

0	FAC	PRIMA EMISSIONE	13/04/2015	IERINO'	CITTERIO
1	FUS	SECONDA EMISSIONE	29/06/2016	IERINO'	CITTERIO
REV.	ST.	DESCRIZIONE	DATA	VERIFICATO	APPROVATO



P920AGKC002

RELAZIONE DI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

29/06/2016	SECONDA EMISSIONE	ABA	ALS	GV
13/04/2015	PRIMA EMISSIONE	ABA	LPO	DIL
DATA	DESCRIZIONE	ESEGUITO	CONTROLL.	APPROVATO


D'APPOLONIA

consulting, design, operation & maintenance engineering

DATA	DOC. N.	REV.	FOGLIO
29/06/2016	16-535-H9	1	1

INDICE

1	INTRODUZIONE	3
2	RIFERIMENTI	4
2.1	NORMATIVA.....	4
2.2	RIFERIMENTI di PROGETTO	4
2.3	RIFERIMENTI di BIBLIOGRAFIA	4
3	CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA E IDROLOGICA	5
3.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	5
3.2	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	11
3.3	INQUADRAMENTO IDROLOGICO E IDROGEOLOGICO	13
4	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E STRATIGRAFICA	15
4.1	INDAGINI GEOTECNICHE DISPONIBILI.....	15
4.2	ASSETTO STRATIGRAFICO	17
4.3	CARATERIZZAZIONE GEOMECCANICA.....	18

1 INTRODUZIONE

Edison S.p.A. intende realizzare all'interno del porto di Oristano un Deposito costiero per lo stoccaggio e la distribuzione di GNL di capacità utile pari a 10,000 m³. Il Deposito sarà approvvigionato mediante navi gasiere, aventi dimensioni analoghe a quelle di capacità compresa tra 7,500 e 27,500 m³, mentre la distribuzione sarà effettuata sia attraverso sia camion sia bettoline di capacità di 1,000-2,000 m³.

L'area di prevista ubicazione dell'impianto è situata all'interno del Porto di Oristano, in corrispondenza del Canale Sud; la zona di ormeggio delle gasiere presenta una lunghezza complessiva di circa 275 m, ed è costituita da un primo tratto, orientato lungo la direttrice Sud-Sud-Est/Nord-Nord-Ovest (lunghezza di circa 185 m) ed un secondo che si sviluppa da Sud a Nord.

Lo specchio acqueo antistante presenta una profondità media di -11 m rispetto al livello del medio mare (s.l.m.m.) (Consorzio Industriale Provinciale Oristanese, 2004).

Il progetto prevede la realizzazione degli interventi infrastrutturali e impiantistici necessari a consentire:

- l'attracco delle bettoline di dimensioni analoghe a quelle di capacità compresa fra di 1,000-2,000 m³ e 27,500 m³;
- il trasferimento del prodotto liquido (GNL) dalle stesse ai serbatoi di stoccaggio in pressione, attraverso bracci di carico;
- lo stoccaggio del GNL, mediante No. 7 serbatoi in pressione orizzontali di capacità utile di circa 1,430 m³ ciascuno;
- la distribuzione del prodotto attraverso operazioni di caricazione su bettoline ("terminal to ship") e camion ("terminal to truck").

Come anticipato, il GNL sarà approvvigionato attraverso navi di capacità massima di circa 27,500 m³, aventi dimensioni sostanzialmente contenute (lunghezza di circa 180 m e pescaggi non superiori a 8.7 m) e confrontabili con quelle delle navi già attualmente in arrivo presso il Porto.

Il presente documento descrive l'inquadramento geologico, geomorfologico e idrologico del sito, la caratterizzazione geotecnica e stratigrafica dell'area interessata dalle opere di progetto alla luce dei dati ad oggi disponibili. Tale caratterizzazione costituisce la base per la progettazione delle principali opere di progetto rilevanti dal punto di vista geotecnico.

Il documento è così strutturato:

- il Capitolo 2 riporta l'insieme della bibliografia presa a riferimento per la redazione del presente documento;
- al Capitolo 3 è fornita una sintesi dell'inquadramento geologico, geomorfologico e idrogeologico;
- il Capitolo 4 illustra le caratteristiche geotecniche dei litotipi presenti nell'area.

2 RIFERIMENTI

2.1 NORMATIVA

Di seguito è riportato l'elenco delle normative prese a riferimento per la redazione del presente elaborato:

- Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008: "Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni", G.U. n.29 del 04.2.2008, Supplemento Ordinario n.30;
- Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 - Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008;
- Raccomandazioni sulle Prove Geotecniche di Laboratorio, 1994, Associazione Geotecnica Italiana;
- Raccomandazioni sulla Programmazione ed Esecuzione delle Indagini Geotecniche, 1977, Associazione Geotecnica Italiana.

2.2 RIFERIMENTI di PROGETTO

- Consorzio Industria OR, Indagini Geognostiche, 2000;
- Geoconsult srl, Indagini Geognostiche, 2000;

2.3 RIFERIMENTI di BIBLIOGRAFIA

- Assorgia, A. et al., 1976, Il complesso vulcanico di Monte Arci (Sardegna centro-occidentale). Nota illustrativa alla carta geo-petrografica 1:50.000, Bollettino Della Società Geologica Italiana, Volume 95, pag. 371-401.
- Beccaluva L. et al., 1975, Dati geochimici e petrografici sulle vulcaniti plio-quadernarie della Sardegna centro-occidentale, Bollettino della Società Geologica Italiana, fascicolo: 05, volume: 94, anno: 1975, pag.: 1437 – 1457;
- Cherchi A., Montadert L., 1982, The oligo-miocene rift of Sardinia and the early history of the western Mediterranean basin, Nature: 298, pag. 736-739;
- Consiglio Regionale della Sardegna, 1981, Le Lagune in Sardegna: una risorsa, Pubblicazioni del Consiglio Regionale della Sardegna;
- D'Appolonia E. et al., Maggio 1970, Settlement of spread footings in sand, Journal of the soil mechanics and foundation division, ASCE, Vol. 96, N. SM3, pag. 754-761;
- EPRI, 1990, Manual on estimating properties for foundation design, Cornell University, Ithaca, New York, August;
- 19. Pala, A. & M. Cossu, 1994. Idrogeologia di un settore del Campidano di Oristano. Rendiconti Seminario Facoltà Scienze Università di Cagliari. 64(1), 97-115;
- R. B. Peck, W. E. Hanson, T. H. Thornburn, 1953, Foundation Engineering, 1st Edition, Wiley, New York.
- Piano Urbanistico Comunale (PUC) del Comune di Santa Giusta, Relazione per l'adeguamento del PUC al Piano di Assetto Idrogeologico, Aprile 2012;
- Selli R., Fabbri A. (1971) - Tyrrhenian: A Pliocene deep-sea. Estr. da: Atti della Accademia Nazionale dei Lincei. Rendiconti della Classe di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali;

3 CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA E IDROLOGICA

3.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'inquadramento geologico, geomorfologico e idrogeologico di seguito riportato fa riferimento ai contenuti del Piano Urbanistico Comunale (PUC) del Comune di Santa Giusta (2012).

