

Rio Bonorchis

Interventi per il superamento delle problematiche idrauliche del canale coperto "rio bonorchis" in località "s'olia" e realizzazione di un bacino di laminazione a monte dell'abitato"

(CUP G99H18000060002)

PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA

committente: Comune di Abbasanta

responsabile servizio/settore (PO):

Arch. Gianfranco Sedda

responsabile unico del procedimento (RUP): Arch. Gianfranco Sedda

affidatario: ATI Sud Ovest Engineering S.r.l. - Abacus S.r.l.

progettista responsabile: Dott. Ing. Andrea LOSTIA - Dott. Ing. Maurizio SERAFINI

integrazione specialistica: Dott. Ing. Andrea LOSTIA

integrazione geologica: Dott. Geol. Tiziana CARRUS

coordinatore sicurezza CSP: Dott. Ing. Maurizio SERAFINI

integrazione archeologica: Archeologa Pierangela DEFRASSU

SOGGETTO INCARICATO - ATI Sud Ovest Engineering S.r.l. (mandataria) - ABACUS S.r.l.

SOE Sud Ovest Engineering S.r.l.

SOE S.r.l. - Società di Ingegneria

Direttore Tecnico: Dott. Ing. Andrea Lostia

Sede legale: Via Giotto n. 27, 09121 Cagliari

codice fiscale e partita IVA: 03454150925

capitale sociale 10.000,00 € i.v.

Sede operativa: Via Cavalcanti 12, 09047 Selargius (CA)

Tel./Fax: 070.8571341 - Mobile: (+39)3471485312

Pec: soesrl@legalmail.it

E.mail: sudovestengineering@gmail.com

progettazione.soesrl@gmail.com

cantiere.soesrl@gmail.com

Web: www.sudovestengineering.it

Struttura Operativa

Andrea Lostia (Ingegnere)

Tiziana Carrus (Geologo)

Marta Dentoni (Ingegnere)

Luca Tendas (Ingegnere)

Claudia Argiolas (Architetto)

Daniela Loddi (Ingegnere)

Francesco Secci (Geometra)

Antonio Sias (Ingegnere)

Marco Urru (Ingegnere)

Josué Ariel Manunta (Geometra)

ABACUS

Società di Ingegneria

Direttore Tecnico: Ing. Maurizio Serafini

Via Campo di Marte n. 8/a

06124 Perugia (PG)

info@abacusprogetti.it

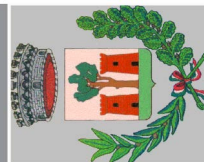
www.abacusprogetti.it

Dott. Ing. Maurizio Serafini

Dott. Ing. Roberto Pedicini

Dott. Ing. Sara Berretta

Dott. Ing. Chiara Pimpinelli



COMUNE DI ABBASANTA
SERVIZIO TECNICO E VIGILANZA

relazione geologica

ELABORATO A3		TAVOLA		SCALA		ALLEGATO
COMMESSA 2004 (2020_04)		APPROVAZIONE		REVISIONE/RIAPPROVAZIONE		APPROVAZIONE DEFINITIVA
livello	emissione	data	redazione	verifica	approvazione	VISTO COMMITTENTE
preliminare	RE00	SET-2022		Ing. A. LOSTIA	Ing. A. LOSTIA	

INDICE

PREMESSA.....	2
INQUADRAMENTO GEOGRAFICO-URBANISTICO	3
INQUADRAMENTO NORMATIVO	5
PERICOLOSITA' GEOLOGICA	6
ANALISI DELLO STATO DI FATTO E DI PROGETTO	15
ASSETTO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO.....	20
LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI LOCALI.....	23
LINEAMENTI IDROGEOLOGICI.....	26
ANALISI DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	27
MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO	33
CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA (MODELLO GEOTECNICO)	35
COMPATIBILITA' GEOLOGICA DELLE OPERE IN PROGETTO	39

PREMESSA

La presente relazione geologica è parte integrante del progetto preliminare per la realizzazione dei lavori denominati "Interventi per il superamento delle problematiche idrauliche del canale coperto "rio bonorchis" loc. "s'olia" realizzazione di un bacino di laminazione a monte dell'abitato" nel Comune di Abbasanta.

L'area in esame riguarda il canale tombato denominato "rio bonorchis", che insiste sul centro urbano di Abbasanta attraversandolo in direzione ovest-est sino a riversarsi sul Rio Chenale.

Il canale tombato risulta presente nel repertorio Canali Tombati del vigente PGRA (Piano di gestione del rischio di alluvioni) denominato "Rio Bonorchis" ed identificato con l'ID OR_A007_001.

L'intervento proposto per il superamento delle problematiche idrauliche, per il quale la RAS ha erogato il finanziamento in attuazione della D.G.R. n. 50/15 del 7.11.2017, prevede la realizzazione di interventi strutturali coerenti con quanto stabilito dalla "Direttiva per lo svolgimento delle verifiche idrauliche dei canali tombati esistenti", approvata con Delibera del Comitato Istituzionale dell'Autorità di bacino n. 2 del 17.10.2017.

Dagli studi sinora effettuati, ad oggi vigenti nel PAI, l'area è classificata a pericolosità idraulica molto elevata Hi4 sia a monte che in corrispondenza del canale tombato; lo stesso canale risulta essere idraulicamente insufficiente per garantire il deflusso delle portate previste dal PAI con il franco minimo previsto dalle vigenti norme, e pertanto anche il centro urbano risulta classificato a pericolosità idraulica molto elevata Hi4.

La relazione geologica, ai sensi dell'art. 26 del D.P.R. 207/2010, comprende sulla base delle indagini condotte, l'identificazione delle formazioni geologiche presenti nel sito; definisce lo studio dei tipi litologici, delle strutture e dei caratteri fisici del sottosuolo, il modello geologico del sottosuolo; ed illustra e caratterizza gli aspetti stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici, nonché il conseguente livello di pericolosità geologica del sito di intervento.

Lo studio è stato condotto attraverso l'esame degli strumenti pianificatori vigenti, ricerche bibliografiche e indagine diretta sul campo.

Il primo approccio è stato quello di esaminare gli strumenti pianificatori esistenti e/o adottati per individuare il materiale ritenuto utile come base di partenza per la caratterizzazione della zona di intervento, la documentazione esaminata è stata:

- cartografia del P.A.I.;
- il database del sito web della Regione Sardegna – Sardegna Geoportale;
- Progetto per gli interventi di messa in sicurezza idraulica dell'abitato nell'anno 2018.

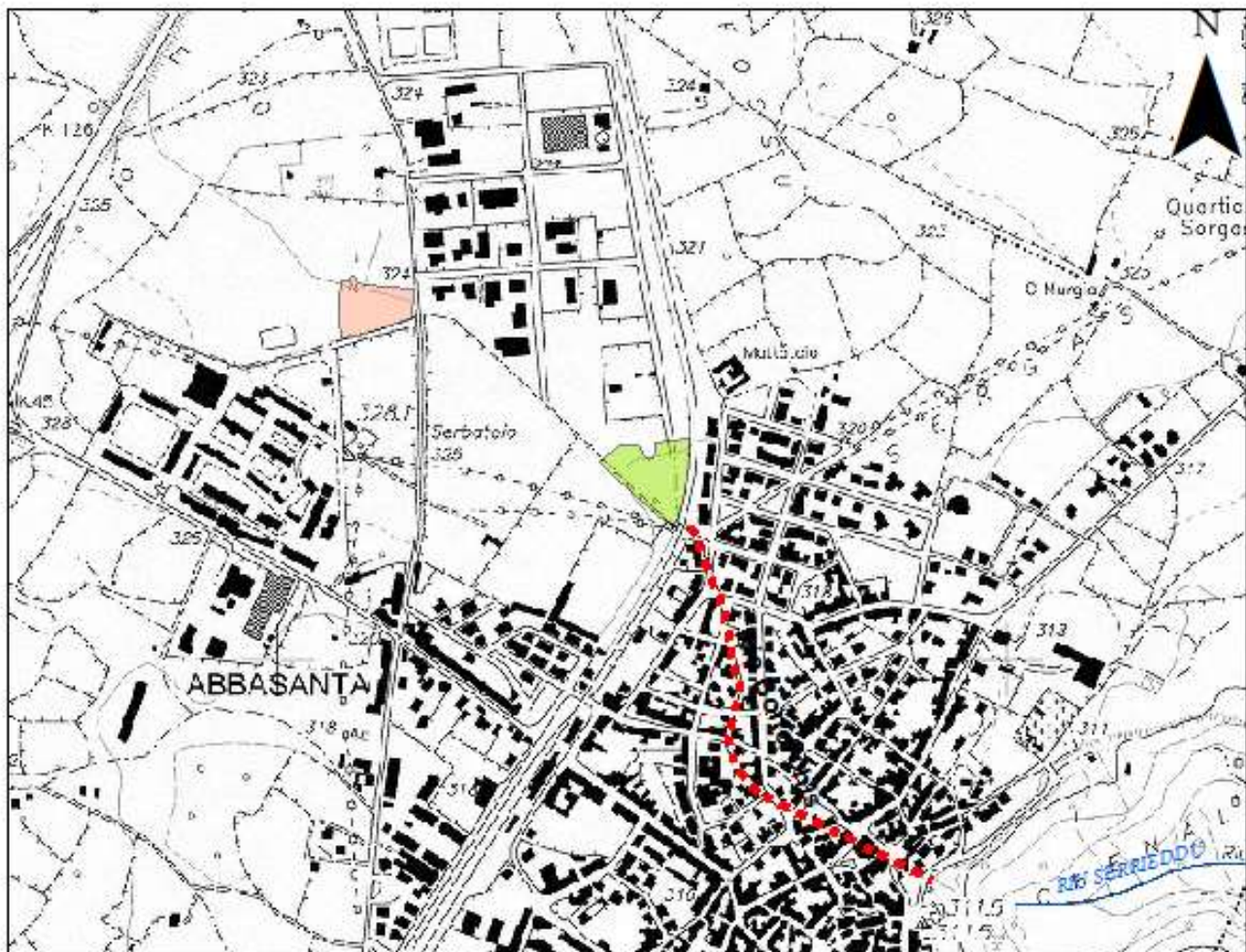
In seguito all'analisi e ai sopralluoghi preliminari si è passati alla fase di verifica sul campo con lo scopo di implementare le caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche in possesso, ed elaborare un modello geologico e geotecnico; a tal proposito sono state eseguite delle indagini per la caratterizzazione geofisica, geotecnica e chimica dei litotipi in cui andranno a realizzarsi le nuove opere idrauliche, col fine di accertare la compatibilità degli interventi previsti in progetto.

INQUADRAMENTO GEOGRAFICO-URBANISTICO

L'area oggetto di studio è ubicata a nord ovest del centro urbano di Abbasanta in località "Osoddeo" la quale presenta una morfologia pianeggiante con un'altimetria di circa 325 mt s.l.m..

Tale area è inquadrata nella Carta Topografica d'Italia in scala 1:25000, Foglio 515 sez. IV – "Abbasanta" e nella Carta Tecnica Regionale Numerica sez. 515060 denominata "Abbasanta". Urbanisticamente ricade in zona D artigianale e commerciale.

