

COMUNE DI BOLOTANA


PROVINCIA DI NUORO

PROGETTO DI VARIANTE DELLA PIATTAFORMA DI GESTIONE RIFIUTI SPECIALE IN LOCALITA' "CORONAS BENTOSAS"

PROGETTO DEFINITIVO
(Revisione successiva al rinnovo A.IA. Dicembre 2023)

RELAZIONE GEOLOGICA E IDROGEOLOGICA

STUDIO DI GEOLOGIA TECNICA & AMBIENTALE DOTT. GEOL. GIOVANNI CALIA GUTTURU SANTU NICOLA, 9 - 08100 NUORO Tel. 3288237180 - email geostudiocalia@gmail.com - pec- geologocalia@pec.it	Dicembre 2023
---	---------------

<i>Il committente:</i> <i>Barbagia Ambiente S.r.l.</i>	<i>Il Geologo</i> <i>Dott. Geol. Giovanni S. Calia</i> 
---	---

<i>Revisione n°</i> Rev. 0	<i>Presentato il</i>	<i>Approvato il</i>
-----------------------------------	----------------------	---------------------

COMUNE DI BOLOTANA
PROVINCIA DI NUORO

PROGETTO DI VARIANTE DELLA
PIATTAFORMA DI GESTIONE RIFIUTI SPECIALE
IN LOCALITA' "CORONAS BENTOSAS"

PROGETTO DEFINITIVO
(Revisione successiva al rinnovo A.IA. Dicembre 2023)

RELAZIONE GEOLOGICA E IDROGEOLOGICA






1. PREMESSA

La presente relazione idrogeologica è stata commissionata dalla Barbagia Ambiente S.r.l. - Discarica di rifiuti speciali area industriale Bolotana – con sede amministrativa in via Convento, 35 a Nuoro. P. IVA: 01469150914.

Lo scopo dello studio è quello di illustrare le caratteristiche idrogeologiche dell'area su cui è ubicata la suddetta discarica per rifiuti speciali in località Coronas Bentosas, nell'agro di Bolotana, in prossimità dell'area industriale di Bolotana e Ottana, e definire l'assetto idrogeologico di questo settore e valutare le potenziali interferenze tra l'impianto di smaltimento e le acque sotterranee.




L'area è ubicata nella Zona Industriale di Bolotana - Ottana attiva a partire dalla fine degli anni '60 e primi anni '70.

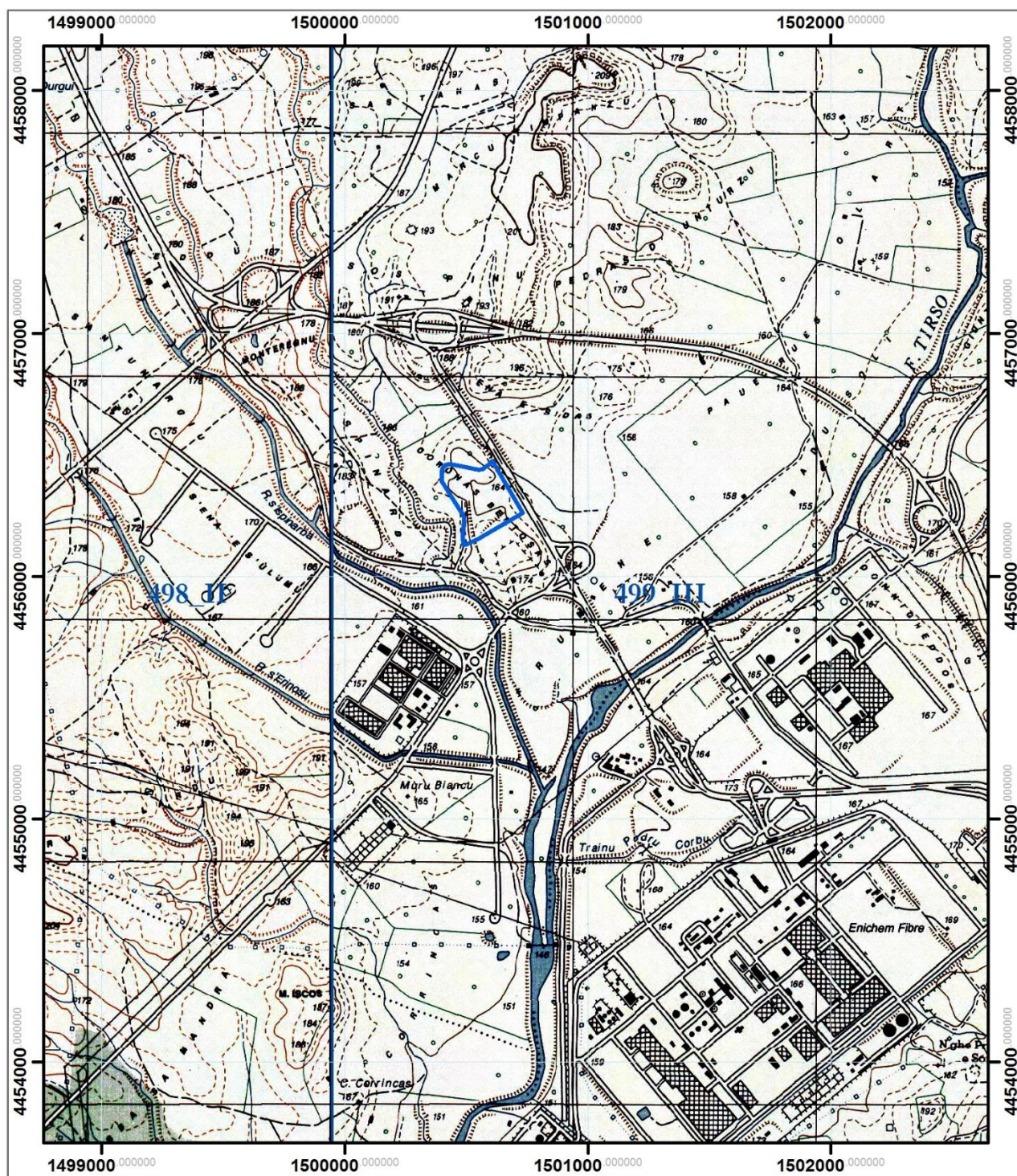
Lo studio si è sviluppato sulla base di diverse fasi sequenziali di lavoro che possono essere così riassunte:

-  analisi critica degli studi geologici ed idrogeologici eseguiti in precedenza in quest'area ed in particolare i risultati delle indagini geognostiche e degli studi geologici realizzati in fase preliminare alla realizzazione dell'impianto dal Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Cagliari;
-  analisi dei dati termo-pluviometrici per la determinazione delle caratteristiche climatiche del settore;
-  analisi delle foto aeree in scala 1:10.000 circa di questo territorio;
-  rilevamento geologico, strutturale ed idrogeologico dell'area per verificare e nel caso approfondire le osservazioni scaturite nelle fasi precedenti;
-  stesura della presente relazione e della cartografia allegata.