Dal punto di vista geologico il territorio del Comune di Santa Giusta è caratterizzato dall'affioramento di rocce e sedimenti del Cenozoico. Il settore orientale è costituito essenzialmente da rocce tardo-plioceniche dell'apparato vulcanico del Monte Arci, mentre il settore centrale, che dalle falde del Monte Arci si spinge attraverso la pianura, fino quasi alla zona costiera, è caratterizzato dall'affioramento dei sedimenti di origine continentale della piana dell'alto Campidano del Plio-Quaternario: una fossa tettonica colmata dai materiali alluvionali legati in parte all'evoluzione della rete idrografica del Fiume Tirso, ubicato più a nord, ed in parte dai materiali trasportati dai corsi d'acqua che scendono dalle pendici del Monte Arci. Queste rocce sfumano, verso la costa, in depositi limosi e argillosi palustri e in sedimenti sabbiosi e ciottolosi delle spiagge e delle dune litorali dell'Olocene.

Vulcaniti tardo-plioceniche

Le lave di questo ciclo, in particolare, sono costituite da rocce basiche ad affinità calcalcalina, legate ad un vulcanismo in ambiente sottomarino e ad un'attività vulcanica tipica di aree di convergenza di placche litosferiche, inquadrabile nell'ambito dell'evoluzione tettonica del Mediterraneo occidentale, con lave a pillow sottomarine e ialoclastiti infrasedimentarie e breccie monogeniche di lave a pillow, con minori quantità di ialoclastiti. La successione dei prodotti vulcanici tardo-pliocenici riscontrabili nel territorio in esame, viene di seguito descritta, dal basso verso l'alto.

Lave acide

Sono rappresentate da colate riolitico-riodacitiche con transizioni da facies litoidi a facies perlitico-ossidianee. La struttura della roccia riolitica è debolmente porfirica da ipocristallina a vetrosa con fenocristalli di plagioclasio, clinopirosseno, ortopirosseno, biotite e pasta di fondo essenzialmente quarzoso-feldspatica con scarsa biotite e minuti aghetti clinopirossenici.

A tali lave sono talora associati livelli piroclastici, costituiti da tufi pomicei bianchi, incoerenti, spesso rimaneggiati, con inclusi litici per lo più riolitici e, talora, di frammenti di vulcaniti basiche riferibili con ogni probabilità alla formazione miocenica sottomarina. Mentre le lave riolitico-riodacitiche si rinvergono in banchi molto potenti ed estesi, le piroclastiti costituiscono affioramenti discontinui e limitati in estensione, che trovano migliore esposizione nel versante orientale del Monte Arci.

Nel territorio esaminato le lave riolitiche e rioidacitiche in facies massiva (GPA) costituiscono le vulcaniti con la più vasta estensione e spessore, rappresentando le rocce dei fondovalle ma anche dei rilievi principali (Punta Pranu Staddas, Punta

Genna Maiori). Anche le rioliti in facies perlitico-ossidianacea (GPAa) trovano riscontro in affioramento, in particolare a coronamento dei modesti espandimenti basaltici di Serra Gureu e lungo il Riu Gutturu Frascu.

Trachiti alcaline

Le lave trachitiche alcaline, talora passanti alla base a facies vitrofiriche, generalmente intercalate tra le lave acide di base e le sovrastanti colate di lave intermedie, non affiorano nel territorio investigato ma si riscontrano prevalentemente nelle aree centro-orientali e meridionali dell'apparato vulcanico del Monte Arci.

Lave intermedie

Si tratta di lave in prevalenza dacitiche e, subordinatamente, andesitiche, con evidente fessurazione lastriforme. La struttura della roccia è marcatamente porfirica con cristalli ben sviluppati di plagioclasio, ortopirosseno, clinopirosseno augitico, meno alcalifeldspato, olivina e biotite in una pasta di fondo costituita da microliti plagioclasici, orto-clinopirossenici e ossidi opachi.

Affioramenti di lave intermedie indifferenziate (GPA) si riscontrano molto limitatamente nel territorio indagato, in particolare nel versante occidentale di Punta Corongiu Mela.

Lave basiche

I basalti chiudono la serie vulcanica tardo-pliocenica del Monte Arci attraverso colate

molto estese in superficie ma poco potenti in spessore (massimo 30 m), in forma di altopiani tabulari, spesso frammentati e delimitati da fronti assai ripide.

In base ai caratteri chimici e petrografici queste lave vengono distinte in (Beccaluva et al., 1975):

- andesiti basaltiche, a struttura generalmente afirica o porfirica, con microliti plagioclasici ben sviluppati, ortopirosseno, rara olivina e pasta di fondo costituita da microliti plagioclasici, clino-ortopirosseni e ossidi di Fe-Ti;
- basalti con chimismo a tendenza alcalina, a struttura porfirica per fenocristalli di plagioclasio, clinopirosseno e olivina e pasta di fondo costituita da microliti plagioclasici, clinopirossenici, olivina e minerali opachi;
- basalti a tendenza subalcalina, da afirici a porfirici, costituiti principalmente da plagioclasio, olivina, orto-clinopirosseno in una pasta di fondo costituita da microliti plagioclasici, clinopirosseno augitico, ortopirosseno.

Le lave andesitico basaltiche (BNS) costituiscono, all'interno del territorio indagato, l'espandimento di Canale Figus e Sa Grutta Arrubia; i basalti subalcalini (UCU) formano le colate sommitali di S'Orziada, Punta Corongiu Mela, Genna Cruxi e Conca de Seda.

Depositi continentali e marini plio-quadernari

I depositi sedimentari plio-quadernari presenti nel settore continentale più interno fino alle falde del Monte Arci sono riconosciuti nelle Unità di seguito descritte.

- Conglomerati, sabbie e argille più o meno compatte, spesso molto arrossate, prevalentemente sotto forma di conoidi alluvionali e glacis (Pleistocene): queste formazioni, caratterizzate da morfologie molto dolci e regolari, poggiano alle pendici occidentali del complesso vulcanico del Monte Arci e risultano a tratti incise da cicli alluvionali successivi riferibili all'Olocene.
- Depositi alluvionali ciottoloso-sabbiosi in prevalenza ricoperti da resti di antiche dune parzialmente cementate e, talora, debolmente arrossate (Wurmiano).
- Alluvioni recenti ed attuali, prevalentemente ciottolose, ghiaiose e sabbiose, degli alvei fluviali e delle pianure adiacenti talora terrazzate, legate alla degradazione e trasporto dei litotipi attraversati dagli stessi corsi d'acqua e provenienti prevalentemente dal contesto vulcanico del Monte Arci.
- Detrito di versante, depositi colluviali e di frana (Olocene). Questi materiali, generati da processi di disfacimento o di disgregazione delle rocce e depositati per effetto dei movimenti gravitativi, coprono i pendii e la base dei rilievi scoscesi essenzialmente nel settore del Monte Arci.

