Comune di Trani

Regione Puglia

OPERE DI CHIUSURA DEFINITIVA DEL I E DEL II LOTTO DI DISCARICA E IMPIANTI CONNESSI IN LOCALITÀ "PURO VECCHIO" TRANI (BAT)

PROGETTO DEFINITIVO

COMMITTENTE:

AMIU S.p.A.

Sede legale e amministrativa alla Strada Provinciale 168

Località Puro Vecchio 76125 Trani (BT)

Codice Fiscale e Partita IVA 04939590727

PEC: amiutranispa@pec.it

PROGETTO:

Studio Romanazzi-Boscia e Associati s.r.l.

via Amendola 172/c, 70100 Bari - tel.: 080.548.21.87 - Fax: 080.5[illegible]

Prof. Ing. Eligio ROMANAZZI

Dott. Ing. Giovanni F. BOSCIA

Dott. Ing. Sebanino GIOTTA

Dott. Ing. Fabio PACCAPELO

Ing. Federico Cangialosi

Ing. Gianluca Intini

Dott. geol. Vito Specchio

ALLEGATO	2. STUDI E INDAGINI	SCALA:
R.2.2.1	2.2 GEOLOGIA E GEOTECNICA **RELAZIONE GEOLOGICA E IDROGEOLOGICA**	--- DATA: **GIUGNO 2022**

AGGIORNAMENTO	DATA	DESCRIZIONE
1	10/2022	Riscontro al Verbale di Verifica Preventiva Intermedio del 30/09/2022
2	10/2022	Controllo post contraddittorio 26/10/2022

SOMMARIO

1 LA RICOSTRUZIONE DEGLI ASPETTI MORFOTETTONICI E GEOSTRUTTURALI DI CONDIZIONAMENTO PER LE IDROSTRUTTURE OSPITANTI L'ACQUIFERO 2

2 I CARATTERI DEL TERRITORIO E L'ASSETTO GEOSTRUTTURALE DI RIFERIMENTO DA MODELLO GEOLOGICO IN INGRESSONELL'AMBITO DELLA FINALITA' INTERVENTISTICA 4

3 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO 12

3.1 Caratteristiche di permeabilità delle rocce 12

3.2 Piano di Tutela delle Acque 13

4 MODELLO GEOLOGICO DI SOTTOSUOLO 15

5 CONSIDERAZIONI SISMOLOGICHE 17

6 L'ELEVAZIONE DEL GRADO DI CONOSCENZA DELL'ASSETTO LITOSTRUTTURALE, ANTROPICO E DI PROFILO GEOLITOLOGICO RELITTO DA PALEOCAVA 19

7 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE 35

ALLEGATO 1: Carta geologica (scala 1:5.000)
ALLEGATO 2: Carta idrogeologica (scala 1:5.000)
ALLEGATO 3: Carta geomorfologica (scala 1:5.000)
ALLEGATO 4: Planimetria con indicazione della sezione del profilo geologico (scala 1:1.000)

1 LA RICOSTRUZIONE DEGLI ASPETTI MORFOTETTONICI E GEOSTRUTTURALI DI CONDIZIONAMENTO PER LE IDROSTRUTTURE OSPITANTI L'ACQUIFERO

La fruibilità diretta del documento in presentazione è assicurata da una congiunzione tecnica tra i contenuti del report ***"Interventi di messa in sicurezza e d'emergenza del sito di discarica di rifiuti solidi urbani in loc. PuroVecchio -Trani"/ Relazione Geologica / Committente AMIU Trani-Regione Puglia*** e la sintesi tematica del presente documento "Relazione Geologica", quale espressione essenziale delle risultanze degli accertamenti e dei rilievi a carattere di prospezione idrogeologica, geofisica e geognostica, previste nell'articolato piano a supporto della progettazione in stretto argomento. Sicché, si intende sottolineare alcuni riferimenti essenziali presenti nel ***report*** citato,annesso al progetto definitivo, ovvero i riferimenti al Piano di Tutela delle Acque (comprensivo delle cartografie ad orientamento tematico: Carta delle isoaline e Carta delle Vulnerabilità; stralcio della Distribuzione dei Carichi piezometrici -Acquifero Carsico della Murgia, ai fini precipui delle correlazioni con i principali lineamenti morfotettonici), redatto da SOGESID per la Regione Puglia, ovvero, nella specifica professionalità tecnico-scientifica con sezione di riferimento "Aspetti Geologici ed Idrogeologici", dallo scrivente, estensore del presente report.

Inoltre, anche l'assetto litostratigrafico di dettaglio, per terebrazioni eseguite nell'area della discarica, desumibile dagli annessi stralci "Indagini Idrogeologiche nell'area della discarica RSU Comune di Trani (SP Andria Trani) del settembre 2002, SONDAGGI S1 ed S2 è stato redatto da V.SpecchioConsulente Scientifico GEO SpA (Commessa).

Infine, gli elaborati (rappresentati dalle image) tra le pagine 23-25 del Report richiamato Progetto Definitivo di Messa in Sicurezza, sono state elaborate dallo scrivente (nell'ambito di una cooperazione con il Dott.Ing. G.Ferrari) a seguito di un dettagliato rilievo geostrutturale sui fronti di scavo e correlazione con una ricostruzione e comparazione con dati da analisi fotogeologica.

Il riferimento ha mere finalità di titolazione dei richiami di image riportati nel presente report, con pieno rispetto alle competenze e pertinenza tecnico-scientifiche. Ciò al fine di sottolineare la conformità degli utilizzi esercitati, in diretta argomentazione e titolazione di finalità precipue.

In questa nuova fase di prospezioni geognostiche, idrogeologiche e geofisiche, con operatività finalizzata a traguardare una elevazione del grado di conoscenza geotematica-sitospecifica, si è provveduto ad un riordino dei livelli informativi in possesso (come introdotto in testa paragrafo) ed un riesame delle valutazioni comparate, ai fini di elaborazione di una base dati per la pianificazione del nuovo step geognostico, apposito.

Nella fase di verifica dei lineamenti morfotettonici; la presenza di un vero dominio di bottini estrattivi (peraltro in coltivazione dell'ammasso calcareo, quindi con notevole profondità di incisione nel sottosuolo) ha consentito di correlare le emergenze di un rilievo foto-geologico con il sistema di lesioni che è stato possibile rilevare "in parete" o sul "fondo" dei vari lotti delle cave. Un approfondito rilevamento geologico-strutturale ha consentito di far ben apprezzare, diffusamente, una certa iso-orientazione delle famiglie principali di discontinuità. È ben noto (ma non per questo superfluo) come i sistemi di lesione conferiscano allo stato di fratturazione una migliore interpretazione delle litozone caratterizzate da parametrizzazione di conducibilità idraulica.

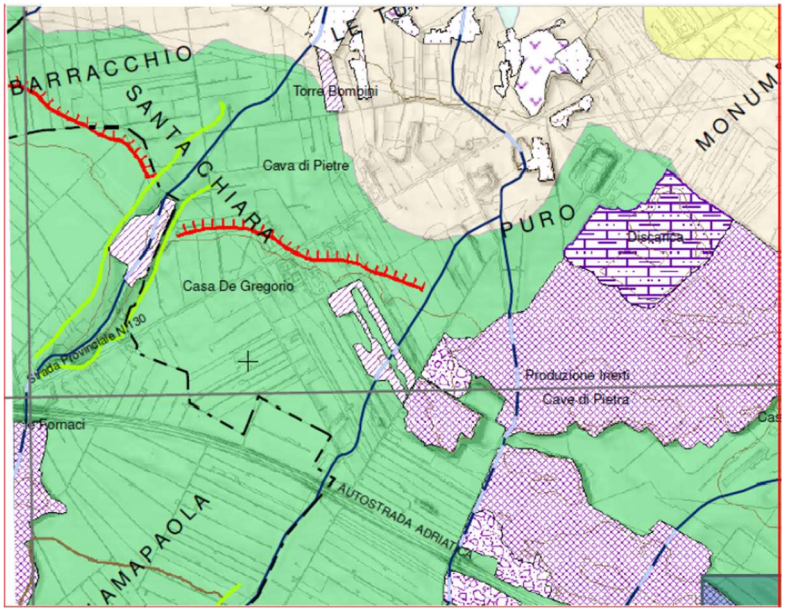
La trattazione del contesto geologico generale e del modello litologico dei termini competenti il substrato roccioso in affioramento ed i rapporti geometrici degli orizzonti calcarenitici in trasgressione sul basamento calcareo, anche per quanto già richiamato in testa al paragrafo introduttivo, non saranno reiterati nella completezza, bensì solo richiamati a titolo di refresh. Ciò nella consapevolezza, biunivoca con il fruitore del report, che in questa fase di elevazione del grado di approfondimento del progetto risultano di specifico interesse, per la redazione del Progetto Esecutivo, le risultanze delle indagini appositamente esperite. Gli annessi allegati costituiscono parte integrante questo report e l'intero Progetto Esecutivo in argomento.

2 I CARATTERI DEL TERRITORIO E L'ASSETTO GEOSTRUTTURALE DI RIFERIMENTO DA MODELLO GEOLOGICO IN INGRESSONELL'AMBITO DELLA FINALITA' INTERVENTISTICA

A titolo di mero refresh si richiama la collocazione fisico-geografica dell'area oggetto della presente report, quale elevazione dello stato di conoscenze geo-tematiche del geosito interessato dagli elementi di progetto esecutivo, non già ai fini di mera indicazione geografica

all'interno del comparto "discarica", bensì con riferimento ad aspetti geostrutturali ed idrogeologici ben noti per la predisposizione di una serie notevole di vari studi ad orientamento tematico. Tuttavia, in modo reiterato, si richiama la location nelterritorio asse Andria-Trani,in contrada "Puro Vecchio", tra le pertinenze di Santa Chiara/Lama Paola, in un bacino idrografico altamente differenziato e vascolarizzato (cfr. Caratterizzazione Bacini Idrografici SOGESID 2007, V.Specchio Project Manager Commessa).

La differenziazione ed il contattogeolitologicodei termini in affioramento è fortemente modificato dalla pressione antropica ad orientamento estrattivo (e, secondariamente, di riuso per attività di discarica), che di fatto ha stravolto la geometria del sistema dei colletti morfologici e delle morfostrutture relitte che palesavano il singolare assetto del contesto geologico. Quest'ultimo è, per l'areale in stretto riferimento, fortemente condizionato dalla neotettonica, complicata dalla morfologia dei gradini e delle superfici di abrasione.



Nello stralcio della image inter-testo ben si apprezza il reticolo idrografico (rilievi SOGESID 2006/ V.Specchio) impostato su lineamenti morfotettonici e sistemi di lesioni interconnessi poiché competenti la buffer-zone della frattura principale.

Lo stralcio è anche riportato nel report del Progetto Definitivo; il significato fisico è incontrovertibile, poiché si palesa la condizione di drenaggio preferenziale (fluitazione per precipitazione alla scala del bacino scolante) in un contesto morfostrutturale di singolare valenza, stante la incontrovertibile interferenza tra i colletti di ripiano morfostrutturali (alti strutturali asse Andria-Trani) e le incisioni morfoidrologiche di un reticolo idrografico tra i più

significativi per interferenza e geo-interazione con gli elementi morfotettonici e le faglie transtensive che "segnano e hanno condizionato l'assetto geostrutturale che è oggi visibile dalle pareti in esposizione nelle cave.