2. *INQUADRAMENTO CARTOGRAFICO*

L'area in esame, come già detto, ricade in nel territorio del Comune di Bolotana in provincia di Nuoro. Il sito ricade nella seguente cartografia:

-  Carta Topografica d'Italia in scala 1:25.000, Foglio 499 sez. III OTTANA, edita da I.G.M.I.;
-  Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000 Foglio 499090;
-  Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000 Foglio 207 Nuoro.



Carta Topografica d'Italia - Scala 1:25.000
 Legenda
 (in blu l'identificativo della tavola I.G.M.I.)

 AREA DISCARICA

2.1. MODELLO GEOLOGICO

Le caratteristiche geologiche del settore analizzato sono legate agli intensi fenomeni tettonici, vulcanici ed erosivi che hanno interessato l'area a partire dal terziario.

Le litologie presenti nell'area vasta della Piana di Ottana interessate dall'agglomerato industriale sono le seguenti a partire dalle più antiche:

- ✚ **EDI - UNITÀ DI SEDILO.** Depositi di flusso piroclastico in facies ignimbrítica, a chimismo riodacítico, pomiceo-cineritici, debolmente saldati, spesso argillificati, ricchi in pomici, con cristalli liberi di Pl, Sa, Bt, Qtz.. BURDIGALIANO INF..
- ✚ **DAL - ARENARIE DI DUALCHI.** Sabbioni conglomeratici rossastri e grigiastri ad elementi paleozoici e vulcanici, localmente fossiliferi (scarsi e piccoli pettinidi), passanti verso l'alto a conglomerati fossiliferi ("Arenarie di Dualchi"). Ambiente fluvio-deltizio e litorale. BURDIGALIANO INF.-MEDIO
- ✚ **bn – DEPOSITI ALLUVIONALI TERRAZZATI. OLOCENE.**
- ✚ **b – DEPOSITI ALLUVIONALI. OLOCENE.**
- ✚ **ha – DEPOSITI ANTROPICI. Manufatti e materiali di riporto:** interessano tutta l'area industriale e porzioni delle aree marginali limitrofe. Sono costituiti da fabbricati industriali e da materiali di riporto utilizzati per il livellamento dell'intero settore. Lo spessore è variabile in funzione al dislivello che si è dovuto colmare. OLOCENE.

L'area industriale di Ottana e Bolotana è stata realizzata nell'omonima piana alluvionale, utilizzando le aree semi-pianeggianti dei terrazzi alluvionali del Fiume Tirso, nei quali affiorano le vulcaniti dell'Unità di Sedilo e i sedimenti della Successione sedimentaria Oligo-miocenica del bacino del Tirso.

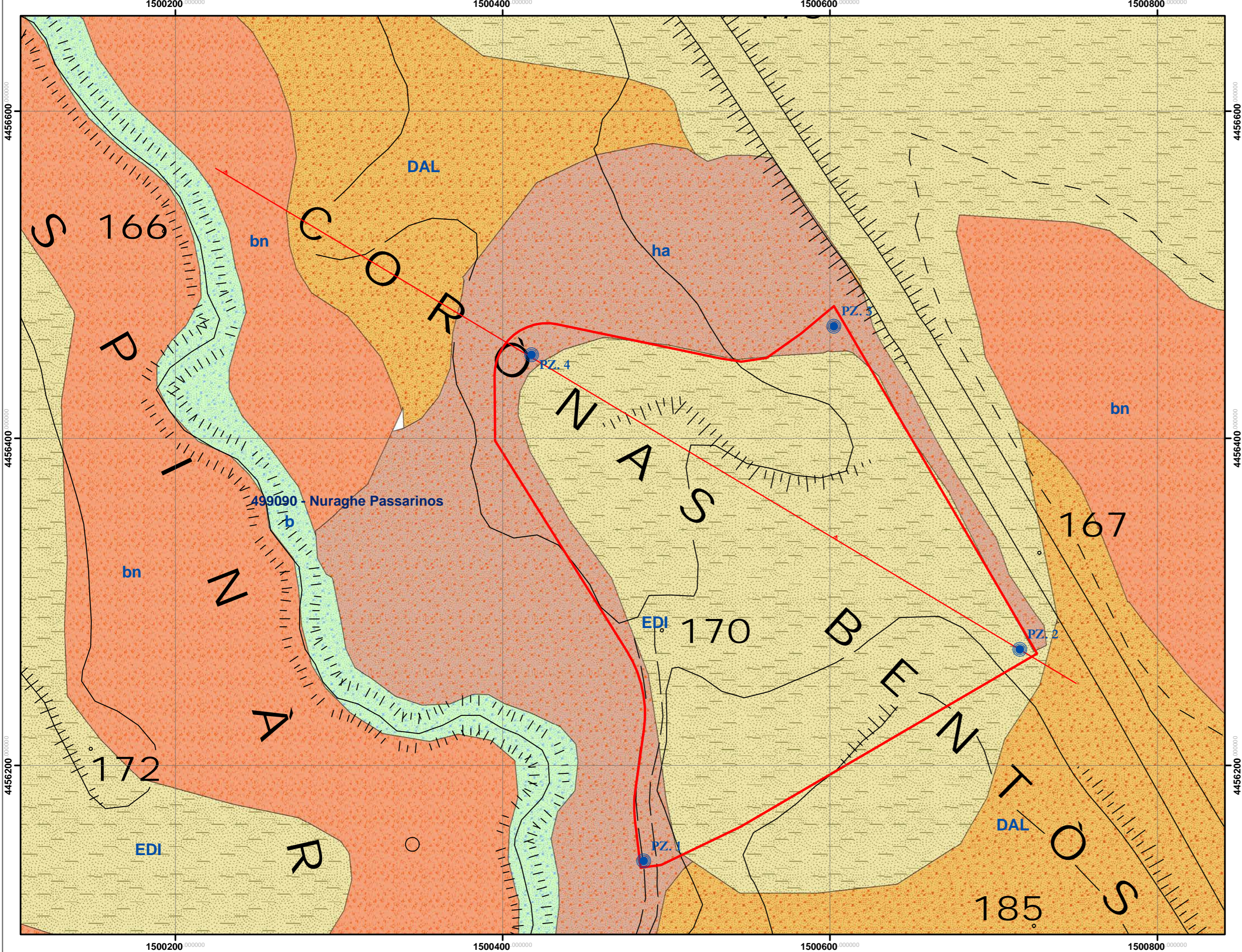
Il basamento è interessato da due sistemi di faglie diretti NW-SE e E-W, che hanno determinato una complessa struttura ad horst e graben, associata al vulcanesimo calcoalcalino Oligocenico, che ha messo in posto le ignimbriti e le piroclastiti tufacee attualmente affioranti in tutta l'area. Successivamente queste aree sono state ricoperte dai sedimenti continentali e deltizio-litorali delle Arenarie di Sedilo e di Dualchi. Infine, limitatamente alle sponde del Tirso, sono presenti i sedimenti alluvionali terrazzati e recenti.