Lungo la fascia costiera e nella retrostante area lacustre e stagnale le Unità sedimentarie continentali affioranti sono di seguito elencate.

Depositi alluvionali costituiti da limi e argille prevalenti

Argille e limi palustri di colore grigio-nerastro con elevata componente organica (Olocene) (e5, con riferimento a figura seguente);

Sabbie recenti ed attuali delle spiagge e delle dune costiere, in parte stabilizzate (Olocene e Attuale) (d, con riferimento a figura seguente).

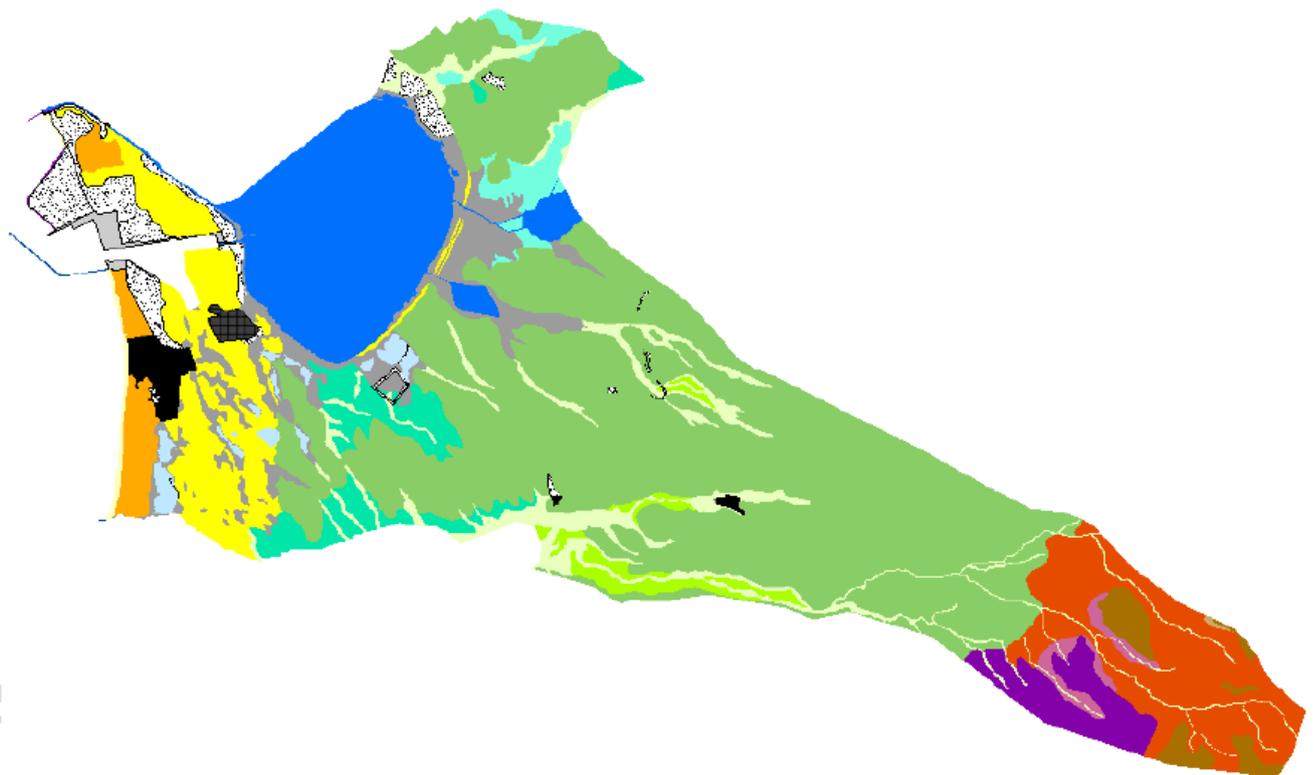
Cordone litoraneo attuale (Olocene) (g2, con riferimento a figura seguente), rappresentato da depositi litoranei di spiaggia, prevalentemente sabbiosi e subordinatamente ghiaiosi.

La fascia costiera e l'immediato interno sono caratterizzate, in particolare, dalla presenza di zone umide, di rilevante valore naturalistico, rappresentate, oltre che dal grande Stagno di Santa Giusta, dalle aree palustri di Zugru Trottu, Pauli Figu, Pauli Tabentis, Pauli Tonda e altre minori che ad esse fanno corteggio. Anche in aree depresse di forma tondeggianti o allungata lungo solchi vallivi (Pauli Maiori) si sono instaurate paludi, in gran parte oggetto di interventi di bonifica (dragaggi, canalizzazioni, colmate, ecc.).

Depositi antropici

Sono rappresentati da manufatti antropici (ha, con riferimento a figura seguente), discariche per inerti (h1n, con riferimento a figura seguente) e materiali di riporto e aree bonificate (h1r, con riferimento a figura seguente).

Si riporta nella figura seguente l'estratto della carta geolitologica del sito.


Depositi olocenici dell'area continentale - Olocene

	ha, area portuale: banchina
	ha, opere marittime: difesa spondale
	ha, opere marittime: moli
	ha, peschiera
	h1i, depositi antropici, discariche industriali
	h1n, discariche per inerti
	hc, area di cava
	h1r, depositi antropici, materiali di riporto e aree bonificate

Sedimenti alluvionali - Ambiente continentale - Olocene

	ba, depositi alluvionali, ghiaie da grossolane a medie
	bb, depositi alluvionali, sabbie con subordinati limi e argille
	bc, depositi alluvionali, limi e argille prevalenti
	bnb, depositi alluvionali terrazzati, sabbie

Sedimenti lacustri - Ambiente continentale - Olocene

	e5, depositi palustri, limi e argille limose, talvolta ciottolose
---	---

Sedimenti eolici - Ambiente continentale - Olocene

	d, depositi eolici, sabbie di duna ben classate
---	---

Sedimenti litorali - Ambiente transizionale - Pleistocene sup. ? - Olocene

	g2, depositi di spiaggia attuali, sabbie e ghiaie talvolta con molluschi
	g, depositi di spiaggia antichi

Depositi pleistocenici dell'area continentale - Pleistocene sup.

	PVM2a, ghiaie alluvionali terrazzate
---	--------------------------------------

Complesso vulcanico - Plio-Pleistocene
Apparato vulcanico del Monte Arci

	UCU, lave basiche
	ULA, lave intermedie
	GPA, lave acide
	GPAa, facies perlitico-ossidianece
	BNS, lave da andesitico-basaltiche a basaltiche (Oligo-Miocene)

Acque continentali

	aree palustri (pauli)
	stagni e aree palustri

Figura 3.1: Carta geolitologica

Con riferimento alla scala locale del sito, con riferimento ai contenuti del PUC del Comune di S. Giusta (2012), dal punto di vista geolitologico l'area di studio è interessata principalmente da depositi alluvionali, costituiti in particolare da Depositi di spiaggia antichi (denominati g e rappresentati in giallo nella figura sopra riportata), rappresentati da depositi litoranei di spiaggia, prevalentemente sabbiosi e subordinatamente ghiaiosi. A quote prossime al piano campagna si rinvencono in alcune zone riporti antropici di spessore massimo di circa 1 m (denominati h1r con riferimento alla figura sopra riportata).