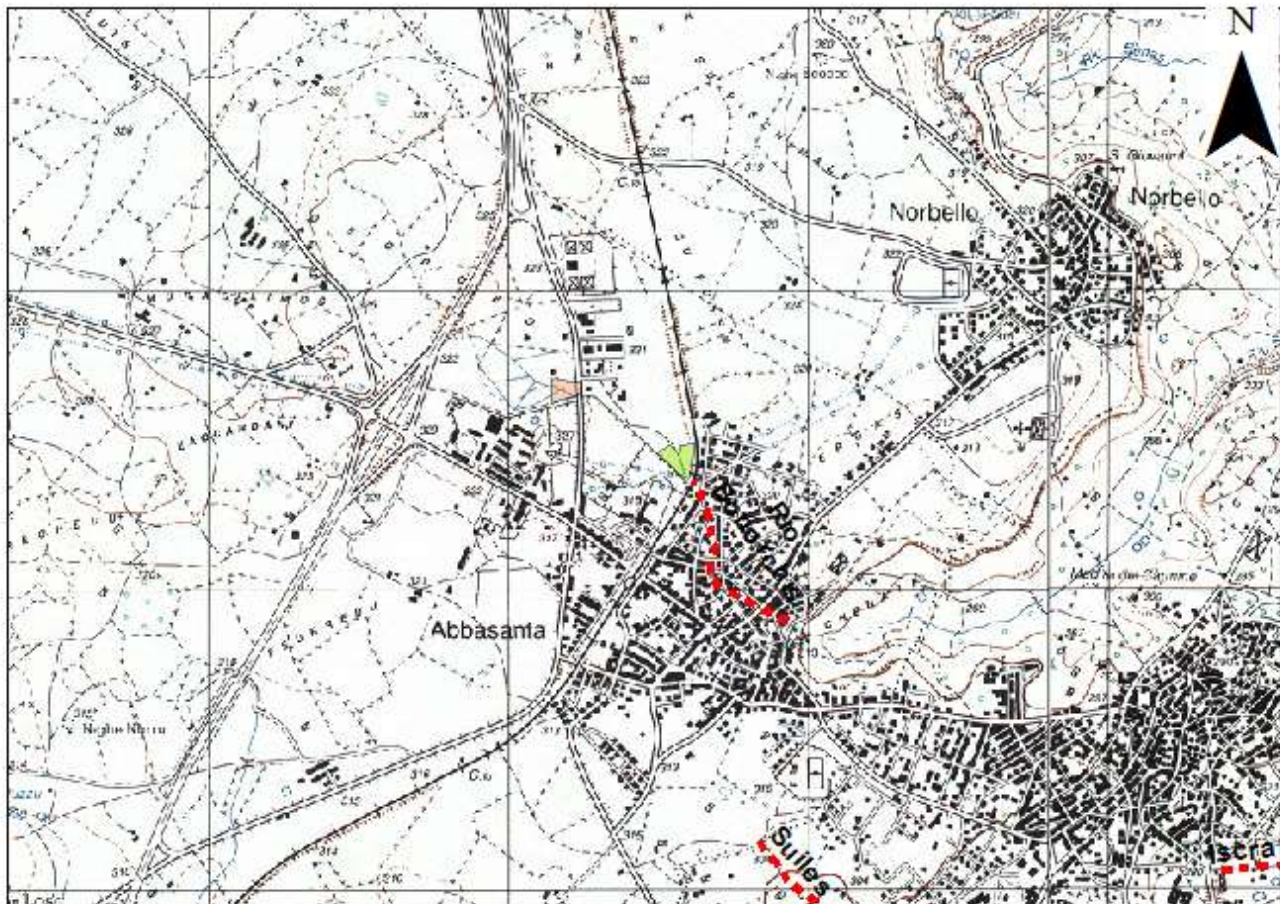
Inquadramento territoriale CTR n. 515060 "Abbasanta" scala 1:10000



Legenda

- Vasca_B
- Vasca_A
- Rep_Canali_Tombati_Agg_Mag_2017

Inquadramento territoriale Foglio IGM n. 515 sez. IV "Abbasanta" scala 1:25000



Legenda

- Vasca_B
- Vasca_A
- Rep_Canali_Tombati_Agg_Mag_2017

STRALCIO ZONIZZAZIONE CENTRO URBANO



D1	GIA DOTATA DI PIANI ATTUATIVI
D2	MISTA ARTIGIANATO E COMMERCIO
E1	PRODUZIONI TIPICHE LOCALI

INQUADRAMENTO NORMATIVO

- D. Lgs 50/2016 Codice dei contratti pubblici;
- D.P.R. 207/2010 s.m.i. – regolamento di esecuzione e attuazione del codice dei contratti pubblici;
- D.P.R. 380/2001 testo unico dell'edilizia;
- D.M. 11 marzo 1988 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione" e relative istruzioni tecniche (Circolare LL.PP. 24.09.1988, n. 30483);
- O.P.C.M 20 marzo 2003, n. 3274 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" e la successiva n. 3519 del 28/04/2006;
- Circolare n. 617 C.S.LL.PP. del 02/02/2009;
- D.M. 17/01/2018: Norme tecniche delle costruzioni e s.m.i.;
- Circolare n.7 del 21.02.2019 "Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle Norme Tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 17/01/2018";
- Piano per l'Assetto Idrogeologico della Sardegna (P.A.I.) e relative varianti;

- Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (P.S.F.F.);
- Legge Regionale 6 dicembre 2006, n. 19 - Disposizioni in materia di risorse idriche e bacini idrografici;
- Legge Regionale 31 ottobre 2007, n. 12 - Norme in materia di progettazione, costruzione, esercizio e vigilanza degli sbarramenti di ritenuta e dei relativi bacini di accumulo di competenza della Regione Sardegna.

PERICOLOSITA' GEOLOGICA

L'insieme dei fenomeni geologici e dei loro effetti su una zona rappresenta quella che si definisce la pericolosità geologica, che comprende i fenomeni naturali quali ad esempio le frane, le alluvioni, i terremoti, le eruzioni vulcaniche ect. Nella fattispecie in questione, in quadro normativo di riferimento della Regione Sardegna disciplina il rischio idrogeologico e la pericolosità sismica.

Pericolosità sismica di base

Lo studio di pericolosità, allegato all'O.P.C.M. n. 3519 del 28/04/2006, integrato con il D.M. 14/01/2008, ha fornito alle Regioni uno strumento aggiornato per la classificazione del proprio territorio, introducendo degli intervalli di accelerazione (a_g), con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni, da attribuire alle 4 zone sismiche. Con l'entrata in vigore delle NTC del 17.01.2018 il termine accelerogramma viene sostituito con la storia temporale del moto del terreno, venendo eliminata la definizione di zona sismica, il sito su cui sorge la costruzione e/o l'opera sarà contraddistinto esclusivamente dall'accelerazione al suolo.

Con riferimento alla classificazione sismica del territorio nazionale con l'Ordinanza D.P.C.M. n. 3274 del 20/03/2003 e la successiva n. 3519 del 28/04/2006 il comune di Abbasanta è classificato come zona sismica 4 "pericolosità molto bassa"; pertanto in funzione della tipologia dell'opera l'azione sismica è da ritenersi trascurabile.

Con l'aggiornamento delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni D.M. 17/01/2018 (NTC 2018) si eliminano completamente la divisione in zone sismiche, di conseguenza sarà utilizzato il metodo agli Stati Limite. Limitatamente alle zone caratterizzate da $a_{gS} < 0.075$ si semplifica la verifica sismica richiedendo la sola verifica allo Stato Limite di salvaguardia della vita (SLV) con una combinazione di carichi semplificata.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto da parte del progettista, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi. Nel caso in esame, si può definire l'azione sismica utilizzando l'approccio semplificato, che si basa sull'individuazione delle categorie di sottosuolo di riferimento.

Le forme spettrali previste dalle NTC sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei tre parametri:

- a_g accelerazione orizzontale massima del terreno;
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_c periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

TABELLA 2: Valori di a_g , F_0 , T_C^* per le isole, con l'esclusione della Sicilia, Ischia, Procida e Capri.

	$T_R=30$			$T_R=50$			$T_R=72$			$T_R=101$			$T_R=140$			$T_R=201$			$T_R=475$			$T_R=975$			$T_R=2475$		
Isole	a_g	F_0	T_C^*	a_g	F_0	T_C^*	a_g	F_0	T_C^*	a_g	F_0	T_C^*	a_g	F_0	T_C^*	a_g	F_0	T_C^*	a_g	F_0	T_C^*	a_g	F_0	T_C^*	a_g	F_0	T_C^*
Arquipelago Toscano, Isola d'Elba, Pianella, Sardegna , Lampedusa, Linosa, Piza, Palmaria, Zannone	0,186	2,61	0,273	0,235	2,67	0,296	0,274	2,70	0,303	0,314	2,73	0,307	0,351	2,78	0,313	0,393	2,82	0,322	0,500	2,88	0,340	0,603	2,96	0,372	0,747	3,09	0,401
Ventotene, Santo Stefano	0,239	2,61	0,245	0,303	2,61	0,273	0,347	2,61	0,298	0,389	2,66	0,326	0,430	2,69	0,366	0,481	2,71	0,401	0,600	2,92	0,476	0,707	3,07	0,517	0,852	3,27	0,564
Ustica, Tremiti	0,429	2,50	0,400	0,554	2,50	0,400	0,661	2,50	0,400	0,776	2,50	0,400	0,901	2,50	0,400	1,056	2,50	0,400	1,500	2,50	0,400	1,967	2,50	0,400	2,725	2,50	0,400
Alicudi, Filicudi	0,350	2,70	0,400	0,558	2,70	0,400	0,807	2,70	0,400	1,020	2,70	0,400	1,214	2,70	0,400	1,460	2,70	0,400	2,471	2,70	0,400	3,112	2,70	0,400	4,077	2,70	0,400
Panarea, Stromboli, Lipari, Vulcano, Salina	0,618	2,45	0,287	0,817	2,48	0,290	0,983	2,51	0,294	1,166	2,52	0,290	1,354	2,56	0,290	1,580	2,56	0,292	2,200	2,58	0,306	2,823	2,65	0,316	3,746	2,76	0,324

Risposta sismica locale

Ai fini della ricostruzione dell'assetto sismo-stratigrafico dei terreni in cui saranno realizzate le traverse delle casse di laminazione, sono stati eseguiti tre stendimenti sismici (sismica attiva MASW), la cui descrizione dettagliata è riportata nella relazione allegata a cui si rimanda.

La prova MASW è molto utile per ricavare il parametro V_{seq} , richieste dalle NTC 2018, calcolata dal piano d'imposta della fondazione ai fini dell'effetto della risposta sismica locale e l'assetto sismo-stratigrafico dei terreni fino ad una profondità stimata di circa 30 m o del bedrock. Per depositi con H superiore a 30 m, la $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$ che si ottiene ponendo 30 al posto di H.

Dal risultato dell'indagine nelle tre aree, in base alla classificazione di cui al paragrafo 3.2.2 delle NTC 2018, il suolo di fondazione è stato classificato come **Categoria A**: Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,eq}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo di 3 m. (cfr Tab. 3.2.II NTC 2018).

$V_{s,eq}$ E CATEGORIA SISMICA DEL SITO

Prospezione	Profondità imposta fondazione m da p.c.	Profondità del bedrock m da p.c.	RMS	V_{seq} m/sec	Categoria stratigrafica (NTC 2018)
Area A	3,25	2,4	2,49	> 800	A
Area B	3,20*	2,7	1,14	> 800	A

* nella valutazione della $V_{s,eq}$ si è tenuto conto che la misura è stata eseguita su una strada sterrata che risulta topograficamente più elevata di circa 1,3 m rispetto all'area in cui sarà realizzata l'opera.

Figura 16 - $V_{s,eq}$ e categoria stratigrafica relative alle tre aree esaminate.