Nel periodo di costruzione del complesso industriale, l'area è stata oggetto di un'importante attività di regolarizzazione della superficie, in particolare in prossimità del fiume sia in sponda destra che sinistra, risultando alla fine strutturata su più gradoni, con produzione di limitati spessori di materiali di riporto e messa a giorno delle formazioni lapidee.

Nello specifico l'area in esame originariamente era sede di una cava di inerti.








Nell'area di stretto interesse le tufiti sono ricoperte da materiali terrosi di riporto che nella parte centrale e in quella più meridionale hanno uno spessore di 30-50 cm circa mentre negli accumuli posti nel settore NW del lotto raggiungono i 3.50 m.

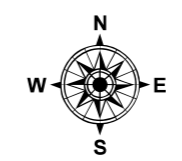
Dal punto di vista della potenziale migrazione di contaminanti, lo stato geologico attuale dell'area che ospita l'impianto di smaltimento può essere sintetizzato da un basamento metamorfico affiorante solo localmente, sovrastato dai flussi ignimbrici, che hanno movimentato le morfologie superficiali e dalle deposizioni delle vulcaniti tufacee, che hanno parzialmente colmato gli impluvi.



CARTA GEOLOGICA
Scala 1:5.000

Legenda

-  Depositi antropici. Manufatti antropici. OLOCENE
-  Depositi alluvionali. OLOCENE
-  Depositi alluvionali terrazzati. OLOCENE
-  ARENARIE DI DUALCHI. Sabbioni conglomeratici rossastri e grigiastri, ad elementi paleozoici e vulcanici, localmente fossiliferi (scarsi e piccoli pettinidi), passanti verso l'alto a conglomerati fossiliferi. Ambiente fluvio-deltizio e litorale. BURDIGALIANO INF.-MEDIO
-  UNITÀ DI SEDILO. Depositi di flusso piroclastico in facies ignimbrítica, a chimismo riodacitico, pomiceo-cineritici, debolmente saldati, spesso argillificati, ricchi in pomici. BURDIGALIANO
-  Area impianto
-  TRACCIA SEZIONE GEOLOGICA



1 cm = 20 meters

Queste litologie possono essere considerate complessivamente impermeabili rispetto alle soprastanti successioni sedimentarie recenti. Infatti le vulcaniti terziarie hanno una potenziale permeabilità secondaria legata esclusivamente all'eventuale fratturazione, peraltro ulteriormente limitata dalla presenza frequente di alterazione argillosa dei tufi e lungo le discontinuità stratigrafiche sub-orizzontali o debolmente inclinate.

I sedimenti alluvionali sono costituiti da sabbie grossolane e conglomerati talora a basso grado di cementazione, caratterizzati da permeabilità primaria per porosità.

Sono quindi le alluvioni ad ospitare la debole falda acquifera superficiale, alimentata dalle acque di infiltrazione nei versanti circostanti e limitata ad una profondità di pochi metri.

In fase di indagine propedeutica all'inizio dell'attività sono stati eseguiti n. 10 sondaggi a carotaggio continuo, di cui 3 (S. 6, S. 7 e S. 8) all'interno del lotto hanno evidenziato nel settore analizzato l'assenza della copertura detritica alluvionale e la presenza esclusiva delle vulcaniti tufacee per circa 22 m. In tutte e 10 le perforazioni non è mai stata intercettata una falda acquifera.

Sicuramente ciò è dovuto al bassissimo grado di strutturazione dell'ammasso tufitico a consistenza lapidea, assolutamente privo o al più dotato di modesti fenomeni alterativi e, quando presenti, caratterizzati da patine di ossidazione e argillificazione lungo le superfici di discontinuità stratigrafica e strutturale.

Le discontinuità strutturali costituiscono una via preferenziale di scorrimento delle acque sotterranee ma nel caso in esame si presentano isolate, confinate e sempre occluse dai prodotti di alterazione della roccia.

3. CLIMA

Una corretta indagine di caratterizzazione idrogeologica di un territorio non può prescindere dall'analisi delle condizioni climatiche del territorio stesso.

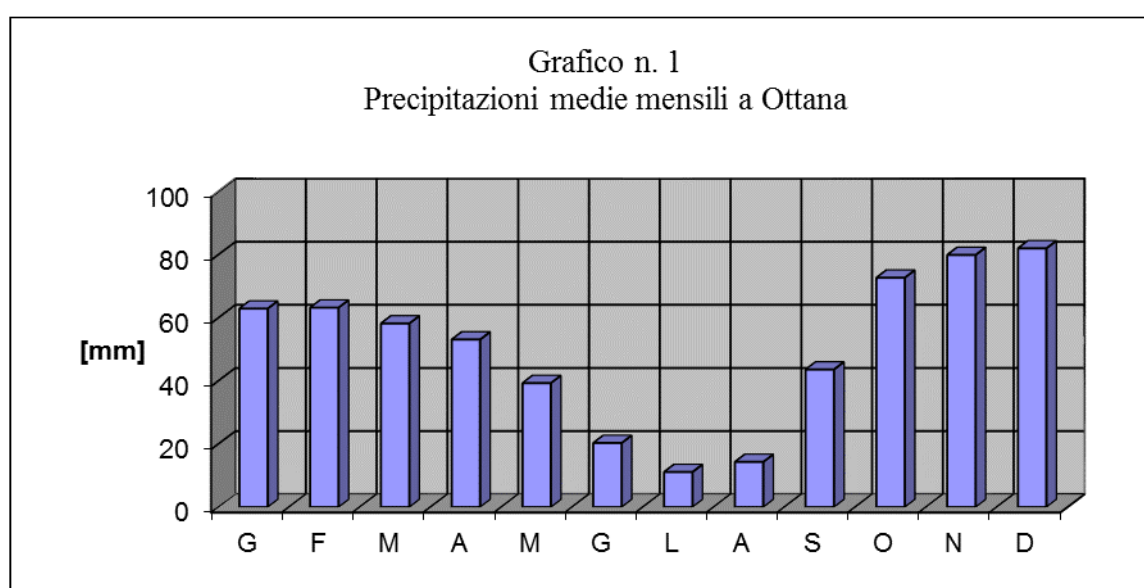
Per la realizzazione dei quest'analisi si è fatto ricorso agli Annali Idrologici del Servizio Idrografico del Ministero dei Lavori Pubblici.

