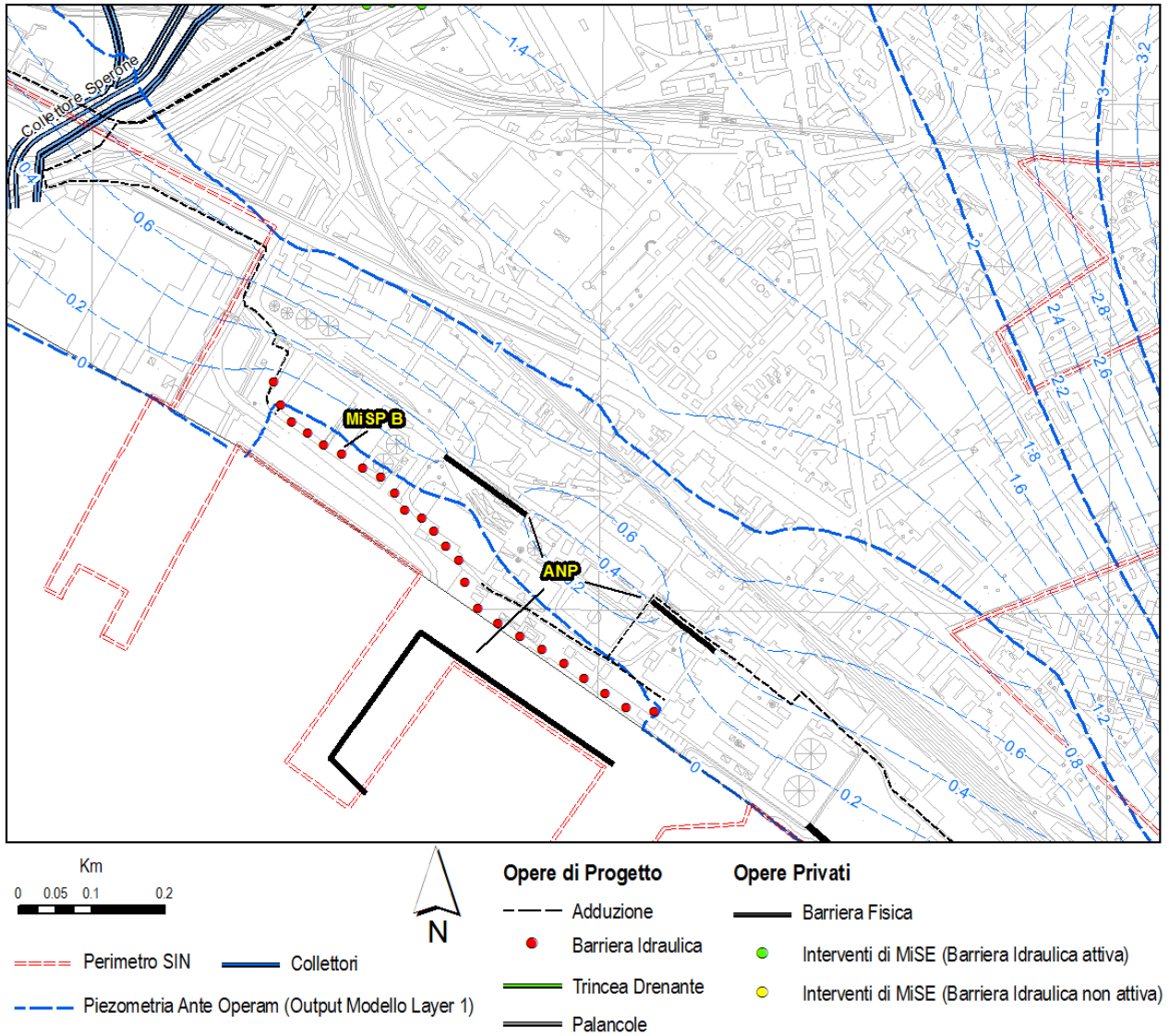


Figura 117 - Interventi di progetto MiSPT (B), MiSPT (I) con piezometria Post Operam (Output Modello Layer 1).

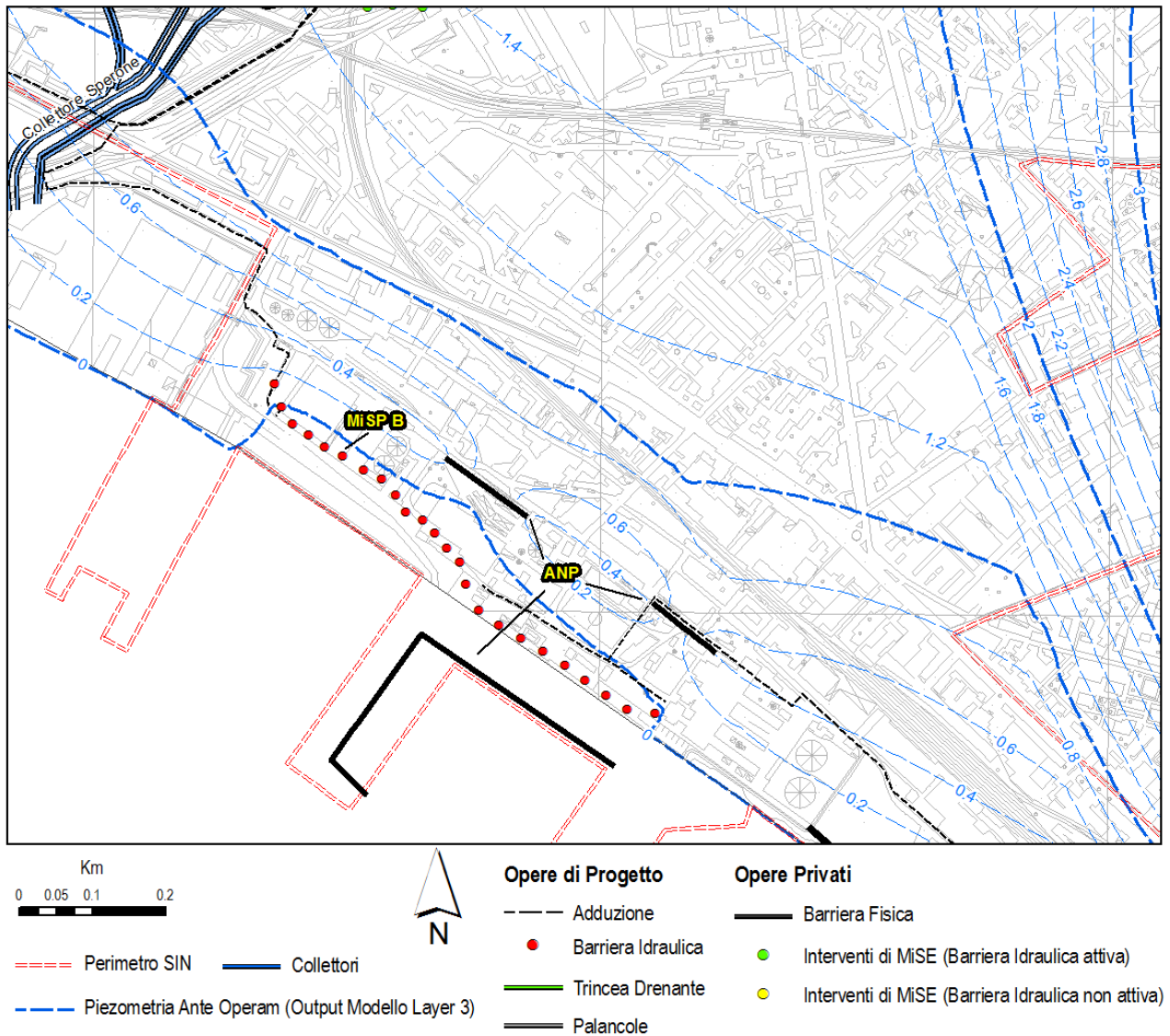


Figura 118 - Interventi di progetto MiSPT (B), MiSPT (I) con piezometria Post Operam (Output Modello Layer 3).

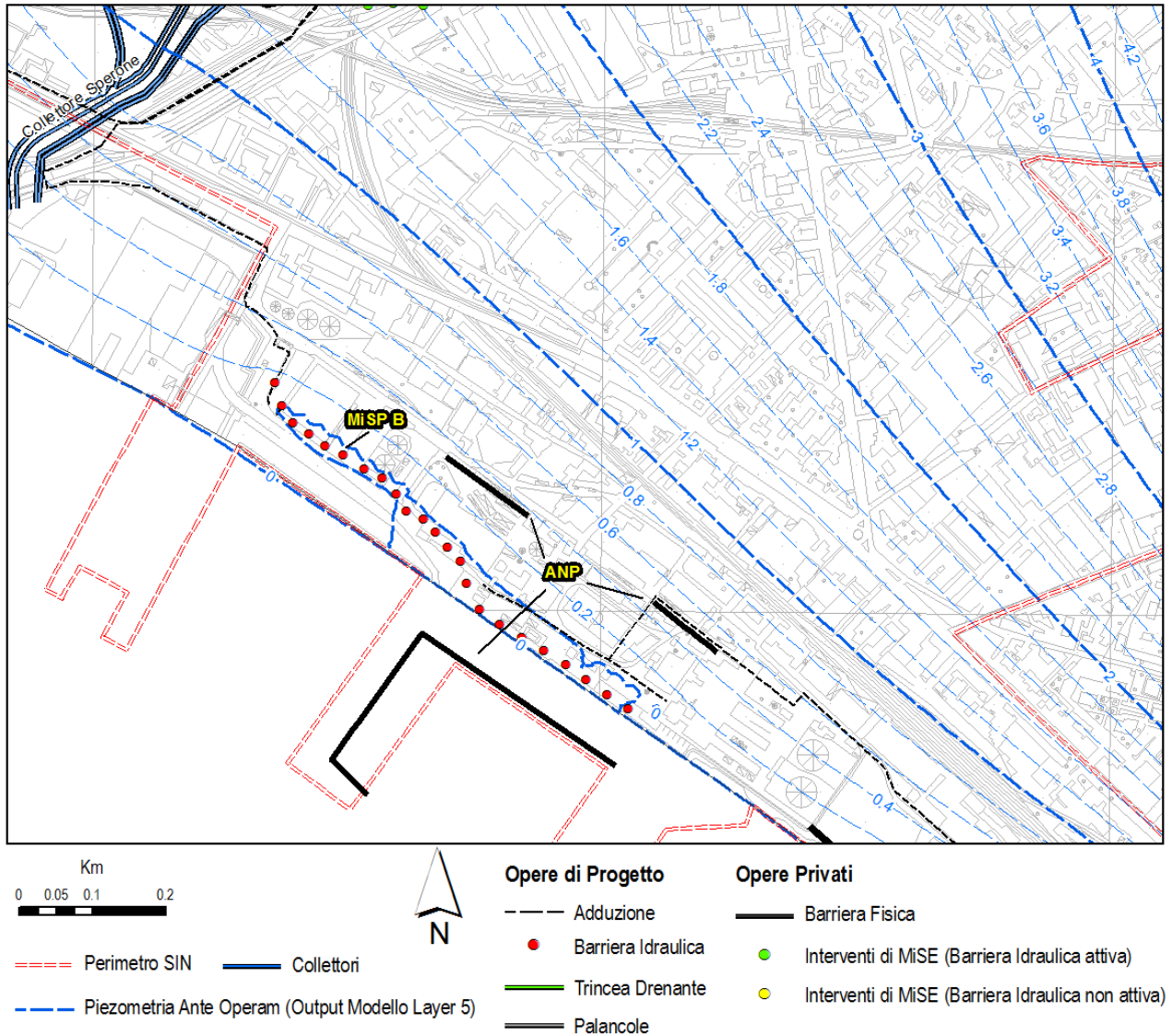


Figura 119 - Interventi di progetto MiSPT (B) con piezometria Post Operam (Output Modello Layer 5).

- **MiSPT (C)**

Il tratto interessato dal MiSPT (C) è lungo 480 metri, per rendere efficace idraulicamente il sistema sono stati definiti un numero di pozzi pari a 15 con un interasse medio ottimale di 35 metri, variabile tra un minimo di 30 ed un massimo di 40 metri. I pozzi dovranno avere una profondità massima di 15 metri, così da intercettare il flusso di falda superficiale interessato dalla contaminazione. Le caratterizzazioni ambientali dell'area infatti, danno indicazioni specifiche e dettagliate sulla porzione di falda superficiale sino a 15-20 metri di profondità dal piano campagna. La scarsità dei dati sulla qualità ambientale delle acque nella parte più profonda dell'acquifero non ha permesso di ricostruire concettualmente lo sviluppo verticale della contaminazione nelle acque sotterranee all'interno del SIN. In fase progettuale si è dunque optato per una profondità massima dei pozzi pari a 15 metri seguendo alcuni criteri sito specifici, quali:

(1) Corrispondenza con le caratteristiche progettuali delle MiSE limitrofe, infatti i sistemi di barriera idraulico presenti nelle aree Q8 (KRC), quelli nel deposito Esso e Whirlpool sono stati impostati su profondità medie ricomprese tra 10 e 15 metri;

(2) La vicinanza alle potenziali aree di inquinamento primarie, come verificato dalle caratterizzazioni ambientali nelle singole aree private, sta ad indicare come i plumes di contaminazione, che si originano da tali aree, non possano approfondirsi e svilupparsi lungo la verticale delle acque di falda, in ragione del fatto che lo spazio percorso dai plumes, sino ai punti di barriera è piuttosto ridotto. Ciò impedirebbe infatti ai plumes di raggiungere le porzioni più profonde della falda per il solo effetto di dispersione verticale in fase di moto. Quindi agendo nelle aree più prossime alle sorgenti si ha la facoltà e la possibilità di ridurre la profondità di azione dei pozzi, agendo sulla falda superficiale, almeno per quanto riguarda la cattura delle fasi solubili degli inquinanti.

(3) Le indicazioni idrogeologiche delle singole aziende, in accordo con quanto definito da diversi autori, ha permesso di ricostruire un assetto piezometrico dell'area in cui è presente una componente di flusso idrico verticale a partire dai livelli più profondi della falda verso quelli più superficiali. Come già evidenziato nel paragrafo 2.6.2, commentando le soluzioni del modello, è possibile apprezzare un aumento del carico idraulico procedendo verso i layers inferiori del sistema, con un gradiente idraulico minimo, ma apprezzabile, dal basso verso l'alto. Questa situazione specifica impedisce ai plumes di contaminazione di potersi approfondire lungo la verticale rimanendo circoscritta alla parte superiore della falda. Secondo questo schema di circolazione idrica sotterranea la falda profonda risulterebbe naturalmente protetta da eventuali fenomeni di contaminazione. Infatti, secondo il modello classico di trasporto degli inquinanti in falda di tipo Fickiano (Fetter, 2001), è la componente advettiva, costituita dal vettore velocità di flusso, a governare e regolare principalmente i meccanismi di trasporto. Il flusso di massa inquinante è regolato anche dal fenomeno dagli scambi dispersivi definiti dal coefficiente di dispersione idrodinamica. Questo parametro è

costituito dalla combinazione di alcuni fattori fisici, quali dalla dispersione meccanica, e chimici come la diffusione molecolare.

Quest'ultima avviene per i costituenti ionici o molecolari che si muovono entro la massa liquida sotto l'influenza della loro attività cinetica (movimenti bröwniani) in direzione del gradiente di concentrazione, anche in assenza di moto nell'acqua. La diffusione causa l'espansione del contaminante come il risultato della velocità di fluttuazione molecolare. Alla diffusione molecolare va sommato l'effetto dovuto al fenomeno della dispersione meccanica che è causato dall'eterogeneità del mezzo il quale crea variazioni di velocità e di percorsi di trasporto del contaminante. La dispersione idrodinamica rappresenta quindi, nel suo insieme, l'effetto complessivo di una serie di condizioni microscopiche (diffusione molecolare) e macroscopiche (dispersione meccanica) che influenzano la migrazione del fronte di contaminazione nell'ambito del sistema acquifero.