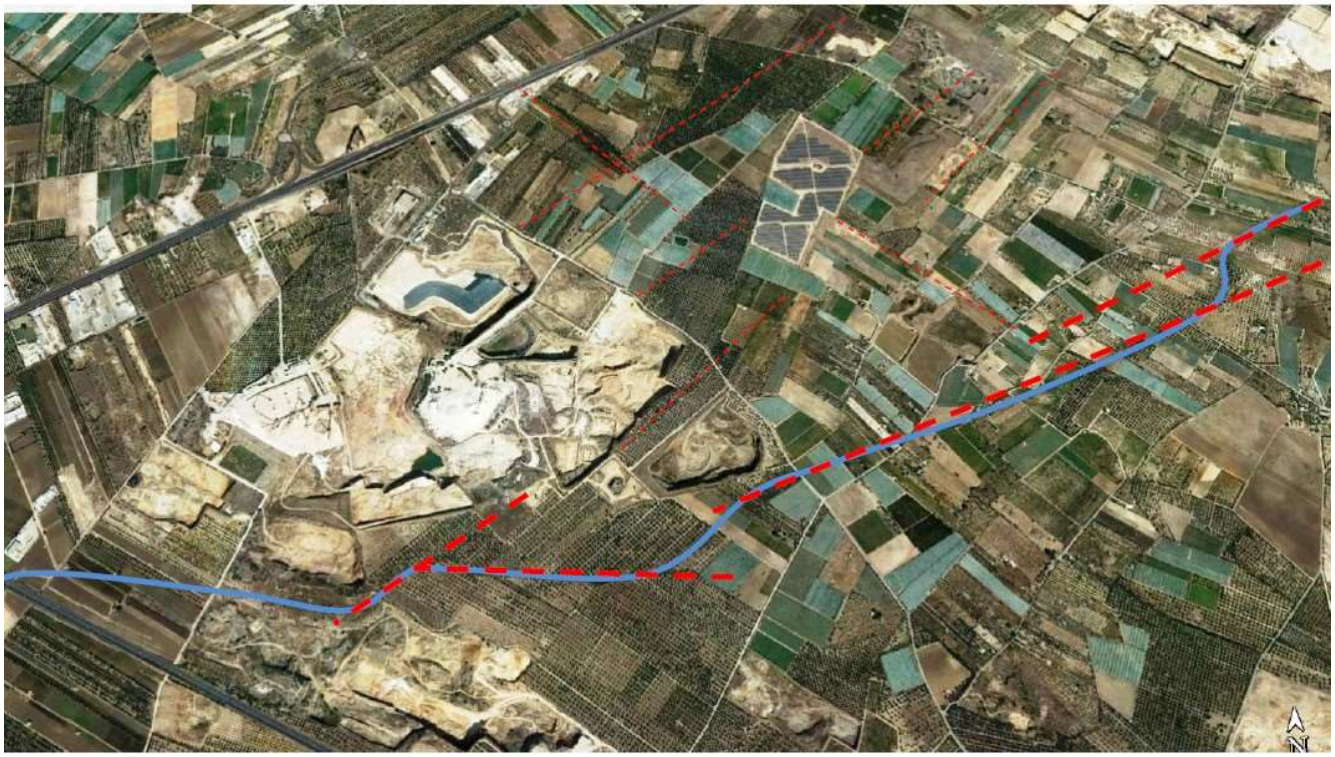
Nel seguito sono inserite alcune image di alto significato geostrutturale per la restituzione di un fruibile dettaglio delle discontinuità e del sistema di lesioni che, di fatto, determina la condizione di permeabilità della sequenza litostratigrafica fino al raggiungimento dell'acquifero.

L'inserimento palesa l'alta frequenza di rinvenimento della intersezione tra giunto di strato (anche di rilevante potenza) e sistema di lesione verticale; la discontinuità strutturale risultante (incrocio delle lesioni/fratture con i giunti) è significativa, sia per l'alternanza delle aree di intasamento dei prodotti residuali a guisa di dette discontinuità, sia per le lesioni aperte con incontrovertibile elevazione dei caratteri di permeabilità.

La presenza di un vero dominio di bottini estrattivi (peraltro in coltivazione dell'ammasso calcareo, quindi con notevole profondità di incisione nel sottosuolo) ha consentito di correlare le emergenze di un rilievo foto-geologico con il sistema di lesioni che è stato possibile rilevare "in parete" o sul "fondo" dei vari lotti delle cave. Un approfondito rilevamento geologico-strutturale (eseguito nel 2015 dallo scrivente) ha consentito di far ben apprezzare, diffusamente, una certa iso-orientazione delle famiglie principali di discontinuità. E' ben noto (ma non per questo superfluo) come i sistemi di lesione conferiscano allo stato difratturazione una migliore interpretazione delle litozone caratterizzate da parametrizzazione di conducibilità idraulica.

La image evidenzia, però, anche la distribuzione della plaghe di terre rosse residuali, quali prodotto di evoluzione dell'attacco precipuo alla molecola carbonatica.

Nella immagine a seguire viene rappresentata la configurazione morfotettonica dell'areale di interesse, derivazione anche di una osservazione comparata tra analisi fotogeologica, rilevamento di campo del lineamento in superficie e ricerca di correlazione con i sistemi di frattura in parete.



(ricostruzione elementi morfotettonici del , V.Specchio 2017)

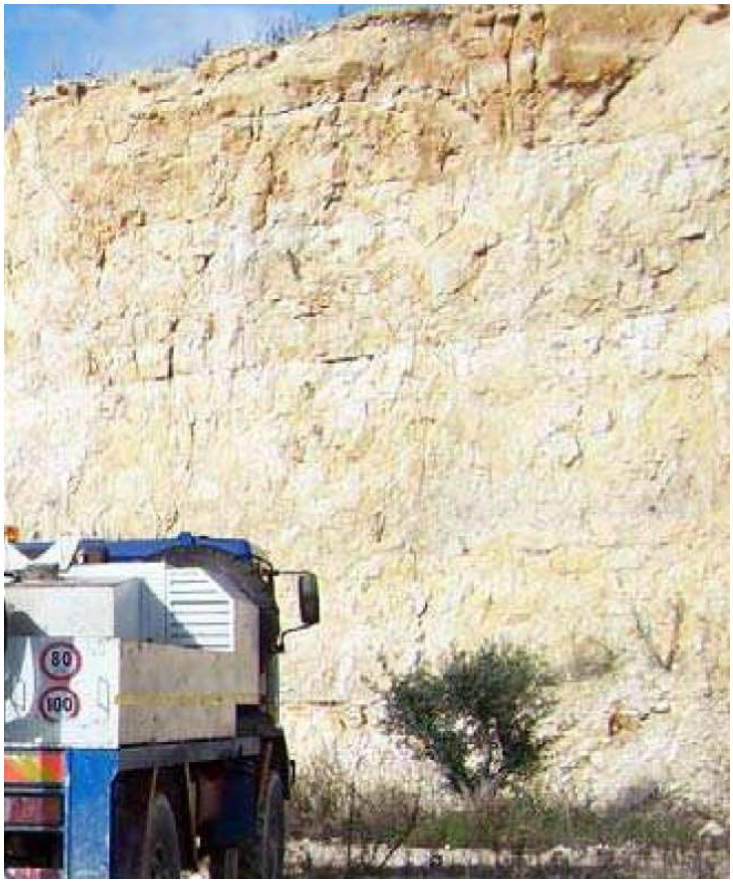
In sintesi, con ovvie derivazioni, il sistema principale di discontinuità può determinare campi di esistenza di assetti geostrutturali differenti, compresi tra due lineamenti morfotettonici, con una condizione di trasmissività idraulica alquanto complessa.

Nel caso specifico, il comparto estrattivo d'interesse è certamente condizionato dal sistema morfotettonico. Un approfondito studio sull'assetto geostrutturale, con differenti comportamenti (ostruttivi o di permeazione e fluitazione a domini di deflusso), ha reso le valutazioni sui livelli informativi competenti l'assetto idrodinamico meno difficoltoso nella ottimizzazione finale dell'assetto dinamico dell'andamento piezometrico.

La sezione dissertata in sequenza assume valore di comparazione per la definizione ed il richiamo

a titolazioni e qualificazioni dell'ammasso "localmente ricoperto dalla litostruttura antropica depositata nel pregresso, ovvero per una valutazione comparato con le caratteristiche dell'ammasso roccioso definito dal profilo della paleocava, prima della deposizione richiamata.

La successione stratigrafica dell'area di stretto interesse, ben rappresentata da un ammasso calcareo (tralasciando la copertura quaternaria di top) dalla geostruttura ben definita, ben caratterizzata da dislocazioni tettoniche tipo fragile e duttile che hanno modificato l'assetto originario degli strati calcarei come nell'area di stretto interesse dove presentano immersione preferenziale sud ovest. Nel seguito primi documenti fotografici a sezione panoramica prescelti per una evidenziazione essenziale dell'assetto geostrutturale di ammasso calcareo massiccio, a stratificazione perlopiù maldistinta, scevro da strutture a lesione sistematica, tali da poter individuare spaziature dei piani o sistemi di discontinuità discriminanti.



Nella image si possono ben rilevare i caratteri di decompressione dell'assise superiore dell'ammasso, con locali esaltazioni dello stato di carsificazione connesso al drenaggio subverticale dell'apparato roccioso di top. Sono altrettanto evidenti i caratteri geostrutturali dell'ammasso, che se valutati ai fini di una conducibilità idraulica ben rappresentano l'emergenza sito- specifica, ovvero quanti scenari stati approntati per modellare numericamente un ammasso con dette condizioni di permeabilità (rese confrontabili con un modello "poroso-equivalente", piuttosto che un modello fortemente condizionato dai sistemi di lesione. Questi ultimi "condizionano il flusso" con dinamiche assolutamente eterogenee e pesantemente ascrivibili ai contrasti di permeabilità ed ai consequenziali alti di carico idraulico).

I report fotografici sono esaustivi delle condizioni litostrutturali (valutazioni parametriche più esaustive con una differenziazione "in linea con il modello idrogeologico").

La image è alquanto esemplificativa e didattica per l'eventuale raffronto con il quadro fessurativo o con il sistema di lesioni che si è cercato di dettagliare ai fini della discretizzazione delle patologie di affezione in termini di discontinuità ed esaltazione delle permeabilità con l'aggravio del sistema di discontinuità. Si può certamente asserire che il contesto stratigrafico è francamente condizionato dai litorizzonti a stratificazione maldistinta, sicuramente prevalente. Su molti fronti rilevati si osserva la estrema complicazione dei sistemi in intersezione tra giunti di strato e frattura. Le lesioni rilevate sono perlopiù serrate o, meno frequentemente, ricementate da calcite spatica. Altre condizioni sono, di contro, rappresentate da vere fratture con "diretto contatto" tra ammasso calcareo e ammasso disarticolato con prevalente sostituzione dei prodotti residuali della dissoluzione carsica.

Le attività di inquadramento del contesto geologico di riferimento, peraltro già sottolineate in premessa, si sono articolate su metodologie di rilevamento e rielaborazione di applicazioni di prospezione che hanno investito l'intero comparto fisico-geografico. L'alto strutturale, i ripiani e le leggere scarpate di raccordo sono stati ritenuti elementi importanti sia ai fini delle implicazioni geostrutturali (morfogenesi), di fatto basilari per la definizione del modello geostrutturale, sia per l'importanza che le articolazioni idrodinamiche connesse. Di seguito vengono discussi taluni

aspetti morfostrutturali dell'area inglobante il lotto d'interesse, ritenuti condizionanti l'assetto idrogeologico dei terreni e, quindi, direttamente considerati in fase di analisi e valutazione.

Il modellamento delle superfici, interconnesso alla evoluzione geomorfologia degli eventi tettonici, è anche da ascriversi all'effetto dell'alterazione chimico-fisica determinato dal fenomeno del carsismo oltre che dall'azione erosiva delle acque di ruscellamento in tempi remoti. La fratturazione della roccia ha facilitato e facilita lo sviluppo dei fenomeni carsici sia nel senso della dissoluzione chimica sia dell'azione meccanica delle acque meteoriche di infiltrazione che allargano i giunti di stratificazione e le fratture stesse. I complessi fenomeni carsici epigei ed ipogei, attivi per alcune decine di milioni di anni su queste rocce calcaree, hanno talvolta modificato profondamente l'ammasso carbonatico, con formazione di cavità di dimensioni variabili entro le quali è possibile rinvenire accumuli, anche cospicui, di "terre rosse" residuali.

Questo materiale eluviale, caratteristico dell'ambiente carsico, può essere inteso come un'argilla limosa – sabbiosa derivante dalla lisciviazione del substrato calcareo. Lo spessore è difficilmente quantificabile da un semplice esame di superficie in quanto in stretta correlazione con il profilo del sottostante calcare e talora non rilevabile perché la terra rossa si rinviene confinata in cavità di interstrato distribuite in modo casuale. Quanto sino ad ora detto definisce quindi la formazione calcareo-dolomitica come caratterizzata da spiccata anisotropia sia in senso orizzontale che in senso verticale. Tale caratteristica può cambiare da luogo a luogo, entro distanze anche molto brevi.

Di seguito si riporta uno stralcio dell'ortofoto con indicazione delle aree interessate dalla realizzazione delle terebrazioni, delle prospezioni idrogeologiche e delle prospezioni geofisiche.

