

ITALIAN EXHIBITION GROUP

ITALIAN
EXHIBITION
GROUP
Providing the future

| EM/RE | DATE/DATA | DESCRIPTION/DESCRIZIONE | PREPARED | CHECKED | APPROVED |
|-------|-----------|-------------------------|----------|---------|-----------|
| EM | ago-25 | EMRE Description | FF | AF | F.FORLANI |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |



**SGAI srl di E.Forlani & C.
Studio di Geologia Applicata e Ingegneria**

Via Mariotti, 18
47833 Morciano di Romagna (RN)
ITALY

Tel: +39 0541 988277
C.F. 00772250411
VAT no./P.IVA 01894420403

www.sgai.com
sgai@sgai.com
sgai@pec.sgai.net

Quality management System / *Sistema gestione Qualità* ISO 9001:2015 – KIWA 19051 A-A

Project Title:

NUOVO PARCHEGGIO SUD

Chapter – Document:

**RELAZIONE TECNICA SUGLI ASPETTI IDROGEOLOGICI DELL'INTERVENTO
IN RIFERIMENTO ALLE RICHIESTE DI APPROFONDIMENTO POZZI ACQUA
POTABILE NELLE VICINANZE**

Stamps and Signatures / *Timbri e Firme:*

Document no. / *rif.documento*

25.130.01/A/01.0-RE/r0C

01.0

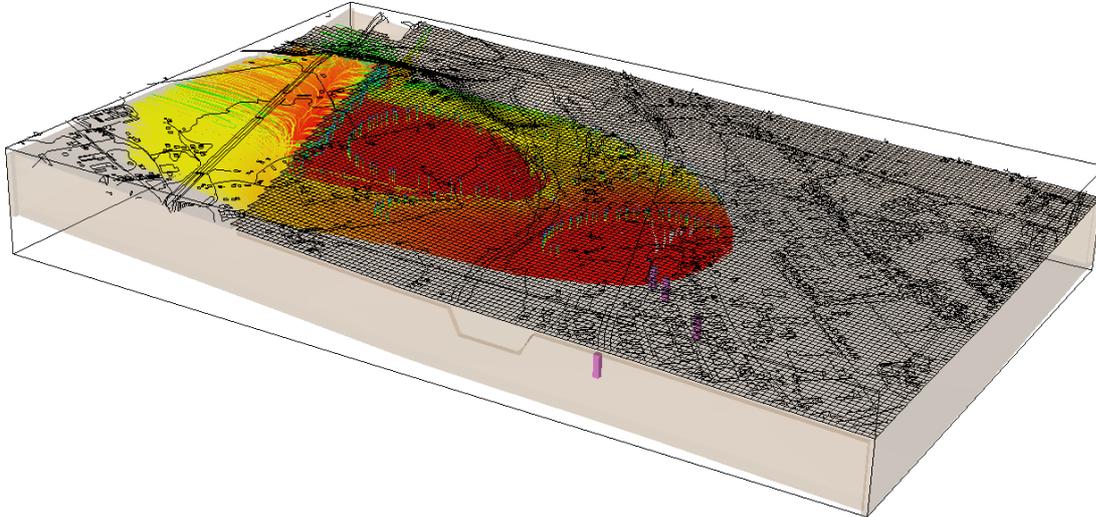


| | |
|---------------------------------------|--------------|
| Doc.no. 25.130.01/A/01.0RE/r0C | |
| Rev. 0 | Date: ago-25 |
| Pag. 2 of 102 | |



ITALIAN EXHIBITION GROUP
NUOVO PARCHEGGIO SUD
RELAZIONE TECNICA SUGLI ASPETTI
IDROGEOLOGICI DELL'INTERVENTO IN RIFERIMENTO
ALLE RICHIESTE DI APPROFONDIMENTO POZZI
ACQUA POTABILE NELLE VICINANZE

| | |
|---------------------------------------|--------------|
| Doc.no. 25.130.01/A/01.0RE/r0C | |
| Rev. 0 | Date: ago-25 |
| Pag. 3 of 102 | |



| | |
|---------------------------|--|
| Project | NUOVO PARCHEGGIO SUD |
| Title | RELAZIONE TECNICA SUGLI ASPETTI IDROGEOLOGICI DELL'INTERVENTO IN RIFERIMENTO ALLE RICHIESTE DI APPROFONDIMENTO POZZI ACQUA POTABILE NELLE VICINANZE |
| Date | EMRE Description |
| Document code | 25.130.01/A/01.0RE/r0C |
| Tipo/Scale | RE - |
| Emission/Revision of Date | 0 of ago-25 |
| Internal Revision | C |
| Prepared/Redatto | FF |
| Checked/Controllato | AF |
| Approved/Approvato | F.FORLANI |

SGAI srl di E.Forlani & C.

Via Mariotti 18 - 47833 Morciano di R. (RN), Italy – phone: +39-0541988277 - <http://www.sgai.com>
email:sgai@sgai.com

R.E.A. n. 226314 - Capitale sociale i.v. € 51.480,00 –C.F. e Iscrizione alla C.C.I.A.A. di Rimini n. 00772250411 - P.IVA. 01894420403

The information contained in this document are properties of SGAI which reserves all rights.
Questo documento è proprietà SGAI srl che se ne riserva i diritti.



CONTENTS

| | | |
|-------|--|-----|
| 1. | Premessa | 9 |
| 2. | DATI DI BASE E NORMATIVA | 10 |
| 2.1. | Dati di base | 10 |
| 2.2. | Normativa | 10 |
| 2.3. | Bibliografia..... | 10 |
| 3. | INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO | 12 |
| 3.1. | Studi e Stratigrafie | 15 |
| 3.1.1 | <i>stratigrafia locale</i> | 15 |
| 3.2. | caratteristica qualitative della acque di falda | 29 |
| 3.3. | captazioni | 36 |
| 3.4. | caratteristiche di flusso | 45 |
| 3.5. | piezometria | 52 |
| 4. | VALUTAZIONI TECNICHE..... | 61 |
| 4.1. | condizioni di pericolo | 61 |
| 4.2. | APPROCCIO DI INQUADRAMENTO | 63 |
| 4.3. | MODELLO DI FLUSSO | 67 |
| 4.3.1 | <i>Modello numerico</i> | 67 |
| 4.3.2 | <i>MODELLO GEOMETRICO</i> | 68 |
| 4.3.3 | <i>CARATTERISTICHE DI FLUSSO</i> | 73 |
| 4.3.4 | <i>CONDIZIONI DI BORDO</i> | 74 |
| 4.3.5 | <i>FASI TEMPORALI</i> | 75 |
| 4.3.6 | <i>SIMULAZIONI E SCENARI</i> | 75 |
| 4.4. | SIMULAZIONE FALDA RIFERIMENTO | 76 |
| 4.4.1 | <i>Backward Particle Tracking</i> | 79 |
| 4.4.2 | <i>Forward Particle Tracking</i> | 83 |
| 4.4.3 | <i>Verifica di consistenza da infiltrazioni</i> | 86 |
| 4.5. | SIMULAZIONE STRESS-FALDA MINIMA | 89 |
| 4.5.1 | <i>Calibrazione</i> | 89 |
| 4.5.2 | <i>Expected – Backward simulation</i> | 93 |
| 4.5.3 | <i>Forward Partickle Tracking</i> | 95 |
| 4.6. | SCENARIO ATTESO – ANALISI MULTITEMPORALE CICLICA | 97 |
| 4.7. | Risultati e analisi critica..... | 100 |
| 4.7.1 | <i>sull'eventuale concentrazione dell'inquinante</i> | 100 |
| 5. | CONCLUSIONI E INDIRIZZO..... | 101 |



INDEX OF FIGURES AND INDEX OF TABLES

| | |
|---|----|
| FIG. 1-1 AREA DI PROGETTO E UBICAZIONE DEI POZZI ACQUEDOTTISTICI..... | 9 |
| FIG. 3-1 IL CONOIDE DEL MARECCHIA (RER 2014)..... | 12 |
| FIG. 3-2 SEZIONE RAPPRESENTATIVA DEL CONOIDE DEL MARECCHIA CON INDICAZIONE DELL'AREA DI INTERESSE..... | 13 |
| FIG. 3-3 SINTESI CONCETTUALE DEL CONOIDE DEL MARECCHIA. | 14 |
| FIG. 3-4 DA BANCA DATI REGIONALE INDAGINI GEOGNOSTICHE. | 15 |
| FIG. 3-5 INGRANDIMENTO CON EVIDENZA DELLE STRATIGRAFIE DA SONDAGGI DI APPROFONDIMENTO LOCALE..... | 16 |
| FIG. 3-6 STRATIGRAFIA P474..... | 17 |
| FIG. 3-7 STRATIGRAFIA P406..... | 18 |
| FIG. 3-8 STRATIGRAFIA P405..... | 19 |
| FIG. 3-9 STRATIGRAFIA P402..... | 20 |
| FIG. 3-10 STRATIGRAFIA P404..... | 21 |
| FIG. 3-11 STRATIGRAFIA P485..... | 22 |
| FIG. 3-12 STRATIGRAFIA P503..... | 23 |
| FIG. 3-13 STRATIGRAFIA P488..... | 24 |
| FIG. 3-14 STRATIGRAFIA P411..... | 25 |
| FIG. 3-15 STRATIGRAFIA P504 ("CIMITERO")..... | 26 |
| FIG. 3-16 STRATIGRAFIA P409..... | 27 |
| FIG. 3-17 – DIAGRAMMA DI PIPER CON TUTTE LE CHIMICHE DELLA BASE DATI. | 29 |
| FIG. 3-18 ANDAMENTO DELLE FALDE LUNGO LA DIRETTRICE DI COSTA. | 30 |
| FIG. 3-19 DIAGRAMMA DI PIPER CON DIFFERENZIAZIONE PER ACQUIFERO D'APPARTENENZA. | 30 |
| FIG. 3-20 DIAGRAMMA DI PIPER CON LA TERZA DIMENSIONE RAPPRESENTATA DALLA CONDUCEBILITÀ SPECIFICA..... | 31 |
| FIG. 3-21 DIAGRAMMA DI PIPER – RAPPORTI CATIONICI E RESIDUI ED EVOLUZIONE DELL'ACQUA CON L'AUMENTARE DEL TEMPO DI PERMANENZA IN FALDA (SI NOTI CHE SONO RAPPRESENTATI I RAPPORTI CATIONICI, IN GENERALE NON È DETTO CHE IN 3 FALDA IL SODIO+POTASSIO SIA SUPERIORE DELLA PRIMA). | 32 |
| FIG. 3-22 DIAGRAMMA DI PIPER, ALTEZZE: PH, RIFERIMENTO PH=7.25 (SUL PIANO DI PIPER). | 33 |
| FIG. 3-23 DIAGRAMMA DI PIPER CON ALTEZZE IN FUNZIONE DELLA CONCENTRAZIONE IN CLORURI..... | 34 |
| FIG. 3-24 DIFFERENZIAZIONE CHIMICA NELLA PRIMA FALDA CONFINATA | 35 |
| FIG. 3-25 LA CONDUCEBILITÀ (CORRELABILE CON LA CONCENTRAZIONE IN SALI MINERALI) È SUPERIORE NELL'AREA 1A..... | 36 |
| FIG. 3-26 CORRISPONDENZA UNITÀ GEOLOGICHE E GRUPPI ACQUIFERI (DA RER). | 37 |
| FIG. 3-27 CAPTAZIONI FILTRANTI PARZIALMENTE O COMPLETAMENTE NELLA PRIMA FALDA CONFINATA. CON EVIDENZA CAMPO POZZI POLVERIERA E CAMPO POZZI PARCO MARECCHIA E AREA DI INTERESSE. | 38 |



| | |
|--|----|
| FIG. 3-28 INGRANDIMENTO NELL'AREA DI INTERESSE. SI OSSERVA IL P10 DIRETTO INTERESSANTE ANCHE LA PRIMA FALDA CONFINATA E NELLE VICINANZE DELL'AREA DI STUDIO. | 39 |
| FIG. 3-29 CAPTAZIONI NELL'AREA DI INTERESSE. CERCHIO GIALLO CAPTAZIONE IN PRIMA FALDA CONFINATA. CERCHIO CIANO CAPTAZIONE IN SECONDA FALDA CONFINATA, CERCHIO BIANCO CAPTAZIONE IN FALDA INTERPOSTA. | 40 |
| FIG. 3-30 P68 CON EVIDENZA DELLO STRATO FILTRANTE E DELL'ACQUIFERO INTERCETTATO (GHIAIE ETEROMETRICHE GROSSOLANE CON CIOTTOLI DA 37 A 45M) | 41 |
| FIG. 3-31 P69 CON EVIDENZA DEI FILTRI E DELLO STRTO CAPTATO. (DA 32 A 44 CIRCA). | 42 |
| FIG. 3-32 STRATIGRAFIA P10, CON EVIDENZA ORIZZONTE CAPTATO (33-41) | 43 |
| FIG. 3-33 STRATIGRAFIA P13, COMUNQUE NELLE VICINANZE AD USO ACQUEDOTTISTICO. FALDA CAPTATA DA 31 A 45.6 | 44 |
| FIG. 3-34 DISTRIBUZIONE DELLE PERMEABILITÀ DA PROVE EFFETTUATE NELLE FALDE CONFINATE NELL'AREA DI STUDIO. | 46 |
| FIG. 3-35 PROVA EDOMETRICA CON EVIDENZA DELLA PERMEABILITÀ DERIVATA DALLA PROVA. | 48 |
| FIG. 3-36 PER CAMPIONE A 3M CIRCA. | 49 |
| FIG. 3-37 PUNTI DALLA RETE DI MONITORAGGIO REGIONALE-ARPAE. | 52 |
| FIG. 3-38 SOGGIACENZE DI RN72-00 | 53 |
| FIG. 3-39 PIEZOMETRIA RN72-00 (M SLM). NOTARE LIVELLI INFERIORI AL LIVELLO MEDIO MARINO. | 53 |
| FIG. 3-40 SOGGIACENZA RN05-00 | 54 |
| FIG. 3-41 PIEZOMETRIA RN05-00 | 54 |
| FIG. 3-42 SOGGIACENZA RN77-00 | 55 |
| FIG. 3-43 PIEZOMETRIA RN77-00 | 55 |
| FIG. 3-44 PIEZOMETRIA CON IN CONTINUO I PIEZOMETRI ACCERTATI IN PRIMA FALDA CONFINATA. | 56 |
| FIG. 3-45 SUPERFICIE PIEZOMETRICA DA STUDIO REGIONE EMILIA ROMAGNA – DIP.GEOLOGIA 2014. | 57 |
| FIG. 3-46 SUPERFICIE PIEZOMETRICA "MINIMA" RILEVATA DURANTE LA CAMPAGNA DI MONITORAGGIO 2001-2012 DA RER. | 58 |
| FIG. 3-47 PIEZOMETRIA DI MAGGIO 2016. | 59 |
| FIG. 3-48 STUDIO RER SULLA RICARICA 2023 | 60 |
| FIG. 4-1 TRATTO DALLA LINEE GUIDA 2002. | 63 |
| FIG. 4-2 SCHEMA SEMPLIFICATIVO. | 64 |
| FIG. 4-3 PRIMA STIMA DEI TEMPI DI PERCORRENZA, MOTO DI FILTRAZIONE VERTICALE, MASSIMO GRADIENTE. | 64 |
| FIG. 4-4 CONSIDERANDO PERMEABILITÀ MOLTO ELEVATE (SABBIE, SABBIE DEBOLMENTE LIMOSE) | 65 |
| FIG. 4-5 DAI TESTI DI LABORATORIO (2300 ANNI) | 65 |
| FIG. 4-6 GRID PER LA MDOELLAZIONE ALLE DFM DI MODFLOW (LA VERSIONE 6 ESTENDE AD ALTRE FORME GEOMETRICHE E TOPOLOGICHE). | 67 |
| FIG. 4-7 DELIMITAZIONE DEL MODELLO E AREA PARCHEGGIO. | 69 |
| FIG. 4-8 AREA DEL MODELLO E RAPPRESENTAZIONE DELLA SUPERFICIE (O MEGLIO PRIMO LAYER). | 70 |



| | |
|---|----|
| FIG. 4-9 UNA SEZIONE DEL MODELLO CON EVIDENZA DEI LAYER, SPESSORI E DELLE DIFFERENTI PERMEABILITÀ..... | 70 |
| FIG. 4-10 UNA VISTA PROSPETTICA SEMPLIFICATA DEL MODELLO..... | 71 |
| FIG. 4-11 DISCRETIZZAZIONE FINALE DEL MODELLO..... | 72 |
| FIG. 4-12 VISTA PROSPETTICA DA MONTE CON EVIDENZA DELLE PARTI LATERALI TIPO "NO-FLOW-CELLS"..... | 74 |
| FIG. 4-13 SUPERFICIE PIEZOMETRICA "MINIMA", TIPICA DA STUDIO RER (V.CAP.3) | 74 |
| FIG. 4-14 FALDA DI RIFERIMENTO PER LA MODELLAZIONE..... | 77 |
| FIG. 4-15 ANDAMENTO FREATICO AL TEMPO 0 (STAZIONARIO, FALDA FREATICA -1.80). | 78 |
| FIG. 4-16 ANDAMENTO PIEZOMETRICO FALDA CONFINATA DOPO 1 ANNO CON FREATICA A PIANO CAMPAGNA..... | 79 |
| FIG. 4-17 VISUALIZZAZIONE PLANIMETRICA DEI TRACCIATI CHE GIUNGONO AL POZZO P69 IN 365 GIORNI. (NOTA: SONO NELLE FALDE SOTTOSTANTI COME MEGLIO ESPlicitATO NELLE FIGURE SUCCESSIVE)..... | 80 |
| FIG. 4-18 ANDAMENTO DELLE TRAIETTORIE PROIETTATE "MONTE-VALLE" CON EVIDENZA DELLA FALDA FREATICA E SUBALVEO..... | 80 |
| FIG. 4-19 INGRANDIMENTO E SEZIONE (DOPPIA LINEA VERDE)..... | 81 |
| FIG. 4-20 VISTA PROSPETTICA DA SUD CON EVIDENZA DEL PIANO CAMPAGNA..... | 81 |
| FIG. 4-21 VISTA PROSPETTICA DA SUD CON EVIDENZA DELLA SUPERFICIE DI SEPARAZIONE FALDA FREATICA-AQUITARD..... | 82 |
| FIG. 4-22 INGRANDIMENTO: SI OSSERVANO I MOTI DI FILTRAZIONE VERTICALI DALL'AQUITARDO ALLA CAPTAZIONE IN EMUNGIMENTO..... | 82 |
| FIG. 4-23 AREA DI RILASCIO DIRETTA DALLA SUPERFICIE NELL'ACQUIFERO FREATICO. | 83 |
| FIG. 4-24 VISTA PLANIMETRICA DELLE PARTICELLE RILASCIATE NELL'AREA PARCHEGGIO A 1 ANNO. (ISOPIEZE STRATO AQUITARD1)..... | 84 |
| FIG. 4-25 SEZIONE MONTE -VALLE CON EVIDENZA BASE AQUITARD01 E ISOPIEZE. | 85 |
| FIG. 4-26 VISTA 3D. LA SUPERFICIE VISIBILE È IL LIVELLO INTERMEDIO AQUICLUDE1. | 86 |
| FIG. 4-27 VISTA PROSPETTICA CON EVIDENZA DEI LAYER E SUBLAYER. (L'ACQUIFERO È IDENTIFICATO DAI DUE SUB LAYER ALLA BASE)..... | 86 |
| FIG. 4-28 AREA DI MANTENIMENTO FALDA FREATICA A LIVELLI IMPOSTI..... | 88 |
| FIG. 4-29 ANDAMENTO PIEZOMETRICO FALDA CONFINATA PER LA CONDIZIONE CRITICA.. | 90 |
| FIG. 4-30 ANDAMENTO PIEZOMETRICO PER IL MODELLO STRESS-FALDA MINIMA | 91 |
| FIG. 4-31 ANDAMENTO DELLA FREATICA "SEMPRE ALIMENTATA"ANCHE NELLA CONDIZIONE CRITICA SICCIOSA AUMENTANDO IL FLUSSO VERTICALE DI UN EVENTUALE INQUINANTE. | 92 |
| FIG. 4-32 PARTICLE TRACKING IN BACKWARD SIMULATION. ANDAMENTO DELLE TRAIETTORIE DI PARTICELLE CHE GIUNGONO DOPO 365 AL POZZO IN POMPAGGIO..... | 93 |
| FIG. 4-33 BACKWARD PARTICLE TRACKING A 365GG, SEZIONE MONTE-VALLE..... | 94 |
| FIG. 4-34 VISUALIZZAZIONE 3D CON EVIDENZA DI TALUNE PARTICELLE DI FLUSSO PARTIRE DAL SUBALVEO..... | 94 |
| FIG. 4-35 FORWARD PARTICLE TRACKING DAL PARCHEGGIO. VISTA PLANIMETRICA A 365GG NELLA SIMULAZIONE STRESS-FALDA MINIMA..... | 95 |
| FIG. 4-36 SEZIONE MONTE VALLE IN CORRISPONDENZA DELLA CAPTAZIONE P69. | 96 |



**ITALIAN EXHIBITION GROUP
NUOVO PARCHEGGIO SUD
RELAZIONE TECNICA SUGLI ASPETTI
IDROGEOLOGICI DELL'INTERVENTO IN RIFERIMENTO
ALLE RICHIESTE DI APPROFONDIMENTO POZZI
ACQUA POTABILE NELLE VICINANZE**

| | |
|-------------------------------|--------------|
| Doc.no. | |
| 25.130.01/A/01.0RE/r0C | |
| Rev. 0 | Date: ago-25 |
| Pag. 8 of 102 | |

| | |
|--|----|
| FIG. 4-37 VISTA PROPSETTICA MONTE-VALLE CON EVIDENZA DEGLI STRATI. (ULTIMI DUE LAYER RAPPRESENTANO LA FALDA CONFINATA)..... | 96 |
| FIG. 4-38 ANALISI IN 5 ANNI CON CONDIZIONI CRITICA E MEDIA RIPETUTE IN CICLI STAGIONALI | 98 |
| FIG. 4-39 SCENARIO ATTESO, LINE DI FLUSSO DI ALIMENTAZIONE. RUOLO DEL CAMPO POZZI POLVERIERA..... | 99 |
| FIG. 4-40 VISTA 3D. I TRATTI ROSSI INDICANO LA PARTICELLA A 5 ANNI. SI OSSERVA L'ALIMENTAZIONE DALLA CONOIDE INDIFFERENZIATA CONNESSA AL SUB-ALVEO ED ALLE INFILTRAZIONI DIRETTE. | 99 |

1. Premessa

Nell'ambito di Verifica di assoggettabilità a Valutazione di Impatto Ambientale (Screening) per il progetto di ampliamento del parcheggio denominato SUD 3 viene evidenziata la parziale interferenza delle aree del parcheggio con l'area di rispetto connessa a pozzi ad uso acquedottistico gestiti da RomagnaAcque SpA.

I pozzi sono sia all'interno di un ramo di svincolo dalla via Emilia sia a fianco o in stretta prossimità della strada "via Celle" in zona urbanizzata. Il raggio di 200m che delimita la zona di rispetto a meno di approfondimenti rientra nell'area di progetto.



fig. 1-1 Area di progetto e ubicazione dei pozzi acquedottistici.

I pozzi ad uso acquedottistico in questione sono il P69, P10, P68.

Il Servizio Sanitario Regionale si è espresso con l'opportunità di approfondire questo aspetto di interferenza anche alla luce dei cambiamenti climatici in atto e di valutare quindi scenari critici con il principio temporale.



2. DATI DI BASE E NORMATIVA

2.1. Dati di base

- Progetto “NUOVO PARCHEGGIO SUD 3” e Studio di Impatto Ambientale
- Documentazione agli atti procedura di screening dal sito ufficiale.
- Relazione geologica area Fiera con indagini geognostiche a supporto.

2.2. Normativa

DLGs 152/06 – Norme in materia ambientale

Piano Tutela delle acque PTA Regione Emilia Romagna

Accordo 12 dicembre 2002 - Linee guida per la tutela della qualità delle acque destinate al consumo umano e criteri per l'individuazione delle aree di salvaguardia delle risorse idriche – Presidenza del consiglio dei Ministri Conferenza Permanente per i Rapporti tra lo Stato le Regioni e le Province Autonome.

2.3. Bibliografia

Appelo Postma, 2010, “Geochemistry, Groundwater and Pollution 2nd Edition”

Stumm Morgan, 1996, “Aquatic Chemistry”

Equilibri e Flussi di Subalveo – F.Forlani E.Forlani 2005 -

https://www.researchgate.net/publication/337783636_Equilibri_e_Flussi_di_Subalveo

E.Forlani, 1994 – La ricarica artificiale delle falde.L'esperienza della conoide del Conca – VIII Congresso nazionale dei geologi.

F.Forlani, E.Forlani, 2001 – Studi e ricerche sulconoide del Marecchia – AMIR - Rapporto interno.

F.Forlani, E.Forlani, 2005 – Studi geochimici ed isotopici delle acque del conoide del Marecchia,HERA – Rapporto interno.

F.Forlani, E.Forlani, 2006 – Progetto di Gestionedell'Invaso del Conca – HERA – Rapporto interno.

RER – Database delle indagini geognostiche regionale – sito della Regione

ARPAE – dati piezometrici e stratigrafici– sito ARPAE

Rilievi e pubblicazioni Ufficio Geologico Regionale:

- Analisi quali quantitativa Marecchia (2007)
- Geologia e idrogeologia della conoide del Fiume Marecchia (2014)
- Rilievi Rete Marecchia (2016)
- Report Ricarica 2023



ITALIAN EXHIBITION GROUP
NUOVO PARCHEGGIO SUD
RELAZIONE TECNICA SUGLI ASPETTI
IDROGEOLOGICI DELL'INTERVENTO IN RIFERIMENTO
ALLE RICHIESTE DI APPROFONDIMENTO POZZI
ACQUA POTABILE NELLE VICINANZE

| | |
|--------------------------------|--------------|
| Doc.no. 25.130.01/A/01.0RE/r0C | |
| Rev. 0 | Date: ago-25 |
| Pag. 11 of 102 | |

Modflow 2005; **Report:** Harbaugh, A.W., 2005, *MODFLOW-2005, the U.S. Geological Survey modular ground-water model—the Ground-Water Flow Process*: U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6-A16.

ModPath 6; **Report:** Pollock, D.W., 2016, *User guide for MODPATH Version 7—a particle-tracking model for MODFLOW*: U.S. Geological Survey Open-File Report 2016-1086, 35 p., doi:10.3133/ofr20161086.

ModelMuse; **Report:** Winston, R.B., 2009, *ModelMuse—A graphical user interface for MODFLOW-2005 and PHAST*: U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6-A29, 52 p.

ZoneBudget; **Report:** Harbaugh, A.W., 1990, *A computer program for calculating subregional water budgets using results from the U.S. Geological Survey modular three-dimensional ground-water flow model*: U.S. Geological Survey Open-File Report 90-392, 46 p., doi:10.3133/ofr90392.

3. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Il conoide del Marecchia, ha una estensione planimetrica di circa 100km². In sezione, da monte verso valle, si distinguono tre zone caratteristiche:

- la zona apicale, estranea alla subsidenza, con alluvioni che poggiano normalmente su formazioni di base, sede dell'acquifero freatico;
- la zona di anastomizzazione, dove gli spessori di ghiaia indifferenziata raggiungono quasi il centinaio di metri con sostanziale continuità verticale,
- la zona di conoide vera e propria, ove sono distinguibili più acquiferi, con geometrie e caratteristiche variabili anche lateralmente..

La zona di interesse è la zona di conoide in area di pianura già matura.

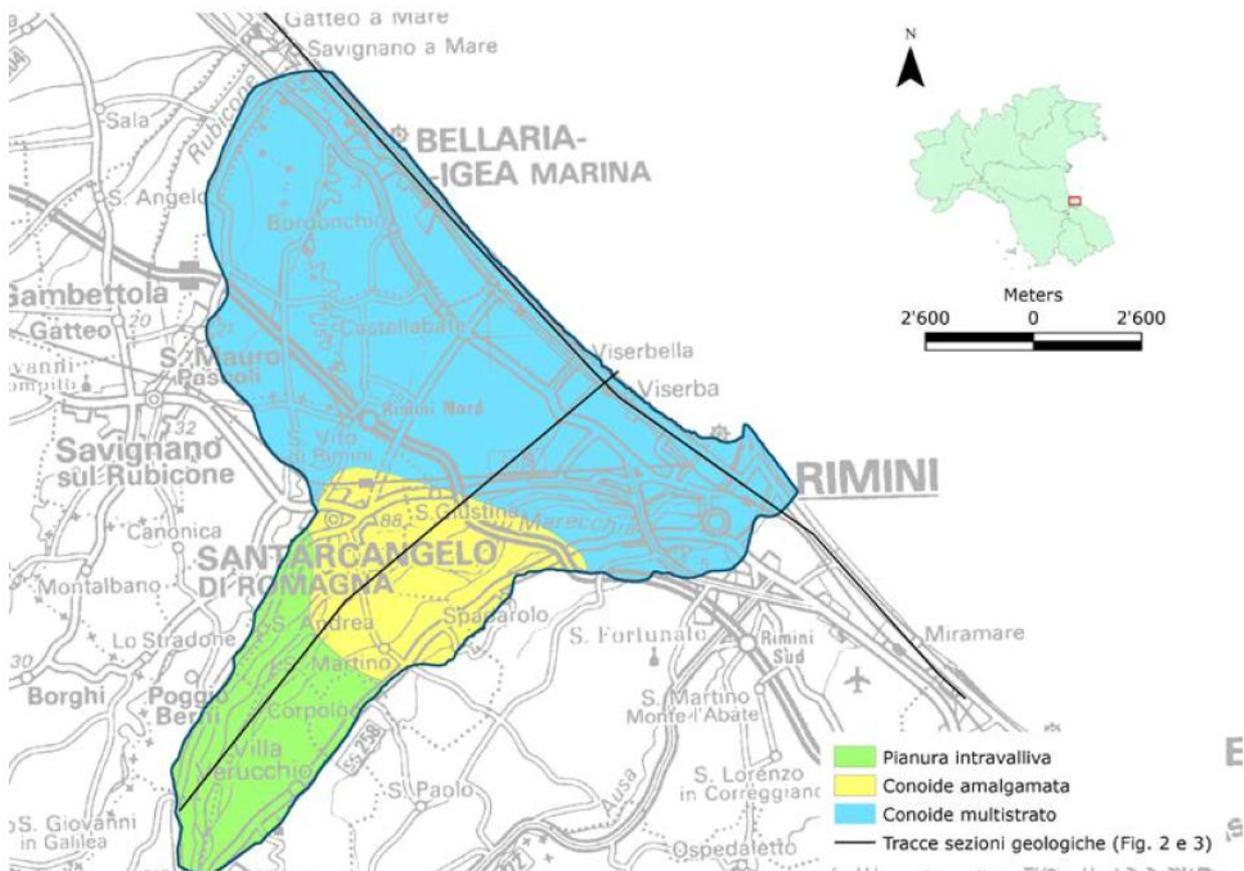


fig. 3-1 il Conoide del Marecchia (RER 2014).

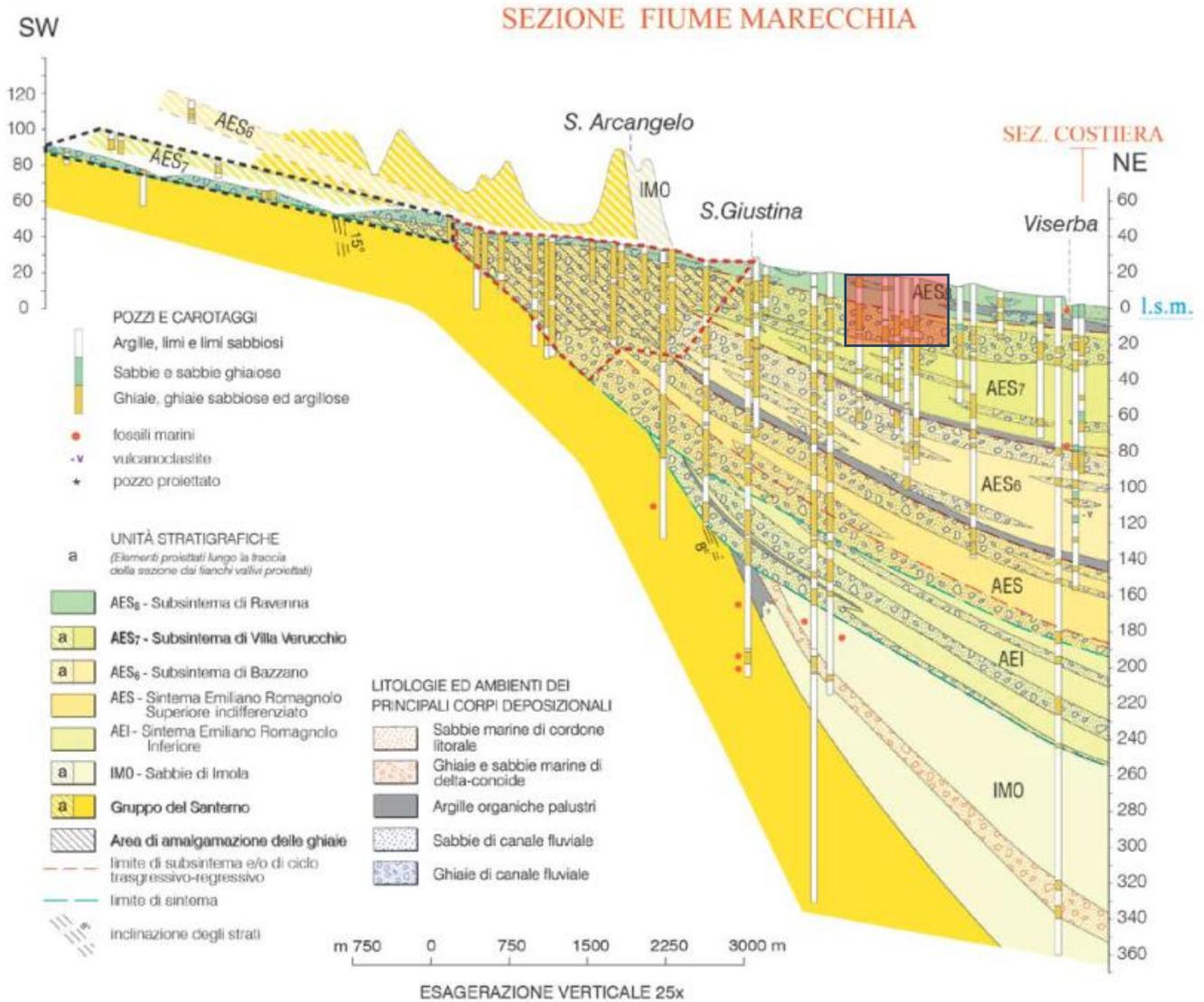


Figura 2 - Sezione geologica della conoide del Marecchia. Sono indicate la piana intravalliva (area a punti rossi); conoide amalgamata (area a punti neri) e la conoide multistrato (a valle delle precedenti)

fig. 3-2 Sezione rappresentativa del conoide del Marecchia con indicazione dell'area di interesse.

Semplificando si possono identificare dopo la differenziazione multifalda:

- falda freatica e di subalveo
- falde confinate: prima e seconda falda confinata ecc.

Lo schema successivo è una sintesi concettuale:

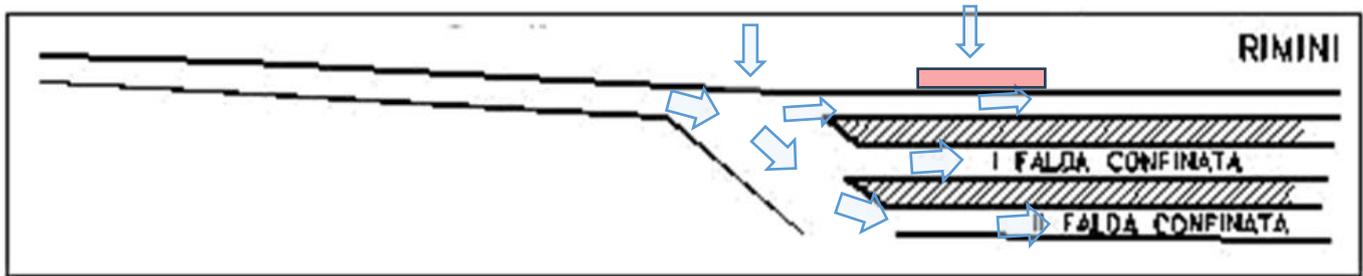


fig. 3-3 Sintesi concettuale del conoide del Marecchia.

Lo studio verte quindi nell'individuare le modalità di alimentazione delle falde di interesse acquedottistico nell'area, modalità di flusso e relazioni con la falda acquifera e di superficie, come meglio rappresentato più avanti.

L'inquadramento verterà quindi nell'identificare a livello locale i dati disponibili in termini di:

- stratigrafie
- modalità e relazioni falde di sub-alveo, freatica e confinate
- caratteristiche del moto di filtrazione per gli strati identificati
- caratteristiche delle captazioni interessate
- emungimenti

con il fine di effettuare una valutazione con il criterio "temporale" in merito al sito di progetto e le vicine captazioni acquedottistiche.

3.1. Studi e Stratigrafie

Si fa riferimento agli **studi AMIR 1999** sulla definizione della geometria del conoide del Marecchia e dei più recenti condotti dalla **Regione Emilia Romagna, ufficio geologico**.

3.1.1 stratigrafia locale

Per un approfondimento locale si è anche fatto riferimento alla banca dati regionale sulle indagini geognostiche.

L'interesse è infatti nella stratigrafia dei primi metri fino al tetto della prima falda confinata e seconda falda confinata. Allo scopo l'ordine di importanza per lo scopo del lavoro è il reperimento di stratigrafie da carotaggi continui che risultano probanti e descritte da tecnici geologi, seguono, con minore importanza, le stratigrafie per l'esecuzione dei pozzi. Queste ultime infatti vengono effettuate senza l'adozione di norme sulla descrizione dei terreni attraversati, le perforazioni sono eseguite a "distruzione di nucleo" quindi ci si basa solo sulla sensibilità e solerzia dell'esecutore del pozzo, il cui interesse è prettamente nell'identificare lo strato drenante adeguato allo sfruttamento.

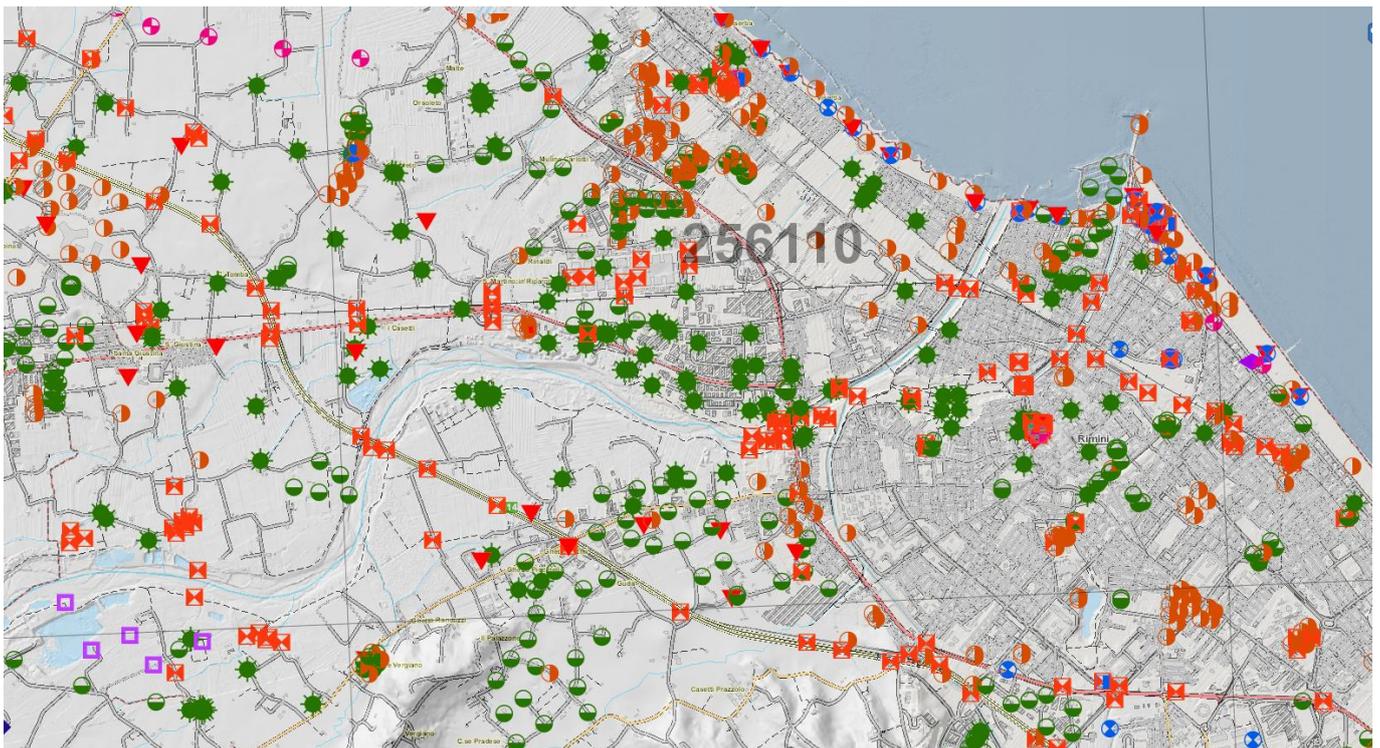


fig. 3-4 Da banca dati regionale indagini geognostiche.