A scala macroscopica la dispersione è dovuta principalmente alle variazioni di conducibilità idraulica e di porosità, le quali creano a loro volta una irregolare distribuzione della velocità di filtrazione nel mezzo acquifero. Il fenomeno della diffusione di solito avviene con velocità molto basse o con trasporto di massa che richiede tempi molto lunghi. Tipici valori di diffusione, relativamente costanti, cadono nell'intervallo da 10^{-8} m²/s e 10^{-11} m²/s a 25°C (Spitz & Moreno, 1996). E' evidente come l'impatto di questo coefficiente sia in genere limitato ed in certi casi trascurabile rispetto al termine advettivo e di dispersione meccanica del moto. E' proprio per questo motivo che la probabilità di propagazione degli inquinanti disciolti in falda nelle porzioni più profonde dell'acquifero sono limitate, in quanto ciò può avvenire solo per effetto di diffusione molecolare, considerato che nelle aree più depresse del sito (ex Fintecna, area del Sebetto etc), si registra un livello di falda in lieve pressione (gradienti idraulici con componente di moto sub verticale).

In fase di ottimizzazione, facendo fede alla simulazione dei plmes di contaminazione che insistono nell'area, si è stabilito che risulta essere sufficiente l'impiego di 12 pozzi del sistema, 6 dislocati al limite meridionale al confine con la MiSE della Whirlpool e altri 6 lungo il limite nord al confine con la barriera della Q8(KRC). I 3 pozzi posti al centro del sistema pertanto avranno il ruolo di monitoraggio dell'efficienza del sistema e potranno essere messi in funzione nel caso in cui fossero rilevati inquinanti.

I 12 pozzi attivi dunque avranno portate specifiche per ogni singolo pozzo pari a **45.8 m³/ora**, ovvero **1.91 m³/ora** pari a **0.53 l/s**. Complessivamente l'intero sistema a regime avrà una portata giornaliera di 550 m³, che nell'esercizio annuale determina un emungimento di 0.20 Mm³. Il sistema così parametrizzato ha permesso di definire un'ampia zona di cattura e con carichi idraulici minimi compresi tra 1.6 e 1.9 metri s.l.m, per un'area circostante alla MiSPT (C), sommandosi ai contributi delle barriere Q8 e Whirlpool (Figura 120 e Figura 121). In particolare si viene a creare un basso piezometrico in grado di richiamare le acque di falda per un'area molto ampia, sia da monte che da valle idrogeologica dei pozzi stessi, massimizzando gli effetti delle stesse MiSE presenti. La parte inferiore del sistema acquifero, al di sotto dei

30 metri non risente dell'effetto di perturbazione dalla barriera idraulica con un flusso che rispecchia le condizioni ante operam (Figura 122). L'efficienza idrochimica del sistema di pozzi è verificata dalla cattura completa dei plumes provenienti dal monte idrogeologico determinati con il modello di trasporto, come riportato nelle Figure in Allegato.

Al sistema appena descritto vanno aggiunti altri 3 pozzi dislocati nell'area a monte idrogeologico per il contenimento di due focolai di contaminazione da solventi clorurati, questi pozzi sono stati denominati MiSPT (C2), mentre quelli sopra descritti sono stati raggruppati nella MiSPT (C1). In fase di simulazione per i 3 pozzi della MiSPT (C2) è stata definita una portata di **0.57 l/s** e profondità di 15 metri dal piano campagna.

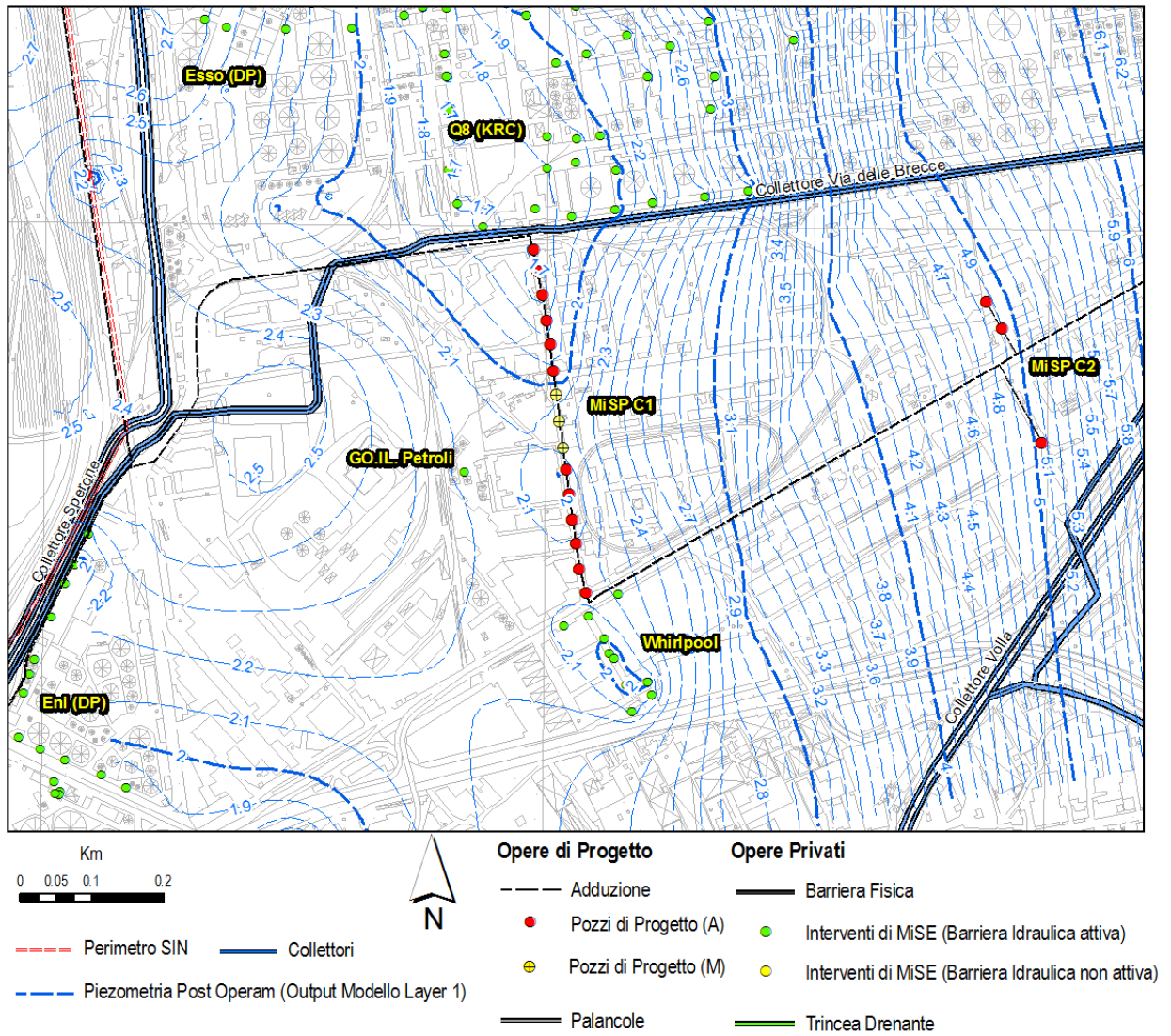


Figura 120 - Interventi di progetto MiSPT (C) con piezometria Post Operam (Output Modello Layer 1).

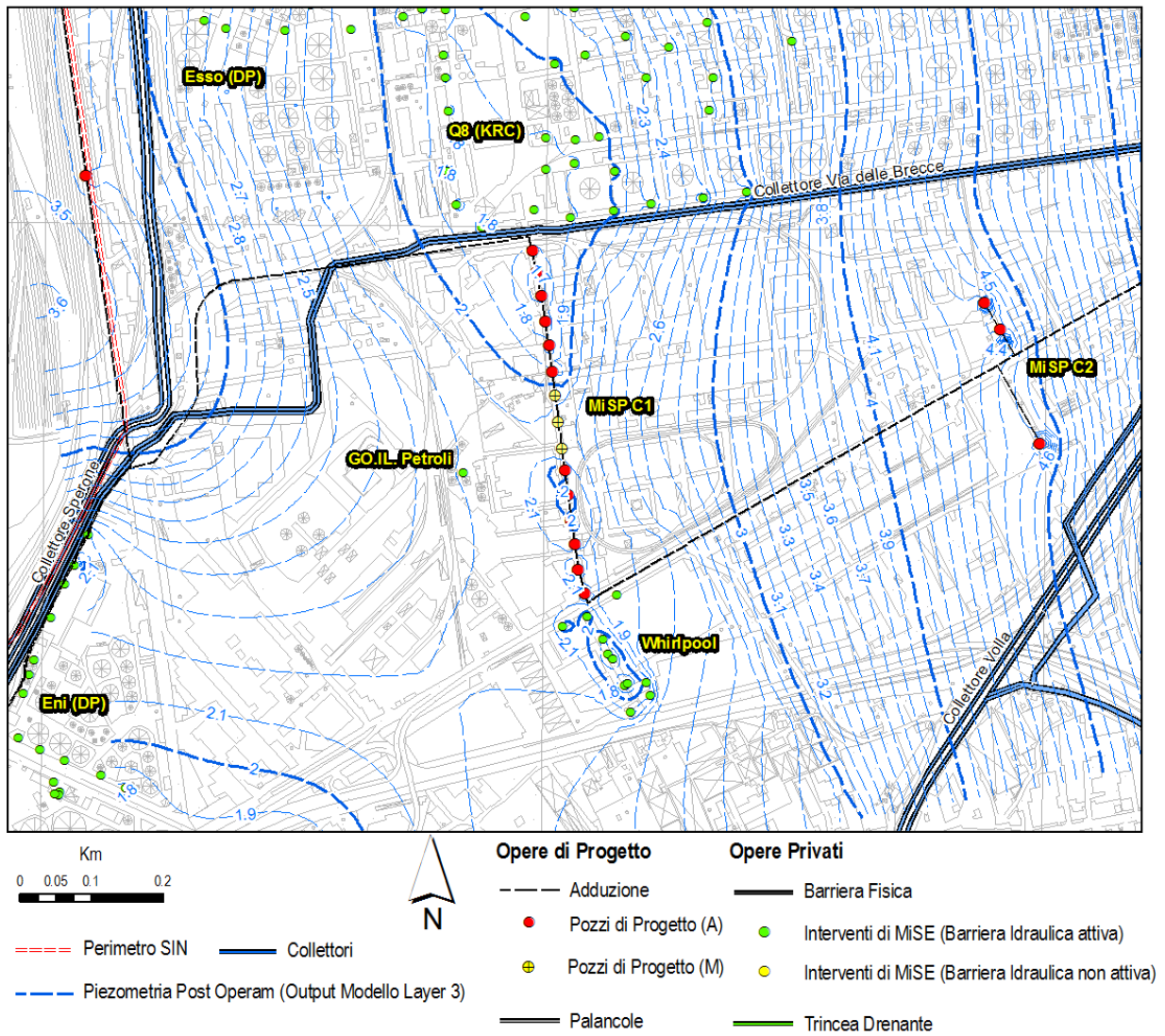


Figura 121 - Interventi di progetto MiSPT (C) con piezometria Post Operam (Output Modello Layer 3).

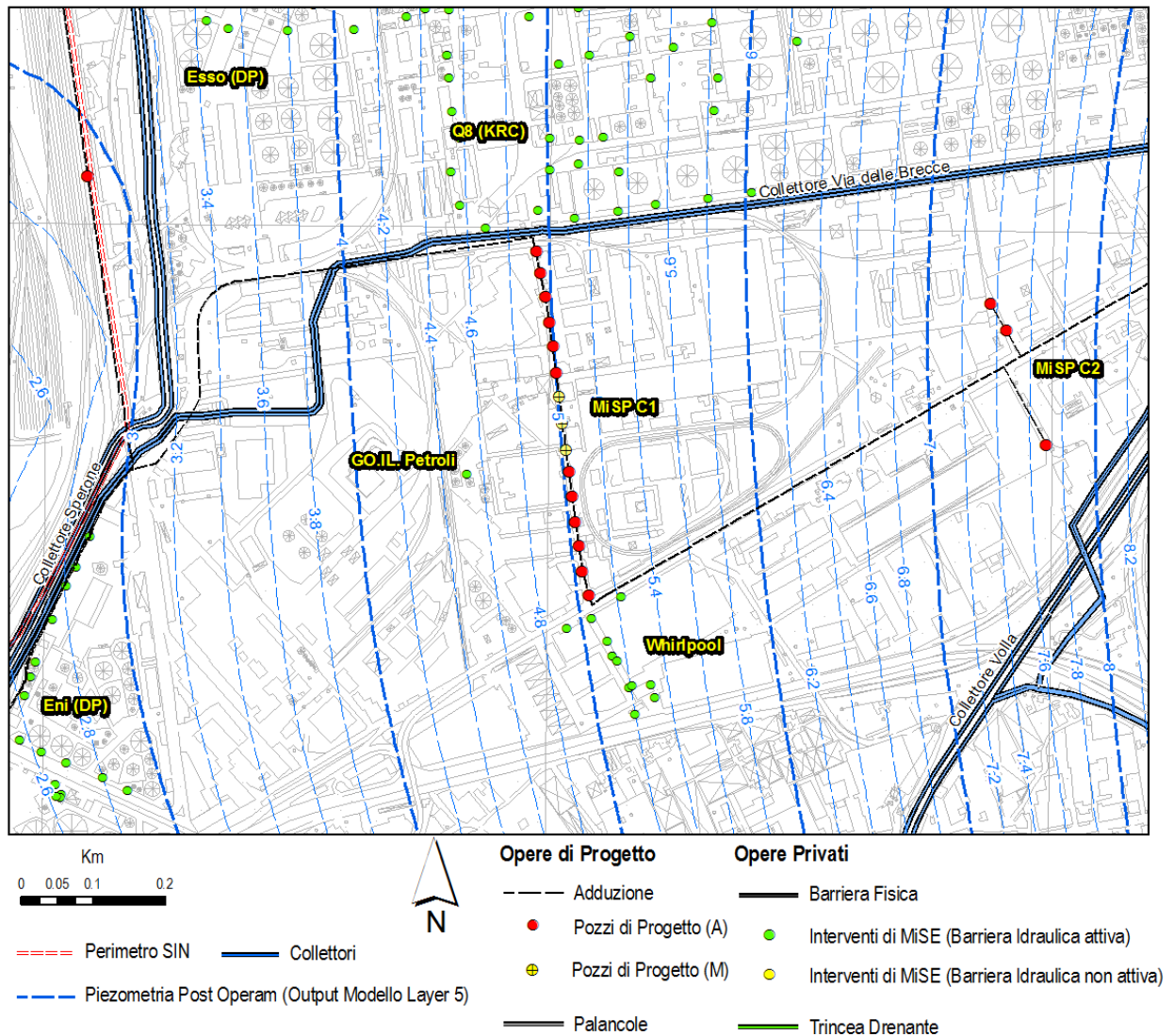


Figura 122 - Interventi di progetto MiSPT (C) con piezometria Post Operam (Output Modello Layer 5).

- **MiSPT (D) - MiSPT (E)**

Il tratto interessato dall'azione delle due MiSPT è lungo circa 1100 metri. Analizzando le direzioni di flusso della falda, ricostruiti dal modello, è possibile apprezzare come questi sia perpendicolare nel caso della MiSPT (D), con componente est ovest, mentre per il tratto interessato dalla MiSPT (E) ha un flusso di falda con componenti principali nord-est sud-ovest.

In fase ottimizzazione progettuale, sulla base dello studio della contaminazione, è stato scelto di associare tale allineamento E-W, non tanto per la ortogonalità alle direzioni di flusso della falda, in quanto in questo settore risultano essere principalmente orientate NE – SW, piuttosto per garantire le adeguate misure idrauliche atte ad intercettare la contaminazione rilevata nel settore posto a nord di via De Roberto. In ogni modo la MiSPT(E), pur non essendo ortogonale alla direzione di flusso, come dimostrato dalla soluzione ante operam (Figura 100), ha il ruolo di intercettare le acque di falda contaminate dirette proprio lungo tale allineamento di pozzi, come mostrato dalla soluzione post operam in Figura 122 e 123.