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>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.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

Parametri fisici Area A

Strato	Spessore medio	Profondità base	V _s	V _p	Modulo di taglio dinamico	Modulo di elasticità dinamico	R	F	T
n°	m	m da p.c.	m/sec	m/sec	G ₀ MPa	Edin MPa	m/sec x kN/mc	Hz	sec
1	0,61	0,61	387	670	382	1031	9675	158,61	0,006
2	0,78	1,39	365	632	340	917	9125	116,99	0,009
3	0,96	2,35	427	740	465	1255	10675	111,20	0,009
4	1,2	3,55	801	1387	1635	4415	20025	166,88	0,006
5	1,51	5,06	1037	1796	2740	7399	25925	171,69	0,006
6	1,88	6,94	1017	1761	2636	7117	25425	135,24	0,007
7	2,36	9,3	827	1432	1743	4706	20675	87,61	0,011
8	2,94	12,24	1042	1805	2767	7471	26050	88,61	0,011
9	3,67	15,91	1322	2290	4454	12025	33050	90,05	0,011
10	4,62	20,53	1255	2174	4014	10837	31375	67,91	0,015
11	5,76	26,29	1395	2416	4959	13390	34875	60,55	0,017
12	3,71	30	2163	3746	11923	32192	54075	145,75	0,007

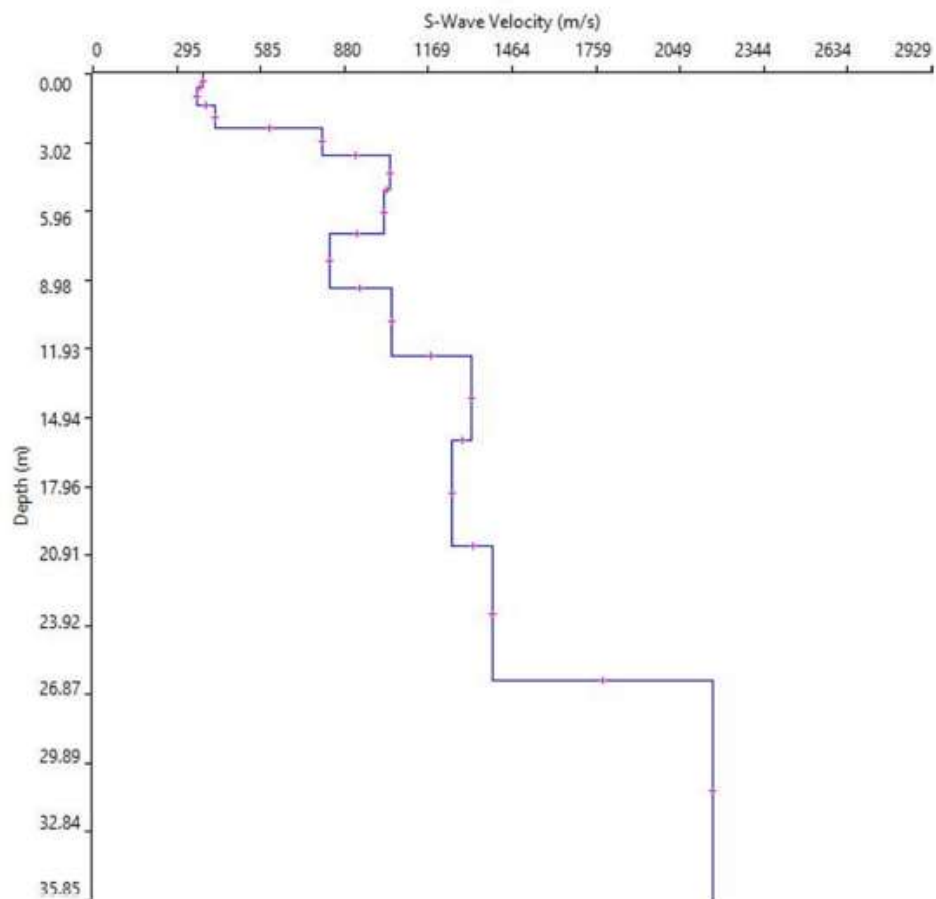


Figura 7 - Area A, profilo sismo-stratigrafico.

Parametri fisici Area B

Strato	Spessore medio	Profondità base	V _s	V _p	Modulo di taglio dinamico	Modulo di elasticità dinamico	R	F	T
n°	m	m da p.c.	m/sec	m/sec	G ₀ MPa	Edin MPa	m/sec x kN/mc	Hz	sec
1	0,71	0,71	543	941	751	1521	13575	191,20	0,005
2	0,87	1,58	502	869	642	1300	12550	144,25	0,007
3	1,1	2,68	618	1070	973	1971	15450	140,45	0,007
4	1,27	3,95	933	1616	2218	4492	23325	183,66	0,005
5	1,54	5,49	1124	1947	3220	6519	28100	182,47	0,005
6	1,86	7,35	1292	2238	4254	8613	32300	173,66	0,006
7	2,24	9,59	1552	2688	6138	12429	38800	173,21	0,006
8	2,73	12,32	1746	3024	7769	15730	43650	159,89	0,006
9	3,32	15,64	1707	2957	7426	15035	42675	128,54	0,008
10	4	19,64	1541	2669	6052	12253	38525	96,31	0,010
11	4,85	24,49	1528	2647	5950	12047	38200	78,76	0,013
12	5,51	30	1809	3133	8340	16886	45225	82,08	0,012

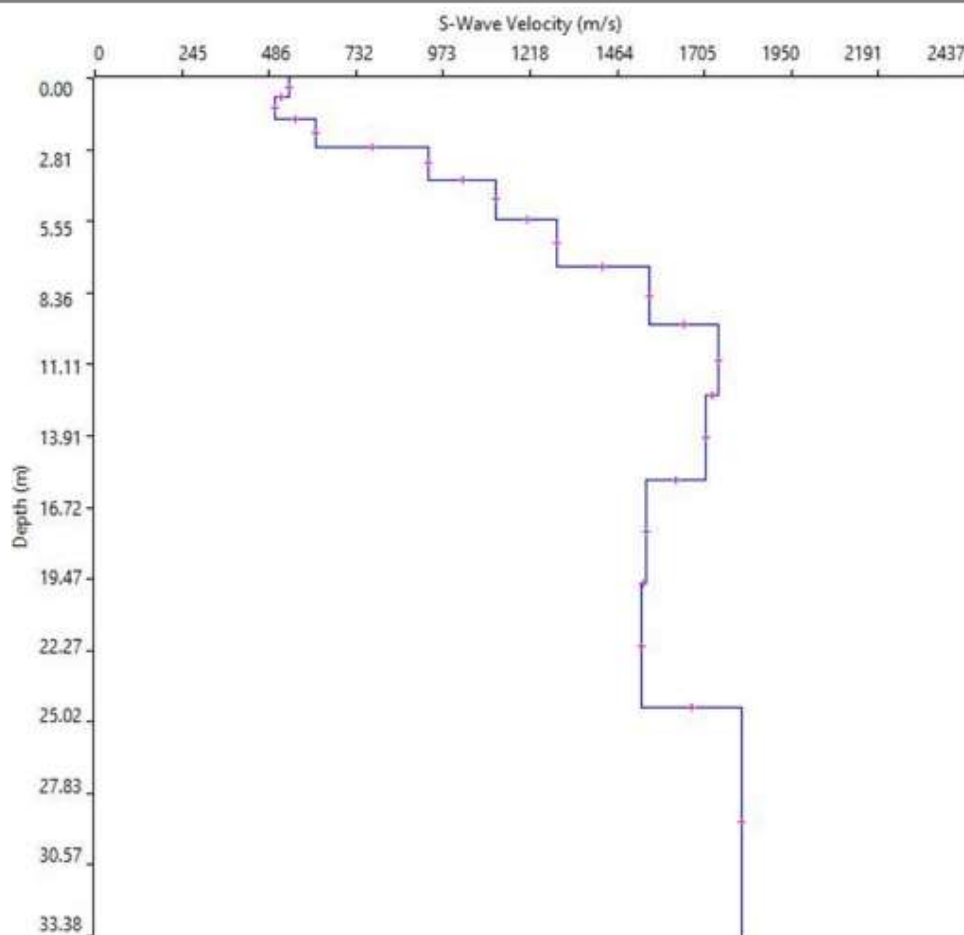


Figura 11 - Profilo sismo-stratigrafico Area B.

Dall'analisi dei dati ottenuti emerge quanto segue:

- L'assetto sismo-stratigrafico rilevato dall'analisi del profilo sismico indica la costante presenza di un basamento litoide molto rigido poco profondo ascrivibile alla formazione dei basalti della Planargia-Campeda di età compresa fra il Pliocene sup. e il Pleistocene. La potenza è certamente superiore ai 30 m.
- La $V_{s,eq}$ rilevata, è risultata sempre superiore agli 800 m/sec, calcolata dalla base della fondazione posta a profondità differenti per le tre traverse previste in progetto, che permette di inquadrare il sottosuolo nella categoria stratigrafica A come definita dalle NTC del 2018. La presenza di inversioni di velocità rilevata in una postazione (area C) rende più incerta l'attribuzione della categoria, tuttavia è evidente la presenza di una formazione con V_s molto alte per tutto lo spessore investigato.
- Non si rilevano rischi di liquefacibilità dei terreni in caso di evento sismico.

Oltre a tener conto delle condizioni stratigrafiche del terreno interessato, è necessario considerare anche le condizioni topografiche, poiché entrambi questi fattori contribuiscono a modificare l'azione sismica in superficie. Le caratteristiche morfologiche e topografiche del sito in esame rispecchiano quelle della categoria topografica T1.

Tabella 3.2.IV – Categorie topografiche

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

La vita nominale di progetto V_N di un'opera è convenzionalmente definita come il numero di anni nel quale è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali.

Tab. 2.4.I – Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Con riferimento alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Le caratteristiche dell'opera oggetto di progettazione (con vita nominale di progetto $V_N \geq 50$ anni) sono inserite in classe d'uso II (Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali), cui corrisponde un coefficiente d'uso $C_U = 1$.

Tab. 2.4.II – Valori del coefficiente d'uso C_U

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

Le azioni sismiche sulle costruzioni vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale di progetto V_N per il coefficiente d'uso C_U :

$$V_R = V_N * C_U = 50 * 1 = 50 \text{ anni}$$

Tabella 3.2.V – Espressioni di S_g e di C_c

Categoria sottosuolo	S_g	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

CALCOLO TRAMITE IL SOFTWARE GEOSTRU

SITO IN ESAME

Sardegna

Classe: II

Vita nominale: 50

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: A

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 50 anni

Coefficiente cu: 1

Stati limite		Probabilità di superamento: $P_{VR}\%$	Tr: [anni]	ag: (g)	Fo: [-]	Tc* [s]
SLE	Operatività (SLO)	81	30	0,019	2,610	0,273
	Danno (SLD)	63	50	0,024	2,670	0,296
SLU	Salvaguardia della vita (SLV)	10	475	0,050	2,880	0,340
	Prevenzione dal collasso (SLC)	5	975	0,060	2,980	0,372

Coefficienti Sismici stabilità pendii e fondazioni

	Ss Amplificazione stratigrafica	Cc Coeff. in funzione della categoria	St Amplificazione topografica	Kh Coeff. sismico orizzontale	Kv Coeff. sismico verticale	Amax (m/s ²) Accelerazione orizzontale massima	B Coeff. riduzione Amax
SLO	1.00	1.00	1.00	0.004	0.002	0.182	0.200
SLD	1.00	1.00	1.00	0.005	0.002	0.230	0.200
SLV	1.00	1.00	1.00	0.010	0.005	0.490	0.200
SLC	1.00	1.00	1.00	0.012	0.006	0.591	0.200

Coordinate WGS84
latitudine: 40.086143
longitudine: 8.980026

Pericolosità idrogeologica

In riferimento al rischio idrogeologico la Regione Sardegna ha elaborato dei piani cui bisogna rapportarsi per qualsiasi opera e/o intervento da realizzarsi.