Nell'area di interesse si identificano sondaggi geognostici stratigrafici che, dall'immagine seguente si evidenziano, reperiti per un confronto con il modello geometrico della falda generale della Regione.

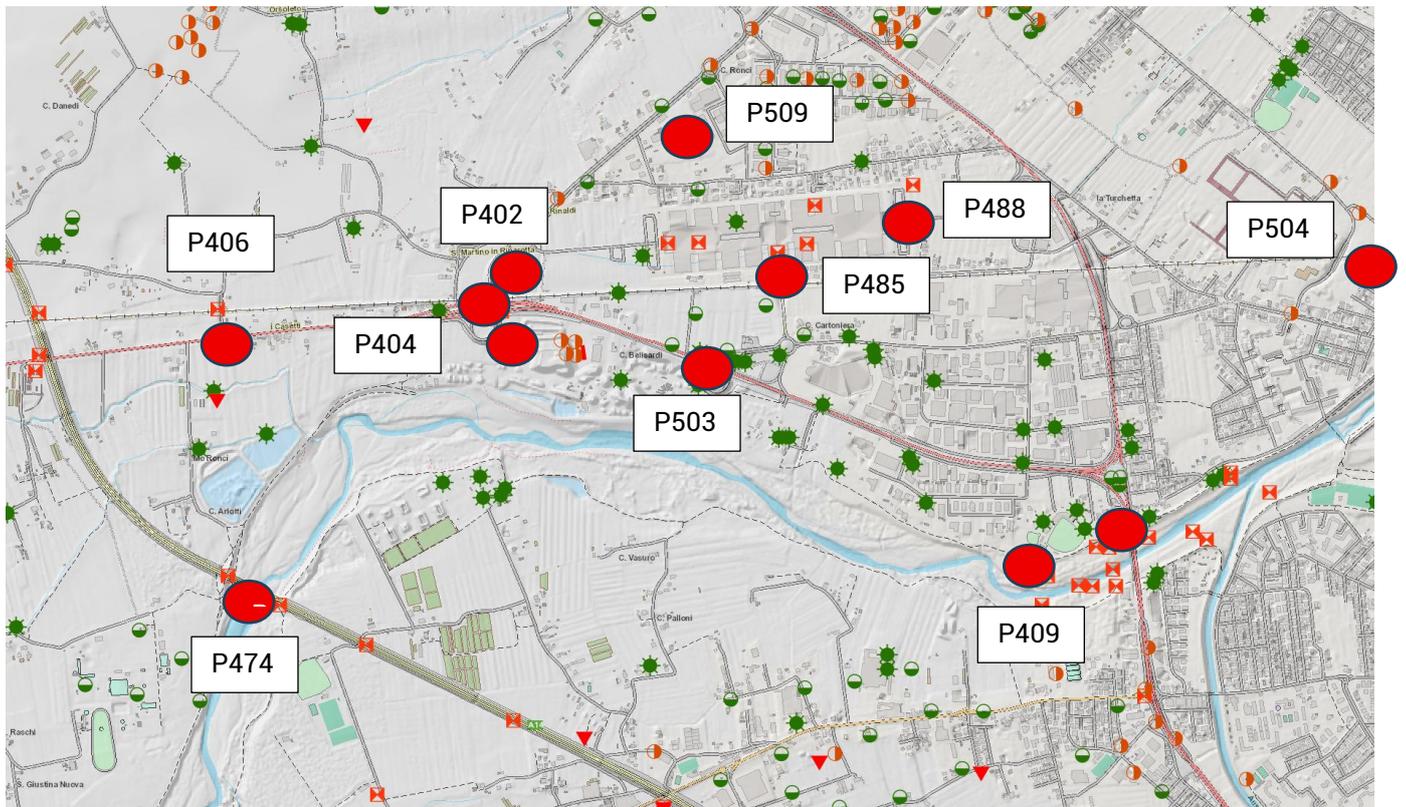


fig. 3-5 Ingrandimento con evidenza delle stratigrafie da sondaggi di approfondimento locale.
Di seguito vengono presentati con evidenziati aquitard, aquiclude, acquiferi sabbiosi, acquiferi ghiaiosi.



ITALIAN EXHIBITION GROUP
 NUOVO PARCHEGGIO SUD
 RELAZIONE TECNICA SUGLI ASPETTI
 IDROGEOLOGICI DELL'INTERVENTO IN RIFERIMENTO
 ALLE RICHIESTE DI APPROFONDIMENTO POZZI
 ACQUA POTABILE NELLE VICINANZE

Doc.no. 25.130.01/A/01.0RE/r0C
 Rev. 0 Date: ago-25
 Pag. 17 of 102

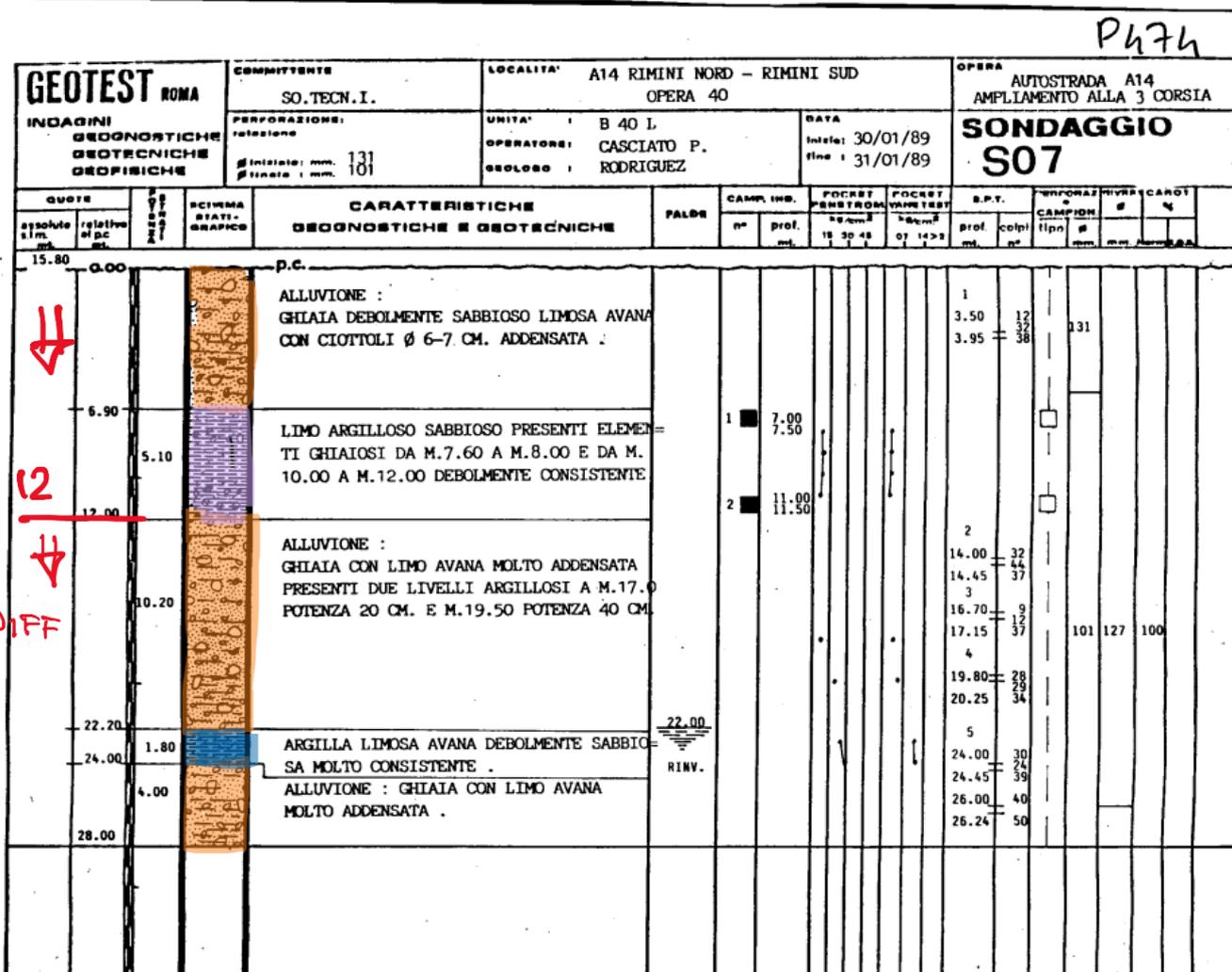


fig. 3-6 Stratigrafia P474



**ITALIAN EXHIBITION GROUP
NUOVO PARCHEGGIO SUD
RELAZIONE TECNICA SUGLI ASPETTI
IDROGEOLOGICI DELL'INTERVENTO IN RIFERIMENTO
ALLE RICHIESTE DI APPROFONDIMENTO POZZI
ACQUA POTABILE NELLE VICINANZE**

Doc.no. **25.130.01/A/01.0RE/r0C**
Rev. 0 Date: ago-25
Pag. 18 of 102

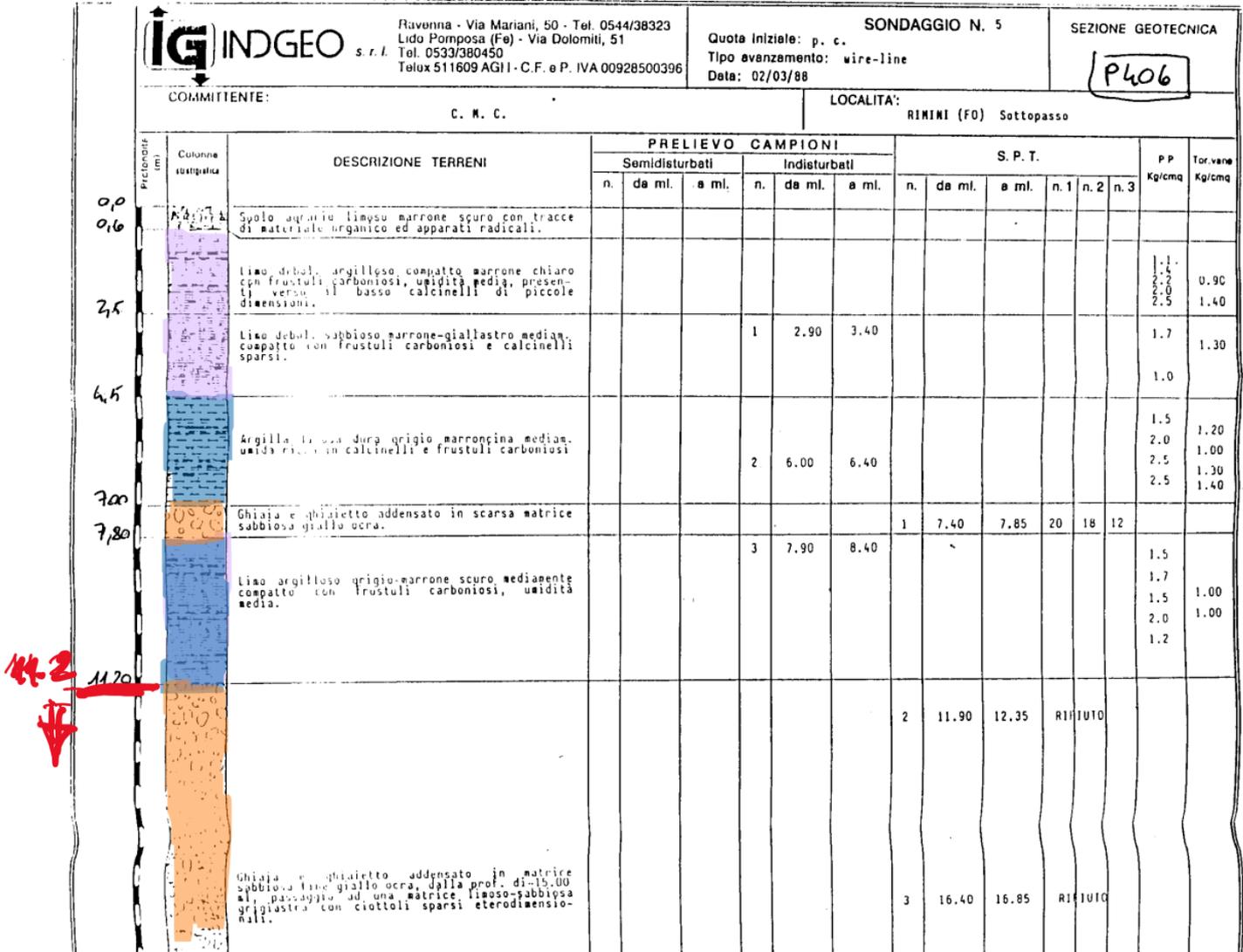


fig. 3-7 Stratigrafia P406.



ITALIAN EXHIBITION GROUP
 NUOVO PARCHEGGIO SUD
 RELAZIONE TECNICA SUGLI ASPETTI
 IDROGEOLOGICI DELL'INTERVENTO IN RIFERIMENTO
 ALLE RICHIESTE DI APPROFONDIMENTO POZZI
 ACQUA POTABILE NELLE VICINANZE

Doc.no. 25.130.01/A/01.0RE/r0C
 Rev. 0 Date: ago-25
 Pag. 19 of 102

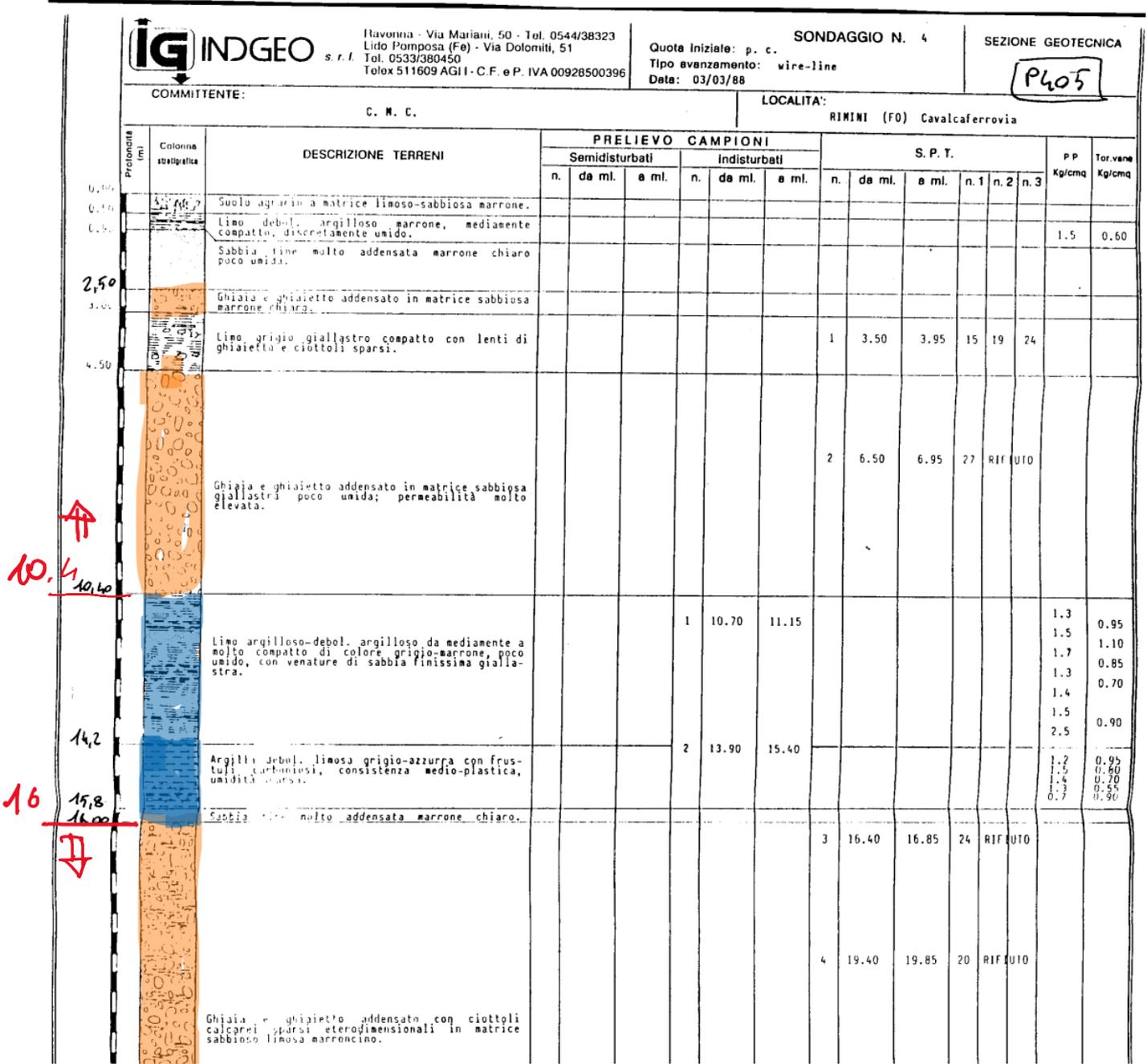


fig. 3-8 Stratigrafia P405



**ITALIAN EXHIBITION GROUP
NUOVO PARCHEGGIO SUD
RELAZIONE TECNICA SUGLI ASPETTI
IDROGEOLOGICI DELL'INTERVENTO IN RIFERIMENTO
ALLE RICHIESTE DI APPROFONDIMENTO POZZI
ACQUA POTABILE NELLE VICINANZE**

Doc.no. 25.130.01/A/01.0RE/r0C

Rev. 0

Date: ago-25

Pag. 20 of 102

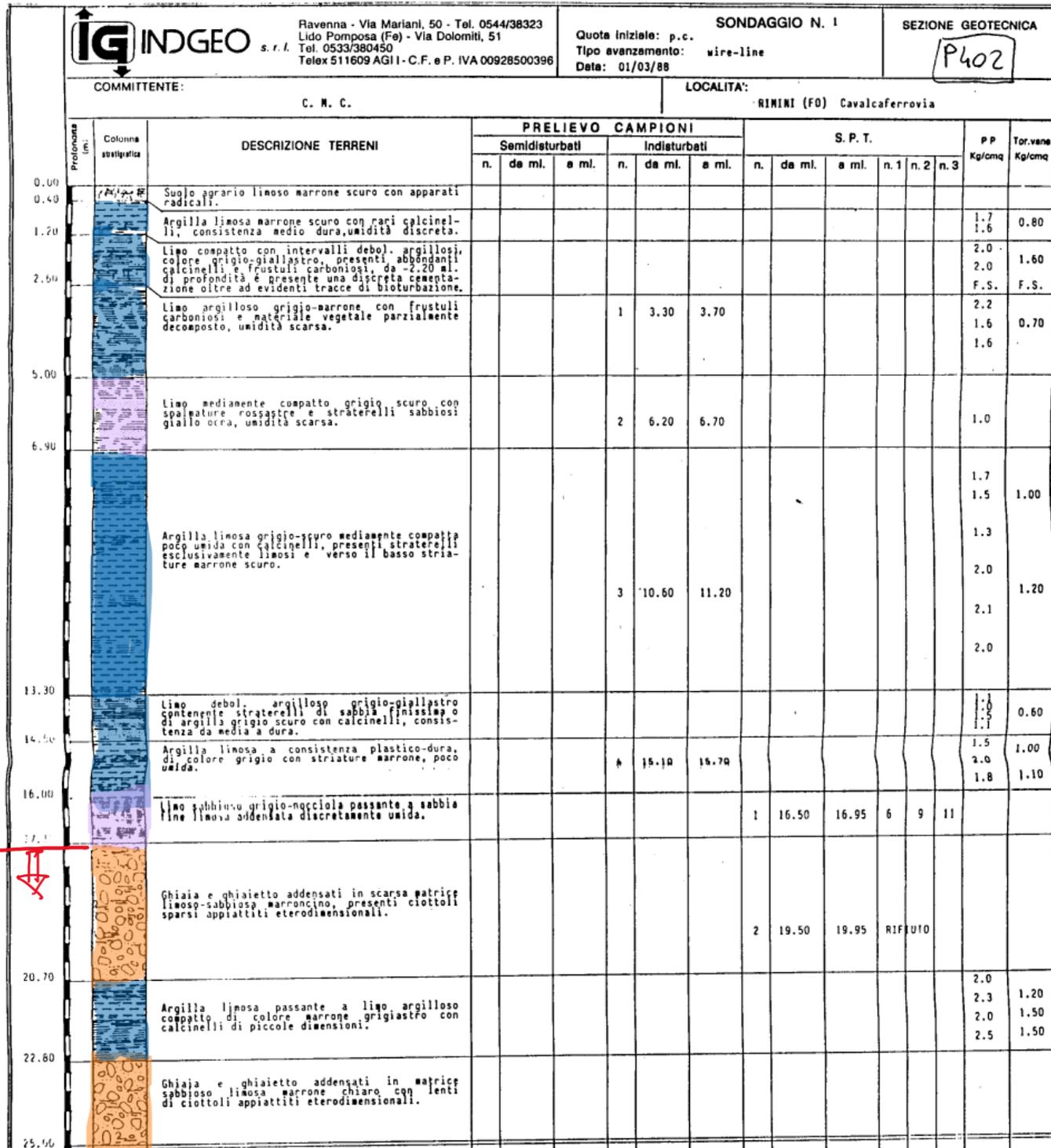


fig. 3-9 Stratigrafia P402



ITALIAN EXHIBITION GROUP
 NUOVO PARCHEGGIO SUD
 RELAZIONE TECNICA SUGLI ASPETTI
 IDROGEOLOGICI DELL'INTERVENTO IN RIFERIMENTO
 ALLE RICHIESTE DI APPROFONDIMENTO POZZI
 ACQUA POTABILE NELLE VICINANZE

Doc.no. 25.130.01/A/01.0RE/r0C
 Rev. 0 Date: ago-25
 Pag. 21 of 102

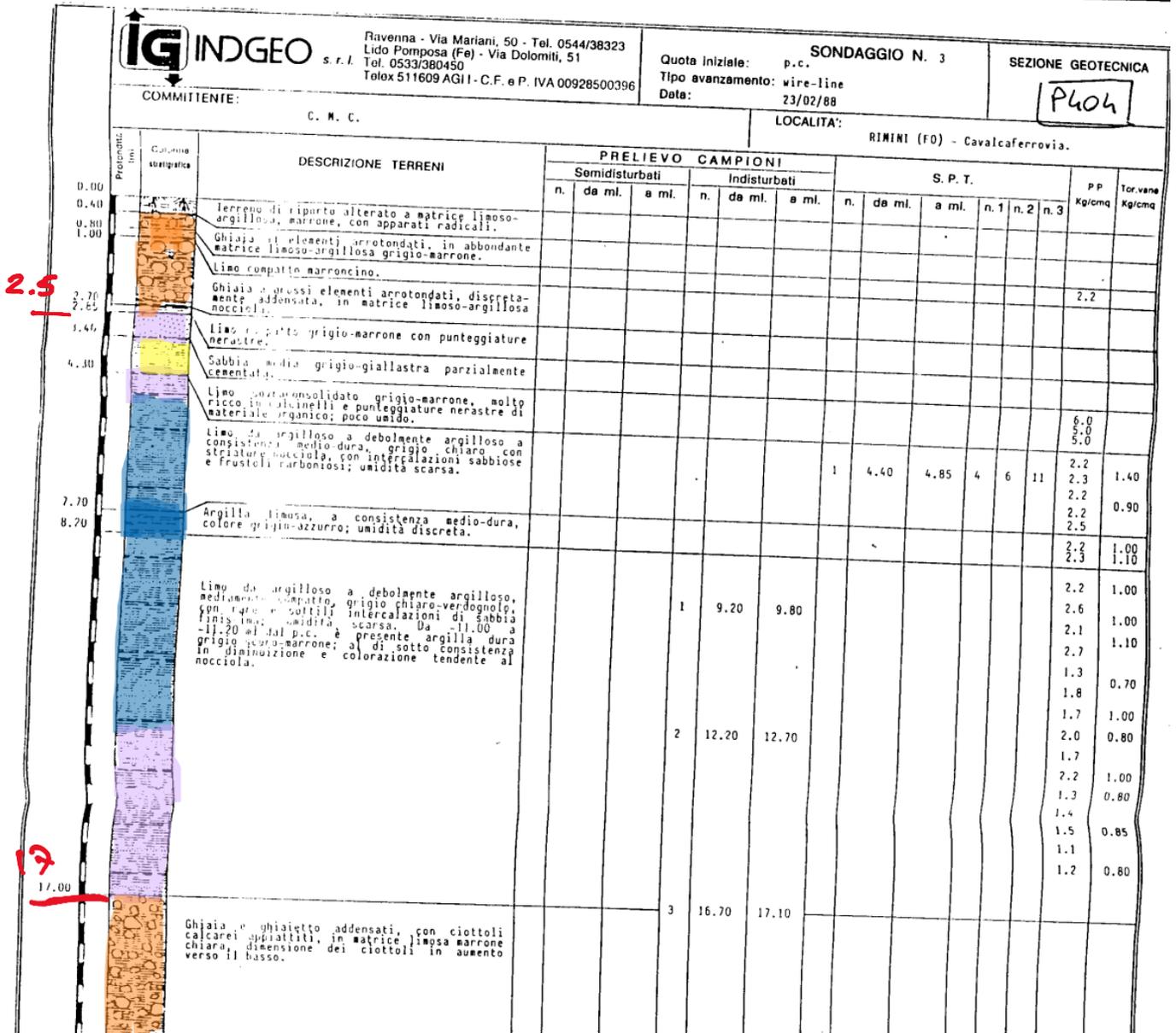


fig. 3-10 Stratigrafia P404



ITALIAN EXHIBITION GROUP
 NUOVO PARCHEGGIO SUD
 RELAZIONE TECNICA SUGLI ASPETTI
 IDROGEOLOGICI DELL'INTERVENTO IN RIFERIMENTO
 ALLE RICHIESTE DI APPROFONDIMENTO POZZI
 ACQUA POTABILE NELLE VICINANZE

Doc.no. 25.130.01/A/01.0RE/r0C
 Rev. 0 Date: ago-25
 Pag. 22 of 102

256110
 P485

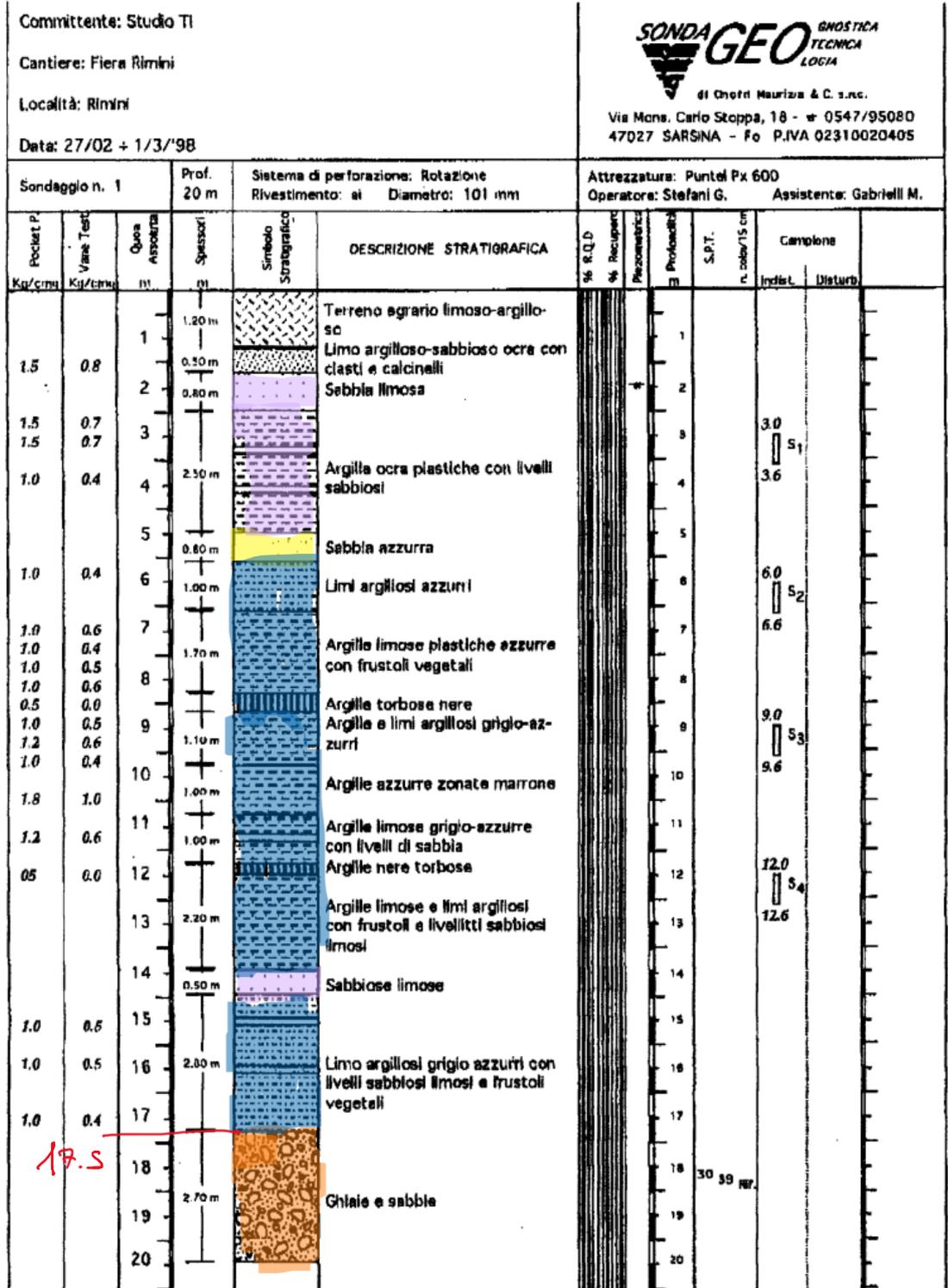


fig. 3-11 Stratigrafia P485

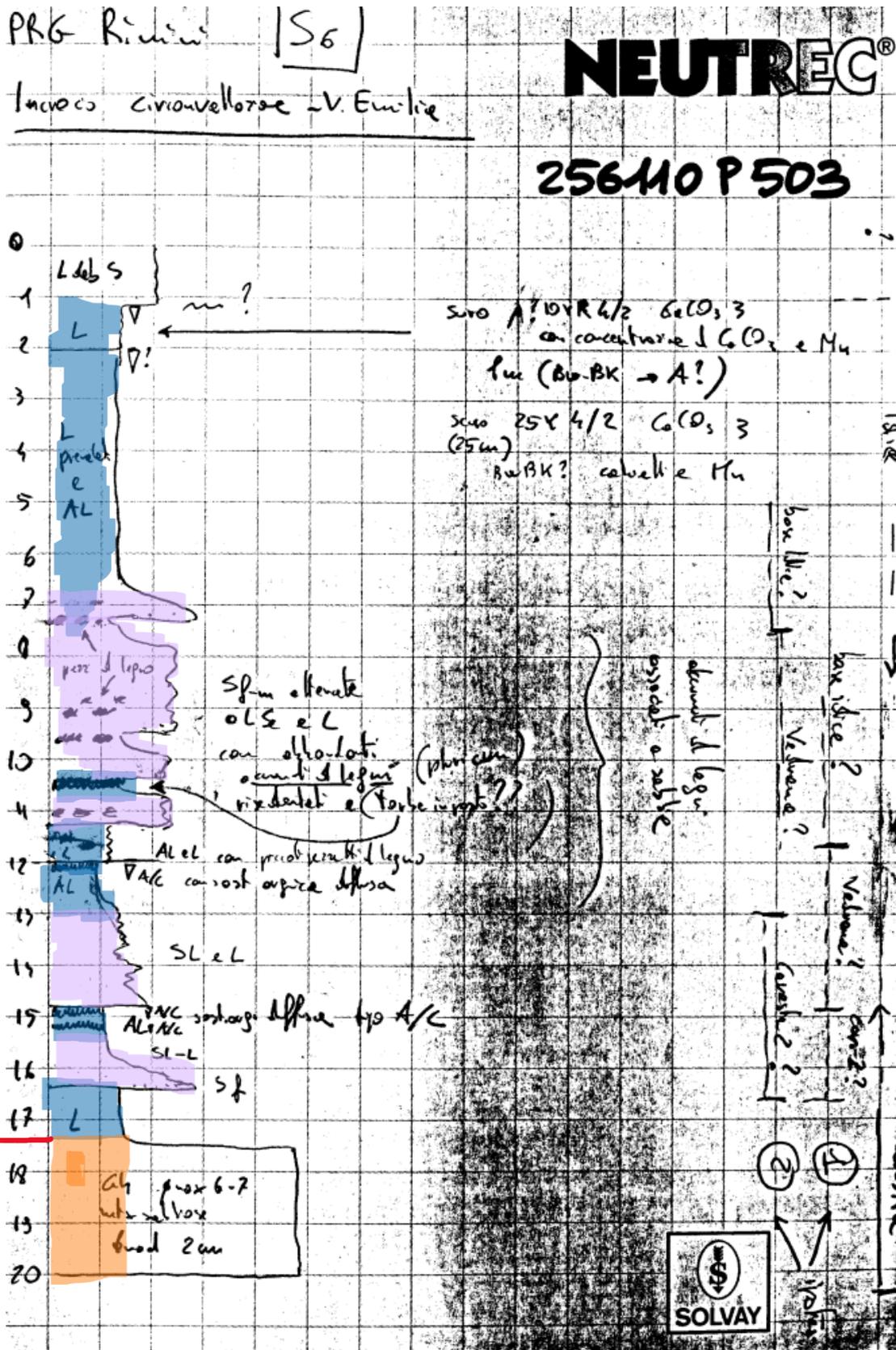


fig. 3-12 Stratigrafia P503



ITALIAN EXHIBITION GROUP
 NUOVO PARCHEGGIO SUD
 RELAZIONE TECNICA SUGLI ASPETTI
 IDROGEOLOGICI DELL'INTERVENTO IN RIFERIMENTO
 ALLE RICHIESTE DI APPROFONDIMENTO POZZI
 ACQUA POTABILE NELLE VICINANZE

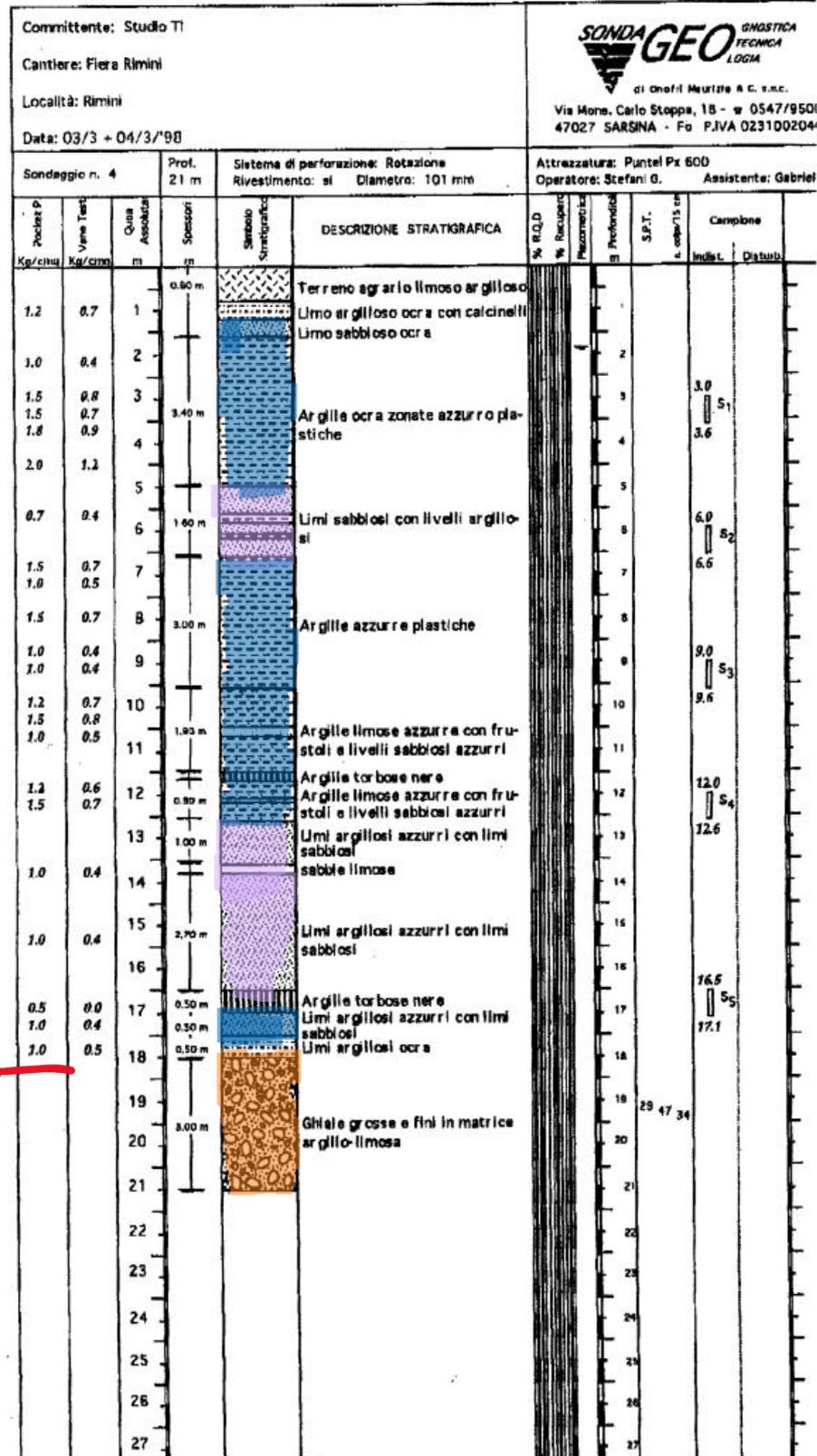
Doc.no. 25.130.01/A/01.0RE/r0C

Rev. 0

Date: ago-25

Pag. 24 of 102

256110
 P488



18

fig. 3-13 Stratigrafia P488



ITALIAN EXHIBITION GROUP
 NUOVO PARCHEGGIO SUD
 RELAZIONE TECNICA SUGLI ASPETTI
 IDROGEOLOGICI DELL'INTERVENTO IN RIFERIMENTO
 ALLE RICHIESTE DI APPROFONDIMENTO POZZI
 ACQUA POTABILE NELLE VICINANZE