La MiSPT (D) assolve un ruolo principale nel regime dei flussi locali e di fatto, secondo le caratteristiche progettuali derivati in fase di ottimizzazione, individua il minimo piezometrico dell'area con valori minimi calcolati ai pozzi pari a circa 2.4 – 2.6 metri s.l.m (Figura 123 e Figura 124). Questa barriera va a indurre un basso piezometrico nell'area più depressa topograficamente, originariamente interessata dalla canalizzazione di bonifica e dal canale Sebeto che drenavano le acque di falda. La MiSPT (D) non solo determina lo sbarramento idraulico delle acque di falda provenienti dal settore est, ma anche di stabilizzazione della piezometria che in tale area presenta specifiche criticità, come dimostrato dalla carta delle potenziali risorgive (Figura 94). Si evidenzia come in seguito alla messa in funzione dei pozzi sopra descritti gli abbassamenti piezometrici indotti riducono sensibilmente le aree di potenziale risorgiva (Figura 113) per il contestuale aumento soggiacenza della falda (Figura 112).

La continuità delle MiSPT(D) e (E), nella fase di progettazione è stata valutata attentamente cercando di ottimizzare il numero e la portata dei pozzi a parità di efficienza. Si è potuto constatare come, aumentando gli emungimento dei pozzi del limite nord della MiSPT(D) e quelli ad ovest dell'allineamento MiSPT(E), sia possibile semplificare l'intervento, in ragione anche delle complicazioni urbanistico infrastrutturali, pur garantendo lo stesso grado di efficienza di cattura dei plumes simulati con un numero minore di pozzi, in quanto i bassi piezometrici prodotti dalle due linee, associato al raggio di influenza dei pozzi, sono in grado di richiamare completamente le acqua di falda inquinate provenienti da monte idrogeologico (settore est area Fintecna).

Per rendere efficace lo sbarramento idraulico e la rimozione della massa inquinante nelle aree in cui sono stati rilevati i principali hot spot è stato schematizzato un sistema di pozzi composto in due gruppi. Un insieme di 5 pozzi, denominato MiSPT (D1), dislocati lungo la

strada che delimita l'area Fintecna, con un interasse medio ottimale di 50 metri, variabile tra un minimo di 45 ed un massimo di 55 metri, che sbarrata il flusso verso valle idrogeologica. Nell'area in cui sono stati rilevati i principali hot spot di contaminazione, interni alla proprietà privata Fintecna, sono stati dislocati altri 4 pozzi che hanno la funzione di emungere e abbattere la massa di contaminazione, denominati MiSPT (D2). Il funzionamento di questi pozzi permetterà di ridurre i tempi di bonifica della falda agendo nelle aree più prossime alle ipotetiche sorgenti. Tutti i pozzi dovranno avere una profondità massima di 15 metri, così da intercettare il flusso di falda superficiale interessato dalla contaminazione così come rilevata dalla caratterizzazione. In fase di ottimizzazione sono state individuate le portate specifiche dei singoli pozzi per un valore giornaliero medio pari a **44 m³**, ovvero **1.83 m³/ora** pari a **0.51 l/s** per quanto riguarda la MiSPT (D1), e di **53.8 m³/giorno (0.62 l/s)** per i pozzi della MiSPT (D2). Complessivamente l'intero sistema a regime avrà una portata giornaliera di **435 m³**, che nell'esercizio annuale determina un emungimento di 0.159 Mm³. Associato alla MiSPT (D1) è stato previsto di aggiungere due ulteriori pozzi con la funzione di monitoraggio dell'efficienza di emungimento e richiamo della contaminazione, che potranno essere messi in funzione nel caso in cui fossero rilevati inquinanti durante la fase di esercizio. Questi due pozzi avranno le stesse portate e le stesse caratteristiche costruttive degli altri (**0.51 l/s**).

Nel settore in corrispondenza del piezometro P49 di ARPAC, dati i superamenti a solventi clorurati rilevati, è previsto un pozzo di P&T, denominato MiSPT (D3), collegato alla linea di adduzione della MiSPT (D1) e (D2). Il pozzo profondo 15 metri avrà una portata di esercizio di **0,57 l/s**.

La MiSP (E) è stata dislocata lungo via De Roberto in prossimità dei principali superamenti rilevati nell'area a monte idrogeologica per un totale di 10 pozzi complessivi, denominati MiSPT (E1). Per questi pozzi si hanno le stesse condizioni geometriche descritte per la D (profondità di 15 metri) e portate variabili per i singoli pozzi con una media giornaliera di 40.0 m³, ovvero **1.67 m³/ora** pari a **0.46 l/s**. Lungo il settore nord, data la presenza di due aree in cui sono stati rilevati superamenti di composti organoalogenati è stata prevista la presenza di 3 pozzi, denominati MiSPT (E2), atti a contenere lo sviluppo e la diffusione della contaminazione verso valle. Questi pozzi avranno una portata di **2.29 m³/ora**, pari a **0.64 l/s**.

Complessivamente l'intero sistema a regime avrà una portata giornaliera di 565 m³, che nell'esercizio annuale determina un emungimento di 0.20 Mm³.

L'efficienza idraulica delle barriere è dimostrata dalla cattura completa dei plumes di contaminazione simulati provenienti dal monte idrogeologico, come riportato negli Allegati.

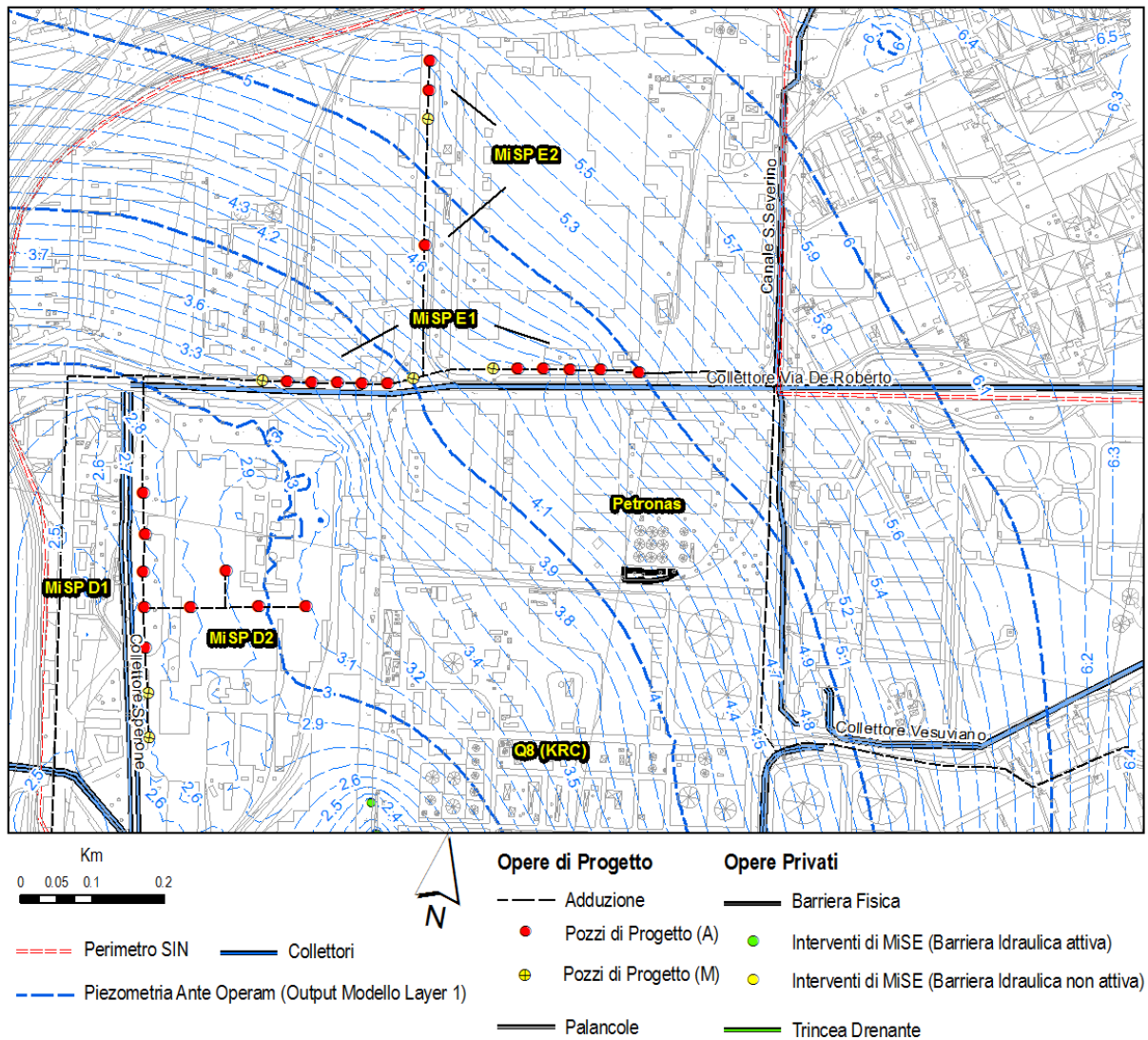


Figura 123 - Interventi di progetto MiSPT (D), MiSPT (E) con piezometria Post Operam (Output Modello Layer 1).

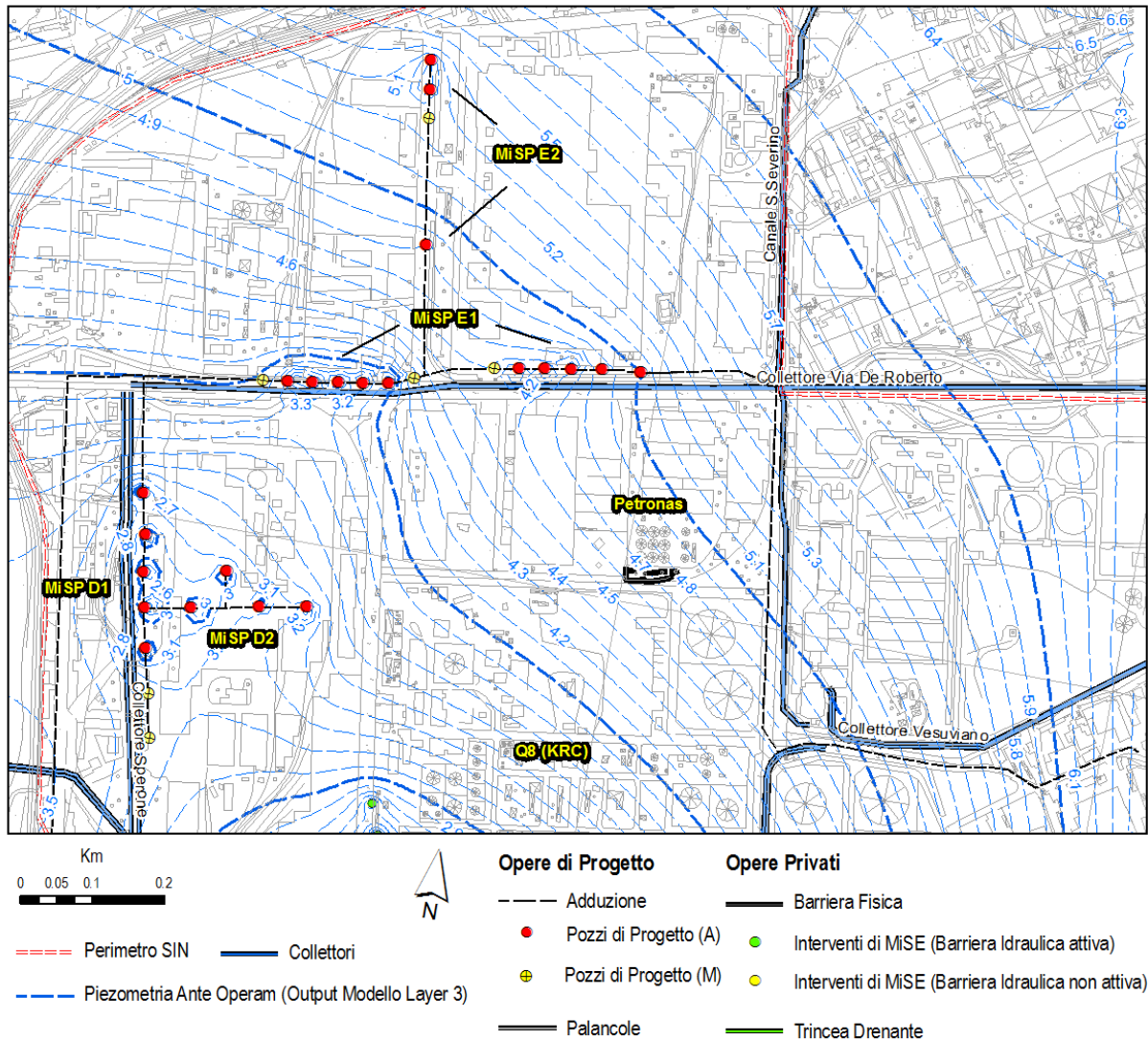


Figura 124 - Interventi di progetto MiSPT (D), MiSPT (E) con piezometria Post Operam (Output Modello Layer 3).

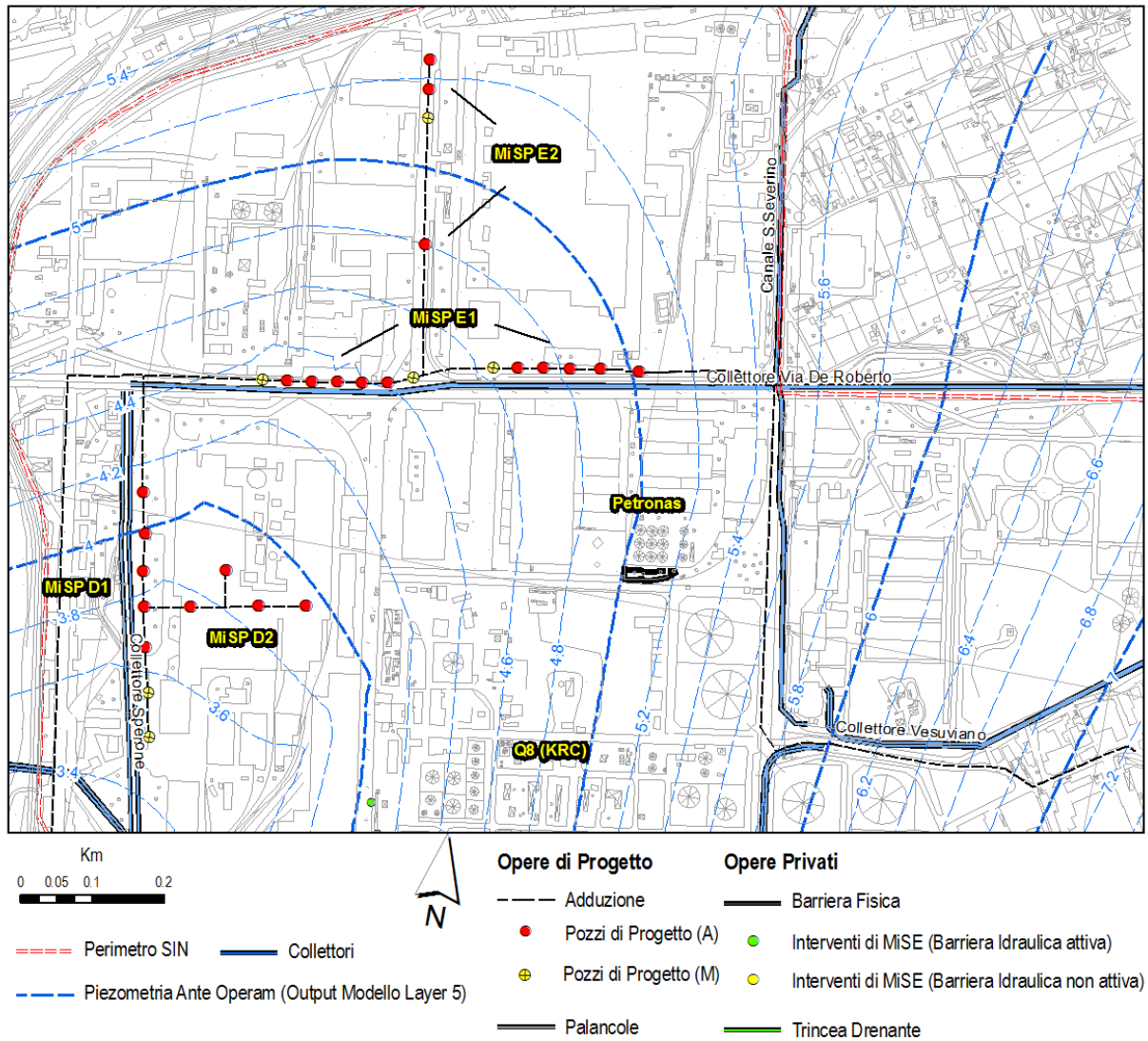


Figura 125 - Interventi di progetto MiSPT (D), MiSPT (E) con piezometria Post Operam (Output Modello Layer 5).