Dal punto di vista tettonico, l'assetto dell'area in esame è il risultato dell'evoluzione della Fossa Sarda, un profondo rift inquadrabile nell'ambito dell'evoluzione tettonica del Mediterraneo occidentale durante l'Oligo-Miocene (Cherchi & Montadert, 1982) e, successivamente, dei fenomeni distensivi che hanno interessato la placca continentale sarda e che hanno condotto alla formazione della fossa tettonica del Campidano. Tali eventi hanno comportato in tutta l'area un sostanziale sprofondamento della crosta e marcati fenomeni di subsidenza.

La formazione del rift sardo, in particolare, è conseguente al distacco, durante l'Oligocene, del massiccio sardo-corso dal margine provenzale e migrazione del blocco, con rotazione antioraria, verso sud nel bacino Mediterraneo occidentale fino alla posizione attuale (Cherchi & Montadert, 1982). All'interno di questa vasta depressione tettonica, allungata in senso nord-sud, dal Golfo dell'Asinara fino al Golfo di Cagliari, su un probabile fondo granitico-scistoso, si sviluppò un intenso vulcanismo e si accumularono potenti spessori di sedimenti di natura marina e continentale.

La formazione della fossa campidanese, durante il Plio-Quaternario, è il risultato della ripresa della fase tettonica di sprofondamento terziaria e, precisamente, dei fenomeni distensivi legati all'apertura del Tirreno meridionale (Selli & Fabbri, 1971). Si tratta, in particolare, di un bacino continentale chiuso all'interno del quale si sono depositati potenti spessori di materiali alluvionali o strati fluvio-lacustri, in gran parte derivanti dallo smantellamento dei rilievi circostanti.

Direttamente coinvolto nella tettonica distensiva che ha condotto alla formazione della fossa campidanese è l'apparato vulcanico del Monte Arci. Nel rilievo vulcanico, in particolare, si individuano almeno tre direzioni tettoniche principali, ossia NNW-SSE (direzione campidanese), N-S e NNE-SSW, rispetto alle quali concordano le direzioni dei dicchi alimentatori delle colate tardo-plioceniche; si tratta di associazioni di fratture e faglie distensive, a presumibile andamento crostale, che mettono in evidenza il carattere prevalentemente fissurale del vulcanismo tardo-pliocenico del Monte Arci (Assorgia et al., 1976).

Dal punto di vista dello stato di aggregazione, del grado di alterazione e del relativo comportamento meccanico dei terreni presenti nel Comune di Santa Giusta (distinzione tra materiali coerenti, incoerenti, semi-coerenti, pseudo-coerenti), si distinguono i litotipi riportati nella figura seguente.

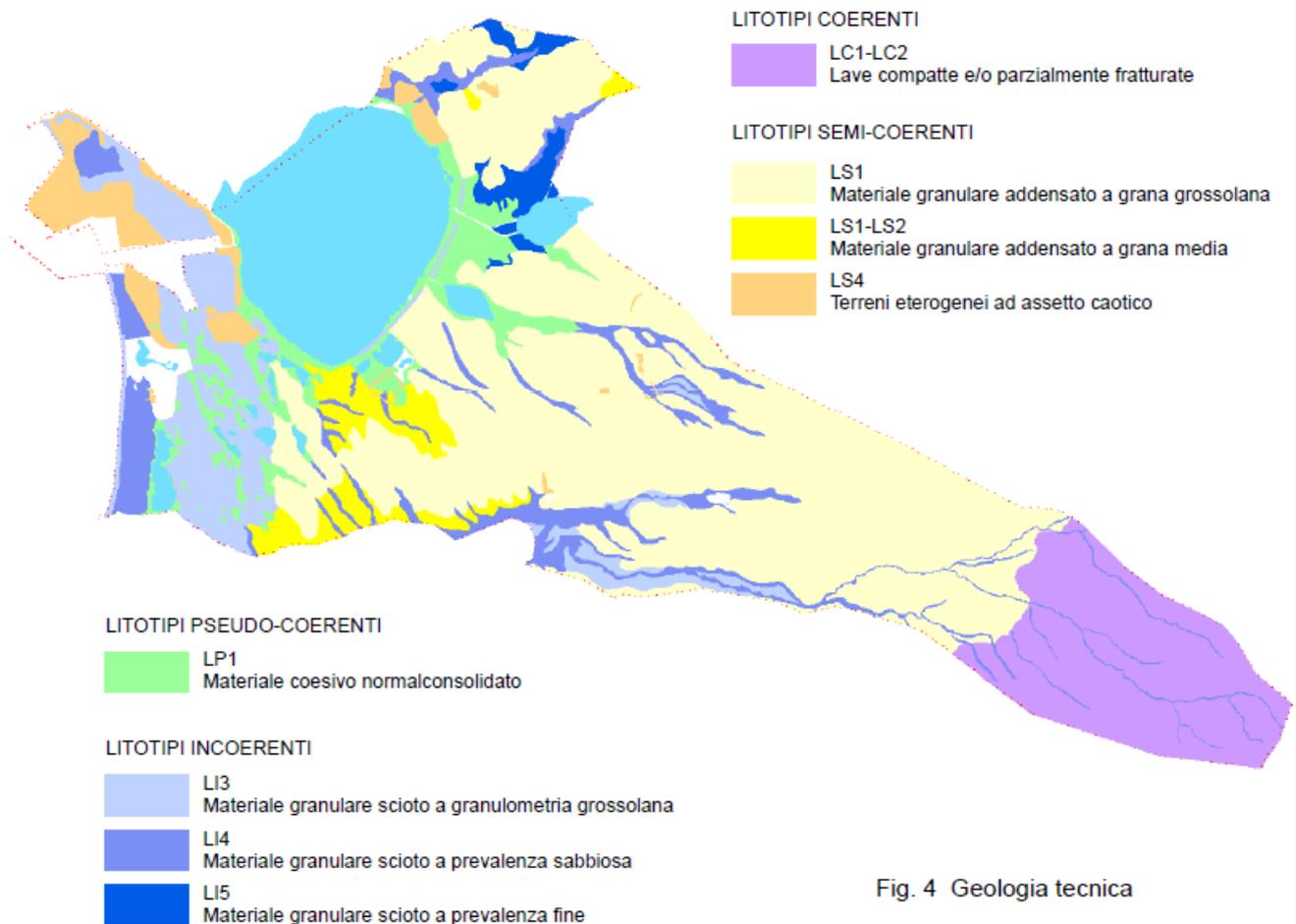


Fig. 4 Geologia tecnica

Figura 3.2: Carta Geologia tecnica

Dall'analisi della figura sopra riportata, si osserva che gran parte del territorio comunale è caratterizzato dalla presenza di litotipi semi coerenti, prevalentemente con materiale granulare addensato a grana grossolana; in questo caso sono ricompresi gli affioramenti di depositi alluvionali terrazzati (sabbie e ghiaie) che affiorano diffusamente nel settore centrale della piana agricola. Sono da considerarsi coerenti anche i depositi argillosi del complesso fluvio-lacustre, classificati però come litotipi plurilitologici, non stratificati non fratturato. I depositi alluvionali, le falde detritiche e i depositi di litorale e palustri sono stati classificati tra i litotipi incoerenti, differenziandoli però in base al grado di addensamento e alla granulometria dei depositi. I litotipi coerenti si ritrovano nel Monte Arci, caratterizzato come detto precedentemente dall'affioramento diffuso di lave da considerare compatte, sebbene talvolta possano presentarsi parzialmente fratturate.