Doc.no. 25.130.01/A/01.0RE/r0C
 Rev. 0 Date: ago-25
 Pag. 25 of 102

P411

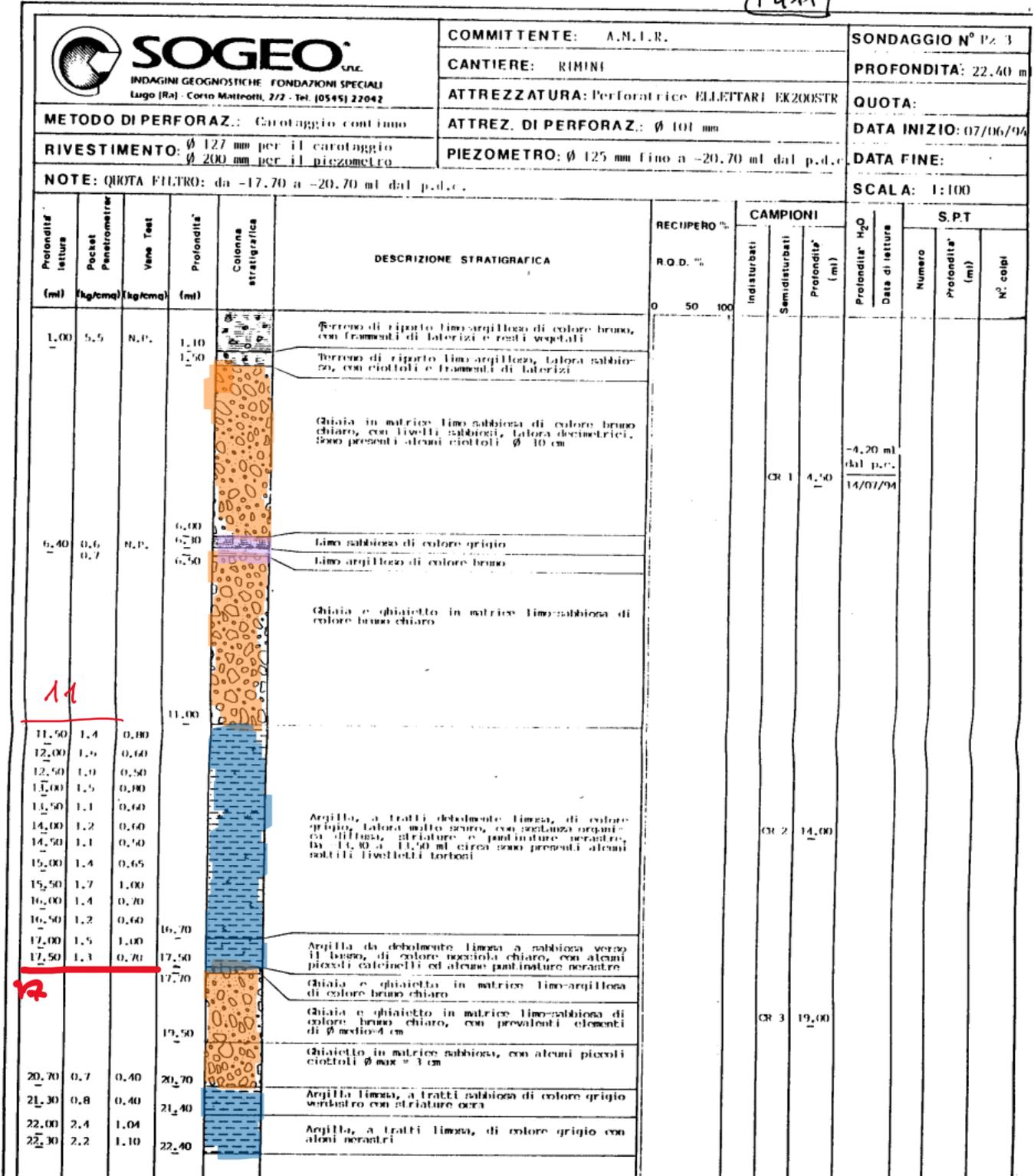


fig. 3-14 Stratigrafia P411

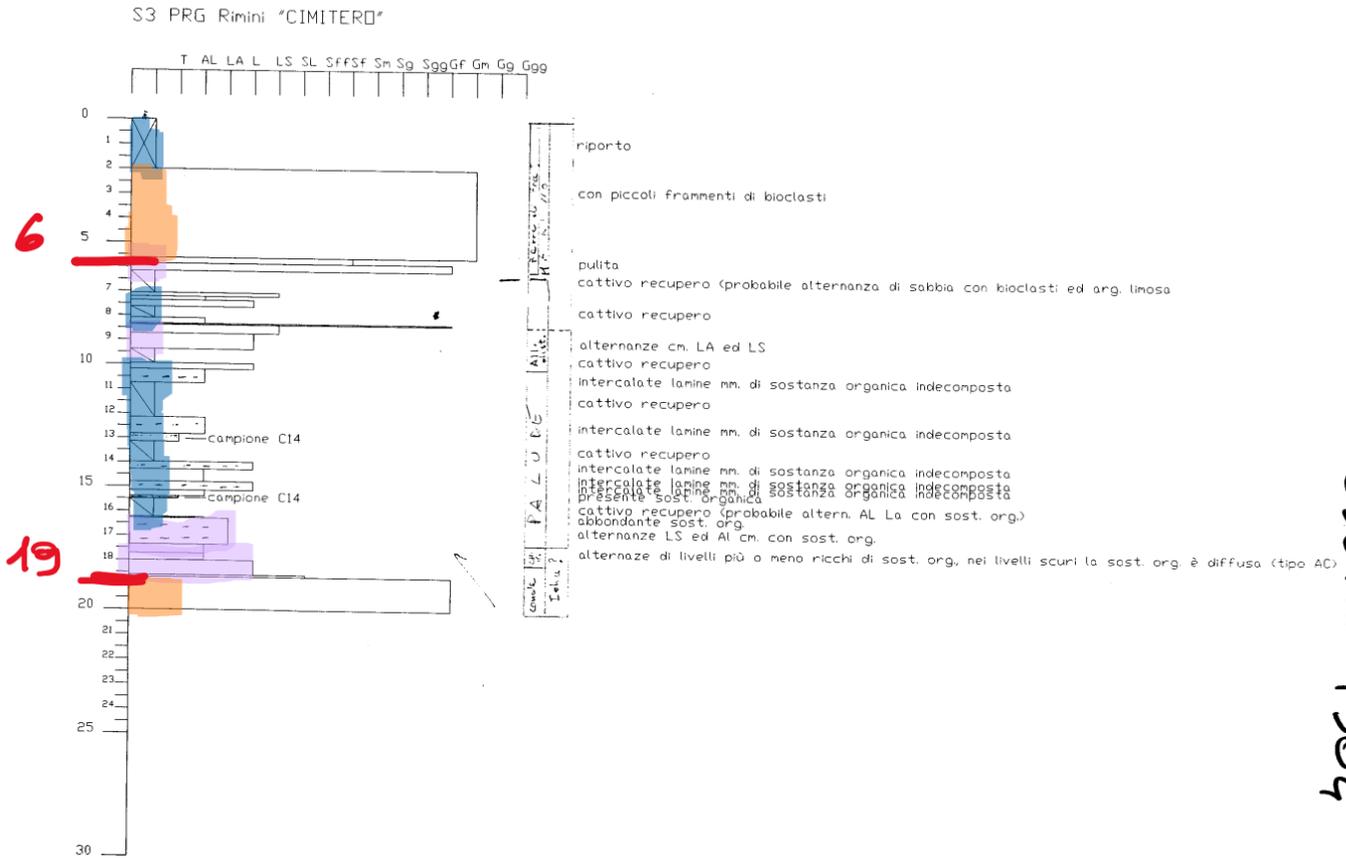


fig. 3-15 Stratigrafia P504 ("cimitero").



ITALIAN EXHIBITION GROUP
 NUOVO PARCHEGGIO SUD
 RELAZIONE TECNICA SUGLI ASPETTI
 IDROGEOLOGICI DELL'INTERVENTO IN RIFERIMENTO
 ALLE RICHIESTE DI APPROFONDIMENTO POZZI
 ACQUA POTABILE NELLE VICINANZE

Doc.no. 25.130.01/A/01.0RE/r0C
 Rev. 0 Date: ago-25
 Pag. 27 of 102

UBICAZIONE 403 → 420

P409

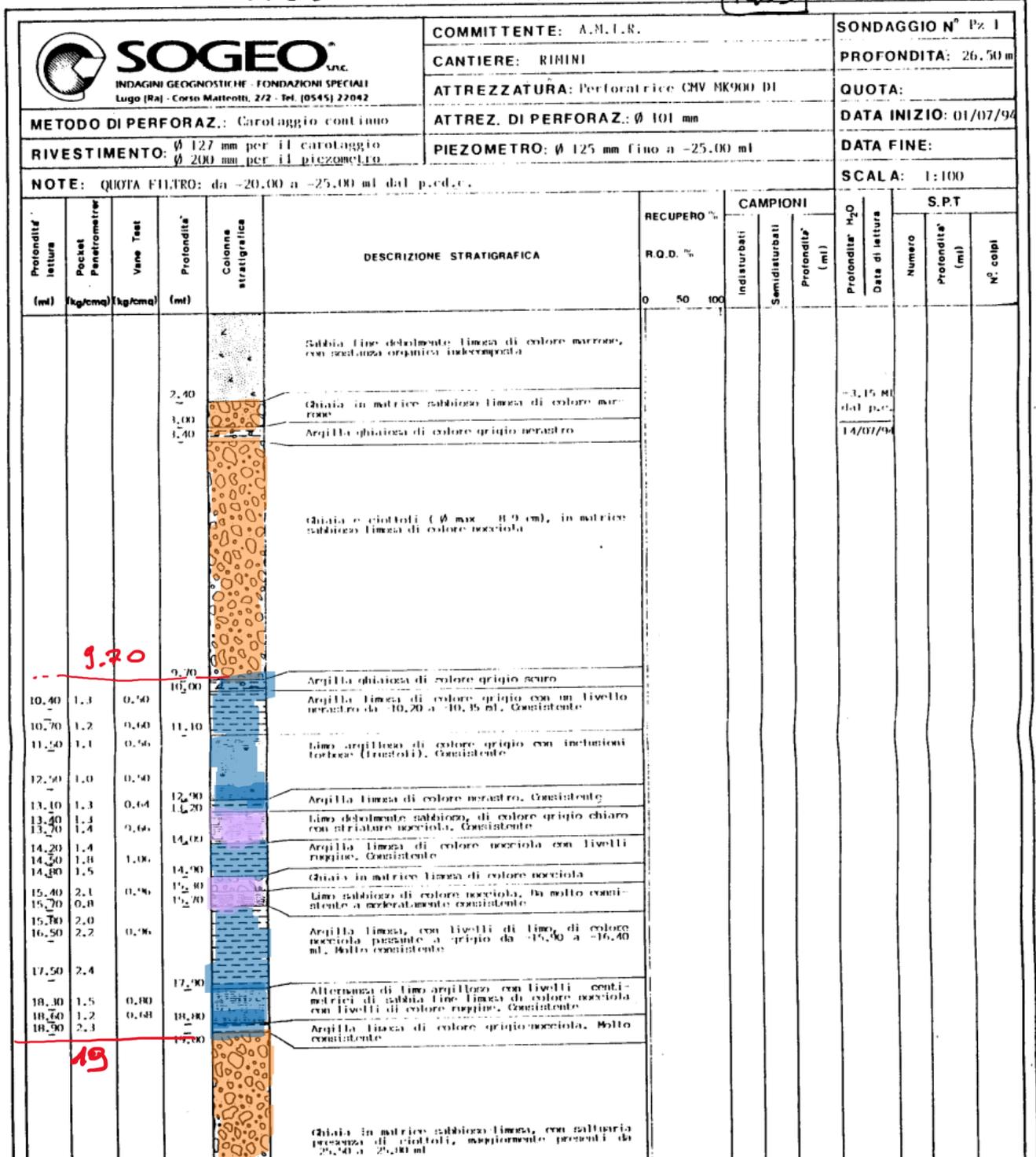


fig. 3-16 Stratigrafia P409

3.2. caratteristica qualitative della acque di falda

Si riporta per semplicità integralmente lo studio effettuato dallo scrivente in merito alla qualità delle acque del Conoide Marecchia qui con particolare riguardo alla prima falda confinata.

L'indagine sulla geochimica delle acque è stata effettuata mediante l'impiego del diagramma di Piper, sviluppato ed evoluto per poter discernere condizioni di maggiore o minore mineralizzazione con l'aggiunta della terza dimensione. E' noto che il diagramma triangolare di Piper rappresenta i rapporti negli elementi cationici ed anionici senza riuscire ad evidenziare acque della stessa origine, ma più o meno mineralizzate, (es. i punti sul diagramma di Piper relativi all'acqua di mare e ad un'acqua di mare diluita con acqua distillata risultano coincidenti).

La base dati è rappresentata da tutte le analisi chimiche rese disponibili da AMIR e successivamente HERA, dei relativi pozzi. Essi sono stati opportunamente verificati in base alla stratigrafia, eliminando i pozzi plurifinestrati e/o quelli che non davano sufficienti garanzie 'monofalda'.

I pozzi identificati "monofalda" sono stati successivamente classificati a seconda della falda di appartenenza, (distinguendo necessariamente la falda A1 nella falda tabulare I e "sottofalde" A e B).

La base dati così creata contempla tutte le analisi chimiche storiche dal 1975 al 2005; ben 30 anni di misurazioni.

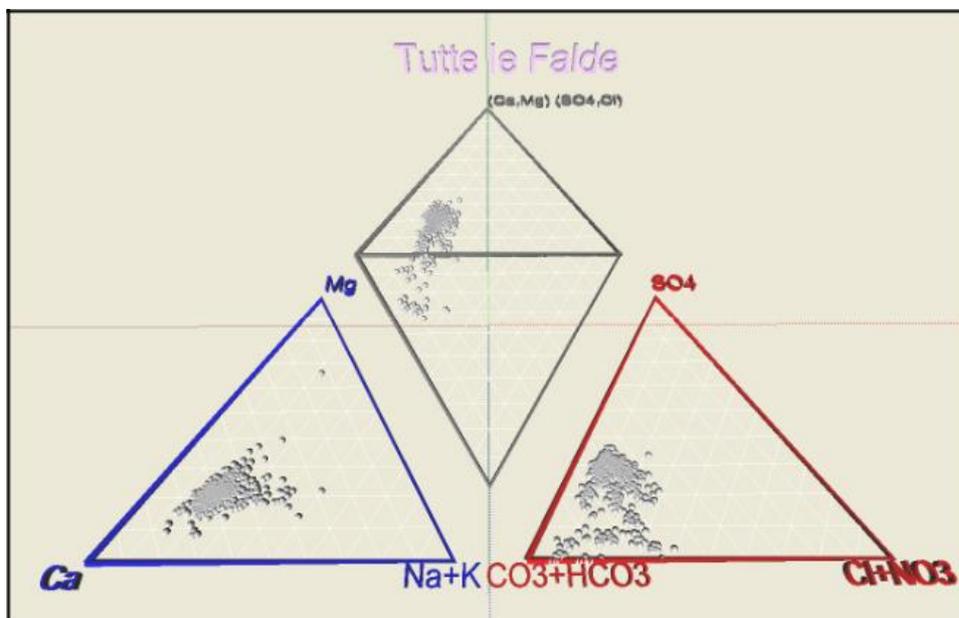


fig. 3-17 – Diagramma di Piper con tutte le chimiche della base dati.

Si osserva che le acque, a parte alcuni punti singolari, sono ben delimitate, soprattutto da un punto di vista cationico. Nel diagramma triangolare degli anioni si nota, invece, una differenziazione verso acque più bicarbonatiche.

E' interessante ora distinguere ogni analisi chimica elaborata per falda di appartenenza, sempre con le ipotesi fatte.

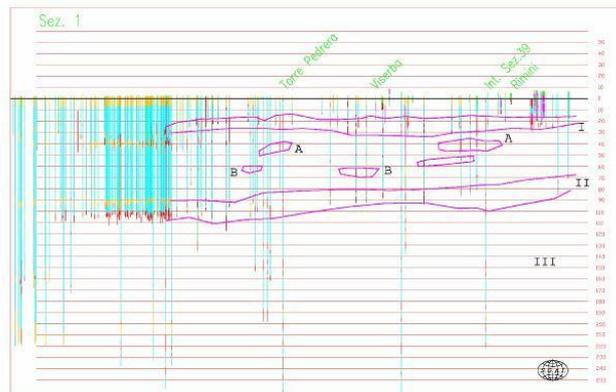


fig. 3-18 Andamento delle falde lungo la direttrice di costa.

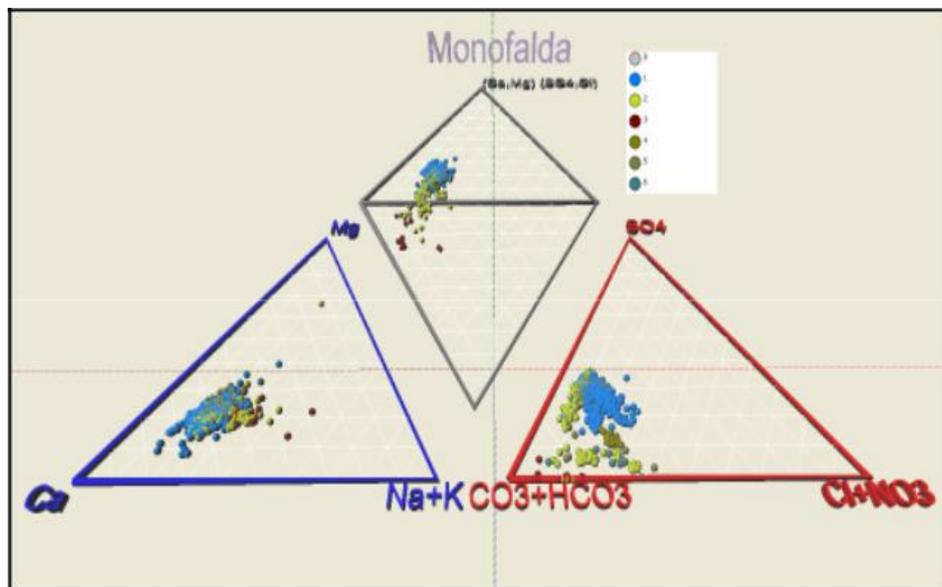
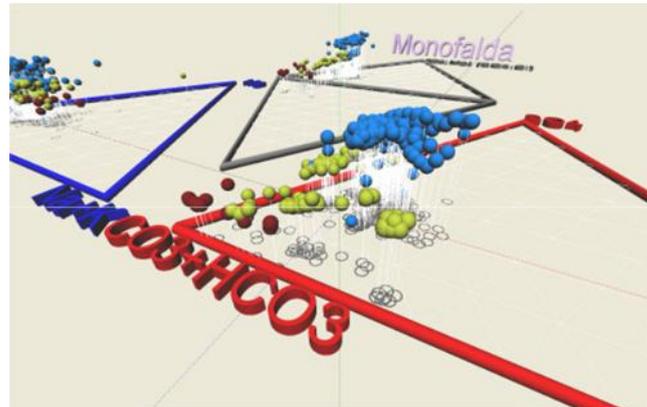


fig. 3-19 Diagramma di Piper con differenziazione per acquifero d'appartenenza.

Si osservano più sovrapposizioni fra i primi acquiferi; il terzo acquifero confinato, invece, risulta ben definito a livello anionico.

Per meglio differenziare gli acquiferi da un punto di vista chimico si è tentata una nuova via, ossia, come precedentemente scritto, si è aggiunta la terza dimensione al diagramma di Piper. Una ulteriore caratteristica di un'acqua oltre ai rapporti ionici è la loro concentrazione; si è così posta come terza dimensione la conducibilità specifica, correlabile con il residuo fisso.



| |
|--|
| <p style="text-align: center;">Prima differenziazione per Acquifero di Appartenenza:</p> <p>0 – Multifinestrato</p> <p>1- Primo Acquifero Confinato</p> <p>2- Secondo Acquifero Confinato</p> <p>3- Terzo Acquifero Confinato</p> <p>4, 5, 6 – Acquiferi intermedi non tabulari.</p> |
|--|

fig. 3-20 Diagramma di Piper con la terza dimensione rappresentata dalla conducibilità specifica.

In questo modo si è riusciti a meglio differenziare la varie falde fra loro ed a poter realisticamente identificare la falda d'appartenenza di un pozzo, data la sua un'analisi chimica, nonostante le possibili aree di sovrapposizione nel semplice diagramma di Piper.

Dalla figura si nota come le acque di prima falda abbiano una conducibilità specifica, (e quindi un residuo fisso), superiore a tutte le falde.

Osservando gli indici di saturazione del pozzo P1, (tipico della prima falda), si osserva che l'acqua è in equilibrio con il carbonato di Calcio, avendo un indice di saturazione prossimo allo zero (nella simulazione è leggermente superiore):

| Phase | SI | log IAP | log KT | |
|----------------|-------------|--------------|--------------|--------------|
| Anhydrite | -1.55 | -5.89 | -4.33 | CaSO4 |
| Aragonite | -0.04 | -8.32 | -8.27 | CaCO3 |
| CALCITE | 0.11 | -8.32 | -8.43 | CaCO3 |
| CH4 (g) | -62.19 | -64.96 | -2.77 | CH4 |
| CO2 (g) | -1.52 | -2.85 | -1.33 | CO2 |
| Dolomite | -0.42 | -17.25 | -16.83 | CaMg (CO3) 2 |
| Gypsum | -1.30 | -5.89 | -4.59 | CaSO4:2H2O |
| H2 (g) | -22.00 | -25.10 | -3.10 | H2 |
| H2O (g) | -1.80 | -0.00 | 1.80 | H2O |
| Halite | -6.86 | -5.31 | 1.56 | NaCl |
| O2 (g) | -42.88 | -45.79 | -2.91 | O2 |

Indici di saturazione per le acque del pozzo P1 (analisi del 15/02/05).

Da un punto di vista cationico (vedi precipitazione del Carbonato di Calcio), si assiste ad una riduzione del Calcio, non solo nelle quantità assoluta, ma anche relativa, passando da una falda a quella più profonda, in particolare nella terza falda, A3.

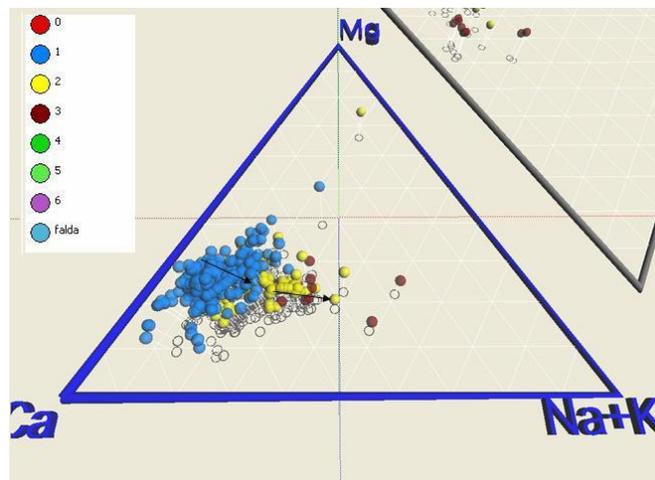


fig. 3-21 Diagramma di Piper – rapporti cationici e residui ed evoluzione dell’acqua con l’aumentare del tempo di permanenza in falda (si noti che sono rappresentati I rapporti cationici, in generale non è detto che in 3 falda il sodio+potassio sia superiore della prima).

Posto che il pH ha un ruolo fondamentale nella saturazione dei carbonati, nella prossima figura si evidenzia il pH per ogni falda.

Si osserva che il 70% delle misure eseguite su pozzi in prima falda ha pH inferiore a 7.25. La distribuzione praticamente si ribalta per la seconda, ed il 100% dei dati sulla terza ha pH superiore a 7.25.

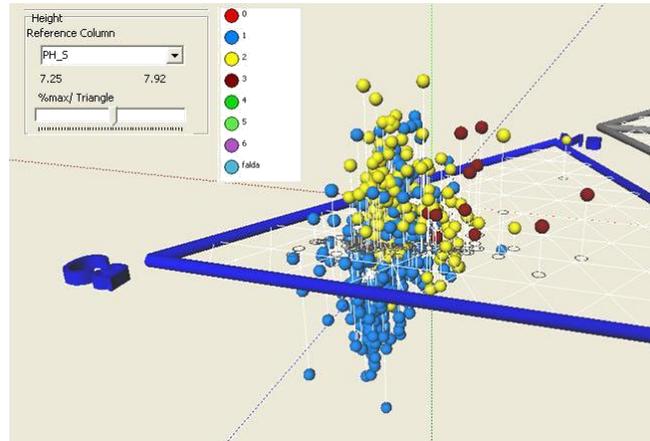


fig. 3-22 Diagramma di Piper, Altezze: pH, riferimento pH=7.25 (sul piano di Piper).

Gli indici di saturazione per un'acqua tipica della terza falda (pH più elevato) sono anch'essi in buon equilibrio con la fase calcite.

Si potrebbe quindi ipotizzare che al permanere nel tempo dell'acqua in sottterraneo si abbia un aumento di pH ed un conseguente riequilibrio con le fasi componenti l'acquifero.

| Phase | SI | log IAP | log KT | |
|-----------|--------|---------|--------|------------|
| Anhydrite | -3.14 | -7.47 | -4.33 | CaSO4 |
| Aragonite | -0.28 | -8.55 | -8.27 | CaCO3 |
| Calcite | -0.13 | -8.55 | -8.43 | CaCO3 |
| CH4 (g) | -67.22 | -69.98 | -2.76 | CH4 |
| CO2 (g) | -2.19 | -3.51 | -1.33 | CO2 |
| Dolomite | -0.67 | -17.49 | -16.82 | CaMg(CO3)2 |
| Gypsum | -2.89 | -7.47 | -4.59 | CaSO4·2H2O |
| H2 (g) | -23.10 | -26.20 | -3.10 | H2 |
| H2O (g) | -1.81 | -0.00 | 1.81 | H2O |
| Halite | -6.92 | -5.37 | 1.56 | NaCl |
| O2 (g) | -40.79 | -43.70 | -2.91 | O2 |

Indici di Saturazione per il Pozzo P51, terza falda, (analisi del 14/12/04).

Ciò è coerente con i carbonati, ma non lo è con altri elementi. Infatti nel tempo si dovrebbe assistere ad un accumulo di ioni quali sodio e cloruro, non avendo questi la possibilità di dare origine a sali per le condizioni termodinamiche presenti. La seconda e poi la terza falda hanno valori inferiori in sodio e cloruro rispetto alla prima, nonostante i rapporti cationici li rendano preponderanti.

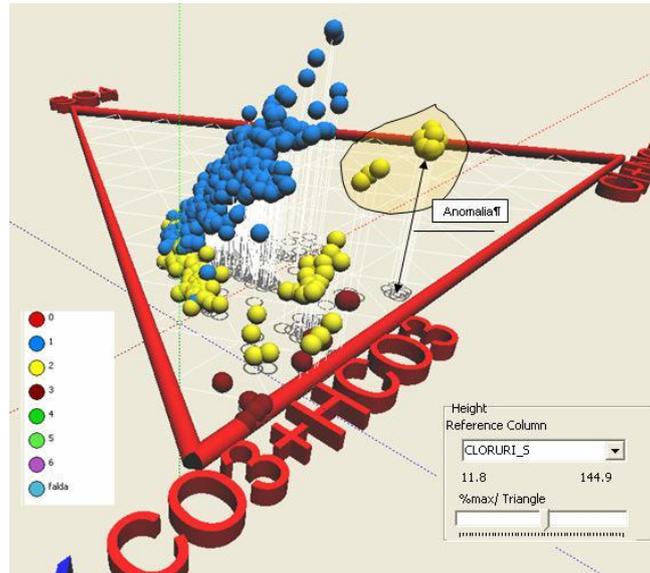


fig. 3-23 Diagramma di Piper con altezze in funzione della concentrazione in Cloruri

La differenza nel chimismo non può quindi solo derivare da un raggiungimento di equilibrio di fasi; si evidenzia quindi un probabile maggiore apporto in sostanze minerali dalle acque di infiltrazione più recenti. Non si può inoltre escludere, almeno per i punti più vicini alla costa, che vi sia presenza di cloruri dovuti a sovrappomaggio alla fine degli anni '70.

Chimica delle Acque di Prima Falda A1.

Dai diagrammi di Piper precedenti si può notare che il triangolo degli anioni, unito alla terza dimensione, può facilmente distinguere le acque provenienti dai diversi acquiferi.

Ora si prende in esame la prima falda confinata, (quella composta dalle “sferette” azzurre, nei diagrammi precedenti).

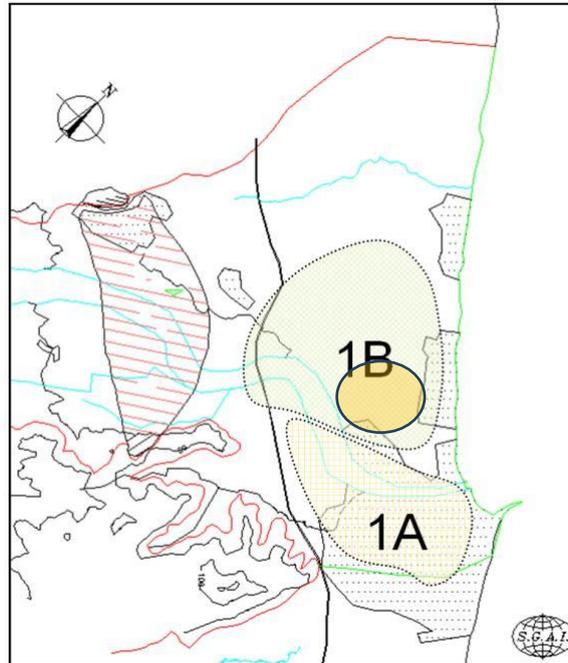


fig. 3-24 Differenziazione chimica nella prima falda confinata

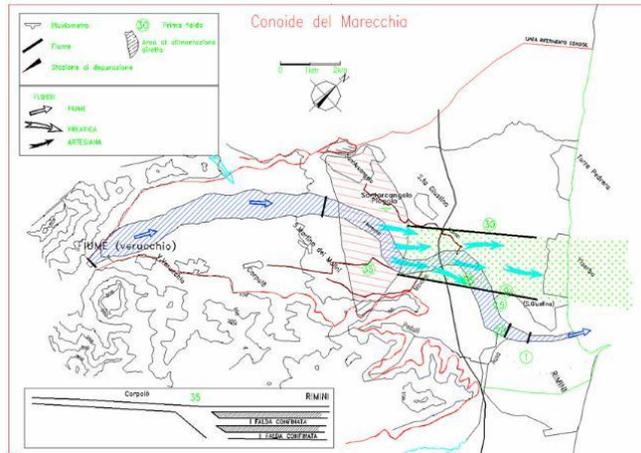
Osservando l'ubicazione dei singoli pozzi si nota una sostanziale differenziazione spaziale in due aree ben distinte, 1A ed 1B

L'area di interesse ricade in 1B come indicato nelle figure.

In particolare, l'area 1B rappresenta l'area di diretta alimentazione dal Fiume Marecchia, si osservi infatti il Fiume e la zona di anastomizzazione, ove si ha alimentazione della prima falda confinata.

L'estensione della 1B a NW non è così ben definita come rappresentato, la tendenza delle captazione più a NW è comunque di avere una minore concentrazione specifica in solfati rispetto a bicarbonati e/o cloruri nitrati.

La linea di demarcazione tra le aree 1A ed 1B è ben distinta già a valle dell'Autostrada, essa rispecchia i risultati già ottenuti nello studio effettuato per AMIR nel '99-'00, di cui si riporta una rappresentazione schematica dell'alimentazione della prima falda confinata:



L'area 1A ha una maggiore mineralizzazione, dal punto di vista anionico vi è un maggiore apporto relativo in cloruri, invece i cationi rispettano i medesimi rapporti.

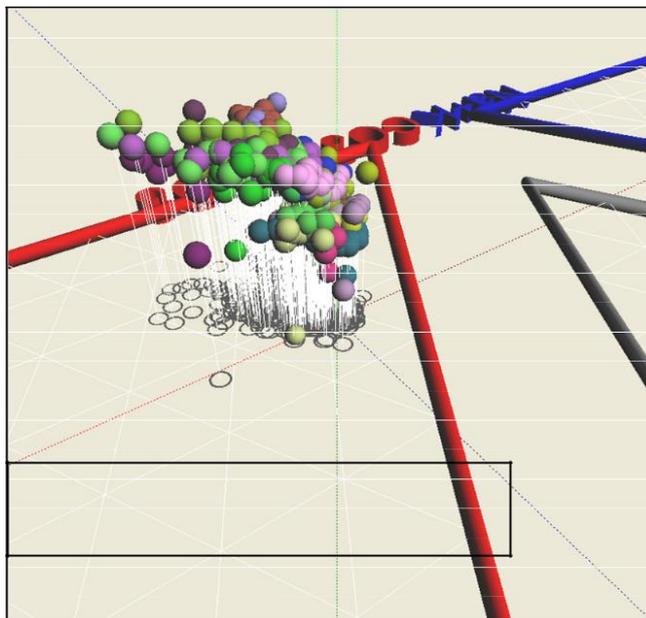


fig. 3-25 La conducibilità (correlabile con la concentrazione in sali minerali) è superiore nell'area 1A

3.3. captazioni

Nell'estensione della conoide del Marecchia vi sono diffuse molteplici captazioni che captano la prima, seconda e terza falda confinata, o come indicata nella classificazione dell'Emilia Romagna, acquifero A0, A1.



| | | | |
|-----|----------------|-----------------------|---------------------------|
| AES | AES8 | GRUPPO ACQUIFERO A | COMPLESSO ACQUIFERO A0 |
| | AES7 | | COMPLESSO ACQUIFERO A1 |
| | AES6 | | COMPLESSO ACQUIFERO A2 |
| | AES indistinto | | COMPLESSO ACQUIFERO A3+A4 |
| AEI | | GRUPPO ACQUIFERO B | |
| IMO | | GRUPPO ACQUIFERO C | |

fig. 3-26 Corrispondenza unità geologiche e gruppi acquiferi (da RER).

Lungo il Marecchia vi sono diverse captazioni nate storicamente per sfruttare il subalveo poi via via si è andati a ricercare acquiferi più profondi sino alle falde oltre i 100m.

Nell'intorno dell'area (e di possibile interesse per una modellazione di flusso) vi sono:

- pozzi ad uso acquedottistico già introdotti in premessa P69, P10, P68 gestiti da RomagnaAcque
- campo pozzi "Polveriera" con diverse captazioni nella prima falda confinata e successive
- altre captazioni ad uso acquedottistico più a valle



fig. 3-27 Captazioni filtranti parzialmente o completamente nella prima falda confinata. Con evidenza campo pozzi polveriera e campo pozzi parco Marecchia e area di interesse.



fig. 3-29 Captazioni nell'area di interesse. Cerchio giallo captazione in prima falda confinata. Cerchio ciano captazione in seconda falda confinata, cerchio bianco captazione in falda interposta.

La differenziazione in falde è importante per la comprensione delle relazioni reciproche durante gli emungimenti e per rischi da condizioni di pericolosità provenienti dalla superficie.

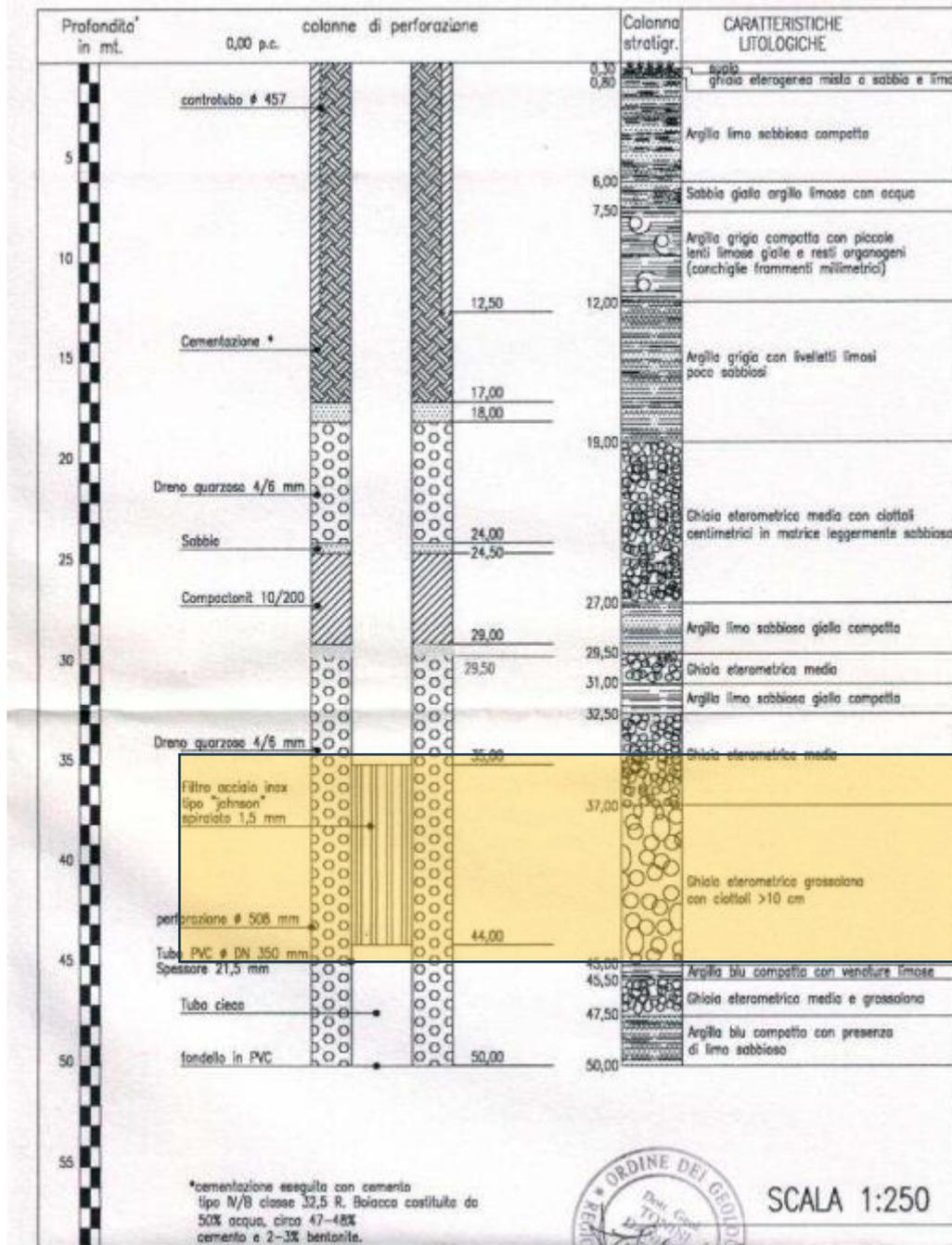


fig. 3-30 P68 con evidenza dello strato filtrante e dell'acquifero intercettato (ghiaie eterometriche grossolane con ciottoli da 37 a 45m)

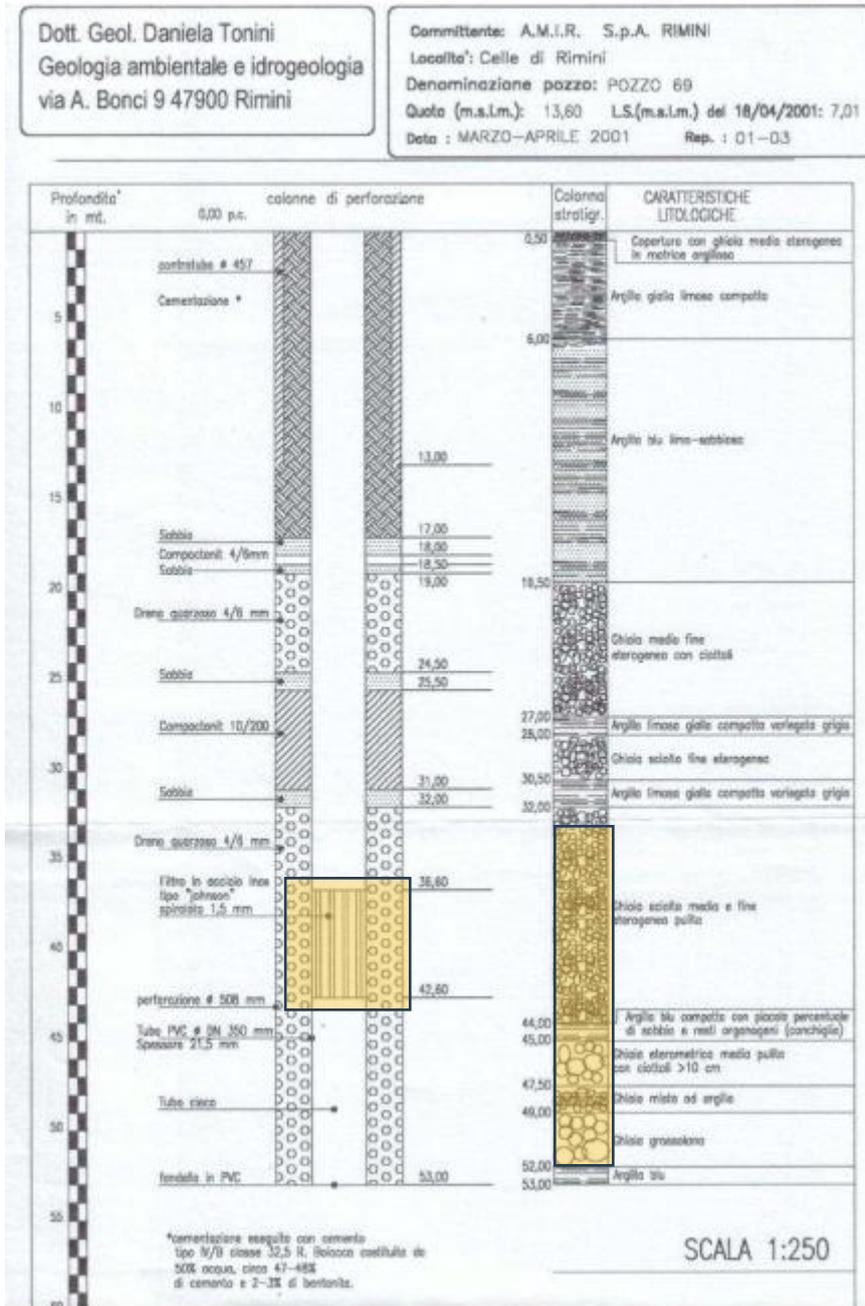


fig. 3-31 P69 con evidenza dei filtri e dello strto captato. (da 32 a 44 circa).