Ortofoto con l'indicazione della ubicazione generale delle aree oggetto di indagine

L'introduzione a questa specifica sottosezione di evidenziazione del contesto morfostrutturale ha ben evidenziato che il profilo morfologico è fortemente condizionato da una serie di ripiani e di superfici di terrazzamento diretta derivazione dell'assetto tettonico modella dai cicli di ingressione-regressione. Infatti, il profilo morfologico dell'area di stretto interesse, al centro di una segnata dislocazione dei sistemi di lesione, inserisce il comparto in argomento all'interno di un contesto eminentemente pianeggiante con pendenze che convergono in direzione sia in direzione NNW, sia a SSE verso solchi erosivi, che fungono da captatori delle acque di ruscellamento superficiale canalizzandole in un deflusso verso il mare

Nonostante l'elevata influenza antropica nel modellamento superficiale, sono individuabili, nelle aree limitrofe, evidenze di paleoterrazzi soggetti a fenomeni di erosione che hanno impostato diverse linee di paleocosta poste a differenti quote in relazione alle variazioni del livello del mare nel corso del plio – pleistocene.

Sono visibili aree con litologie carbonatiche affioranti e coperture superficiali terrigene prive di vegetazione o parzialmente coperte da vegetazione di macchia mediterranea di recente impostazione. Visibili aree limitate coinvolte in fenomeni di dilavamento e di distacco, causati

probabilmente da piogge particolarmente copiose.

Le morfologie delle depressioni vallive e dei dossi arrotondati ricoperti da sedimento terrigeno rappresentano le maggiori manifestazioni strutturali dell'area. La roccia calcarea in posto, affiorante a W e SSE, ben osservabile lungo i fronti di cava ormai non più attivi nella coltivazione, presenta evidenti livelli stratificati di spessore variabile. Il calcare biancastro detritico – fossilifero in questione si presenta con livelli, variabili in spessore ed ubicazione, brecciosi a luogo ad aspetto cavernoso, a causa di fenomeni dissolutivi post – diagenetici e/o fenomeni concomitanti alla diagenesi. Localmente si presentano densamente fratturati, oppure privi di fatturazione. La litologia calcarea in oggetto viene denominata in bibliografia: Calcare di Bari.

La finalità, chiara, è stata quella di determinare una sequenza operativa e validarne i contenuti, ovviamente ivi compresi l'assetto geostrutturale e l'idrodinamica del sistema. Ben evidente, sin da queste prime immagini esemplificative (stralci cartografici), la forte influenza del reticolo idrografico sulla condizione geostrutturale dell'ammasso calcareo; si intende fare specificatamente riferimento ai lineamenti morfostrutturali di dettaglio sui cui risultano impostati i due solchi erosivi di apprezzabile ampiezza ed incisione con direttrici di sviluppo idrografico a NNW (comparto Nord Occidentale del sito) e E-NE (comparto orientale).

3 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Per quanto attiene le caratteristiche idrogeologiche dell'area in esame si segnala che nel sottosuolo certamente è presente una falda freatica che sosta al di sopra della falda di ingressione marina; tale falda freatica corrisponde a quella profonda e che è presenta a larga scala in tutta la regione.

Il carico piezometrico nell'abitato di Trani, come si evince dallo stralcio della carta relativa ai carichi piezometrici degli acquiferi carsici redatta per il Piano di Tutela delle Acque (riportata di seguito), è compreso tra circa un metro e cinque metri rispetto al livello del mare pertanto, viste le quote delle aree in esame prossime a quella del mare, è possibile che si siano anche verificati fenomeni di contaminazione salina.

Durante le operazioni di scavo si dovrà tenere conto della possibilità di intercettare il livello di falda.

Stralcio del Piano Tutela delle Acque della Regione Puglia – Carta delle isopieze

3.1 Caratteristiche di permeabilità delle rocce

Sulla base della stratigrafia individuata è stato possibile distinguere le caratteristiche di permeabilità dei litotipi oggetto di studio in funzione dei cambiamenti delle caratteristiche litostratigrafiche:

- **Depositi marini terrazzati e Calcareniti di Gravina:** questi depositi essendo costituito da sabbie medio-fini posso essere ritenute da poco permeabili a mediamente permeabili. In tal caso, si considera un valore della permeabilità K pari a **$1*10^{-5}$ m/sec**.

- **Calcare fratturato e alterato con presenza di "terra rossa":** subito al di sotto dei depositi marini terrazzati, è intesa come una roccia permeabile per la maggior parte per fessurazione mentre per la parte relativa alla terra rossa per porosità interstiziale. In tal caso, considerando per le "terre rosse" un intervallo del valore di permeabilità K compreso tra **$1*10^{-6}$ m/sec** e **$1*10^{-7}$ m/sec** ne consegue che per queste profondità si può assumere un valore di **K=$1*10^{-5}$ m/sec**.

3.2 Piano di Tutela delle Acque

Il Piano di Tutela delle Acque, adottato dalla Regione Puglia con D.G.R. 19/06/2007 n.883, rappresenta lo strumento per il raggiungimento e il mantenimento degli obiettivi di qualità ambientale per i corpi idrici significativi superficiali e sotterranei e degli obiettivi di qualità per specifica destinazione, nonché della tutela qualitativa e quantitativa del sistema idrico. Gli obiettivi attribuiti dalla normativa vigente al Piano di Tutela delle Acque sono di proteggere e preservare lo stato qualitativo e quantitativo dei corpi idrici al fine di:

a) prevenire e ridurre l'inquinamento e attuare il risanamento dei corpi idrici inquinati;
b) conseguire il miglioramento dello stato delle acque ed adeguate protezioni di quelle destinate a particolari usi;
c) perseguire usi sostenibili e durevoli delle risorse idriche, con priorità per quelle potabili;
d) mantenere la capacità naturale di autodepurazione dei corpi idrici, nonché la capacità di sostenere comunità animali e vegetali ampie e ben diversificate.

Con lo stesso provvedimento di giunta furono adottate le "prime misure di salvaguardia" relative ad aspetti per i quali appariva urgente e indispensabile anticipare l'applicazione delle misure di tutela:

- Misure di tutela quali-quantitativa dei corpi idrici sotterranei (Tavola B del PTA);
- Misure di salvaguardia per le zone di protezione speciale idrogeologica (Tavola A del PTA);
- Misure di intervento integrative che riguardano un tratto del Canale Principale AQP.

Esse hanno assunto carattere immediatamente vincolante per le amministrazioni, per gli enti pubblici, nonché per i soggetti privati. Tale determinazione si era resa necessaria in quanto le risultanze delle attività conoscitive messe in campo e sviluppate nello stesso Progetto di Piano avevano palesato la presenza di una serie di criticità sul territorio regionale, soprattutto con riferimento alle risorse idriche sotterranee, soggette a fenomeni di depauperamento, salinizzazione delle acque di falda ivi circolanti, a pressione antropica in senso lato. A tal proposito, il piano individuava, sulla base di specifici studi sui caratteri del sistema territorio-acque

sotterranee, alcuni comparti fisico-geografici da sottoporre a particolare tutela, in virtù della loro valenza idrogeologica. In tale ottica, attraverso l'analisi del bilancio idrologico delle risorse idriche sotterranee pugliesi è stato possibile valutare lo stato quantitativo della falda idrica sotterranea, a partire dalla stima indiretta dei volumi di ricarica, degli emungimenti per uso potabile, irriguo e industriale e degli scambi tra corpi idrici adiacenti. Lo stesso modello di analisi sviluppato ha consentito inoltre l'individuazione delle aree soggette a sovrasfruttamento della risorsa idrica sotterranea. Nello specifico, l'acquifero della Murgia, è risultato poco affetto da pressione antropica, tale da ingenerare squilibri alle risorse idriche sotterranee. Inoltre, attraverso l'analisi delle serie dei dati storici ed attuali, riguardanti il contenuto salino delle acque estratte dalla falda carsica profonda attraverso pozzi in pompaggio, è stato possibile valutare non solo la distribuzione del contenuto salino delle acque circolanti negli acquiferi, ma anche l'evoluzione del fenomeno di salinizzazione in atto causato dal perdurante sovra sfruttamento. Tale fenomeno, molto più preoccupante rispetto alle altre forme di inquinamento prodotte dalle attività antropiche, può essere arrestato solo riducendo le cause che lo determinano, ovvero riducendo i prelievi, non già per penalizzare le attività che della risorsa idrica sotterranea fanno uso, bensì in un'ottica di sostenibilità su lungo periodo dell'uso della risorsa stessa. A fronte di tale considerazione, nello stesso PTA sono state individuate le "*aree di tutela quali-quantitativa*" definite come quelle aree in corrispondenza delle quali attuare delle misure che limitino la progressione del fenomeno di contaminazione salina nell'entroterra, attraverso un uso della risorsa che minimizzi l'alterazione degli equilibri tra le acque dolci di falda e le sottostanti acque di mare di invasione continentale.

4 MODELLO GEOLOGICO DI SOTTOSUOLO

Nell'ambito dell'**"Intervento di chiusura definitiva dei lotti I e II nella discarica RSU in località <u>Puro Vecchio</u>, nel Comune di Trani"**, sono state eseguite diverse indagini dirette e indirette volte ad ispezionare il sottosuolo in esame e verificare eventuali problematiche connesse alla realizzazione dell'intervento.

In primo luogo, le indagini geoelettriche, che per lunghezza degli stendimenti, hanno restituito informazioni riguardo il sottosuolo relativamente ad un volume significativo più esteso, hanno permesso di definire la struttura di resistività del sottosuolo investigato come "complessa" e "articolata": la presenza di evidenti variazioni laterali di resistività sono correlabili ad un sottosuolo riferibile alla formazione calcarea interessata da fenomeni tettonici responsabili di un elevato grado di fratturazione e di alterazione e di una possibile diffusa presenza di vuoti e di sacche di "terra rossa"; in corrispondenza delle principali anomalie geolettriche, sia positive che negative, sono stati ubicati i sondaggi diretti, gli stendimenti sismici superficiali e le linee georadar con i quali è stato restituito un modello geo-litologico di maggiore dettaglio.

Dalle perforazioni di sondaggio, dalle prospezioni sismiche superficiali è emerso e dalle strisciate radar un quadro di maggiore dettaglio secondo cui il sottosuolo dell'area del I e del II Lotto è costituito, al di sotto di un primo strato di materiale di riporto di scarso 1.0 m, da un ammasso calcarenitico mediamente cementato e poco fratturato contraddistinto da valori delle onde P compresi tra 1370 m/s e 1450 m/s e presente fino a circa 9 m. A seguire, un ammasso calcareo compatto, mediamente fratturato e alterato con inclusioni terrose contraddistinto da valori delle onde P compresi tra 2300 m/s e 2350 m/s e presente fino alla massima profondità investigata.

Per entrambi i punti di indagine è stata registrata una velocità delle onde S maggiore di 800m/s già da 2 metri di profondità dal piano campagna, da ciò consegue che i terreni presenti sono riferibili alla **categoria sismica "A"**, definita dalla norma come "Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m".

Pericolosità geologica

Il contesto geologico in esame è quello di un'area tettonizzata in cui sono presenti sulle pareti di cava e nella restituzione dei dati sperimentali relativi alle indagini dirette e indirette i fenomeni di alterazione e carsificazione dell'ammasso.

Entro le profondità investigate, soprattutto mediante i carotaggi, il sottosuolo risulta interessato

da ampie porzioni di roccia molto fratturata con alternanza di zone a caratteristiche più resistenti. Inoltre, dal rilevamento della parete di cava sono state individuate molte discontinuità dell'ammasso roccioso.

Da un punto di vista geomorfologico il sito di interesse è classificato come forma di origine antropica e non si individuano elementi morfologici naturali che potrebbero definire un certo livello di pericolosità geologica.

Dal punto di vista del rischio idrogeologico, nel territorio in esame non si rintracciano aree perimetrate a Pericolosità Idraulica e a Pericolosità Geomorfologica.

Dal punto di vista della pericolosità sismica il sito ricade in zona sismica 3 (livello di pericolosità medio-basso, ovvero zone ove sono possibili scuotimenti modesti), nella fattispecie dell'intervento in progetto tale aspetto potrebbe essere rilevante, per la sicurezza delle persone, soltanto nei pressi delle pareti della cava.

Principali caratteristiche delle unità litologiche

Di seguito vengono forniti alcuni parametri fisico-meccanici correlabili alle principali caratteristiche geotecniche dell'unità litologica rinvenuta nell' area di studio.