• **MiSPT (F)**

La trincea drenante a tergo della barriera fisica prevista in quest'area per impedire il deflusso delle acque di falda inquinate che interessano il sito avrà la funzione di regolare e stabilizzare il livello piezometrico a monte idrogeologico. La trincea deve massimizzare gli effetti di contenimento degli innalzamenti del livello piezometrico riducendo al minimo le portate. La quota di esercizio della trincea dovrà essere pari a 0 metri s.l.m, e determinare un abbattimento del livello piezometrico di circa 0.1 - 0.2 metri, così da mantenere un carico idraulico riferibile a quello di base del mare, con una profondità della trincea dal piano campagna pari a circa 1.5 - 2 metri considerando le quote topografiche medie dell'area. Le simulazioni e le stime analitiche preliminari indicano in circa 363 m³/giorno, pari a **15.1 m³/ora**, le portate affluenti nella sezione fronte mare nei primi 20-25 metri di profondità dal piano campagna, considerando una lunghezza in proiezione sul fronte di falda delle opere pari a 310 metri. Con queste caratteristiche le portate della trincea sarebbero circa pari a **4.2 l/s**, con una stima annua di circa 0.11 Mm³ prelevati.

Tabella 4 - Parametri progettuali dei sistemi di MiSPT (A) e (B).

INTERVENTI DI PROGETTO - BARRIERE IDRAULICHE (MiSP)				
Dati di Progetto	MiSP A1	MiSP A2	MiSP A3	MiSP B
Lunghezza settore	450 m	550 m	125 m	750 m
Portata Modello	1240 m ³ /day	1482 m ³ /day	186 m ³ /day	761 m ³ /day
	51.7 m ³ /h	61.8 m ³ /h	7.8 m ³ /h	31.7 m ³ /h
	14.4 l/s	17.2 l/s	2.2 l/s	8.8 l/s
n° Pozzi	15	19	5	24
Interasse Pozzi	30 m	30 m	30 m	25-30 m
Profondita' Pozzi	15 m	15 m	15 m	15 m
Q singolo Pozzo	82.7 m³/day	78.0 m³/day	37.2 m³/day	31.7 m³/day
	3.44 m ³ /h	3.25 m ³ /h	1.55 m ³ /h	1.32 m ³ /h
	0.96 l/s	0.90 l/s	0.43 l/s	0.37 l/s
Q complessiva MiSP	1240 m³/day	1482 m³/day	186 m³/day	761 m³/day
	0.45 Mm ³ /year	0.54 Mm ³ /year	0.07 Mm ³ /year	0.28 Mm ³ /year
Incidenza Q totale	33.80 %	40.39 %	5.07 %	20.74 %
Abbassamenti carico idraulico	max 2.0 m	0.8 m	0.4 m	0.4 m
	min 1.4 m	0.6 m	0.1 m	0.3 m
Carichi idraulici Ante Operam	max 2.0 m	0.8 m	1.4 m	0.4 m
	min 1.4 m	0.6 m	1.2 m	0.3 m
Carichi idraulici Post Operam	max 0.0 m	0.0 m	1.1 m	0.0 m
	min 0.0 m	0.0 m	1.0 m	0.0 m
Lunghezza linee intervento MiSP	1875 m			
Portata complessiva	42.5 l/s	3669 m ³ /day	1.34 Mm³/year	
n° Pozzi	63			

5. MODELLO DI FLUSSO DI DETTAGLIO DELL'AREA NORD EST DEL SIN

L'area oggetto di studio sopra descritta può essere suddivisa in tre aree in funzione dello stato di conoscenza dei dati ambientali del SIN e allo stato di avanzamento delle attività di caratterizzazione nelle singole aree/aziende presenti sul territorio.

Tale suddivisione trova fondamento anche nella differenziazione di origine e tipologia della contaminazione nonché delle diverse caratteristiche idrogeologiche riscontrabili nell'area che consentono di individuare 3 macro –aree di intervento.

In particolare vengono individuate le seguenti Macro - Aree:

- Aree porzione nord orientale del SIN (aree dove ricadono KRC e zone limitrofe, Deposito ESSO, Fintecna ecc.);
- Aree localizzate nel litorale est (Fico Costruzioni, Careon Srl Darsena Levante e aree limitrofe);
- Aree a monte del litorale ovest (ex deposito AgipPetroli e aree limitrofe).

Tale considerazione ha portato alla scelta di analizzare nel dettaglio le aree sopra citate e quindi di procedere per fasi alla realizzazione degli interventi descritti nei precedenti capitoli. Di seguito è riportata l'analisi di dettaglio della I FASE attuativa concernente le aree della porzione nord – orientale del SIN (MiSPT (C), (D), (E)). Al fine di avere una maggiore comprensione delle dinamiche di dispersione della contaminazione e una migliore precisione nel dimensionamento degli interventi, è stato pertanto necessario ricostruire un modello numerico di dettaglio per questa porzione di territorio.

Con tale obiettivo e sulla base dei dati ottenuti e calibrati nel modello a grande scala descritto nei capitoli precedenti, è stato predisposto il modello di diffusione e dispersione dei contaminanti per il settore nord – orientale del SIN.

5.1 Implementazione del modello di flusso di dettaglio

Il dominio di calcolo relativo all'area degli interventi della I Fase ha una superficie di 450 ettari, con dimensione pari a 2700x1650 metri complessivi, sufficientemente ampia da tenere conto degli effetti delle opere in un'area di influenza ritenuta delle condizioni al contorno locali e generali oltre che delle opere idrauliche già esistenti (Figura 126). Il maggiore dettaglio di analisi offerto da un dominio più piccolo e circoscritto alle aree di intervento ha permesso di discretizzare al meglio lo spazio orizzontale in corrispondenza di specifici settori come i canali di bonifica dove si esercitano i principali fenomeni di drenaggio della falda superficiale e nei settori occupati dai pozzi privati in funzione. Successivamente per migliorare il dettaglio delle soluzioni del modello sono state intensificate le discretizzazioni delle aree afferenti alle linee di progetto barriera a alle aree di intervento.

Per la schematizzazione verticale del modello si è fatto riferimento alle ricostruzioni delle superfici idrostratigrafiche elaborate per la ricostruzione del modello generale ed importate nel modello di dettaglio:

- Slice 1: Superficie topografica (Figura 129);
- Slice 2-3: Base delle alluvioni di ambiente fluvio-lacustre e depositi piroclastici (A+PR1) (Figura 130);
- Slice 4: Tetto dei depositi Tufacei (TV e TGN) (Figura 131);
- Slice 5: Base dei depositi Tufacei (TV e TGN) (Figura 132);
- Slice 6: Base del dominio di calcolo compreso nelle Piroclastiti inferiori (PR2)

Si riportano, inoltre, di seguito il modello 3D con la discretizzazione spaziale, la ricostruzione dei volumi delle diverse unità idrogeologiche individuate (Figura 133, Figura 134 e Figura 135).

Sono state specificate le condizioni al contorno del modello, nel dettaglio si distinguono le seguenti condizioni al contorno (BC):

- Limiti a potenziale imposto – Constant Head BC (condizioni di Dirichlet - I° tipo):

è stata attribuita lungo il limite NE del dominio, assegnando i valori di carico idraulico dedotti a partire dalle ricostruzioni piezometriche, in particolare un carico variabile con gradiente lineare dai 7.5 ai 6 metri s.l.m. I valori attribuiti ai modelli in stazionario sono stati oggetto di analisi di sensitività in fase di calibrazione.

- Limiti a flusso imposto – Constant Flow BC (condizioni di Neumann - II° tipo):

la condizione è stata utilizzata per implementare la ricarica per infiltrazione diretta da precipitazioni dalla superficie topografica e per simulare i prelievi dai pozzi industriali e di bonifica dell'area secondo le stime di portata giornaliera derivate per i singoli pozzi a disposizione.

- Limiti a flusso dipendente dal carico - Flow transfer BC (condizione di Cauchy – III° tipo): questa condizione è utilizzata per rappresentare flusso a carico dipendente, scambi idrici tra elementi di superficie e la falda o limiti fittizi. Nel caso in esame è stato utilizzato il limite per simulare l'effetto di drenaggio esercitato dalla vecchia rete di canali di bonifica interrati lungo la depressione del Sebeto-Volla. La stessa condizione è stata utilizzata per simulare i flussi in ingresso dal settore ovest e dal quello sud e nord del modello, preferendola al limite a potenziale imposto che costituisce una forzante troppo rigida al modello e potrebbe indurre a flussi in ingresso al sistema troppo elevati data la presenza di pozzi di emungimento presenti.

La conducibilità idraulica dei materiali acquiferi è stata attribuita sulla base della sintesi dei dati sperimentali partendo da quanto ottimizzato durante il processo di calibrazione del modello generale per ogni singola unità:

- Alluvioni (A) = Limi argillosi 5×10^{-7} m/s, Sabbie limose 1×10^{-5} m/s;
- Piroclastiti superiori (PR1) = 4×10^{-4} m/s;
- Piroclastiti inferiori (PR2) = 6×10^{-4} m/s;
- Tufo Giallo Napoletano e Tufi Vesuviani (TGN e TSV) = 1×10^{-7} m/s.

Contestualmente alle stesse zone litologiche sono stati assegnati valori di porosità efficace: $A=0.05$, PR1 e PR2=0.2, TGN e TSV=0.1; coefficiente di immagazzinamento (S_s) di 1×10^{-5} 1/m e potenzialità specifica (S_y) uguale alla porosità efficace. In fase di simulazione i valori dedotti dalla calibrazione del modello generale sono stati comunque fatti variare all'interno di un range di valori possibili compresi per ogni singola unità idrogeologica al fine di determinare l'insieme dei parametri idrodinamici che, sulla scala locale, potessero approssimare al meglio la piezometrica di riferimento.



Figura 126 – Area d'intervento di bonifica e MiSE – I Fase.

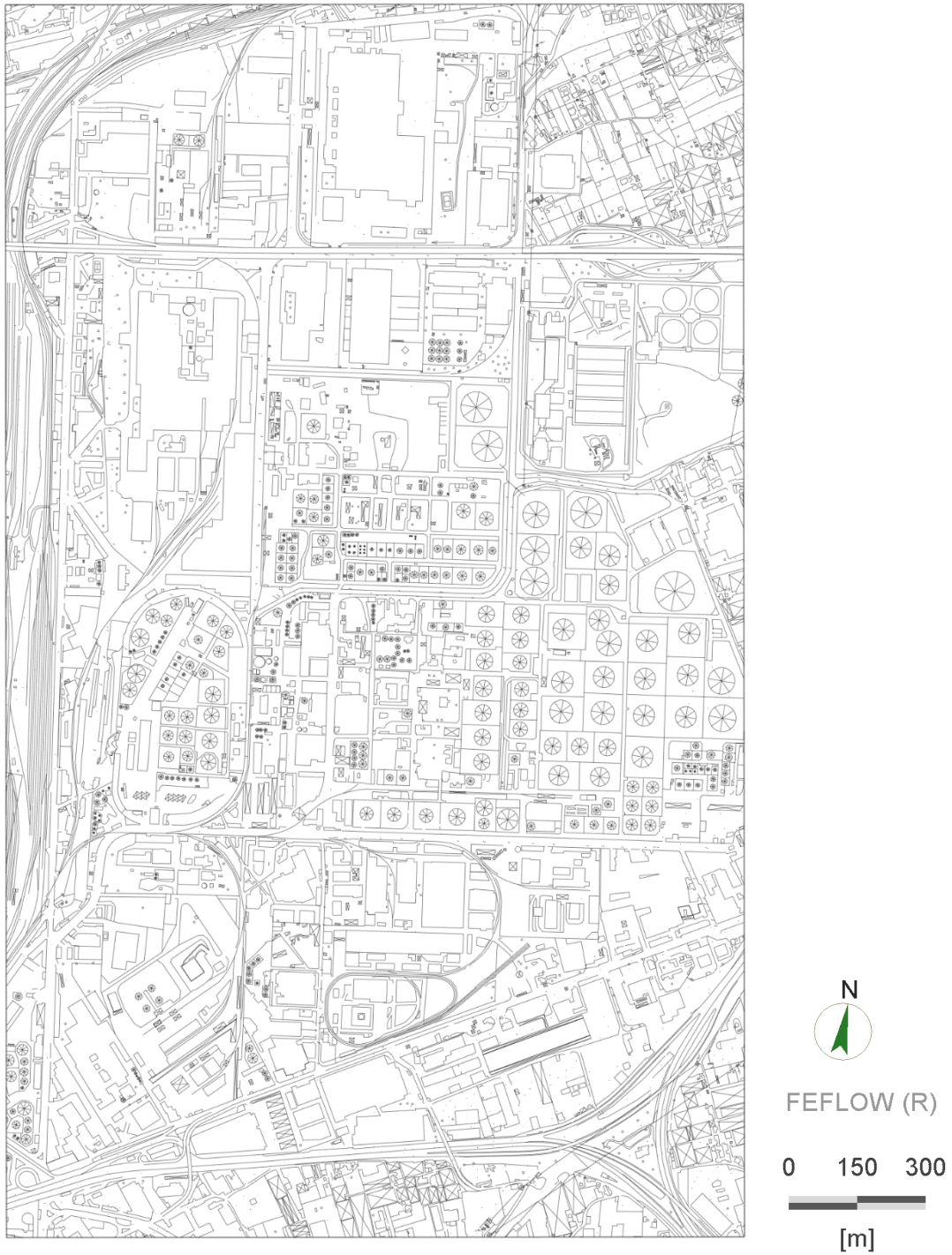


Figura 127 - Dominio di calcolo del modello numerico di dettaglio.

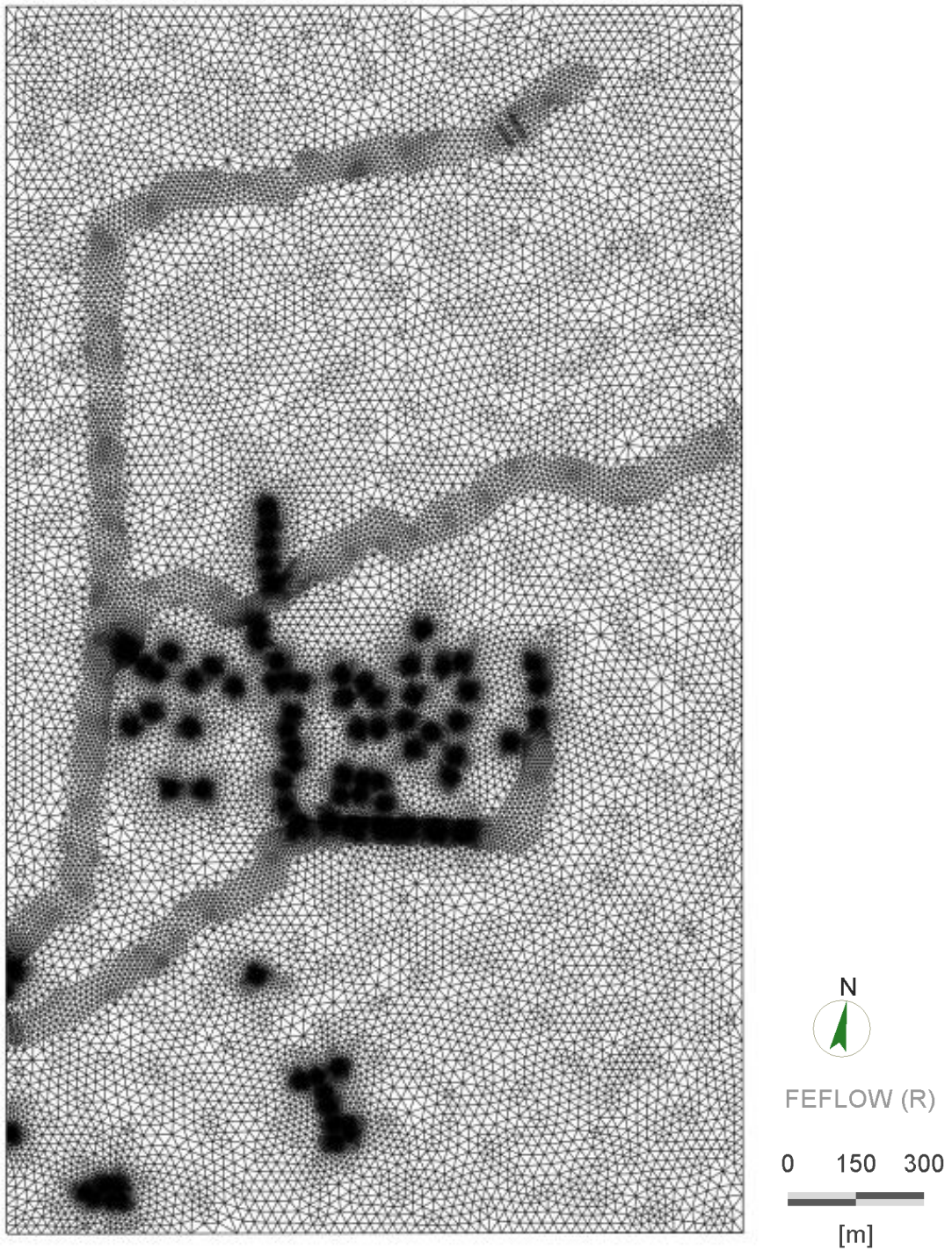


Figura 128 - Discretizzazione dello spazio orizzontale in mesh triangolari.

