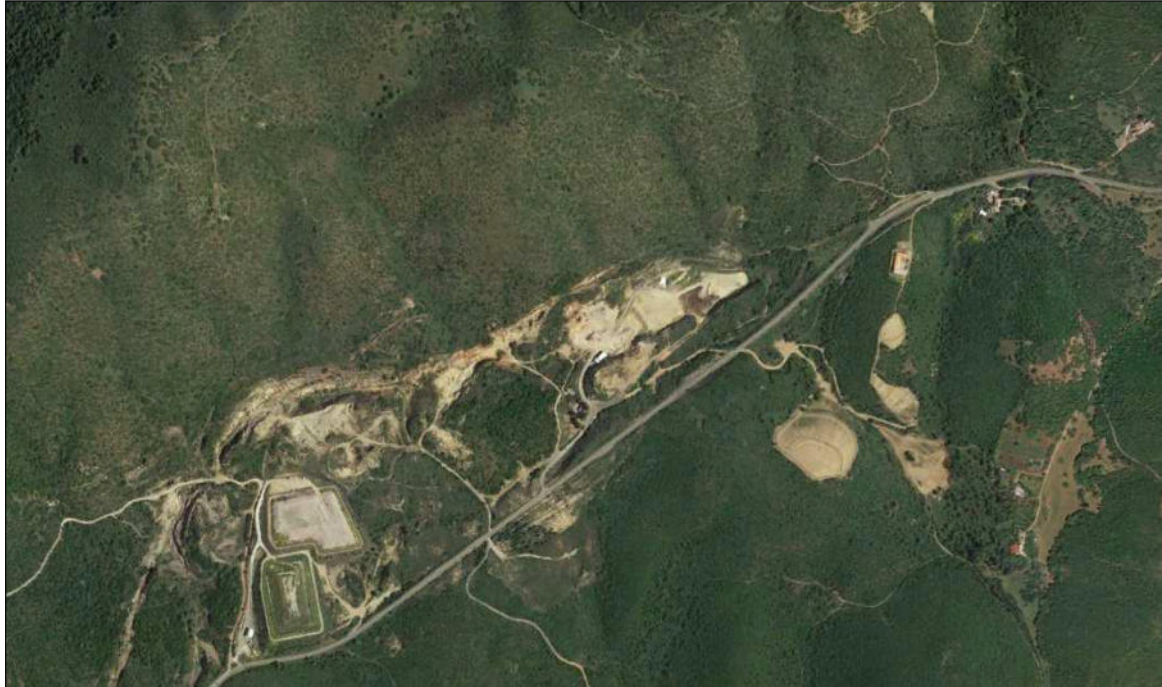


ECOINERTI S.R.L.



**STUDIO IDROGEOLOGICO E IDROLOGICO DELL'AREA DELLA DISCARICA
CANDIAZZUS**

*Dott. Geol. Franco Cherchi
via Malpighi 1
Cell. 3312494133
e-mail: francocherchi2015@gmail.com*

*Il committente:
ECOINERTI S.r.l.*

FEBBRAIO 2023

INDICE

1 - PREMESSA	3
2 - LOCALIZZAZIONE DEL SITO	3
3 - INQUADRAMENTO MORFOLOGICO	4
4 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO	5
4.1 - Geologia di dettaglio.....	7
5 – IDROGEOLOGIA	9
5.1 - Complesso terrigeno inferiore	9
5.2 - Complesso carbonatico antico “Metallifero”	9
5.3 - Complesso terrigeno superiore	9
5.4 - Copertura Quaternarie.....	9
6 – IDRODINAMICA DELLE ACQUE SOTTERRANEE.....	9
6.1 – Falda superficiale.....	9
6.2 – Falda profonda	10
6.2.1 – <i>L’acquifero del Bacino Metallifero</i>	10
6.2.2 - <i>La fermata dell’impianto di eduazione del –200 nel 1997 e la rimonta della falda.....</i>	11
6.2.3 - <i>La discarica di Candiazzus ed il rapporto con l’acquifero sottostante.....</i>	12
7 - IDROLOGIA.....	13
7.1 - Temperature	13
7.2 - Pluviometrie.....	15
7.3 - Evapotraspirazione	16
7.4 - Bilancio idrico	17
7.4.1 - <i>Bilancio idrico del bacino a monte della discarica</i>	17
7.4.2 - <i>Bilancio idrico del bacino dell’area della discarica</i>	23
7.4.2.1 - <i>Aspetti generali sulle caratteristiche dei suoli e dell’infiltrazione</i>	23
7.4.2.2 - <i>Infiltrazione</i>	24
7.4.2.3 - <i>Coefficiente infiltrazione potenziale (c.i.p.).....</i>	24
7.4.2.4 - <i>Infiltrazione efficace</i>	25
7.4.2.5 - <i>Dinamica di un evento piovoso.....</i>	25
7.4.2.6 - <i>Afflussi meteorici.....</i>	26
8 - POZZETTI NEL PIANO DELLA DISCARICA	27
9 - CONCLUSIONI	31
ALLEGATO 1 – DOCUMENTAZIONE DELL’IMPERMEABILIZZAZIONE DELLA DISCARICA	32

1 - PREMESSA

Il presente studio risponde a quanto richiesto ai punti 8 e 9 della conferenza di servizi istruttoria del 29.11.2022 convocata con nota prot. D.G.A. n. 29369 del 11.11.2022. relativa Studio di Impatto Ambientale (SIA), da predisporre in conformità alle norme vigenti in materia di V.I.A. "EX -POST".

Con questa finalità, su incarico e per conto della società Ecoinerti S.r.l., il sottoscritto ha eseguito il presente studio idrogeologico e idrologico dell'area di pertinenza della discarica, allo scopo di approfondire e sviluppare quanto riportato nel piano di lavoro trasmesso dalla stessa società in data 08.09.2022 (prot. D.G.A. n. 22485), valutando il corretto dimensionamento dei presidi, con particolare riferimento alle possibili interferenze dell'opera con le acque superficiali e acque sotterranee e le modalità di gestione delle acque meteoriche nell'area di pertinenza dell'impianto di recupero.

2 - LOCALIZZAZIONE DEL SITO

L'area a cui si riferisce il presente studio si estende, nel territorio del comune di Iglesias.

In particolare si identifica nella Carta Topografica d'Italia alla scala 1:25.000, Foglio 555 SEZ. I – Iglesias (Figura 1). Nel dettaglio l'area in studio è situata a circa 2,0 Km a Nord-Ovest dal centro abitato di Iglesias ed è compresa nella Carta Tecnica Regionale Numerica in scala 1:10.000, Sezione n. 555070 (Figura 2).

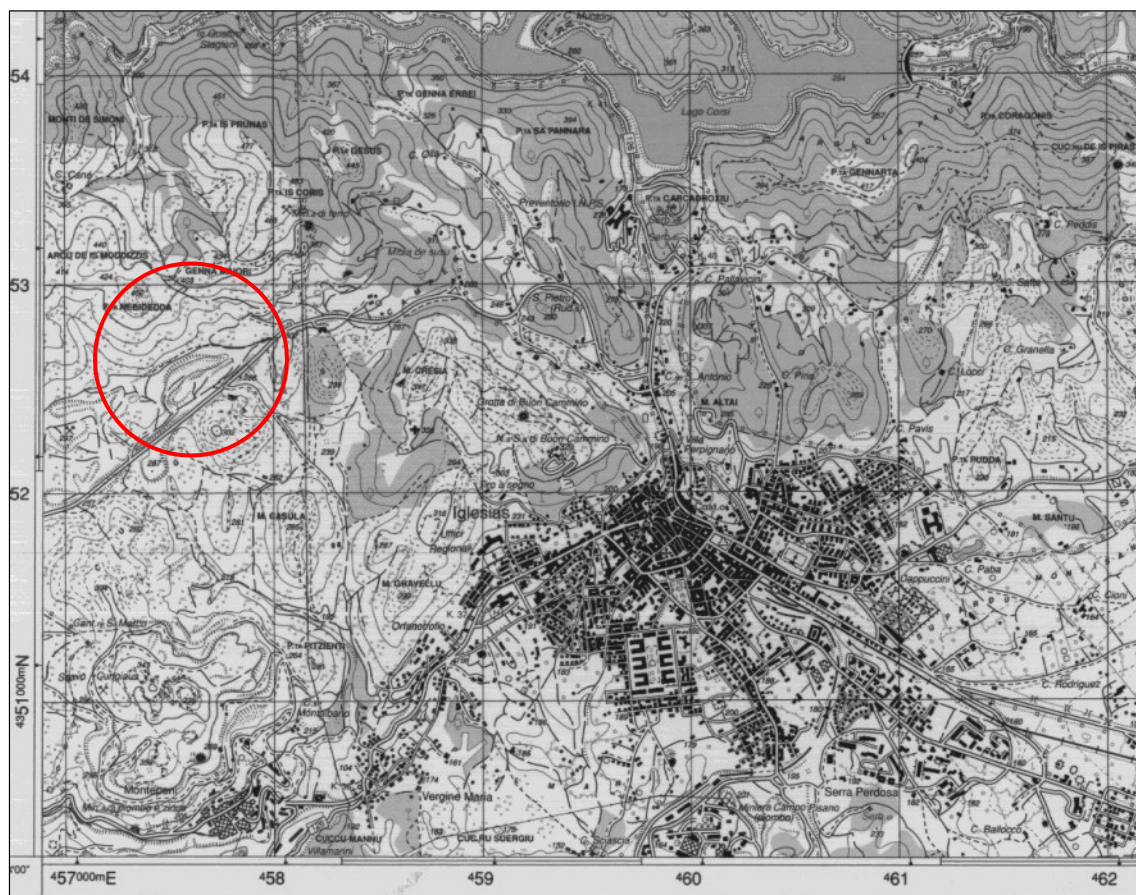


Figura 1 – Stralcio del foglio I.G.M.I. n° 555 Sez. I - Iglesias con ubicazione dell'area oggetto di studio (cerchio rosso)



Figura 2 – Stralcio della Carta Tecnica Regionale Numerica in scala 1:10.000 Sezione n. 555070 con ubicazione dell'area oggetto di studio (cerchio rosso)

3 - INQUADRAMENTO MORFOLOGICO

Il territorio circostante della zona in esame è caratterizzato da rilievi di tipo collinare con cime oscillanti intorno ai 450 m s.l.m. (Arcu de Moddizzis 440 m e Punta Nebidedda 448 m che sovrastano lo scavo oggetto di studio e Genna Maiori 425 m, ubicato a circa 500 m a Nord-Est rispetto allo scavo) che rappresentano le cime più alte della dorsale degradante verso Sud in coincidenza della strada provinciale S.P. N. 84 comunemente nota come la circonvallazione Nord di Iglesias.

Lo scavo prodotto dalla coltivazione a cielo aperto ha modificato la morfologia originaria producendo una fossa aperta, orientata Est-Ovest per una lunghezza di circa 1.000 m e una larghezza massima di circa sul lato sud verso una piccola vallecchia naturale. L'area mostra una varietà di forme legate ai diversi tipi litologici presenti con rilievi appena accentuati nelle arenarie mentre, le rocce calcaree hanno forme più aspre e accentuate.

I suddetti rilievi paleozoici sono stati e sono tutt'ora modellati da processi di erosione che ne hanno parzialmente raddolcito la morfologia originaria, specie nei tratti a maggior acclività e privi di vegetazione. Questi intensi processi erosivi sono stati generati dalla corruzione superficiale sotto forma di ruscellamento che ha prodotto sulla superficie del suolo solchi e scolatori. Nell'intorno dello scavo, oltre ai processi dovuti alle acque superficiali, è importante ricordare quelli dovuti alla forza di gravità, che hanno determinato da un lato fenomeni franosi e dall'altro il verificarsi dell'accumulo di coltri di detrito di falda nelle vallecchie e nei canali.