Con riferimento alla scala locale del sito, con riferimento ai contenuti del PUC del Comune di S. Giusta (2012), i litotipi dell'area oggetto del progetto sono di tipo incoerente, ricadenti all'interno della categoria LI3, comprendenti materiali granulari sciolti a granulometria grossolana.

3.2 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Dal punto di vista geomorfologico, nel territorio di Santa Giusta è possibile distinguere essenzialmente tre settori aventi caratteri geomorfologici nettamente differenti, fortemente condizionati dall'assetto tettonico-strutturale dell'area.

Il settore costiero e l'immediato entroterra sono caratterizzati da lineamenti morfologici essenzialmente piatti e depressi impostati in litologie sedimentarie oloceniche, marine e continentali, poco o debolmente cementate, con ambienti tipicamente litoranei, stagnali e palustri. Verso le aree più interne la morfologia è leggermente movimentata dalle incisioni presenti nelle alluvioni terrazzate o meno del plio-quadernario, dalle superfici debolmente inclinate delle conoidi alluvionali e dei glacis. Infine, il settore più orientale è caratterizzato dalle aree rilevate dell'apparato vulcanico plio-quadernario del Monte Arci, costituite da lave acide, intermedie e basaltiche.

Procedendo dalle aree più interne verso occidente, il settore centro-orientale del territorio di Santa Giusta è caratterizzato prevalentemente da forme di connessione tra la pianura e il rilievo del Monte Arci, ossia morfologie d'accumulo sedimentario formate da depositi di materiali sciolti provenienti essenzialmente dalla stessa montagna, trasportati dalle acque incanalate e da quelle di ruscellamento areale o per effetto della gravità. Tra queste forme d'accumulo le conoidi di deiezione sono le più rappresentative. Si tratta dei tipici depositi sedimentari clastici, eterometrici e poligenici, a forma di ventaglio, rilasciati dai corsi d'acqua, più o meno incassati all'interno della montagna, allo sbocco con la pianura antistante per effetto della brusca diminuzione della pendenza del loro letto.

Caratterizzati ugualmente da modesta pendenza, intorno a 4-7%, sono i glacis, ossia superfici inclinate modellate su spessi accumuli detritici di materiali colluviali e/o alluvionali tra il rilievo e la pianura antistante. Questi depositi risultano prodotti in prevalenza a seguito dello smantellamento delle formazioni vulcaniche per opera dell'acqua di ruscellamento e della gravità.

Per quanto concerne la morfologia dei depositi alluvionali recenti ed attuali dei fondovalle dei principali corsi d'acqua, prevalentemente ciottolosi, ghiaiosi e sabbiosi, questi risultano generalmente poco consistenti, di natura poligenetica ed eterometrica, e generati dall'erosione e deposito dei litotipi attraversati dagli stessi corsi d'acqua, prevalentemente nel contesto vulcanico del Monte Arci. Il detrito di versante, i depositi colluviali e quelli di frana, la cui origine è legata dai processi di disfacimento delle rocce e, successivamente, al trasporto e deposito ad opera delle acque dilavanti e della gravità, coprono i pendii e la base dei rilievi scoscesi essenzialmente nel settore del Monte Arci.

Procedendo dalle falde occidentali del settore del Monte Arci verso la costa del Golfo di Oristano la morfologia diventa progressivamente piatta e depressa; alle forme leggermente inclinate impostate nelle litologie sedimentarie dei glacis e delle conoidi alluvionali si passa alle superfici sub-pianeggianti costituite dai depositi delle alluvioni antiche e recenti, prevalentemente ciottolose e sabbiose, in parte terrazzate, le quali, verso ovest, vengono sostituite dalle morfologie perfettamente piane impostate nelle argille e limi palustri olocenici e, vicino alla costa, da quelle caratteristiche dei litorali, di spiaggia e di retro spiaggia.

La caratteristica peculiare del settore costiero e dell'immediato entroterra è senz'altro la presenza di zone umide stagnali e palustri di rilevante interesse naturalistico, che, nonostante le modificazioni antropiche introdotte, risultano particolarmente significative dal punto di vista ambientale come habitat di singolari specie vegetazionali e faunistiche.

Si tratta in primo luogo dello Stagno di Santa Giusta e dei bacini ad esso attigui, quali il Pauli Maiori, Pauli Figu, Pauli Tabentis, Pauli Tonda e dei numerosi stagni interdunali di Cirras, quali lo Stagno di Zugru Trottu, Pauli Grabiolas e altri bacini lacustri minori.

Lo Stagno di Santa Giusta è un bacino di forma pressoché rotonda, avente dimensioni di circa 778 ettari, separato dal mare da un largo cordone litorale sabbioso che, in parte, rappresenta veri e propri corpi dunari. Tramite brevi e stretti canali lo Stagno è direttamente collegato con quelli di Pauli Maiori e Pauli Figu, rispettivamente aventi superficie di 40 e 12 ettari.