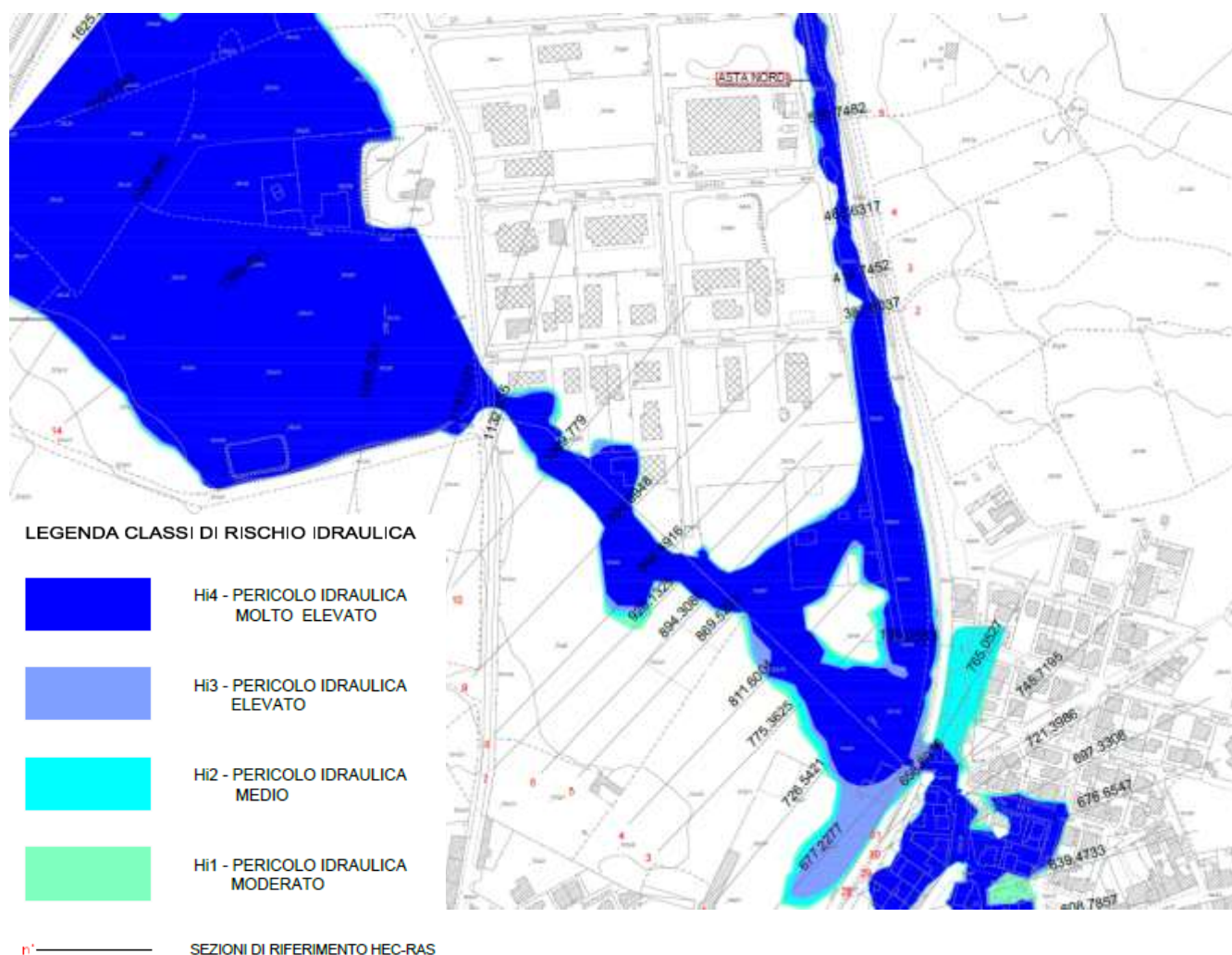
- Il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.), elaborato dalla Regione Sardegna ai sensi della L. 18.05.1989 n. 183 e dalla L. 03.08.1998 n. 267, approvato con D.P.G.R. n. 67 del 10.07.2006 e aggiornato con D.P.G.R. 148 del 26.10.2012, è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa ed alla valorizzazione del suolo, alla prevenzione del rischio idrogeologico, sulla base delle caratteristiche fisiche ed ambientali del territorio interessato.
- Il Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (P.S.F.F.) adottato con Delibera n.1 del 20.06.2013 e con Delibera definitiva n.1 del 07.07.2015, è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo, mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso riguardanti le fasce fluviali; costituisce un approfondimento ed una integrazione del Piano di Assetto Idrogeologico (P.A.I.)

- Il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA) aggiornato con la Deliberazione del Comitato Istituzionale n. 14 del 21/02/2021, in adempimento alla direttiva 2007/60/CE è stata recepita in Italia dal D.Lgs. 23 febbraio 2010, n. 49, introduce lo strumento di pianificazione e programmazione denominato Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA), riferito alle zone ove possa sussistere un rischio potenziale significativo di alluvioni o si ritenga che questo si possa generare in futuro, da predisporre in ciascuno dei distretti idrografici individuati nell'art. 64 del D.Lgs 152/2006.

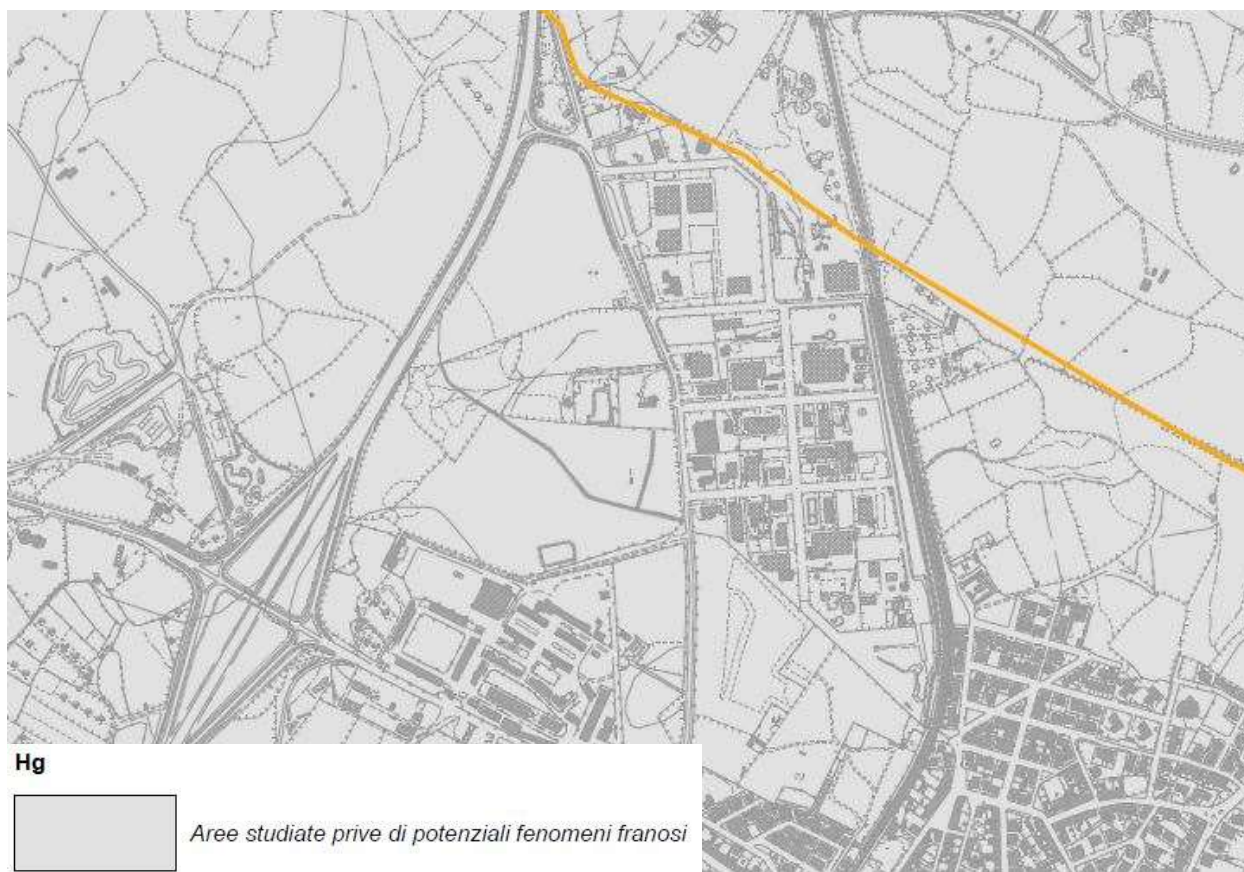
Il Comune di Abbasanta è ricompreso all'interno del bacino unico della Sardegna, sub-bacino n. 2 Tirso, così come individuato dal P.A.I. e dal P.S.F.F. della Regione Sardegna.

Nell'area oggetto di intervento grava il vincolo inerente il pericolo idraulico Hi4 (molto elevato) derivante dallo studio di maggiore dettaglio ai sensi dell'art. 37 comma 3 delle N.A. del P.A.I. approvato con Deliberazione n. 12 del 09.09.2020 dall'Autorità di Bacino; mentre non grava nessun vincolo inerente la pericolosità geomorfologica.

STRALCIO CARTA DELLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA - COMUNALE



STRALCIO CARTA DELLA PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA - PUI



ANALISI DELLO STATO DI FATTO E DI PROGETTO

L'area in esame riguarda il corso d'acqua del Rio Bonorchis, che attraversa il centro urbano di Abbasanta mediante un canale tombato che, in occasione di abbondanti piogge, crea dei fenomeni alluvionali classificati con una pericolosità idraulica molto elevata.

La pianura in cui è presente il bacino del Rio Bonorchis è caratterizzata da una morfologia pianeggiante, con quote medie circa 320 m; nello specifico l'asta fluviale nasce in località "Marinzana" e per una lunghezza di circa 1 km l'alveo non è inciso. A valle dell'attraversamento sulla SS131, nel tratto sino alla via Oristano, la sezione si presenta di forma trapezia via via più ampia. Subito a valle della via Oristano, dalla zona industriale e per tutto il centro urbano si ha la presenza del canale tombato.

Dall'analisi multitemporale della cartografia storica riferita alle ortofoto RAS si evince come il corso d'acqua a causa dell'antropizzazione ha subito delle variazioni nel centro urbano dove è stato realizzato il canale tombato, mentre nel tratto ad ovest tra la SS 131 e la via Oristano il suo tracciato, a cielo aperto, è rimasto invariato.

Di recente sono stati avviati, ma non ancora conclusi, i lavori denominati "Interventi di messa in sicurezza idraulica dell'abitato" che, sostanzialmente, prevedono il rifacimento dell'attraversamento posto in corrispondenza della Via Oristano, e la risagomatura e riapertura del canale per circa 1 km a partire dal tratto a monte di Via Oristano sino all'attraversamento Ferroviario posto subito a monte del centro urbano.