L'unità morfologica che insiste intorno allo scavo è costituita dalle litologie carbonatiche-dolomitiche cambriche che formano una cornice, evolutasi dal punto di vista geomorfologico ad opera di processi gravitativi e di erosione selettiva. A questa evoluzione ha contribuito anche la intensa tettonica, disgiuntiva e compressiva che, producendo notevoli dislocamenti, soprattutto ai margini della massa calcarea, ha determinato il verificarsi di fenomeni franosi.

Un'altra Unità morfologica presente nell'area è costituita da litologie scistose e occupa la parte Ovest dello scavo nell'ambito della valle di San Giorgio, inoltre è presente anche l'Unità morfologica delle Arenarie che occupa posizioni limitrofe (Nord-Est) rispetto alla valle citata.

Infine, i depositi quaternari sono costituiti da materiale di accumulo proveniente dai rilievi paleozoici. Questi depositi degradano con leggera inclinazione verso il fondovalle. In genere i suoli sono poco profondi e vi è una notevole componente grossolana, in cui avviene una continua asportazione e perdita di materiali terrosi.

4 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO

I terreni affioranti nell'area sono ascrivibili in gran parte a formazioni paleozoiche del cambriano e ordoviciano.

Dal basso verso l'alto sono identificabili le seguenti gruppi:

- a) *Gruppo di Nebida*;
- b) *Gruppo di Gonnese*;
- c) *Gruppo di Iglesias*.

Il Gruppo di Nebida (800 m) è suddiviso in *Formazione di Matoppa* e *Formazione di Punta Manna* (Pillola, 1994). Quella di Matoppa è la formazione geologica più antica che mai sia stata datata su basi paleontologiche in Sardegna ed in Italia ed è costituita essenzialmente da sedimenti marini terrigeni con subordinate intercalazioni carbonatiche. L'ambiente deposizionale della Formazione di Nebida è costituito da un fronte deltizio orientato verso E-SE e caratterizzato, nelle aree più protette, da piccole scogliere ad archeociati. Direttamente in successione fa seguito la Formazione di Punta Manna, formata alla base da un "orizzonte oolitico". Questo orizzonte, visibile per chilometri, presenta caratteri litologici e sedimentologici abbastanza costanti in tutta la Sardegna sud-occidentale, mettendo in evidenza un cambiamento delle condizioni ambientali di deposizione. L'ambiente deposizionale è di tipo lagunare (Carmignani et al., 1982), e caratterizzato da un'alternanza di apporto terrigeno con la sedimentazione carbonatica e con anche il contributo di organismi provenienti dal mare aperto sempre comunque poco profondo. La formazione di Nebida è presente a circa 500 metri a Est dello scavo dove si scorge il contatto stratigrafico e tettonico con la Formazione di Gonnese, con direzione N30-40E che prosegue Nord decorrendo a circa 1.500 m dallo scavo, con direzione Ovest-Est.

Il Gruppo di Gonnese (500-700 m) era invece conosciuto fino a qualche anno fa anche come Formazione di Gonnese e denominato in passato il "*Metallifero*" (Auct.) in quanto principale sede dei giacimenti piombo-zinciferi. Con esso terminano gli apporti marini terrigeni nella piattaforma epicontinentale cambriana che lasciano il posto ad una sedimentazione carbonatica. Le formazioni carbonatiche danno un'impronta molto suggestiva al paesaggio, dominato da rilievi arrotondati ma caratterizzati da valli piuttosto incise che danno luogo a rotture di pendio e scarpate quasi verticali. In questo gruppo sono state distinte due formazioni geologiche (Pillola, 1994) che dal basso verso l'alto sono la *Formazione di Santa Barbara* e la *Formazione di San Giovanni*. La Formazione di Santa Barbara comprende le classiche facies della *Dolomia Rigata* alla base e della *Dolomia Grigia* alla sommità. La prima è indicativa di un ambiente di deposizione per lo più arido e caldo con associati aree di ambiente evaporitico e periodi di emersione, questi ultimi messi in evidenza da livelli ad ossidi ed idrossidi di ferro. La Dolomia Grigia, massiva ed in eteropia di facies col successivo *Calcare Ceroide*, rappresenta il risultato di una dolomitizzazione diagenetica di quest'ultimo. Lo scavo in cui è insediata la discarica di inerti è insediato in questa formazione. La *Formazione di San Giovanni* è costituita dal *Calcare Ceroide* che si sovrappone o passa in eteropia di facies con le dolomie della formazione precedente.

Il Gruppo di Iglesias (450 m) è composto dalla *Formazione di Campo Pisano*, maggiormente nota come *Calcare Nodulare* (Calcescisti Auct.), e dalla *Formazione di Cabitza*, sicuramente più famosa come *Argilloscisti di Cabitza*. La serie cambriana si chiude con la *Formazione di Cabitza* che comprende nella sua parte più alta anche l'Ordoviciano basale (Tremadociano). La tipica litofacies è data dagli Argilloscisti di Cabitza formati da una caratteristica alternanza ritmica molto potente di originarie argilliti e siltiti di vario colore con subordinati livelli arenacei molto fini indicativi di una sedimentazione marina molto profonda. Il contatto fra la formazione carbonatica la formazione con la formazione di Cabitza, presente lungo la valle di San Giorgio, dista dal sito circa 2.500 m.

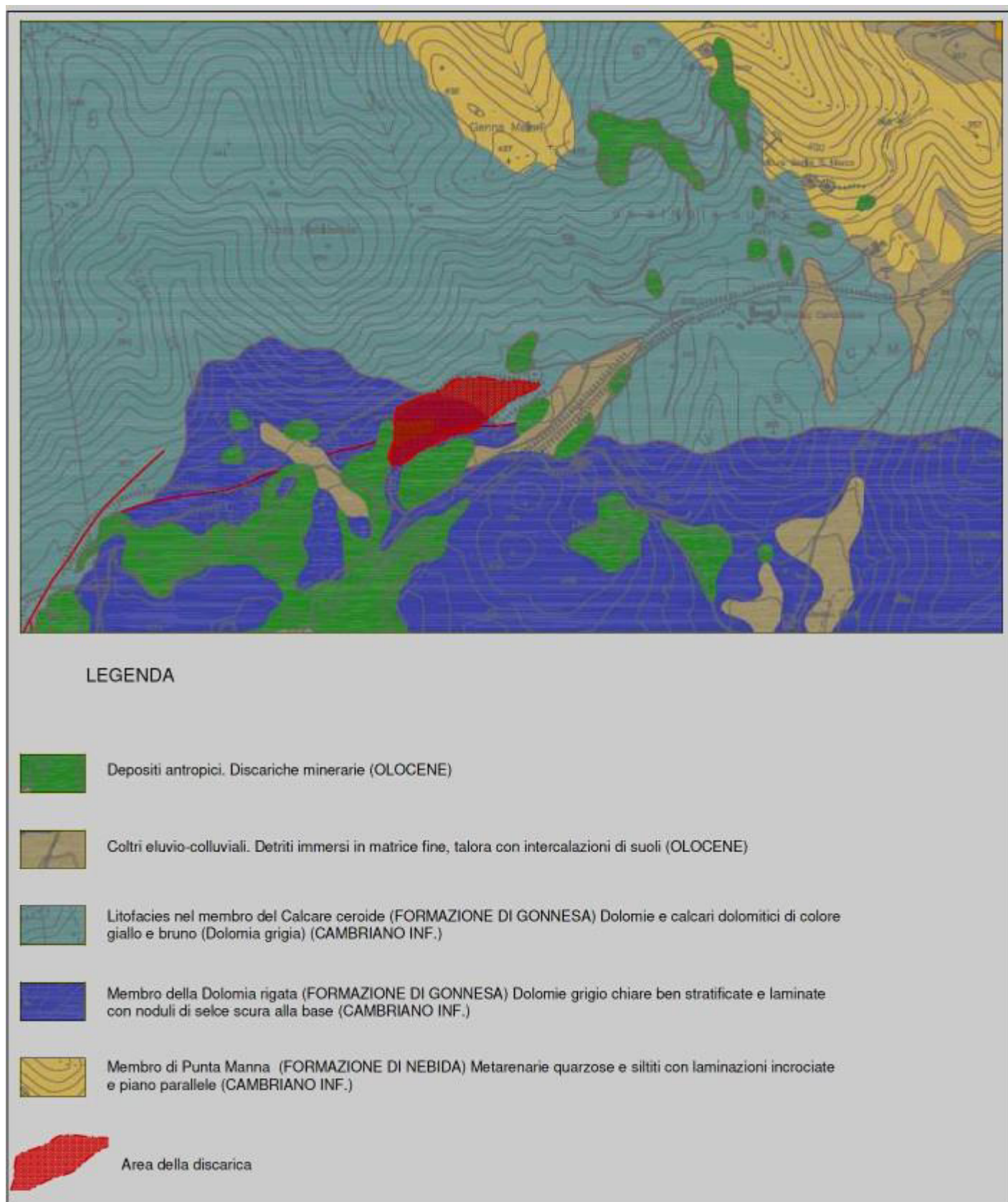


Figura 3 – Carta geologica

4.1 - Geologia di dettaglio

Le litofacies che affiorano nell'area dello scavo appartengono al cambrico “*Formazione di Gonnese*” costituita da dolomie grigie e gialle che passano, per eteropia di facies, al calcare ceroide, e calcari dolomitici compatti a grana fine, generalmente di colore ceruleo e privo di resti organici (Foto 1).



Foto 1 – Calcari dolomitici del fronte Nord della discarica

Il calcare dolomitico, che sovrasta lo scavo si presenta, in genere, compatto, non stratificato, e solo raramente in strati, la cui potenza varia dai 20 ai 50 cm.

Nei giunti di tali strati sono spesso interposte lamine di sostanza argilloso-ematitica rossastra, dovute probabilmente ad infiltrazioni tardive dai soprastanti depositi ematitici.

Irregolarmente distribuito in questa formazione è presente anche il calcare grigio, mentre è altrettanto evidente una dolomitizzazione secondaria del calcare ceroide che assume, la tipica colorazione giallognola (dolomia gialla), soprattutto in coincidenza di zone intensamente fratturate e/o brecciolari (Foto 2).



Foto 2 – Calcari trasformati in dolomia gialla

Il Quaternario, è rappresentato da lembi di alluvioni, antiche e recenti, e detriti di falda più o meno cementati (Foto 3).



Foto 3 – Alluvioni attuali

Si può comunque distinguere un livello più antico, caratterizzato da ciottoli e frammenti, fortemente cementati da carbonato di calcio e limonite soprattutto alla base del massiccio calcareo dolomitico dove la fase diagenetica avanzata dà luogo ad una formazione competente o semi-competente, con buone caratteristiche geomeccaniche.

I depositi attuali sono costituiti da discariche recenti provenienti dagli scavi e dalle lavorazioni dei siti minerari limitrofi, hanno composizione calcareo dolomitica e scheletro grossolano, fino a ghiaioso. Si tratta, per lo più, di materiali incoerenti e, solo raramente manifestano una debole coesione in presenza di materiali terrosi fini.

5 – IDROGEOLOGIA

Rispetto al problema idrogeologico le diverse formazioni hanno un comportamento sostanzialmente differenziato che verrà di seguito evidenziato.