| | | |
|---|---|---|
|  | GEOIDROLOGIA DELLA CONGIDE DEL FIUME MARECCHIA | CODICE num.: 610 - CODICE foglio: 256F110 |
| | | Censim.PROVINCIA : |
| COMMITTENTE : AMIR | | Data esecuzione : |
| LOCALITA' : Via Emilia - Celle | | COORDINATE topog. : |
| | | SCALA sond.1: 200 - QUOTA (p.c.) +13.76 |
| | | Numerazione A.M.I.R. : 10 |

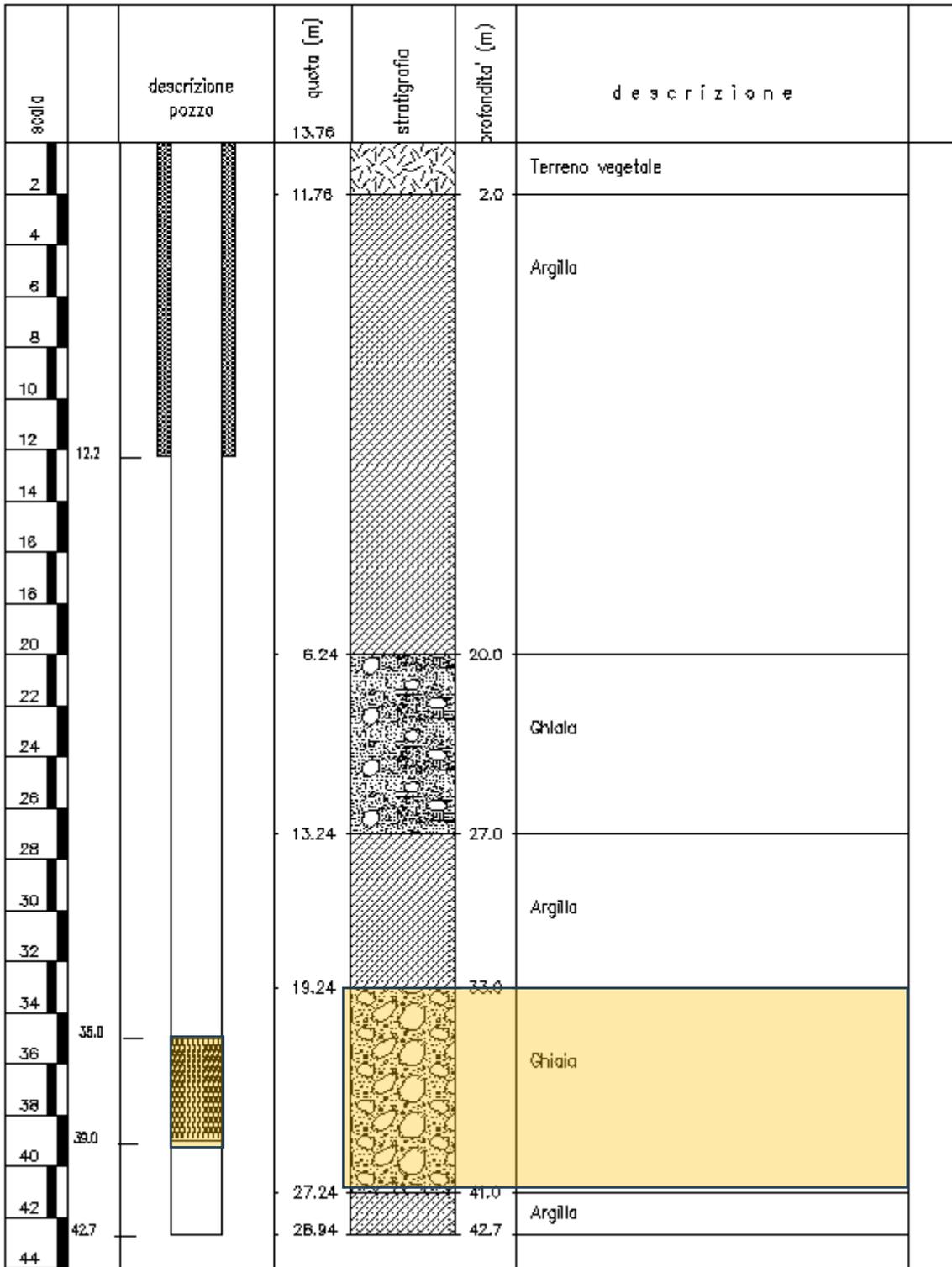


fig. 3-32 Stratigrafia P10, con evidenza orizzonte captato (33-41)

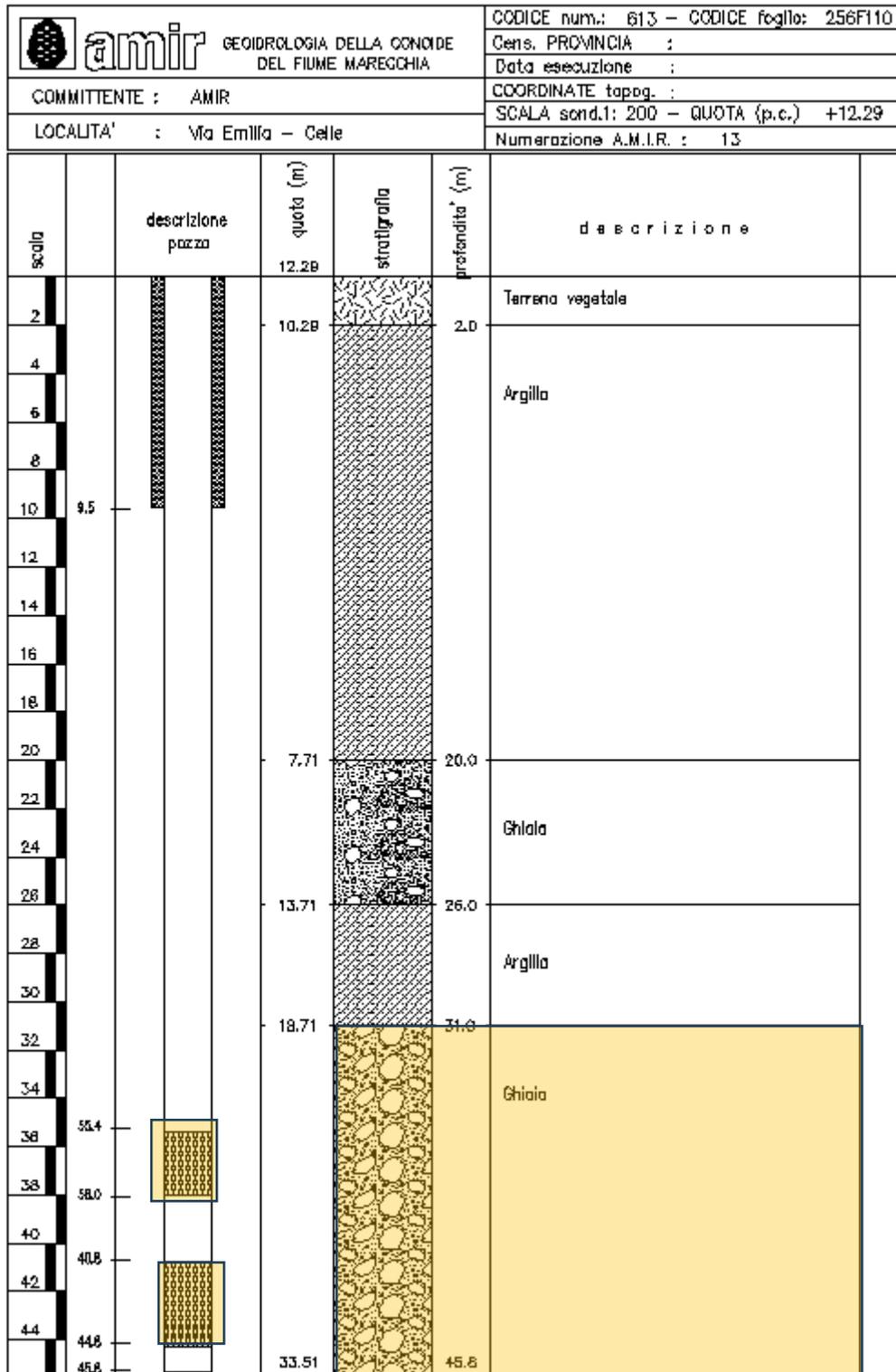


fig. 3-33 Stratigrafia P13, comunque nelle vicinanze ad uso acquedottistico. Falda captata da 31 a 45.6

Il non interesse per la prima falda confinata nell'area pare ricada certamente ad un acquifero più produttivo sottostante ma anche per altre possibili variabili:

- maggiori quantitativi (maggior permeabilità e trasmissibilità)



- qualità dell'acqua migliore (si veda capitolo precedente)

Le portate stimate di emungimento sono:

- Polveriera: 100l/s medi
- zona Celle (i pozzi di interesse) 60-80l/s
- altre captazioni mediamente 20l/s (con eventuale valutazione se peggiorative o meno nel modello).

Queste in prima approssimazione riferite alla prima falda confinata:

Le portate stimate di emungimento sono:

- Polveriera: 50-70l/s dalla prima falda confinata
- zona Celle (i pozzi di interesse) 20-30l/s dalla prima falda confinata
- altre captazioni mediamente 10-15l/s (con eventuale valutazione se peggiorative o meno nel modello) dalla prima falda confinata

3.4. caratteristiche di flusso

Sono disponibili diverse prove di portata che caratterizzano le falde confinate. Queste derivano sia dalle prove sui pozzi in questione sia dalla base dati AMIR (successivamente HERA e RomagnaAcque) disponibile [rif.AMIR 1999].

La tabella che segue rappresenta un filtro relativo alle prove di portata effettuate in passato ritenute corrette per la valutazione del coefficiente di permeabilità K , (cioè eseguite con piezometro e su curva a portata costante):



ITALIAN EXHIBITION GROUP
NUOVO PARCHEGGIO SUD
RELAZIONE TECNICA SUGLI ASPETTI
IDROGEOLOGICI DELL'INTERVENTO IN RIFERIMENTO
ALLE RICHIESTE DI APPROFONDIMENTO POZZI
ACQUA POTABILE NELLE VICINANZE

| PROPRIETÀ | N poz | S coeff. Immagaz. | K conducibilità da pomp. costante (m/sec) | P | Ciclo p | LOCALITÀ | spessore orizzonte prodotti | DATA PROVE DI SPURGO E PORTATA | Q delle prove (l) | T trasmissività pompaggio costante (sq m/se) |
|-----------|-------|-------------------|---|-----|---------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------------|-------------------|--|
| AMIR | 1 | 1.200.E-01 | 2.18E-04 | * | | Parco XXV aprile | 7.33 | 21-05-90 | 20.0 | 1.60E-03 |
| AMIR | 6 | 2.900.E-02 | 1.13E-03 | * | | BASEBALL | 6.6 | 29/09-02/10/94 | 30.0 | 7.48E-03 |
| AMIR | 6 | 8.700.E-05 | 6.82E-03 | | I | BASEBALL | 6.6 | 29/09-02/10/94 | 30.0 | 4.50E-02 |
| AMIR | 6 | 5.200.E-04 | 3.48E-03 | 217 | I | BASEBALL | 6.6 | 29/09-02/10/94 | 30.0 | 2.30E-02 |
| AMIR | 17 | 2.000.E-02 | 4.55E-04 | * | | Parco XXV aprile | 7.7 | Mar-90 | 44.4 | 3.50E-03 |
| AMIR | 17 | 5.800.E-03 | 5.58E-04 | | | Parco XXV aprile | 7.7 | 27-02-83 | 44.4 | 4.30E-03 |
| AMIR | 17 | 6.800.E-05 | 1.10E-03 | 4 | I | Parco XXV aprile | 7.7 | 27-02-83 | 44.4 | 8.50E-03 |
| AMIR | 17 | 1.100.E-04 | 1.30E-03 | 2 | I | Parco XXV Aprile | 7.7 | 27-02-83 | 44.4 | 1.00E-02 |
| AMIR | 17 | 2.100.E-05 | 1.94E-03 | 20 | I | Parco XXV Aprile | 7.7 | 27-02-83 | 44.4 | 1.49E-02 |
| AMIR | 36 | 8.200.E-03 | 1.00E-03 | | | BASEBALL | 3.2 | Apr-90 | | 3.20E-03 |
| AMIR | 42 | 8.760.E-06 | 5.44E-04 | * | | Case nuove ORSOLETO | 5 | Sep-83 | 29.0 | 2.72E-03 |
| AMIR | 44 | 1.070.E-01 | 3.86E-04 | | | Case nuove ORSOLETO | 7 | May-89 | 38.0 | 2.70E-03 |
| AMIR | 51 | 2.600.E-01 | 2.00E-05 | * | | campo pozzi "POLVERIERA" | 5.5 | Aug-94 | 11.5 | 1.10E-04 |
| AMIR | 51 | 1.100.E-03 | 2.91E-04 | 52 | | campo pozzi "POLVERIERA" | 5.5 | Aug-94 | 11.5 | 1.60E-03 |
| AMIR | 52 | 1.100.E-01 | 2.13E-05 | * | | campo pozzi "POLVERIERA" | 19 | Sep-94 | 20.0 | 4.05E-04 |
| AMIR | 52 | 9.400.E-04 | 1.21E-04 | 51 | | campo pozzi "POLVERIERA" | 19 | Sep-94 | 20.0 | 2.30E-03 |
| AMIR | 54 | 5.500.E-02 | 2.54E-04 | * | | campo pozzi "POLVERIERA" | 6.7 | May-93 | 23.0 | 1.70E-03 |
| AMIR | 55 | 1.060.E-01 | 1.14E-03 | * | | campo pozzi "POLVERIERA" | 7.3 | Jun-90 | 36.0 | 8.30E-03 |
| AMIR | 57 | 3.100.E-01 | 1.70E-05 | * | | campo pozzi "POLVERIERA" | 8.8 | 13-10-92 | 25.0 | 1.50E-04 |
| AMIR | 57 | 5.100.E-05 | 1.05E-03 | 53 | | campo pozzi "POLVERIERA" | 6.5 | 13-10-92 | 25.0 | 6.80E-03 |
| AMIR | 58 | 9.000.E-03 | 1.76E-03 | * | | campo pozzi "POLVERIERA" | 7.5 | 13-10-92 | 75.0 | 1.32E-02 |
| AMIR | 60 | 2.600.E-03 | 2.06E-03 | * | | campo pozzi "POLVERIERA" | 6.8 | Jun-93 | 10.0 | 1.40E-02 |
| AMIR | 60 | 5.500.E-04 | 5.44E-03 | 55 | | campo pozzi "POLVERIERA" | 6.8 | Jun-93 | 10.0 | 3.70E-02 |
| AMIR | 60 | 6.500.E-04 | 5.59E-03 | 92 | | campo pozzi "POLVERIERA" | 6.8 | Jun-93 | 10.0 | 3.80E-02 |

Si osserva una conducibilità variabile da 10^{-5} a 10^{-2} m/s. Vengono quindi filtrati per i campi pozzi vicini e nelle falde confinate simili. Polveriera, Baseball e Orsoletto.

Per prendere un valore medio realistico viene effettuata una distribuzione log-normale (base 10).

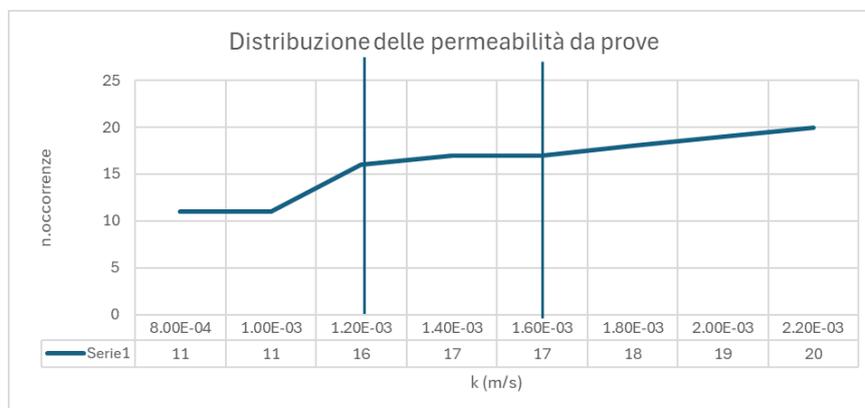


fig. 3-34 Distribuzione delle permeabilità da prove effettuate nelle falde confinate nell'area di studio.

Il valore medio della serie così filtrata è: 1.53 E-3 m/s , con un minimo di 1.7 E-5 e massimo di 6.82 E-3 m/s .



ITALIAN EXHIBITION GROUP
NUOVO PARCHEGGIO SUD
RELAZIONE TECNICA SUGLI ASPETTI
IDROGEOLOGICI DELL'INTERVENTO IN RIFERIMENTO
ALLE RICHIESTE DI APPROFONDIMENTO POZZI
ACQUA POTABILE NELLE VICINANZE

| | |
|---------------------------------------|--------------|
| Doc.no. 25.130.01/A/01.0RE/r0C | |
| Rev. 0 | Date: ago-25 |
| Pag. 47 of 102 | |

Per la calibrazione si adotterà come primo valore il valore medio ottenuto.

Per gli strati aquitard e freatica non vi sono prove dirette a supporto in quanto, chiaramente, non hanno interesse per lo sfruttamento. Però si hanno a disposizione prove geotecniche effettuate (CPTu e prove edometriche in particolare) dirette e di laboratorio dalle quali è possibile determinare la permeabilità.

Si assume che questa rappresenti la *permeabilità verticale* che viene generalmente assunta 10 volte inferiore a quella orizzontale per tutti gli orizzonti stratigrafici sedimentari orizzontali.

A supporto la relazione geologica e le prove di laboratorio geotecnico allegate al progetto di variante urbanistica della Fiera del 2017-2018. Prove eseguite nel 2017-2018.

Da queste emergono permeabilità dell'ordine di $1E-10 - 1E-11$ m/s per strati argillosi



**ITALIAN EXHIBITION GROUP
NUOVO PARCHEGGIO SUD
RELAZIONE TECNICA SUGLI ASPETTI
IDROGEOLOGICI DELL'INTERVENTO IN RIFERIMENTO
ALLE RICHIESTE DI APPROFONDIMENTO POZZI
ACQUA POTABILE NELLE VICINANZE**

Doc.no. **25.130.01/A/01.0RE/r0C**

Rev. 0

Date: ago-25

Pag. 48 of 102



LABORATORIO GEOTECNICO

del Dr. Geol. M. Mularoni
Via Casalecchio, 39 - 47924 Rimini

Azienda certificata ISO 9001:2000
Cert. SGS n. IT05/1218
Ass. Laboratori Geotecnici Italiani
A.L.G.I. n. 56

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti Art. 59 DPR 380/2001 D. n. 0000128 del 10/01/2014

| | | | |
|---------------------------|--|----------------------|-------------|
| COMMITTENTE | ITALIAN EXHIBITION GROUP S.p.a. | SONDAGGIO | 1 |
| CANTIERE | AMPLIAMENTO FIERA | CAMPIONE | 1 |
| LOCALITA' | RIMINI | PROFONDITA' da m | 4,00 |
| RIF. | G17-243 | a m | 4,50 |
| Data ricevimento campione | 24.01.2018 | Verbale accettazione | 015/18 |
| Data certificati | 22.02.2018 | Procedura operativa | |

SOMMARIO DELLE CARATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE

| CARATTERISTICHE VOLUMETRICHE | | | | LIMITI DI ATTERBERG | | | |
|---------------------------------|-------------------|-----------------|---------|--------------------------|-----|--------------|----------------|
| Contenuto in acqua | Wn | 32,99 | % | Limite di liquidità | LL | 49,8 | % |
| Peso di volume umido | y | 1,93 | g/cmc | Limite di plasticità | LP | 26,2 | % |
| Peso di volume secco | yd | 1,45 | g/cmc | Limite di ritiro | LR | | % |
| Peso specifico | G | | g/cmc | Indice liquido | IL | 0,29 | |
| Indice dei vuoti | e | | | Indice plastico | IP | 23,6 | |
| Porosità | n | | % | Indice di consistenza | IC | 0,71 | |
| Umidità di saturazione | Wsat | | % | Indice di ritiro | IS | | |
| Grado di saturazione | Sr | | % | Grado di attività | A | | |
| Tenore CaCO3 | | | % | Sensibilità | St | | |
| GRANULOMETRIA | | | | RESISTENZA A COMPRESIONE | | | |
| Ciottoli | C | | % | Compressione semplice | sc | | KPa |
| Ghiaia | G | | % | Deformazione a rottura | ev | | % |
| Sabbia | S | 10,2 | % | PP-VT | | | |
| Limo+argilla | L+A | | % | | da | a | |
| Limo | L | 63 | % | Pocket penetrometer | PP | 100 | 120 KPa |
| Argilla | A | 26,8 | % | Vane Test | VT | 40 | 50 KPa |
| Coeff. di uniformità | U | | | | | | |
| Classificazione CNR-UNI 10006 | | | | | | | |
| PROVA DI TAGLIO DIRETTO | | | | | | | |
| Test CD | Angolo di attrito | f' | ° | Coesione efficace | c' | | KPa |
| Test CU | Angolo di attrito | f _{cu} | ° | Coesione non drenata | cu | | KPa |
| Test CR | Angolo di attrito | f _r | ° | Coesione residua | cr | | KPa |
| PROVA DI COMPRESIONE TRIASSIALE | | | | | | | |
| Test CD | Angolo di attrito | f' | ° | Coesione efficace | c' | | KPa |
| Test CU | Angolo di attrito | f _{cu} | ° | Coesione non drenata | ccu | | KPa |
| Test CR | Angolo di attrito | f _{uu} | ° | Coesione non drenata | cuu | | KPa |
| PROVA EDMETRICA | | | | | | | |
| Modulo edometrico | Ed | 2,5 | MPa | Gradino di carico | s | 196,1 | MPa |
| Coeff. di consolidazione | Cv | 0,000044 | cmq/sec | Indice di rigonfiamento | Cs | | |
| Coeff. di compress. edom. | Mv | 0,4 | mq/KN | | | | |
| Coeff. di permeabilità | K | 2E-11 | m/sec | Coeff. di cons. second. | Ca | | % |

Note:



Lo Sperimentatore
Dr. Marino Mularoni

Il Direttore del Laboratorio
Dr. Geol. Marino Mularoni

fig. 3-35 Prova edometrica con evidenza della permeabilità derivata dalla prova.



**ITALIAN EXHIBITION GROUP
NUOVO PARCHEGGIO SUD
RELAZIONE TECNICA SUGLI ASPETTI
IDROGEOLOGICI DELL'INTERVENTO IN RIFERIMENTO
ALLE RICHIESTE DI APPROFONDIMENTO POZZI
ACQUA POTABILE NELLE VICINANZE**

| | |
|--|--------------|
| Doc.no. 25.130.01/A/01.0RE/r0C | |
| Rev. 0 | Date: ago-25 |
| Pag. 49 of 102 | |



LABORATORIO GEOTECNICO
del Dr. Geol. M. Mularoni
Via Casalecchio, 39 - 47924 Rimini

Azienda certificata ISO 9001:2000
Cert. SGS n. IT05/1218
Ass. Laboratori Geotecnici Italiani
A.L.G.I. n. 56

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti Art. 59 DPR 380/2001 D. n. 0000128 del 10/01/2014

| | | | |
|---------------------------|--|----------------------|-------------|
| COMMITTENTE | ITALIAN EXHIBITION GROUP S.p.a. | SONDAGGIO | 2 |
| CANTIERE | AMPLIAMENTO FIERA | CAMPIONE | 1 |
| LOCALITA' | RIMINI | PROFONDITA' da m | 2,60 |
| RIF. | G17-243 | a m | 3,10 |
| Data ricevimento campione | 24.01.2018 | Verbale accettazione | 018/18 |
| Data certificati | 22.02.2018 | Procedura operativa | |

SOMMARIO DELLE CARATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE

| CARATTERISTICHE VOLUMETRICHE | | | | LIMITI DI ATTERBERG | | | |
|----------------------------------|-------------------|-----------------|---------|---------------------------|-----|--------------|-----|
| Contenuto in acqua | Wn | 27,36 | % | Limite di liquidità | LL | 40,4 | % |
| Peso di volume umido | γ | 2,05 | g/cmc | Limite di plasticità | LP | 25,8 | % |
| Peso di volume secco | γ _d | 1,61 | g/cmc | Limite di ritiro | LR | | % |
| Peso specifico | G | | g/cmc | Indice liquido | IL | 0,11 | |
| Indice dei vuoti | e | | | Indice plastico | IP | 14,6 | |
| Porosità | n | | % | Indice di consistenza | IC | 0,89 | |
| Umidità di saturazione | W _{sat} | | % | Indice di ritiro | IS | | |
| Grado di saturazione | S _r | | % | Grado di attività | A | | |
| Tenore CaCO ₃ | | | % | Sensibilità | St | | |
| GRANULOMETRIA | | | | RESISTENZA A COMPRESSIONE | | | |
| Ciottoli | C | | % | Compressione semplice | sc | | KPa |
| Ghialia | G | 0,5 | % | Deformazione a rottura | ev | | % |
| Sabbia | S | 24,2 | % | | | | |
| Limo+argilla | L+A | | % | | | | |
| Limo | L | 52,3 | % | | | | |
| Argilla | A | 23,0 | % | | | | |
| Coeff. di uniformità | U | | | | | | |
| Classificazione CNR-UNI 10006 | | | | | | | |
| PROVA DI TAGLIO DIRETTO | | | | | | | |
| Test CD | Angolo di attrito | f' | ° | Coesione efficace | c' | | KPa |
| Test CU | Angolo di attrito | f _{cu} | ° | Coesione non drenata | cu | | KPa |
| Test CR | Angolo di attrito | f _r | ° | Coesione residua | cr | | KPa |
| PROVA DI COMPRESSIONE TRIASSIALE | | | | | | | |
| Test CD | Angolo di attrito | f' | ° | Coesione efficace | c' | | KPa |
| Test CU | Angolo di attrito | f _{cu} | ° | Coesione non drenata | ccu | | KPa |
| Test CR | Angolo di attrito | f _{uu} | ° | Coesione non drenata | cuu | | KPa |
| PROVA EDOMETRICA | | | | | | | |
| Modulo edometrico | Ed | 5,7 | MPa | Gradino di carico | s | 196,1 | MPa |
| Coeff. di consolidazione | Cv | 0,0002 | cmq/sec | Indice di rigonfiamento | Cs | | |
| Coeff. di compress. edom. | Mv | 0,18 | mq/KN | | | | |
| Coeff. di permeabilità | K | 3E-11 | m/sec | Coeff. di cons. second. | Ca | | % |

Note:



Lo Sperimentatore
Dr. Marino Mularoni

Il Direttore del Laboratorio
Dr. Geol. Marino Mularoni

fig. 3-36 Per campione a 3m circa.

I campioni sono rappresentativi di strati di limo con sabbia e argilla.

La relazione giunse a questa sintesi:



Livello superficiale e/o terreno di riporto (dal p.c. a - 0.20 ÷ 2.60 mt.) – Litotipo “V”:

Angolo di attrito interno c.d.

| | |
|------------------------|-----------------------------|
| Valore caratteristico | $Xk\phi = 16^\circ$ |
| Coesione drenata | $C' = 0.00 \text{ Kg/cm}^2$ |
| Peso di volume | $Y = 1.9 \text{ Kg/cm}^3$ |
| Peso di volume immerso | $Y' = 0.9 \text{ Kg/cm}^3$ |
| Angolo di attrito | $\phi_u = 0^\circ$ |

Coesione in sforzi totali

| | |
|-----------------------|--|
| Valore caratteristico | $Xkcu = 0.28 \text{ Kg/cm}^2$ |
| Modulo edometrico | $Eed = 23.10 \text{ Kg/cm}^2$ |
| Modulo elastico | $Ei = 25.6 \text{ Kg/cm}^2$ |
| Modulo Poisson | $Mv = 0.21$ |
| Modulo di Winkler | $W = 1.8 \text{ Kg/cm}^3$ |
| Permeabilità | $K = 3.32 \cdot 10^{-6} \text{ cm/sec.}$ |

Limi argillosi da poco a mediamente consistenti (da -0.20 ÷ 2.60 mt. a - 6.80 ÷ 9.60 mt.) – Litotipo “A”:

Angolo di attrito interno c.d.

| | |
|------------------------|-------------------------------|
| Valore caratteristico | $Xk\phi = 19.0^\circ$ |
| Coesione drenata | |
| Valore caratteristico | $Xkc' = 0.05 \text{ Kg/cm}^2$ |
| Peso di volume | $Y = 1.87 \text{ Kg/cm}^3$ |
| Peso di volume immerso | $Y' = 0.87 \text{ Kg/cm}^3$ |
| Angolo di attrito | $\phi_u = 0^\circ$ |

Coesione in sforzi totali

| | |
|-----------------------|--|
| Valore caratteristico | $Xkcu = 0.52 \text{ Kg/cm}^2$ |
| Modulo edometrico | $Eed = 25.6 \text{ Kg/cm}^2$ |
| Modulo elastico | $Ei = 28.93 \text{ Kg/cm}^2$ |
| Modulo Poisson | $Mv = 0.27$ |
| Permeabilità | $K = 4.55 \cdot 10^{-5} \text{ cm/sec.}$ |

Limi con argille ed argille limose mediamente compatte con occasionali intercalazioni ghiaioso – sabbiose (da -6.80 ÷ 9.60 mt. a - 12.40 ÷ 28.50 mt.) – Litotipo “B”:

Angolo di attrito interno c.d.

| | |
|------------------------|-------------------------------|
| Valore caratteristico | $Xk\phi = 22.0^\circ$ |
| Coesione drenata | |
| Valore caratteristico | $Xkc' = 0.09 \text{ Kg/cm}^2$ |
| Peso di volume | $Y = 1.95 \text{ Kg/cm}^3$ |
| Peso di volume immerso | $Y' = 0.95 \text{ Kg/cm}^3$ |
| Angolo di attrito | $\phi_u = 0^\circ$ |

Coesione in sforzi totali

| | |
|-----------------------|--|
| Valore caratteristico | $Xkcu = 0.59 \text{ Kg/cm}^2$ |
| Modulo edometrico | $Eed = 42.35 \text{ Kg/cm}^2$ |
| Modulo elastico | $Ei = 45.87 \text{ Kg/cm}^2$ |
| Modulo Poisson | $Mv = 0.30$ |
| Permeabilità | $K = 4.21 \cdot 10^{-6} \text{ cm/sec.}$ |

Ghiaie eterogenee in matrice limo - sabbiosa. (da -16.50 ÷ 20.90 mt. a - 22.30 ÷ 24.10 mt.) – Litotipo “G”:



**ITALIAN EXHIBITION GROUP
NUOVO PARCHEGGIO SUD
RELAZIONE TECNICA SUGLI ASPETTI
IDROGEOLOGICI DELL'INTERVENTO IN RIFERIMENTO
ALLE RICHIESTE DI APPROFONDIMENTO POZZI
ACQUA POTABILE NELLE VICINANZE**

| | |
|--|--------------|
| Doc.no. 25.130.01/A/01.0RE/r0C | |
| Rev. 0 | Date: ago-25 |
| Pag. 51 of 102 | |

Angolo di attrito interno c.d.

| | |
|----------------------------------|--|
| <i>Valore caratteristico</i> | $Xk\phi = 35^\circ$ |
| <i>Coesione drenata</i> | $C' = 0.0 \text{ Kg/cm}^2$ |
| <i>Peso di volume</i> | $Y = 1.9 \text{ Kg/cm}^3$ |
| <i>Peso di volume immerso</i> | $Y' = 0.9 \text{ Kg/cm}^3$ |
| <i>Angolo di attrito</i> | $\phi_u = 0^\circ$ |
| <i>Coesione in sforzi totali</i> | |
| <i>Valore caratteristico</i> | $Xkcu = 2.04 \text{ Kg/cm}^2$ |
| <i>Valore di progetto</i> | $Xdcu = 1.65 \text{ Kg/cm}^2$ |
| <i>Modulo edometrico</i> | $Mv = 155.70 \text{ Kg/cm}^2$ |
| <i>Modulo Poisson</i> | $Mv = 0.34 \text{ Kg/cm}^2$ |
| <i>Permeabilità</i> | $K = 2.31 \cdot 10^{-3} \text{ cm/sec.}$ |

Limi argillosi e sabbiosi da mediamente consistenti a compatti (da -22.30 ÷ 24.10 mt. alle profondità investigate) – Litotipo “C”:

Angolo di attrito interno c.d.

| | |
|----------------------------------|--|
| <i>Valore caratteristico</i> | $Xk\phi = 24^\circ$ |
| <i>Coesione drenata</i> | |
| <i>Valore caratteristico</i> | $Xkc' = 0.12 \text{ Kg/cm}^2$ |
| <i>Peso di volume</i> | $Y = 1.95 \text{ Kg/cm}^3$ |
| <i>Peso di volume immerso</i> | $Y' = 0.95 \text{ Kg/cm}^3$ |
| <i>Angolo di attrito</i> | $\phi_u = 0^\circ$ |
| <i>Coesione in sforzi totali</i> | |
| <i>Valore caratteristico</i> | $Xkcu = 0.56 \text{ Kg/cm}^2$ |
| <i>Modulo edometrico</i> | $Mv = 48.78 \text{ Kg/cm}^2$ |
| <i>Modulo elastico</i> | $Ei = 51,96 \text{ Kg/cm}^2$ |
| <i>Modulo Poisson</i> | $Mv = 0.32$ |
| <i>Permeabilità</i> | $K = 6.72 \cdot 10^{-5} \text{ cm/sec.}$ |

Dall'analisi si evidenzia come localmente la prima falda confinata abbia effettivamente una presenza elevata di grani fini tali da far preferire la seconda come evidenziato nel capitolo relativo alle captazioni.

Si possono quindi sintetizzare le seguenti permeabilità verticali per i vari strati:

| Strato | Permeabilità da caratterizzazione geotecnica | Permeabilità da prove geotecniche (edometria: permeabilità verticale) |
|---|--|---|
| superficiale (fino a 3m) | | |
| limi argillosi (fino a 9m) | 4.55 E-7 m/s | <3 E-11 m/s |
| Limi con argille da 9 a 12/28m | 4.21 E-8 m/s | |
| Ghiaie etoregenee in matrice limo sabbiosa (da 16.50-20.90m a 22-24m) | 2.31 E-5 m/S | |

Si osserva che 2.31E-5 m/s può essere rappresentativo della prima falda confinata con minore permeabilità per la presenza di una matrice fine nel sedimento, come evidenziano talune prove effettuate su pozzo.

3.5. piezometria

La rete di monitoraggio piezometrico della prima falda confinata della conoide del Marecchia è gestita da ARPAE e con il contributo anche dell'ufficio geologico regionale.

La Regione ha emesso rapporti con l'elaborazione dei dati raccolti che risultano estremamente utili per la calibrazione del modello.

Prima di entrare in questa fase "già riassuntiva" assunta quindi come riferimento, si verificano alcuni dati puntuali forniti nell'area di interesse.



fig. 3-37 Punti dalla rete di monitoraggio regionale-ArpaE.

Risultano infatti interessanti RN72-00 RN77-00 in zona "Polveriera" rappresentativi dell'alimentazioni di monte, ma fortemente influenzati dall'attività del campo pozzi, stimabile in 80-100l/s medi su tutte le falde sfruttate, RN73-00 uno dei pozzi di interesse, RN05-00 che definisce una zona di alimentazione perimetrale (non strettamente interessata dal sub-alveo) purtroppo capta una falda più profonda e a valle RN61-00 (assenza di dati) e RN31-01 nella prima falda confinata.

Nel dattaglio.

RN72 ed RN05 sono profondi quindi non rappresentativi della prima falda confinata, comunque di interesse essendo in prossimità dell'area di anastomizzazione della Conoide.

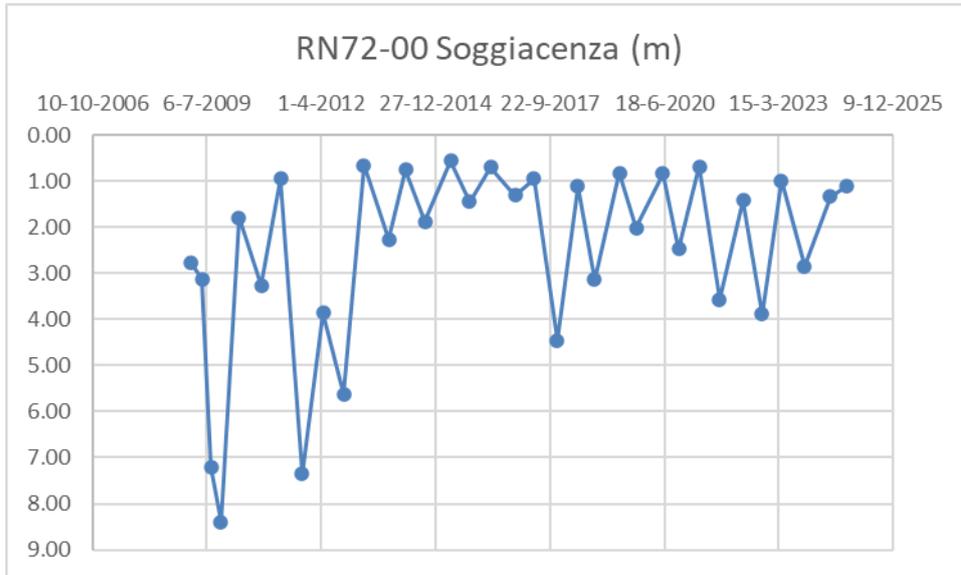


fig. 3-38 Soggiacenze di RN72-00

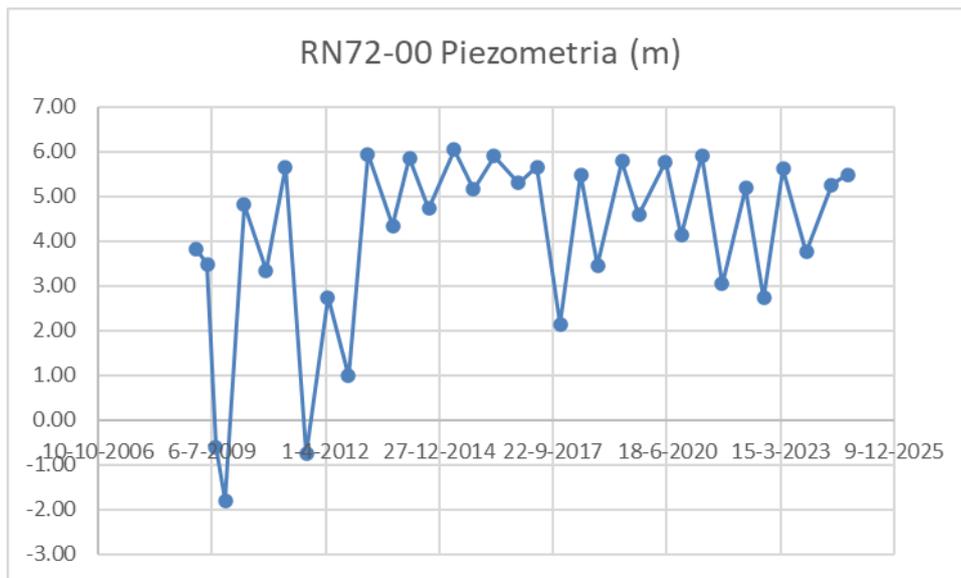


fig. 3-39 Piezometria RN72-00 (m slm). Notare livelli inferiori al livello medio marino.