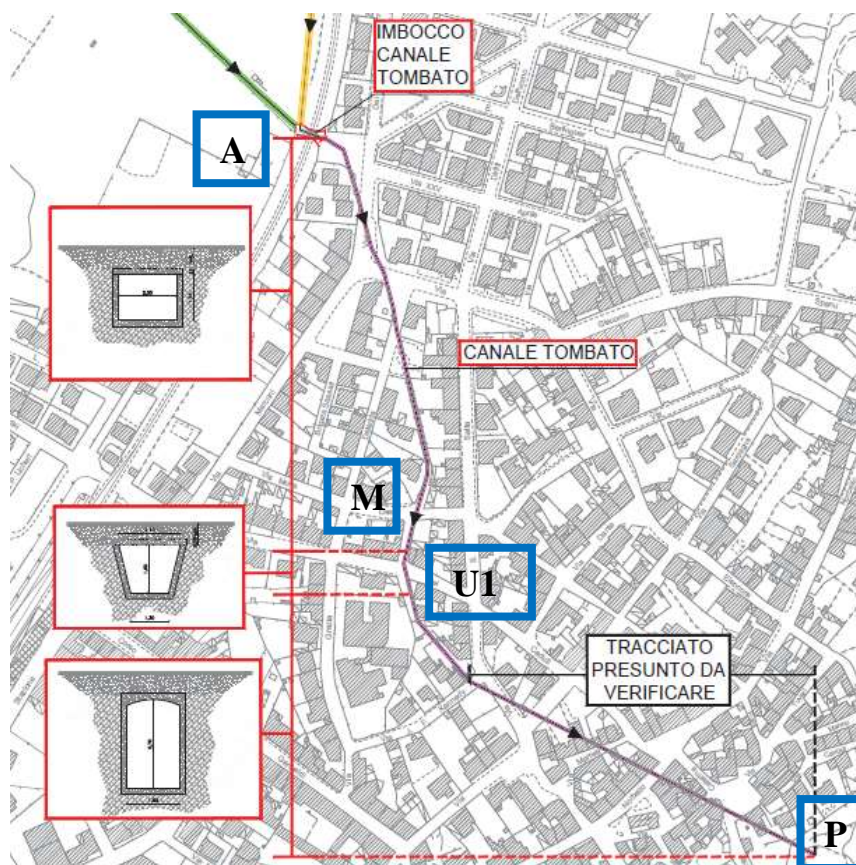
Questi interventi **sono stati integrati in questo studio come interamente completati secondo il progetto redatto da altri professionisti** e oggetto di nulla osta da parte della Autorità di bacino della Regione Sardegna. Si sottolinea che è stato possibile eseguire i rilievi nei tratti dove gli interventi sono stati già realizzati, che pertanto sono stati considerati come stato di fatto ed integrati nel presente progetto.

Il canale tombato nel centro urbano ha lunghezza circa 660 mt, mostra una pendenza pari a circa 0.011 (ovvero 1.1%), con la quota rilevata nel punto di imbocco pari a 315.90 m s.l.m.m. e nel punto di sbocco pari a 309.50 m s.l.m.m.

Il canale tombato lungo il suo percorso presenta diverse sezioni: il primo tratto (pari a circa il 50% del tracciato) ha sezione rettangolare di base 2 m e altezza 1.50 m (tratto A-M); il secondo tratto (M-U1) ha sezione trapezia di base minore 1,30 m, base maggiore 2,10 m e altezza 1,60 m; l'ultimo tratto (U1-P) ha una sezione variabile in altezza (altezza minima 2,30 m), di base 1,80 m e la copertura è a sezione semicircolare in blocchi di pietra (Sezione P).

Il manufatto presenta ad oggi uno stato di conservazione apparentemente buono.

Si riporta uno stralcio della planimetria di dettaglio del canale tombato, così come riportato nello Studio di maggior dettaglio ai sensi dell'art. 37 comma 3 delle N.A. del P.A.I. approvato con Deliberazione n. 12 del 09.09.2020 dall'Autorità di Bacino.



Nel centro urbano sono presenti diverse caditoie lungo il tracciato del canale; inoltre, durante la redazione del presente studio, **sono in fase di esecuzione alcuni interventi relativi alla rete di acque bianche nel centro urbano** denominati "Realizzazione ed adeguamento rete acque bianche nei pressi del canale tombato", consistenti sostanzialmente nel ripristino e nella realizzazione di ulteriori caditoie e collegamenti afferenti allo stesso canale.

Lo sbocco del canale tombato avviene sul Rio Chenale (denominato *Rio Serrieddu* nel database della Regione Sardegna), che presenta caratteristiche del tutto naturali.

Secondo le analisi svolte, il canale non verifica secondo normativa nemmeno la portata corrispondente al tempo di ritorno di 50 anni, in quanto la corrente transita già nella sezione di imbocco senza il franco minimo previsto dalla normativa vigente.

STATO DI FATTO – RIO BONORCHIS (IMBOCCO CANALE TOMBATO)



STATO DI FATTO – RIO BONORCHIS (CANALE TOMBATO – COPERTURA IN AREA URBANA)



***STATO DI FATTO – RIO BONORCHIS
(ATTRAVERSAMENTO FERROVIARIO A MONTE DELL'IMBOCCO DEL CANALE TOMBATO)***



***STATO DI FATTO – RIO BONORCHIS
(ATTRAVERSAMENTO A MONTE DI VIA ORISTANO – SETTEMBRE 2020)***



**STATO DI FATTO – RIO BONORCHIS
(CANALE A MONTE DI VIA ORISTANO – SETTEMBRE 2020)**



L'intervento nel suo complesso è volto al superamento delle problematiche idrauliche dovute al canale tombato presente nel tratto urbano di Abbasanta.

Il canale tombato nel centro urbano ha lunghezza circa 660 mt, mostra una pendenza pari a circa 0.011 (ovvero 1.1%), con la quota rilevata nel punto di imbocco pari a 315.90 m s.l.m.m. e nel punto di sbocco pari a 309.50 m s.l.m.m.

Il canale tombato lungo il suo percorso presenta diverse sezioni: il primo tratto (pari a circa il 50% del tracciato) ha sezione rettangolare di base 2 m e altezza 1.50 m (tratto A-M); il secondo tratto (M-U1) ha sezione trapezia di base minore 1,30 m, base maggiore 2,10 m e altezza 1,60 m; l'ultimo tratto (U1-P) ha una sezione variabile in altezza (altezza minima 2,30 m), di base 1,80 m e la copertura è a sezione semicircolare in blocchi di pietra (Sezione P).

Il manufatto presenta ad oggi uno stato di conservazione apparentemente buono.

Le analisi sinora condotte mostrano che il canale tombato **non verifica secondo normativa nemmeno la portata corrispondente al tempo di ritorno di 50 anni** e funziona in pressione **a partire dalla portata centenaria** (TR 100 anni).

Il manufatto è integrato nell'area urbana di Abbasanta; attualmente è di fatto parte della rete urbana di drenaggio delle acque bianche. Lo "stombinamento" del canale, ricavando in ambito urbano lo spazio necessario per fare defluire le portate previste dalla normativa, risulta estremamente difficoltoso e praticamente non attuabile.

Le soluzioni progettuali mirano a disconnettere il tratto tombato da quello naturale nella parte a monte, in modo che il canale urbano svolga il solo compito di raccogliere e drenare le acque bianche.

In questa fase di fattibilità tecnica ed economica sono stati previsti tutti gli interventi ritenuti necessari secondo le indicazioni del RUP e dall'Amministrazione, e delle risultanze emerse nel corso dei vari sopralluoghi effettuati e di quanto è stato possibile osservare.

ASSETTO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO

Il contesto geologico di riferimento è rappresentato principalmente dagli eventi del vulcanismo Oligo-miocenico con la contemporanea messa in posto della successione sedimentaria, e successivamente dagli espandimenti basaltici pliocenici che la ricoprono.

L'area di studio è strutturalmente situata sul bordo centro orientale della fossa burdigaliana sarda. In particolare, il settore del lago Omodeo costituisce verosimilmente la prosecuzione verso SO del bacino transtensionale oligo-aquitaniense di Ottana (Oggiano et alii, 1995). Questo settore è, infatti, delimitato da NE a SO da un segmento della faglia trascorrente di Nuoro, la cui continuità è interrotta da una serie di faglie trascorrenti secondarie, ortogonali ad essa.

Questa importante linea tettonica di probabile età oligo-aquitaniense ricalca probabilmente una preesistente discontinuità tardo-ercinica del basamento paleozoico.

La faglia di Nuoro costituisce anche il limite occidentale del complesso paleozoico della Barbagia-Mandrolisai, che consiste prevalentemente di intrusioni tardo-erciniche tonalitico-granodioritiche e monzogranitiche, intruse nelle alternanze di matarenarie, quarziti e filladi.

Su questo basamento paleozoico poggiano direttamente le coltri ignimbritiche fluidali (LAES) del vulcanismo calco-alcalino (Assorgia et alii, 1997), spesso bentonizzate, con intercalazioni tufacee e talora sedimentarie, da fluviali a lacustri. La loro età è da attribuire all'Aquitaniense-Burdigaliano inferiore.

Con l'inizio della fase distensiva burdigaliana, la faglia di Nuoro ed il sistema di faglie secondarie si riattivano e le vulcaniti calco-alcaline vengono dislocate nella fossa sarda in rapida subsidenza, che a sua volta viene colmata da una successiva serie vulcano sedimentaria.

Questa successione denominata "*Successione Sedimentaria Oligo-Miocenica del Bacino del Tirso*" è costituita da:

- una successione marnoso-arenacea in banchi decimetrici più o meno compatti, fossilifera di ambiente marino, ben stratificata, con alternanza di livelli marnosi e livelli arenacei in giacitura sub orizzontale, di colore giallo chiaro (*Unità di Tadasuni-Sorradile* - Burdigaliano superiore-Langhiano inferiore-medio);
- Deposito di sabbie sterili fini limo argillose da poco a mediamente coerenti, di colore grigio-giallastre, stratificate, riconducibili all'*Unità di Boroneddu* (Langhiano medio-superiore Serravalliano inferiore). Tale deposito rappresenta la fine del ciclo sedimentario miocenico, in fase regressiva di ambiente deposizionale fluvio-deltizio.

Nel Plio-Pleistocene si ha, infatti, una ripresa dell'attività vulcanica caratterizzata dalla presenza di prodotti vulcanici prevalentemente basici. Nell'altopiano di Abbasanta lo spessore delle vulcaniti individuato durante la realizzazione di pozzi trivellati per ricerche idriche (dati recuperati nel sito dell'ISPRA) varia da un massimo di 100 mt ad un minimo di 35 mt, mentre al di sotto si ritrovano le litologie delle arenarie di Boroneddu dell'oligo-Miocene.

La messa in posto delle colate basaltiche è legata alla fase finale della tettonica distensiva del Plio-Pleistocene, connessa con l'apertura del bacino tirrenico e la formazione del Graben del Campidano. Queste lave, ascrivibili alla Sub-Unità di Dualchi, ricoprono gran parte del territorio comunale. Dalle datazioni assolute eseguite con il metodo K/Ar, su basalti dell'area, risultano avere un'età che si aggira intorno ai 3 +/- 0,3 Ma, quindi Pliocene medio-superiore.

Come si evince dalle indagini dirette e indirette, quali pozzetti geognostici e indagine sismica, la litologia che caratterizza la zona di sedime delle opere idrauliche è rappresentata

dal basalto più o meno fratturato e alterato a comportamento litoide negli strati più profondi.

Stralcio carta geolitologica RAS - scala 1:10000



Legenda

Vasca_B

Vasca_A

Rep_Canali_Tombati_Agg_Mag_2017

geologiaA reali2008

TIPOUNIT_1

- ARENARIE DI BORONEDDU. Sabbie grigio-giallastre, localmente stratificate, sterili, a componente micacea abbozzate.
- Subunità di Dualchi (BASALTI DELLA CAMPEDA-PLANARGIA)
Andesiti basaltiche subalcaline, porfiriche per fenocristalli di Pl, Cpx, Opx, Ol; in estesi espondimenti. Trachibasalti

Affioramento basaltico sponda sinistra Rio Bonorchis nei pressi di via Oristano
CASSA B



Canale Rio Bonorchis nei pressi di via Oristano - CASSA B



LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI LOCALI

L'assetto tettonico assieme ai differenti litotipi affioranti e agli agenti atmosferici concorrono alla definizione della morfologia del territorio.