5.1 - Complesso terrigeno inferiore

Si identifica con la formazione di Nebida del Cambrico inferiore. A grande scala questo complesso è caratterizzato da scarsa o nulla permeabilità per porosità o fessurazione. Una limitata circolazione è legata solo alla presenza di intercalari carbonatici che fungono da setto drenante delle acque circolanti e che solo in pochi casi raggiungono portate superiori a 1 l/s. Questo complesso costituisce a grande e piccola scala il letto strutturale del soprastante acquifero carbonatico.

5.2 - Complesso carbonatico antico “Metallifero”

Questo complesso inizia con il membro delle dolomie rigate la cui permeabilità limitata nella parte basale tende a crescere verso l'alto stratigrafico. In continuità si rileva la dolomia grigia a cui fa seguito, spesso in eteropia di facies, il calcare ceroidale. Le differenti caratteristiche petrografiche dei due membri si ripercuotono sia sul comportamento geomeccanico (diverso grado di fratturazione) che sul comportamento geochimico (diverso grado di carsificabilità). Così le dolomie, che hanno una tessitura più massiccia, presentano un minor grado di fratturazione, con le fratture spesso riempite da materiale residuale, rispetto ai calcari che appaiono più fratturati e con una fitta rete di giunti di fratturazione. Anche il carsismo differenzia in modo netto i due membri, ancora a favore della facies calcarea. In questo complesso ha sede il più importante serbatoio idrico sotterraneo dell'area.

5.3 - Complesso terrigeno superiore.

È costituito dai calcari nodulari e dai sovrastanti argilloscisti cambrici e da scisti e puddinghe ordoviciane. Le caratteristiche di questo complesso sono di impermeabilità totale e l'unica possibilità di circolazione idrica è legata a strutture tettoniche che creano linee di discontinuità all'interno delle formazioni. Questa formazione costituisce una soglia impermeabile sovrapposta sul sottostante acquifero carbonatico.

5.4 - Copertura Quaternarie

Si vuole intendere con questo complesso i residui lembi quaternari di sabbie marine o alluvioni arenaceo quarzose o argillose poco importanti dal punto di vista della grande circolazione idrica sotterranea che si sviluppa prioritariamente entro il complesso carbonatico. Sono presenti inoltre sterili di miniera costituiti da dispersioni di ciottoli e frammenti sciolti e da accumuli e frammenti e blocchi di dolomie gialle in cumuli la cui permeabilità è molto variabile da zona a zona vista la differente composizione granulometrica, le diverse proprietà fisiche e le resistenze attrittive anche molto diverse, che si traducono in altrettante differenziate permeabilità nelle diverse aree limitrofe alla discarica.

6 – IDRODINAMICA DELLE ACQUE SOTTERRANEE

6.1 – Falda superficiale

Nel territorio limitrofo alla discarica non sono presenti sorgenti, ciò porta a ritenere che nel contesto geologico in cui è stata impostata la discarica non siano presenti delle falde superficiali. La fratturazione del complesso carbonatico affiorante infatti, impedisce la formazione di emergenze idriche lungo i versanti poiché le acque gravifiche sono interamente drenate dal livello di base ubicato a notevole profondità. Pertanto il comparto carbonatico nell'intorno della discarica risulta anidro.

6.2 – Falda profonda

La discarica di Candiazzus è stata realizzata all'interno di uno scavo minerario in cui le litologie al contatto con il corpo minerario coltivato sono costituite da dolomie grigie e subordinatamente da calcari dolomitici fratturati, e come sistematicamente accade, gli acquiferi nei mezzi fessurati calcarei formano una unica falda freatica che raccoglie e concentra in essa tutte le acque che si infiltrano nella roccia. Nel contesto di studio la falda profonda viene identificata come la falda freatica dell'acquifero del *"Metallifero"* il cui livello piezometrico era storicamente determinato artificialmente dal pompaggio forzato ubicato nella miniera di Monteponi, il cui cono di influenza si allargava per decine di km.

6.2.1 – L'acquifero del Bacino Metallifero

In tutto il Bacino Metallifero la presenza della falda ha costituito una grossa difficoltà allo sviluppo delle coltivazioni minerarie che ha trovato la soluzione con la realizzazione di una serie di impianti di pompaggio che hanno depresso il livello piezometrico lasciando le mineralizzazioni all'asciutto.

Il problema dell'eduzione delle acque acquistò grande importanza a Monteponi fin dal 1868 quando, con i lavori minerari, si giunse alla quota +70 m s.l.m. (livello permanente delle acque). Dalla soluzione di tale problema dipendeva la possibilità di proseguire la coltivazione delle vene mineralizzate profonde.

Tutti i tentativi di eduzione effettuati con le pompe più importanti che la tecnologia di allora rendeva disponibili, risultarono vani. Con l'approfondimento delle coltivazioni minerarie infatti, le venute in sottosuolo aumentarono talmente da non poter essere contrastate con una eduzione locale; maturò allora la decisione di scavare una nuova galleria di drenaggio detta "Galleria di Scolo".

Con lo scavo della suddetta galleria, denominata poi "Umberto I", lunga 5.874 m, il livello dell'acqua si abbassò rapidamente in tutto il Bacino Metallifero permettendo lo sviluppo dei lavori minerari al di sotto del livello freatico originario.

Durante lo scavo della galleria venne incontrata una grossa spaccatura alla quale venne dato il nome di "Gran Sorgente"; tale scaturigine ha avuto la particolarità di essere in comunicazione con tutto il sistema di fratturazione dell'Anello Metallifero, permettendo un significativo abbassamento in tutte le miniere del bacino.

Con l'esaurimento dei giacimenti affrancati successivamente al drenaggio della galleria di scolo, il problema dell'eduzione si ripropose in tutta la sua importanza.

La necessità di proseguire le coltivazioni oltre il livello di sfioro della Gran Sorgente, costrinse la Società ad abbassare la falda artificialmente tramite una serie di impianti di eduzione da realizzarsi al di sotto del livello del mare.

In questo caso era facilmente intuibile che con una portata superiore a quella del deflusso naturale della Gran Sorgente, si poteva abbassare la falda al di sotto del livello del mare. La tecnologia non mancava ma i dubbi sulla realizzazione di un impianto sotto il livello del mare erano comunque forti, pertanto il primo impianto venne realizzato nel 1928 alla quota -15 s.l.m..

In seguito, ogni qualvolta le coltivazioni raggiungevano la quota dell'impianto, la stazione di pompaggio veniva ricostruita ad una quota più profonda.

Vennero quindi realizzati in sequenza i seguenti impianti di pompaggio del -60 nel 1935, del -100 nel 1956 e del -200 nel 1990, le cui portate di esercizio sono riportate in Tabella 1 e graficate in figura 4.

Tabella 1 – Riepilogo portate edotte con gli impianti di pompaggio e deflussi naturali

Anno	Situazione	Portata (l/s)
1885→1889	Contatto scisti-calcarei	500
1889→1928	Gran Sorgente	1400→800
1928	"-15"	950
1935	"-60"	1.150
1943→1948	Fermata "-60"	600÷700
1956	"-100"	1.350
1990→1997	"-200"	1.850→0

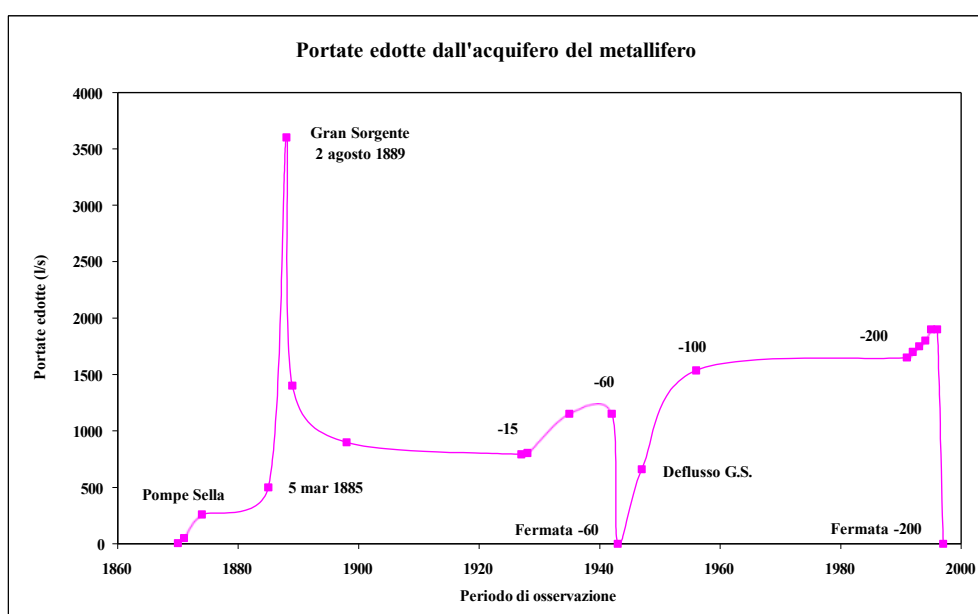


Figura 4 – Riepilogo portate edotte con gli impianti di pompaggio di Monteponi e deflussi naturali

6.2.2 - La fermata dell'impianto di eduazione del -200 nel 1997 e la rimonta della falda

Nel contesto della chiusura dell'attività mineraria, è stato ipotizzato lo scenario idrogeologico che si sarebbe determinato con la sospensione del pompaggio e la conseguente rimonta della falda

Con questa finalità sono stati elaborati tutti i dati storici rilevati in oltre un secolo di pompaggio, nonché quelli di più recente acquisizione rilevati dal sistema di monitoraggio della falda, installato per l'occasione, nei vari punti del Bacino Metallifero.

Tale sistema ha consentito di acquisire in tempo reale tutte le variazioni chimico-fisiche ed idrodinamiche della falda. L'elaborazione e l'interpretazione dei dati precedentemente menzionati, consentì, a suo tempo, di ipotizzare i tempi di rimonta spontanea della falda, (19 mesi dalla fermata delle pompe), fino a che la stessa avesse raggiunto la galleria di scolo alla quota +6,50 m s.l.m.

Tale previsione è stata confermata con buona approssimazione dai dati sperimentali raccolti successivamente nei cantieri durante la rimonta della falda.

Allo stato attuale la quota della falda è molto prossima a quella originaria di +70 m s.l.m. (Figura 4).

Tale quota è comunque quella massima raggiungibile dalla falda come dimostrato dai dati storici rilevati verso la fine dell'800 prima dello scavo della galleria di scolo.

6.2.3 - La discarica di Candiazzus ed il rapporto con l'acquifero sottostante

La base della discarica, poggia sulla formazione carbonatica cambrica permeabile per fratturazione e carsismo.

La base e le pareti dello scavo sono state, preventivamente alla messa in posto degli inerti, impermeabilizzate mediante la messa in posto di argille a bassa permeabilità ($1,84 \times 10^{-9}$) per uno spessore di 1,00 m, al fine di evitare eventuali infiltrazioni l'acqua dall'esterno (Allegato 1).

Anche lo strato superficiale degli stessi inerti, da alcuni test di permeabilità effettuati, risultano possedere una permeabilità piuttosto bassa tanto da essere considerati anch'essi impermeabili.

Per quanto appena espresso si può affermare che le acque meteoriche non abbiano alcuna possibilità di percolare in seno agli stessi inerti e giungere in profondità fino alla falda.

Nella successiva figura 5 viene rappresentata l'ubicazione della discarica di Candiazzus dalla quale si osserva che la differenza di quota fra la falda principale contenuta nei calcari può rimontare fino a raggiungere il suo livello idrostatico permanente ubicato a 200 metri di profondità rispetto al fondo dello scavo.