La classificazione dell'ammasso roccioso è stata realizzata mediante la classificazione GSI (Geological Strength Index), che ha portato a definire i seguenti parametri fisico-meccanici:

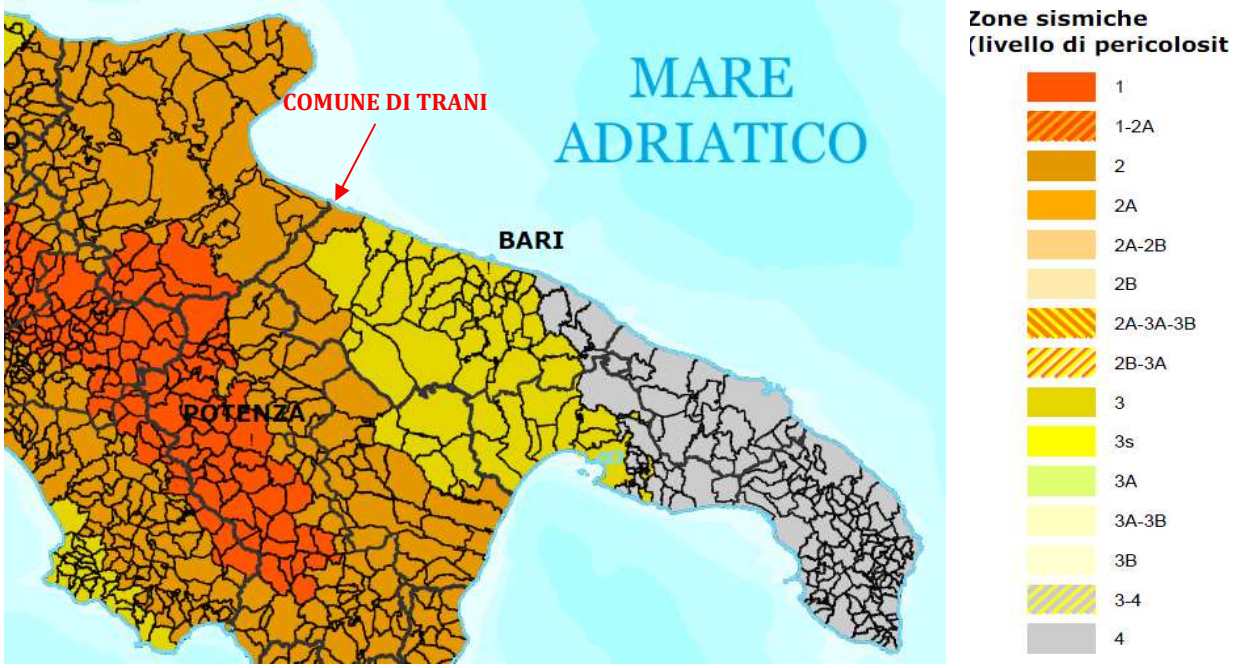
Parametri fisico-meccanici ipotizzati per gli ammassi calcarei:

peso di volume naturale	$\gamma = 2{,}4 \div 2{,}4$ g/cmc
angolo di attrito interno	$\varphi = 35°$ (litozone disarticolate) $\div 45°$
coesione drenata	c = 20 (litozone disarticolate) ÷ 35 KPa

5 CONSIDERAZIONI SISMOLOGICHE

Il comune di Trani (BT) in base alla classificazione sismica del 2015 di tutto il territorio nazionale, ricade in **zona sismica 3** (*livello di pericolosità media*).

Classificazione sismica 2012 - Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003



Alla luce delle attuali conoscenze si ritiene che non si pongono particolari problemi alla realizzazione delle opere in oggetto. Naturalmente si terrà conto di quanto riportato nelle Norme Tecniche delle Costruzioni del Gennaio 2018 che all'opera si deve attribuire un'accelerazione massima orizzontale con probabilità di superamento del 10% in 50 anni maggiore di 0.05 g, pari ad un'accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico sulla formazione di base (suoli di categoria "A") pari ad ag=**0.15g**. In particolare, le recenti norme superano il concetto della classificazione del territorio in zone, imponendo nuovi e precisi criteri di verifica dell'azione sismica nella progettazione delle nuove opere ed in quelle esistenti, valutata mediante una analisi della risposta sismica locale.

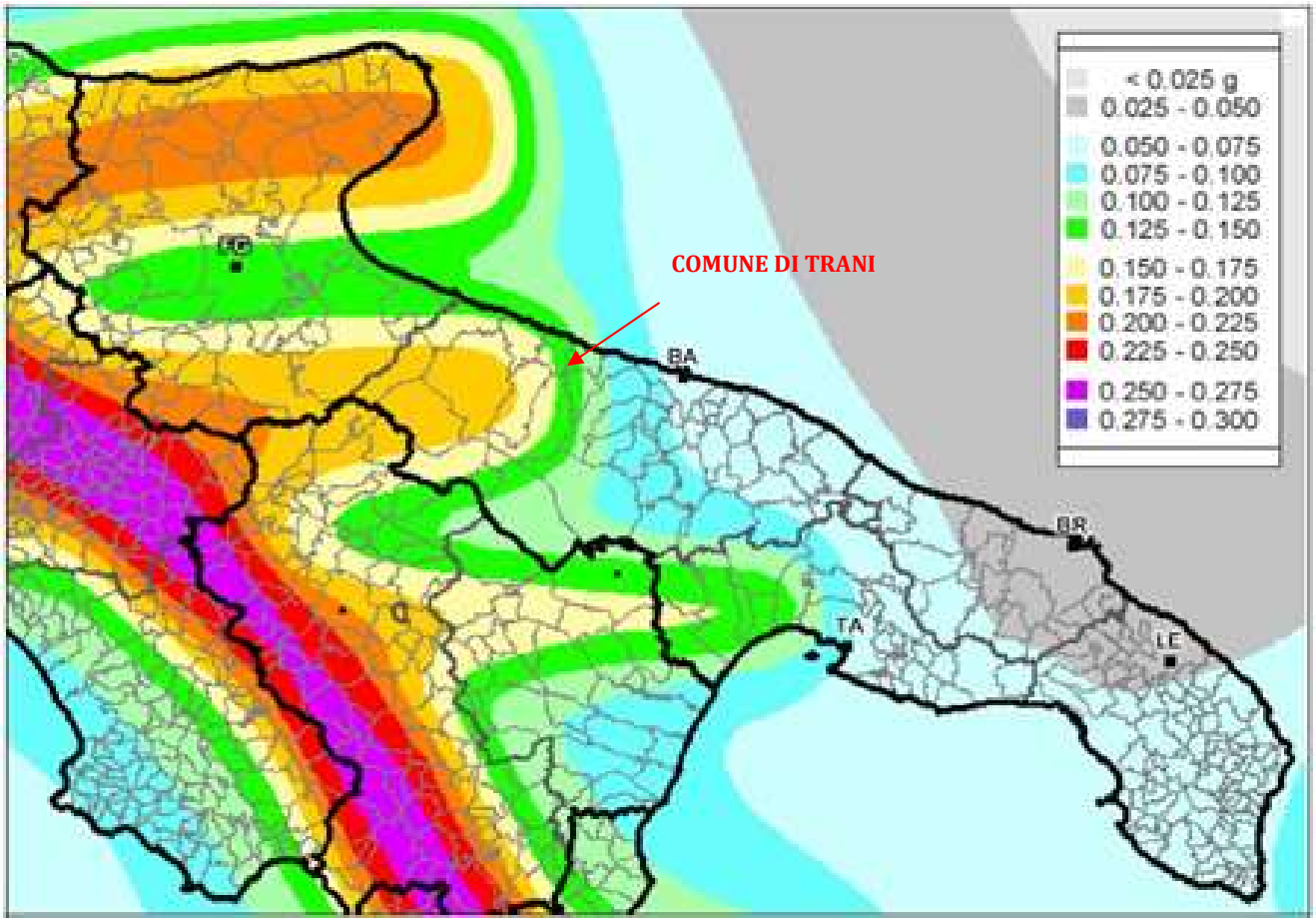
In assenza di queste analisi, la stima preliminare dell'azione sismica può essere effettuata sulla scorta delle "categorie di sottosuolo" e della definizione di una "pericolosità di base" fondata su un reticolo di punti di riferimento, costruito per l'intero territorio nazionale.

Ai punti del reticolo sono attribuiti, per nove differenti periodi di ritorno del terremoto atteso, i valori di ag e dei principali "parametri spettrali" riferiti all'accelerazione orizzontale, da utilizzare per il calcolo dell'azione sismica (fattore di amplificazione massima F_0 e periodo di inizio del tratto a velocità costante T^*_C). Il reticolo di riferimento ed i dati di pericolosità sismica vengono forniti

dall'INGV e pubblicati nel sito http://esse1.mi.ingv.it/.

Secondo le NTC l'area strettamente in esame è caratterizzata da un'accelerazione compresa tra 0.125 - 0.175 g, come evidenziato nella figura in cui è riportata la mappa di pericolosità sismica per il sito in questione, con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi (categoria A, Vs,eq>800m/sec).

Pericolosità sismica della Puglia (Fonte: INGV, Mappa della pericolosità sismica, 2004)



6 L'ELEVAZIONE DEL GRADO DI CONOSCENZA DELL'ASSETTO LITOSTRUTTURALE, ANTROPICO E DI PROFILO GEOLITOLOGICO RELITTO DA PALEOCAVA

La campagna geognostica condotta nell'area di interesse, volta alla determinazione delle caratteristiche idrologiche e geotecniche della litostruttura presente, è stata realizzata mediante l'esecuzione di:

- n.3 terebrazioni eseguite con il metodo di perforazione a distruzione di nucleo con diametro da 101 mm(S01, S02 ed S03 eseguiti rispettivamente fino a 10, 30 e 20 metri di profondità dal p.c.);
- prelievo di campioni di terra da sottoporre ad analisi per la definizione di unpiano di gestione delle terre e rocce da scavo;
- n.2 scavi geognostici (uno con superficie 1X1m circa ed uno di superficie 2X2m circa) per l'esecuzione di prove di permeabilità in pozzetto;
- n.2 prove di permeabilità in foro;
- n.2 tomografie sismiche a rifrazione in onde p per la ricostruzione della sismostratigrafia locale;
- n.2 indagini sismiche MASW per la determinazione della VSeq per la determinazione della categoria di suolo ai sensi dell'NTC del D.M 17 gennaio 2018;
- n. 2 tomografie geoelettriche per la ricostruzione del modello elettrico del terreno;
- una indagine georadar di superficie per l'individuazione di anomalie nel sottosuolo utilizzando contemporaneamente 2 antenne a frequenza centrale di 270 e 400 MHz;
- n. 3 acquisizione georadar eseguite all'interno dei sondaggi geognostici con antenna da 500 MHz;
- n. 3 videoispezioni eseguite all'interno dei sondaggi geognostici realizzati.

Alla luce di tutte le indagini esperite, quindi, è stato possibile ricostruire la stratigrafia nell'area interessata, determinare le caratteristiche idrostrutturali e di permeabilità dei terreni presenti, e determinare le caratteristiche geotecniche dei terreni su cui saranno realizzate le opere di drenaggio delle acque meteoriche e le opere di captazione e stoccaggio del percolato.