I dati utilizzati sono quelli della stazione meteorologica di Ottana.

Nel settore in esame le precipitazioni sono maggiori in Inverno e il mese di Dicembre risulta quello più piovoso in assoluto (82 mm). Il mese più asciutto è Luglio con una piovosità intorno a 11 mm. Le precipitazioni totali anni oscillano intorno ai 600 mm.

L'anno idrologico in quest'area inizia con le prime piogge dell'ultima decade di Agosto. A Settembre si ha già un notevole incremento delle precipitazioni e si raggiungono valori pari circa 40 – 50 mm (vedi grafico n. 1).

Ad ottobre si ha un ulteriore e consistente innalzamento dell'altezza media delle precipitazioni.

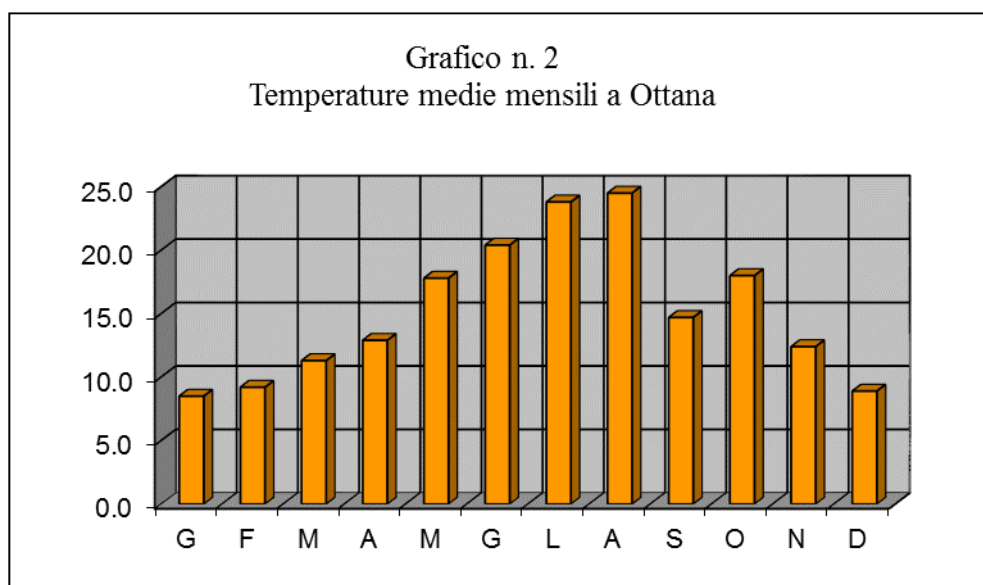


La quantità di pioggia caduta continua ad aumentare sino a Dicembre che, come già detto, è il mese più piovoso.

A Gennaio si ha un calo della piovosità che poi tende a risalire fino a registrare un secondo massimo relativo (64 mm circa) nel mese di Febbraio.

Poi le precipitazioni tendono a diminuire sino a Luglio.

Dall'analisi dei dati termometrici si rileva che la temperatura media annua è di 16.1 °C (vedi grafico n. 2).



Le temperature medie più “rigide” si registrano nei mesi di Dicembre, Gennaio e Febbraio rispettivamente con temperature di 8.9, 8.5 e 9.2 °C.

I valori termometrici medi più elevati invece si registrano nel mese di Luglio con temperature variabili pari a 25.1 °C.

In quest’ambito è importante valutare anche l’evapotraspirazione reale. A tal proposito si fa ricorso alla formula di Turc:

$$E_r = \frac{P}{\sqrt{0.9 + P^2/L^2}}$$

dove:

E_r = Evapotraspirazione reale in mm/a;

P = Precipitazione media annua in mm;

$L = 300 + 25 T_p + 0.05 T_p^3$;

T_p = Temperatura fittizia media annua in °C corretta in funzione di P e si calcola con la seguente formula:

$$T_p = \sum P_i T_i / P$$

dove:

P_i = precipitazioni medie mensili in mm;

T_i = temperature medie mensili in °C;

P = precipitazione media annua in mm.

Questa formula fornisce dei valori indicativi che comunque le sperimentazioni hanno evidenziato che non si discostano molto dalla realtà e, quindi, si può ritenere che essa dia una idonea indicazione dell'entità con cui questo fenomeno si produce nell'area in esame.

Applicando i valori dei grafici 1 e 2, si ottiene:

$$E_r = 480.8 \text{ mm/anno}$$

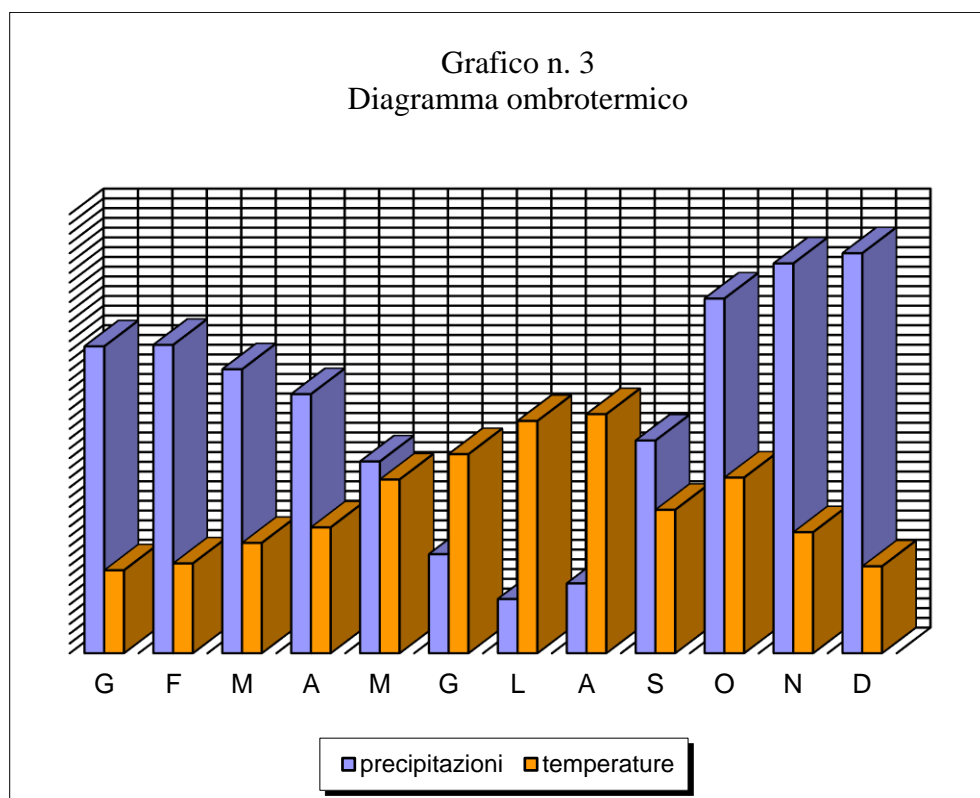
per cui circa l'80% di acque di precipitazione viene persa per evapotraspirazione, mentre il 20%, pari a circa 120 mm, in parte si infiltra nel terreno e in parte scorre in superficie.