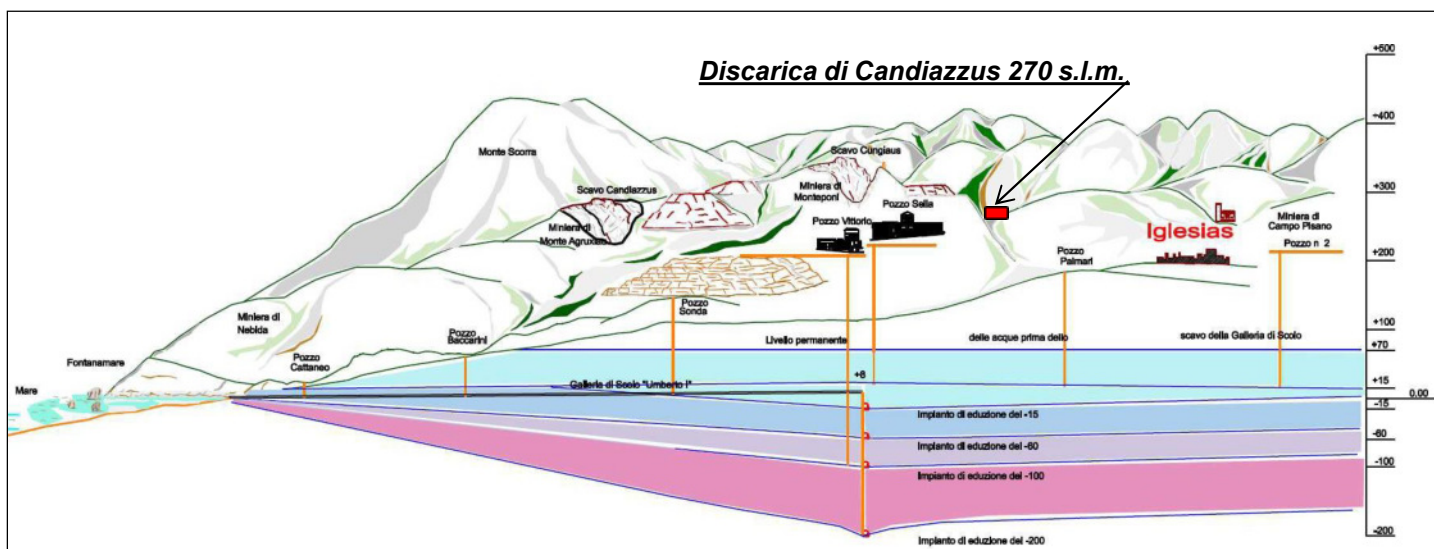


Figura 5 – Sezione della valle di Iglesias con l'ubicazione dell'impianto di Candiazzus

7 - IDROLOGIA

In questa sessione viene studiata l'interazione della piovosità sia nell'ambito dei bacini ubicati a monte dello scavo (B1 e B2), sia l'interazione delle acque zenitali che ricadono direttamente nella superficie della discarica. Con questa finalità verranno effettuati di seguito i bilanci distinti che consentiranno di valutare come le varie fasi della pioggia interagiscono con i suoli esaminati (Figura 6).

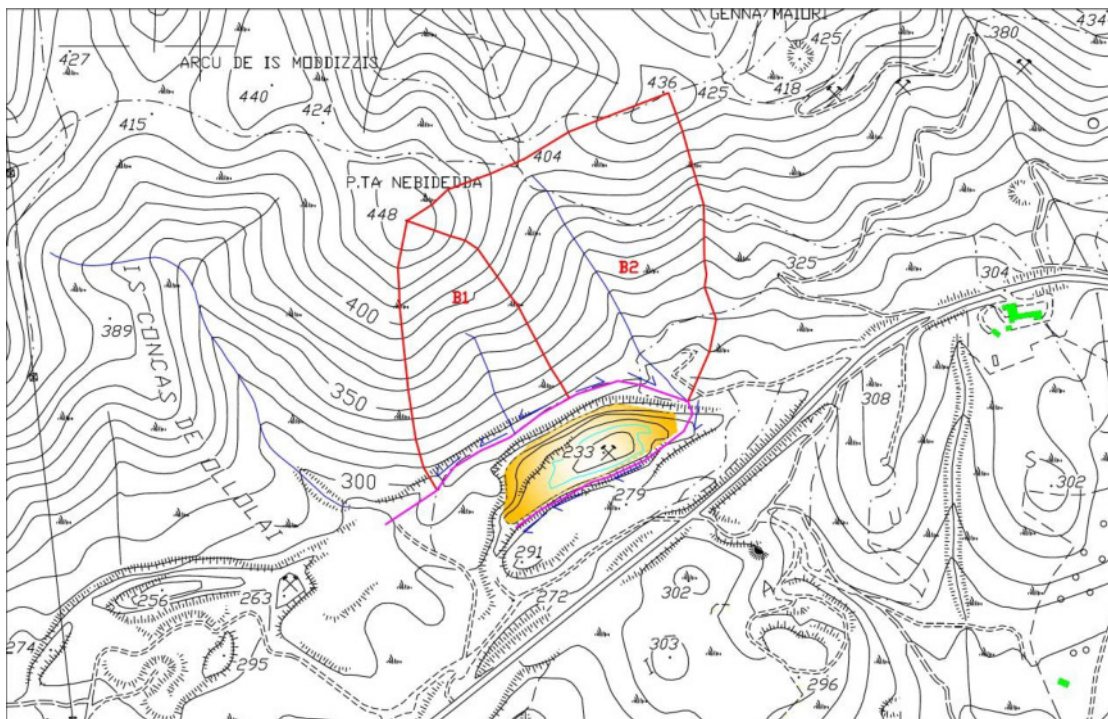


Figura 6 – Planimetria dei bacini presenti a monte della discarica che dal crinale di Punta Nebidedda-Genna Maiori declinano verso l'area della stessa

Per determinare i bilanci delle due aree verranno presi in esame parametri meteo climatici quali:

- *temperature;*
- *precipitazioni;*
- *evapotraspirazione.*

Il clima nell'area, è di tipo mediterraneo temperato classificato come “Mediterraneo Sub-umido” ed è caratterizzato dalla presenza di forti venti di maestrale particolarmente frequenti dall'autunno alla primavera.

Per la particolare posizione in cui è ubicata l'area in esame, sono spesso presenti depressioni che investono la zona da Nord-Ovest verso Sud-Est nei periodi più freddi e, più raramente, avviene il contrario. Ad esse si alternano intervalli di calma totale soprattutto nei periodi estivi, accompagnati da scarsa nuvolosità e piovosità.

Per questa ragione, l'area gode di un tipico regime termico mediterraneo senza eccessi di caldo, mentre, il freddo invernale è solo in parte mitigato dall'aria proveniente dal mare pur essendo relativamente vicino.

7.1 - Temperature

La distribuzione spaziale della temperatura è influenzata dall'orografia del territorio.

La serie di registrazioni è stata rilevata dalla stazione termometrica di presente nella discarica, ubicata all'interno del perimetro della zona in esame (Tabella 2 e 3).

Tabella 2 – Valori medi delle temperature minime

	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
2013					8,3	13,8	13,8	16,8	13,9	12,1	1,3	4,5
2014	0,3	4,3	4,1	6,7	8,4	11,5	14,7	13,9	14,3	10,4	8,9	0,5
2015	1,8	2,7	4,0	4,8	9,3	12,5	18,8	16,7	12,9	8,5	3,7	4,4
2016	2,9	5,5	5,2	7,1	8,2	12,9	13,9	15,4	14,0	9,6	2,1	1,1
2017	0,3	4,5	5,3	4,5	8,3	13,7	15,7	17,4	12,4	9,8	4,9	2,6
2018	4,1	2,9	4,3	3,2	9,1						7,4	4,6
2019	1,8	2,9	4,8	4,9	8,1	14,9	18,2	15,9	18,0	12,5	8,1	4,7
2020	4,0	3,1	3,4							8,8	4,1	3,4
2021	2,3	-0,7	1,4	1,5	8,1	13,8	17,1	16,3	16,1	10,0	4,3	3,8
2022	1,4	1,9	1,7	3,2	10,0	15,7	17,6	18,1	13,4	9,8	5,1	4,4
n° oss.	9	9	9	8	8	7	7	7	7	8	9	9
Media	2,1	3,0	3,8	4,5	8,6	13,6	16,2	16,3	14,4	10,2	5,0	3,4

Tabella 3 – Valori medi delle temperature massime

	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
2013					28,0	37,4	38,3	38,6	31,2	30,9	24,4	17,7
2014	16,1	23,3	19,7	22,7	28,1	33,1	35,2	35,7	32,5	31,1	23,5	17,1
2015	18,7	15,2	19,2	25,4	32,6	31,1	37,3	34,9	32,7	28,0	23,1	17,6
2016	17,3	21,4	25,9	26,3	30,3	34,1	37,7	34,5	31,9	32,3	24,2	18,7
2017	15,0	21,4	21,3	24,3	28,3	37,4	38,2	39,4	32,4	26,1	23,4	17,6
2018	7,1	16,1	19,8	26,2	27,6						30,1	18,1
2019	14,7	19,1	21,2	23,9	34,6	37,8	39,2	33,5	30,8	31,0	21,2	19,5
2020	16,7	19,7	21,1							24,2	22,6	16,9
2021	16,4	24,3	21,4	24,3	28,0	35,7	37,9	41,2	31,3	27,8	19,8	17,1
2022	14,2	20,3	18,2	23,8	32,7	38,6	37,0	37,4	34,5	29,6	26,9	21,9
n° oss.	8	8	8	7	8	7	7	7	7	8	9	9
Media	15,3	20,1	21,2	24,7	29,7	35,2	37,7	36,8	31,8	28,9	23,6	17,8

Come evidenziato nel grafico di figura 7 e 8, i mesi più caldi sono luglio ed agosto, sia considerando i valori massimi, sia i medi, sia i valori minimi, mentre i mesi più rigidi sono dicembre e gennaio.