Si sottolinea che, essendo stata modificata l'ubicazione della vasca di disperdente in seguito all'incontro avvenuto in data 26/04/2018 tra il RTP e AMIU S.p.A, le indagini eseguite si riferiscono ad un'area adiacente a quella che sarà l'area di sedime definitiva della vasca, pertanto, considerata la vicinanza delle due zone è ragionevole estendere le risultanze delle indagini eseguite anche alla nuova area individuata, fermo restando l'esecuzione di ulteriori prove di

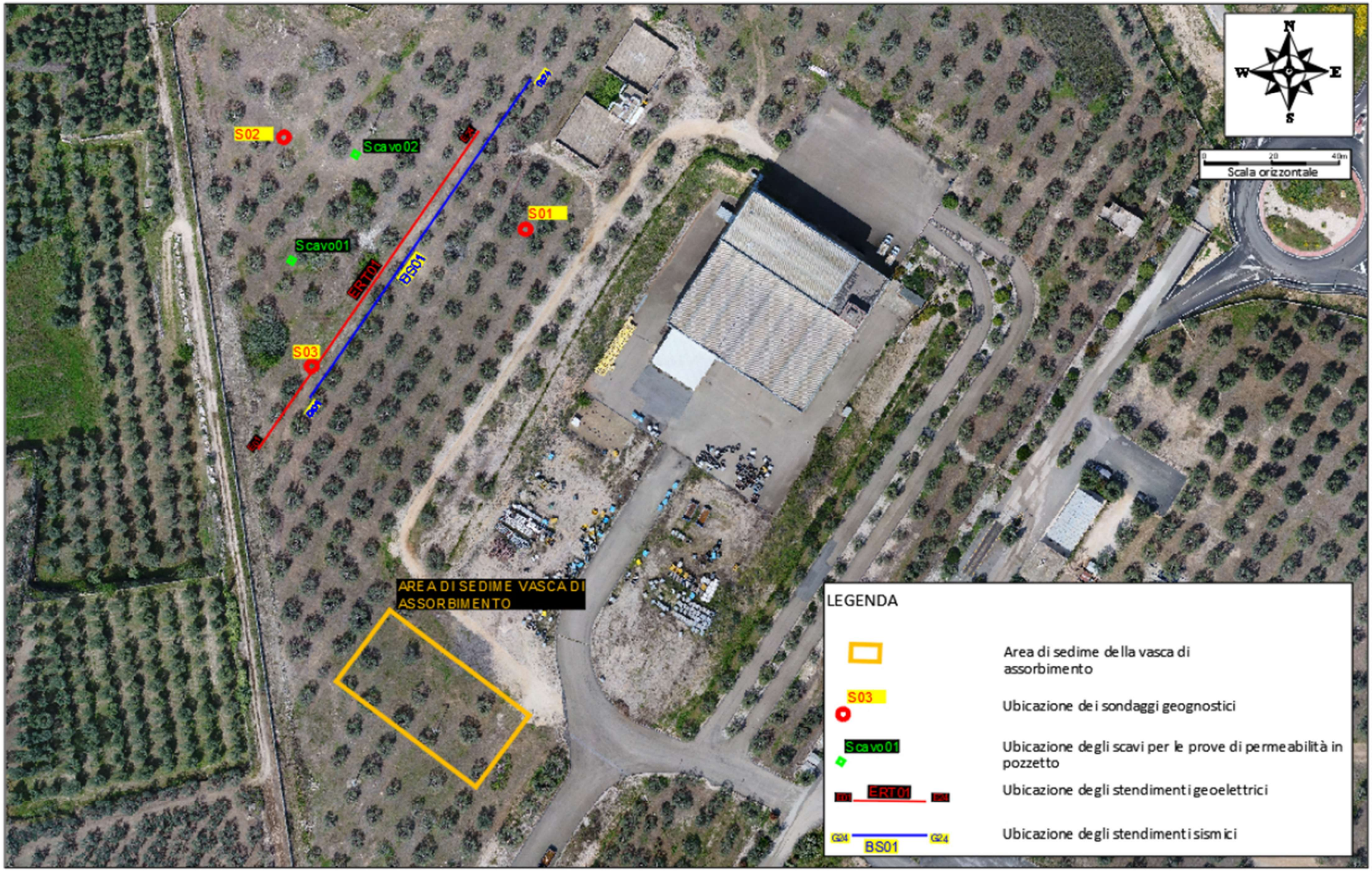
assorbimento in corrispondenza della esatta ubicazione della futura vasca disperdente.

Sicché, è stato elevato il grado di attenzione mediante il controllo di secondo livello del professionista geologo presenziante, con riesame del materiale attraversato e delle profondità raggiunte; infatti, seppur i sondaggi geognostici siano stati condotti a distruzione di nucleo, è stato possibile determinare con buon grado di dettaglio la stratigrafia, grazie ad una analisi visiva del materiale di risulta e grazie anche alle videoispezioni eseguite in tutti i fori di sondaggio, che hanno mostrato un banco calcarenitico poco fratturato, meno interessato della deformazione tettonica, ed un banco calcareo molto fratturato con presenza di alcune cavità carsiche che ha mostrato, dalla prova di permeabilità eseguita nel foro S03, di poter assorbire una portata d'acqua superiore a 10 l/s.

In riferimento all'impianto di captazione e stoccaggio del percolato sono stati indicati i principali parametri geotecnici dei 5 punti in cui saranno realizzate le opere di cui 4 punti di raccolta del percolato ubicati sul corpo di discarica del I Lotto e un punto di stoccaggio ubicato subito a nord del I Lotto dove affiora la roccia calcarea. Per la caratterizzazione della roccia calcarea è stata eseguita una indagine sismica e geoelettrica a nord della discarica.

Di seguito si mostrano le planimetrie con le ubicazioni delle indagini condotte e a seguire le schede stratigrafiche dei sondaggi e i fogli di calcolo delle permeabilità.

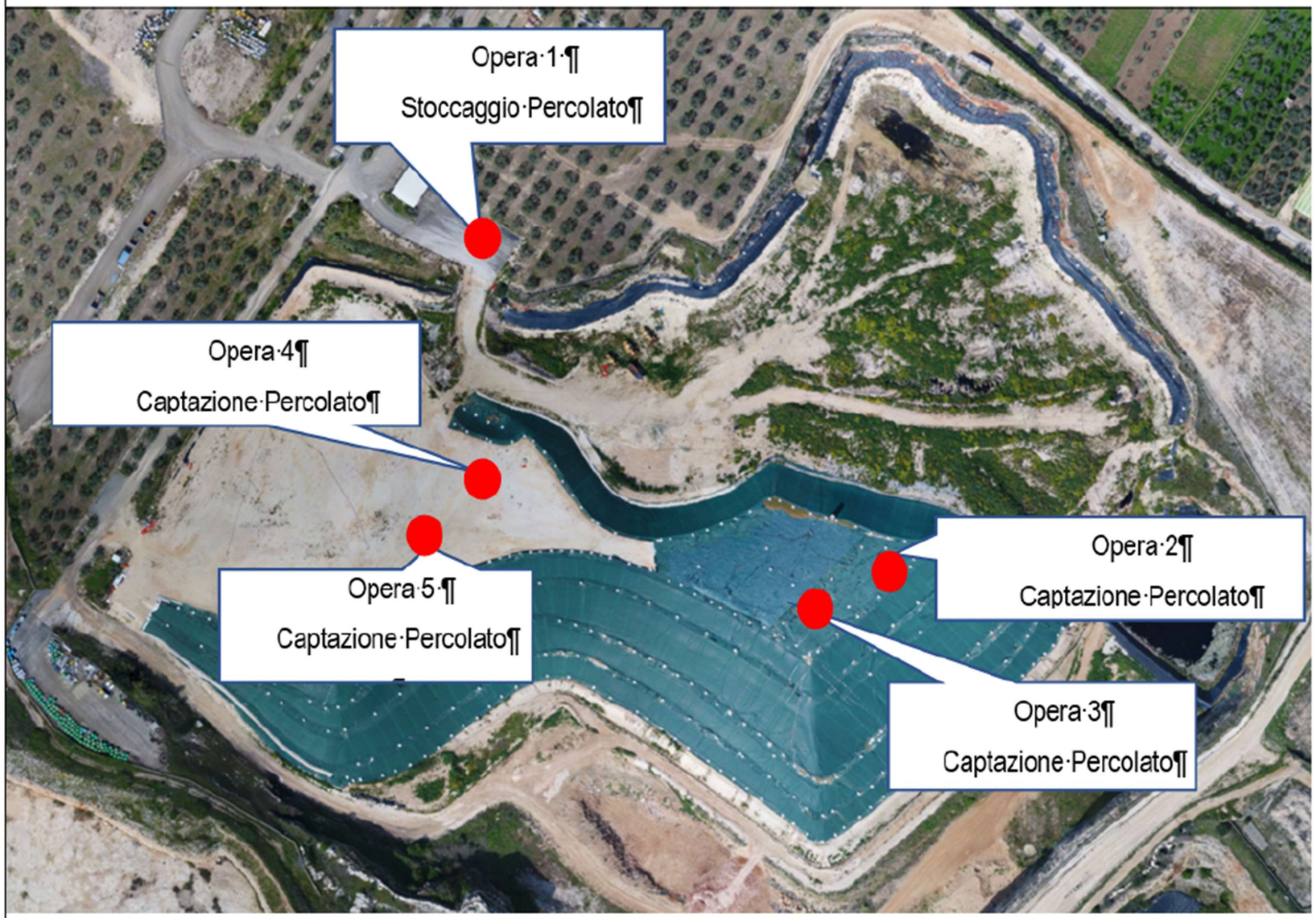
ALLEGATO 01A: PLANIMETRIA CON UBICAZIONE DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE ESEGUITE IN CORRISPONDNEZA DELLA TRINCEA DISPERDENTE - Località Puro vecchio Trani - Scala 1:1000



ALLEGATO 01B: PLANIMETRIA CON UBICAZIONE DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE ESEGUITE PER LA CARATTERIZZAZIONE DELLA ROCCIA CALCAREA

Località Puro vecchio Trani - Scala 1:1000

Ubicazione delle opere da realizzare per la captazione e stoccaggio del percolato



Opera 1 – Impianto di stoccaggio: Roccia Calcarea

- Peso di volume della roccia: **2,45 g/cm^3**
- Coesione: **2,7 Kg/cm^2**
- Angolo di attrito: **33°**

Opera 2 – Opera di captazione percolato: Presenza di RSU

- Peso di volume della roccia: **1,48 g/cm^3**
- Coesione: **0 Kg/cm^2**
- Angolo di attrito: **20°**

Opera 3 – Opera di captazione percolato: Presenza di RSU

- Peso di volume della roccia: **1,48 g/cm^3**
- Coesione: **0 Kg/cm^2**
- Angolo di attrito: **20°**

Opera 4: – Opera di captazione percolato: Presenza di RSU

- Peso di volume della roccia: **1,48 g/cm^3**
- Coesione: **0 Kg/cm^2**
- Angolo di attrito: **20°**

Opera 5– Opera di captazione percolato: Presenza di RSU

- Peso di volume della roccia: **1,48 g/cm^3**
- Coesione: **0 Kg/cm^2**
- Angolo di attrito: **20°**

Ubicazione delle opere in cemento armato

Stratigrafie dei sondaggi geognostici eseguiti

Stratigrafia del Sondaggio S01 da 0 a 10 metri

Committente: Studio R.B.A. Romanazzi – Boscia srl	*Regione:* Puglia *Comune:* TRAN I (BT)
Oggetto: Indagini geognostiche per gli interventimessa in sicurezza del sito di discarica di rifiuti solidi urbani in località Puro Vecchio - Trani	*Località:* Puro Vecchio *Quota:* 56.59 m.s.l.m.
	COORD. (UTM33 WGS84) *Y:* 4568260.897174 - *X=*613697.249663
Impresa esecutrice: **Apogeo S.r.l.**	*Metodo di perforazione:* Distruzione di nucleo
ApoGeo Via Caduti di Nassiriya 170- 70022 Altamura (BA) Att. SOA OS20A Class. I - OS20B Class. II-B	*Doppio carotiere:* No *Rivestimento foro:* NO
Redattore Stratigrafia: Dott. Geol. Pietro PEPE Dott. Geol. Salvatore TANCREDI	*Diametro di perforazione:* 101 mm
	Data: 13/04/2018

Profondità (metri)	Colonna Stratigrafica	Spessori (metri)	DESCRIZIONE LITOLOGICA	Fissi	RIVESTIMENTO PROVVISORIO	CAMPIONI GEOTECNICI	CAMPIONI AMBIENTALI
		0.50	Terreno vegetale		1.50		
1		1.50	Calcarenite mediamente cementata e poco fratturata				S1.C1 a 01.50m
2							
3							S1.C2 a 1.50m
4							S1.C3 a 3.00m
5							
6		8.00	Calcari da mediamente a molto fratturati. Presenza di vuoti e sacche di terra rossa				
7							
8							
9							
10							

FONDO FORO 10m

Stratigrafia del Sondaggio S02 da 0 a 20 metri

Committente: Studio R.B.A. Romanazzi – Boscia srl	*Regione:* Puglia *Comune:* TRAN I (BT)
Oggetto: Indagini geognostiche per gli interventimessa in sicurezza del sito di discarica di rifiuti solidi urbani in località Puro Vecchio - Trani	*Località:* Puro Vecchio *Quota:* 52.65 m.s.l.m.
	COORD. (UTM33 WGS84) *Y:* 4568288.207275 - *X=*613625.503392
Impresa esecutrice: **Apogeo S.r.l.**	*Metodo di perforazione:* Distruzione di nucleo
ApoGeo Via Caduti di Nassiriya 170- 70022 Altamura (BA) Att. SOA OS20A Class. I - OS20B Class. II-B	*Doppio carotiere:* No *Rivestimento foro:* NO
Redattore Stratigrafia: Dott. Geol. Pietro PEPE Dott. Geol. Salvatore TANCREDI	*Diametro di perforazione:* 101 mm
	Data: 12/04/2018