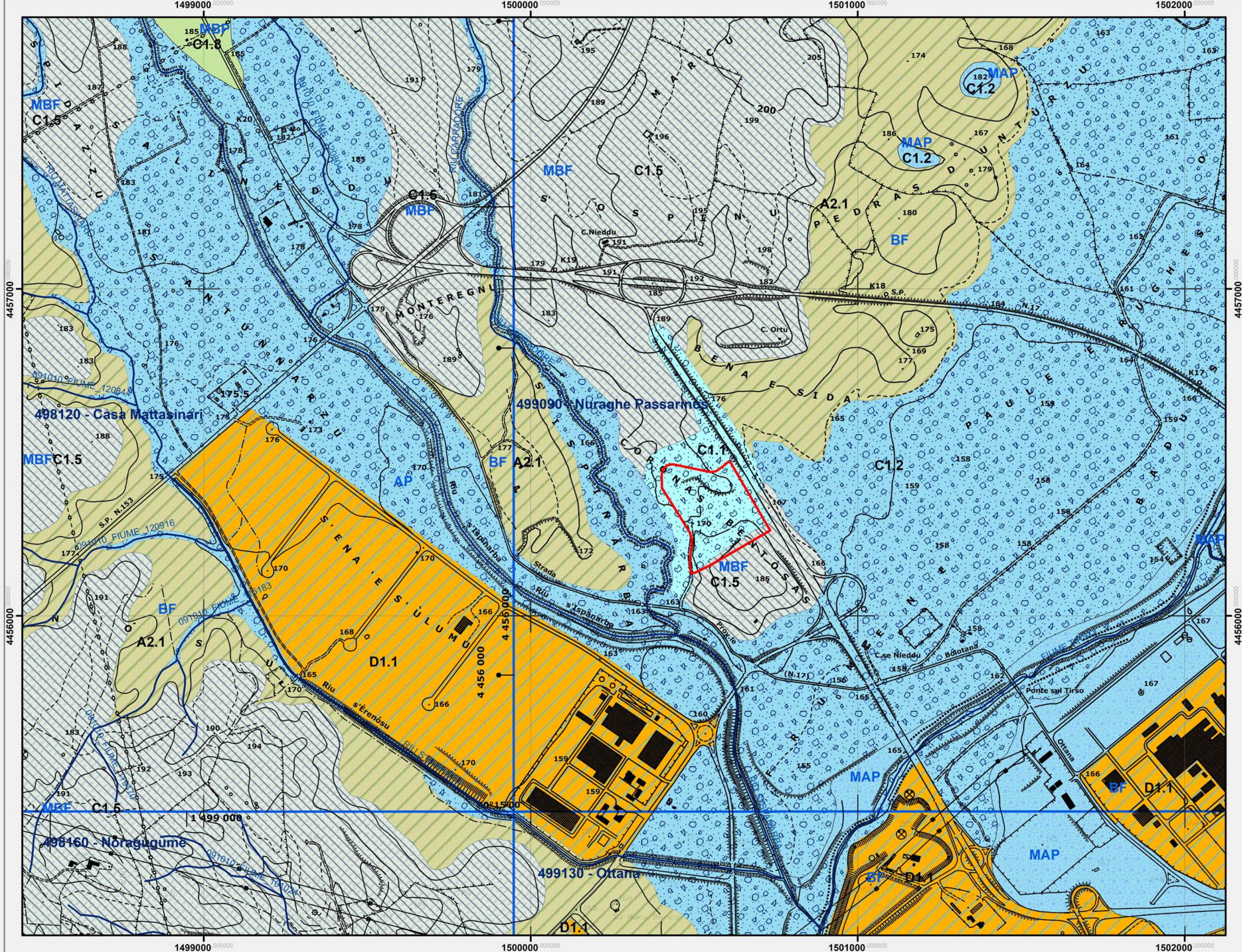
Ora non avendo a disposizione dati riguardanti questi ultimi parametri è difficile quantificare l'acqua che si immagazzina nelle falde. Considerando però le portate delle sorgenti di questo settore, sempre inferiori ad 1 l/s e la medio-bassa permeabilità dei terreni affioranti, si può affermare che buona parte delle acque meteoriche viene drenata dai corsi d'acqua superficiali.

Per meglio caratterizzare il clima del settore è stato realizzato un diagramma ombrotermico mettendo in relazione i dati termopluviometrici (vedi grafico n.3).

Dall'osservazione di questo emerge che si ha un periodo umido che dura dalla fine della prima decade di Settembre sino agli inizi di Maggio. Nell'intervallo di tempo restante, invece, si ha un notevole deficit idrico. Infatti, si ha l'effetto concomitante di precipitazioni molto scarse e temperature molto elevate che provocano una forte evapotraspirazione.

Sulla scorta delle osservazioni sinora fatte si può affermare che questa porzione del territorio di Ottana è interessato da un tipo di clima temperato-caldo.





CARTA IDROGEOLOGICA
Scala 1:10.000

- P
E
R
M
E
A
B
I
L
I
T
A'
- perm_tipo
- AP - Alta per porosità
 - BF - Bassa per fessurazione
 - MAP - Medio alta per porosità
 - MBF - Medio bassa per fessurazione
 - MBP - Medio bassa per porosità
- L
I
T
O
L
O
G
I
A
- A2.1 Rioliti e Riodaciti
 - C1.1 Depositi terrigeni antropici (saline, vasche di salificazione, aree di rispetto lagunare, discariche minerarie, d. industriali, d. per inerti, d. per rifiuti solidi urbani, materiali di riporto e aree bonificate)
 - C1.2 Depositi terrigeni continentali di conoide e piana alluvionale (ghiaie, sabbie, limi, argille), (conglomerati, arenarie, siltiti, peliti)
 - C1.5 Depositi terrigeni litorali (ghiaie, sabbie, arenarie, conglomerati)
 - C1.8 Depositi terrigeni fluvio-deltizi (sabbie, microconglomerati, arenarie carbonatiche, siltiti argillose)
 - D1.1 Zone industriali; zone militari, aree urbanizzate; aree portuali (moli, banchine) e aeroportuali (piste e infrastrutture), dighe, etc.
- Reticolo idrografico
- Area impianto
- Quadro d'Unione 10k