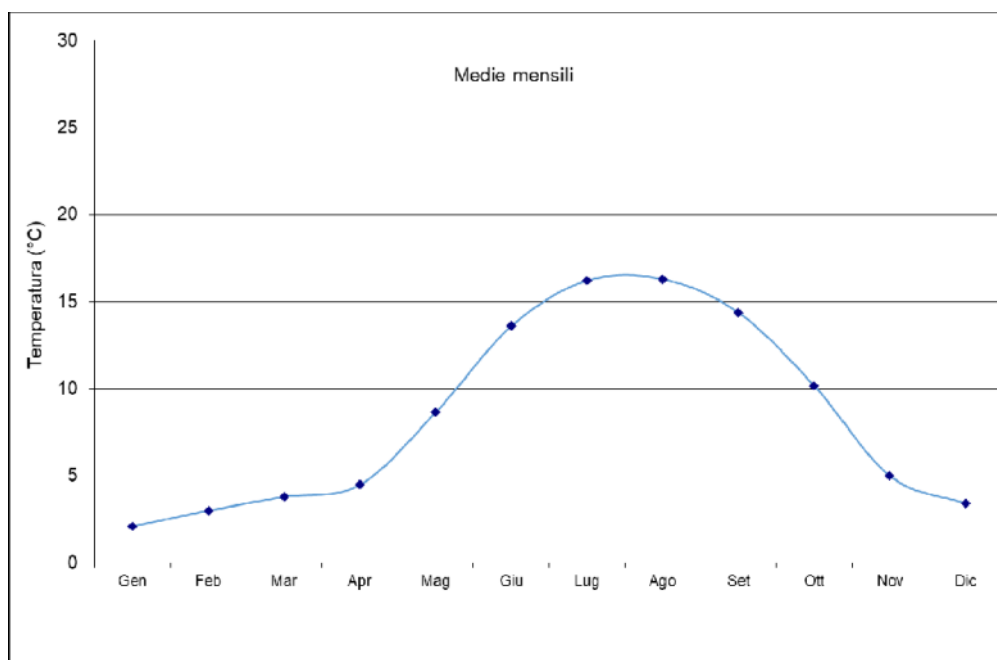


Figura 7 – Andamento delle temperature minime medie mensili

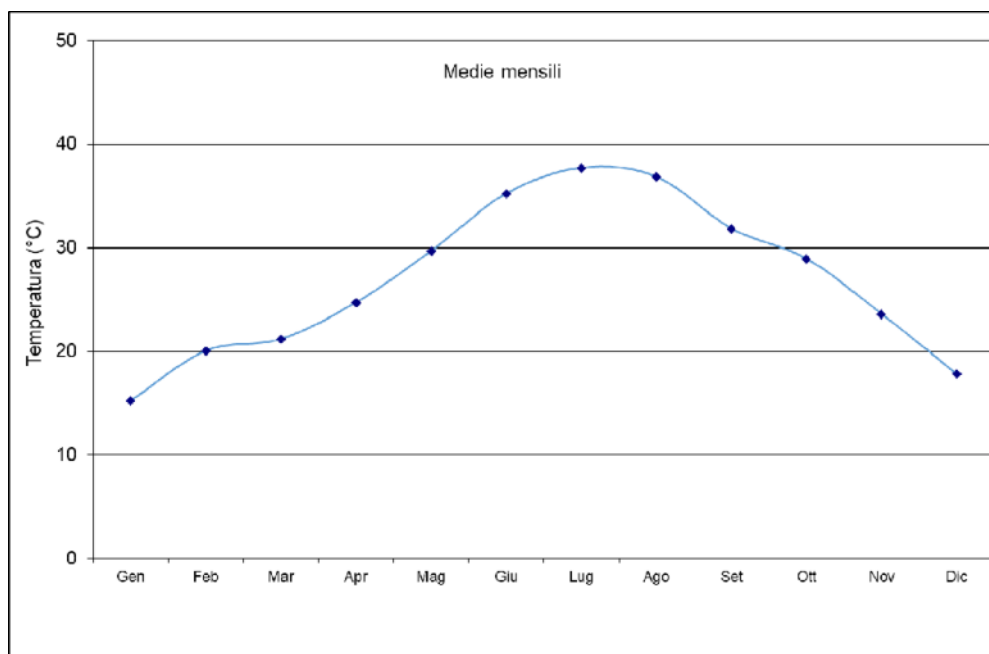


Figura 8 – Andamento delle temperature massime medie mensili

L'andamento della temperatura durante il corso dell'anno rispetta le condizioni della zona climatica temperata europea e Sub-tropicale africana, producendo un clima tipicamente mediterraneo insulare.

La temperatura media annua della zona è di circa 17,7 gradi C; quelle più basse si registrano nei mesi di dicembre e gennaio (3,4 e 2,1 °C). Le temperature, poi, si risolleivano gradatamente nel mese di aprile e maggio talvolta con brusche ondate di caldo che vengono però facilmente sopresse.

Nella stagione fredda, ovvero dicembre, gennaio e febbraio, le temperature medie dell'inverno sono al di sotto dei 5° C, con qualche piccola variazione in meno per le zone più elevate del territorio. Durante la primavera, si registrano temperature medie minime sono intorno ai 10° mentre le temperature medie massime possono raggiungere i 30° C, con momentanee e sporadiche perturbazioni provocate da irruzioni di aria fredda; si passa poi, rapidamente, nei primi giorni di giugno, alla stagione estiva.

La vera stagione calda inizia nel mese di giugno in cui le temperature medie si elevano oltre i 22°, per arrivare alle punte massime medie nei mesi di luglio e agosto di circa 37° C.

Nei mesi più caldi, si registrano punte giornaliere che toccano massime di oltre 39° C. Fino all'autunno inoltrato, le temperature, si mantengono ancora elevate diminuendo abbastanza rapidamente già prima dell'arrivo dell'inverno.

7.2 - Pluviometrie

Per ciò che riguarda il regime pluviometrico, nella zona è possibile distinguere due periodi: il cosiddetto semestre umido che va da ottobre a marzo caratterizzato da precipitazioni abbondanti, e il semestre asciutto che comprende i restanti mesi, in cui, tranne i mesi di aprile e maggio nei quali si possono avere delle discrete piogge, si ha una quasi totale assenza di precipitazioni.

Vi è inoltre una sensibile variabilità spaziale delle piogge. Le precipitazioni sono costituite da piogge provenienti da occidente la cui intensità è massima tra l'autunno inoltrato, il periodo invernale e l'inizio della primavera.

Le precipitazioni sono un fenomeno molto variabile nel tempo e nello spazio, pertanto, ai fini della valutazione del regime pluviometrico si è ritenuto opportuno prendere in esame i dati registrati presso la stazione meteorologica presente in loco integrati con quelli misurati presso la stazione pluviometrica di Iglesias che possiede un periodo di osservazione ultradecennale, al fine di avere una maggiore rappresentatività del regime pluviometrico della zona esaminata. (Tabella 4 e Figura 9).

Secondo i dati pluviometrici registrati presso la stazione meteorologica di Candiazzus, il valore di precipitazione mensile massimo più elevato è stato registrato nel mese di novembre con una altezza d'acqua di 287 mm, mentre il valore minimo tra le massime è stato registrato durante il mese di agosto con soli 8,2 mm di pioggia.

Tabella 4 – Valori delle piogge della stazione meteorologica di Candiazzus

	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre	Totale
2013					0,00	0,00	0,20	8,20	31,00	10,80	45,00	4,20	99,40
2014	4,80	27,20	58,20	24,60	16,60	4,00	0,40	0,40	0,60	0,80	0,80	2,60	141,00
2015	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	59,40	17,40	0,00	77,60
2016	68,20	57,20	24,40	5,80	5,60	6,00	0,00	0,00	0,60	20,20	19,60	6,00	213,60
2017	22,00	15,00	12,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	56,60	67,20	173,20
2018	2,80	20,60	6,20	5,00	66,00	9,20	78,20				155,60	31,40	375,00
2019	84,40	0,00	0,00	1,60	5,20	0,00	0,60	1,00	0,00	1,20	3,20	0,20	97,40
2020	9,40	0,20	0,00							61,40	29,80	206,60	307,40
2021	155,20	38,40	26,20	85,20	38,20	2,40	0,00	2,00	0,20	72,00	287,40	118,80	826,00
2022	39,60	10,40	31,60	56,80	29,40	0,00	0,00	1,20	57,00	36,00	168,00	41,20	471,20
Minimo	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,80	0,00	77,60
Massimo	155,20	57,20	58,20	85,20	66,00	9,20	78,20	8,20	57,00	72,00	287,40	206,60	826,00

Il regime pluviometrico è di tipo AIPE (autunno, inverno, primavera, estate) (Tabella 5).

Tabella 5 – Regime pluviometrico

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Media (mm)	155,2	57,2	58,2	85,2	66	9,2	78,2	8,2	57	72,0	287,4	206,6
Regime pluviometrico	270,6			160,4			143,4			566,0		
	I			P			E			A		

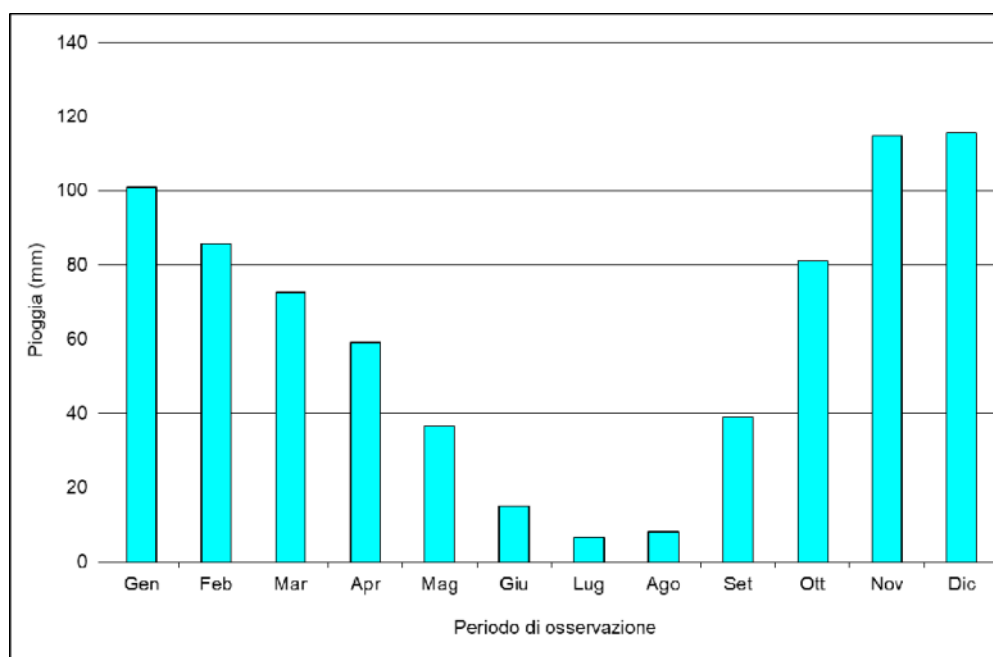


Figura 9 – Distribuzione delle piovosità in cui sono state considerate anche i dati della stazione di Iglesias

7.3 - Evapotraspirazione

Con il termine di evapotraspirazione si intende l'acqua che complessivamente si trasferisce dal bacino idrografico all'atmosfera sia per evaporazione dagli specchi liquidi e dal terreno, sia per traspirazione dalle piante. Ai fini pratici poco importa sapere la quantità d'acqua che passa in un modo o nell'altro in quanto il fenomeno globale è il risultato del sovrapporsi di entrambi i fenomeni e prende il nome di "evapotraspirazione reale".

A parità di altre condizioni, al crescere della disponibilità dell'acqua nel suolo cresce il valore della evapotraspirazione, ma questo non indefinitamente. Vi è infatti un valore limite di evapotraspirazione che non è superato anche per maggiori disponibilità di acqua. Tale valore limite prende il nome di "evapotraspirazione potenziale".

La stima dell'evapotraspirazione è stata basata su tre parametri essenziali di seguito definiti:

1) evapotraspirazione reale (ET_r), detta anche evapotraspirazione attuale, ed è il risultato della interazione suolo-vegetazione-atmosfera che realmente avviene e che dipende essenzialmente da:

- potere evaporante dell'atmosfera;
- vegetazione (tipo, sviluppo e stadio vegetativo);
- contenuto idrico del suolo;

2) evapotraspirazione potenziale (ET_p): che è l'evapotraspirazione che avviene quando il contenuto idrico del suolo non costituisce fattore limitante per essa. La disponibilità d'acqua nel suolo è almeno pari alla quantità d'acqua che il sistema suolo-vegetazione-atmosfera è in grado di fare evaporare. Dipende solo da:

- potere evaporante dell'atmosfera;
- vegetazione;

quindi si ha la seguente relazione: $ET_r \leq ET_p$

3) evapotraspirazione potenziale di riferimento (ET_{p0}) che è l'evapotraspirazione da una copertura erbosa fitta, uniforme e ben irrigata, alta 8-15 cm e in fase di crescita. Ci si riferisce ad essa per eliminare la dipendenza dal secondo punto (vegetazione). ET_{p0} dipende solo dalle condizioni climatiche.

Nel caso in questione i dati relativi all'evaporazione reale sono stati rilevati dalla stazione meteorologica locale.