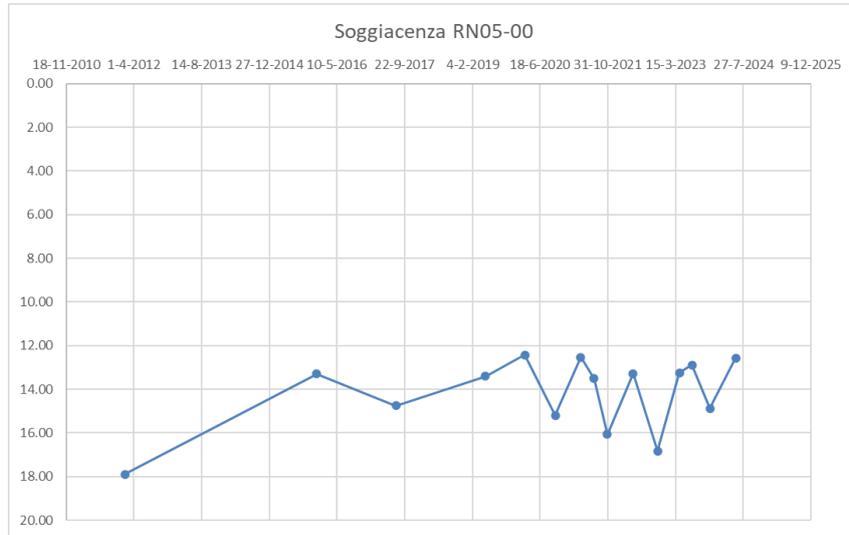


fig. 3-40 Soggiacenza RN05-00

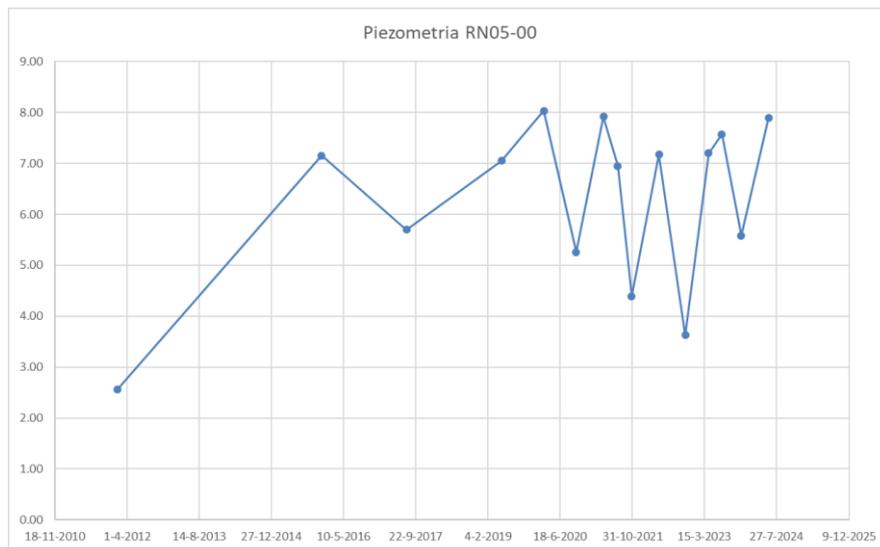


fig. 3-41 Piezometria RN05-00

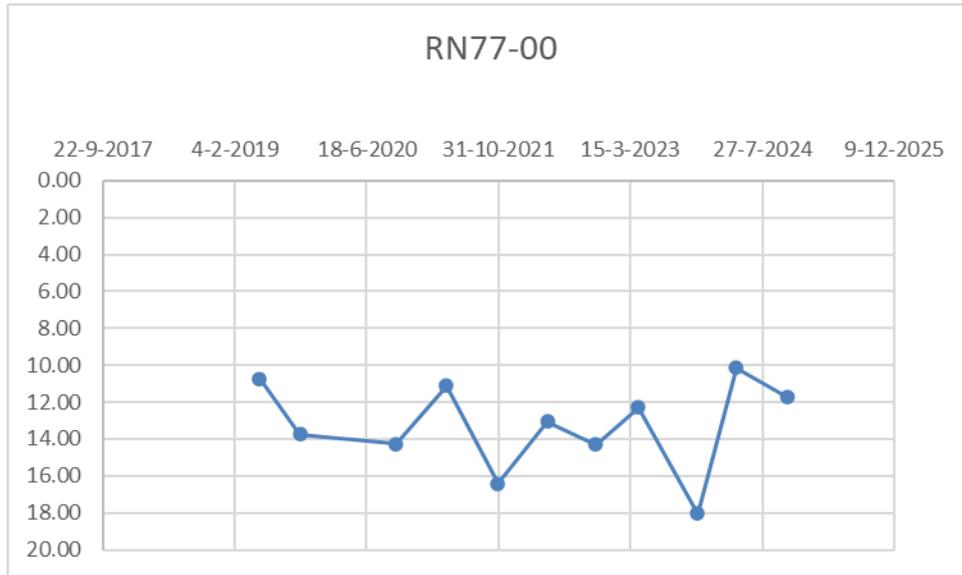


fig. 3-42 Soggiacenza RN77-00

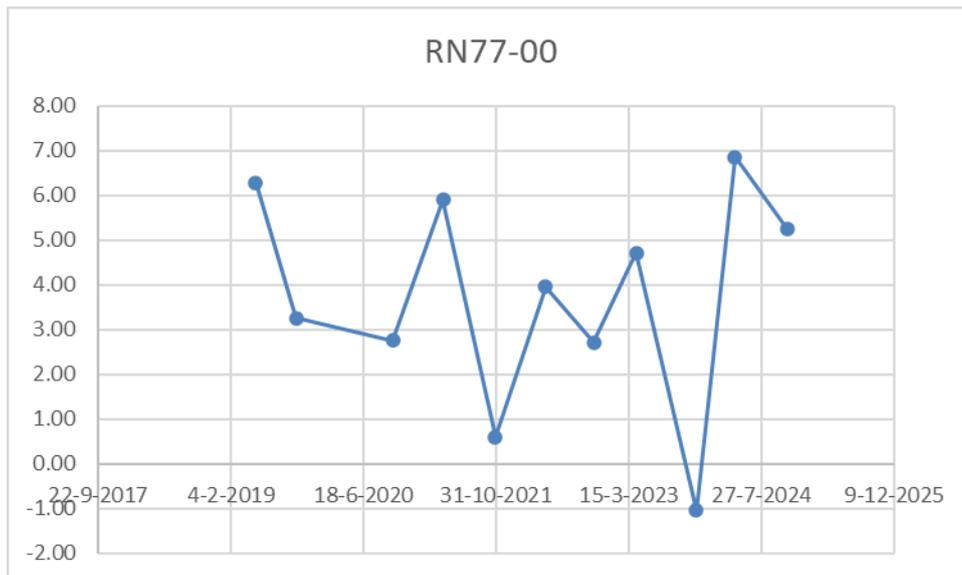


fig. 3-43 Piezometria RN77-00

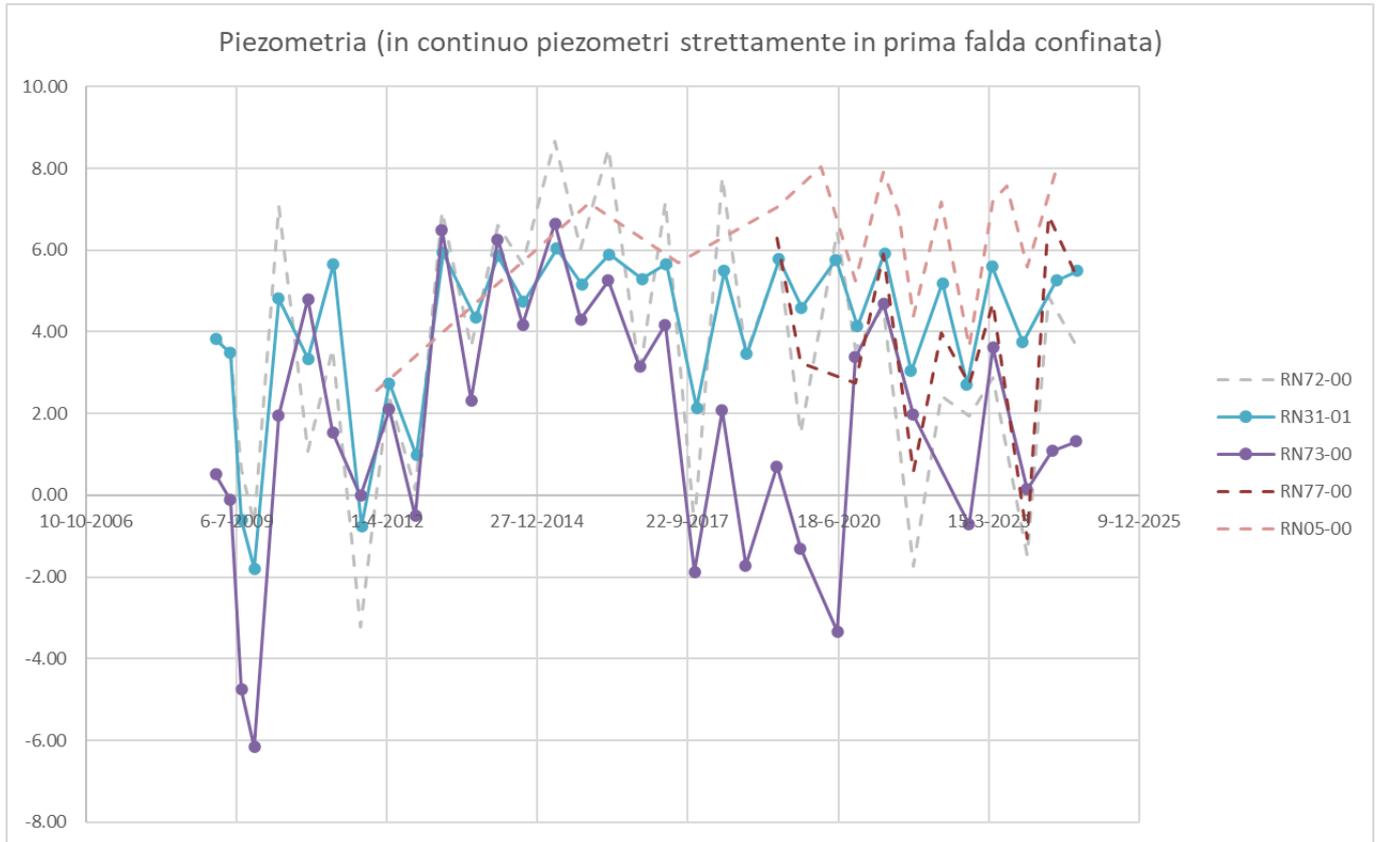


fig. 3-44 Piezometria con in continuo i piezometri accertati in prima falda confinata.

Si osserva generalmente una oscillazione annuale di 2-3m con picchi di 6m per RN73-00 indicativo di un suo (sovra)sfruttamento o di quelli attigui.

L'RN31, invece, ultimamente presenta oscillazioni di circa 2m annuali indicativo qui di un minore sfruttamento del pozzo o di pozzi nell'area.

Per queste variabilità si farà riferimento alle piezometrie già elaborate dal Servizio Regionale.

In particolare si pone in evidenza la condizione elaborata di "media" e di minima falda.

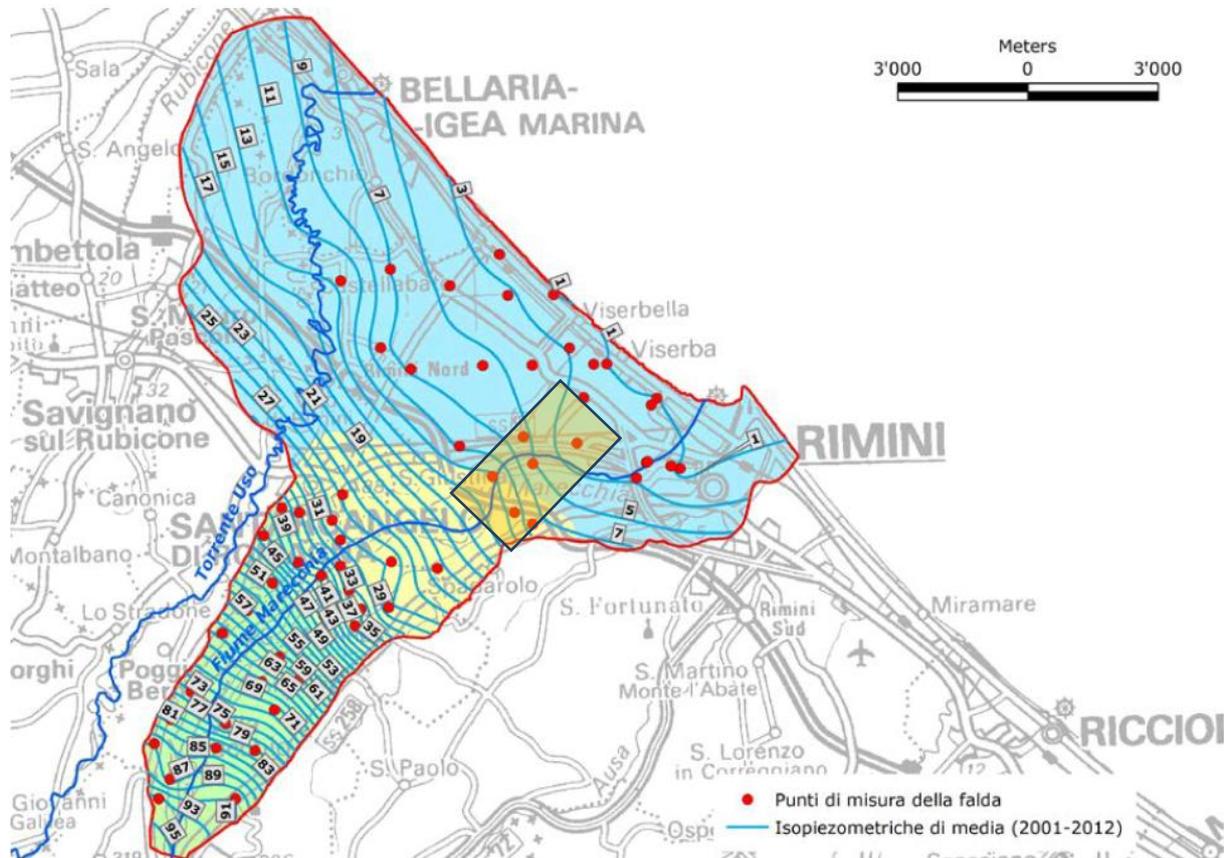


Figura 5 – Superficie piezometrica media di della conoide del Marecchia (2001-2012)

fig. 3-45 Superficie piezometrica da Studio Regione Emilia Romagna – dip.Geologia 2014.

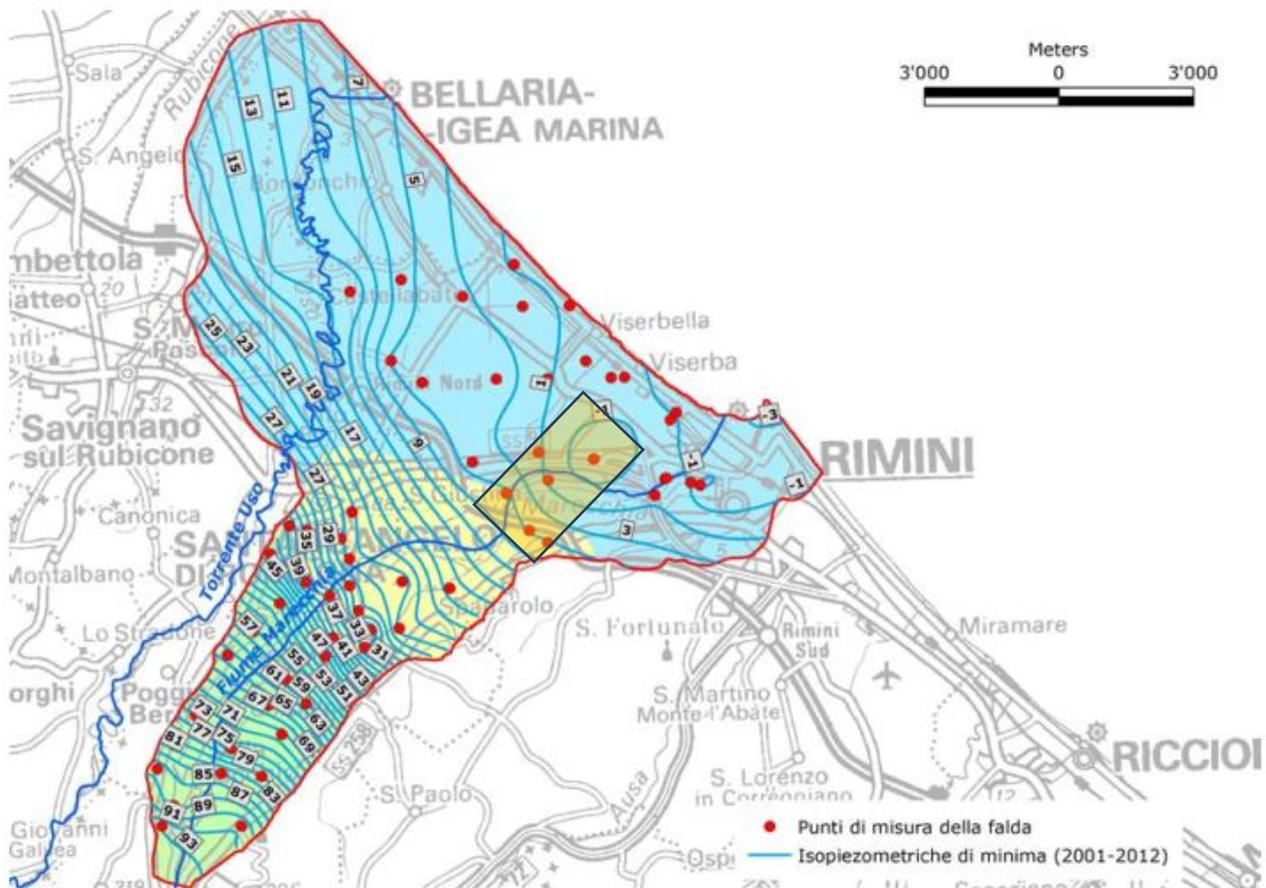


Figura 7 – Superficie piezometrica di minima della conoide del Marecchia (2001-2012)

fig. 3-46 Superficie piezometrica “minima” rilevata durante la campagna di monitoraggio 2001-2012 da RER.

Confrontate con altre carte da altre pubblicazioni si osserva una buona rispondenza.

Di seguito si presenta la piezometria 2016 e la piezometria più aggiornata 2023, qui indicata “di massimo” annuale.

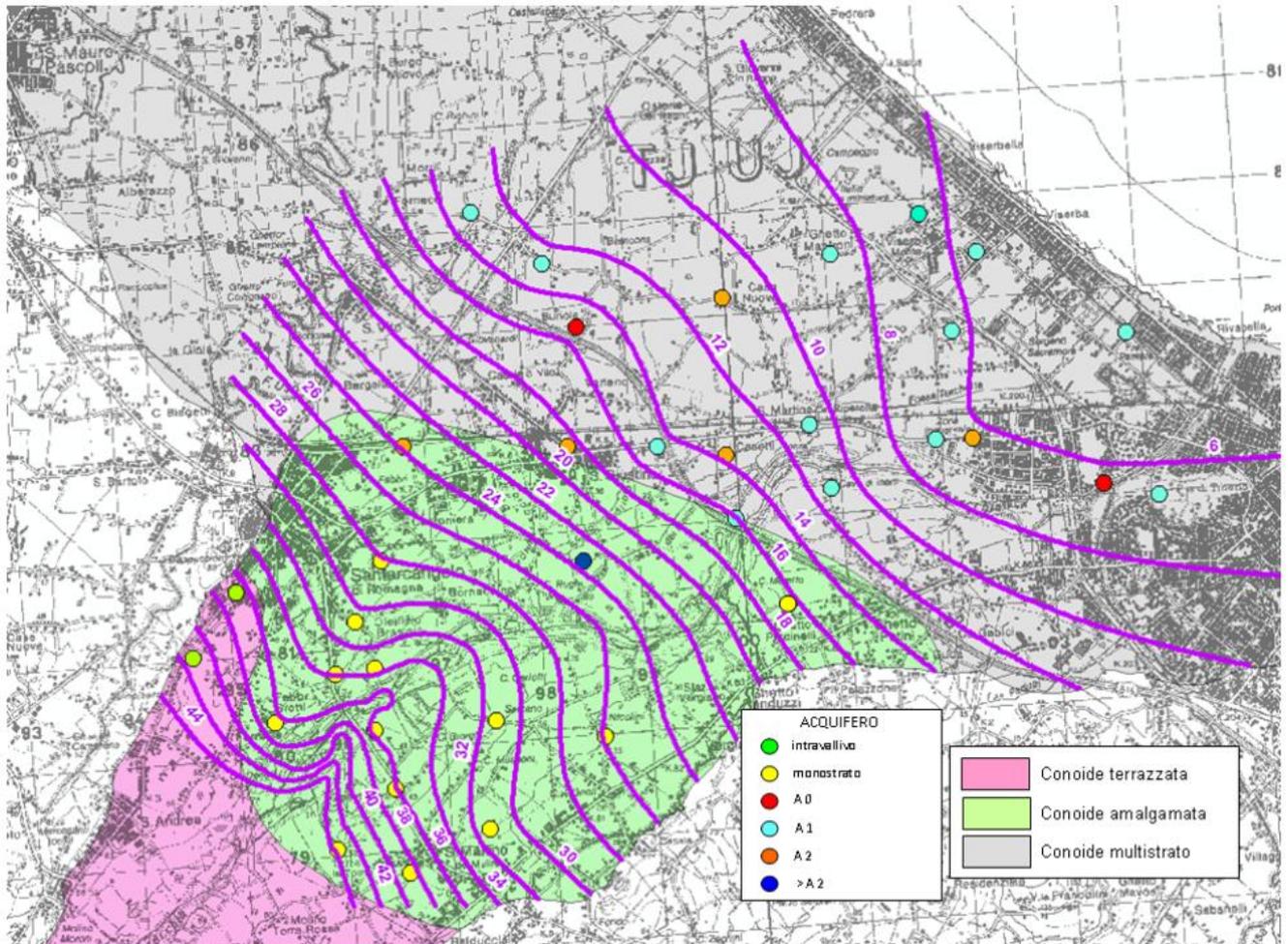


Figura 10: Piezometria di Maggio 2016

fig. 3-47 Piezometria di Maggio 2016.

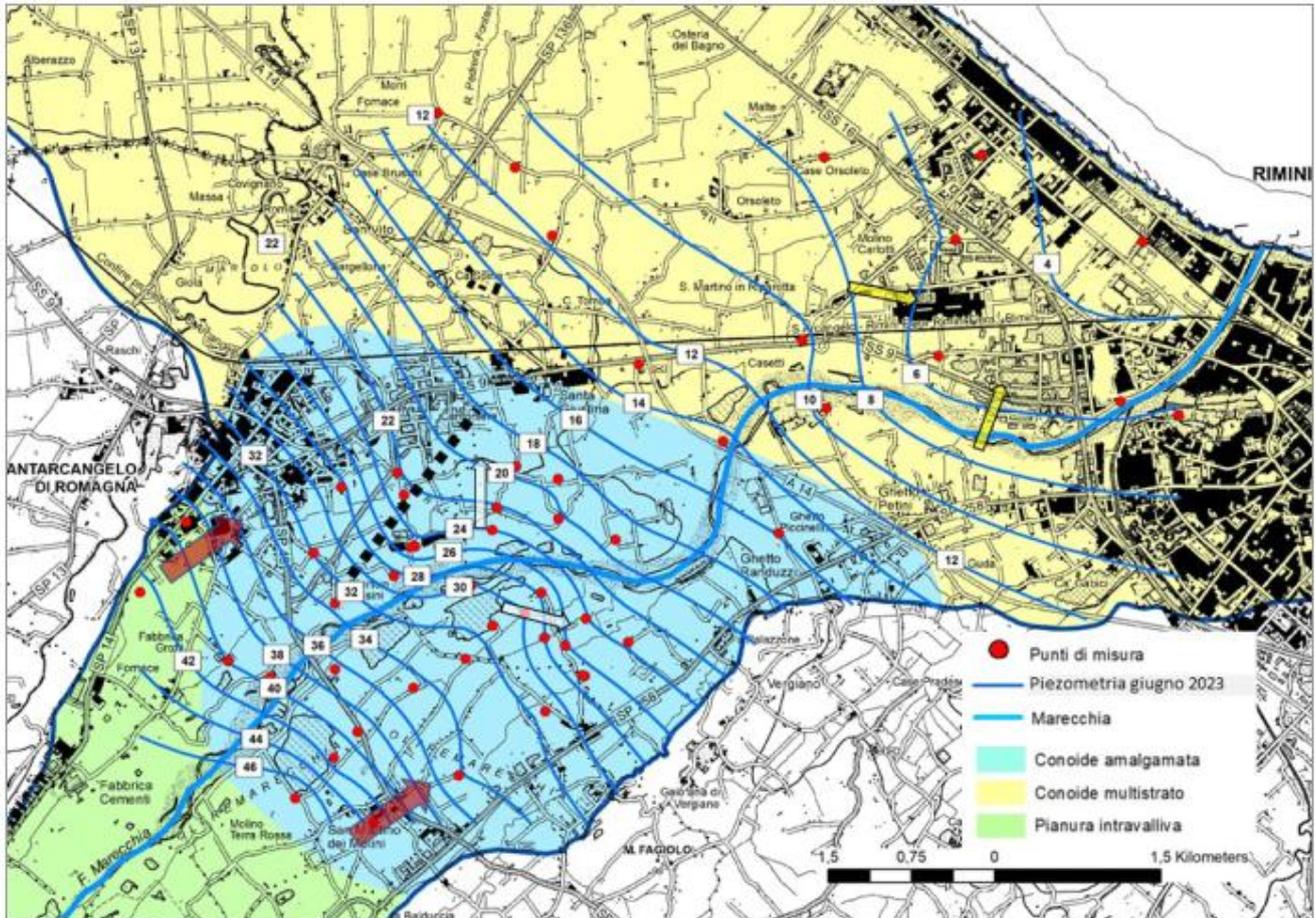


Figura 6: piezometria di massimo (giugno 2023). Le frecce rosse indicano la direzione di flusso da monte; le frecce bianche la ricarica dal fiume e dai laghetti di ex cava; le frecce gialle un cono di depressione ad Ovest di Rimini; la linea nera tratteggiata un asse di drenaggio.

fig. 3-48 Studio RER sulla ricarica 2023

Per la modellazione appare di interesse l'andamento medio ed anche l'andamento critico per studiare anche lo scenario peggiore.

Con la falda confinata depressa, infatti, si ha un maggiore richiamo dalle acque di superficie.



4. VALUTAZIONI TECNICHE

4.1. condizioni di pericolo

Lo studio finalizzato alla stima dell'area di rispetto ristretta e allargata è un approfondimento connesso al potenziale pericolo da infiltrazioni in area parcheggio. Non rientra (e non si hanno sufficienti dati) per entrare in altri scenari di pericolo connessi alle captazioni).

Nel caso in esame, l'ampliamento parcheggio Sud Fiera, l'area è potenzialmente di pericolo seguendo la seguente sequenza:

- a) nel parcheggio **stazionano e transitano autoveicoli**
- b) questi hanno **potenziali elementi inquinanti** se rilasciati
- c) l'evento accidentale si riversa **sulla superficie del parcheggio** l'inquinante
- d) da qui si ha una **prima infiltrazione** se non si hanno azioni correttive immediate
- e) l'inquinante infiltrato entra in **contatto con la falda freatica**
- f) inizia la **migrazione** dell'inquinante
- g) questa migrazione può **giungere alle captazioni filtranti dei pozzi** in emungimento

Questa successione di eventi porterebbe al potenziale inquinamento della captazione.

Nel prosieguo si analizzano una per una evidenziando criticità e azioni preventive comunque presenti nel progetto indipendentemente dall'esito dello studio temporale.

a e b: il parcheggio ospiterà autoveicoli di diverse dimensioni. La possibilità di inquinamento è riferibile al carburante e a olii/fluidi presenti nel motore. In caso di motori elettrici si ritiene che la condizione di pericolo risieda nei soli olii macchina in quanto anche malfunzionamenti gravi sarebbero ben visibili con un allarme e intervento immediato.

c. l'evento accidentale può avvenire sia con mezzo in moto o fermo:

- se in moto il conducente può verificarlo sul momento e l'intervento sarebbe immediato, inoltre avverrebbe solo durante l'ingresso e uscita i cui tempi rispetto al tempo di stazionamento sono estremamente più bassi. **La probabilità è quindi abbattuta sensibilmente rispetto al caso di mezzo fermo e non sotto il controllo umano.**

- se fermo, la probabilità di rilascio accidentale non aumenta ma non verrebbe subito riconosciuta il che pone maggiore preoccupazione nell'evoluzione una volta nel sottosuolo;

Per ridurre il punto c nella catena degli eventi (rimanendo rispettosi di altri vincoli cogenti, in particolare **della percentuale di infiltrazione diretta** come prevista e rimandando alla documentazione di progetto e di screening), si è **adottata la soluzione progettuale di impermeabilizzare le aree di sosta** con raccolta delle acque in modo separato da quelle in infiltrazione diretta ed un processo di verifica prima dell'eventuale rilascio.



Viene quindi escluso il rischio da veicoli fermi.

Nel caso invece di un veicolo fuori dalle aree di sosta, in caso di rilascio sulla superficie, inizia un processo di infiltrazione, di trasformazione in ragione della tipologia dell'inquinante.

Avendo identificato il possibile inquinante in olii minerali o sintetici questi si possono considerare "persistenti" cioè che non subiscono trasformazioni.

La filtrazione dipende da diversi fattori, certamente è da considerare il fenomeno di scambio con la fase solida dell'insaturo e acquifero freatico, in particolare delle parti fini (argille) e della loro capacità di adsorbimento. Tanto che nelle falde freatiche di superficie inquinamenti da idrocarburi persistono proprio per questo processo di ritenzione e rilascio successivo.

Questa proprietà ne riduce la capacità di filtrazione ad acquiferi più profondi (ma ci sono esempi dove, dopo lungo termine e con una persistente sorgente di inquinante, questi migrano anche a maggiori profondità).

D'altronde le linee guida indicano come effettuare la valutazione considerando l'inquinante conservativo e non soggetto a degradazione adsorbimento decadimento ecc. (rif. Linee Guida 2002, Titolo 2 B.)

L'immediatezza di un eventuale intervento abbatta quindi la probabilità di propagazione nel sottosuolo.

La migrazione dell'inquinante, punti e ed f deve essere tale da:

- raggiungere la captazione
- raggiungerla con una concentrazione non ammissibile
- (di minore interesse ma in linea con la norma) di raggiungerla entro i tempi indicati dalla norma

Come dai capitoli precedenti l'inquinante deve migrare dalla superficie alle falde sfruttate, che, si è visto, essere sostanzialmente le falde al di sotto di 30-33m, oltrepassando quindi 10-15m di aquitardi ed entrando nella prima falda confinata (parzialmente sfruttata dal P10) e successivamente, dopo un ulteriore strato aquitardo/aquiclude di 2-5m nella seconda falda confinata.

Ai processi di "ritardo" nella filtrazione per scambio o adsorbimento con la parte fine della fase solida e la diluizione (non considerati nelle valutazioni numeriche), dall'altra parte si ha il fenomeno di migrazione che è:

- in ragione del gradiente idraulico
- in ragione della permeabilità e porosità del mezzo attraversato

Se i pozzi sono in emungimento la filtrazione ed il richiamo di acque è avvantaggiata. Se la permeabilità è minore chiaramente i tempi si allungano.

Nel capitolo 4.1 vi sarà un primo approccio considerando il moto verticale valutando i tempi come inquadramento del problema.

L'approccio, come è opportuno sia per studi di questo tipo, è per gradi di affinamento successivo in modo da non perdere di vista il comportamento generale ed avere un atteggiamento conservativo e critico sui risultati.



Le variabili che concorrono ad un moto di flusso nel mezzo poroso sono, al livello locale:

- permeabilità orizzontale, permeabilità verticale [LT^{-1}]
- coefficiente di immagazzinamento [-] (nel caso di moto di filtrazione dipendente dal tempo)

Per quanto riguarda il comportamento di un inquinante nel mezzo poroso il suo comportamento può essere riferito a 3 caratteristiche:

- advezione, *advection*
- dispersione, *dispersion*
- diffusione, *diffusion*

A questo segue il processo di "ritardo" o *retardation* e assorbimenti *adsorption* fenomeni legati a scambi con la matrice della fase solida componente l'acquifero o meglio l'aquitardo e aquiclude.

Le linee guida per il metodo temporale indicano:

B. Delimitazione della zona di rispetto

1. Per la delimitazione della zona di rispetto definitiva ed in particolare modo per quanto riguarda la zona di rispetto ristretta ed allargata vengono di norma utilizzati il criterio temporale e il criterio idrogeologico, in relazione alle conoscenze sull'assetto idrogeologico locale.

2. Per la delimitazione della zona di rispetto ristretta di cui all'articolo 21, comma 5, del decreto legislativo no 152/99, e' di norma adottato un tempo di sicurezza di 60 giorni definito con i criteri di cui al successivo Titolo II.

3. Per la zona di rispetto allargata e' di norma adottato un tempo di sicurezza di 180 o di 365 giorni, considerando il pericolo di contaminazione e la protezione della risorsa.

4. A scopo cautelativo ciascun inquinante viene sempre considerato conservativo, cioè non soggetto a degradazione, adsorbimento, decadimento, etc.; per le elaborazioni deve essere adottata la velocità di filtrazione dell'acqua nel mezzo saturo.

fig. 4-1 Tratto dalle linee guida 2002.

Sempre nell'ottica di una analisi critica le semplificazioni necessarie saranno evidenziate ricercando sempre una valutazione conservativa nella scelta.

4.2. APPROCCIO DI INQUADRAMENTO

Dagli studi stratigrafici al di sotto del parcheggio si può considerare la seguente stratigrafia:

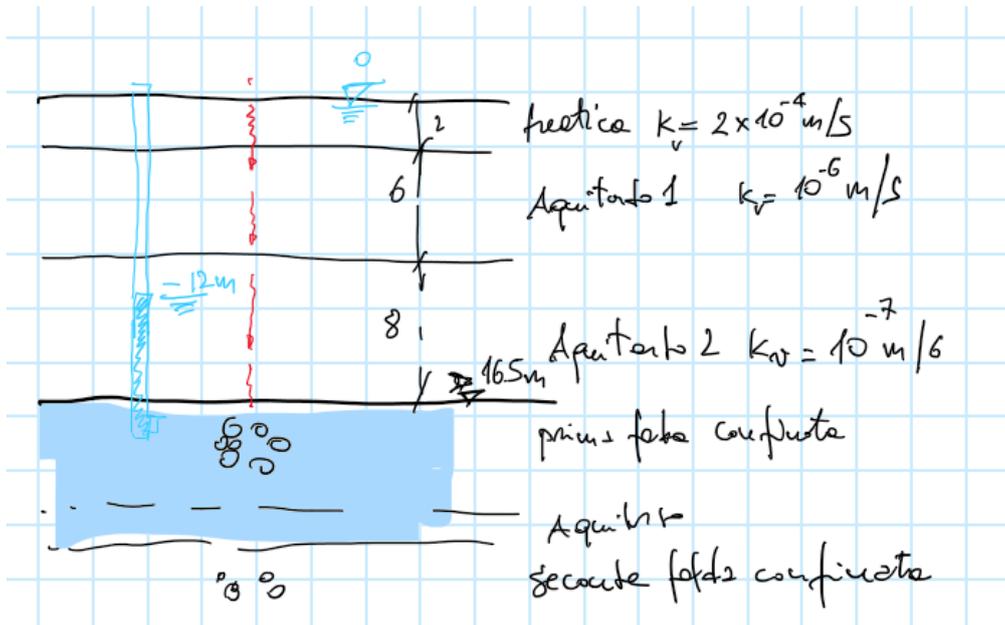


fig. 4-2 Schema semplificato.

Nell'ipotesi di rilascio incontrollato dalla superficie il percorso verticale con permeabilità in serie, risulta superiore a 14-16m.

Adottando la legge di Darcy, $v = -k \frac{dh}{ds}$, per più strati in serie si può determinare la permeabilità equivalente dalla seguente relazione:

$$\frac{L_{tot}}{K_{eq}} = \sum \frac{L_i}{K_i}$$

Nelle ipotesi semplificate fatte e con gli spessori ipotizzati si ottiene:

| EXPECTED | | | |
|--------------|----------------------|--------------|-------------------|
| | H | kv | L_i/K_i |
| freatica | 2 | 2.00E-04 m/s | 1.00E+04 s |
| AQ1 | 6 | 4.55E-08 m/s | 1.32E+08 s |
| AQ2 | 8 | 4.21E-09 m/s | 1.90E+09 s |
| Htot | 16 m | | 2.03E+09 s |
| Keq | 7.87E-09 m/s | | |
| H0 | 0 m | | |
| Hfalda | -8 m | | |
| v | -3.94E-09 m/s | | |
| porosità | 0.4 | | |
| vparticle | -9.84E-09 m/s | | |
| Tempo | 1.63E+09 s | | |
| | 1.88E+04 gg | | |
| | 5.16E+01 anni | | |

fig. 4-3 Prima stima dei tempi di percorrenza, moto di filtrazione verticale, massimo gradiente.

Risulterebbero 51 anni.

Si possono fare altre valutazioni per comprendere la sensibilità e i valori attesi.

| VERY HIGH PERMEABILITY | |
|--------------------------------|-------------------|
| | H kv |
| freatica | 2 2.00E-04 m/s |
| AQ1 | 6 1.00E-06 m/s |
| AQ2 | 8 1.00E-07 m/s |
| Htot 16 m | |
| Keq 1.86E-07 m/s | |
| H0 | 0 m |
| Hfalda | -6 m |
| v | -6.98E-08 m/s |
| porosità | 0.4 |
| vparticle | -1.74E-07 m/s |
| Tempo 9.17E+07 s | |
| 1.06E+03 gg | |
| 2.91E+00 anni | |

fig. 4-4 Considerando permeabilità molto elevate (sabbie, sabbie debolmente limose)

| FROM LAB TESTING | |
|--------------------------------|-------------------|
| | H kv |
| freatica | 2 2.00E-04 m/s |
| AQ1 | 6 1.00E-08 m/s |
| AQ2 | 8 1.00E-10 m/s |
| Htot 16 m | |
| Keq 1.99E-10 m/s | |
| H0 | 0 m |
| Hfalda | -8 m |
| v | -9.93E-11 m/s |
| porosità | 0.45 |
| vparticle | -2.21E-10 m/s |
| Tempo 7.25E+10 s | |
| 8.40E+05 gg | |
| 2.30E+03 anni | |

fig. 4-5 Dai testi di laboratorio (2300 anni).

Si osserva che gli spessori sono inversamente proporzionali ai tempi di percorrenza ma la permeabilità ha effetti estremamente variabili (di ordini di grandezza).



**ITALIAN EXHIBITION GROUP
NUOVO PARCHEGGIO SUD
RELAZIONE TECNICA SUGLI ASPETTI
IDROGEOLOGICI DELL'INTERVENTO IN RIFERIMENTO
ALLE RICHIESTE DI APPROFONDIMENTO POZZI
ACQUA POTABILE NELLE VICINANZE**

| | |
|---------------------------------------|--------------|
| Doc.no. 25.130.01/A/01.0RE/r0C | |
| Rev. 0 | Date: ago-25 |
| Pag. 66 of 102 | |

Posto che l'atteso è superiore ai 10-30 anni si ritiene di adottare cautele nella permeabilità e di effettuare modellazioni considerando prima parametri cautelativi.

4.3. MODELLO DI FLUSSO

4.3.1 Modello numerico

Il moto di filtrazione, bilancio idrogeologico, analisi dei percorsi di filtrazione e supporto all'input e output sono stati effettuati con i software Modflow, Modpath, Modelmuse e ZoneBudget.

MODFLOW è un codice numerico sviluppato dall'U.S. Geological Survey (USGS) per la simulazione del flusso delle acque sotterranee in mezzi porosi saturi, basato sulla **soluzione alle differenze finite** dell'equazione del moto di filtrazione in regime transitorio o stazionario.