1 cm = 100 meters

4. CARATTERIZZAZIONE IDROGEOLOGICA

La geologia dell'area in esame può essere sintetizzata da un basamento metamorfico affiorante solo localmente, sovrastato dai flussi ignimbritici, che hanno movimentato le morfologie superficiali e dalle deposizioni delle vulcaniti tufacee, che hanno parzialmente colmato gli impluvi. Queste litologie costituiscono un complesso relativamente impermeabile rispetto alle soprastanti successioni sedimentarie oligo-mioceniche. Infatti le vulcaniti terziarie hanno una permeabilità secondaria legata esclusivamente all'eventuale fratturazione, peraltro ulteriormente limitata dalla presenza frequente di alterazione argillosa dei tufi, mentre i sedimenti alluvionali sono costituiti da sabbie grossolane e conglomerati talora a basso grado di cementazione, caratterizzati da permeabilità primaria. Sono quindi questi terreni ad ospitare la debole falda acquifera superficiale, alimentata dalle acque di infiltrazione nei versanti circostanti e limitata ad una profondità di pochi metri.

La circolazione idrica sicuramente è influenzata dalla tettonica fragile che ha interessato l'area, con i sistemi di faglie citati precedentemente. Infatti, le discontinuità tettoniche possono costituire una via preferenziale di scorrimento delle acque, sia superficiali che sotterranee, e spesso il reticolo fluviale si sovrappone alle lineazioni tettoniche. Ciò è evidente nella piana di Ottana ed in particolare sulla destra idrografica del Tirso, dove gli impluvi sono impostati sui sistemi di faglie.

Nell'area di stretto interesse le litologie vulcaniche terziarie, al di sotto della debole copertura detritica, si presentano praticamente asciutte, con coefficienti di permeabilità estremamente bassi e tipo di circolazione limitata a forme di umidità presente in maniera latente solo lungo le superfici di discontinuità sia strutturali che stratigrafiche.

Questa caratteristica è confermata sia da tutti i sondaggi geognostici effettuati in fase di progettazione, che dagli gli scavi eseguiti sia in fase di coltivazione della cava che durante la realizzazione delle opere e, infine, anche dai pozzi spia realizzati per monitorare la discarica in fase di esercizio. Infatti in tutte queste attività non è mai stata riscontrata la presenza di alcuna forma di circolazione o accumulo idrico sotterraneo di tipo superficiale, sub superficiale o mediamente profondo, anche solo sotto forma di locali ed occasionali accumuli concentrati di umidità pellicolare.

Le indagini eseguite hanno evidenziato un ammasso costituito da prodotti tufacei compatti a consistenza lapidea, con un bassissimo grado di strutturazione, assolutamente privi o al più dotati di modesti fenomeni alterativi e, quando presenti, manifesti sotto forma di patine di ossidazione e argillificazione solo in corrispondenza delle superfici di discontinuità stratigrafica e strutturale.

I giunti delle discontinuità sono localizzati, discontinui e confinati, non continui, mentre le superfici risultano mediamente poco ruvide, e per lo più serrate, con aperture sempre inferiori al millimetro.

Il riempimento è quasi sempre presente, composto da una esile patina di ossidazione in superficie e da sottili cuscinetti di argilla più in profondità, dove tendono ad accumularsi i terreni più fini e granulari.

La condizione idraulica è quella di un ammasso praticamente arido, con coefficienti di permeabilità estremamente bassi e tipo di circolazione limitata a forme di umidità presente in maniera latente solo lungo le superfici di discontinuità.

La presenza di una modesta falda è stata riscontrata solo nei 4 pozzi realizzati perimetralmente alla struttura. In questi la falda è stata intercettata a profondità medio-alta; in due casi intorno ai 30 m dal p.c. (pozzi n. 1 e n. 2), e oltre i 55 m nei pozzi n. 3 e n. 4. In tutti e quattro i casi si tratta di una falda confinata.

Questa caratteristica è confermata anche dalla realizzazione di alcuni pozzi eseguiti per approvvigionamento idrico e trivellati in aree prossime a quella su cui insiste la discarica, che confermano che acquiferi degni di nota per quantità di accumulo, per sviluppo e estensione superficiale e in profondità, possono essere intercettati solo a profondità medio alte e in genere non prima dei 50 metri e, spesso, oltre i 70 metri dal piano di campagna.

Nell'area di stretto interesse, in presenza di materiali superficialmente allentati a composizione sabbioso-limosa e costituenti sacche ben individuate e perfettamente confinate, possono svilupparsi forme di accumulo idrico sotterraneo superficiale, di tipo freatico cioè confinate solo al letto, di sviluppo estremamente ridotto, sia in potenza che in superficie, e fortemente influenzate dalle condizioni meteo climatiche stagionali.

Queste condizioni sono state individuate nell'area circostante l'impianto di smaltimento solo in prossimità dei pozzetti spia.

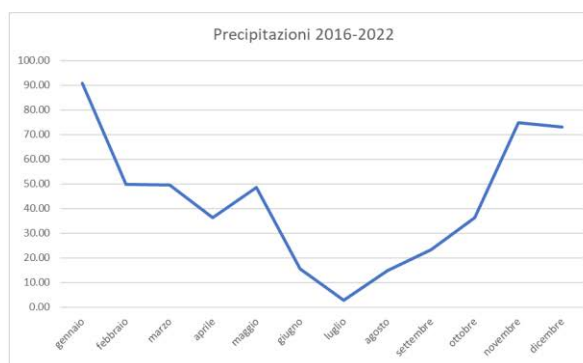
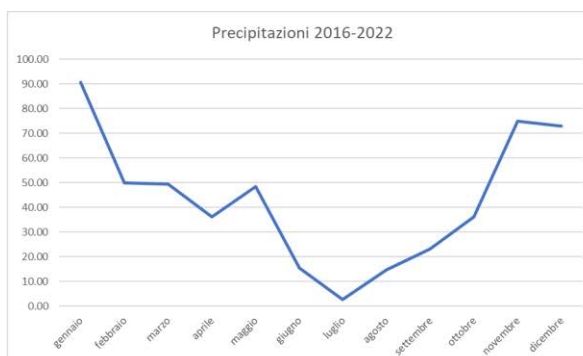
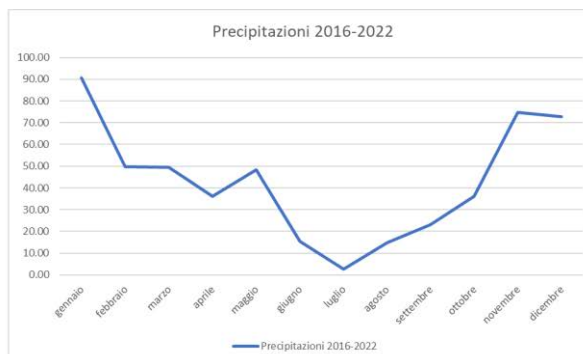
Nessuna correlazione o interferenza idraulica o idrologica sostanziale può svilupparsi, di fatto, tra le due forme idrogeologiche descritte.