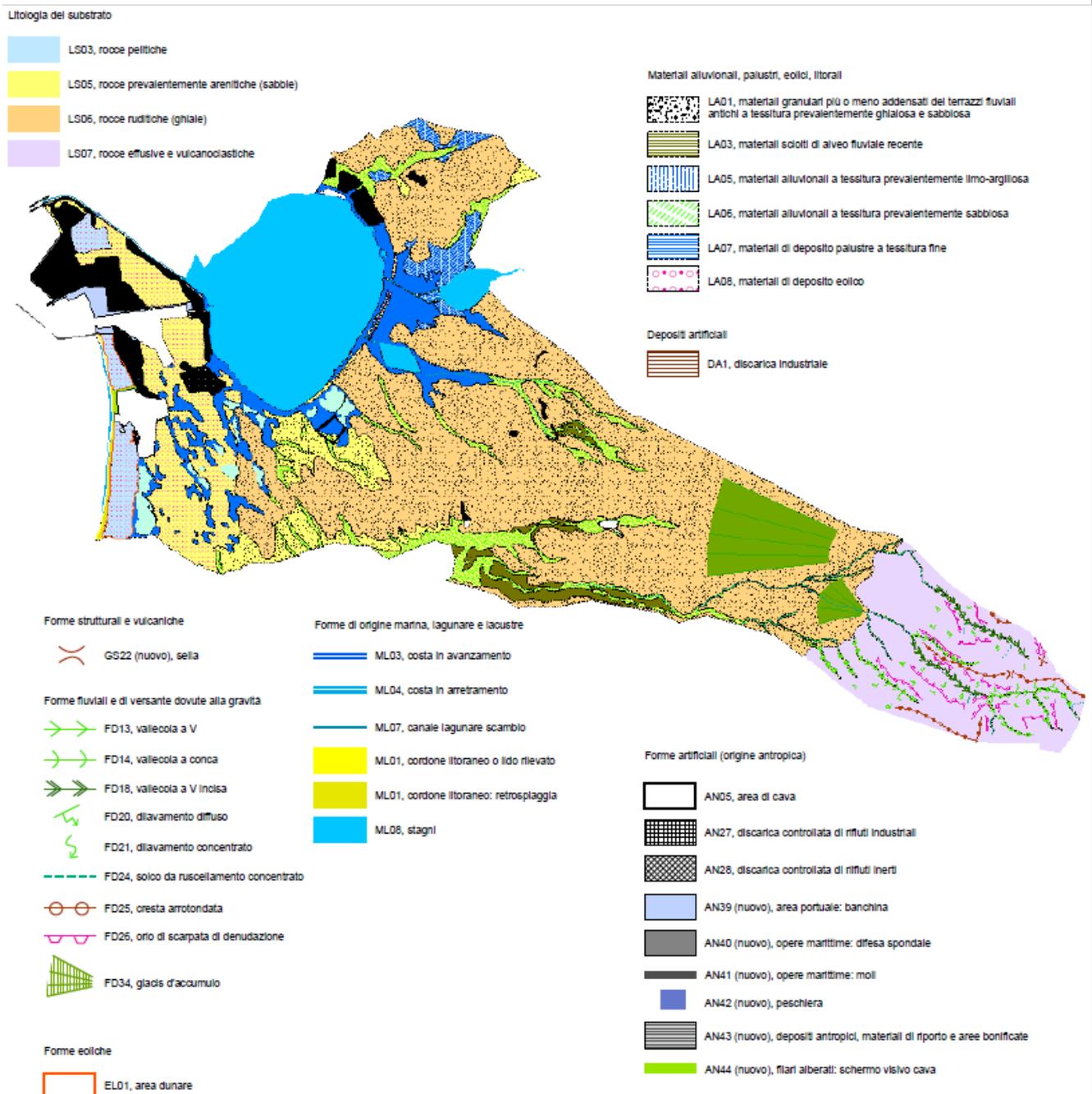
La profondità delle acque salmastre o palustri di queste zone umide varia da pochi centimetri a circa 1,20 m ed il fondale risulta prevalentemente fangoso e, solo in minima parte, sabbioso. Lo Stagno di Santa Giusta non ha immissari diretti ma riceve le acque che confluiscono prima nel Pauli Maiori tramite il Rio Merd'e Cani.

Fino al 1952 il canale di Pesaria, che si innesta dopo un tragitto di circa 3 km all'ultimo tratto della foce del Fiume Tirso, era l'unico collegamento dello stagno con il mare del Golfo di Oristano, e risultava spesso interrato e, conseguentemente, motivo di interruzione del ricambio di acqua.

L'esigenza di assicurare un'adeguata ossigenazione della zona umida, in particolare quando fino la fine del 1970 poteva ancora vantare una rilevante pescosità, ha portato alla costruzione di uno sbocco diretto a mare che si diparte in prossimità della darsena del porto industriale (Consiglio Regionale della Sardegna, 1981).

La costa che delimita verso Ovest, nel Golfo di Oristano, il territorio di Santa Giusta è bassa ed è costituita dalle sabbie della spiaggia di Cirras e dalle dune oloceniche e attuali; nella zona retrocostiera, tra i numerosi bacini lacustri sopracitati, affiorano lembi dei depositi sabbiosi dunari parzialmente cementati di probabile età tardo wurmiana. Si tratta di elementi di un'ambiente naturale costiero profondamente modificato dall'intervento antropico, soprattutto a seguito dell'attività estrattiva e della costruzione e ampliamento del porto industriale di Oristano, ma che sono ancora testimonianza di passati eventi climatici che hanno interessato, unitamente ad un contesto più ampio, anche questo settore della Sardegna.

L'area interessata dal progetto ricade interamente all'interno del settore costiero ed è caratterizzata dal cordone litoraneo (con riferimento alla figura di seguito riportata).


Figura 3.3: Carta Geomorfologica

3.3 INQUADRAMENTO IDROLOGICO E IDROGEOLOGICO

Il reticolo idrografico nel territorio di Santa Giusta è caratterizzato da due pattern principali, uno riferito alla zona più elevata, inserita nell'apparato vulcanico tardo-pliocenico del Monte Arci, e l'altro relativo ai settori di pianura e costiero.

Nel complesso, il territorio esaminato rientra nella Unità Idrogeologica Omogenea (U.I.O.) del Flumini Mannu di Pabillonis – Mogoro (Piano di Tutela delle Acque, art. 44 D. Lgs. 152/99 e s.m.i. - art. 2 L.R. 14/2000 - Dir. 2000/60/CE) e, nello specifico, interessa il bacino del Riu Mogoro Diversivo che ha le sue sorgenti nelle pendici meridionali del Monte Arci, e sfocia nella parte meridionale del Golfo

d'Oristano in corrispondenza della complessa area umida degli Stagni di san Giovanni – Marceddì.

Altro corso d'acqua del 1° ordine abbastanza rilevante nel settore esaminato è il Riu Merd'e Cani, che drena le acque provenienti dalle pendici settentrionali del Monte Arci e finisce il suo corso in corrispondenza dell' area umida dello Stagno di Santa Giusta.

In merito ai complessi acquiferi principali che interessano il territorio di Santa Giusta, appartenenti alla U.I.O. Mogoro, si distinguono l'Acquifero detritico-alluvionale plio-quadernario del Campidano e l'acquifero delle vulcaniti plio-pleistoceniche del Monte Arci.

Il primo è costituito da:

- - Unità Detritico-Carbonatica Quadernaria;
- - Unità delle Alluvioni Plio-Quadernarie;
- - Unità Detritica Pliocenica;

La permeabilità complessiva dell'Acquifero detritico-alluvionale plio-quadernario del Campidano è medio-bassa per porosità; localmente medio-alta nei livelli a matrice più grossolana e, nelle facies carbonatiche, anche per fessurazione. Nel settore di studio è possibile individuare un sistema acquifero multistrato costituito da falde ubicate a profondità variabile, con livelli più profondi generalmente interessati da filtrazione dai livelli superiori, all'interno delle alluvioni pleistoceniche, in particolare nei livelli sabbiosi e ciottolosi, di limitata potenza, intercalati a banchi con elevata componente argillosa (Pala & Cossu, 1994).

L'area di alimentazione è individuata nelle conoidi presenti alla base del Monte Arci e che si aprono a ventaglio in corrispondenza dello sbocco dei corsi d'acqua principali con la pianura dell'alto Campidano; l'andamento generale del deflusso è riconosciuto in direzione dello Stagno di Santa Giusta.