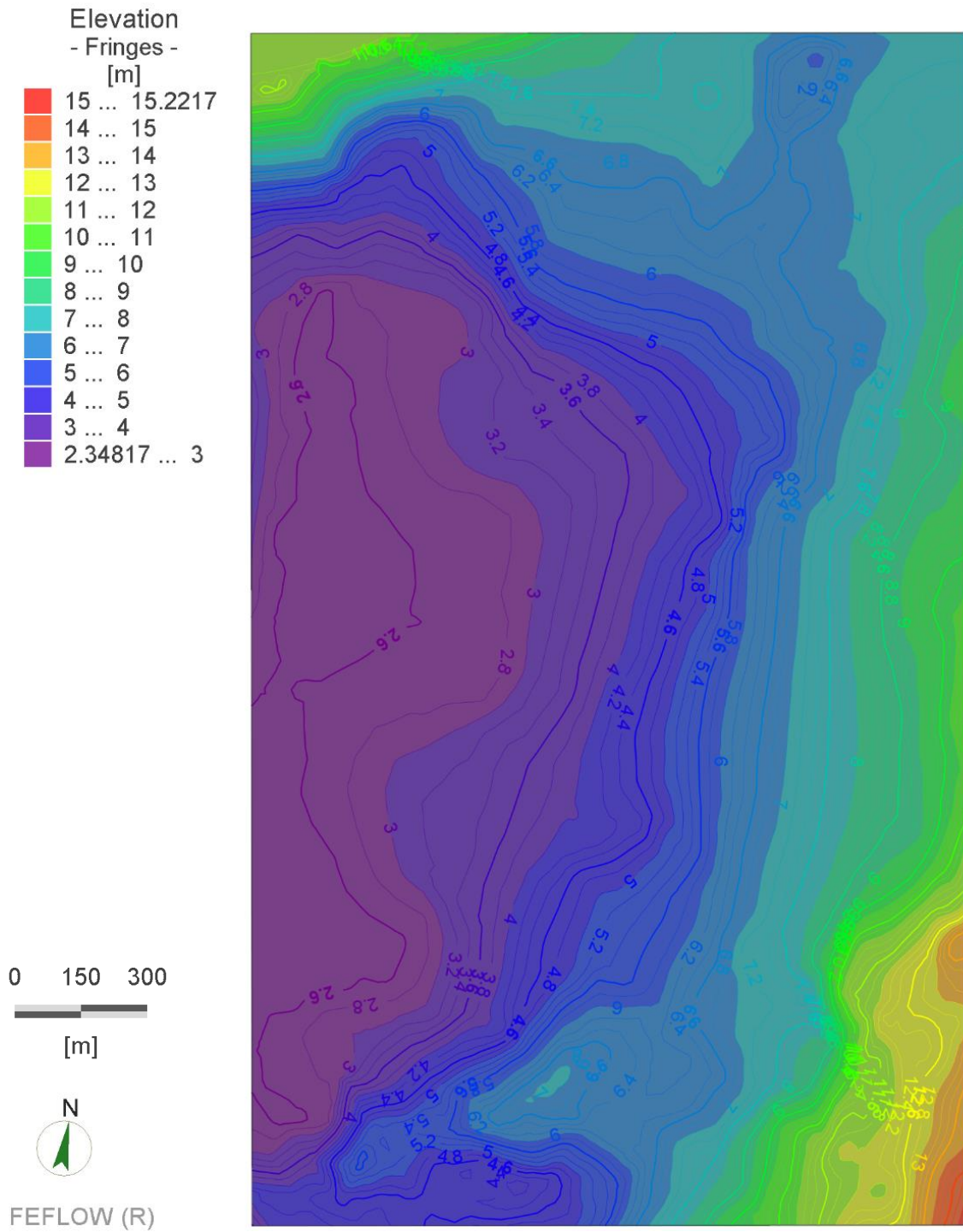


Figura 129 - Slice 1: Superficie topografica.

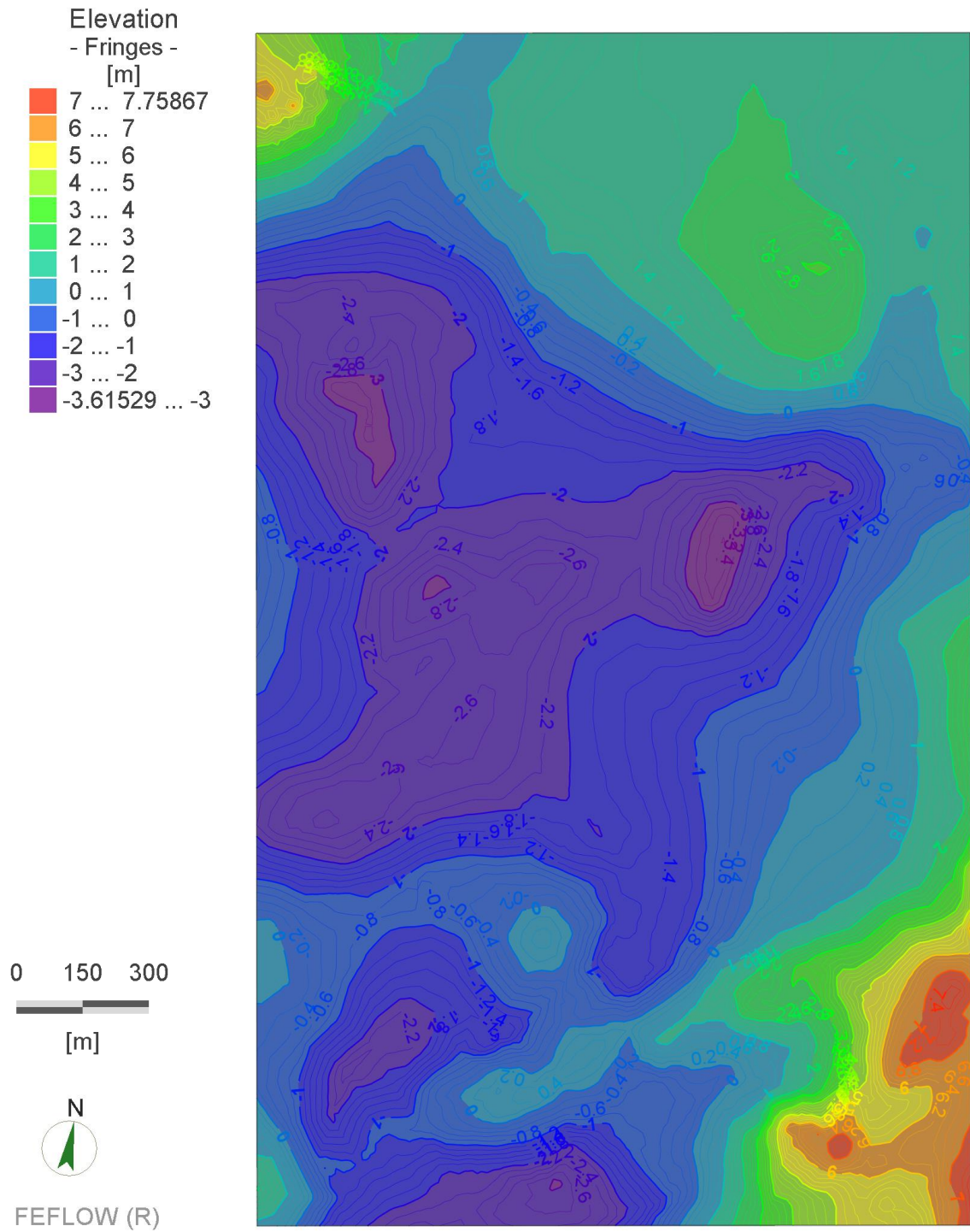


Figura 130 - Slice 3: Base delle alluvioni di ambiente fluvio-lacustre (A).

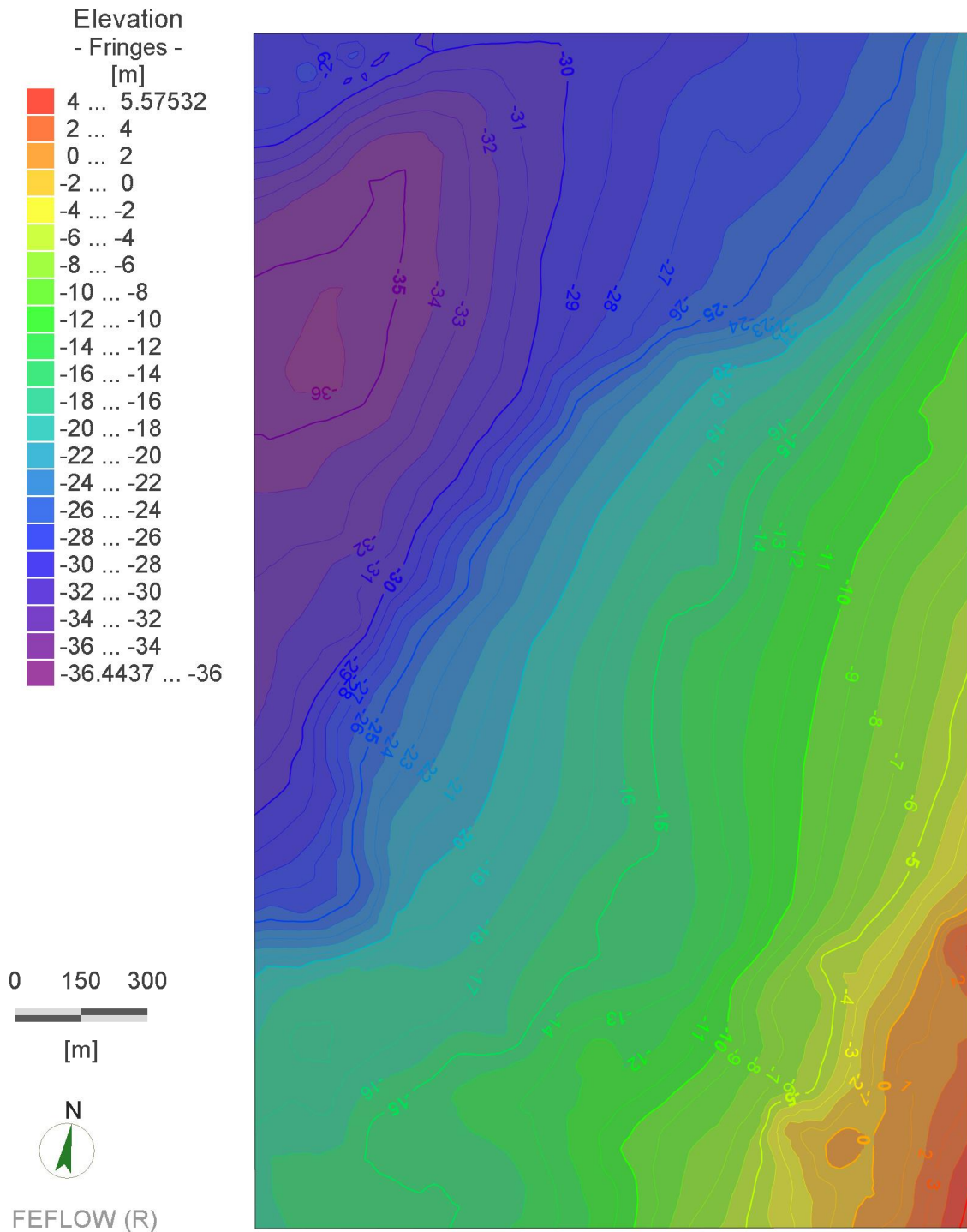


Figura 131 - Slice 4: Tetto dei depositi Tufacei (TSV e TGN).

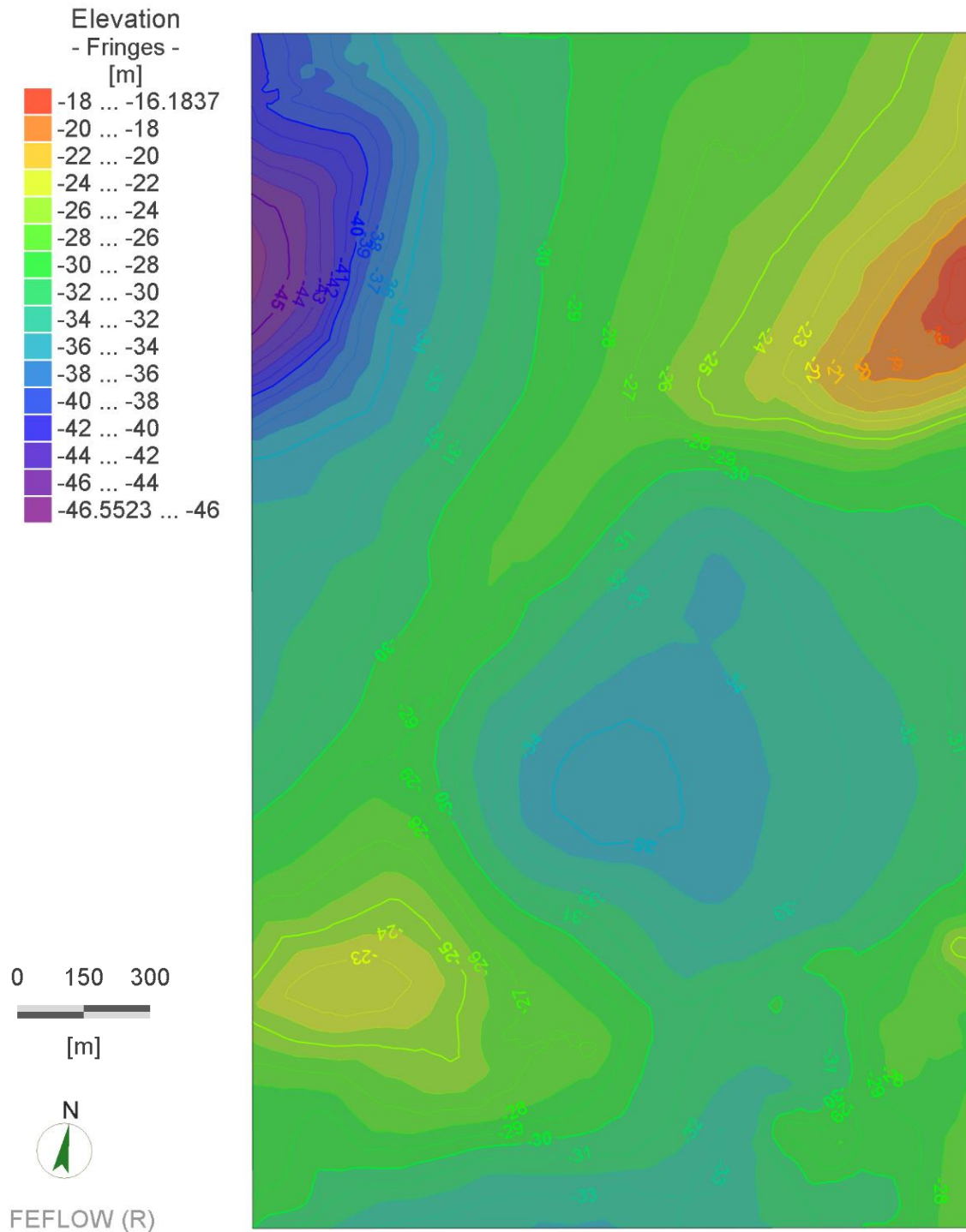


Figura 132 - Slice 5: Base dei depositi Tufacei (TSV e TGN)