Il sistema geomorfico è rappresentato dalla superficie basaltica di forma tabulare formatasi in seguito ai processi di erosione selettiva che hanno agito dal Pleistocene fino all'attuale, determinando la classica "inversione del rilievo"; infatti l'espandimento lavico, si è messo in posto lungo le depressioni vallive "colmandole" o i bassi morfologici del paleo rilievo, costituendo una copertura più resistente rispetto alle formazioni geologiche sottostanti che, in seguito alla loro erosione, ne hanno causato "l'emersione" a forma di tavolato.

La cornice del tavolato si presenta intensamente frastagliato e fratturato, lasciando intravedere la tipica fessurazione colonnare dovuta alla contrazione delle lave per raffreddamento. Tali fessurazioni sono state successivamente ampliate dai processi fisici ed erosivi, come evidenziato nel tratto delle sponde del Rio Bonorchis, nella piana dove andrà realizzata la vasca di laminazione B prima di arrivare alla via Oristano, dove mediamente dopo oltre 60 cm dal p.c. è presente la roccia basaltica di color bruno scuro scoriacea e vacuolare.

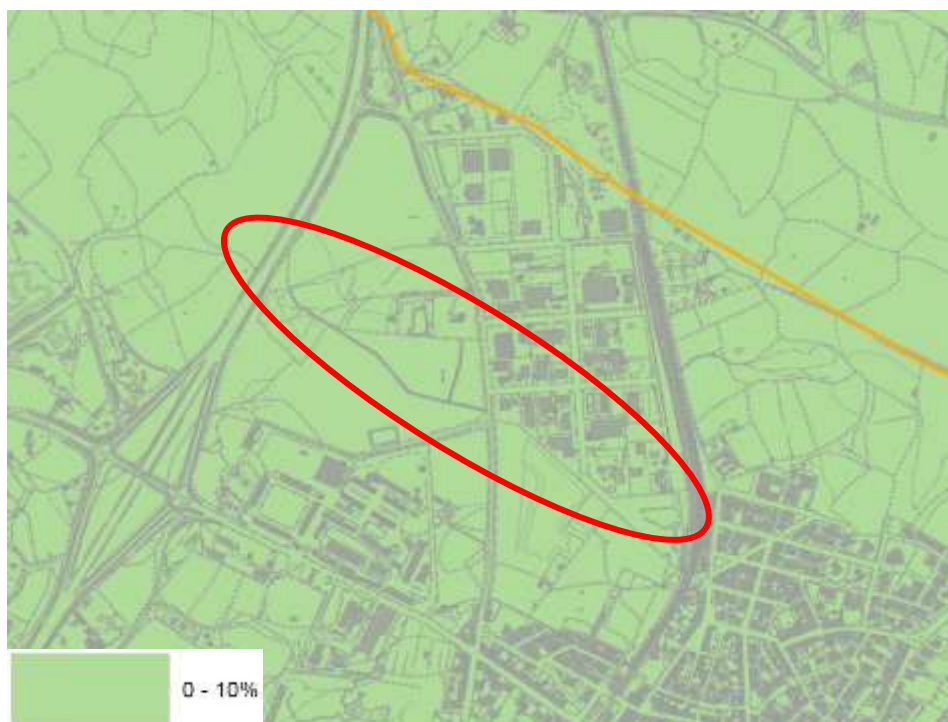
La morfologia pianeggiante è caratterizzata da altimetrie media di circa 320 mt s.l.m..

L'asta fluviale del Rio Bonorchis è ben evidente e scorre in un canale a cielo aperto a sezione trapezia nel tratto compreso tra la SS 131 e la Via Oristano, mentre a valle l'andamento è tombato poiché attraversa la zona PIP e poi il centro urbano, sino a sfociare nella vallata incisa di *Chenales*.

Come riportato dallo studio idraulico lungo l'asta fluviale del Rio Bonorchis sono presenti aree allagabili a pericolosità idraulica molto elevata Hi4, che si riscontrano anche nel tratto tombato che attraversa il centro urbano di Abbasanta.

I fenomeni geomorfologici che caratterizzano l'area pianeggiante sono legati soprattutto alla dinamica fluviale del Rio Bonorchis e come conseguenza dell'azione delle acque superficiali che hanno modellato la morfologia producendo processi di denudazione.

Stralcio carta pendenze PUI

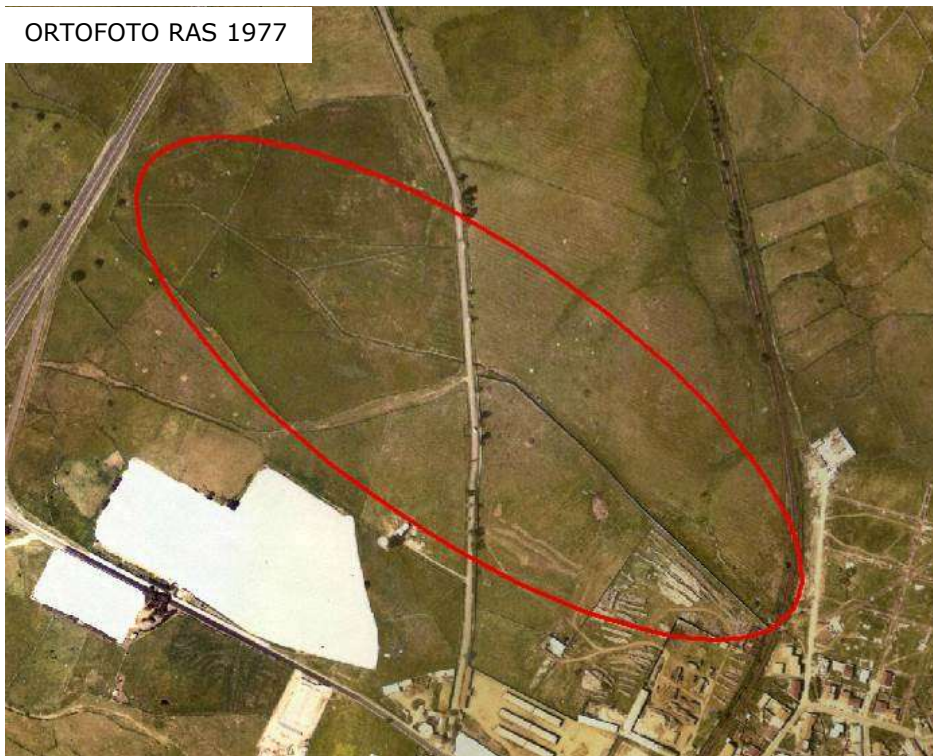


Dall'analisi fotointerpretativa a carattere multitemporale della cartografia storica riferita alle ortofoto RAS si può ricostruire la modalità dell'evoluzione morfologica subita per effetto degli eventi antropici collegati alle precedenti fasi di costruzione del canale tombato; come si evince il corso d'acqua a causa dell'antropizzazione ha subito delle variazioni nel centro urbano dove è stato realizzato il canale tombato dopo il 1977, mentre nel tratto ad ovest tra la SS 131 e la via Oristano il suo tracciato, a cielo aperto, è rimasto invariato.

ORTOFOTO RAS 1954



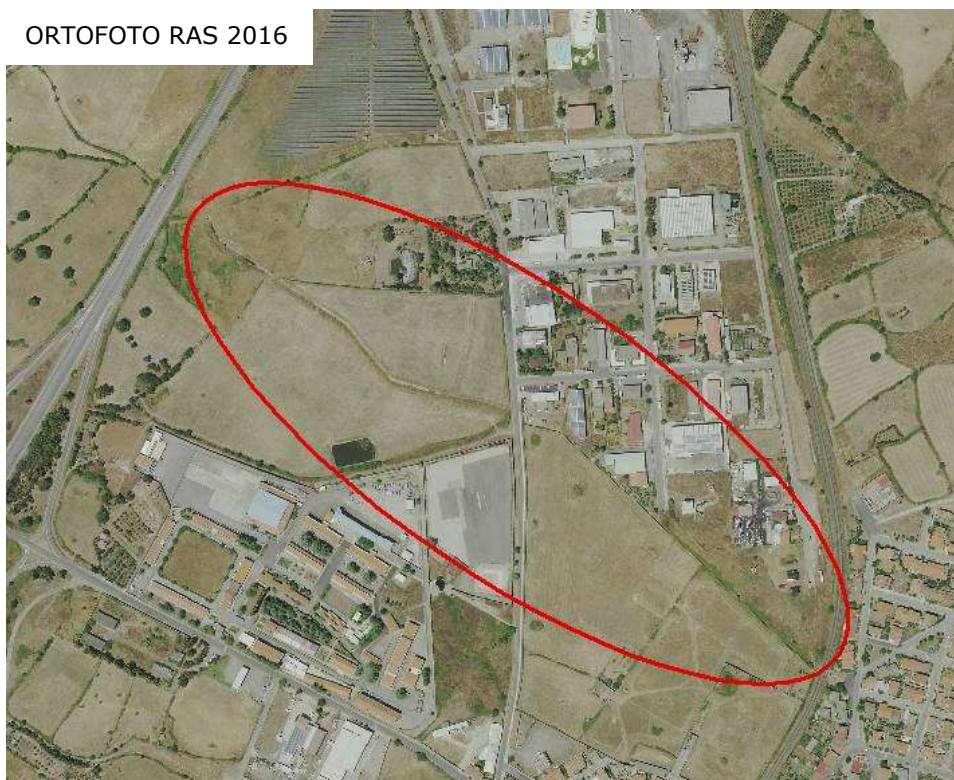
ORTOFOTO RAS 1977



ORTOFOTO RAS 1998



ORTOFOTO RAS 2016



LINEAMENTI IDROGEOLOGICI

L'idrografia superficiale ricalca fedelmente le caratteristiche geologiche-strutturali della litologia basaltica. Il reticolo idrografico è poco sviluppato con un certo controllo tettonico e quindi una densità di drenaggio medio-bassa.