L'Acquifero delle vulcaniti plio-pleistoceniche del Monte Arci è rappresentato dall'Unità delle Vulcaniti Plio-Quadernarie. La sua permeabilità complessiva varia da medio-bassa a bassa per fessurazione. Si tratta di acquiferi impostati nelle litologie vulcaniche tardo-plioceniche che danno luogo a emergenze sorgentizie aventi portate anche consistenti e che risultano impostate su un substrato impermeabile probabilmente costituito dalle marne mioceniche sepolte oppure dalle stesse vulcaniti che, procedendo in profondità, sarebbero più compatte e argillificate (Pala & Cossu, 1994).

particolare, non sono disponibili indagini nell'area interessata dall'esecuzione della nuova banchina, ovvero l'area caratterizzata dalle opere strutturali di maggiore impatto dal punto di vista geotecnico.

Si nota inoltre che le indagini consultate sono costituite da 19 pozzetti, di profondità massima 3 m, mentre sono disponibili solamente 2 sondaggi di lunghezza 4-5 m e un solo sondaggio di lunghezza 15 m. Per questo sondaggio più lungo non sono disponibili prove di laboratorio e sono disponibili prove in sito (prove SPT) fino alla profondità di 8 m. Considerando che l'opera di sostegno a mare è caratterizzata da una altezza di spinta dell'ordine di 14 m, che pertanto deve essere sostenuta da opere profonde (aventi lunghezza dell'ordine dei 30 m), ad oggi nessun sondaggio raggiunge le massime profondità raggiunte dalle opere di progetto.

In particolare, la caratterizzazione geotecnica dei terreni potrà essere eseguita per i primi 8 m di profondità, mentre la caratterizzazione stratigrafica potrà essere spinta fino a 15 m di profondità, nell'ipotesi, da confermare con campagne geognostiche integrative o con il reperimento di nuovi dati, di estendere a tutta l'area di progetto la colonna stratigrafica ricavata dall'unico sondaggio profondo disponibile (sondaggio Staz 2 di lunghezza 15 m).

Si rimanda all'elaborato Specifiche di indagine geotecniche (Doc. P920RGKC001) per maggiori dettagli in merito alla campagna geognostica integrativa.

Tenendo presente le considerazioni sopra riportate, si procede nell'analisi dei dati disponibili per la determinazione delle principali unità geotecniche e delle caratteristiche fisiche e meccaniche da associare a ciascuna unità geotecnica individuata.

Si riepilogano nella tabella seguente le profondità raggiunte dalle indagini e dai pozzetti e le profondità della falda riscontrate durante le indagini.

Tabella 1: Riepilogo profondità sondaggi e quote di falda

Sondaggio/ Pozzetto	Lunghezza m	Profondità falda m
Pz1	3,1	2,9
Pz2	2,9	-
Pz3	3,2	2,6
Pz4	3,1	-
Pz5	4,0	3,8
Pz6	3,0	3,0
Pz7	3,1	-
Pz8	3,1	2,9
Pz9	3,0	2,7
Pz10	3,0	2,2
Pz11	3,0	2,2
Pz12	3,0	2,5
Pz13	1,2	-
Pz14	1,4	-
Pz15	3,2	3,1
Pz16	3,0	-
Pz17	3,1	2,8
Pz18	3,0	2,9
Pz19	2,7	2,7
S7-5	4,8	2,7
S8-5	4,0	3,5
Staz 2	15,0	2,9

Come si evince dalla tabella, la profondità della falda risulta compresa, nella quasi totalità dei casi, tra 2 m e 3 m.

4.2 ASSETTO STRATIGRAFICO

Per quanto riguarda l'assetto stratigrafico, è stata identificata la sequenza delle seguenti unità geotecniche:

- Unità 1: Sabbia medio grossolana, caratterizzata da inclusioni di ghiaia e, per alcuni sondaggi, nei pressi della superficie da materiale di riporto antropico; sono disponibili prove di laboratorio da cui si deduce che l'unità ha buone caratteristiche meccaniche e proprietà tipicamente granulari; lo spessore dell'unità è variabile tra 1.0 e 2.5 m;
- Unità 2: Sabbia fine e limo di colore da giallastro a grigio-verdastro; sono disponibili prove di laboratorio da cui si deduce che l'unità ha caratteristiche meccaniche piuttosto scadenti e proprietà tipicamente granulari. Lo spessore dell'unità è di circa 8 m (valore desunto dall'unico sondaggio che attraversa l'intera unità);

4.3 CARATERIZZAZIONE GEOMECCANICA

Per quanto riguarda la caratterizzazione fisica e meccanica dei terreni, si riepilogano nelle tabelle seguenti le prove di laboratorio disponibili e considerate nell'analisi.

Tabella 2: Riepilogo prove granulometriche

Prove granulometriche							
Sondaggio/ Pozzetto	Campione	Profondità	Ghiaia	Sabbia	Limo	Argilla	Passante vaglio 0.075 mm
-	-	m	%	%	%	%	%
Pz4	1	1,00	13,84	72,2	-	-	13,96
Pz14	1	1,00	59,23	15,34	-	-	25,43
Pz10	1	0,35	7,74	80,36	-	-	11,9
Pz17	1	0,40	3,52	77,9	-	-	18,58
Pz17	2	0,80	28,3	45,68	-	-	26,02
Pz17	3	1,1	6,04	43,6	-	-	50,36

Tabella 3: Riepilogo limiti di Atterberg

Limiti di Atterberg						
Sondaggio/ Pozzetto	Campione	Profondità	Limite liquido	Limite plastico	Indice plastico	
-	-	m	LL	LP	IP	
Pz14	1	1,00	41	21	20	
Pz17	3	1,1	36	21	15	

Tabella 4: Riepilogo prove di determinazione pesi di volume e contenuto d'acqua

Prove di laboratorio su pesi di volume e contenuto d'acqua					
Sondaggio	Campione	Profondità	Contenuto d'acqua	Peso di volume naturale	Peso di volume secco
-	-	m	%	kN/m ³	kN/m ³
S7-5	7-5A	-	10,5	18,5	16,7
S7-5	7-5B	-	31,1	17,5	13,4
S8-5	8-5A	-	12,8	18,0	16,0

Tabella 5: Riepilogo prove di taglio diretto

Prove di laboratorio di taglio diretto				
Sondaggio	Campione	Profondità	Angolo d'attrito	Coesione
-	-	m	°	kPa
S7-5	7-5A	-	35,5	0
S7-5	7-5B	-	34	0
S8-5	8-5A	-	31,5	10

Purtroppo, si nota che non è indicata nei certificati di laboratorio disponibili la profondità dei campioni sottoposti a prove di taglio diretto, a determinazioni dei pesi di volume e dei contenuti d'acqua. Per questa ragione tali prove non sono state considerate ai fini della caratterizzazione geomeccanica.

Si riepilogano di seguito le risultanze delle prove in sito (prove SPT e DPSH) disponibili.

Si nota che le due tipologie di prove in sito forniscono risultati confrontabili.