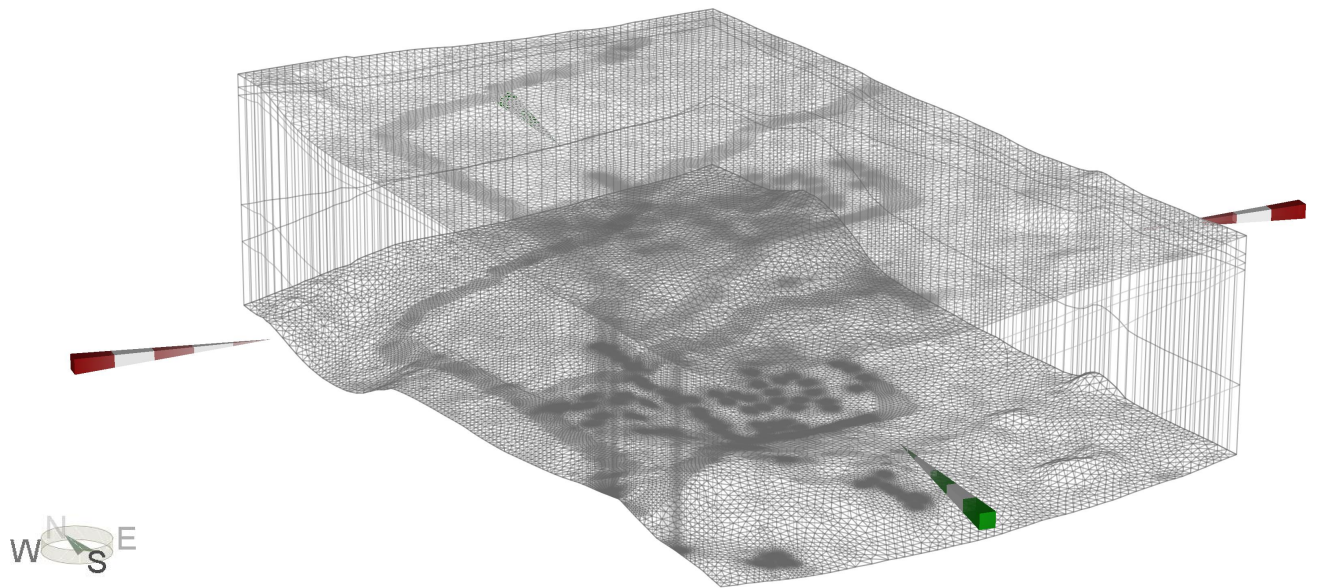


Figura 133 - Modello discreto 3D: Mesh e Griglia di calcolo.

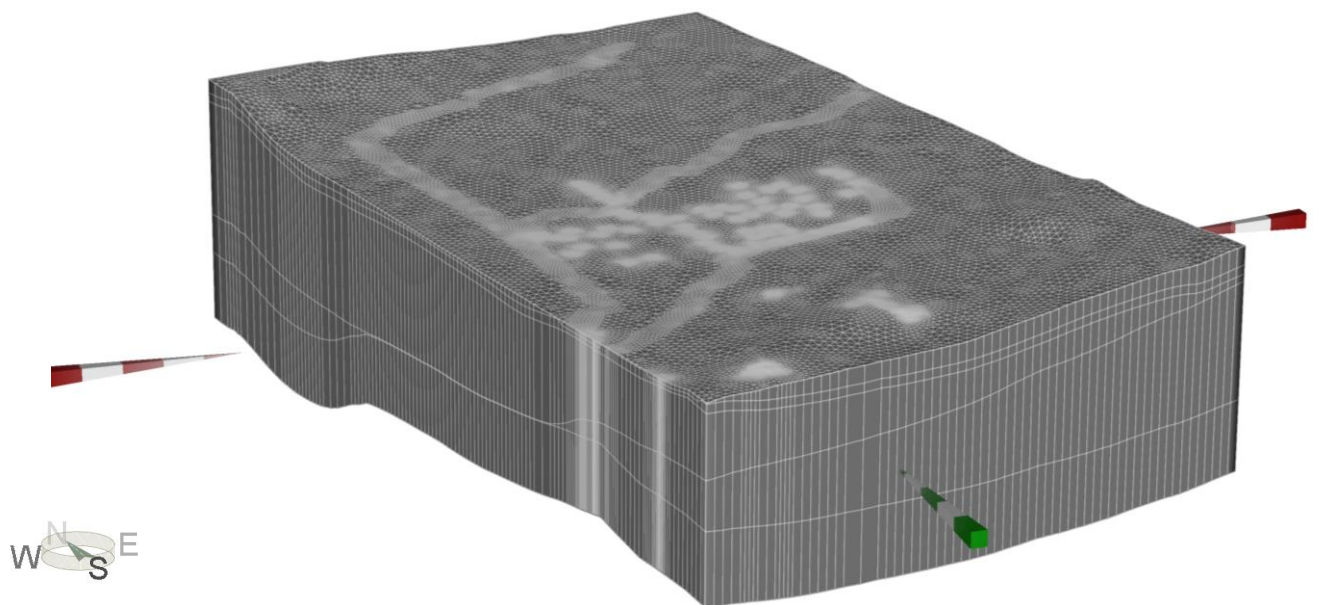


Figura 134 - Modello discreto 3D: Layers e Slices.

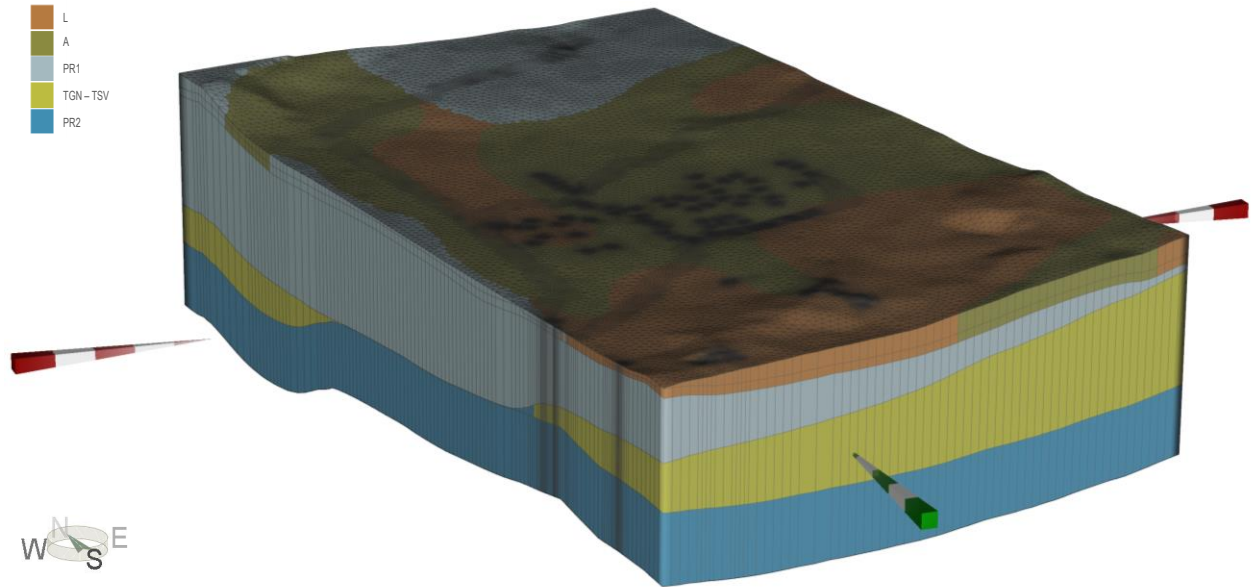


Figura 135 - Ricostruzione 3D del modello geologico.

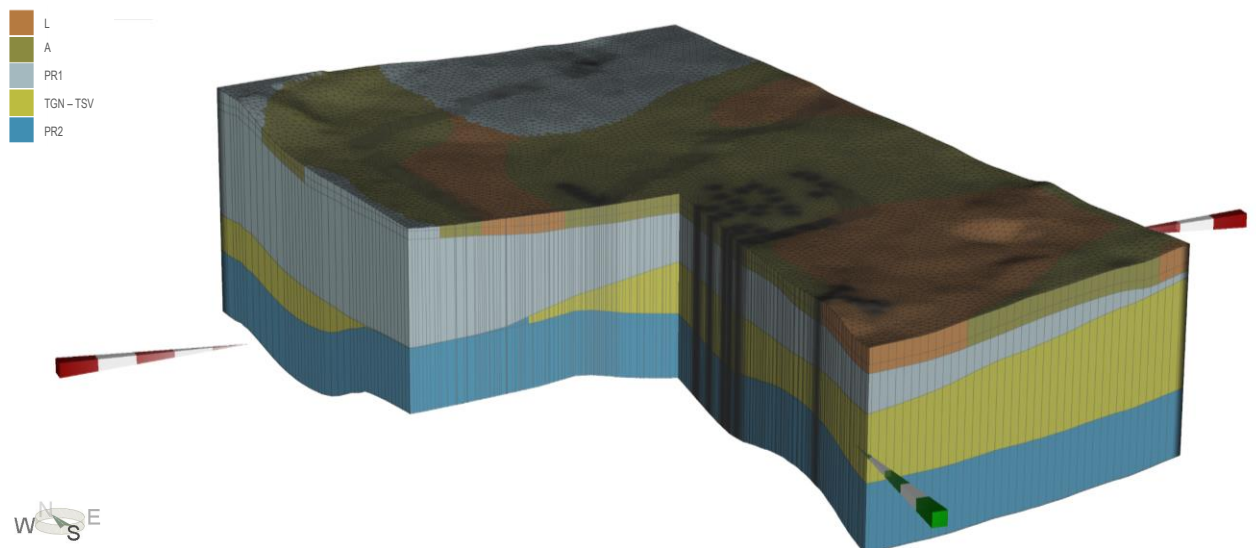


Figura 136 - Sezione verticale E-W e N-S del modello geologico 3D.

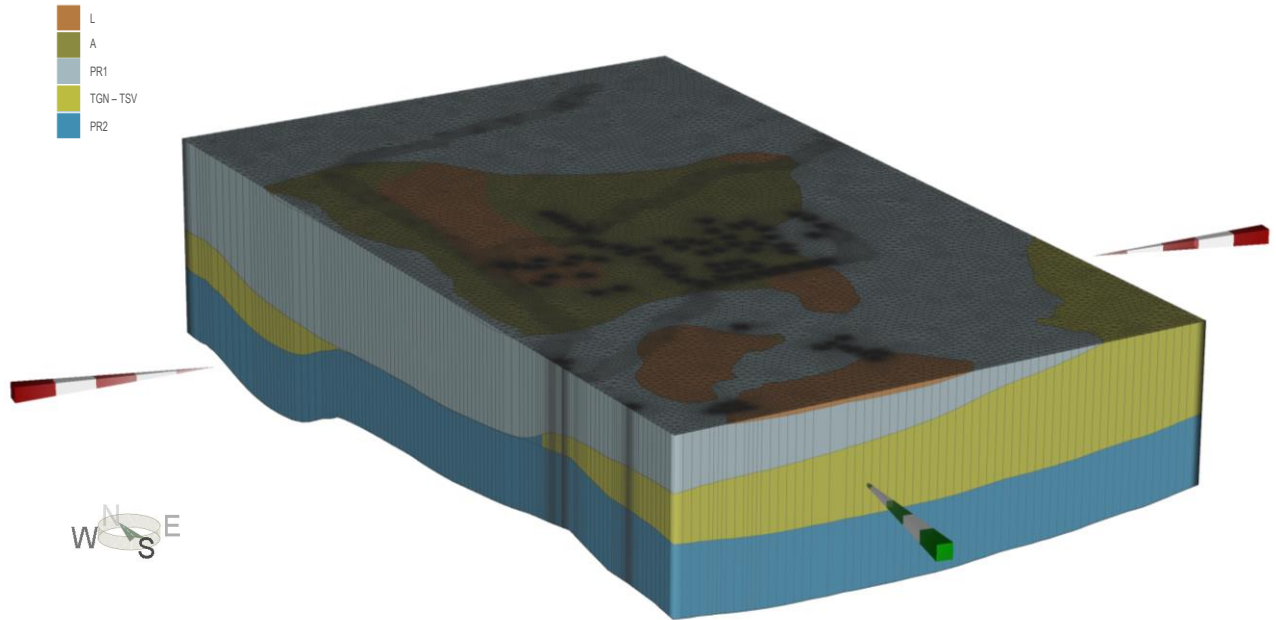


Figura 137 - Sezione sub-orizzontale del modello geologico 3D (quota -5 metri s.l.m.).

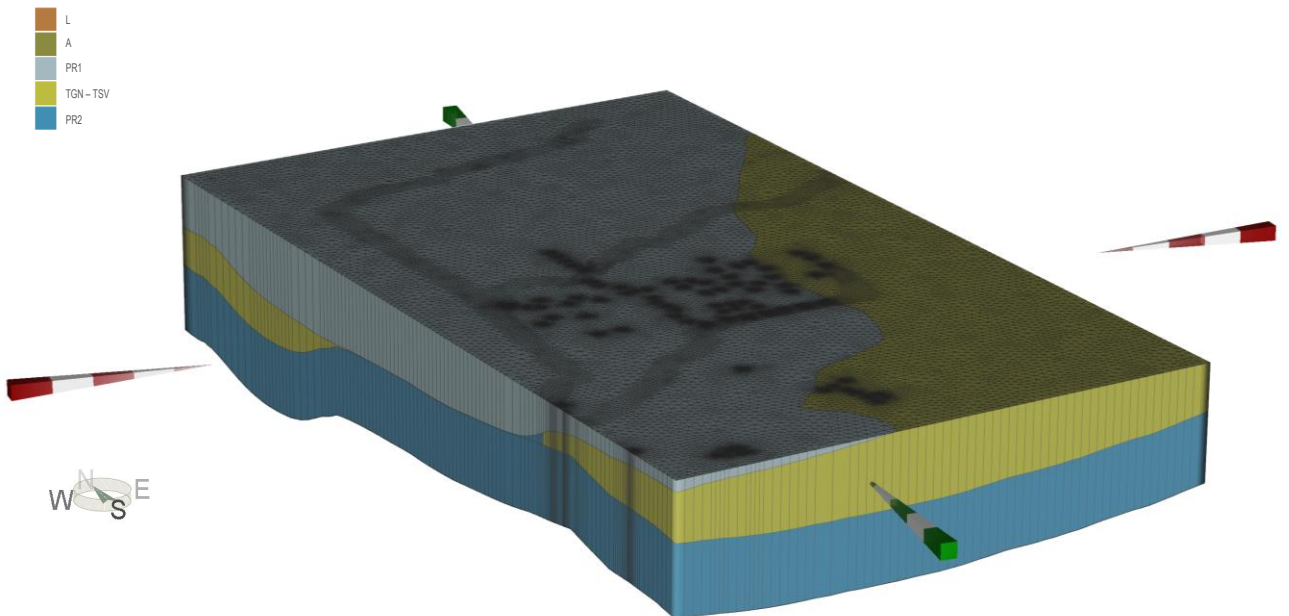


Figura 138 - Sezione sub-orizzontale del modello geologico 3D (quota -15 metri s.l.m.).