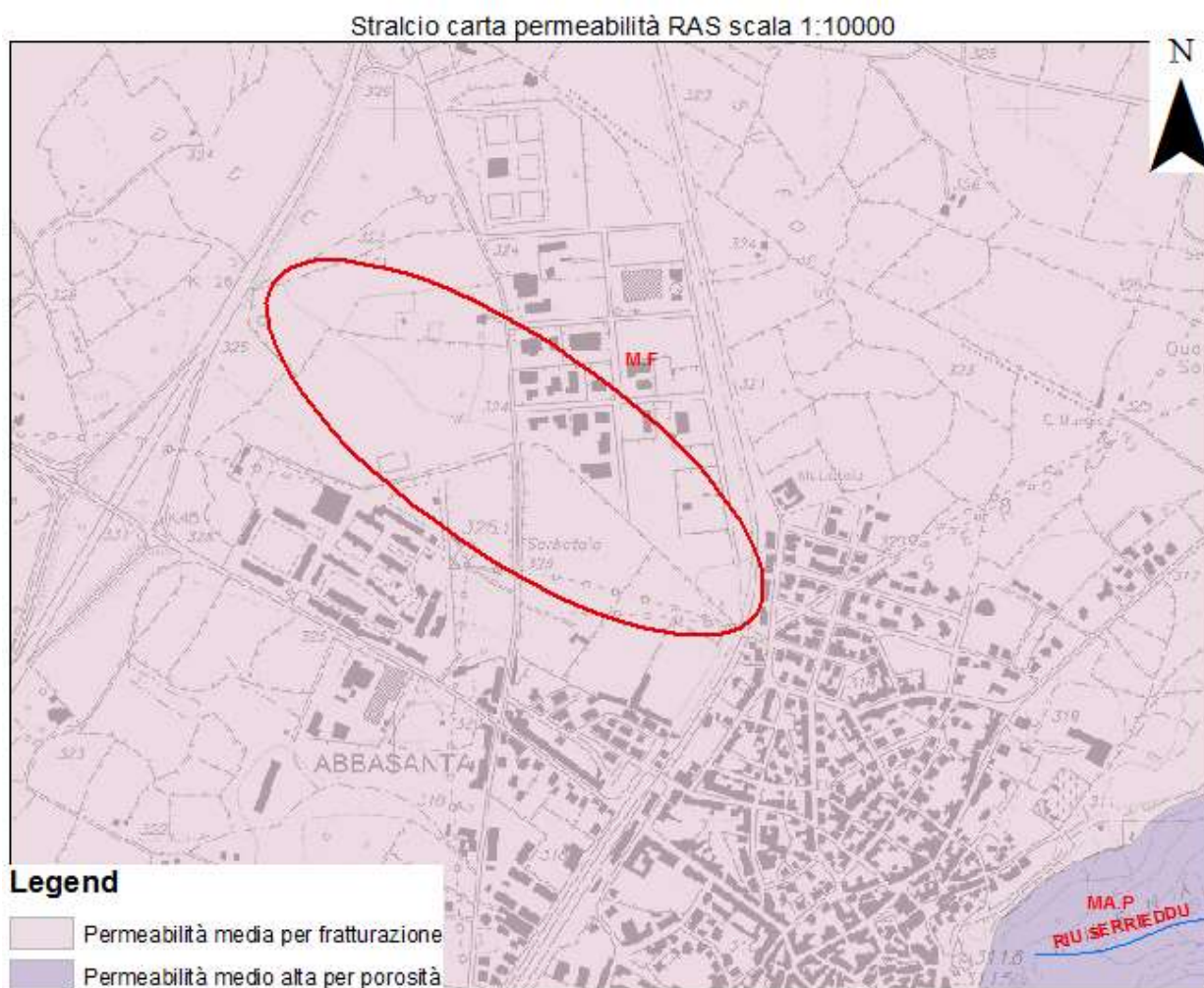
Il regime fluviale del Rio Bonorchis è di tipo torrentizio, fortemente condizionato dagli apporti pluviometrici, che come già evidenziato in precedenza, in occasione di eventi eccezionali e intensi si verificano degli allagamenti a causa delle sezioni inadeguate degli attraversamenti e del canale tombato; inoltre la scarsa permeabilità del basalto con la saturazione dei terreni favorisce l'allagabilità e il ristagno dell'acqua.

La circolazione idrica sotterranea che caratterizza la litologia basaltica è caratterizzata da una permeabilità per fessurazione, variabile in funzione dell'alterazione e fratturazione della roccia. La predisposizione del basalto ad essere considerato come roccia serbatoio dipende dal fatto che esso sia fratturato o alterato e pertanto ha un comportamento diverso a seconda che si presenti in facies lapidea o in facies alterata.

Nel primo caso l'acqua è contenuta e circola nei piani di frattura che intersecandosi a formare un reticolo anastomizzante di discontinuità, costituiscono un circuito la cui estensione dipende dalla continuità dell'ammasso lapideo. Laddove esiste una più fitta fessurazione sub-verticale, l'acqua segue queste vie di deflusso andando ad alimentare la falda. Inoltre il grado di permeabilità e il potenziale acquifero dipendono dall'orientazione e dalla quantità delle fessure, infatti queste più sono verticali in direzione della gravità, più il grado di permeabilità cresce.

Sottostante i basalti, che in questa zona possono raggiungere spessori massimi di 50-70 m (dati ISPRA), si trovano le litologie mioceniche rappresentate dalle arenarie e dalla marne che presentano una permeabilità per lo più per porosità, favorendo la presenza di falde in pressione.

Nel centro urbano di Abbasanta la litologia basaltica non presenta una circolazione idrica uniforme: il livello piezometrico oscilla approssimativamente da 2 m a 8 m di profondità dal piano di campagna; durante l'esecuzione dei pozzetti geognostici, con profondità massime raggiunte di 3,20 mt dal p.c., la falda è stata rilevata solamente nella zona della cassa A nei pressi del ponte ferroviario prima dell'inizio del canale tombato, nel pozzetto P1 ad una profondità di -1,70 mt dal p.c..



ANALISI DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE

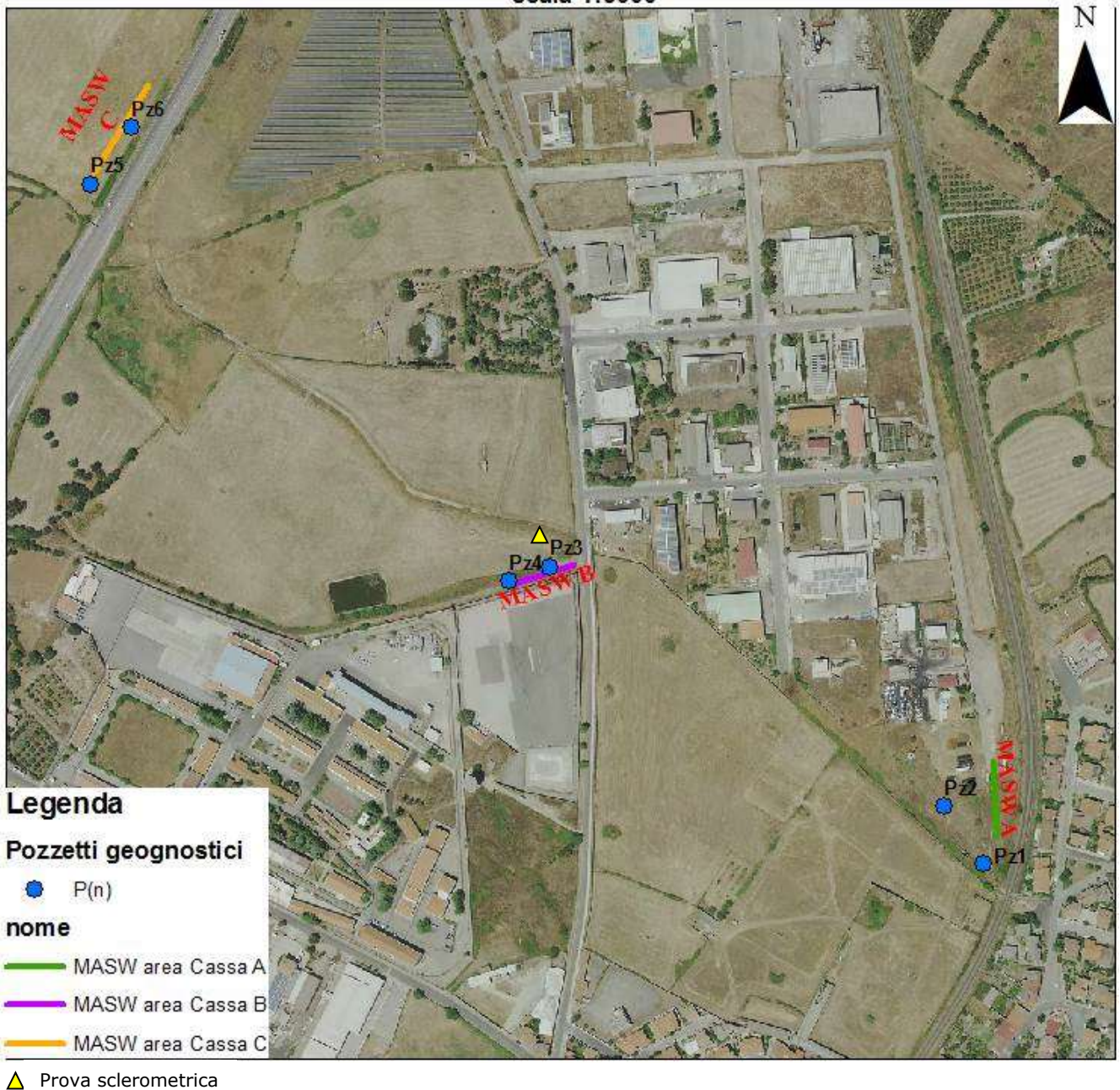
Al fine di approfondire il grado di conoscenza del terreno di fondazione e quindi ricostruire il modello geologico e geotecnico delle aree oggetto di intervento, si è redatto un piano di indagini geognostiche con metodi di tipo diretto e indiretto, apportando alcune variazioni in corso di realizzazione in funzione dell'andamento e dell'accessibilità dei luoghi.

Nello specifico al fine di definire la stratigrafia e le caratteristiche geotecniche del piano di posa delle fondazioni delle traverse sono state eseguite le seguenti indagini:

- N. 6 pozzetti geognostici nelle tre aree oggetto di studio, della profondità massima di 4 mt dal p.c.;
- Analisi e prove di laboratorio fisiche su campioni incoerenti e coerenti;
- N. 3 prospezione sismica attiva MASW nelle tre aree oggetto di studio;
- N. 4 analisi chimiche necessarie alla caratterizzazione del suolo in riferimento al DPR 120/2017 sulle terre e rocce da scavo.

L'ubicazione delle indagini e l'analisi sono riportate nel seguito, mentre le procedure e i relativi certificati delle prove sono riportati nell'apposita relazione sulle indagini, eseguite dalla Soiltech snc di Quartu S. Elena, allegata al progetto.

**Inquadramento su ortofoto indagini geognostiche e geofisiche
scala 1:5000**



ANALISI DI LABORATORIO

Sigla	Pozzetto geognostico	Prove eseguite in laboratorio							
		Profondità m da p.c.	Granulometria	Limiti di Atterberg	Peso di volume	Taglio diretto	Point Load Test	Analisi chimica	Permeabilità

CASSA A zona PIP

P1 C1	P1	1,30 -1,50	X	X	X	X		X	
P2 C1	P2	0,30 -0,40	X	X					X

CASSA B via oristano

P3 C1	P3	1,40 -1,50	X	X				X	
P4 C1	P4	1,00 -1,10	X	X	X	X		X	

Pozzetti geognostici

Al fine di approfondire le conoscenze geologiche delle aree d'intervento e per definire una caratterizzazione geotecnica delle stesse sono stati effettuati dei pozzetti geognostici ed effettuate delle analisi di laboratorio sia dei terreni sciolti meno consistenti, sia della roccia lapidea. Durante gli scavi si è riscontrata la presenza del substrato basaltico superficiale con andamento variabile per la presenza di sacche di suolo causate dall'alterazione pedogenetica del basalto; la falda superficiale è stata intercettata solamente nel pozzetto P1 area Aad una profondità di -1,70 m dal p.c.). Durante l'esecuzione dei pozzetti si è rilevata la stratigrafia e nel contempo prelevati i campioni di terreno ritenuti rappresentativi per le analisi fisico-chimiche di laboratorio.

Prove di laboratorio

Nel corso dei pozzetti geognostici sono stati prelevati dei campioni disturbati, considerati rappresentativi della stratigrafia delle aree e sottoposti alle prove di laboratorio riassunte nella tabella riportata nel seguito.