Profondità (metri)	Colonna Stratigrafica	Spessori (metri)	DESCRIZIONE LITOLOGICA	Fossi	RIVESTIMENTO PROVVISORIO	CAMPIONI GEOTECNICI	CAMPIONI AMBIENTALI
		0.80	Terreno vegetale		1.60		
1 2 3 4 5 6 7 8 9		8.20	Calcarenite mediamente cementata e poco fratturata				
10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20		11.00	Calcari da mediamente a molto fratturati. Presenza di vuoti e sacche di terra rossa				

Stratigrafia del Sondaggio S02 da 20 a 30 metri

Committente: Studio R.B.A. Romanazzi – Boscia srl	*Regione:* Puglia *Comune:* TRAN I (BT)
Oggetto: Indagini geognostiche per gli interventimessa in sicurezza del sito di discarica di rifiuti solidi urbani in località Puro Vecchio - Trani	*Località:* Puro Vecchio *Quota:* 52.65 m.s.l.m.
	COORD. (UTM33 WGS84) *Y:* 4568288.207275 - *X=*613625.503392
Impresa esecutrice: **Apogeo S.r.l.** ApoGeo Via Caduti di Nassiriya 170- 70022 Altamura (BA) Att. SOA OS20A Class. I - OS20B Class. II-B	*Metodo di perforazione:* Distruzione di nucleo
	Doppio carotiere: No *Rivestimento foro:* NO
Redattore Stratigrafia: Dott. Geol. Pietro PEPE Dott. Geol. Salvatore TANCREDI	*Diametro di perforazione:* 101 mm
	Data: 12/04/2018

Profondità (metri)	Colonna Stratigrafica	Spessori (metri)	DESCRIZIONE LITOLOGICA	Foto	RIVESTIMENTO PROVVISORIO	CAMPIONI GEOTECNICI	CAMPIONI AMBIENTALI
21							
22							
23							
24							
25		10.00	Calcari da mediamente a molto fratturati. Presenza di vuoti e sacche di terra rossa				
26							
27							
28							
29							
30							

FONDO FORO 30m

Stratigrafia del Sondaggio S03 da 0 a 20 metri

Committente: Studio R.B.A. Romanazzi – Boscia srl	*Regione:* Puglia *Comune:* TRAN I (BT)
Oggetto: Indagini geognostiche per gli interventimessa in sicurezza del sito di discarica di rifiuti solidi urbani in località Puro Vecchio - Trani	*Località:* Puro Vecchio *Quota:* 52.65 m.s.l.m.
	COORD. (UTM33 WGS84) *Y:* 4568288.207275 - *X=*613625.503392
Impresa esecutrice: **Apogeo S.r.l.**	*Metodo di perforazione:* Distruzione di nucleo
ApoGeo Via Caduti di Nassiriya 170- 70022 Altamura (BA) Att. SOA OS20A Class. I - OS20B Class. II-B	*Doppio carotiere:* No *Rivestimento foro:* NO
Redattore Stratigrafia: Dott. Geol. Pietro PEPE Dott. Geol. Salvatore TANCREDI	*Diametro di perforazione:* 101 mm *Data:* 12/04/2018

Profondità (metri)	Colonna Stratigrafica	Spessori (metri)	DESCRIZIONE LITOLOGICA	Fossi	RIVESTIMENTO PROVVISORIO	CAMPIONI GEOTECNICI	CAMPIONI AMBIENTALI
1 2 3 4 5 6 7		7.00	Terreno vegetale con inclusione di blocchi calcarei in assetto caotico. Materiali di riporto		1.60		
8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20		13.00	Calcari da mediamente a molto fratturati. Presenza di vuoti e sacche di terra rossa FONDO FORO 20m				

DATI OTTENUTI DALLA PROVA DI PERMEABILITÀA CARICO COSTANTE ESEGUITA NEL SONDAGGIO S02

Apogeo S.r.l.
Via Caduti di Nassiriya 170 – 70022 Altamura (BA)
P. IVA: 01037210778 Tel. e fax. 080/3143324
Email: apogeo.altamura@libero.it
www.apogeo.biz

PROVA DI PERMEABILITÀ ESEGUITA A CARICO COSTANTE (A.G.I. 1977)

SONDAGGIO N. S02

Stazione appaltante:	
Direttore dei Lavori:	
Località:	Discarica di Tranti (BT)
Oggetto dell'appalto:	
Data:	13/04/2018
Impresa esecutrice:	Apogeo srl
Geologo di cantiere:	Dr. Geol. Pietro Pepe
Assistente:	
Diametro foro sondaggio (m):	0.101
Falda	ASSENTE
Inzio tratto di prova (m dal p.c):	0.2
Fine tratto di prova (m dal p.c):	8
Lunghezza tratto di prova (m):	7.8
Coefficiente di Forma (m)	9.7184955
Litologia:	Calcarenite

FORMULA PER IL CALCOLO DEL COEFFICIENTE DI FORMA DA NORMATIVA A.G.I.:

$$C_F = \frac{2\pi D\sqrt{\left(\frac{L}{D}\right)^2 - 1}}{\ln\left(\frac{L}{D} + \sqrt{\left(\frac{L}{D}\right)^2 - 1}\right)} = 6.8319452$$

CALCOLO DELLA PERMEABILITA' (K) IN m/sec

Formula AGI 1977:

$$K = \frac{q}{C_F \bullet h} \bullet \frac{1}{100}$$

Metodo Nasberg-Tertetskata:

$$K = \frac{0{,}423}{\Delta h^2} * q * \log \frac{4 * \Delta h}{d}$$

Parametro	Prova n° 1	Prova n° 2	Prova n° 3	Media
Q (quantità immessa in l)	100	100		
T (in sec)	1600	1600		
q (portata immessa in m^3/sec)	0.000063	0.000063		
h (livello acqua dal fondo foro in m)	7.8	7.8		
d (diametro del foro in metri)	0.101	0.101		
K (coefficiente di permeabilità in m/sec)	8.24E-07	8.24E-07		8.24E-07
K (con il metodo Nasberg in m/sec)	1.08E-06	1.08E-06		1.08E-06

DATI OTTENUTI DALLA PROVA DI PERMEABILITÀA CARICO VARIABILE ESEGUITA NEL SONDAGGIO S02

Apogeo Soc. Coop. a r.l.
Via Claudio Monteverdi, 1 – 70022 Altamura (BA)
P. IVA: 01037210778 Tel. e fax. 080/3143324
Email: apogeo.altamura@libero.it
www.apogeo.biz

PROVA DI PERMEABILITÀ ESEGUITA A CARICO VARIABILE (A.G.I. 1977)

SONDAGGIO N. 02

Stazione appaltante:	
Direttore dei Lavori:	
Località:	Discarica di Tranti (BT)
Oggetto dell'appalto:	
Data:	13/04/2018
Impresa esecutrice:	Apogeo srl
Geologo di cantiere:	Dr. Geol. Pietro Pepe
Assistente:	
Diametro foro sondaggio (m):	0.101
Falda	ASSENTE
Inzio tratto di prova (m dal p.c):	0.2
Fine tratto di prova (m dal p.c):	8
Lunghezza tratto di prova (m):	7.8
Coefficiente di Forma (m)	0
Litologia:	Calcarenite

FORMULA PER IL CALCOLO DEL COEFFICIENTE DI FORMA DA NORMATIVA A.G.I.:

$$C_F = \frac{2\pi D\sqrt{\left(\frac{L}{D}\right)^2 - 1}}{\ln\left(\frac{L}{D} + \sqrt{\left(\frac{L}{D}\right)^2 - 1}\right)} = 6.8319452$$

CALCOLO DELLA PERMEABILITA' (K) IN m/sec

Formula AGI 1977:

$$K = \frac{A}{C_F * (t_2 - t_1)} \bullet \ln\frac{h_1}{h_2}$$

N.LETTURA	INTERVALLO DI TEMPO (sec)	LIVELLO PIEZOMETRICO (m)	COEFFICIENTE DI FORMA	PERMEABILITA' K (m/s)
1	0	-0.2		
2	60	-0.3	9.718495507	2.34E-06
3	140	-0.4	9.718495507	1.79E-06
4	270	-0.6	9.718495507	2.98E-06
5	380	-0.8	9.718495507	1.37E-06
6	550	-1	9.718495507	1.06E-06
7	720	-1.2	9.718495507	1.13E-06
8	850	-1.4	9.718495507	1.13E-06

Valore medio della permeabilità = 1.69E-06 m/s

DATI OTTENUTI DALLA PROVA A CARICO DI PERMEABILITÀCOSTANTE ESEGUITA NEL SONDAGGIO S03

Apogeo S.r.l.
Via Caduti di Nassiriya 170 – 70022 Altamura (BA)
P. IVA: 01037210778 Tel. e fax. 080/3143324
Email: apogeo.altamura@libero.it
www.apogeo.biz

PROVA DI PERMEABILITÀ ESEGUITA A CARICO COSTANTE (A.G.I. 1977)

SONDAGGIO N. S03

Stazione appaltante:	
Direttore dei Lavori:	
Località:	Discarica di Tranti (BT)
Oggetto dell'appalto:	
Data:	13/04/2018
Impresa esecutrice:	Apogeo srl
Geologo di cantiere:	Dr. Geol. Pietro Pepe
Assistente:	
Diametro foro sondaggio (m):	0.101
Falda	ASSENTE
Inzio tratto di prova (m dal p.c):	13
Fine tratto di prova (m dal p.c):	20
Lunghezza tratto di prova (m):	7
Coefficiente di Forma (m)	8.9129425
Litologia:	Calcare

FORMULA PER IL CALCOLO DEL COEFFICIENTE DI FORMA DA NORMATIVA A.G.I.:

$$C_F = \frac{2\pi D\sqrt{\left(\frac{L}{D}\right)^2 - 1}}{\ln\left(\frac{L}{D} + \sqrt{\left(\frac{L}{D}\right)^2 - 1}\right)} = 6.8319452$$

CALCOLO DELLA PERMEABILITA' (K) IN m/sec

Formula AGI 1977:

$$K = \frac{q}{C_F \bullet h} \bullet \frac{1}{100}$$

Metodo Nasberg-Tertetskata:

$$K = \frac{0{,}423}{\Delta h^2} * q * \log \frac{4 * \Delta h}{d}$$

Parametro	Prova n° 1	Prova n° 2	Prova n° 3	Media
Q (quantità immessa in l)	9000			
T (in sec)	900			
q (portata immessa in m^3/sec)	0.010000			
h (livello acqua dal fondo foro in m)	7			
d (diametro del foro in metri)	0.101			
K (coefficiente di permeabilità in m/sec)	1.60E-04			1.60E-04
K (con il metodo Nasberg in m/sec)	2.11E-04			2.11E-04

PROVA DI PERMEABILITÀ A CARICO COSTANTE ESEGUITA NELLO SCAVO 01

ApoGeo
pogeo S.r.l.
la Caduti di Nassiriya 170 – 70022 Altamura (BA)
. IVA: 01037210778 Tel. e fax. 080/3143324
mail: apogeo.altamura@libero.it
www.apogeo.biz

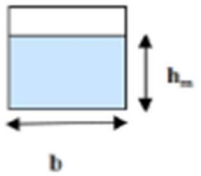
PROVA DI PERMEABILITÀ ESEGUITA A CARICO COSTANTE (A.G.I. 1977)

Scavo01

Stazione appaltante:	
Direttore dei Lavori:	
Località:	TRANI (BT)
Oggetto dell'appalto:	
Data:	13/04/2018
Impresa esecutrice:	Apogeo s.r.l.
Geologo di cantiere:	Dr. Geol. Pietro Pepe
Falda	ASSENTE
Litologia:	Terreno vegetale con inclusioni di blocchi calcarei

FORMULA PER IL CALCOLO DEL COEFFICIENTE DI FORMA DA NORMATIVA A.G.I.:

$$K = Q / b^2 * 1/27(h_m/b) + 8$$



		Prova n°	Prova n°	Prova n°	Media
Q (quantità d'acqua assorbita dal terreno nel tempo	Assorbimento: l	5	5		
durante la prova)	Tempo trascorso: sec.	721	760		
h_m (altezza media dell'acqua nel pozzetto: cm)		120	119		
b (lato della base del pozzetto: cm)		200	200		
K (coefficiente di permeabilità: cm/sec)		9.08E-06	8.74E-06		8.89E-06
K (coefficiente di permeabilità: m/sec)		9.08E-08	8.74E-08		8.89E-08