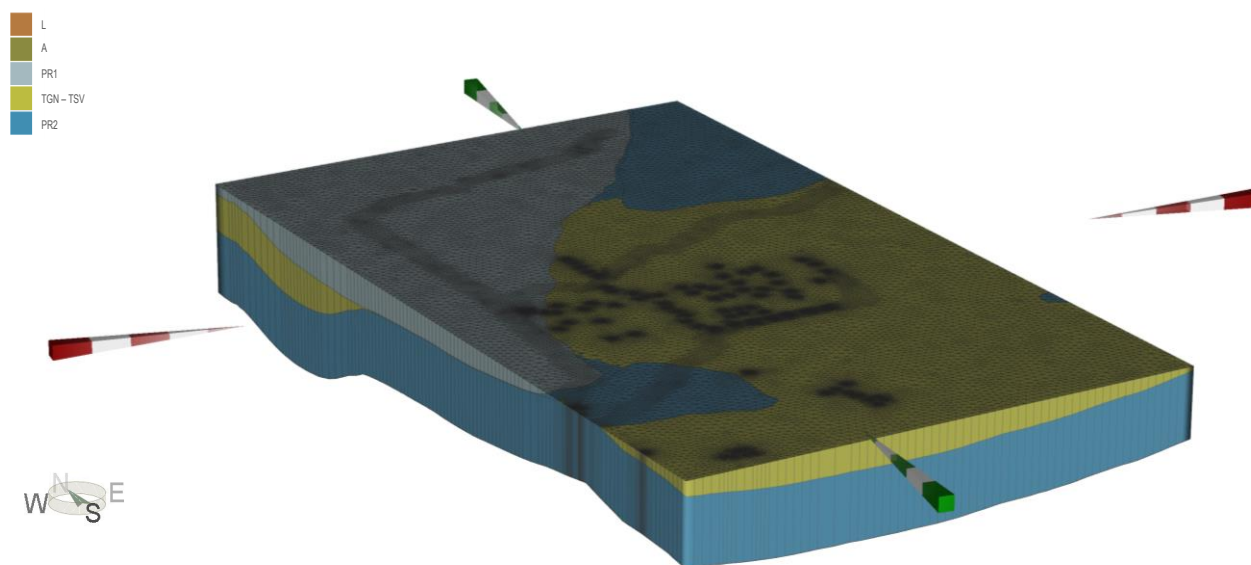


Figura 139 - Sezione sub-orizzontale del modello geologico 3D (quota -25 metri s.l.m.).

5.2 Simulazioni di flusso e calibrazione del modello

Il modello di flusso è stato calibrato in condizioni stazionarie sulla base della piezometria di riferimento derivata dal monitoraggio SOGESID 2012 e da differenti aziende del SIN in ambito dei Piani della Caratterizzazione.

La piezometria calcolata al termine della calibrazione è riportata a livello d'insieme nella successiva Figura 145 relativa alla Slice 1, Figura 146 per la Slice 3 e Figura 147 per la Slice 5 (in proiezione su modello tridimensionale).

A livello complessivo, con riferimento al confronto tra il campo di moto calcolato e sperimentale (Figura 140), si rileva una congruenza degli elementi della morfologia piezometrica, ed in particolare:

- le perdite di carico localizzate in corrispondenza della depressione centrale del SIN in prossimità del vecchio reticolo dei canali di bonifica lungo il paleoalveo del Sebeto e nella porzione centro orientale del SIN nelle proprietà Q8 e Esso per effetto dei prelievi localizzati;
- l'asse di drenaggio principale lungo la porzione centrale del SIN corrispondente all'area depressa del Sebeto;
- il flusso convergente in corrispondenza verso l'area centrale del SIN dal settore Vesuviano a SE, topograficamente più elevati e con carico idraulico maggiore.

Per il raggiungimento degli obiettivi di calibrazione sono stati analizzati gli statistici descrittivi di calibrazione della funzione dei residui. Analizzando dunque lo scatter-plot dei carichi calcolati contro quelli osservati in Figura 141, dopo una accurata fase di calibrazione, è possibile constatare come l'insieme dei residui rientri all'interno del livello di confidenza ottimale del 95%, con un coefficiente di correlazione tra carichi osservati e calcolati pari allo 0,96. Per quanto riguarda il valore NRMS% è stato possibile raggiungere un valore minimo pari a 6.75%, errore standard (SEE) di 0.036 metri con un errore medio assoluto (ARM) di 0.42 metri, inferiore alla soggiacenza minima del livello piezometrico concettualizzato. Analizzando la distribuzione di frequenza dei residui è possibile riconoscere un andamento gaussiano con tendenza alla sovrastima del carico idraulico con un valore modale di frequenza compreso tra la classe 0.0 – 0.15 metri (

Figura 79).

L'ubicazione dei principali punti di errore è stata cartografata nelle mappe dei residui dei carichi idraulici misurati a confronto con a quelli calcolati nel layer 1 e 3, Dall'analisi spaziale dei principali errori residui è possibile riscontrare come quelli che tendono a sovrastimare il carico idraulico misurato, per un valore superiore a 0.25 metri, sono concentrati ed allineati nella porzione riferibile alla canalizzazione del Sebeto nella sua parte più distale dalla linea di costa tra l'area "Q8 depositi Benit", lo stabilimento Q8 "KRC" e quello "Esso", come era stato riscontrato durante la calibrazione del modello generale. Il problema di calibrazione di queste aree sta appunto nella definizione locale degli effetti dei pozzi di bonifica ed industriali presenti e

dall'effetto di drenaggio offerto dalla canalizzazione. Carichi idraulici simulati superiori a valori rilevati si registrano, invece, nelle porzioni est ed ovest del perimetro del SIN, mentre nella porzione centro orientale si evidenzia una tendenza ad una generale sottostima (Figura 74). I valori dei residui locali in questa area si presentano al limite o superiori all'errore di tolleranza di 0.5 metri, e come formulato in precedenza, non è stato possibile ricostruire la complessità geologica (alternanza di livelli locali a più alta e bassa permeabilità) che potrebbe determinare variazioni del carico idraulico e la presenza di un gradiente poco superiore a quello stimato in fase di concettualizzazione.

Riguardo agli standard di calibrazione si può ritenere il modello di flusso riproduca le direzioni di flusso e i gradienti idraulici rilevati nell'area, e definisce il campo di velocità medio rappresentativo del settore sottoposto alle opere di progetto.

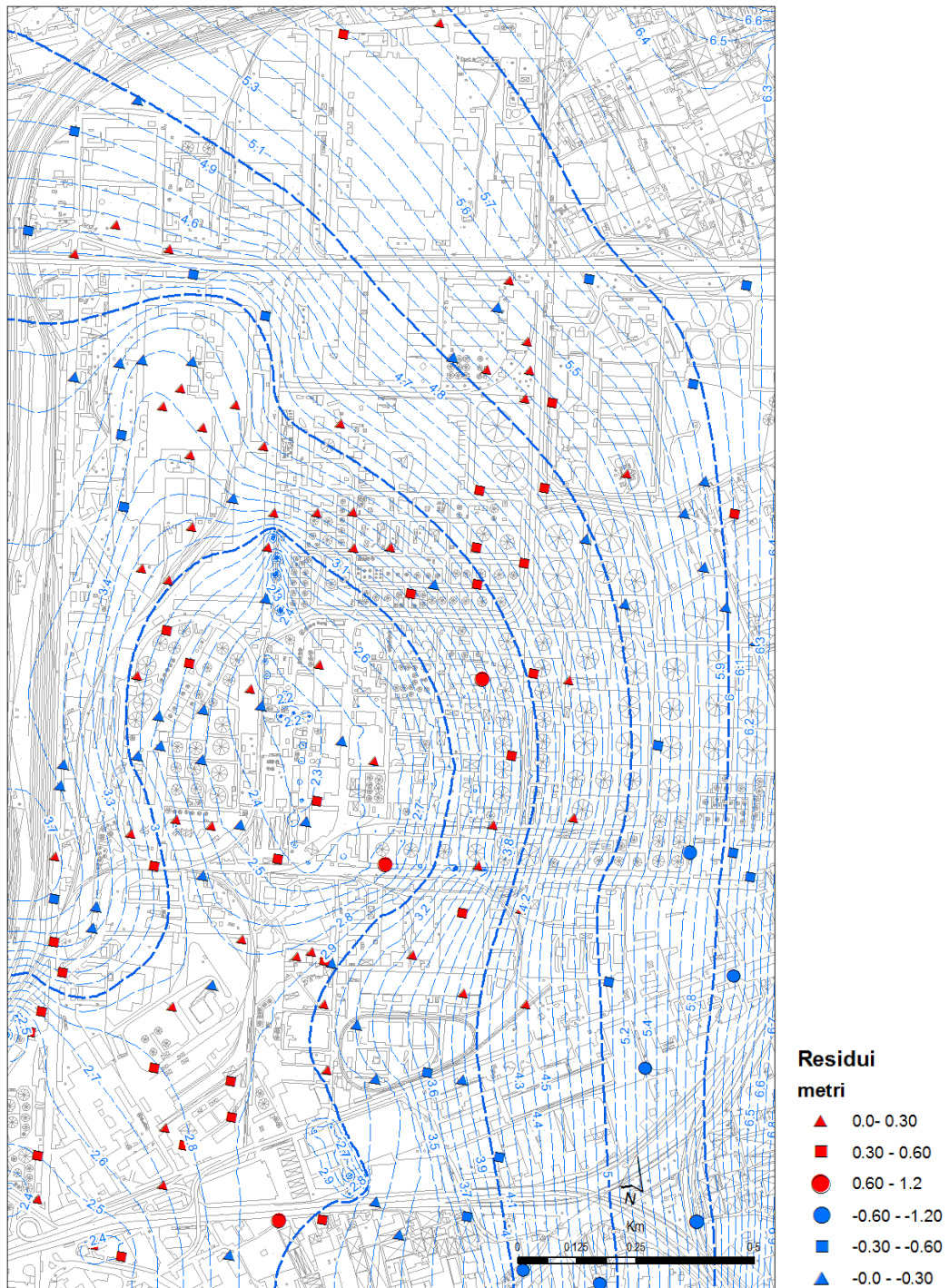


Figura 140 - Mappa dei residui dei carichi idraulici osservati e calcolati: layer 1 e 2 (silce 1- 2 - 3).

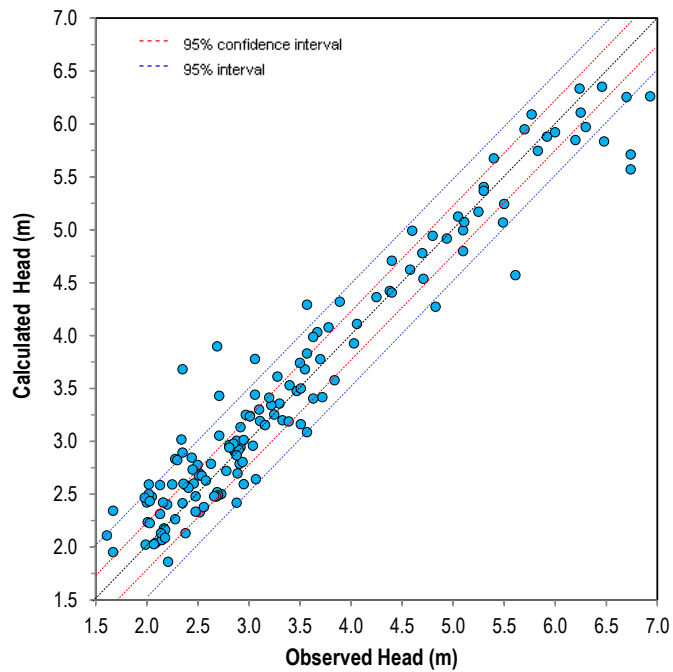


Figura 141 - Elaborazioni statistiche di calibrazione: Scatter plot dei residui.

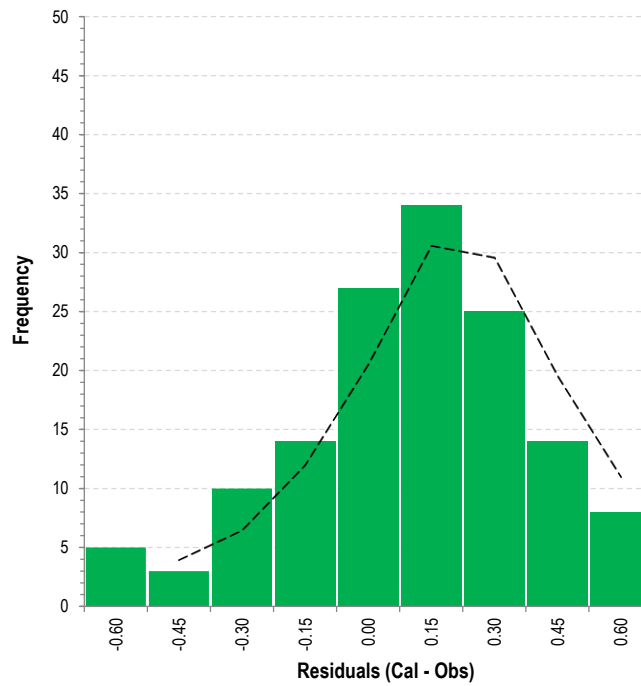


Figura 142 - Elaborazioni statistiche di calibrazione: Istogramma di frequenza dei residui.

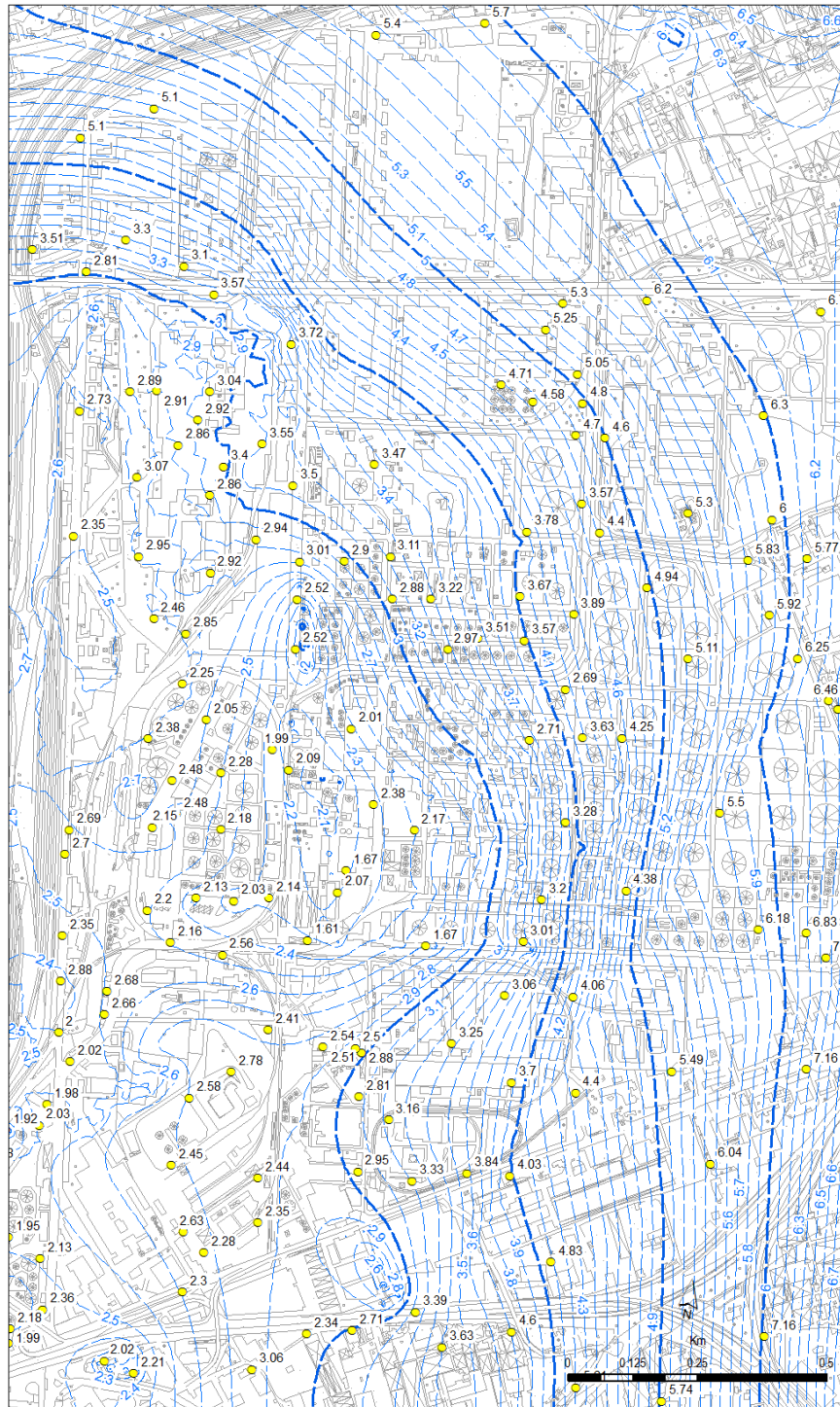


Figura 143 - Soluzione del modello di flusso e carichi idraulici misurati (isopiezometriche slice 1 esportate in GIS).