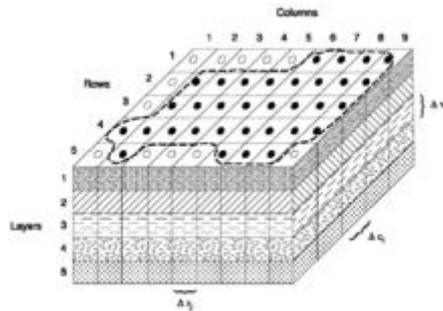


fig. 4-6 Grid per la modellazione alle DFM di Modflow (la versione 6 estende ad altre forme geometriche e topologiche).

L'equazione generale risolta da MODFLOW è, in forma compatta, la seguente:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left[K_{ii} \frac{\partial h}{\partial x_i} \right] + W = S_s \frac{\partial h}{\partial t}$$

dove:

- h = carico idraulico (piezometrico) [L]
- x_i : x, y, z = coordinate spaziali [L]
- K_{ii} : K_x, K_y, K_z = conducibilità idraulica nelle tre direzioni spaziali [LT^{-1}]
- S_s = coefficiente di immagazzinamento (storage coefficient) [.]
- W = termini sorgente/pozzo (emungimenti o ricariche) espresso per unità di volume [L^{-1}]
- t = tempo [T]

MODFLOW opera su una griglia spaziale discretizzata in celle rettangolari, dove a ciascuna cella possono essere assegnate proprietà idrauliche specifiche (conducibilità, porosità, etc.) e condizioni al contorno.

Le **condizioni al contorno** gestite dal modello comprendono:

- di **Dirichlet** (valore del carico idraulico imposto),
- di **Neumann** (flusso imposto),
- di **Cauchy** (condizione mista, ad esempio l'interazione con un corpo idrico superficiale).



MODFLOW è organizzato in moduli ("packages") che permettono di modellare diversi fenomeni, come:

- ricarica da pioggia (Recharge Package),
- emungimento da pozzi (Well Package),
- interazione con corsi d'acqua (River o Stream Package),
- presenza di zone drenanti o laghi (Drain/Lake Package),
- comunicazione tra falde sovrapposte.

Il modello può essere applicato a sistemi complessi in condizioni sia stazionarie sia transitorie, e la sua flessibilità ne ha fatto lo standard di riferimento per la modellazione idrogeologica a livello internazionale.

Nel caso in esame il modello deve comprendere:

- acquifero di superficie (freatica) di importanza per la valutazione del modo di filtrazione *dall'area* parcheggio
- aquitard interposto fra la superficie e la prima falda confinata
- zona indifferenziata di alimentazione
- acquifero di subalveo

Questo lo rende certamente complesso.

Modpath, per la simulazione del trasporto advettivo di particelle nel moto di flusso sotterraneo impiega un approccio *Lagrangiano*, dove viene seguita una particella lungo le linee di flusso determinate dalla soluzione del moto di flusso da parte di modflow in questo caso.

L'equazione di base è quindi l'analisi del gradiente ai vari tempi e l'integrazione di questo.

$$\frac{\partial x_i}{\partial t} = v_i(x_j, t)$$

L'equazione viene integrata nel tempo e per singola cella rettangolare componente il modello geometrico di flusso.

4.3.2 MODELLO GEOMETRICO

La geometria generale implementata cerca di sintetizzare le conoscenze sugli acquiferi e la loro relazione, anche ripetendo:

- acquifero freatico con particolare riguardo all'area parcheggio Sud 3 come area di pericolosità da studiare
- subalveo che lambisce l'attuale sedime del fiume Marecchia e si estende lateralmente come evidenziano più stratigrafie (es. campo pozzi "polveriera" ecc.)

- area indifferenziata di monte (come da evidenze stratigrafiche e dalle interpretazioni fatte, si veda capitolo relativo e bibliografia) che alimenta il subalveo e le falde sottostanti, in particolare la prima confinata
- aquitardi di separazione nella zona di valle, ridotti al di sotto del subalveo, con due caratteristiche principali identificabili: porzione limosa-sabbiosa e porzione argillosa-limosa
- falda confinata

Da quanto sopra il modello geometrico è il seguente:

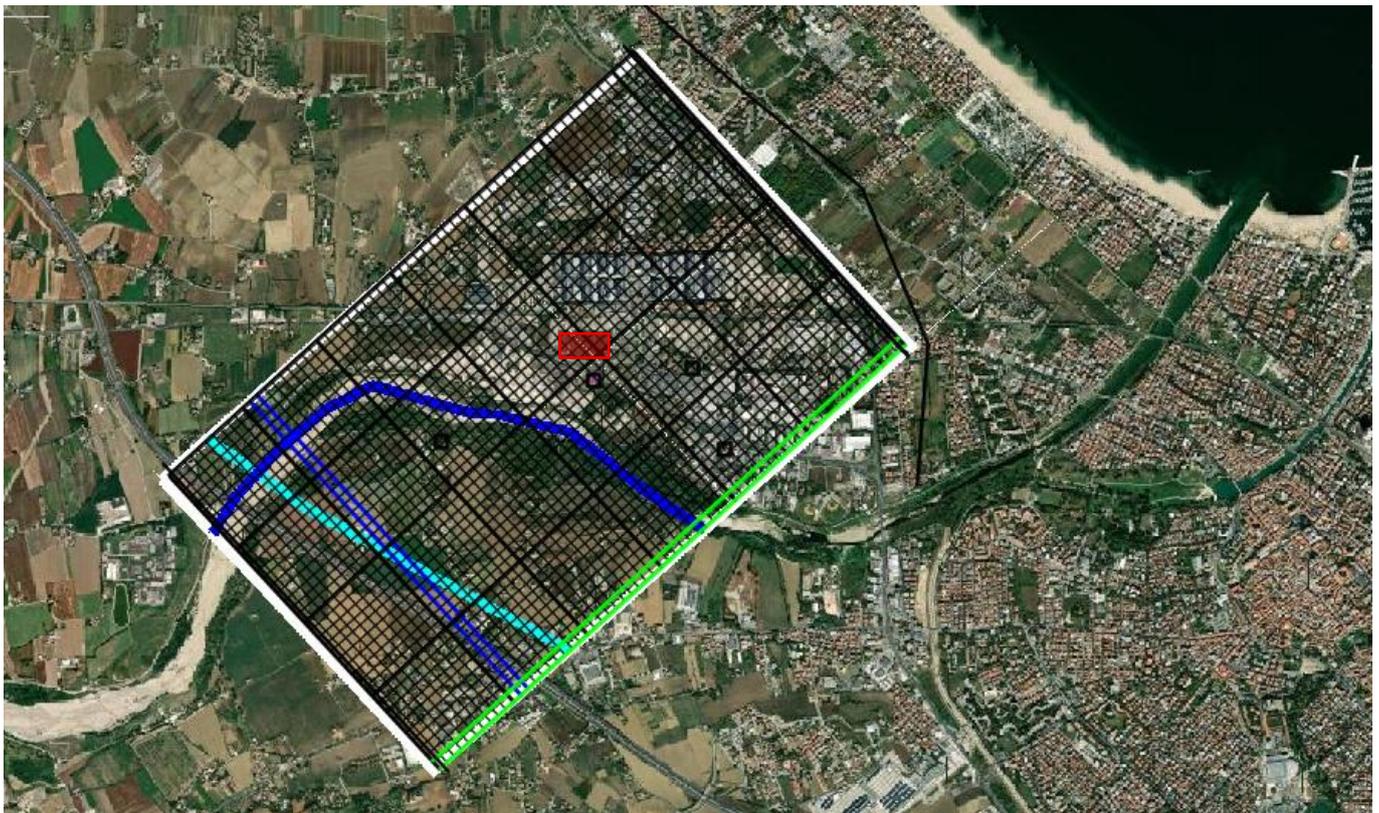


fig. 4-7 Delimitazione del modello e area parcheggio.

Come si può notare la delimitazione laterale segue linee di flusso ipotetiche monte-valle per ridurre errori da interferenze esterne.

A monte viene compresa un'ampia area di alimentazione diretta (circa delimitata dalla linea in ciano come desunta dagli studi dell'ufficio geologico regionale (RER 2007-2014) <mailto:regionale.@rif@>

A valle una superficie equipotenziale collegata al piano campagna.

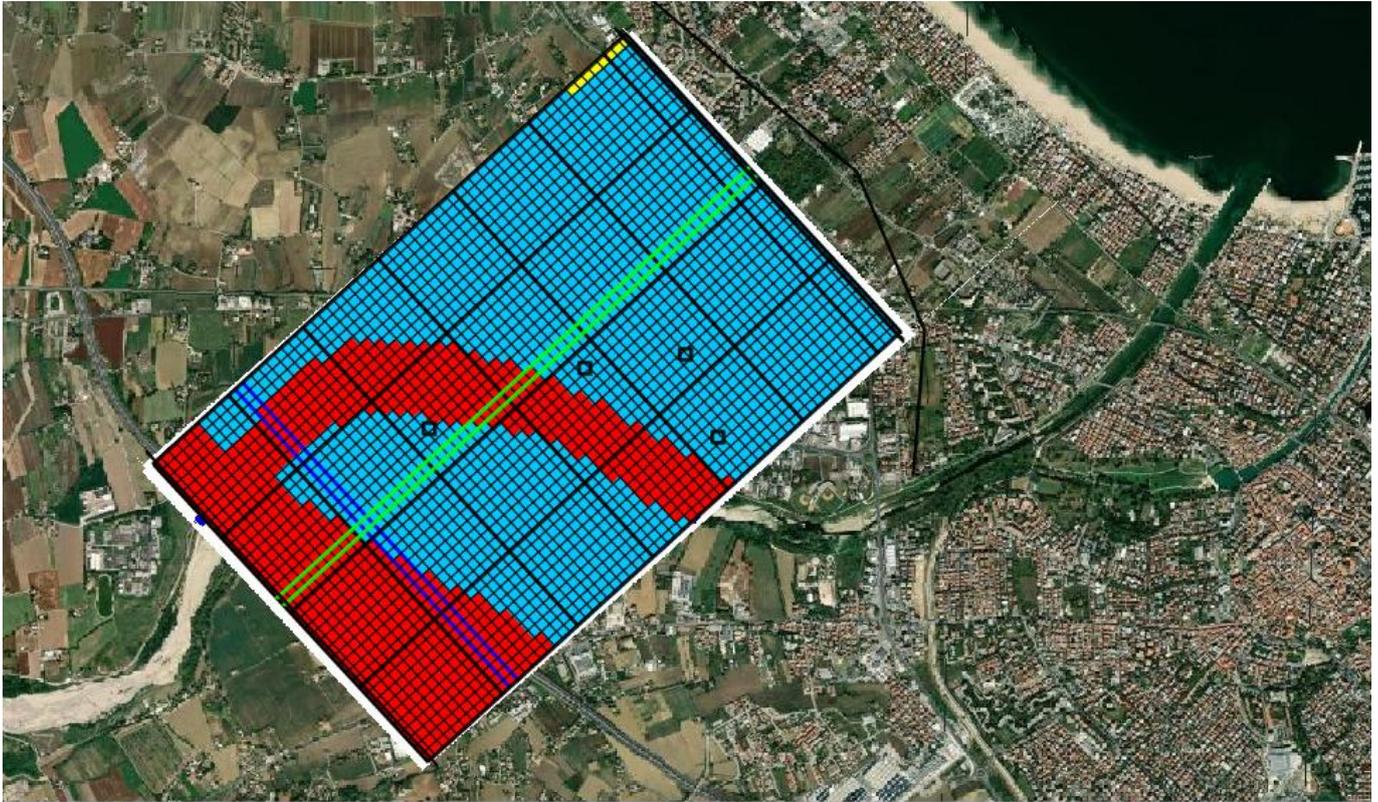


fig. 4-8 Area del modello e rappresentazione della superficie (o meglio primo layer).

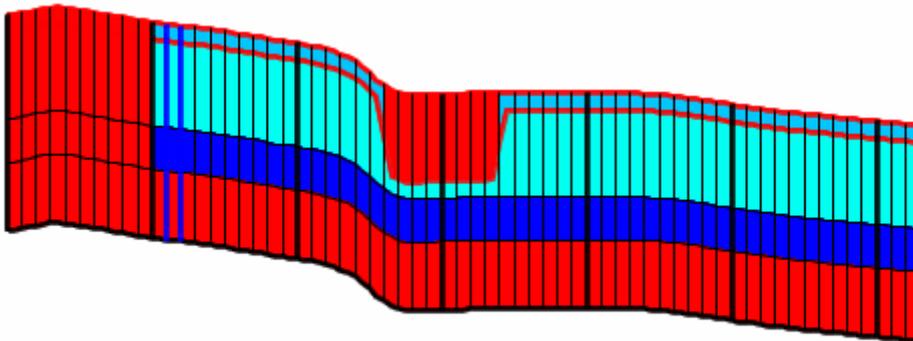


fig. 4-9 Una sezione del modello con evidenza dei layer, spessori e delle differenti permeabilità.

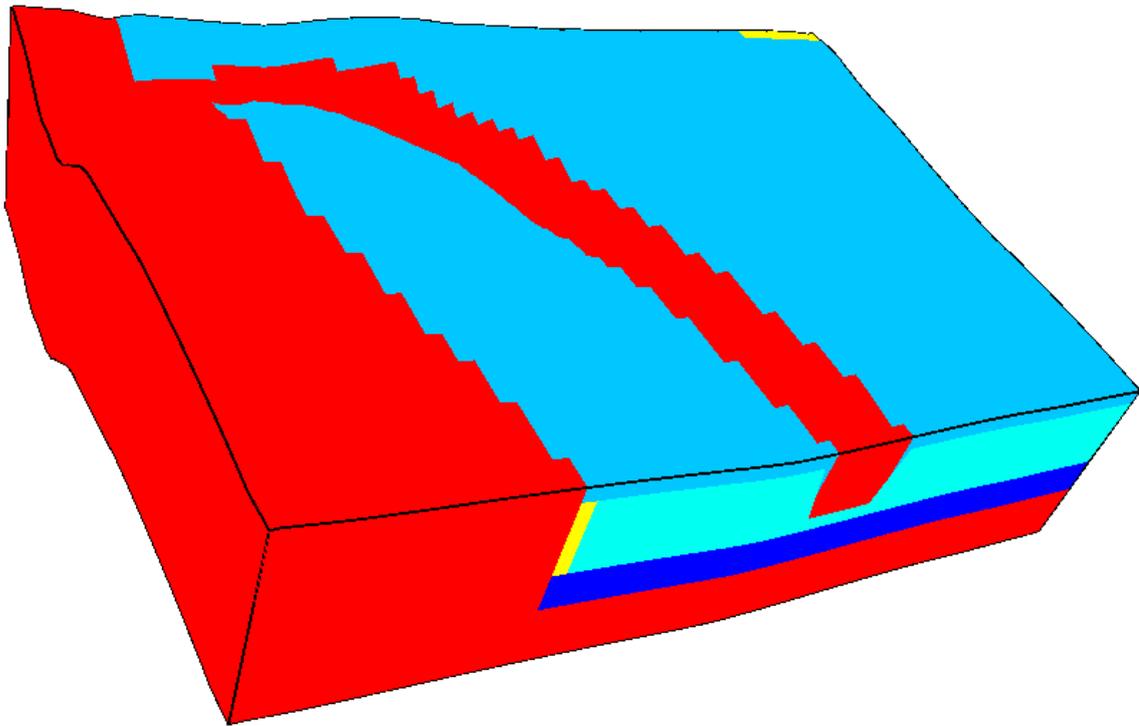


fig. 4-10 Una vista prospettica semplificata del modello.

Le figure sopra mostrate evidenziano una geometria di base adottata per le prime fasi di calibrazione.

La discretizzazione finale è stata così definita:

- dimensione cella X 20m per **100 righe**
- dimensione cella Y 20m per **159 colonne**

queste sono della stessa dimensione per consentire al post processore "Modpath" di operare.

- le divisioni in verticale sono così determinate:
 - o per layer ulteriormente suddiviso:
 - freatica: 1
 - aquitardo 1: 2
 - aquitardo 2: 2
 - falda confinata: 2

Per un totale di 7 layers.

In totale ogni simulazione è rappresentata da una **geometria di 127*200 celle.**

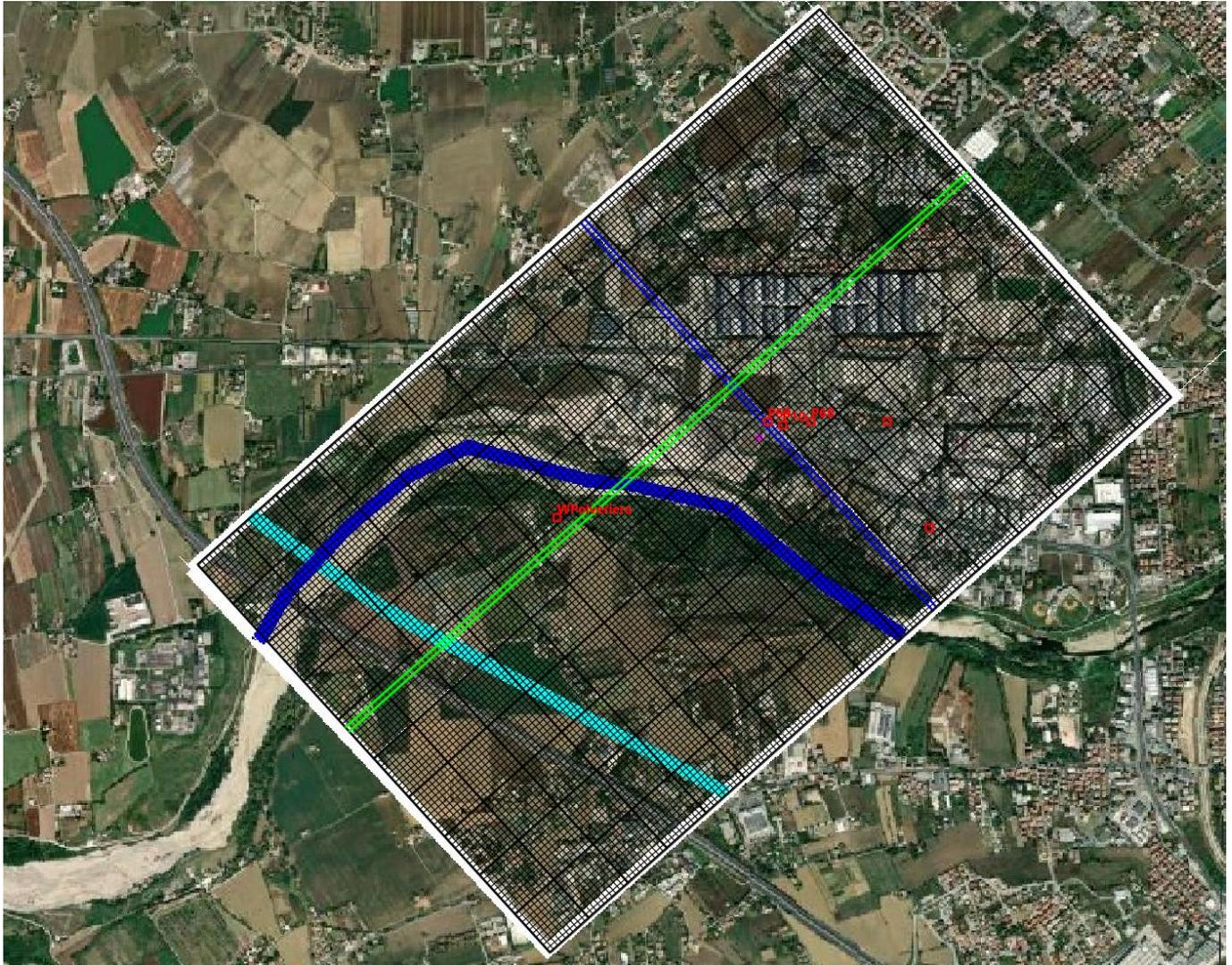


fig. 4-11 Discretizzazione finale del modello.

Più avanti con “sensibilità” del modello si vedrà che l’assunzione per gli scopi prefissi e ben posta.

Come già indicato i rinfittimenti della mesh non sono possibili per poter poi lavorare con il post processore di particle-tracking ModPath, si è quindi optato per un grid molto denso a scapito dei tempi computazionali.

| | | | |
|--|--|--|--|
| # Modello Fiera | | | |
| # Upper left corner: (2319575.0468725, 4881903.7289375) | | | |
| # Lower left corner: (2320913.30808522, 4880417.43928654) | | | |
| # Upper right corner: (2321938.24741752, 4884031.56426572) | | | |
| # Lower right corner: (2323276.50863024, 4882545.27461476) | | | |
| # Grid angle (in degrees counterclockwise): 42 | | | |
| 8 LAYERS 100 ROWS 159 COLUMNS | | | |
| 9 STRESS PERIOD(S) IN SIMULATION | | | |
| MODEL TIME UNIT IS SECONDS | | | |
| MODEL LENGTH UNIT IS METERS | | | |
| Confining bed flag for each layer: | | | |
| 0 0 0 0 0 0 0 | | | |
| | | | |
| DELR = 20.0000 | | | |
| | | | |
| DELC = 20.0000 | | | |
| | | | |

Qui di seguito la rappresentazione del modello finale (estremamente oneroso in termini computazionali).

4.3.3 CARATTERISTICHE DI FLUSSO

Le diverse simulazioni che verranno condotte hanno una base comune:

- modello geometrico
- caratteristiche di flusso (se non per il capitolo relativo alla sensibilità dei risultati)

Vengono assunte le caratteristiche del moto di filtrazione per ogni strato in linea con quanto emerso nella fase conoscitiva (cap.3).

In particolare:

| Modellazione | Rif.Cap.3 | Permeabilità Orizzontale | Coefficiente di Immagazzinamento | Porosità efficace |
|------------------------|---|-----------------------------|-------------------------------------|----------------------|
| Freatica | superficiale (fino a 3m) | 1 E-4 m/s | 0.25 | 0.25 |
| Subalveo | | 1.5 E-3 m/s | 1e-4 | 0.25 |
| Aquitard 1 | limi argillosi (fino a 9m) | 4 E-6m/s | 1e-4 | 0.45 |
| Aquitard 2 | Limi con argille da 9 a 12/28m | 5 E-7 m/s | 1e-4 | 0.45 |
| Falda Confinata | Ghiaie etoregenee in matrice limo sabbiosa (da 16.50-20.90m a 22-24m) | 1.5 E-3 m/s | 1e-4 | 0.25 |

Come si può osservare i valori adottati sono con forti assunzioni *a favore di sicurezza*:

- la permeabilità degli strati argillosi è stata assunta pari ai valori indicati in relazione geologica **aumentati di un fattore 10** e non quelli misurati da prove edometriche (di 3-4 dimensioni inferiore)
- la porosità degli strati a grana fine è relativamente bassa

Per quanto riguarda il coefficiente di immagazzinamento i valori sono in linea con quelli bibliografici e non intervengono in modo significativo nelle simulazioni che più avanti saranno descritte.

Infine il parametro di porosità efficace è stato assunto mediamente 0.25, (da questo dipende la velocità nel particle tracking). La porosità dipende dal grado di addensamento del materiale e dalla tipologia di materiale, oscillando fra 0.2-0.3 solitamente nelle ghiaie e per terreni a grana fine la porosità efficace può anche raggiungere il 50% e più. Nelle prove di laboratorio fornite l'indice dei vuoti è dell'ordine di 0.8-0.9 considerando che la porosità efficace è una porzione della porosità totale si è assunto 0.45.

$$(e=0.9 \ n=e/(1+e) \rightarrow 47.4\%)$$

4.3.4 CONDIZIONI DI BORDO

Qui di seguito si mostrano le condizioni di bordo effettive per tutte le simulazioni, lasciando ai relativi capitoli eventuali variazioni effettuate (ad esempio la condizione di minima della falda ecc.).

La condizione di bordo non variata consiste nel non scambio fra le superfici laterali del modello. Teoricamente questo rappresenta il percorrere una linea di flusso monte verso valle.

L'assunzione è a favore di sicurezza, eventualmente "costringendo" le linee di flusso (e dell'eventuale inquinante) ad essere contenute all'interno del modello. (Si vedrà che l'assunzione non ha effetti).

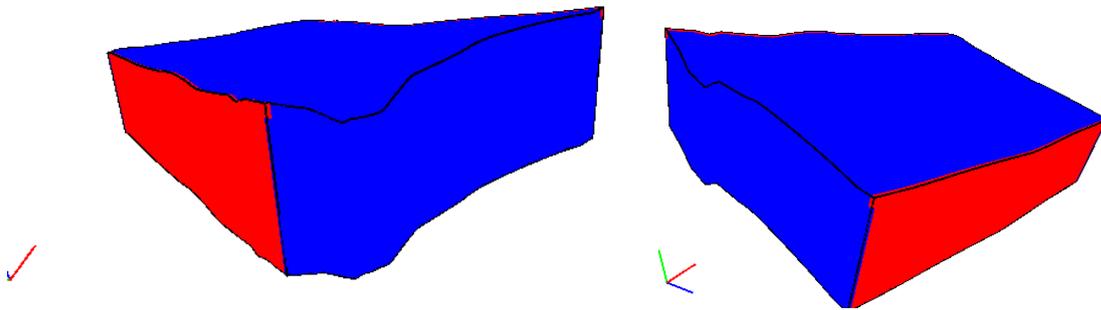


fig. 4-12 Vista prospettica da monte con evidenza delle parti laterali tipo "NO-FLOW-CELLS".

La condizione di monte e di valle è invece determinata da una funzione temporale in ragione alla condizione di falda confinata in assetto "medio" o falda confinata "minima".

Sono stati adottati i valori di bordo rappresentativi dalle misure fatte nelle due condizioni, che qui si presentano.

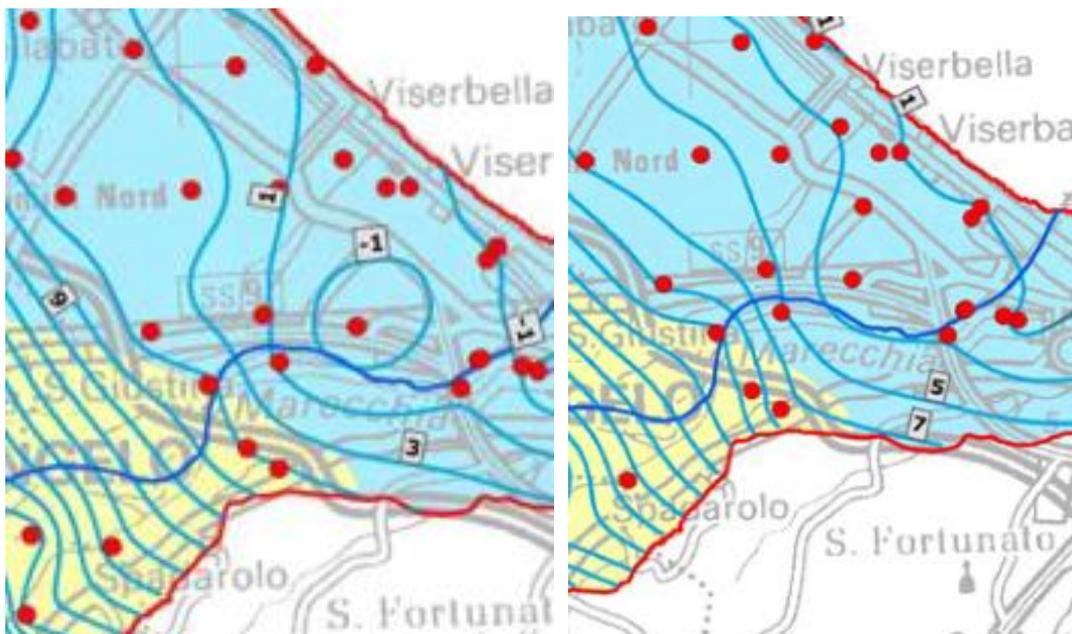


fig. 4-13 Superficie piezometrica "minima", tipica da studio RER (v.cap.3)



Si può osservare in un caso e nell'altro che le **condizioni di bordo monte e valle** (falda confinata quale queste rappresentano), sono state così sintetizzate:

4.3.4.1 **Condizione di valle**

"Model_Top - H0_Valle", cioè la quota della superficie del modello – una altezza definita per le due differenti simulazioni.

Condizione di Minima: H0_Valle pari a 9. o 5.5 a seconda delle condizioni studiate.

Per la Freatica viene assunto il valore di falda *a piano campagna*. H0_freatica pari a 0.

4.3.4.2 **Condizione di Monte**

La condizione di monte è rappresentata dall'alimentazione diretta dall'indefferenziato e subalveo.

Nella condizione "minima" viene quindi posta pari alla superficie – H0_Monte a meno che non si trovi in subalveo, dove viene considerata la diretta alimentazione da parte delle alluvioni del Fiume.

L'implementazione assume la seguente formulazione in pseudo-codice:

$$If(t, Model_Top - H0_SubAlveo, If(((Model_Top - H0_Monte) > H0_MaxMonte), H0_MaxMonte, (Model_Top - H0_Monte)))$$

Nonostante la possibile complessità questa non è altro che un livello piezometrico di H0_Monte di soggiacenza a meno che quest'ultima non risulti troppo basso, adottando quindi un valore assoluto della piezometrica pari ad H0_MaxMonte.

Nella condizione "minima" l'altezza massima assoluta è stata assunta pari a 6m slm, in quella media si è assunto 9m

4.3.5 **FASI TEMPORALI**

Le fasi temporali vengono descritte per ogni singola simulazione, calibrazione compresa.

Tutte le analisi condotte hanno una prima fase "stazionaria" di avviamento che ha lo scopo di raggiungere una condizione di partenza per poi variare alcune variabili temporali, ad esempio *la saturazione della freatica a piano campagna su tutta l'area di infiltrazione come suggerito dalla nota dell'USL*.

I pozzi vengono posti in emungimento secondo valori di portata ritenuti realistici (anche dopo contatto con RomagnaAcque) pur amplificando le portate per massimizzare la condizione di stress.

4.3.6 **SIMULAZIONI E SCENARI**

Per ogni modello di partenza:



- CONDIZIONE MEDIA
- CONDIZIONE FALDA MINIMA

Sono state effettuate più simulazioni.

Fondamentale è il rispetto della calibrazione per entrambe senza variare i parametri di flusso, ma le sole variabili al contorno.

Le simulazioni condotte sono state le seguenti per ogni caso studiato:

| Nome simulazione | Durata | Nota |
|-------------------|---|--|
| Calibrazione | Stazionaria | rappresenta il raggiungimento delle condizioni da riprodurre, in condizione stazionaria, senza variare parametri di flusso già tarati |
| Expected Backward | durata di 365gg con fotografia temporale (anche per tempi minori) | Si verifica il particle-tracking in condizioni backward, cioè ripercorrendo a ritroso le particelle che in 365 giorni giungono alla captazione e definendo così il suo percorso. Le aree interessate dal raggiungimento in superficie rappresentano la delimitazione della zona di rispetto. |
| Expected Forward | | Si verifica il particle-tracking in condizioni forward cioè dall'ipotesi di rilascio di inquinante in falda per tutta l'area del parcheggio |

4.4. SIMULAZIONE FALDA RIFERIMENTO

Si fa riferimento all'andamento piezometrico della falda *media* da Regione Emilia Romagna, come di seguito riportato, lo si assume a riferimento delle modellazioni.

La superficie piezometrica della falda confinata riportata infatti:

- mostra il ruolo dei vari campi pozzi e pozzi in emungimento (senza condizione critica estiva)
- la falda verso mare è *superiore al livello marino 0 slm*
- la falda a monte, nell'indifferenziato è in linea con le quote assolute del fiume Marecchia.

Questa condizione di equilibrio tra alimentazioni, emungimenti senza evidenza di condizioni critiche (richiamo cuneo salino o sovra emungimenti), rappresenta la condizione su cui partire per le analisi.

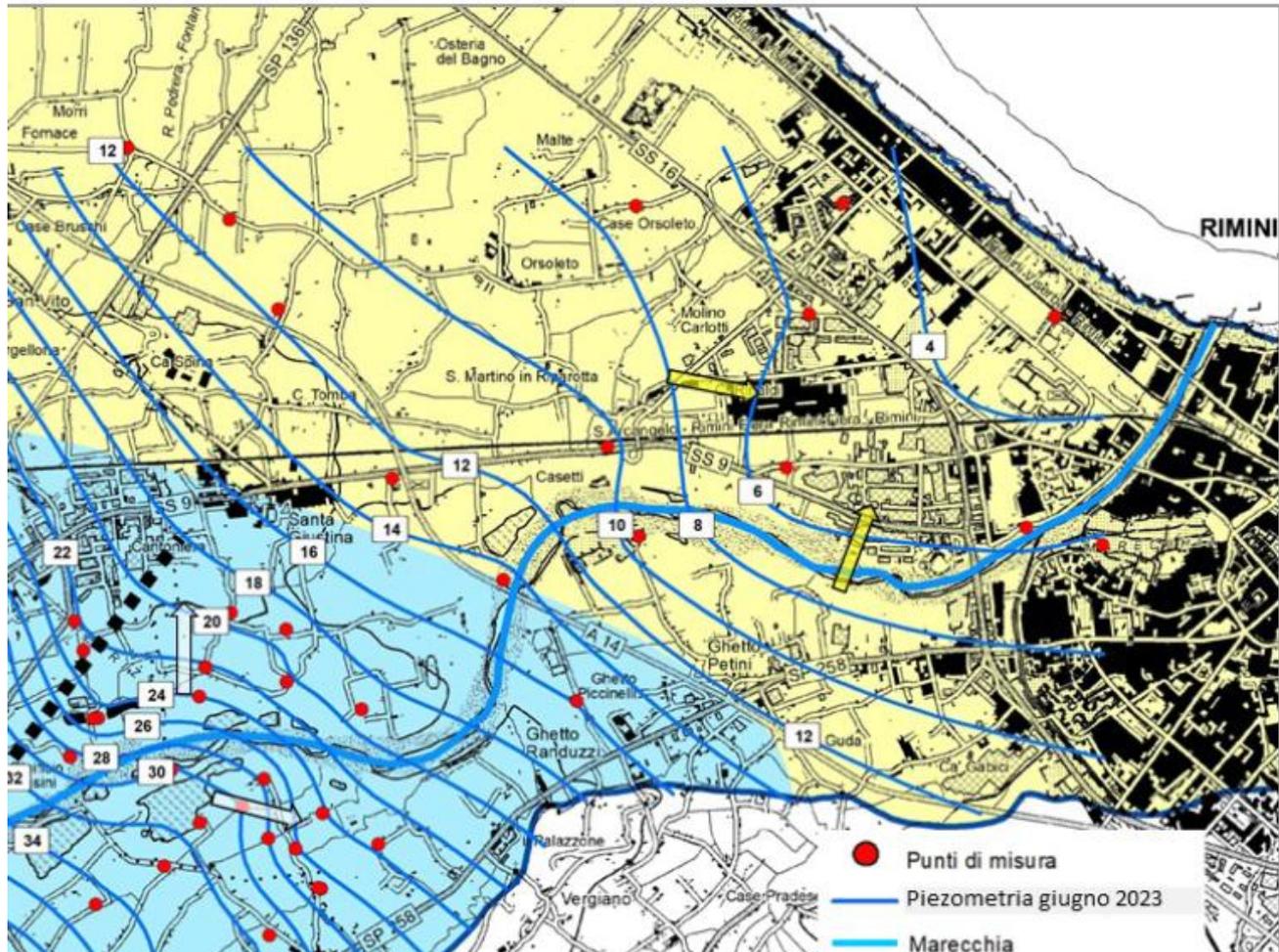


fig. 4-14 Falda di riferimento per la modellazione.

Questa condizione viene raggiunta con le condizioni al contorno della falda confinata come dalle isopieze dedotte (H_{monte} 12m, H_{valle} circa 4.5m) e considerando emungimenti dalla prima falda confinata dal campo pozzi polveriera "medi" di 25l/s e riducendo gli emungimenti a 10l/s medi sugli altri pozzi.

Il pozzo69 viene mantenuto a 20l/s per amplificare il richiamo d'acqua.

Anche qui, per aumentare il flusso dalla freatica, si è considerata una falda freatica a -1.80 per la condizione iniziale, portata poi a piano campagna per la simulazione. Ciò amplifica il moto di filtrazione dalla freatica alla captazione in questione, quindi a favore di sicurezza.

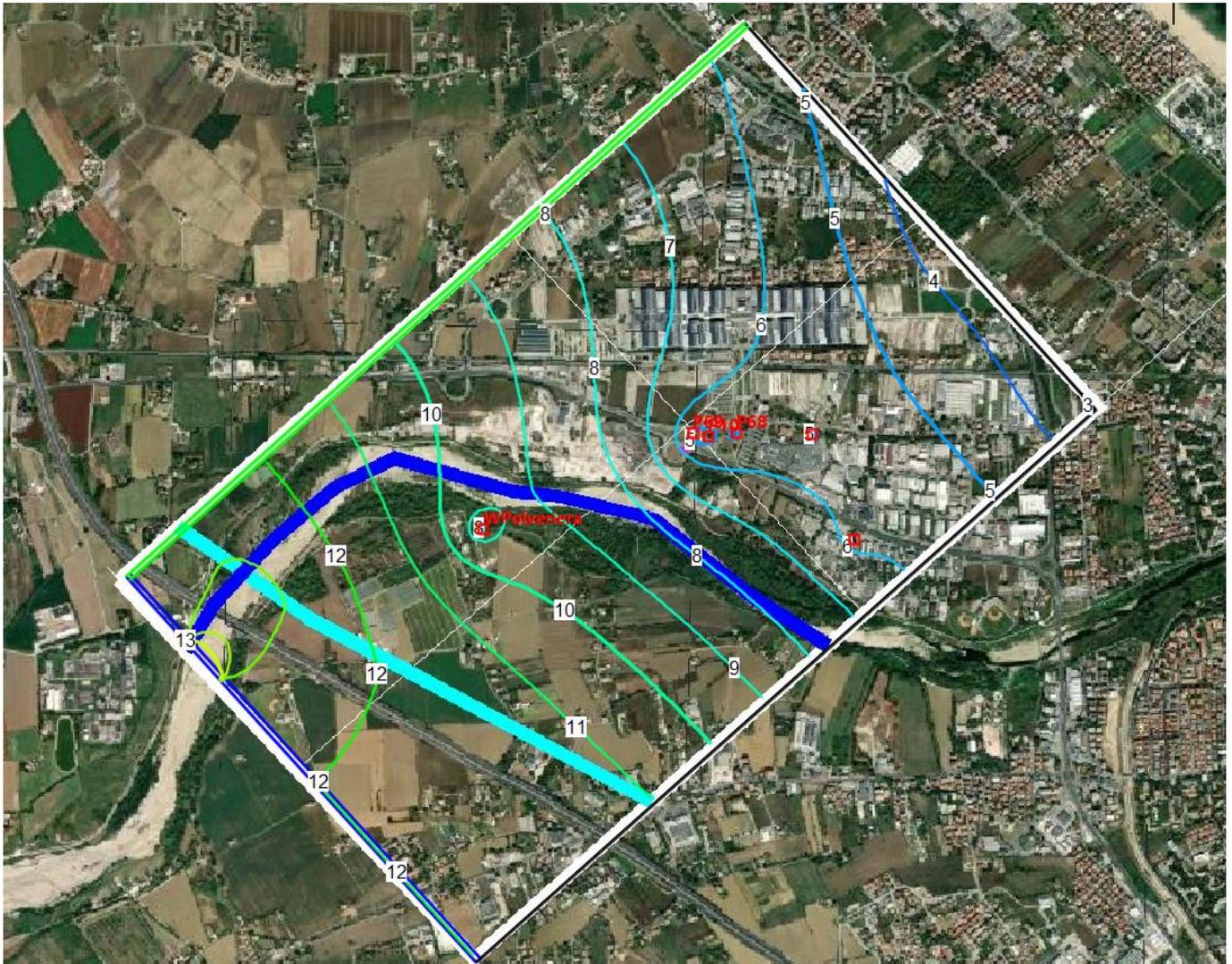


fig. 4-15 Andamento freatico al tempo 0 (stazionario, falda freatica -1.80).

La simulazione di particle tracking parte al tempo 0 e si conclude dopo 365giorni, portando la falda freatica a piano campagna.