7.4 - Bilancio idrico

Il bilancio idrologico è una equazione che confronta le entrate e le uscite d'acqua del bacino idrologico. Generalmente tale confronto considera normalmente un periodo di riferimento di un anno.

La stima degli elementi che entrano nell'equazione è piuttosto complessa in quanto è il risultato di un monitoraggio di numerosi parametri meteo-climatici e che deve riferirsi ad un lasso di tempo sufficientemente lungo per essere rappresentativo.

Nella sua formula elementare il bilancio idrologico è definito dalla seguente espressione:

$$P = I + E + R$$

dove:

- P è la quantità di acqua che precipita al suolo;
- I è la quantità di acqua che si infiltra nel suolo;
- E è la quantità di acqua che evapora realmente;
- R è la quantità di acqua che ruscella sulla superficie.

Nel caso in questione il valore P relativo alle precipitazioni è stato ricavato dai dati misurati presso la stazione meteorologica di Iglesias, mentre il valore E della evapotraspirazione reale è quello rilevato dalla stazione meteorologica presente nella discarica.

Per definire il bilancio idrologico rimane ancora da definire il valore I che indica la quantità d'acqua che si infiltra nel terreno, ed il valore R che indica la quantità d'acqua che scorre sulla superficie del suolo.

7.4.1 - Bilancio idrico del bacino a monte della discarica

Il reticolo idrografico dell'area in studio è scarsamente sviluppato e si presenta con regime che risente in larga misura dalle precipitazioni atmosferiche. Non esistono infatti veri e propri corsi d'acqua e gli impluvi presenti sono percorsi dagli scorrimenti superficiali solo nel caso degli eventi piovosi più consistenti.

L'altezza di precipitazione per un assegnato tempo di ritorno e per una certa durata dell'evento può essere ricavato attraverso le curve di possibilità pluviometrica.

In Sardegna, la seguente curva di possibilità pluviometrica:

$$H = a * t^n$$

assume la seguente forma:

$$H = 10^{(A+uB)*t^{(C+uD)}}$$

in cui

- A, B, C, D sono i parametri della regressione;
- t è la durata della pioggia;
- u è il frattile della regressione normale standardizzata.

I parametri A, B, C, D, sono legati alla località, in particolare, le stazioni pluviografiche della Sardegna sono state suddivise in 4 gruppi da cui si ottiene la tabella 6.

Tabella 6 – Parametri della curva di possibilità pluviometrica in Sardegna

	A	B	C	D
I gruppo	1,273175	1,296258	1,379027	1,460799
II gruppo	0,179731	0,167487	0,164598	0,191831
III gruppo	0,305043	0,359699	0,418225	0,497194
IV gruppo	-0,0171463	-0,0179413	0,0090927	0,0412504

Utilizzando per la stazione di Iglesias i dati forniti dallo studio di Piga–Liguori per Gruppo II, al quale appartiene la zona in esame, si hanno le curve di possibilità pluviometrica rappresentate nel grafico di figura 9 seguente per tempi di ritorno di 10, 50, 100, 200, 500 e 1000 anni che fanno riferimento alle altezze critiche di pioggia relative all'area di Candiazzus riportate in tabella 7.

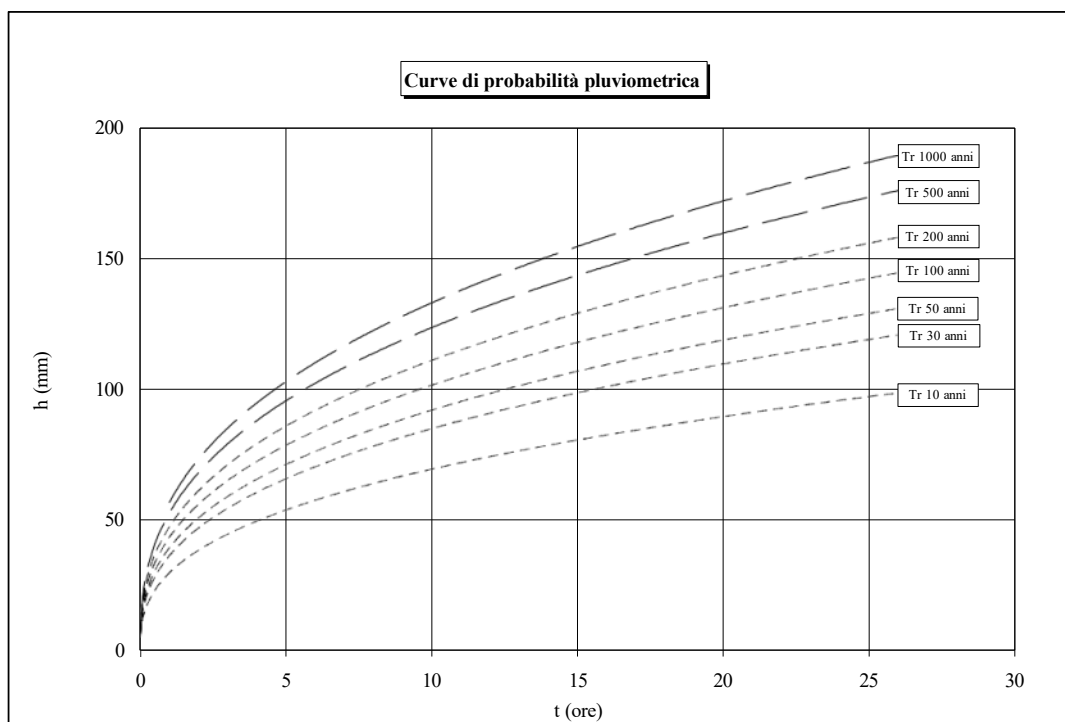


Figura 10 – Curve di possibilità pluviometrica per l'area di Candiazzus

Tabella 7 – Altezza massima di pioggia riferita ad intervalli di tempo specificati

Tr		t = 1 ora	t = 3 ore	t = 6 ore	t = 12 ore	t = 24 ore
10 anni	h_{\max}	29,8	43,5	58,2	76,9	92,9
30 anni	h_{\max}	36,5	52,5	71,3	95,3	113,1
50 anni	h_{\max}	39,6	56,7	77,2	103,7	122,4
100 anni	h_{\max}	43,8	62,2	85,2	115,0	134,9
200 anni	h_{\max}	47,9	67,8	93,2	126,2	147,3
500 anni	h_{\max}	53,4	75,1	103,8	141,1	163,7
1000 anni	h_{\max}	57,5	80,6	111,8	152,3	176,1

Sulla base dei valori delle altezze critiche ottenute sono stati eseguiti i calcoli relativi alla portata massima di piena per assegnati tempi di ritorno in funzione dei dati morfometrici di ciascun singolo sub bacino considerato.

Nella tabella 8 è riportata la sintesi dei dati morfometrici dei bacini mentre nelle tabelle 9 e 10 i valori ottenuti.

In figura 11 è riportato lo sviluppo planimetrico del catino in cui si identificano i singoli sub bacini (B1 e B2) per i quali sono state calcolate le portate di massima piena.

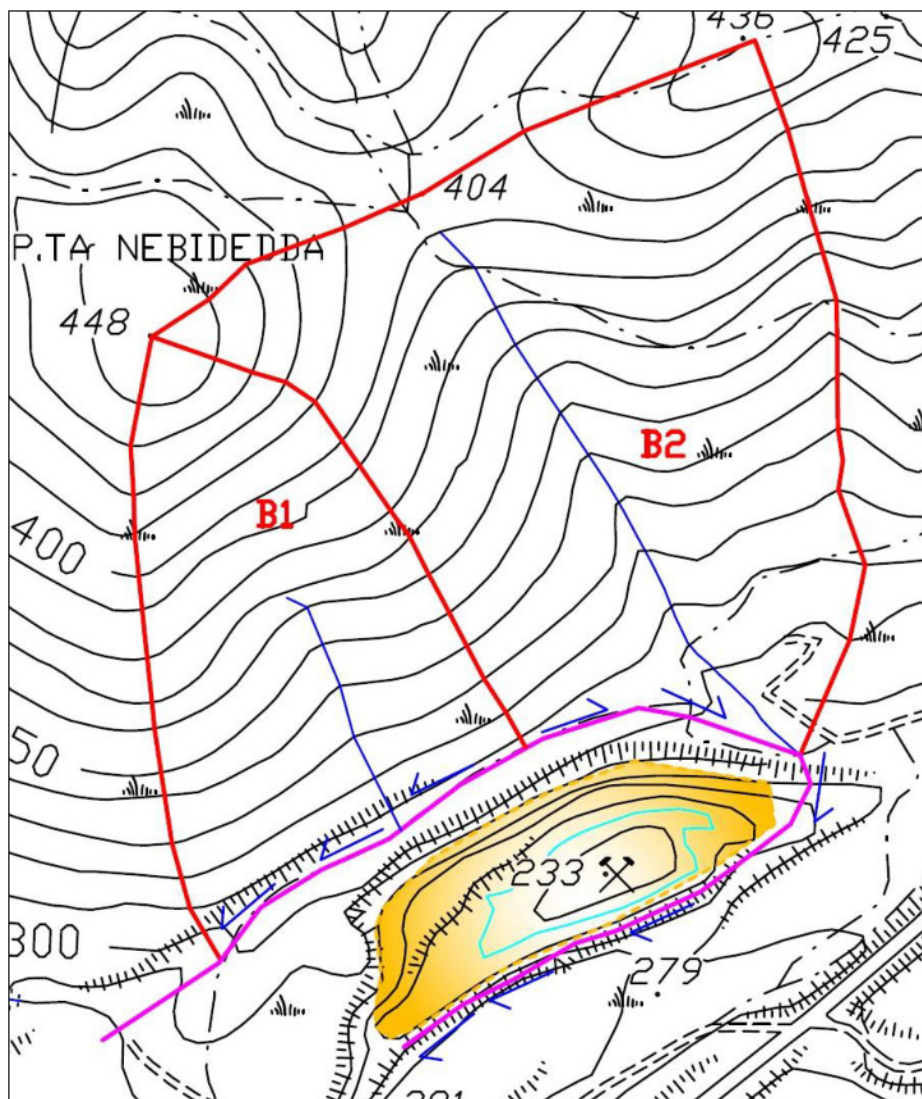


Figura 11 – Planimetria dei bacini a monte della discarica e area della discarica

Tabella 8 – Caratteristiche morfometriche dei bacini

	Area (m²)	Asta (m)	H_{max} (slm)	H_{min} (slm)	Inizio asta (slm)	Fine asta (slm)
Bacino 1	57.483	493	448	300	370	300
Bacino 2	112.293	2.463	436	290	400	290

Tabella 9 – Dati morfometrici e portate massime per tempi di ritorno del bacino 1

DATI MORFOMETRICI DEL BACINO 1			TEMPO DI CORRIVAZIONE t_c (ore)	
Superficie del Bacino	S =	0,06 Km ²	Giandotti	$\Rightarrow t_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_m - H_0}} = \mathbf{0,25}$
Lunghezza percorso idraulico principale	L =	0,49 Km	{ Kirpich, Watt- Chow, Pezzoli	$\Rightarrow t_c = 0,02221 \left(\frac{L}{\sqrt{P}} \right)^{0,8} =$
Altitudine max percorso idraulico	H_{max} =	370,00 m (s.l.m.)		
Altitudine min percorso idraulico	H₀ =	300,00 m (s.l.m.)		
Pendenza media percorso idraulico	P =	0,14 (m/m)		
Altitudine max bacino	H_{max} =	448,00 m (s.l.m.)		
Altitudine sezione considerata	H₀ =	300,00 m (s.l.m.)	<input checked="" type="radio"/> Giandotti	
Altitudine media bacino	H_m =	374,00 m (s.l.m.)	<input type="radio"/> Kirpich, Watt-Chow, Pezzoli...	
Dislivello medio bacino	H_m - H₀ =	74,00 m		