PROVA DI PERMEABILITÀ A CARICO VARIABILE ESEGUITA NELLO SCAVO 01

Apogeo S.r.l.
Via Caduti di Nassiriya 170 – 70022 Altamura (BA)
P. IVA: 01037210778 Tel. e fax. 080/3143324
Email: apogeo.altamura@libero.it
www.apogeo.biz

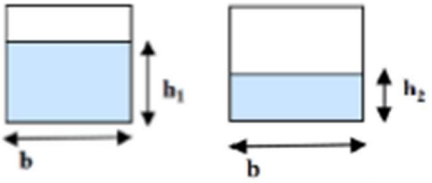
PROVA DI PERMEABILITÀ ESEGUITA A CARICO VARIABILE (A.G.I. 1977)

Scavo 01

Stazione appaltante:	
Direttore dei Lavori:	
Località:	TRANI (BT)
Oggetto dell'appalto:	
Data:	13/04/2018
Impresa esecutrice:	Apogeo s.r.l.
Geologo di cantiere:	Dr. Geol. Pietro Pepe
Falda	ASSENTE
Litologia:	Terreno vegetale con inclusioni di blocchi calcarei

FORMULA PER IL CALCOLO DEL COEFFICIENTE DI FORMA DA NORMATIVA A.G.I.:

$$K = h_1 - h_2/t_2 - t_1 * 1 + (2h_m/b)/27 * (h_m/b) + 3$$



	Prova n° 1	Prova n° 2	Prova n° 3	Media
h_1 (altezza iniziale del livello dell'acqua: cm)	119	117		
h_2 (altezza finale del livello dell'acqua: cm)	117	116		
$t_2 - t_1$ (tempo trascorso per il raggiungimento di h_2 :m	62	66		
h_m (altezza media tra h_1 e h_2: cm)	118	116		
b (lato della base del pozzetto: cm)	200	200		
K (coefficiente di permeabilità: cm/sec)	6.19E-06	5.94E-06		6.06E-06
K (coefficiente di permeabilità: m/sec)	6.19E-07	5.94E-07		6.06E-07

PROVA A CARICO COSTANTE ESEGUITA NELLO SCAVO 02

ApoGeo
geo S.r.l.
Caduti di Nassiriya 170 – 70022 Altamura (BA)
/A: 01037210778 Tel. e fax. 080/3143324
il: apogeo.altamura@libero.it
w.apogeo.biz

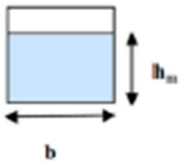
PROVA DI PERMEABILITÀ ESEGUITA A CARICO COSTANTE (A.G.I. 1977)

Scavo 02

Stazione appaltante:	
Direttore dei Lavori:	
Località:	TRANI (BT)
Oggetto dell'appalto:	
Data:	13/04/2018
Impresa esecutrice:	Apogeo s.r.l.
Geologo di cantiere:	Dr. Geol. Pietro Pepe
Falda	ASSENTE
Litologia:	Calcarenite

FORMULA PER IL CALCOLO DEL COEFFICIENTE DI FORMA DA NORMATIVA A.G.I.:

$$K = Q / b^2 * 1/27(h_m/b)+3$$



		Prova n° 1	Prova n° 2	Prova n° 3	Media
Q (quantità d'acqua assorbita dal terreno nel tempo	Assorbimento: l	100	100	100	
durante la prova)	Tempo trascorso: sec.	260	270	800	
h_m (altezza media dell'acqua nel pozzetto: cm)		108	108	108	
b (lato della base del pozzetto: cm)		110	110	110	
K (coefficiente di permeabilità: cm/sec)		1.17E-03	1.06E-03	9.74E-04	1.08E-03
K (coefficiente di permeabilità: m/sec)		1.17E-05	1.06E-05	9.74E-06	1.08E-05

PROVA A CARICO VARIABILE ESEGUITA NELLO SCAVO 02

ApoGeo
geo S.r.l.
Caduti di Nassiriya 170 – 70022 Altamura (BA)
VA: 01037210778 Tel. e fax. 080/3143324
ail: apogeo.altamura@libero.it
w.apogeo.biz

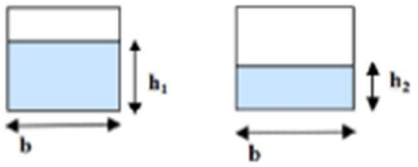
PROVA DI PERMEABILITÀ ESEGUITA A CARICO VARIABILE (A.G.I. 1977)

Scavo 02

Stazione appaltante:	
Direttore dei Lavori:	
Località:	TRANI (BT)
Oggetto dell'appalto:	
Data:	13/04/2018
Impresa esecutrice:	Apogeo s.r.l.
Geologo di cantiere:	Dr. Geol. Pietro Pepe
Falda	ASSENTE
Litologia:	Calcarenite

FORMULA PER IL CALCOLO DEL COEFFICIENTE DI FORMA DA NORMATIVA A.G.I.:

$$K = h_1 - h_2/t_2 - t_1 * 1 + (2h_m/b)/27 * (h_m/b) + 3$$



	Prova n° 1	Prova n° 2	Prova n° 3	Prova n° 4	Media
h_1 (altezza iniziale del livello dell'acqua: cm)	108	100	95	80	
h_2 (altezza finale del livello dell'acqua: cm)	100	95	80	48	
$t_2 - t_1$ (tempo trascorso per il raggiungimento di h_2: min)	2.7	2.4	12.8	70	
h_m (altezza media tra h_1 e h_2: cm)	101.5	97.5	87.5	64	
b (lato della base del pozzetto: cm)	110	110	110	110	
K (coefficiente di permeabilità: cm/sec)	1.89E-03	8.57E-03	2.07E-03	8.81E-04	2.51E-03
K (coefficiente di permeabilità: m/sec)	1.89E-05	8.57E-05	2.07E-05	8.81E-06	2.51E-05

7 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Le indagini geofisiche eseguite hanno permesso di mettere in evidenza la presenza di materiale di riempimento nella parte più a ovest dell'area che sarà occupata dalla trincea drenante, pertanto la vasca sarà realizzata per una parte all'interno del banco calcarenitico e per una parte all'interno del materiale di riporto, che, come osservato dallo scavo 1, presenta una bassa permeabilità pari a 6.06*10-7. In questo caso la portata che riuscirebbe a smaltire la trincea drenante si dimezzerebbe, pertanto, alla luce di questa osservazione, si suggerisce di
eseguire un numero di pozzi adeguato alle portate da smaltire. Considerato che i pozzi anidri da realizzare avranno una profondità di circa 30 metri, e che le quote al piano campagna si aggirano intorno ai 50 m.s.l.m., è possibile stimare un franco di sicurezza di almeno 10 metri dal livello della falda.

Sia nella zona dove saranno realizzate le trincee drenanti, caratterizzate da roccia calcarenitica in superficie, che nella zona a nord della cava, per la caratterizzazione della roccia calcarea, sono state condotte indagini sismiche a rifrazione per la stima della velocità delle onde S così da poter definire la categoria di suolo ai sensi delle recenti Norme Tecniche di Costruzione del D.M 17 gennaio 2018. Per entrambi i punti di indagine è stata registrata una velocità delle onde S maggiore di 800m/s già da 2 metri di profondità dal piano campagna, da ciò consegue che i terreni presenti sono riferibili alla categoria sismica "A", definita dalla norma come "Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m".

Inoltre sono state eseguite indagini sismiche a rifrazione in onde P che hanno permesso di ricostruire la sismostratigrafia locale e definire le principali caratteristiche geotecniche dei terreni in corrispondenza degli stendimenti sismici.

Nelle planimetrie precedentemente esposte sono indicate le ubicazioni degli stendimenti sismici eseguiti; di seguito sono riportati i principali moduli elastici dei terreni riguardanti gli stendimenti sismici eseguiti, nonché alcuni parametri geotecnici caratteristici. Per maggiori dettagli si rimanda alla relazione tecnica redatta dalla impresa Apogeo s.r.l. e allegata al presente documento.

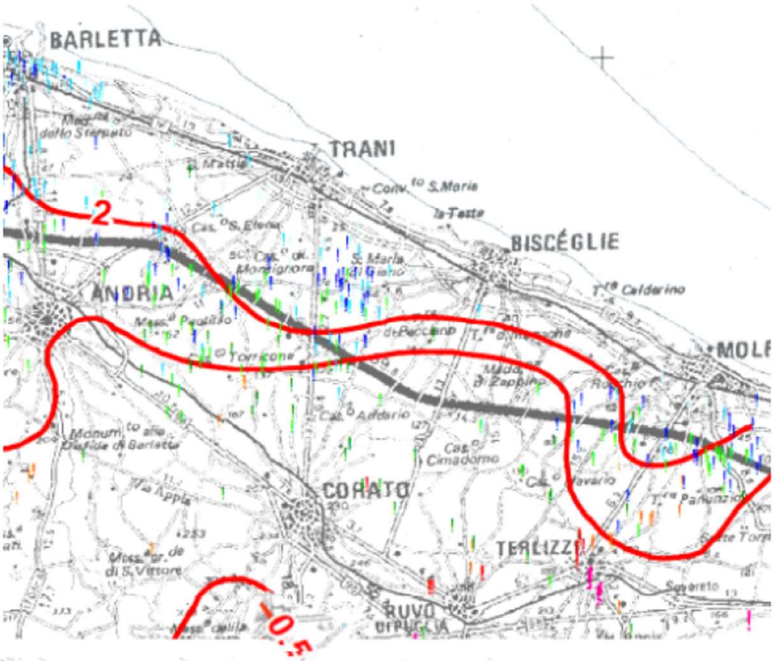
BASE SISMICA 01 - STIMA DEI MODULI DINAMICI