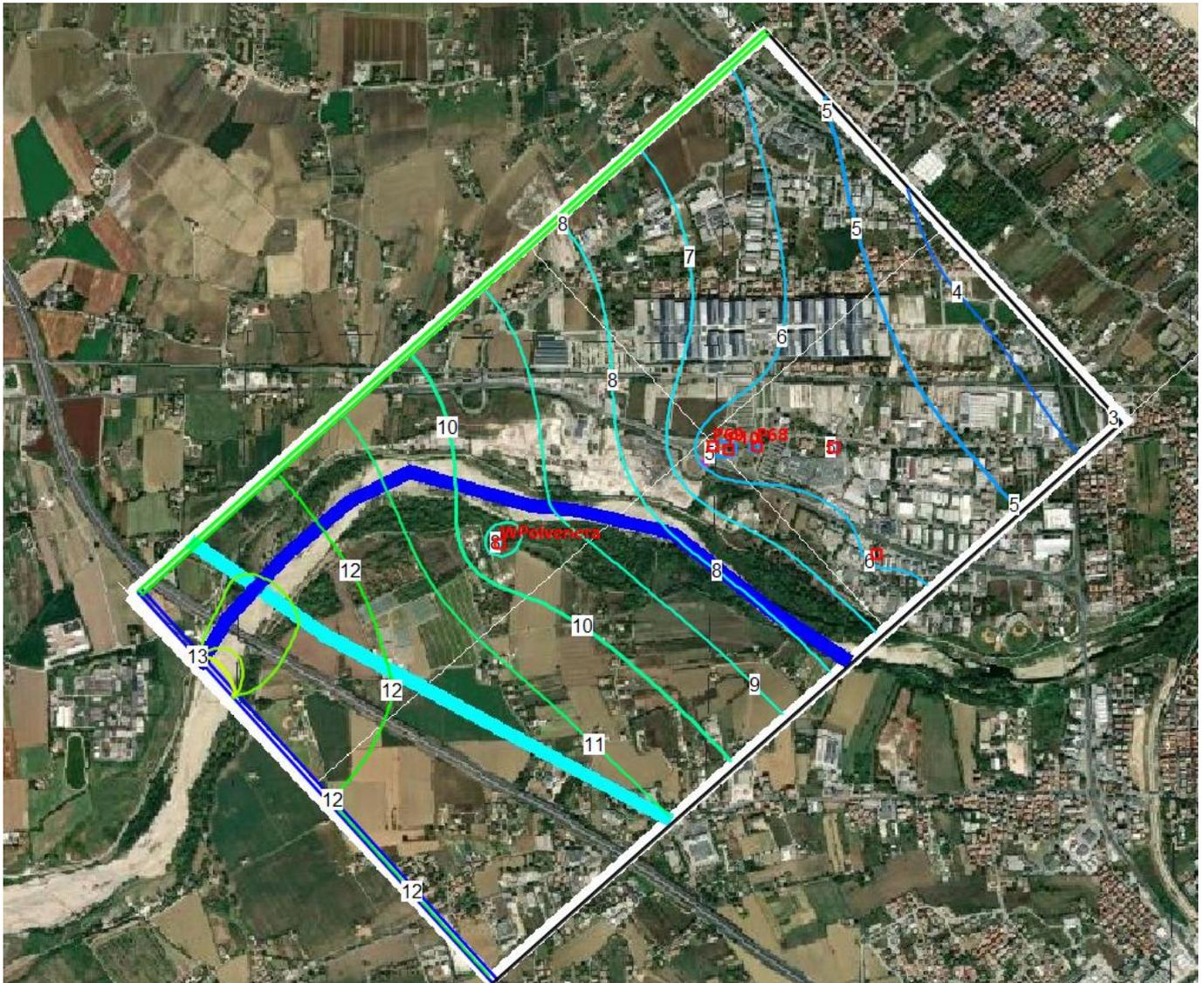


fig. 4-16 Andamento piezometrico falda confinata dopo 1 anno con freatica a piano campagna.

Si osservano limitate variazioni pur non variando sostanzialmente l'andamento piezometrico di riferimento.

4.4.1 Backward Particle Tracking

Applicando il criterio temporale è ora possibile risalire alla provenienza di "particelle" che giungono dopo 365 giorni alla captazione.

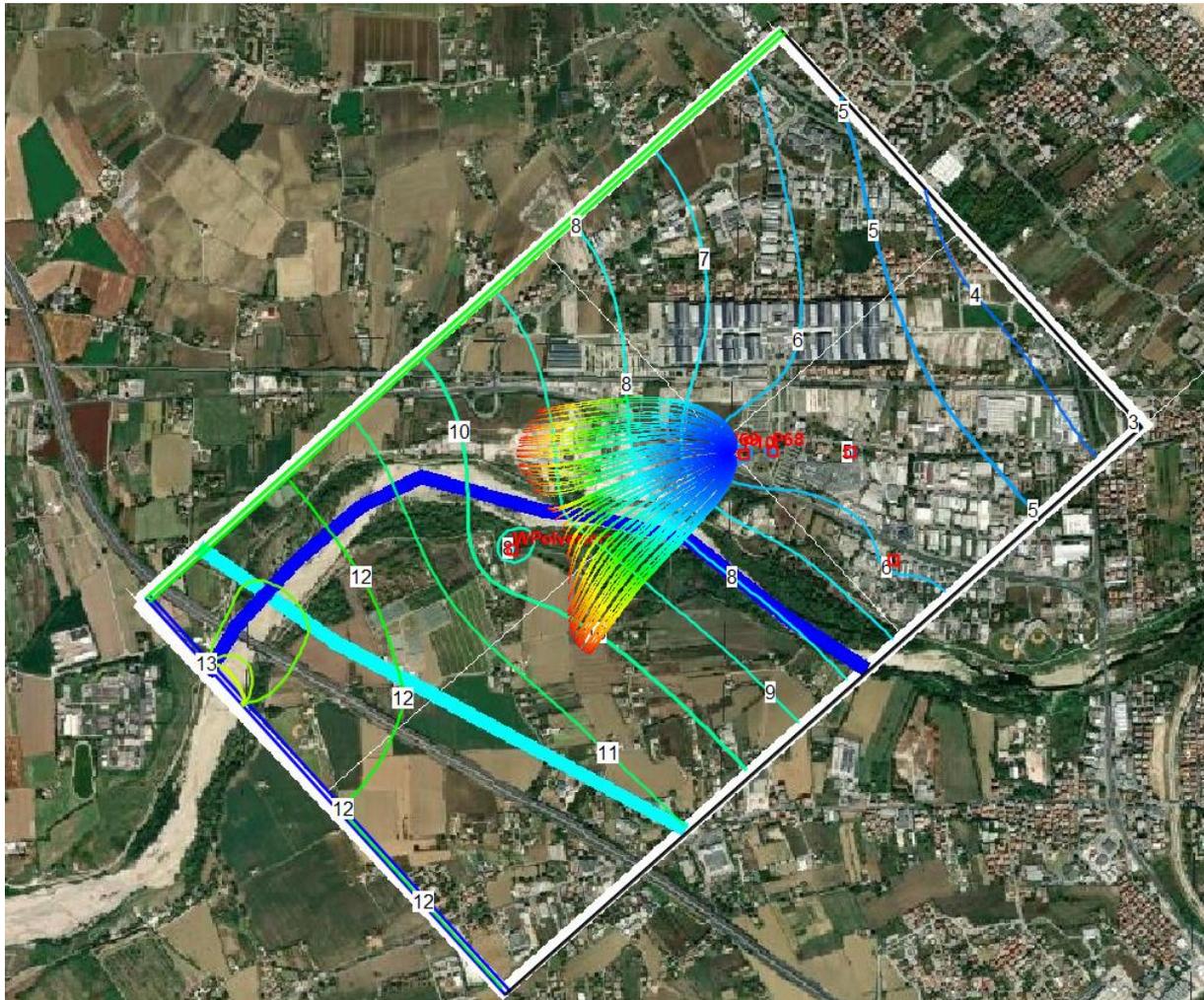


fig. 4-17 Visualizzazione planimetrica dei tracciati che giungono al pozzo P69 in 365 giorni. (nota: sono nelle falde sottostanti come meglio esplicitato nelle figure successive).

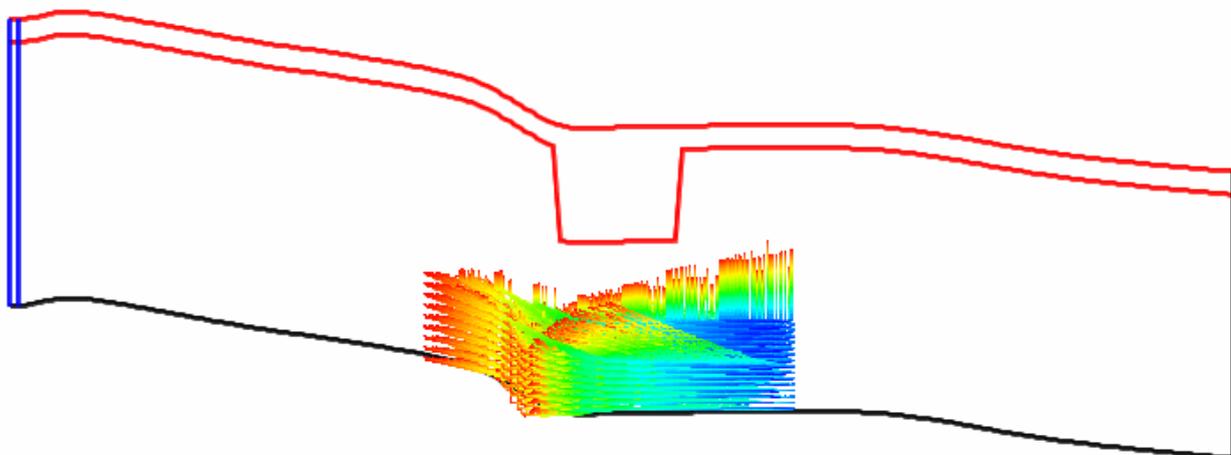


fig. 4-18 Andamento delle traiettorie proiettate "monte-valle" con evidenza della falda freatica e subalveo.

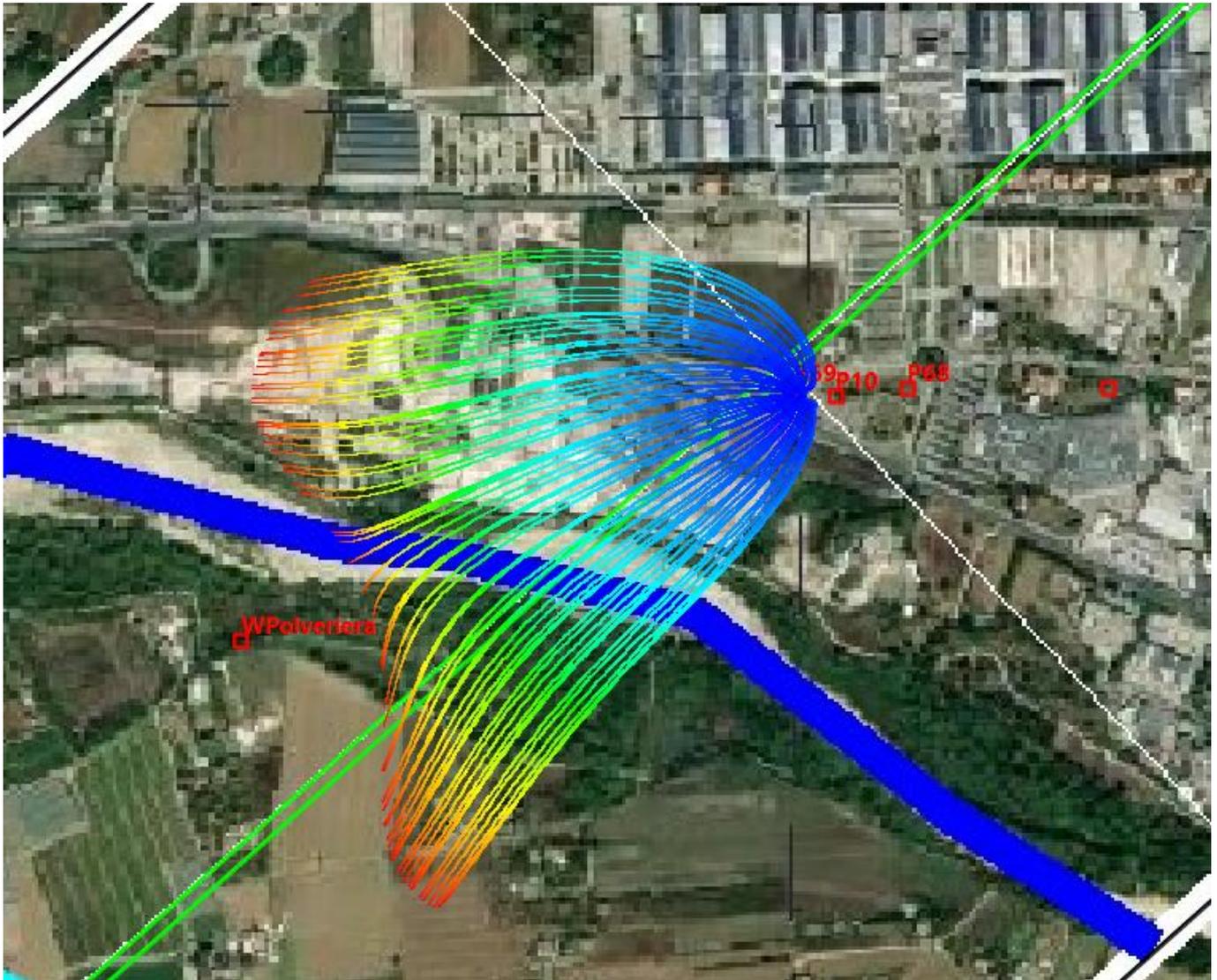


fig. 4-19 Ingrandimento e sezione (doppia linea verde).

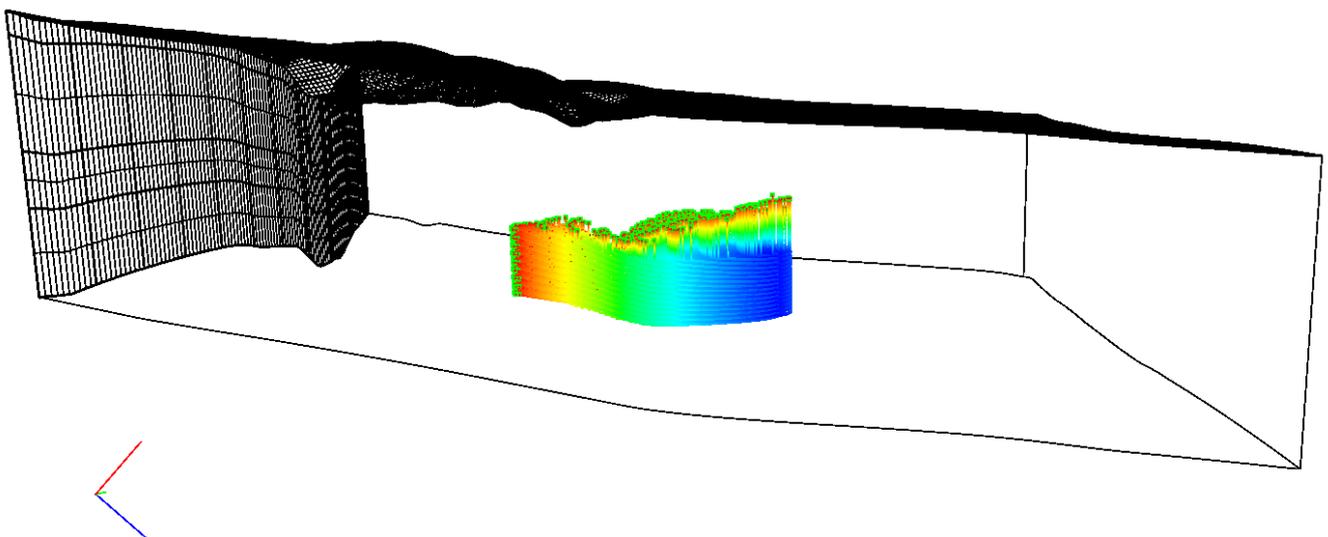


fig. 4-20 Vista prospettica da Sud con evidenza del piano campagna.

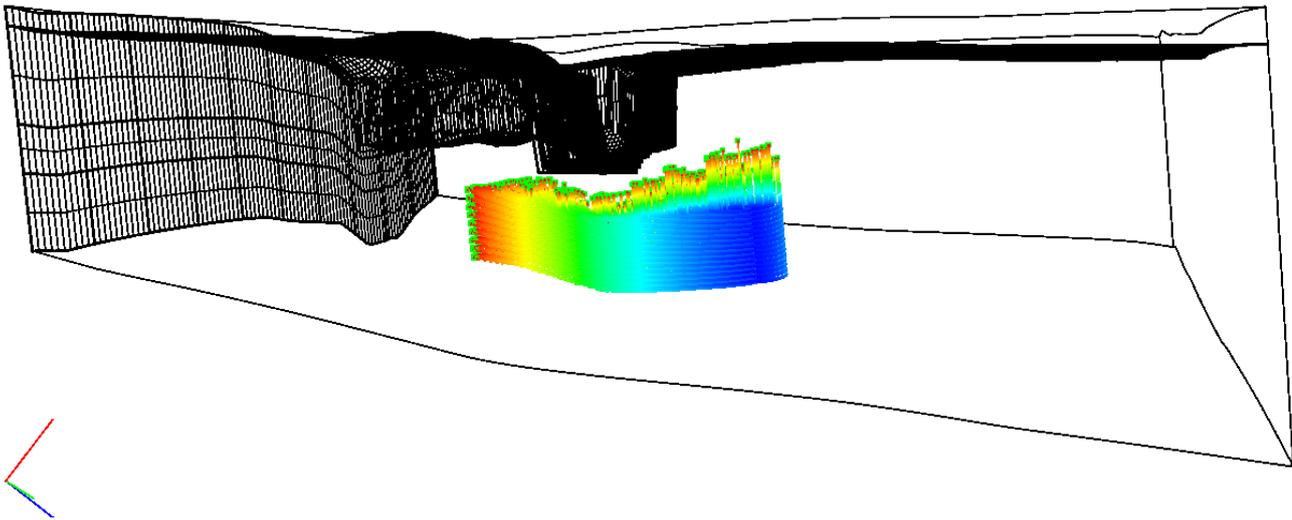


fig. 4-21 Vista prospettica da Sud con evidenza della superficie di separazione falda freatica-aquitard.

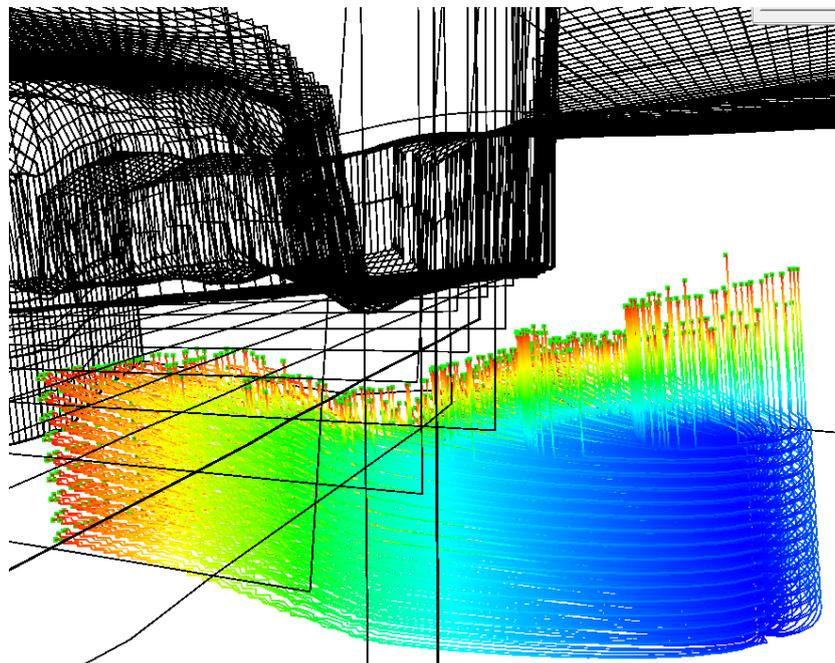


fig. 4-22 Ingrandimento: si osservano i moti di filtrazione verticali dall'aquitardo alla captazione in emungimento.

La figura precedente è interessante per notare che:

- la chiara alimentazione dall'indifferenziato delle falde confinate (a conferma dei modelli del sottosuolo della Regione Emilia Romagna e AMIR ecc. come da bibliografia)
- il moto di filtrazione verticale che si instaura dalla freatica alla falda confinata
- quest'ultimo interessa una piccola porzione delle acque emunte
- **il non interessamento della captazione per rilasci da superficie** (nell'anno e in più anni)

4.4.2 Forward Particle Tracking

Posto che la finalità dello studio è l'accertare il non interessamento delle captazioni dal centro di potenziale pericolo Ampliamento Parcheggio Sud 3, si è effettuata anche una simulazione considerando un rilascio sull'intera area parcheggio e osservando il moto delle particelle in un anno.



fig. 4-23 Area di rilascio diretta dalla superficie nell'acquifero freatico.



fig. 4-24 Vista planimetrica delle particelle rilasciate nell'area parcheggio a 1 anno. (isopieze strato aquitard1).

La vista planimetrica non è significativa. Si osservano leggeri moti orizzontali che seguono la linea di flusso della freatica

La sezione monte-valle risulta certamente più esplicativa:

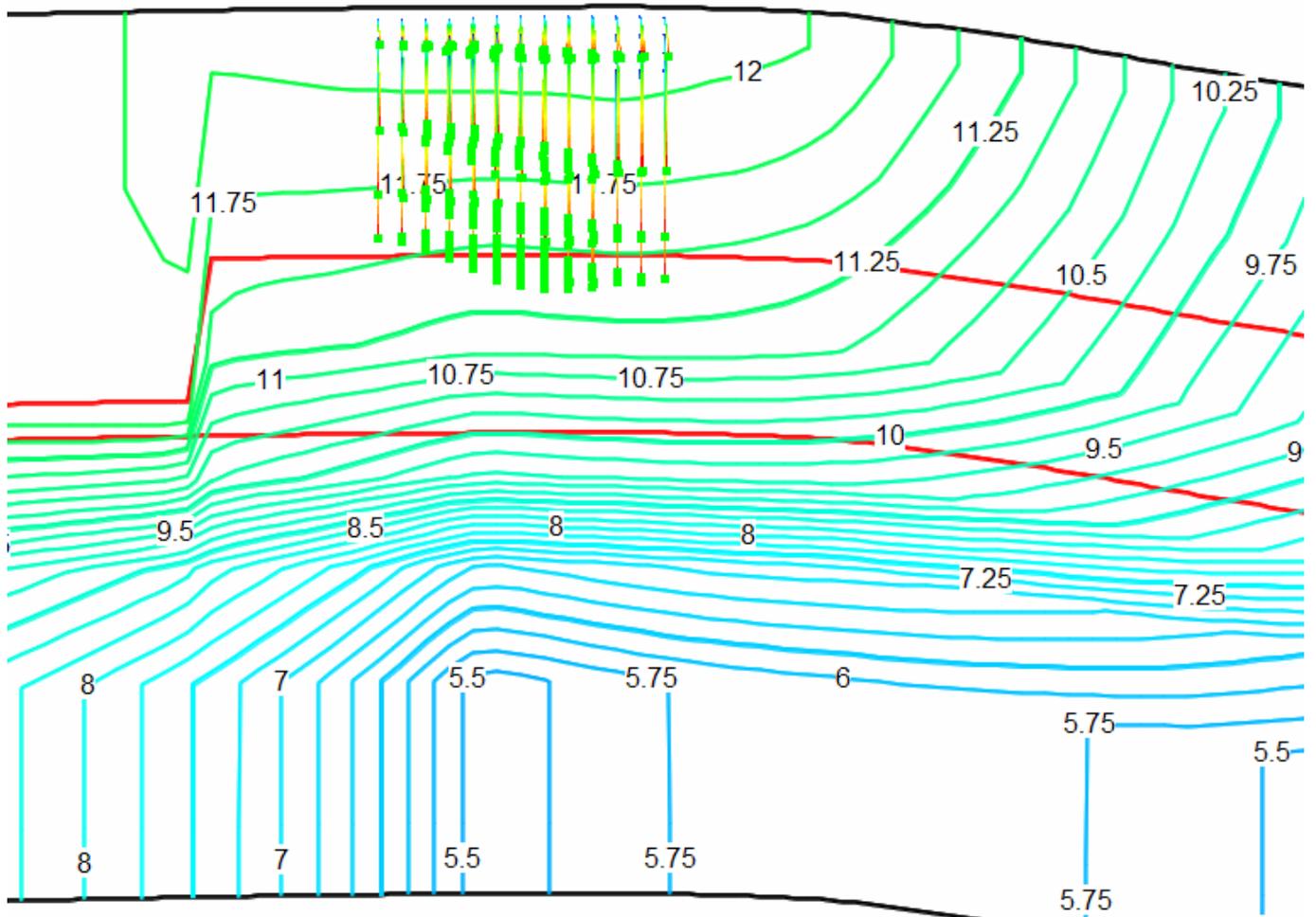


fig. 4-25 Sezione monte -valle con evidenza base aquitardo1 e isopieze.

In sezione si vede a sinistra il sub-alveo (ghiaie), i percorsi delle particelle rilasciate in area parcheggio (linee sostanzialmente verticali dalla superficie al centro) e la posizione della particella dopo 365 giorni dal rilascio (quadrantini verdi).

A 365 giorni ancora non si ha l'interessamento dell'Aquitard2.

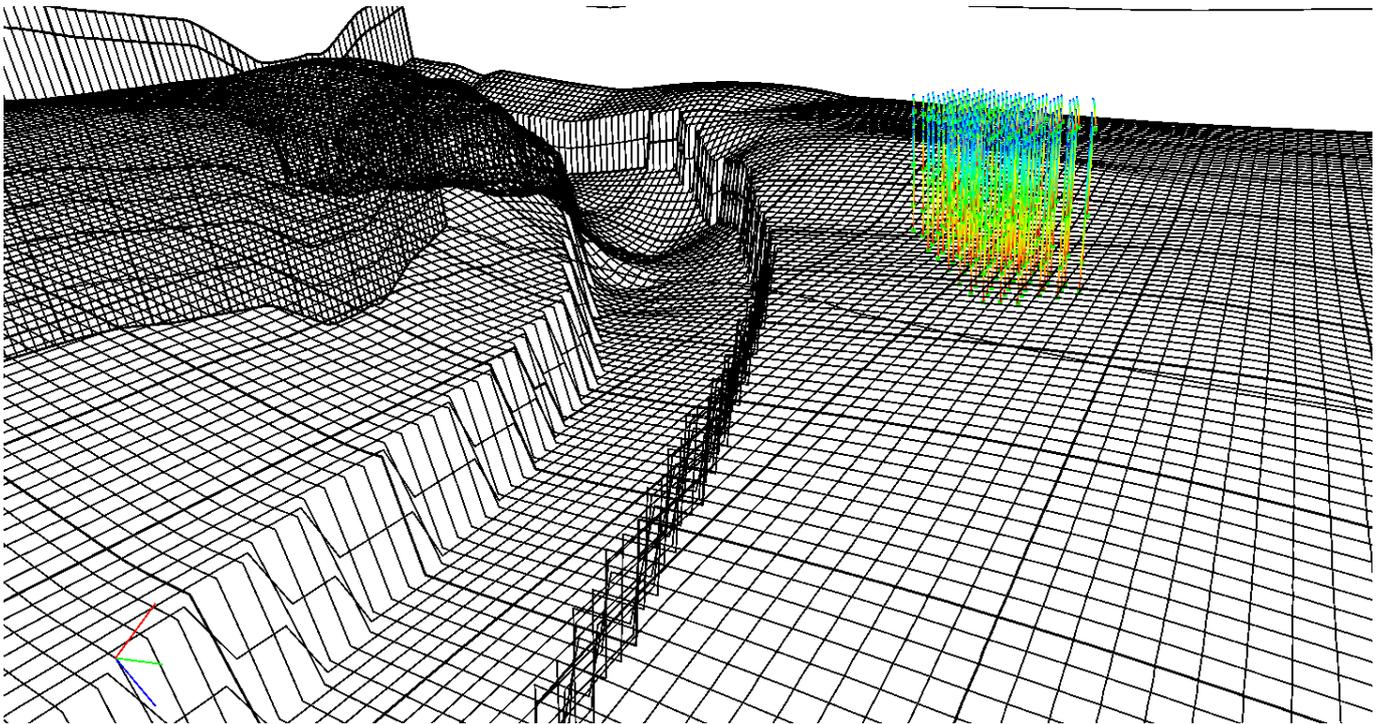


fig. 4-26 vista 3d. La superficie visibile è il livello intermedio Aquiclude1.

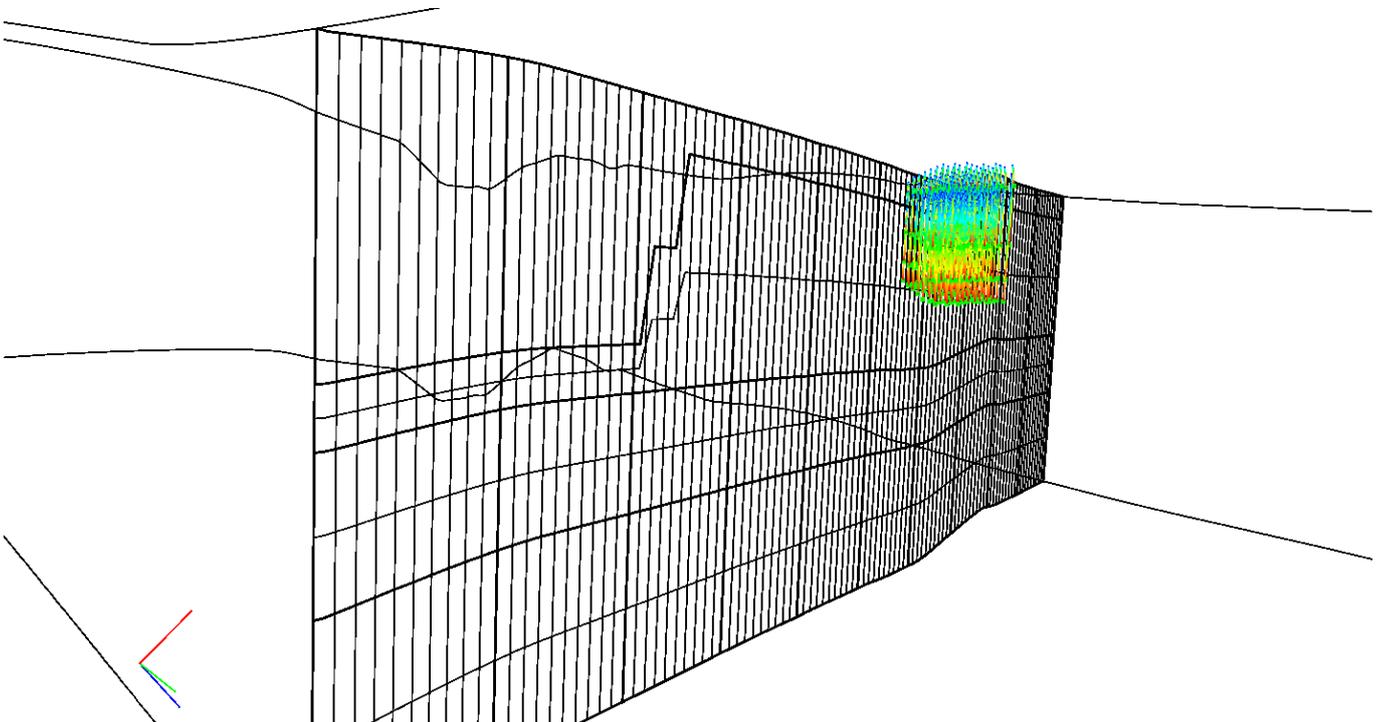


fig. 4-27 Vista prospettica con evidenza dei layer e sublayer. (l'acquifero è identificato dai due sub layer alla base).

4.4.3 Verifica di consistenza da infiltrazioni

L'assunzione di imporre la falda freatica a piano campagna a favore di sicurezza viene confermata dal bilancio sulla freatica, cioè la quantità d'acqua di infiltrazione necessaria per mantenere il livello come



imposto nella freatica stessa. Questo può essere visto come *la quantità d'acqua che si deve infiltrare dalla superficie e può essere messa in relazione con le piogge medie annue.*

Nel presente modello (Fiera04-Norm-Geom_F) il bilancio dall'area della freatica a quota piezometrica imposta risulta pari a 0.25674m³/s.

Flow Budget for Zone 1 at Time Step 82 of Stress Period 7

| Budget Term | Flow (L**3/T) |
|-----------------------|---------------|
| IN: | |
| --- | |
| STORAGE = | 0.0000 |
| CONSTANT HEAD = | 0.25674 |
| WELLS = | 0.0000 |
| Zone 0 to 1 = | 0.17353E-02 |
| Total IN = | 0.25848 |
| OUT: | |
| ---- | |
| STORAGE = | 0.0000 |
| CONSTANT HEAD = | 0.17353E-02 |
| WELLS = | 0.0000 |
| Zone 1 to 0 = | 0.25674 |
| Total OUT = | 0.25848 |
| IN - OUT = | 0.0000 |
| Percent Discrepancy = | 0.00 |

L'area è circa 5.5km².

Da questo risulta la necessità di infiltrazioni dirette pari a circa 1400mm/anno certamente non realistiche e circa 10-20 volte superiori a quelle naturali

L'assunzione è quindi cautelativa e consente una maggiore migrazione dalla superficie alla profondità.

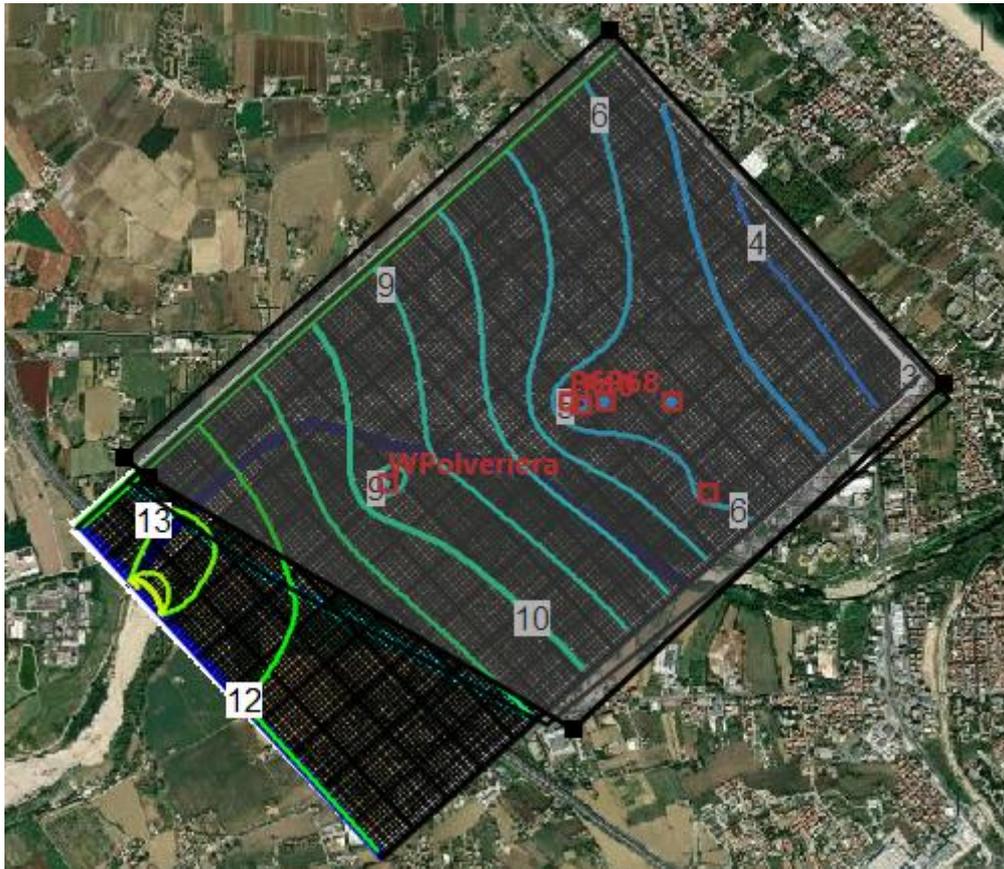


fig. 4-28 area di mantenimento falda freatica a livelli imposti.



4.5. SIMULAZIONE STRESS-FALDA MINIMA

4.5.1 Calibrazione

E' stata posta l'altezza di monte pari a piano campagna con cut-off a 6m slm, in linea con quanto riportato dagli studi piezometrici della RER.

A valle è stata posta una soggiacenza di 9m che porta la piezometrica di efflusso simile a quella riportata (da 1 a -1 m slm).

La falda freatica è stata assunta in uscita pari al piano campagna (condizione non effettivamente molto realistica ma a favore di sicurezza: riduce filtrazioni orizzontali della falda freatica).

Le portate ai pozzi come indicato sono quelle stimabili massime mensili (periodi estivi):

| | |
|------------------------|--|
| | |
| Campo Pozzi Polveriera | 75 l/s costanti |
| Pozzo 69 | 35 l/s (massimo per aumentare il "richiamo") |
| Altri pozzi | 20 l/s |

NOTA: le portate sono quelle stimate dalla prima falda e parzialmente la seconda avendo visto che nell'area i pozzi captano principalmente in questa.

La condizione, cautelativa, di falda freatica sempre alimentata qui cade in difetto: la falda confinata nel lungo periodo riceve una alimentazione troppo elevata e non riesce a riprodurre la falda critica.

Qui di seguito l'elaborazione senza "alimentare" la falda freatica nel modello con un buon riscontro con la falda "critica" cioè la piezometria più depressa elaborato in più di 10 anni.

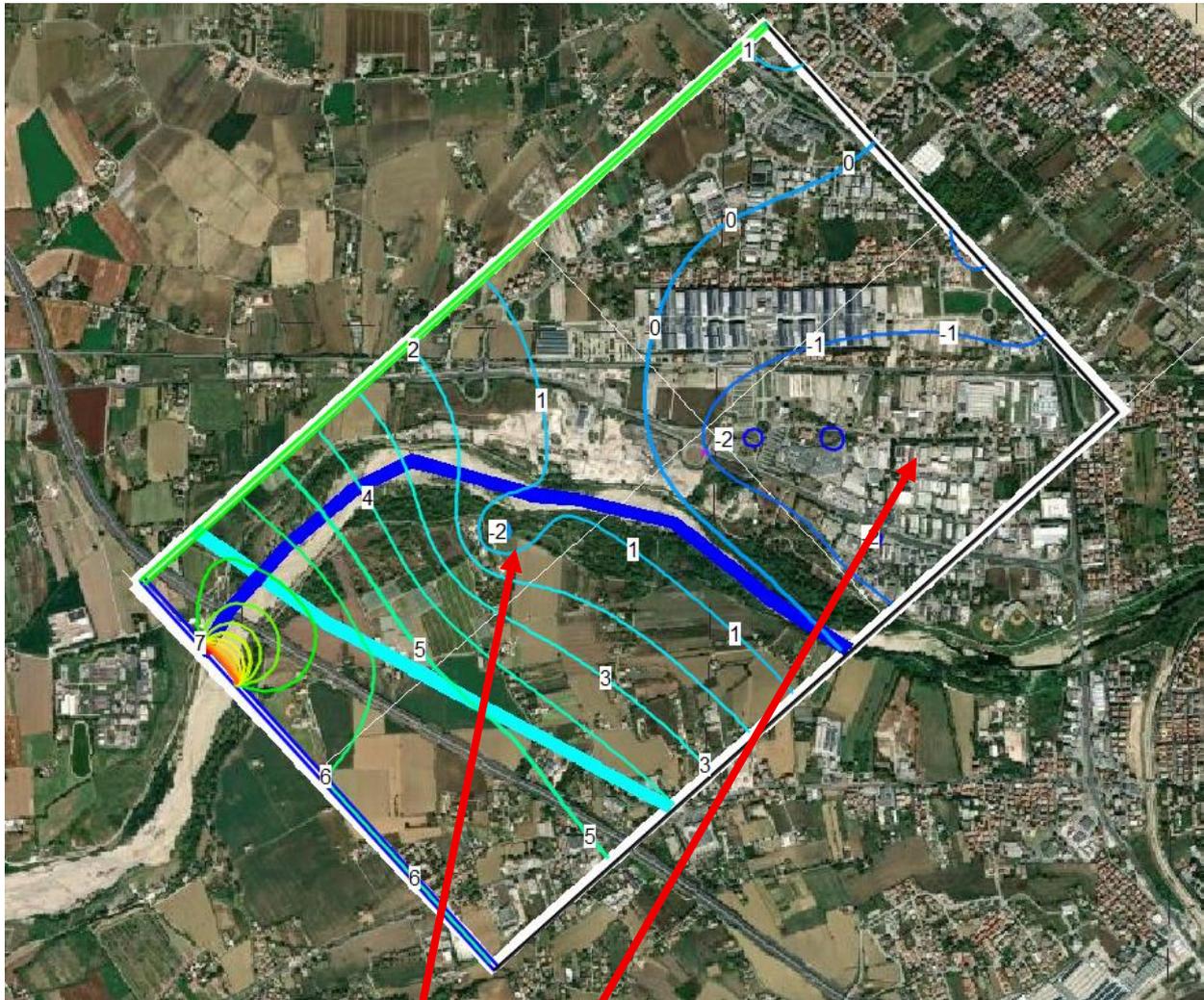


fig. 4-29 Andamento piezometrico falda confinata per la condizione critica..