Tabella 6: Riepilogo prove in sito

Sondaggio/ Pozzetto	Unità	SPT		DPSH	
		Profondità (m)	N SPT	Profondità (m)	N DPSH
S7-5	1	0,5	22	0,5	23
S7-5	1	1	18	1	17
S7-5	1	2	25	2	15
S7-5	2	3	8	3	7
S7-5	2	3,5	9	3,5	7
S7-5	2	4,35	15	4	9
S7-5	2			4,5	13
S8-5	1	0,5	8	0,5	13
S8-5	1	1	10	1	5
S8-5	1	1,5	16	1,5	15
S8-5	1	2	25	2	16
S8-5	1			2,5	23
STAZ2	1	1	27	1	25
STAZ2	1	1,7	30	2	25
STAZ2	2	2,7	7	3	8
STAZ2	2	3,25	9	3,5	10
STAZ2	2	3,8	15	4	15
STAZ2	2	5	10	5	9
STAZ2	2	5,75	10	6	9
STAZ2	3	6,5	9	7	9
STAZ2	3	7,25	15	7,5	15
STAZ2	3	8	25	8	25

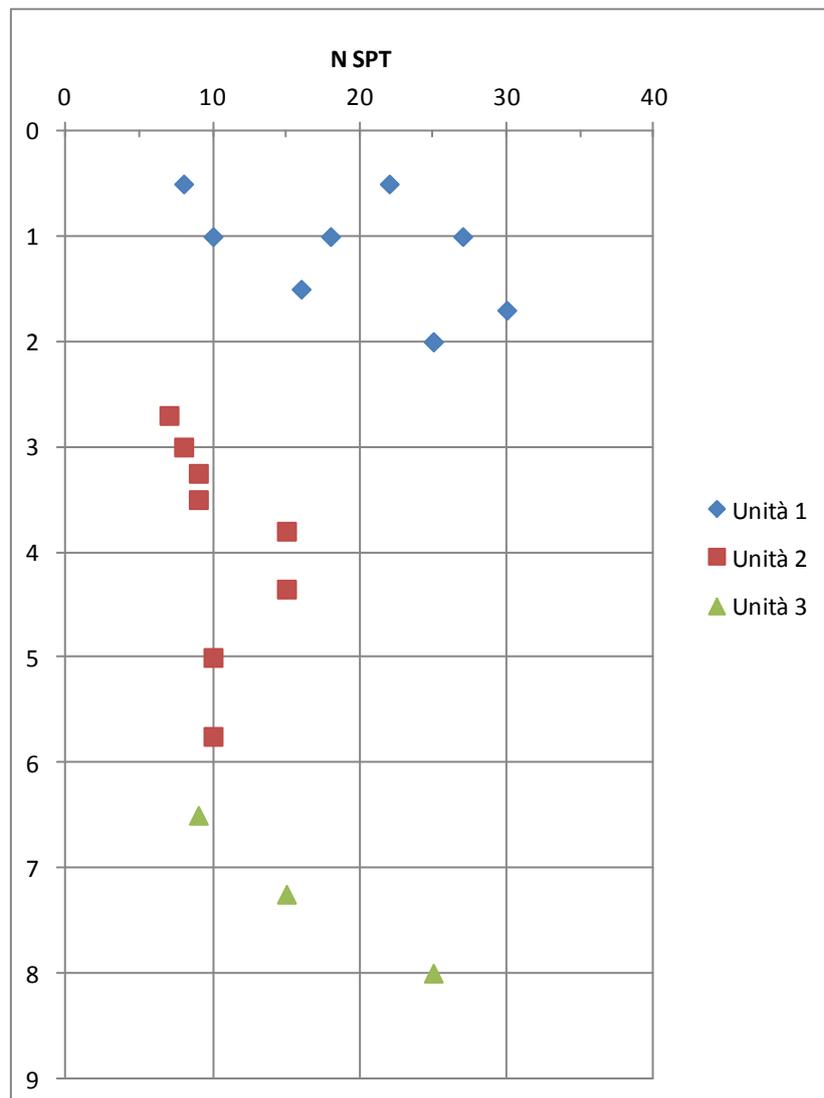


Figura 4.2: Risultati prove SPT per unità geotecnica

L'angolo di attrito delle unità geotecniche 1, 2 e 3, indagate dalle prove sopra riportate, è stato determinato con riferimento principalmente ai risultati delle prove SPT, da cui si ottengono valori dell'angolo di attrito di poco inferiori rispetto a quelli ottenuti dalle prove di taglio diretto.

In particolare, considerata la profondità limitata a cui sono state spinte le prove SPT (profondità massima 8 m), è stato calcolato l'angolo di attrito φ' mediante la correlazione di Peck, Hanson & Thornburn (1956):

$$\varphi' = 27.2 + 0.28N_{SPT}$$

Si considerano i valori massimi, minimi e medi ottenuti dalle prove SPT e si determinano i corrispondenti angoli di attrito, riportati nella figura seguente.

Tabella 7: Tabella riepilogativa angoli d'attrito

Unità	N prove	N SPT			φ (°)(Terzaghi - Peck)		
		Min	Max	Media	Min	Max	Media
1	9	8	30	20,1	29	36	33
2	8	7	15	10,4	29	31	30
3	3	9	25	16,3	30	34	32

Si fa riferimento per la caratterizzazione geotecnica ai valori medi di angolo di attrito ottenuti, mentre si pongono cautelativamente pari a 0 i valori di coesione efficace per tutte le unità geotecniche.

Si determinano le caratteristiche di deformabilità delle unità geotecniche tramite la correlazione di D'Appolonia (1970), valida per sabbie NC e ghiaie:

$$E = S_1 N_{SPT} + S_2$$

Essendo S1 pari a 0.756 MPa e S2 pari a 18.75 MPa.

Si ottengono i seguenti moduli di Young.

Tabella 8: Tabella riepilogativa moduli di Young

Unità	N SPT	E (Mpa)
1	20	30
2	10	25
3	16	30

Alla luce delle considerazioni sopra riportate, si riepilogano di seguito i parametri geotecnici e stratigrafici dei terreni oggetto di studio.

Tabella 9: Tabella riepilogativa caratterizzazione stratigrafica e geotecnica

Unità	Descrizione	Spessore	γ	φ'	c'	E
-	-	m	kN/m ³	°	kPa	Mpa
1	Sabbia medio - grossolana	1,0 ÷ 2,5	18,5	33	0	30
2	Sabbia fine e limo	8 (*)	17,5	30	0	25
3	Alternanza argilla/sabbia	3,7 (*)	18,0	32	0	30
4	Sabbia medio - grossolana	> 4,8 (*)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

(*): indicazione basata su un unico dato disponibile

Per l'Unità geotecnica 4 non sono attualmente disponibili prove in sito o di laboratorio utili a poter eseguire la caratterizzazione geotecnica, essendo le prove geomeccaniche disponibili contenute nei primi 15 m da piano campagna. Presentando tale unità caratteristiche granulometriche analoghe all'Unità 1, si adottano, ai fini delle verifiche preliminari, parametri geomeccanici identici.