CALCOLO DELLE PORTATE DI MASSIMA PIENA PER ASSEGNATI TEMPI DI RITORNO
(FORMULA del METODO RAZIONALE)

$$Q_{max} = \frac{ch_{(t,T)}S}{3.6t_c}$$

con :

c = coefficiente di deflusso

h_(t,T) = altezza critica di pioggia con tempi di ritorno (mm)

S = superficie del bacino (km2)

t_c = tempo di corrivazione (ore)

3,6 = fattore di conversione che permette di ottenere la Q_{max} in m³/sec

RISULTATI

Deflusso c =	0,40	S (km²) =	0,06	t_c (ore) =	0,25
---------------------	-------------	------------------	-------------	------------------------------	-------------

Tr (anni)	a	n	t_c (ore)	h_(t,T) (mm)	Q_{max} (m³/sec)
10	29,7368	0,3675	0,25	17,75	0,458
30	36,2976	0,3686	0,25	21,63	0,558
50	39,2921	0,3689	0,25	23,41	0,604
100	43,3309	0,3694	0,25	25,80	0,665
200	47,3546	0,3697	0,25	28,18	0,727

Tabella 10 – Dati morfometrici e portate massime per tempi di ritorno del bacino 2

DATI MORFOMETRICI DEL BACINO 2			TEMPO DI CORRIVAZIONE t_c (ore)	
Superficie del Bacino	$S = 0,11$	Km ²	Giandotti	$\Rightarrow t_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_m - H_0}} = 0,74$
Lunghezza percorso idraulico principale	$L = 2,46$	Km	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Kirpich, Watt-} \\ \text{Chow, Pezzoli} \end{array} \right. \Rightarrow t_c = 0,02221 \left(\frac{L}{\sqrt{P}} \right)^{0,8}$	$\Rightarrow t_c = 0,02221 \left(\frac{L}{\sqrt{P}} \right)^{0,8}$
Altitudine max percorso idraulico	$H_{max} = 400,00$	m (s.l.m.)		
Altitudine min percorso idraulico	$H_0 = 290,00$	m (s.l.m.)		
Pendenza media percorso idraulico	$P = 0,04$	(m/m)		
Altitudine max bacino	$H_{max} = 436,00$	m (s.l.m.)		
Altitudine sezione considerata	$H_0 = 290,00$	m (s.l.m.)	<input checked="" type="radio"/> Giandotti	
Altitudine media bacino	$H_m = 363,00$	m (s.l.m.)	<input type="radio"/> Kirpich, Watt-Chow, Pezzoli...	
Dislivello medio bacino	$H_m - H_0 = 73,00$	m		

CALCOLO DELLE PORTATE DI MASSIMA PIENA PER ASSEGNATI TEMPI DI RITORNO
(FORMULA del METODO RAZIONALE)

$$Q_{max} = \frac{ch_{(t,T)}S}{3.6t_c}$$

con :

c = coefficiente di deflusso

$h_{(t,T)}$ = altezza critica di pioggia con tempi di ritorno (mm)

S = superficie del bacino (km2)

t_c = tempo di corrivazione (ore)

$3,6$ = fattore di conversione che permette di ottenere la Q_{max} in m³/sec

RISULTATI

Deflusso $c =$	$0,40$	S (km ²) =	$0,11$	t_c (ore) =	$0,74$
----------------	--------	--------------------------	--------	---------------	--------

T_r (anni)	a	n	t_c (ore)	$h_{(t,T)}$ (mm)	Q_{max} (m ³ /sec)
10	29,7368	0,3675	0,74	26,57	0,449
30	36,2976	0,3686	0,74	32,42	0,548
50	39,2921	0,3689	0,74	35,09	0,593
100	43,3309	0,3694	0,74	38,69	0,654
200	47,3546	0,3697	0,74	42,27	0,715

Nelle tabelle 9 e 10 sono riportate le portate massime dei bacini con tempi di ritorno di 10, 30, 50, 100 e 200 anni. Ai fini del presente studio vengono prese in considerazione le portate con tempi di ritorno di 100 anni.

L'acqua di ruscellamento dei due bacini viene smaltita dal canale di guardia presente a monte della discarica, impedendo che queste abbiano la possibilità di riversarsi nel bacino (Foto 4 e 5).

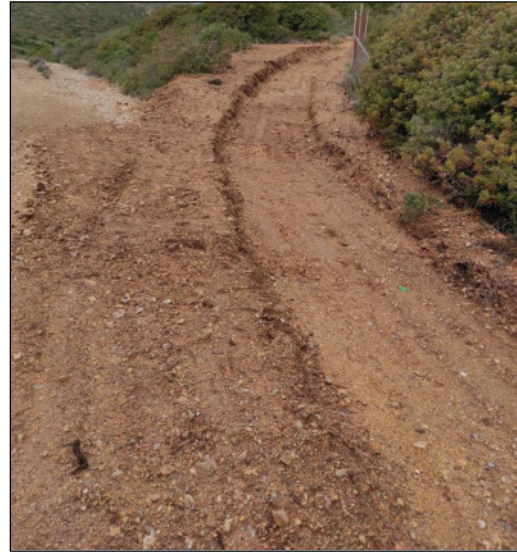


Foto 4 e 5 – Canale di guardia a monte della discarica

7.4.2 - Bilancio idrico del bacino dell'area della discarica

Il bilancio idrico dell'area della discarica si differenzia dai precedenti in quanto la superficie dell'area considerata risulta un piano orizzontale in cui il ruscellamento è praticamente assente.

Tuttavia, è stata eseguita un'analisi degli afflussi zenitali che interessano la superficie della discarica in senso stretto, e valutato il loro successivo comportamento.

A tal fine sono stati esaminati con maggior dettaglio sia i parametri idrologici e sia quelli del suolo superficiale il quale, nel caso in questione, è costituito da scarti inerti di edilizia che hanno subito un apposito trattamento di frantumazione e compattazione dal continuo passaggio delle macchine operatrici durante la messa a dimora degli inerti.

7.4.2.1 - Aspetti generali sulle caratteristiche dei suoli e dell'infiltrazione.

La parte del terreno interessata dal fenomeno dell'infiltrazione è quella più vicina alla superficie che è in genere indicata come suolo.

Il suolo è un mezzo poroso costituito da una matrice solida caratterizzata da cavità che possono essere o meno riempite di acqua: si considera, quindi, come un sistema trifase costituito da:

- una fase aeriforme;
- una fase liquida;
- una fase solida.

Ipotizzando di poter separare le diverse fasi presenti in un volume elementare di suolo, si otterrebbe lo schema di figura 12.

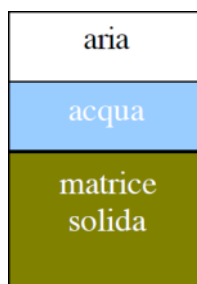


Figura 12 - Schematizzazione delle diverse fasi presenti nel suolo

La fase solida è caratterizzata dalla tessitura, ovvero dalla composizione granulometrica, e dalla struttura che ne definisce invece la tipologia di aggregazione dei singoli granuli.

Un'altra caratteristica del suolo è la porosità, anch'essa contribuisce alle dinamiche che condizionano la presenza dell'acqua nel suolo. Si tratta di una frazione compresa tra 0 e 1 che indica la percentuale del volume del terreno considerato che viene occupata dai vuoti. La parte

di in cui l'acqua è libera di muoversi per gravità, defluendo secondo il gradiente, ad esempio verso le captazioni, viene definita porosità efficace. Quella percentuale che invece viene trattenuta dal terreno, indica la capacità di ritenzione (Tabella 11).

Tabella 11 – Tipologie di suoli e relative porosità

Sedimento	Porosità	Porosità efficace
Ghiaia grossa	28	23
Ghiaia media	32	24
Ghiaia fine	34	25
Sabbia grossa	39	27
Sabbia media	39	28
Sabbia fine	43	23
Silt	46	8
Arenaria a grana fine	33	21
Argilla	42	3
Arenaria a grana media	37	27
Calcere	30	14
Dolomia	26	-
Sabbia di duna	45	38
Loess	49	18
Torba	92	44
Scisti	38	26
Siltite	35	12
Argillite	43	-
Shale	6	-
Till sabbioso	31	16
Till siltoso	34	6
Tufo	41	21
Basalto	17	-
Gabbro alterato	43	-
Granito alterato	45	-

7.4.2.2 - Infiltrazione

L'infiltrazione indica il processo di trasferimento dell'acqua attraverso la superficie del terreno. L'infiltrazione è influenzata da numerosi fattori tra cui le caratteristiche del terreno, le condizioni di umidità del suolo all'inizio dell'evento e le modalità con cui evolve l'evento meteorico.

Analogamente alla porosità del suolo anche per l'infiltrazione si ha quella potenziale e quella efficace.

7.4.2.3 - Coefficiente infiltrazione potenziale (c.i.p.)

Il valore del c.i.p. viene espresso in % per diversi tipi litologici, le variazioni sono legate a vari fattori quali la pendenza dei versanti, la copertura vegetale, la porosità e/o la fratturazione della roccia.

Per quanto detto il valore dell'infiltrazione I è dato da:

$$I = P \cdot \chi$$

I coefficienti χ relativi alle principali formazioni litologiche sono racchiusi nei range riassunti nella tabella 12, nella quale si osserva che il coefficiente χ assume al massimo il valore di 100 indicando un'infiltrazione massima del 100% delle precipitazioni. Il coefficiente χ per il caso in questione è stato ricavato dalla già citata tabella ed assume il valore $\chi=0,10$ relativo ai depositi argillosi.

Tabella 12 – Litologie e relativi valori di c.i.p.

Litologia	c.i.p. %	Litologia	c.i.p. %
Calcari	90 – 100	Lave	90 – 100
Calcari dolomitici	70 – 90	Depositi piroclastici	50 – 70
Dolomie	50 – 70	Piroclastiti e lave	70 – 90
Calcari marnosi	30 – 50	Rocce intrusive	15 – 35
Detriti grossolani	80 – 90	Rocce metamorfiche	5 – 20
Depositi alluvionali	80 – 100	Sabbie	80 – 90
Depositi argillosi	5 – 25	Sabbie argillose	30 – 50

7.4.2.4 - Infiltrazione efficace

L'infiltrazione efficace, oltre che dalle caratteristiche geologiche, è influenzata anche dalla pendenza del terreno e dall'uso del suolo.

In sintesi l'infiltrazione efficace nel "bacino" della discarica è stata determinata con seguente equazione:

$$I_{\text{eff}} = I \times \text{c.i.p. (\%)}$$

dove;

$$I = P - (E_{\text{Tr}} - R)$$

Nel caso in questione, come detto in precedenza, il ruscellamento è assente, pertanto $R=0$; quindi

$$I = P - E_{\text{Tr}}$$

7.4.2.5 - Dinamica di un evento piovoso

Dalla figura 13, rappresentativo del comportamento dell'acqua durante un evento caratteristico di pioggia, si evince che la prima acqua che piove viene raccolta dalla vegetazione (evapotraspirazione) e solo una trascurabile porzione cade direttamente nel suolo (t_0). Dopo un certo tempo l'acqua inizia a bagnare il suolo che la assorbe e la trattiene (umidità del terreno). Quando il suolo si satura, una parte dell'acqua inizia a percolare e va ad alimentare la falda mentre in superficie iniziano a formarsi delle pozzanghere (t_1). A lungo andare (t_2) le pozzanghere si espandono e l'acqua potrà organizzarsi in rigagnoli superficiali (ruscellamento). Dopo un certo tempo la massima parte dell'acqua meteorica alimenterà il ruscellamento superficiale.