Con le assunzioni fatte si può osservare che l'andamento piezometrico della falda confinata rispecchia quello RER di falda "minima".

NOTA: non si è effettuata una calibrazione con parameter estimation o altri algoritmi statistici. Si è optato per una “gestione” più solida del modello ammettendo piccoli scostamenti ma che non facessero perdere di vista la finalità dello studio.

Per le simulazioni, volendo mantenere la condizione cautelativa di falda freatica “alimentata”, cioè con un livello costante, si ottengono andamenti di falda un po’ differenti.

Allo scopo si è ridotto ulteriormente il carico di monte (con H assoluta massima di 5.5m slm) e l’apporto dal subalveo (-5m dalla superficie del greto del Fiume).

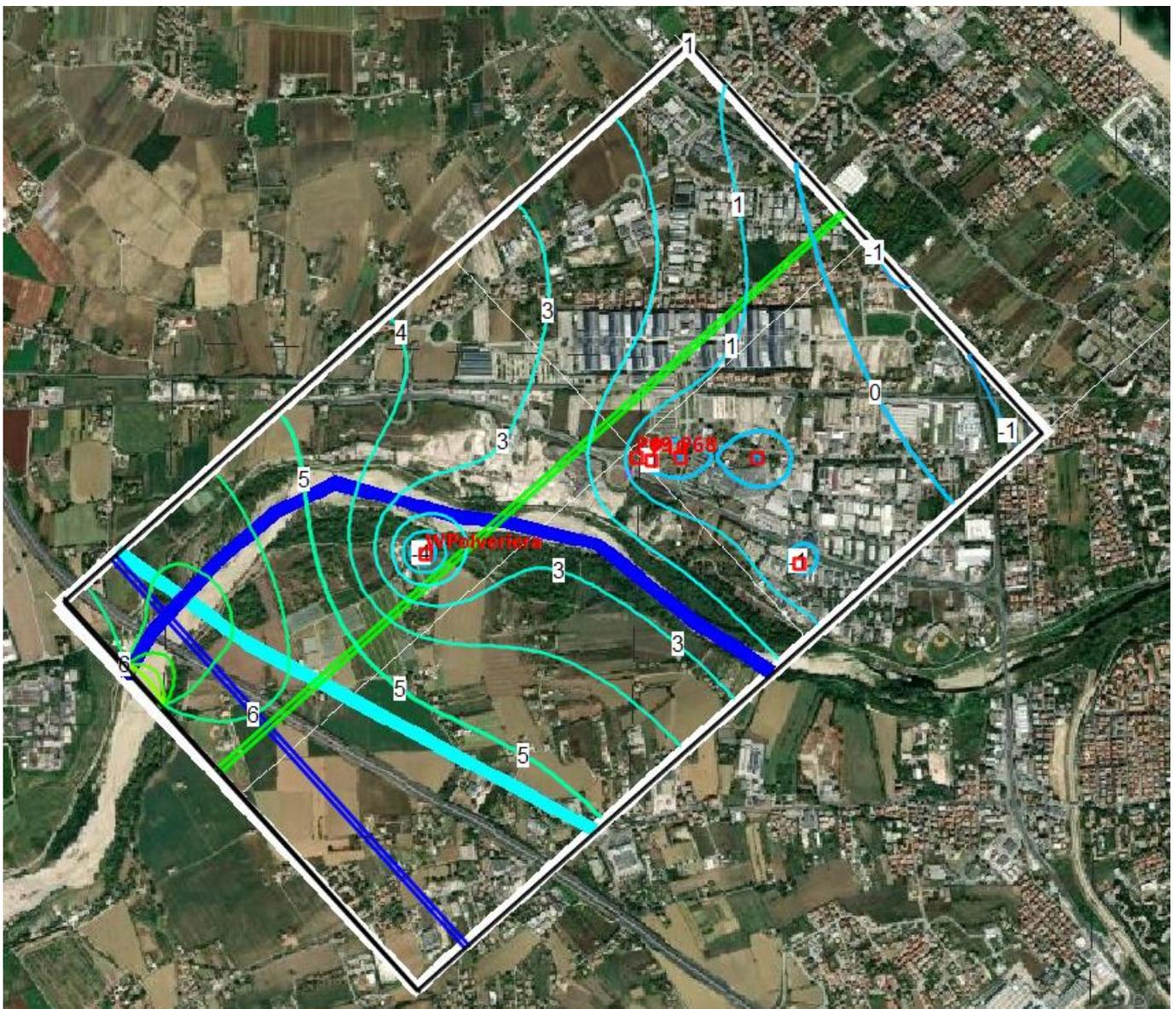


fig. 4-30 Andamento piezometrico per il modello STRESS-FALDA MINIMA

La condizione che si raggiunge è quindi cautelativa.

Per comprendere ulteriormente questo concetto la prossima immagine rappresenta l’andamento della falda freatica che certamente non rappresenta la condizione siccitosa delle falde sottostanti:

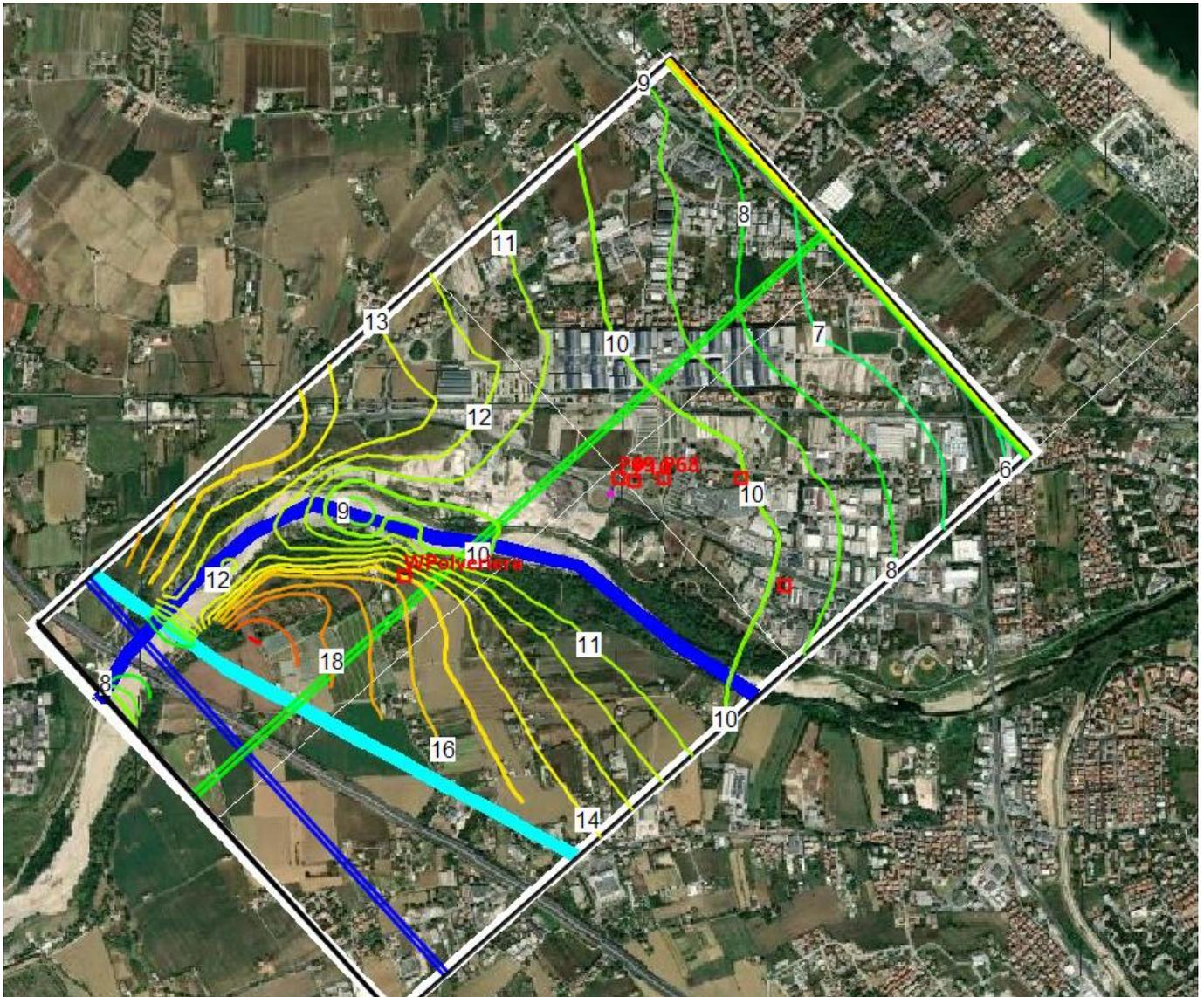


fig. 4-31 Andamento della freatica "sempre alimentata" anche nella condizione critica siccitosa aumentando il flusso verticale di un eventuale inquinante.

| | |
|-----------------------------------|---|
| Condizione di monte | 5.5m slm max e alimentazione dal subalveo -5m |
| Condizione di valle | soggiacenza 9m e freatica 1.8 |
| Mantenimento soggiacenza freatica | condizione stazionaria(t=0) 1.8m falda a piano campagna per la simulazione |

4.5.2 Expected – Backward simulation

Dalla calibrazione siffatta si valuta il particle-tracking andando a ritroso dall'emungimento da pozzo (P69).

In Expected *non vengono cambiate le condizioni al contorno*: viene considerata la condizione di stress di falda minima e portata la falda freatica costantemente a 0 come nelle simulazioni di riferimento.

La condizione se pur poco realistica evidenzia dopo 365giorni **le seguenti linee di flusso ed il punto di partenza delle particelle per giungere al pozzo dopo 365gg.**

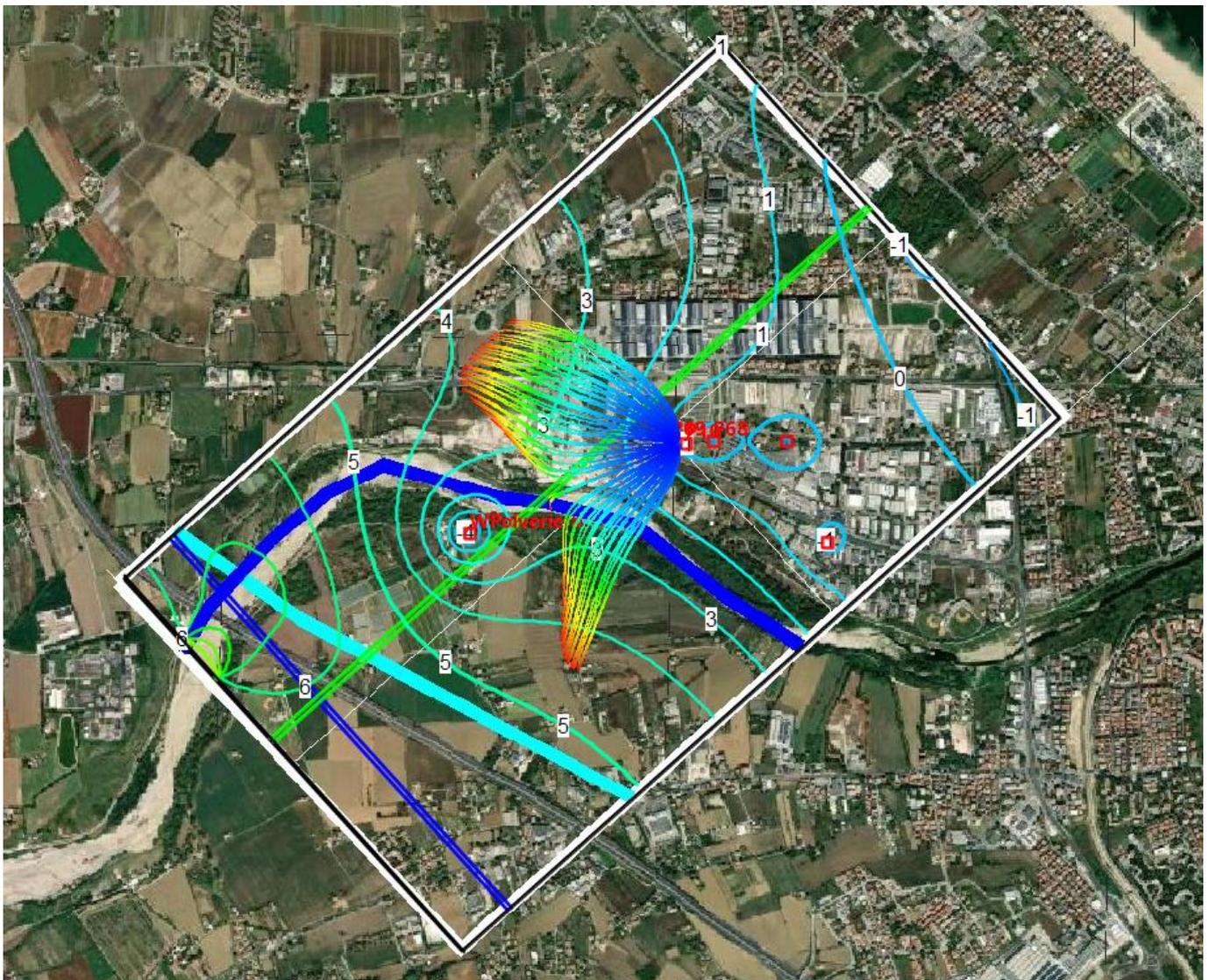


fig. 4-32 Particle Tracking in backward simulation. Andamento delle traiettorie di particelle che giungono dopo 365 al pozzo in pompaggio.

Qui il ruolo del pompaggio persistente dal campo pozzi Polveriera “costringe” il P69 a richiamare acque da aree esterne alle prime linee di flusso di alimentazione dal subalveo.

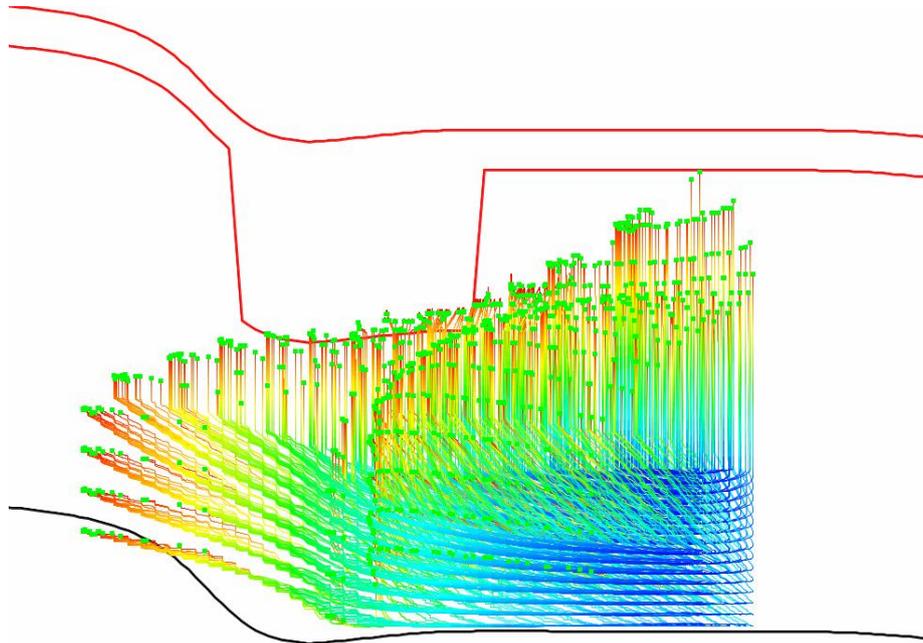


fig. 4-33 Backward particle tracking a 365gg, sezione monte-valle

Anche in questa simulazione nessuna giunge dalla freatica nei 365 giorni.

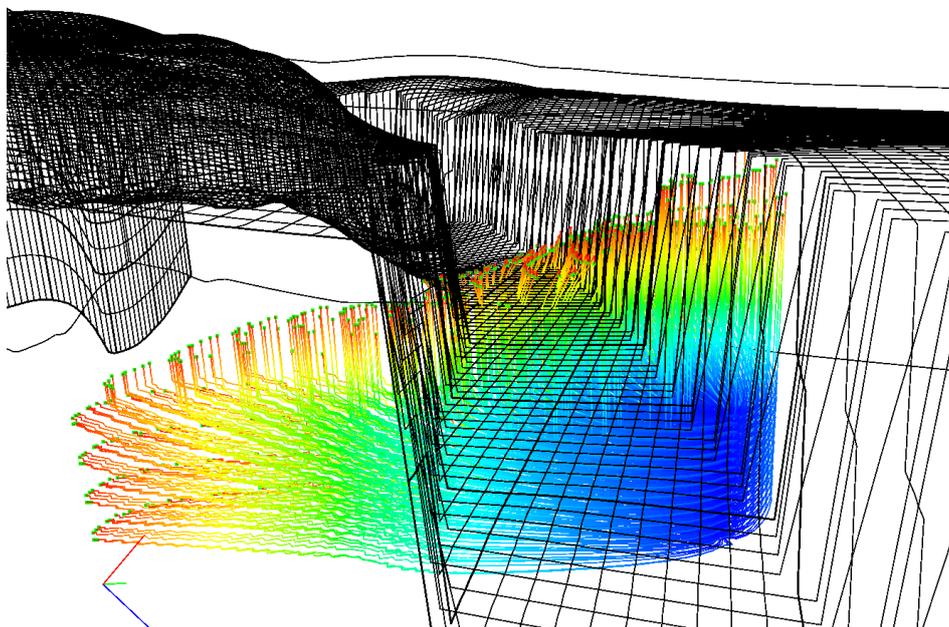


fig. 4-34 Visualizzazione 3d con evidenza di talune particelle di flusso partire dal subalveo.

L'interessamento della falda di sub-alveo, (che non è la falda freatica), è al primo anno parziale, il capitolo 4.6 con lo scenario "atteso" cioè quello che si ritiene realistico evidenzierà meglio questo concetto.

Nella condizione così critica e perdurante per 1 anno ancora nessuna particella proviene dalla falda freatica, in particolare dal parcheggio, né, a maggior ragione, dalla superficie.

4.5.3 Forward Particle Tracking

Il Forward Particle Tracking evidenzia quanto già emerso. Dall'area del parcheggio dopo 365 giorni l'eventuale dispersione (e con tutte le assunzioni cautelative fatte) raggiunge l'aquitardo 1 e parzialmente interessa l'aquitardo 2.



fig. 4-35 Forward particle tracking dal parcheggio. Vista planimetrica a 365gg nella simulazione Stress-Falda minima

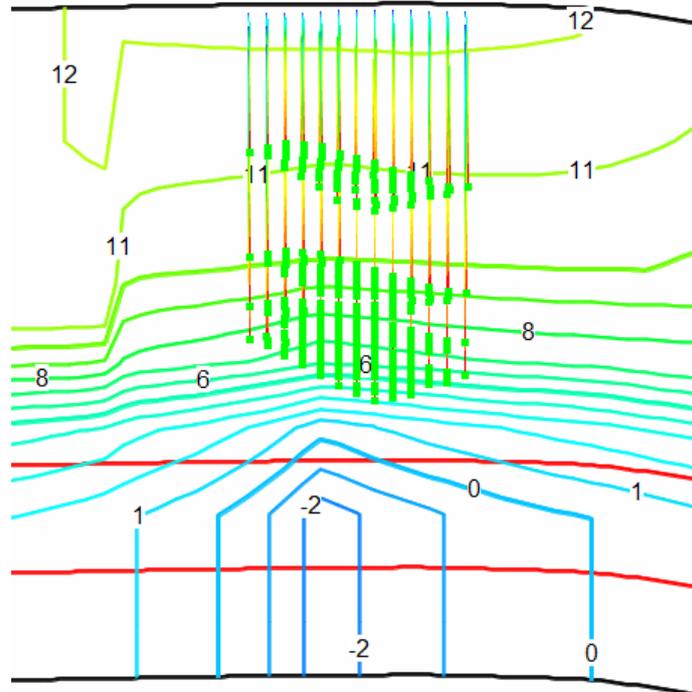


fig. 4-36 Sezione monte valle in corrispondenza della captazione P69.

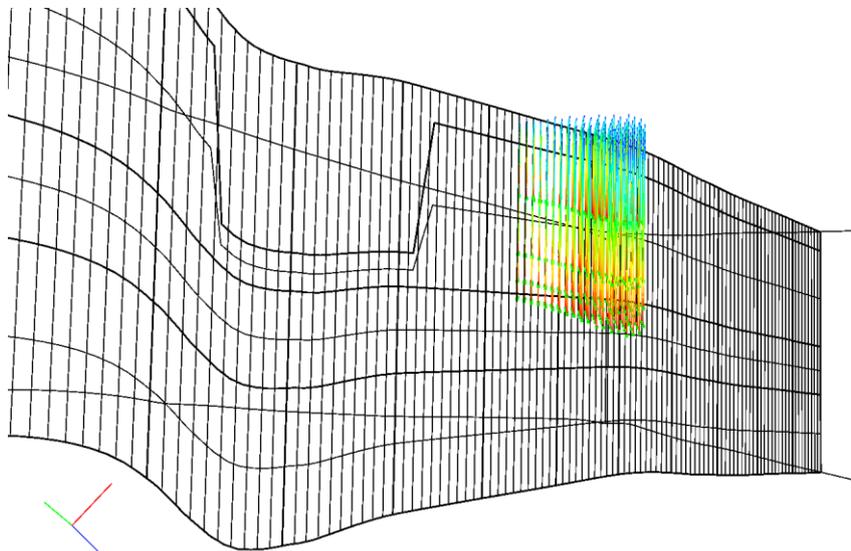


fig. 4-37 Vista prospettica monte-valle con evidenza degli strati. (ultimi due layer rappresentano la falda confinata).



4.6. SCENARIO ATTESO – ANALISI MULTITEMPORALE CICLICA

Si presenta questo scenario solo per completezza cercando di adottare assunzioni “realistiche” piuttosto che spingere a favore di sicurezza quanto fatto nelle modellazioni precedenti.

Con questo si vuole giungere ad una rappresentazione più realistica.

Il modello consiste in cicli stagionali medio-critico:

- 3 mesi di condizione critica
- 3 mesi di passaggio alla condizione media (invernale)
- 3 mesi invernale
- 3 mesi passaggio alla condizione critica.

In questi cicli anche gli emungimenti estivi sono quelli della condizione critica di capitolo 4.3.

La permeabilità degli aquitard è stata assunta con valori più realistici, ma non quelli misurati:

K_Aqt1 Real 4E-7 m/s

K_Aqt2 Real 5E-8 m/s

Il livello di falda freatica viene comunque imposto a piano campagna.

La condizione iniziale è quella della simulazione di riferimento.

Il modello viene sviluppato temporalmente con 5 ripetizioni del ciclo annual, quindi per 5 anni.

Con le ipotesi così fatte l'andamento di una particella dalla freatica nell'area parcheggio non giunge al secondo aquitardo dopo 5 anni.

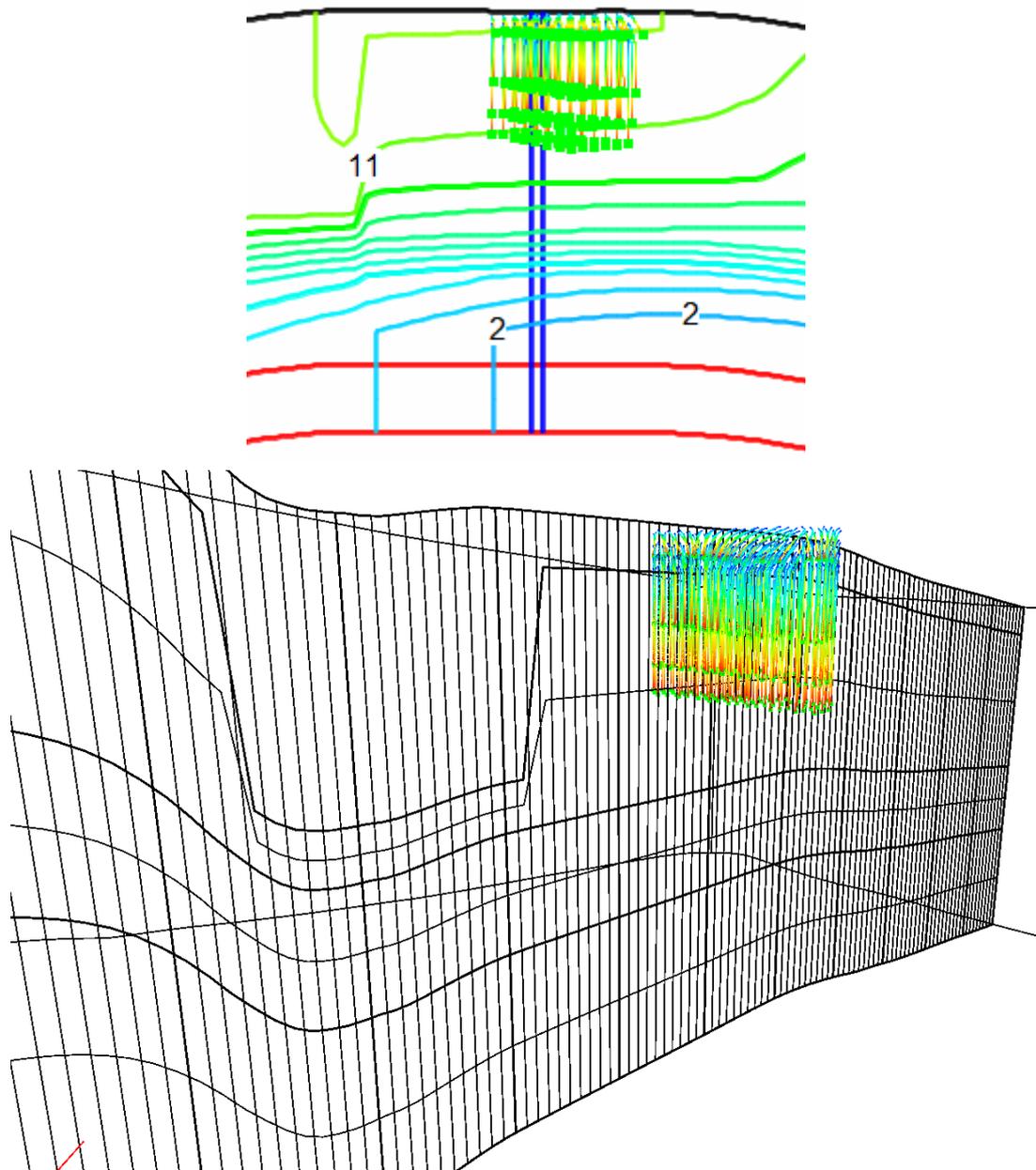


fig. 4-38 Analisi in 5 anni con condizioni critica e media ripetute in cicli stagionali

Si osserva il moto strettamente verticale negli aquitardi come ci si attende e come dall'approccio analitico di inquadramento di capitolo 4.2.

L'andamento nei 5 anni delle particelle mostra la realistica area di alimentazione delle falde confinate, come da premessa e da studi svolti (AMIR 1999, Forlani 2005, REGIONE EMILIA ROMAGNA 2014).

Si osserva inoltre il ruolo del campo pozzi Polveriera che "copre" diverse linee di flusso di alimentazione diretta dall'indifferenziato costringendo i pozzi più a valle a richiamare acque da altre aree.

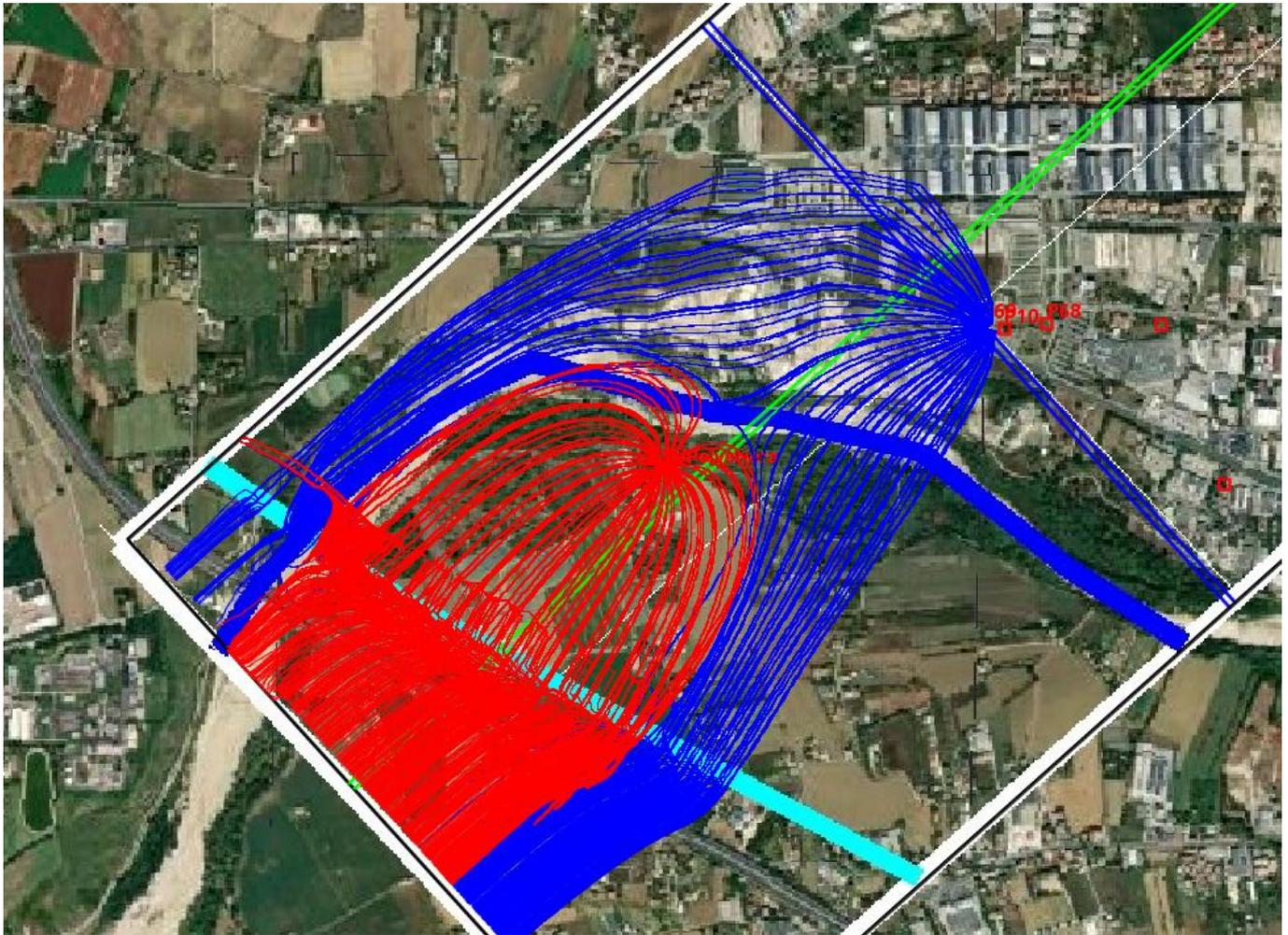


fig. 4-39 Scenario atteso, line di flusso di alimentazione. Ruolo del campo pozzi Polveriera.

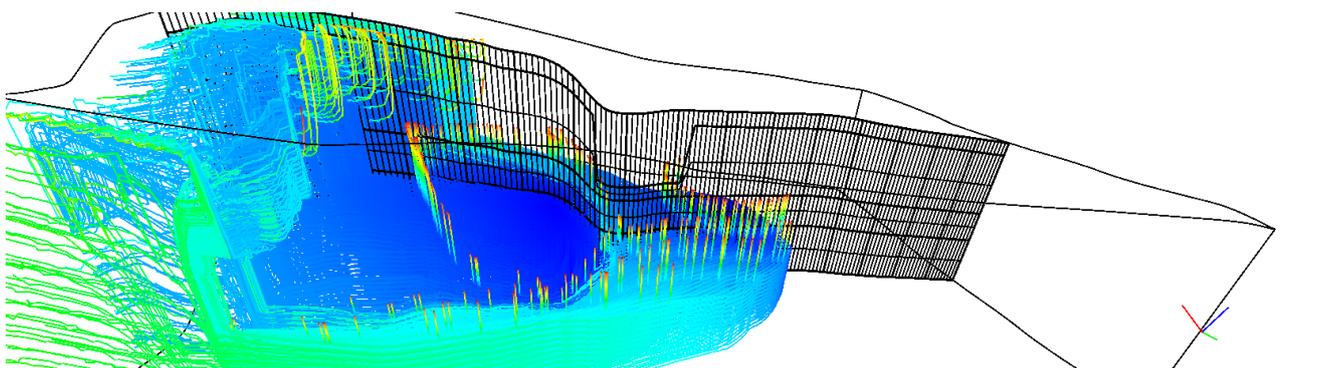


fig. 4-40 vista 3d. I tratti rossi indicano la particella a 5 anni. Si osserva l'alimentazione dalla conoide indifferenziata connessa al sub-alveo ed alle infiltrazioni dirette.



4.7. Risultati e analisi critica

Le simulazioni su modello effettuate, che in un certo qual modo rispecchiano le prime indicazioni dal calcolo analitico per solo flusso verticale, hanno mostrato che con il criterio temporale e in condizioni di “stress test” dopo 1 mese, 3 mesi, 6 mesi o 1 anno non interessano mai le captazioni ad uso acquedottistico presenti nella falda confinata.

E' utile qui riassumere le assunzioni semplificative sempre nella direzione della cautela:

- **falda freatica sempre alimentata** (con infiltrazioni irragionevoli) per consentire un flusso diretto da superficie verso gli strati sottostanti
- studio condotto considerando la **prima falda confinata nonostante i pozzi ad uso acquedottistico nell'area captino progettualmente dalla seconda falda confinata** (al di sotto di 27-30m).
- **la permeabilità degli aquicludi di almeno 10-100 volte superiore a quella tipica** dei terreni interessati (e come emerge dalle prove edometriche a disposizione);
- **condizioni critiche di stress perduranti per 365 giorni**

Dalle simulazioni effettuate, con semplificazioni assunte sempre nella direzione della cautela (cioè nella riduzione dei tempi di migrazione dall'area di superficie oggetto di studio) **in nessuno scenario dopo 365giorni si ha il raggiungimento delle captazioni limitrofe.**

Lo scenario atteso inoltre pare in linea (come ordine di grandezza) con le valutazioni analitiche di inquadramento.

4.7.1 sull'eventuale concentrazione dell'inquinante

Dalle analisi svolte è anche utile fare una considerazione che va al di là della metodologia richiesta dalle linee guida (cioè inquinante non soggetto a scambi o trasformazioni, ritardi o miscelazioni).

Le condizioni di pericolosità come da capitolo 3.6 sono risultate come potenziali rilasci accidentali di olii o fluidi da autoveicoli.

Se si considera la dispersione accidentale questo giungerebbe con concentrazioni via via ridotte lungo il percorso di filtrazione verticale. Giunto nella prima falda confinata (in realtà dovrà giungere alla seconda), le portate e i flussi di questa (emungimento di 35 l/s medi per una captazione) comporta una concentrazione in falda estremamente ridotta, basta osservare le linee di flusso, il loro numero connesso a moto verticale con quelle di alimentazione.



5. CONCLUSIONI E INDIRIZZO

E' stato condotto uno studio in merito al "criterio temporale" per la valutazione delle zone di rispetto *ristretta e allargata*.

Lo studio si è sviluppato su una prima parte, fase conoscitiva, dove sono state riportati dati bibliografici relativi alla geometria della conoide, alle caratteristiche del moto di filtrazione e relazioni fra le diverse falde.

Si è poi caratterizzato a livello locale il sottosuolo sulla base di quanto sopra e di approfondimenti in merito ai parametri di flusso e condizioni al contorno.

Da questo, con un approccio critico sulle assunzioni e aumentando progressivamente la complessità, si è giunti ad un modello di riferimento, cautelativo, con evidenza delle modalità di flusso e del comportamento delle falde e loro relazioni.

In particolare si è constatato come l'alimentazione delle falde confinate (almeno con certezza sino alla seconda falda confinata) proviene dall'area approssimativa a monte dell'autostrada, sia per infiltrazioni dirette sia per il ruolo del Fiume che qui scorre in subalveo a contatto le alluvioni più profonde, l'indifferenziato.

Più a valle inizia a differenziarsi in più falde con aquitardi-aquiclude interposti.

Nel caso in esame l'aquiclude è stato ricostruito sulla base di stratigrafie geotecniche (le meglio rappresentative) e le caratteristiche del flusso sulla base delle indagini su questi effettuate.

Nella modellazione del moto di filtrazione si sono adottate scelte cautelative pur presentando "il modello atteso" con parametri caratteristici non eccessivamente cautelativi ritenuti realistici.

Sia con la modellazione dell'inquinante in "forward" (da scenario di pericolo) sia nella condizione "backward" cioè ricostruendo le linee di flusso di particelle che giungono alla captazione (criterio temporale), e sulla scorta delle considerazioni fatte si conclude:

- **il certo non interessamento della captazione nella finestra temporale di 365 giorni da eventuale rilascio in area parcheggio** quindi anche per durate inferiori;
- **la conferma dell'alimentazione delle captazioni in prima e seconda falda confinata dall'area di conoide indifferenziato del Marecchia** (con tempi stimati di 3-5 anni);
- il probabile interessamento, a livello matematico, in non meno di dieci anni

Pur con le conclusioni **certe** a cui si è giunti che confermano i modelli di comportamento noti, si conferma che la soluzione di adottare un sistema di recupero delle acque dalle aree di sosta risulta essere una soluzione che **abbatte sensibilmente il rischio** di inquinamento delle falde, in questo caso freatica.

Volendo comunque concludere con un indirizzo alla mitigazione di impatti con le falde sotterranee anche se di non uso acquedottistico, si sono valutati alcuni possibili suggerimenti. Si è subito esclusa la possibilità di monitorare la qualità delle acque della freatica (già dalle modellazioni il punto di controllo sarebbe interessato da un rilascio locale dopo mesi oltre alla complessità del campionamento ecc.), indirizzando *all'ispezione diretta e al pronto intervento in caso di rilasci accidentali*.



ITALIAN EXHIBITION GROUP
NUOVO PARCHEGGIO SUD
RELAZIONE TECNICA SUGLI ASPETTI
IDROGEOLOGICI DELL'INTERVENTO IN RIFERIMENTO
ALLE RICHIESTE DI APPROFONDIMENTO POZZI
ACQUA POTABILE NELLE VICINANZE

| | |
|--------------------------------|--------------|
| Doc.no. 25.130.01/A/01.0RE/r0C | |
| Rev. 0 | Date: ago-25 |
| Pag. 102 of 102 | |

E' infatti il pronto intervento ad abbattere, a praticamente annullare, il rischio di inquinamento delle falde. Considerando che il rilascio accidentale, dalla superficie deve giungere alla falda freatica che non è piano campagna, anche in considerazione di condizioni climatiche sfavorevoli (cioè falda freatica massima prossima al piano campagna), i tempi di intervento di qualche giorno sono compatibili. Più giorni passano più probabilmente andrà rimosso materiale, (dell'ordine di qualche metro cubo probabilmente nella porzione dell'insaturo).

Si conclude che, con l'approfondimento temporale e con i risultati ottenuti e criticamente letti, **l'area parcheggio non rientra nell'area di rispetto delle captazioni acquedottistiche prossime a questo.**

Morciano di Romagna, 5 agosto 2025

ing.Filippo Forlani