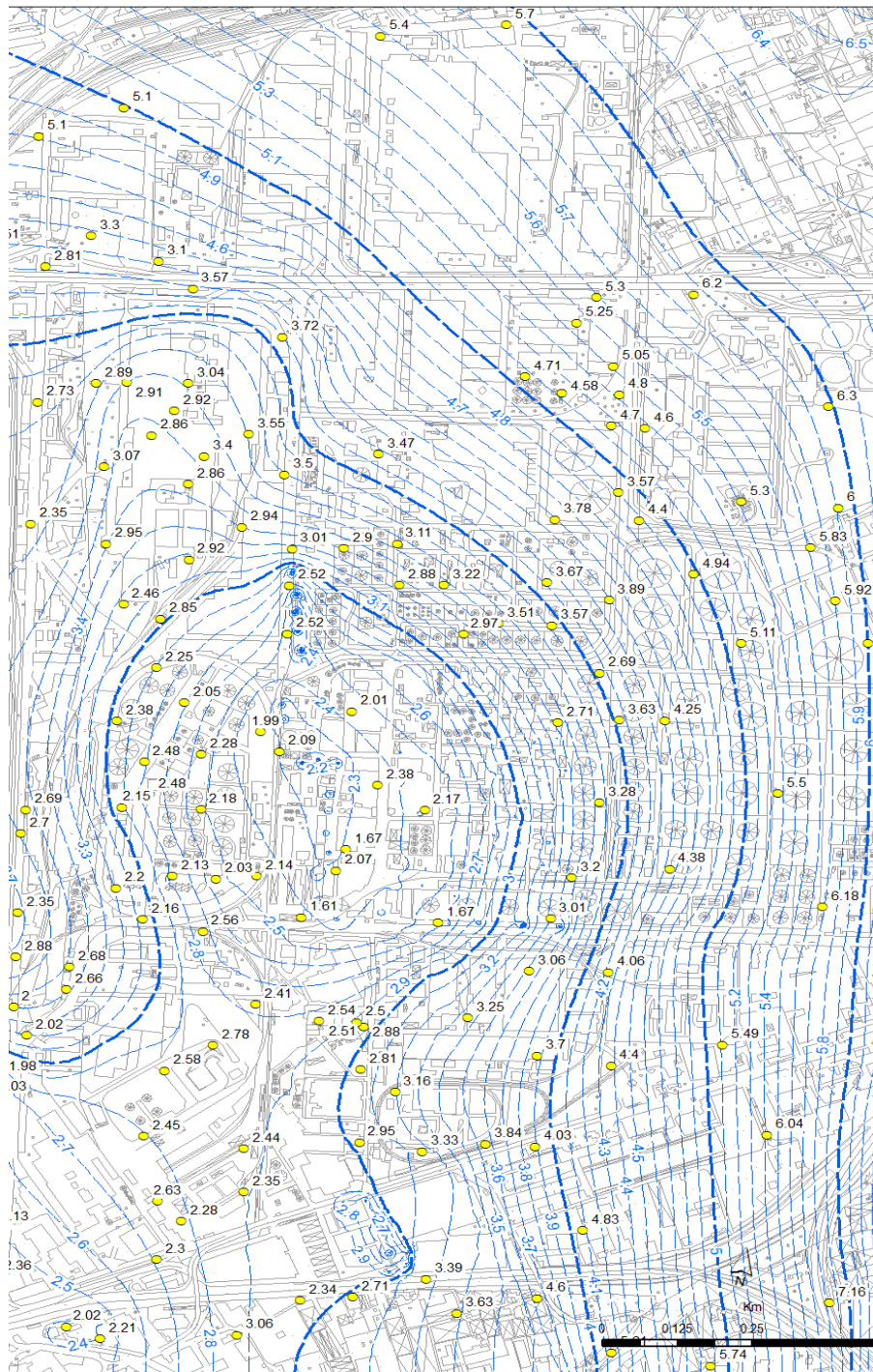


Figura 144 - Soluzione del modello di flusso e carichi idraulici misurati (isopiezometriche slice 3 esportate in GIS).

Hydraulic head
- Isolines -
[m]
In-line labels

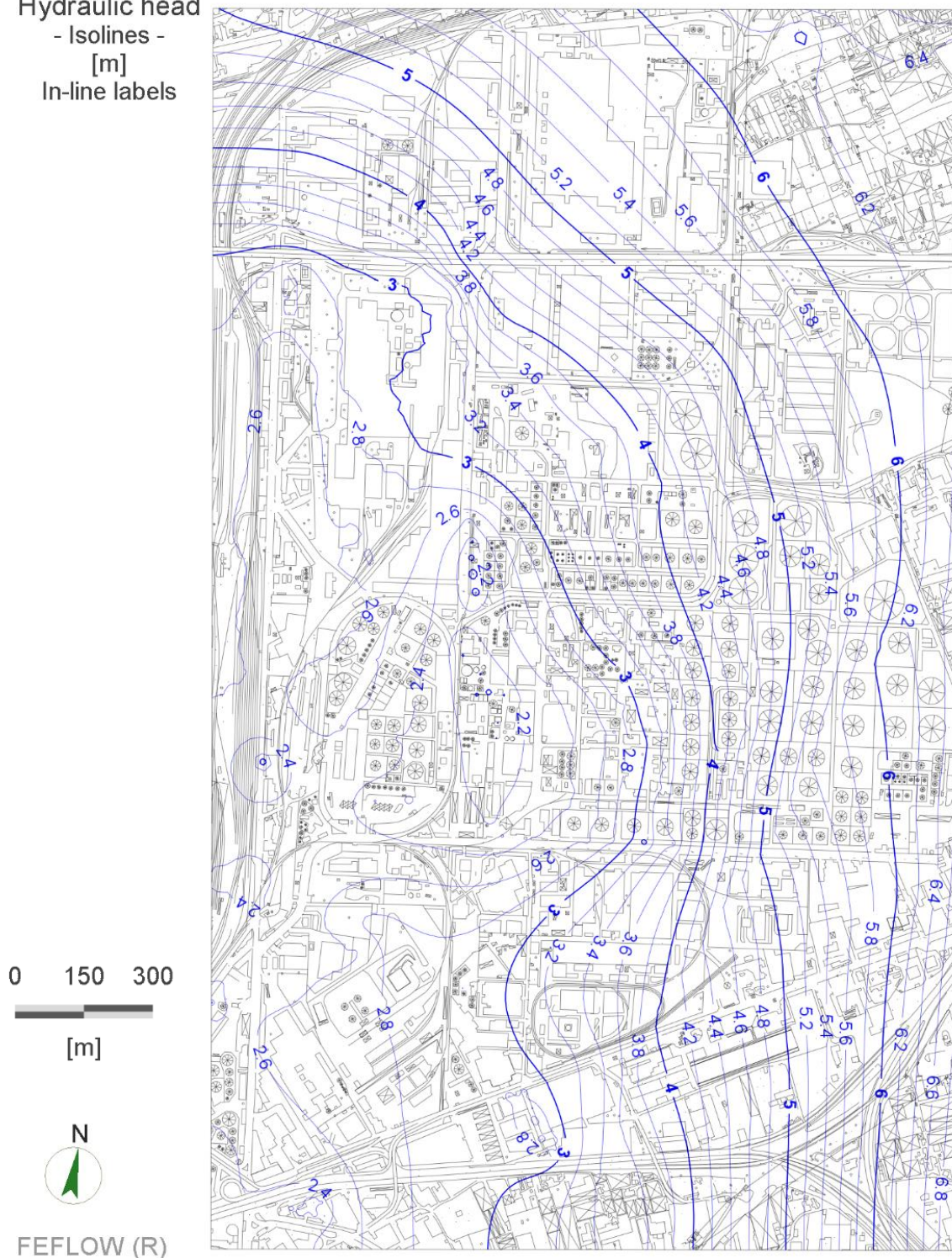


Figura 145 - Soluzione del modello di flusso: isopiezometriche slice 1 (Output Feflow).

Hydraulic head
- Isolines -
[m]
In-line labels

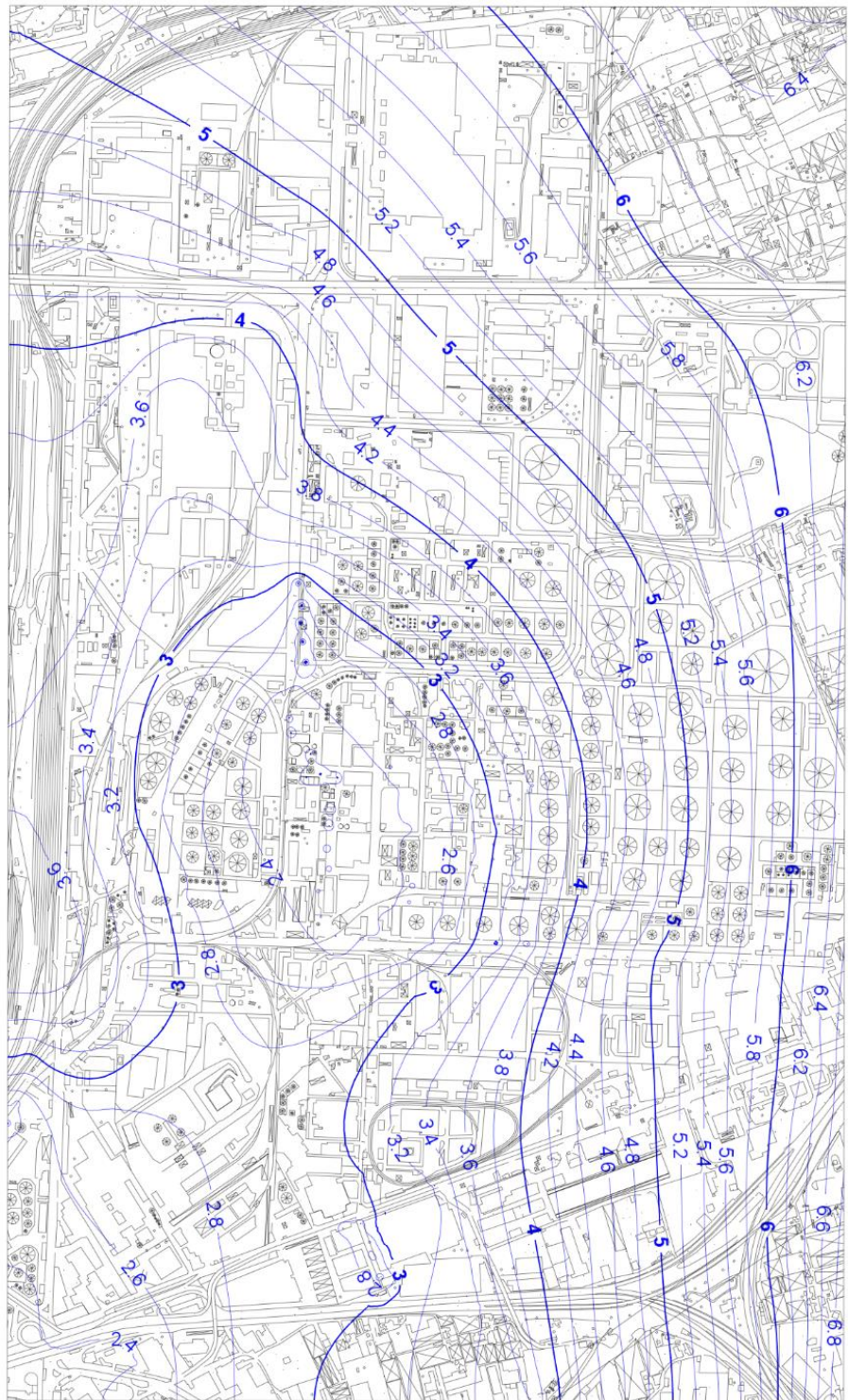
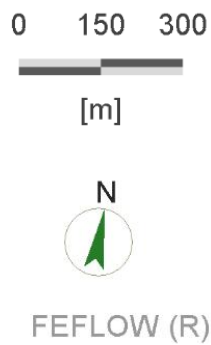
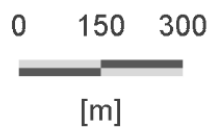


Figura 146 - Soluzione del modello di flusso: isopiezometriche slice 3 (Output Feflow).

Hydraulic head
- Isolines -
[m]
In-line labels



FEFLOW (R)

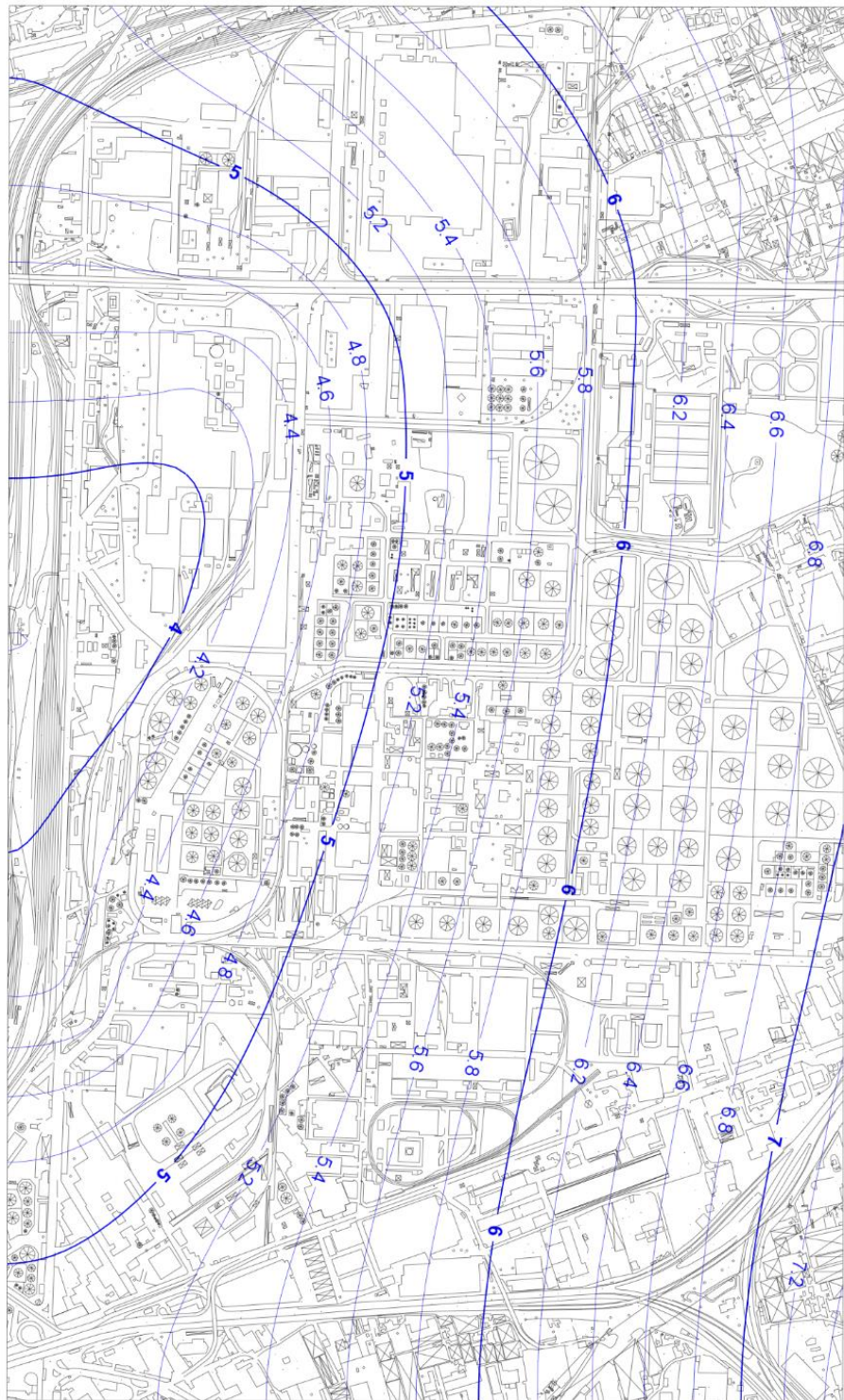


Figura 147 - Soluzione del modello di flusso: isopiezometriche slice 5 (Output Feflow).