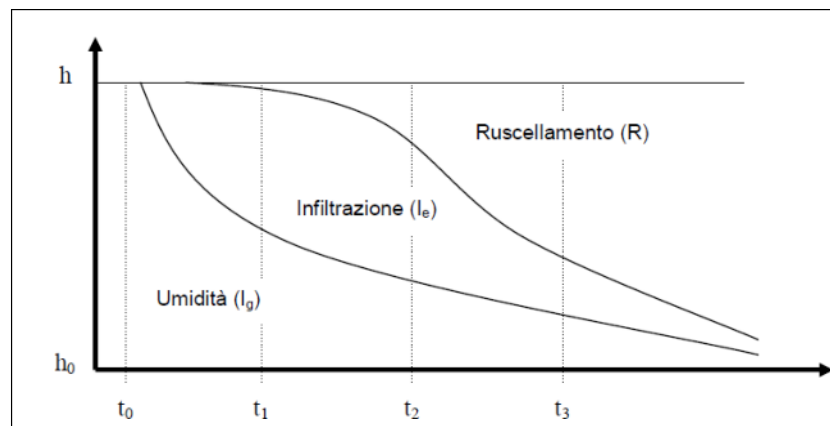


Figura 13 – Comportamento dell'acqua durante un evento piovoso

Quello appena descritto è il ciclo schematico di un generico evento piovoso. In realtà tale schema, nell'ambito della discarica non si ripete poiché vi sono due condizioni particolari che intervengono a modificare la dinamica del ciclo piovoso, e cioè:

- superficie pianeggiante del "bacino";
- suolo costituito da inerti compattati, assimilabile ad argille compatte che limitano notevolmente l'infiltrazione delle acque zenitali.

Quindi avviene che una parte delle piogge efficaci può ancora infiltrarsi rimanendo intrappolata nel suolo superficiale e la rimanente parte di acqua si raccoglie nelle depressioni superficiali del piano della discarica.

La compattezza del suolo impedisce il percolare in profondità delle acque attraverso gli inerti abbancati, mentre l'acqua stagnante subisce una ulteriore azione evaporante.

Gli eventi piovosi con particolare criticità, producono inizialmente un accumulo di acqua su gran parte della superficie della discarica. Successivamente, una quota delle acque inizia ad infiltrarsi, di conseguenza l'area del ristagno diminuisce interessando solo alcune zone la cui stima totale è di circa il 30% della superficie totale. Al termine dell'evento piovoso, contemporaneamente al prosciugarsi della crosta superficiale del piazzale della discarica per

effetto dell'evaporazione, interviene l'effetto capillarità, il quale riporta alla luce l'acqua intrappolata nel suolo della discarica facendola evaporare.

Tale azione è ulteriormente rafforzata dal continuo passaggio dei mezzi i quali esercitano una compressione del suolo che obbliga l'acqua a riemergere all'aperto.

7.4.2.6 - Afflussi meteorici

Sulla base dello schema di piovosità osservato presso la discarica in occasione delle recenti piogge è stato formulato un modello di bilancio idrico sito specifico.

Il calcolo prende in considerazione un evento piovoso della durata di 24 ore.

Per cui, dalla tabella 7, si ricava che la massima piovosità nelle 24 ore e con un tempo di ritorno di 100 anni è di 134,9 mm; quindi:

$$P_{\max} = ETr + R + I$$

dove:

- P_{\max} è la piovosità massima in 24 h per $Tr = 100$ anni (134,9 mm);
- ETr è l'evapotraspirazione reale media pari a $\alpha * P_{\max}$,
in cui $\alpha = ETr_{\text{med-gen}}/P_{\text{med-gen}} = 33,6/100,9 = 0,33$;
- R è il ruscellamento e vale $R = 0$;
- I è l'infiltrazione.

Il parametro utile da ricercare ai fini del presente studio è I (infiltrazione); pertanto, per il periodo invernale in cui si ha il valore minimo di evapotraspirazione, si ha:

$$I = P_{\max} - (P_{\max} * 0,33) - 0 = 134,9 - 33,5 = 101,4 \text{ mm/24h};$$

da cui si può ricavare il volume totale di acqua precipitata sulla discarica:

$$V_{\max (24h)} = S * I = 20.100 * 0,101 = 2.030,1 \text{ m}^3;$$

dove:

- S è la superficie della discarica (20.100 m^2);
- I è l'infiltrazione (m).

E' stato osservato inoltre che nel corso degli eventi piovosi sulla superficie della discarica vi è un significativo volume d'acqua che si accumula negli avvallamenti presenti sul suolo a causa della scarsa permeabilità dello stesso; infatti questo ha caratteristiche geomeccaniche e idrogeologiche assimilabili a quelle delle argille.

La presenza del ristagno d'acqua ha una durata di alcuni giorni in cui durante tale periodo continua l'azione evaporante del terreno.

E' stato stimato quindi che le zone in cui ristagna l'acqua raggiunge oltre il 30% (Foto 6 e 7) della superficie totale e gli spessori della lama d'acqua mediamente sono di 10 cm; quindi si ha:

$$V_{\text{rist}} = S_{\text{rist}} * h = 6.030 * 0,1 = 603 \text{ mc}$$

dove:

- V_{rist} è il volume di acqua stagnante soggetta ad evaporazione;
- S_{rist} è la superficie interessata dal ristagno idrico (30% di S);
- h è l'altezza media dell'acqua stagnante.



Foto 6 – Discarica durante pioggia



Foto 7 – Discarica dopo alcuni giorni

La differenza tra $V_{\max (24h)}$ e V_{rist} , fornisce il volume di acqua che si infila nel suolo della discarica.

$$V_{inf} = V_{\max (24h)} - V_{rist} = 2.030,1 - 603 = 1.427,1 \text{ mc}$$

Sulla base delle caratteristiche geotecniche e idrogeologiche del suolo superficiale dei piazzali della discarica è stata calcolata la profondità di infiltrazione dell'acqua nel terreno.

Ipotizzando che il volume V_{inf} si infili completamente all'interno della discarica, lo spessore medio di suolo interessato dall'infiltrazione è:

$$H_{inf} = V_{inf} / (S * 1 * c.i.p._{(suolo)}) = 1.427,1 / (20.100 * 0,1) = 0,71 \text{ m}$$

dove:

- H_{inf} è la profondità di infiltrazione delle piogge;
- S è la superficie della discarica;
- $c.i.p._{(suolo)}$ è il coefficiente di infiltrazione potenziale del suolo della discarica.

E' da considerare che l'evento piovoso considerato è quello che ha la massima altezza critica in 24 ore e un tempo di ritorno di 100 anni; ciò vuol dire durante gli altri eventi piovosi i volumi di infiltrazione e di ristagno sono di certo inferiori o del tutto assenti come accade durante i periodi asciutti o piogge limitate.

8 - POZZETTI NEL PIANO DELLA DISCARICA

In riferimento all'altezza di infiltrazione calcolata precedentemente si è proceduto a verificare sul campo il riscontro dei risultati ottenuti.

Con questo scopo sono stati realizzati sei pozzetti opportunamente distribuiti nel piazzale della discarica (Figura 14).



Figura 14 – Ortofoto della discarica con l'ubicazione dei pozzetti

Pozzetto 1

Il pozzetto 1 è stato realizzato in prossimità dell'impianto di trattamento, nelle vicinanze di un ampio ristagno a causa di un recente evento piovoso. Lo scavo ha messo in evidenza uno spessore di circa 90 cm di materiale argilloso compatto. Nonostante la vicinanza della presenza d'acqua il materiale non presentava eccedenze idriche al suo interno se non la sua umidità naturale.



Pozzetto a fine scavo



Particolare del suolo della discarica

Pozzetto 2

Il pozzetto 2 è stato realizzato in prossimità di un notevole ristagno d'acqua. Lungo la parete adiacente all'area di ristagno non ci sono percolazioni d'acqua; ciò evidenzia la bassa permeabilità del materiale presente in discarica. Il pozzetto è profondo 50 cm e presenta un normale livello di umidità.



Pozzetto a fine scavo



Particolare della parete del pozzetto in prossimità del ristagno

Pozzetto 3

Il pozzetto 3 è stato realizzato in prossimità di un ristagno d'acqua. Lungo la parete adiacente all'area di ristagno non ci sono percolazioni d'acqua; ciò evidenzia la bassa permeabilità del materiale presente in discarica. Il materiale scavato si presenta compatto e con scarsa umidità.



Pozzetto a inizio scavo



Pozzetto a fine scavo

Pozzetto 4

Anche il pozzetto 4 è stato realizzato in prossimità di un ristagno d'acqua. Già dai primi approfondimenti dello scavo il materiale si è presentato asciutto e sciolto nonostante la vicinanza alla pozzanghera. La profondità del pozzetto è di circa 50 cm.



Pozzetto a inizio scavo



Pozzetto a fine scavo prospiciente un ristagno

Pozzetto 5

Anche il pozzetto 5 è stato realizzato in prossimità di un notevole ristagno d'acqua. Il materiale scavato si presenta molto argilloso e non sono state individuate infiltrazioni d'acqua al suo interno. I pozzetto è profondo 1,20 cm e presenta un normale livello di umidità.



Pozzetto a fine scavo



Particolare del materiale argilloso rinvenuto

Pozzetto 6

Anche il pozzetto 6 è stato realizzato in prossimità di un notevole ristagno d'acqua. Il materiale scavato si presenta compatto e argilloso; non sono state individuate infiltrazioni d'acqua al suo interno. I pozzetto è profondo 0,80 cm e presenta un normale livello di umidità.



Pozzetto a inizio scavo in prossimità dell'acqua



Particolare del materiale argilloso rinvenuto

9 - CONCLUSIONI

Nel corso del presente studio sono stati analizzati nel dettaglio gli aspetti geologici, idrogeologici e meteorologici. In particolare gli aspetti idrogeologici hanno messo in luce che l'area della discarica non è interessata da falde superficiali; è presente invece una importante falda profonda che interessa tutto l'anello Metallifero che soggiace a circa 200 metri sotto il fondo della discarica.

Attraverso i parametri meteorologici esaminati sono stati calcolati i bilanci idrogeologici, sia dei bacini ubicati a monte della discarica, sia quello del bacino relativo alla discarica in senso stretto. Per quanto riguarda i due bacini presenti a monte della discarica è stato osservato che i volumi al deflusso superficiale vengono interamente raccolti e convogliati verso valle dal canale di guardia ubicato a monte della discarica stessa.

Per quanto riguarda il bacino della discarica il bilancio idrico mette in evidenza che le acque zenitali che ricadono al suo interno, al netto della quota di evaporazione, si raccolgono in ampie zone di ristagno e le restanti vengono assorbite dal suolo superficiale per uno spessore stimato di circa 70 cm.

La campagna dei pozzetti effettuata mette in evidenza quanto appena detto, infatti tutti i pozzetti sono stati scavati in prossimità delle zone di ristagno al fine di osservare eventuali percolazioni all'interno del suolo della discarica. L'assenza di percolazione o di eccedenza d'acqua all'interno del materiale scavato conferma l'ipotesi che la circolazione idrica all'interno del materiale è limitata ai primi centimetri di spessore di suolo.

Lo studio condotto nel sito suggerisce inoltre l'ipotesi che, a causa della scarsa o nulla circolazione idrica, non sia presente percolato depositato all'interno e alla base del catino ubicato a circa 30 metri al di sotto dei pozzetti ispezionati.

Documentazione fotografica relativa alla messa in posto dell'argilla bentonitica