Al fine di meglio caratterizzare l'idrogeologia dell'area è stata effettuata un'analisi dei dati piezometrici rilevati nei pozzi Pz. 1, Pz. 2, Pz. 3 e Pz.4, riferiti all'intervallo di tempo Gennaio 2015 – Dicembre 2022, tutte le quote sono riferite al livello del mare:

Non è dato sapere l'entità della risalita della falda nel foro di trivellazione al momento della realizzazione dei pozzi ma è plausibile che questa sia stata relativamente rapida e le variazioni dei livelli idrici periodicamente rilevate in essi siano dovute all'oscillazione stagionale della superficie piezometrica della falda.

Considerato che il confronto tra i dati pluviometrici (Gennaio 2016 – Dicembre 2022) rilevati nella stazione meteorologica presente nell'impianto e quelli piezometrici dei pozzi non sono correlabili (vedi grafici) si ritiene che la falda individuata nei pozzi non risenta della piovosità sito/specifica ma sia influenzata dagli afflussi sotterranei provenienti dagli acquiferi fessurati presenti nelle formazioni circostanti.

POZZO 1												
Mese/Anno	gennaio	febbraio	marzo	aprile	maggio	giugno	luglio	agosto	settembre	ottobre	novembre	dicembre
Quota p.c.	164	164	164	164	164	164	164	164	164	164	164	164
2015	156.24	156.19	156.14	156.2	156.11	155.9	155.94	155.91	155.99	156.03	156.01	156.06
2016	156.44	156.3	156.35	156.34	156.42	156.35	156.34	156.3	156.25	156.3	156.27	156.28
2017	156.27	156.28	156.3	156.29	156.35	156.38	156.36	156.35	156.33	156.34	156.28	156.24
2018	156.23	156.1	156.19	156.07	156.06	155.7	155.92	155.9	155.8	156.25	155.86	157.3
2019	157.4	157.52	157.35	157.3	157.3	157.3	157.3	157.3	155.3	155.8	156	155.7
2020	155.7	155.8	156.2	156.4	156.5	155.8	156	156	156.2	155.9	156.5	156.5
2021	156.4	156.74	156.5	156.6	156.8	156.2	156	156	155.8	156	156	156.4
2022	155.5	155.4	155.2	155.1	155.2	156.1	155.6	155.4	155.5	155.4	155.3	155.4
MEDIA	156.3	156.3	156.3	156.3	156.4	156.3	156.2	156.2	155.9	156.0	156.0	156.3
POZZO 2												
Mese/Anno	gennaio	febbraio	marzo	aprile	maggio	giugno	luglio	agosto	settembre	ottobre	novembre	dicembre
Quota p.c.	165.27	165.27	165.27	165.27	165.27	165.27	165.27	165.27	165.27	165.27	165.27	165.27
2015	154.67	154.72	154.78	154.85	154.62	154.36	154.41	154.38	154.45	154.49	154.46	154.51
2016	154.7	154.77	154.77	154.87	154.82	154.67	154.67	154.55	154.47	154.49	154.42	154.34
2017	154.38	154.39	154.42	154.5	154.57	154.55	154.68	154.67	154.64	154.6	154.52	154.38
2018	154.77	154.7	154.67	154.69	154.57	154.27	153.4	153.42	153.05	152.97	152.92	154.01
2019	154.27	154.07	153.87	153.77	153.57	153.67	153.72	153.77	152.77	153.37	153.77	153.77
2020	153.87	153.87	154.07	154.07	152.97	152.37	150.77	150.97	151.37	153.77	152.97	153.97
2021	153.77	154.47	154.77	154.57	154.47	154.77	154.67	154.57	154.27	153.77	153.77	154.27
2022	153.47	153.57	153.77	153.57	153.87	153.77	153.97	153.67	153.87	153.77	153.87	153.67
MEDIA	154.2	154.3	154.3	154.3	154.1	154.0	153.7	153.7	153.5	153.8	153.7	154.1
POZZO 3												
Mese/Anno	gennaio	febbraio	marzo	aprile	maggio	giugno	luglio	agosto	settembre	ottobre	novembre	dicembre
Quota p.c.	169.23	169.23	169.23	169.23	169.23	169.23	169.23	169.23	169.23	169.23	169.23	169.23
2015	161.52	161.59	161.67	161.73	161.69	161.22	161.28	161.23	161.31	161.36	161.33	161.33
2016	161.43	161.35	161.53	161.48	161.53	161.43	161.45	161.4	161.43	161.39	161.33	161.33
2017	161.39	161.41	161.4	161.45	161.47	161.48	161.53	161.54	161.56	161.51	161.46	161.46
2018	161.32	161.26	161.22	160.53	161.09	161.08	161.06	161.08	161.11	160.93	161.11	161.11
2019	161.93	162.58	162.48	162.13	162.08	162.23	162.33	162.43	160.36	161.13	161.33	161.23
2020	160.93	160.83	160.53	160.33	160.23	160.33	160.43	160.73	160.53	160.83	160.93	160.23
2021	159.43	160.39	159.83	159.63	159.73	159.83	159.73	159.73	159.63	159.43	159.43	159.63
2022	159.43	159.73	159.63	159.43	159.53	159.63	159.53	159.53	159.63	159.63	159.53	159.53
MEDIA	160.8	161.1	160.9	160.7	160.8	160.9	160.9	160.9	160.6	160.7	160.7	160.6
POZZO 4												
Mese/Anno	gennaio	febbraio	marzo	aprile	maggio	giugno	luglio	agosto	settembre	ottobre	novembre	dicembre
Quota p.c.	174.62	174.62	174.62	174.62	174.62	174.62	174.62	174.62	174.62	174.62	174.62	174.62
2015	162.59	162.64	162.71	162.77	162.53	162.27	162.32	162.28	162.37	162.41	162.38	162.45
2016	162.72	162.52	162.62	162.72	162.62	162.72	163.12	163.05	163.07	162.98	162.91	162.72
2017	162.72	162.62	162.67	162.72	162.78	162.72	162.92	162.94	163.02	162.96	162.88	162.79
2018	162.69	162.74	162.67	162.52	162.47	162.45	162.32	162.32	162.28	162.17	162.27	163.01
2019	163.82	163.65	163.63	163.57	163.52	163.62	163.62	163.72	162.02	162.62	162.72	162.82
2020	162.62	163.02	163.32	163.42	163.62	163.52	163.62	163.62	163.32	163.12	163.12	162.62
2021	162.62	163.22	163.22	163.12	163.22	163.32	163.42	163.12	162.92	162.82	162.82	163.32
2022	163.12	163.32	163.12	163.22	163.32	164.22	163.62	163.22	164.42	163.52	163.62	163.72
MEDIA	162.9	163.0	163.0	163.0	163.1	163.2	163.2	163.1	163.0	162.9	162.9	163.0



Le curve delle oscillazioni piezometriche ottenute non sono in linea neanche con l'andamento stagionale delle precipitazioni dell'area vasta descritte in precedenza.