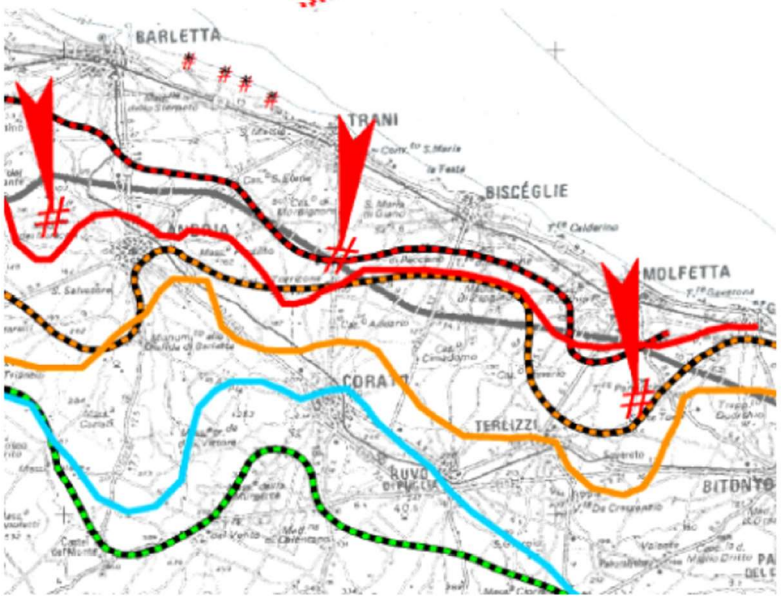
	STRATO 1	STRATO 2	STRATO 3
Velocità onde P (m/s):	480	1370	2300
Velocità onde S (m/s):	200	802	1400
V_{LAB} = Velocità onde P di laboratorio (m/s):	6000	6000	6000
SPESSORE MEDIO STRATO (m)	1.00	5.00	10.00
Profondità Media Strato (m)	0.50	3.50	11.00
Modulo di Poisson (ν)	0.39	0.24	0.21
Densità naturale (γ_{nat} in gr/cm³)	1.45	1.88	2.14
Porosità % (Ø) (correlazione Rzhevsky e Novik (1971)	46.26%	37.94%	29.25%
MOD. di YOUNG DINAMICO - (E_{din} in Mpa o Nmm²)	159	2944	9935
MOD. di TAGLIO DINAMICO (G_{din} in Mpa o Nmm²) Gdin = Edin/((2*(1+ν))	57	1188	4120
MOD. di BULK (K) (Mpa o Nmm²): $K=E_{din}/(3*(1-2*\nu))$	252	1882	5627
MOD. di YOUNG STATICO (E_{stat} in Mpa o Nmm²) (Rzhevsky et all, 1971)	19	355	1197
MOD. di TAGLIO STATICO (G_{stat} in Mpa o Nmm²)	7	143	496
MOD. DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (M in Kg/cm²) (da velocità onde P e densità) γ*vp² (valido per le terre)	334	3534	11339
MOD. DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (M in Kg/cm²) M = E * [(1-ν) / (1-ν-2*ν^2)] (relazione di NAVIER)	400	4257	13660
Rigidità Sismica (γ*V_p) (Tonn/m²*sec)	290	1510	3001
Frequenza dello Strato	50	40	35
Periodo dello Strato	0.02	0.02	0.03
CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DELLE TERRE (NON VALIDO PER LE ROCCE)			
SPT (N) VALUE (Imai and Yoshimura, 1977)	19	>50	>50
Cu (coesione non drenata in Kg/cm²=(Vs/23)$^{1/0,478}$*0,010197 (Dickenson 1990))	0.97	18.02	58.22
Cu=(coesione non drenata=(Vs-17,5)/2,63 *0,010197 (Oh et al. 2008))	0.71	3.04	5.36
Cu=(coesione non drenata=(Vs/7,93)$^{1/0,65}$ *0,010197 (Levesques et al. 2007)	1.71	15.52	37.58
Cu=(coesione non drenata=(Vs/187)$^{1/0,872}$ *0,010197*100 da prove DH - Likitlersuang e Kyaw (2010)	1.22	51.08	228.40
Cu=(coesione non drenata=(Vs/228)$^{1/0,910}$ *0,010197*100 da prove MASW - Likitlersuang e Kyaw (2010	0.79	12.01	35.81
CARATTERISTICHE GEOTECNICHE AMMASSO ROCCIOSO (NON VALIDO PER LE TERRE)			
RMR Bieniawsky (valido solo per le rocce da E statico)	NA	56	77
Φ (angolo di attrito in °)	27	29	31
C (coesione in kg/cm²)	NA	2.9	3.9
Rapporto di velocità VR (utilizzando per il valore delleVp in laboratorio 6000m/sec)	NA	0.228	0.383
Rapporto di velocità al quadrato (VR²)	NA	0.052	0.147
RQD (0,97x(Vp/VLAB)2*100	NA	5.1%	14.3%
RQD (relazione empirica sui calcari - F. Zezza 1976	NA	15.5%	31.8%
COEFFICIENTE DI SOTTOFONDO			
B (Ipotesi dimensione fondazione superficiale in cm)	100	100	100
D (Ipotesi diametro palo in m)	0.50	0.50	0.50
K = (Coeff. di Winkler in Kg/cm³–>VESIC 1961) k=E/[B(1-ν^2)]	2.29	38.35	127.44
k = 17,2*Vs^{1,26} Kg/cm³(Bowles 1997, Kecell, Imai e Yoshimura 2012)	1.32	7.49	15.02
K_v (Coeff. di Winkler verticale in Kg/cm³ –> K_v = α2*Ed/b dove α2=2/log$_e$(b+2H)/b	3.81	88.66	361.23
K_h (Coeff. di Winkler orizzontale in Kg/cm³ - Chiarugi-Maia)	2.86	213.15	2222.84
INDICAZIONI SU CAPACITA' PORTANTE FONDAZIONE SUPERFICIALE			
Fs (Fattore di sicurezza= Vp/Vs)	2.4	1.7	1.6
$Q_{u/k}$ (kg/cm²) =γ_{nat}*vs*(0,1) (Kecell 2012)	2.90	15.10	30.01
Q_{amm}=$Q_{u/k}$/Fs	1.21	8.84	18.27

BASE SISMICA 02 - STIMA DEI MODULI DINAMICI

	STRATO 1	STRATO 2	STRATO 3
Velocità onde P (m/s):	450	1450	2350
Velocità onde S (m/s):	180	810	1354
V_{LAB} = Velocità onde P di laboratorio (m/s):	6000	6000	6000
SPESSORE MEDIO STRATO (m)	0.50	10.00	11.37
Profondità Media Strato (m)	0.25	5.50	16.19
Modulo di Poisson (ν)	0.40	0.27	0.25
Densità naturale (γ_{nat} in gr/cm³)	1.43	1.91	2.16
Porosità % (Ø) (correlazione Rzhevsky e Novik (1971)	46.54%	37.20%	28.79%
MOD. di YOUNG DINAMICO - (E_{din} in Mpa o Nmm²)	127	3129	9698
MOD. di TAGLIO DINAMICO (G_{din} in Mpa o Nmm²) Gdin = Edin/((2*(1+ν))	45	1229	3875
MOD. di BULK (K) (Mpa o Nmm²): K=E_{din}/(3*(1-2*ν))	223	2300	6505
MOD. di YOUNG STATICO (E_{stat} in Mpa o Nmm²) (Rzhevsky et all, 1971)	15	377	1168
MOD. di TAGLIO STATICO (G_{stat} in Mpa o Nmm²)	5	148	467
MOD. DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (M in Kg/cm²) (da velocità onde P e densità) γ*vp^2 (valido per le terre)	289	4016	11901
MOD. DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (M in Kg/cm²) M = E * [(1-ν) / (1-ν-2*ν^2)] (relazione di NAVIER)	345	4837	14337
Rigidità Sismica (γ*V_P) (Tonn/m²*sec)	257	1547	2918
Frequenza dello Strato	90	20	30
Periodo dello Strato	0.01	0.05	0.03
CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DELLE TERRE (NON VALIDO PER LE ROCCE)			
SPT (N) VALUE (Imai and Yoshimura, 1977)	14	>50	>50
Cu (coesione non drenata in Kg/cm²= (Vs/23)$^{1/0,478}$*0,010197 (Dickenson 1990))	0.78	18.40	54.27
Cu=(coesione non drenata=(Vs-17,5)/2,63 *0,010197 (Oh et al. 2008))	0.63	3.07	5.18
Cu=(coesione non drenata=(Vs/7.93)$^{1/0,49}$ *0,010197 (Leyssques et al. 2007)	1.45	15.77	35.64
Cu=(coesione non drenata=(Vs/187)$^{1/0,572}$ *0,010197*100 da prove DH - Likitlersuang e Kyaw (2010)	0.92	52.47	208.79
Cu=(coesione non drenata=(Vs/228)$^{1/0,510}$ *0,010197*100 da prove MASW - Likitlersuang e Kyaw (2010	0.64	12.25	33.54
CARATTERISTICHE GEOTECNICHE AMMASSO ROCCIOSO (NON VALIDO PER LE TERRE)			
RMR Bieniawsky (valido solo per le rocce da E statico)	NA	57	77
ϕ (angolo di attrito in °)	27	30	31
C (coesione in kg/cm²)	NA	2.9	3.9
Rapporto di velocità VR (utilizzando per il valore delleVp in laboratorio 6000m/sec)	NA	0.242	0.392
Rapporto di velocita al quadrato (VR^2)	NA	0.058	0.153
RQD (0,97x(Vp/VLAB)2*100	NA	5.7%	14.9%
RQD (relazione empirica sui calcari - F. Zezza 1976	NA	16.8%	32.7%
COEFFICIENTE DI SOTTOFONDO			
B (Ipotesi dimensione fondazione superficiale in cm)	100	100	100
D (Ipotesi diametro palo in m)	0.50	0.50	0.50
K = (Coeff. di Winkler in Kg/cm³–>VESIC 1961) k=E/[B(1-ν^2)]	1.86	41.53	127.18
k = 17,2*$Vs^{1,26}$ Kg/cm³(Bowles 1997, Kecell, Imai e Yoshimura 2012)	1.16	7.58	14.41
K_v (Coeff. di Winkler verticale in Kg/cm³ –> K_v = α2*Ed/b dove α2=2/$\log_e$(b+2H)/b	2.08	127.90	394.41
K_h (Coeff. di Winkler orizzontale in Kg/cm³ - Chiarugi-Maia)	1.27	384.55	3467.47
INDICAZIONI SU CAPACITA' PORTANTE FONDAZIONE SUPERFICIALE			
Fs (Fattore di sicurezza= Vp/Vs)	2.5	1.8	1.7
$Q_{u/f}$ (kg/cm²) =γ_{nat}*vs*(0,1) (Kecell 2012)	2.57	15.47	29.18
Q_{amm}=$Q_{u/f}$/Fs	1.03	8.64	16.81

Le evidenze palesate dalle esemplificazioni tabellari e grafiche sono state, ovviamente, recepite e integrate nelle ottimizzazioni delle diverse sezioni di estensione della progettazione esecutiva. Di grande rilevanza sono risultate le prospezioni idrogeologiche, con sperimentazione alla scala delle applicazioni dirette che l'infrastrutturazione delle opere di recapito, stante la evidenza delle portate di accumulo necessitanti di veicolazione "ambientalmente controllata", nell'anidro. Detta propensione e trasformazione in indirizzo è stata posta quale scelta-obiettivo a duale livello di intervento: laminazione e primo interfaccia di permeazione nell'ammasso in superficie, filtrazione nell'ammasso calcarenitico; livello di sofferenza idrogeologica indotta dall'accumulo, con azione di intercettazione del livello e veicolazione (di ogni singolo pozzo rovescio) nelle sezioni distali dell'ammasso calcareo alle profondità di non interazione con l'acquifero, anzi con debita considerazione di un idoneo intervallo litostrutturale a protezione dell'acquifero richiamato.





CARTA DELLE ISOALINE TRATTE DAL PIANO DI TUTELA ACQUE

Con volontà di esaltazione dell'image sono stati inseriti gli stralci delle cartografie ad orientamento tematico redatte dallo scrivente (PTA SOGESID 2007) in fase di estensione del Piano di Tutela delle Acque della Regione Puglia. Il loro inserimento ha mera funzione di titolazione dello stato di qualità dell'acquifero nelle aree di intervento con palese inflessione della isoalina a ESE delle aree di intervento in stretto argomento. L'indicazione eleva la sottolineatura delle alte frequenze dei lineamenti morfostrutturali che hanno anche determinato il risultato delle prospezioni idrogeologiche con gli assorbimento ben evidenziati.

Per concludere, nel seguito si inseriscono alcuni elementi geotecnici di parametrizzazione

dell'ammasso roccioso che sono stati utilizzati dal gruppo di lavoro nell'ambito delle sezioni di intervento di competenza. Nel seguito i parametri geotecnici del calcare usati nella analisi qualitativa dell'orizzonte calcareo di interesse per alcune sezioni del progetti. Il calcare alla scala del campione rappresentativo (blocco a elemento di volume rappresentativo per frammentazione da discontinuità primarie e secondarie) è molto compatto e resistente, pur presentando significative variazioni di resistenza a compressione e trazione, ma con valori sempre alti. Si rivela molto utile la classificazione GSI (Geological Strength Index) al fine di caratterizzare meccanicamente gli ammassi rocciosi. Hoek e Marinos (2002) hanno proposto degli abachi di generali validità. In particolare si possono definire, sulla base dei dati fin qui analizzati, due tipologie di ammassi calcarei e cioè:

- Calcari massivi, caratterizzabili da GSI variabile da 85 a 65;
- Calcari stratificati con GSI variabile da 60 a 45.

Ovviamente i valori superiori di ogni classe sono quelli relativi a calcari meno cariati e con minor presenza di terra rossa. Da tal i valori di GSI di seguito è stato possibile derivare i parametri di deformabilità e di resistenza. Bowles (1992) riporta valori del Modulo di elasticità del Calcare variabili da 21.000 a 105.000 MPa, valori sensibilmente discosti fra loro e certamente connessi allo stato di continuità dell'ammasso pur nelle possibili diversità riscontrabili all'interno della litologia "calcare". Possibili valori del Modulo di Elasticità (che sarebbe più opportuno chiamare di Deformabilità) sono stati tratti (per l'elaborazione del modello geotecnico) dalle velocità di propagazione delle onde elastiche di compressione. Il Team dei progettisti ha propeso per intervalli di variabilità e applicazioni dirette con E=40.000 MPa per la roccia sana ed E = 5.000 MPa per la roccia molto fratturata e alterata.

peso di volume naturale	$\gamma = 2{,}4 \div 2{,}4$ g/cmc
angolo di attrito interno	$\varphi = 35°$ (litozone disarticolate) ÷ 45°
coesione drenata	c = 20 (litozone disarticolate) ÷ 35 KPa