Ciò evidenzia che non vi è relazione stretta tra l'acquifero in esame e le precipitazioni meteoriche a conferma della bassa permeabilità dei terreni coinvolti.

L'analisi dei report stratigrafici della campagna di sondaggi effettuata dal Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Cagliari, in fase propedeutica al progetto iniziale, evidenzia come la debole stratificazione dell'ammasso roccioso immerga verso SE, di fatto condizionando anche la modestissima circolazione idrica sotterranea che tende a seguire le suddette discontinuità con direzione NW→SE. Sulla base di ciò si ritiene che i pozzi 3 e 4 possano essere considerati quelli di monte e 1 e 2 quelli di valle.

Le verifiche sui dati piezometrici evidenzia inoltre che è ipotizzabile che la linea piezometrica nei 4 pozzi, nella sua oscillazione, raggiunga una discontinuità a bassa permeabilità tra due strati impermeabili. Tale discontinuità posta alla quota di circa 154 m in corrispondenza del Pozzo 4 e a quota 152 nel Pozzo 2, è caratterizzata da un'inclinazione di circa 1-2° e immersione verso SE ed in linea con la geometria degli strati delle stesse rocce rilevabili sui fronti di scavo presenti nell'area e come già detto dai dati stratigrafici dei sondaggi.

Analizzando lo schema costruttivo dell'impianto di smaltimento che, al di sotto del telo sintetico di impermeabilizzazione presenta un potente strato di argille compattate che giacciono sopra un letto di sabbia all'interno del quale è disposta una rete di tubazioni drenanti che convogliano, qualora ve ne fossero, i fluidi di percolato infiltrati al di sotto delle strutture di salvaguardia idrogeologica, verso una serie di pozzetti di raccolta.

Questo schema consente, per lo meno in via teorica, che eventuali fluidi di percolazione che dovessero superare le barriere impermeabili, vengano intercettati dapprima dalle strutture di drenaggio e raccolti in appositi volumi, prima di potersi infiltrare nel sottosuolo che, comunque in questo caso specifico, presenta una permeabilità propria molto bassa.

Le analisi sui prelievi idrici effettuati nei quattro pozzi spia e nei cinque pozzetti di ispezione del percolato annessi alla discarica, mettono in evidenza come i valori di concentrazione degli elementi inquinanti presenti nei campioni prelevati nei pozzetti di ispezione, che sono quelli in cui le concentrazioni dovrebbero assumere i valori massimi essendo i più prossimi all'ipotetica fonte di inquinamento, sono invece tra i più bassi riscontrati.

5. ANALISI CHIMICHE DELLE ACQUE – VARIAZIONI DEL MANGANESE

Le analisi chimiche delle acque oggetto di monitoraggio hanno evidenziato tra gli inquinanti inorganici la presenza del manganese. Riguardo a questo elemento si riscontra una importante variabilità fra i diversi piezometri e anche nello stesso piezometro.

I piezometri dove si sono registrate variazioni anomale del manganese sono i Piezometri 1 e 4.

Frequenti anomalie sulle concentrazioni da manganese nelle acque sono state rilevate nei diversi piezometri presenti nell'area circostante l'impianto in progetto e in particolare in quelli realizzati nell'ambito del monitoraggio del sito industriale di Ottana.

Queste variazioni in bibliografia spesso sono attribuite a piccole ma importanti modifiche delle modalità di campionatura, con attività di spurgo o prelievo del campione che mobilitano sostanze colloidali contenenti manganese.

Il manganese e il ferro presenti nelle acque sotterranee di questo settore possono essere dovuti anche alla presenza di importanti concentrazioni di questo metallo nelle vulcaniti terziarie costituenti l'assetto geologico di questo settore che potrebbero influenzare considerevolmente le caratteristiche degli acquiferi su cui sono impostati i piezometri.

6. *CONCLUSIONI*

A conclusione del presente lavoro, riguardo al sito analizzato dal punto di vista idrogeologico può essere effettuata la ricostruzione del modello concettuale tenendo conto delle seguenti informazioni:

- ✚ Il sito in esame ricade nella Zona industriale di Ottana realizzata nella piana omonima regolarizzando i terreni in cui affioravano alluvioni terrazzate del Tirso sovrastanti vulcaniti oligo-mioceniche, principalmente tufi;
- ✚ Nell'area analizzata la coltre delle alluvioni è assente e le vulcaniti marginalmente sono ricoperte da materiali di riporto con spessori variabili da 30 cm sin a 3.50 m;
- ✚ I tufi sono praticamente impermeabili e seppur parzialmente fratturati, i frequenti fenomeni di alterazione ne hanno ulteriormente ridotto la permeabilità secondaria;
- ✚ Nell'area in esame le vulcaniti possono contenere modesti acquiferi, a profondità medio alta. Nell'area in esame considerata l'assenza della copertura detritica alluvionale e il modestissimo spessore dello strato dei materiali di riporto non è stata rinvenuta la presenza di acquiferi superficiali;
- ✚ Le caratteristiche stratigrafiche e strutturali, seppur poco marcate, dell'ammasso roccioso condizionano la circolazione idrica sotterranea che ne segue la giacitura con immersione verso SE;
- ✚ Riguardo alla presenza del manganese nelle acque sottoposte a monitoraggio le variazioni riscontrate nelle analisi di laboratorio, in bibliografia, spesso sono attribuite a piccole ma importanti modifiche delle modalità di campionatura, con attività di spurgo o prelievo del campione che mobilitano sostanze colloidali contenenti manganese. Il manganese presente nelle acque sotterranee di questo settore può essere dovuto anche alla presenza di importanti concentrazioni di questi metalli nelle vulcaniti terziarie affioranti in questo settore che potrebbero influenzare considerevolmente le caratteristiche degli acquiferi su cui sono impostati i piezometri.

Considerata la quasi impermeabilità delle vulcaniti che costituiscono il substrato litoide dell'area analizzata si può escludere la possibilità di migrazione verso il sottosuolo di potenziali inquinanti.