Sigla	pozzetto geognostico	Profondità m dal p.c.	peso di volume naturale	Resistenza al taglio		Permeabilità k	Point Load Test	
	n.		KN/mc	angolo attrito interno °	coesione drenata kPa	m/s	Is50	Resistenza a compressione Mpa
CASSA A ZONA PIP								
P1 C1	P1	1,30 - 1,50	18,37	19,36	4,1			
P2 C1	P2	0,30 – 0,40				7,14 E-10		
CASSA B VIA ORISTANO								
P3 C1	P3	1,40 - 1,50						
P4 C1	P4	1,00 – 1,10	17,45	29,52	8,6			

Campione	z (m)	% ghiaia	% sabbia	% limo/argilla	Classificazione (UNI 10006)	Limite di liquidità (LL)	Limite di plasticità (LP)	Indice di plasticità (IP)	Indice di consistenza (IC)	Indice di liquidità (IL)
P1 C1	1,30-1,50	34,2	15,3	50,6	A7-6	55	26	29	0,9	0,14
P2 C1	0,30-0,40	40,9	10,6	48,5	A7-6	62	28	34	1,2	-0,17
P3 C1	1,40-1,50	66,6	21,3	12,2	A2-6	37	22	15	1,8	-0,84
P4 C1	1,00-1,10	41,9	20,9	37,2	A4	36	26	10	1,7	-0,7

ANALISI GRANULOMETRICA E LIMITI DI ATTERBERG

La curva granulometrica è la rappresentazione su un piano semilogaritmico dei diametri delle particelle costituenti un terreno in funzione della loro percentuale in peso. La misura dei diametri delle particelle è stata ottenuta tramite vagliatura, quindi attraverso le percentuali delle varie frazioni costituenti il terreno si è ottenuta la curva granulometrica; I risultati evidenziano terreni limo argillosi e ghiaie argillose come riportato nella classificazione UNI 11531-1.

Classificazione generale	Terre ghiaio-sabbiose Frazione passante allo staccio 0.063 mm ≤ 35%							Terre limo-argillose Frazione passante allo staccio 0.063 mm > 35%					Torbe e terre organiche palustri
Gruppo	A1		A3	A2				A4	A5	A6	A7		A8
Sottogruppo	A1-a	A1-b		A2-4	A2-5	A2-6	A2-7				A7-5	A7-6	
Frazione passante allo staccio 2 mm 0.4 mm 0.063 mm	≤ 50 ≤ 30 ≤ 15	- ≤ 50 ≤ 25	- > 50 ≤ 10	- ≤ 35	- ≤ 35	- ≤ 35	- ≤ 35	- > 35	- > 35	- > 35	- > 35	- > 35	- > 35
Caratteristiche della frazione passante allo staccio 0.4 mm													
LL (Limite liquido)	-	-	-	≤ 40	> 40	≤ 40	> 40	≤ 40	> 40	≤ 40	> 40	> 40	> 40
IP (Indice di plasticità)	≤ 6	≤ 6	N.P.	≤ 10	≤ 10	> 10	> 10	≤ 10	≤ 10	> 10	> 10	IP > LL-30	IP > LL-30
Indice di gruppo	0		0	0		≤ 4		≤ 8	≤ 12	≤ 16	≤ 20		
Tipi usuali dei materiali caratteristici costituenti il gruppo	Ghiaia o breccia, ghiaia o breccia sabbiosa, sabbia grossa, pomice, sconie vulcaniche, pozzolane		Sabbia fina	Ghiaia o sabbia limosa o argillosa				Limi poco compres- sibili	Limi molto compres- sibili	Argille poco compres- sibili	Argille molto compres- sibili e media- mente plastiche	Argille molto compres- sibili e molto plastiche	Torbe di recente o remota formazioni e, detriti organici
Qualità portanti quale terreno di sottotondo in assenza di gelo	da eccellente a buono						Da mediocre a scadente						Da scartare
Azione del gelo sulle qualità portanti	Nessuna o lieve			Media				Molto elevata		Media	Elevata	Media	
Ritiro e rigonfiamento	Nulla			Nulla o lieve				Lieve o medio		Elevato	Elevato	Molto elevato	
Permeabilità	Elevata			Media o scarsa						Scarsa o nulla			

Dai risultati dei Limiti di Atterberg è possibile ottenere una serie di indici utilissimi per riuscire a valutare più compiutamente altri parametri del terreno, come ad esempio la coesione. Il primo indice è l'Indice Plastico (IP), ottenuto come differenza tra il Limite Liquido ed il Limite Plastico.

Questo indice è stato correlato empiricamente alla resistenza al taglio (coesione ed angolo di attrito in condizioni drenate), alla permeabilità, alla compressibilità ed al rigonfiamento

(Tabella 9). I risultati ottenuti hanno messo in evidenza delle terre con un comportamento variabile da poco plastico (P3 C1 – P4 C1) a plastico (P2 C1 – P5 C1).

Tabella 9 – Classificazione del terreno con l'Indice Plastico IP.	
Indice Plastico IP	Plasticità del terreno
$0 < IP \leq 5$	Non plastico
$5 < IP \leq 15$	Poco plastico
$15 < IP \leq 40$	Plastico
$IP > 40$	Molto plastico

Lo stato in cui si trova il materiale naturale, ovvero la sua consistenza, è descritto dall'Indice di Consistenza (IC, in Tabella 10), e dal suo complemento, l'Indice di Liquidità (IL), in Tabella 11). L'Indice di Consistenza (IC) è dato dalla differenza tra il Limite Liquido ed il contenuto d'acqua naturale W_n rapportato all'Indice Plastico:

$$IC = LL - W_n / IP$$

Tabella 10 – Classificazione del terreno con l'Indice di Consistenza IC.		
Indice consistenza IC	Condizione	Resistenza del terreno
$IC < 0$	$W_n > W_{LL}$	Fluida
$0,00 < IC \leq 0,25$	$W_n < W_{LL}$	Fluida-plastica
$0,25 < IC \leq 0,50$		Molle-Plastica
$0,50 < IC \leq 0,75$		Plastica
$0,75 < IC \leq 1,00$		Solida-plastica
$IC > 1$	$W_n > W_p$	Semisolida
$IC > 1$	$W_n < W_p$	Solida

I terreni analizzati rientrano in un indice di consistenza per lo più semisolida, solo un campione è risultato solida-plastica.

L'Indice di Liquidità IL è espresso dalla seguente formula:

$$IL = W_n - LP / IP$$

Tabella 11 – Descrizione della resistenza dei terreni con l'Indice di Liquidità IL.	
Valori di IL	Descrizione della resistenza del terreno
$IL < 0$	Stato semisolida – resistenza alta, comportamento fragile, possibile apertura di fratture
$0 < IL < 10$	Stato plastica – resistenza intermedia, il terreno si deforma come un materiale plastico
$IL > 1$	Stato liquido – resistenza bassa, il terreno si deforma come un liquido viscoso

L'indice di liquidità ha messo in evidenza delle terre con uno stato di resistenza semisolida.

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

I campioni di terreno prelevati nelle tre aree sono stati sottoposti a prova di taglio diretto con la Scatola di Casagrande, col fine di ottenere i parametri della coesione e dell'angolo di attrito interno. I risultati evidenziano una coesione molto bassa tale da potersi considerare nulla e l'angolo di attrito interno simile per due campioni (P4 C1 e P6 C1) tipico di materiali granulari, mentre il campione P1 C1 un angolo di attrito di appena 19° tipico di materiali fini.

POINT LOAD TEST

La "Prova Point Load" o "Prova di Carico Concentrato" è stata eseguita nel pozzetto geognostico P6 C1/C2 (con differente grado di alterazione) su due campioni costituiti da spezzoni di roccia di forma irregolare, applicando una Compressione Monoassiale Puntiforme fino a provocarne la sua rottura. In questo modo, si ottiene l'Indice di Resistenza I_s , attraverso il quale è possibile ricavare, empiricamente, la Resistenza a Compressione Monoassiale del materiale di prova. I risultati della stima di resistenza a compressione variano da 47,53 MPa a 93,77 MPa.

PROVA DI PERMEABILITÀ

Le prove di permeabilità in cella hanno lo scopo di determinare il coefficiente di permeabilità (o di conducibilità idraulica) K del terreno, ovvero ottenere una stima quantitativa della velocità con cui il terreno viene attraversato da un fluido sotto l'azione di un carico idraulico noto. In questo caso è stata compiuta una prova di permeabilità a carico variabile, nei campioni di terreno incoerenti P2 C1 e P5 C1 con risultati di k 6,24 E-08 m/s - 7,14 E-10 m/s da molto bassi a impermeabile.

Tabella 1. Permeabilità dei terreni.

k (cm/s)	10^2	10	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}
k (m/s)	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}	10^{-11}
Classi di permeabilità	EE	Elevata	Buona	Discreta	Bassa	BB	Impermeabile					
Tipi di terreno	Ghiaie pulite		Sabbie grossolane pulite e miscele di sabbie e ghiaie		Sabbie fini	Miscele di sabbie e limi		Limi argillosi e argille limose, fanghi argillosi		Argille omogenee e compatte		

ANALISI CHIMICHE

Per quanto riguarda le analisi chimiche, i valori dei parametri analizzati rispettano i limiti imposti dalla Tab. 1, All. 5, Titolo V, Parte Quarta, D.lgs. 152/06 e ss.mm.ii. Colonna A.

In conformità a quanto previsto dalla Legge 98/13 Art. 41 comma 2 e Art. 42, è consentito il riutilizzo del materiale esaminato, le destinazioni d'uso ammesse sono: reinterri, riempimenti, rimodellazioni ect.

MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO

Dal rilevamento geologico di dettaglio e dalle indagini geognostiche è stato possibile ricostruire l'assetto litostratigrafico dell'area, i caratteri geomorfologici e idrogeologici utili per definire il modello geologico.

La zona è caratterizzata dalle litologie basaltiche del Plio-Pleistocene con deboli spessori di materiali alluvionali, eluviali e/o di riporto.

La morfologia della zona è pianeggiante tipica degli altopiani basaltici, dove l'intercettazione del substrato lapideo è superficiale ma localmente variabile, per la presenza di sacche di suolo causate dall'alterazione pedogenetica del basalto.

Il basamento lapideo è costituito dal basalto di colore bruno scuro e grigio, alterato, e vacuolare (a causa dei fenomeni di degassazione) negli strati più superficiali, mentre risulta compatto come si va in profondità. Durante l'esecuzione dei pozzetti geognostici il substrato basaltico alterato è risultato costituito prevalentemente da massi e ciottoli facilmente scavabili con l'escavatore sino alla profondità massima di 2,40 mt dal p.c., oltre tale profondità è risultato difficilmente aggredibile.

Il materiale di alterazione pedogenetica è rappresentato prevalentemente da sabbie in matrice limo argillosa con valori di permeabilità da bassi o nulli che creano una sorta di superficie impermeabile che permette la formazione di estese aree di acqua stagnante che in alcuni casi possono raggiungere profondità di 50-80 cm.

Nel centro urbano di Abbasanta la litologia basaltica non presenta una circolazione idrica uniforme: il livello piezometrico oscilla approssimativamente dai 2 m agli 8 m di profondità dal piano di campagna; durante l'esecuzione dei pozzetti geognostici, con profondità massime raggiunte di 3,20 mt dal p.c., la falda è stata rilevata solamente nella zona della cassa A nei pressi del ponte ferroviario prima dell'inizio del canale tombato, nel pozzetto P1 ad una profondità di -1,70 mt dal p.c..

La stratigrafia individuata durante la realizzazione dei pozzetti geognostici ha permesso di elaborare il modello geologico delle tre aree oggetto di intervento in cui saranno realizzate le casse di espansione con le relative traverse.

MODELLO GEOLOGICO

<i>Profondità dal p.c. (mt)</i>	<i>descrizione</i>
AREA A	
0,00-0,90/2,40 max	Materiale basaltico eterometrico composto da blocchi, ciottoli e ghiaia immersi in matrice limo argillosa bruno scuro, umido, presenza di falda dopo 1,70 m dal p.c.
0,90/2,40 - 2,80	Roccia basaltica in posto alterata e friabile al tetto, poi sempre più consistente
AREA B	
0,00-0,60	Materiale sabbioso immerso in matrice limo argillosa bruno scuro
0,60 - 3,20	Roccia basaltica in posto alterata e friabile, escavabile dalla benna con relativa facilità per circa 1,00 m, poi sempre più consistente

Area A Pozzetto P1



Area B sponde Rio Bonorchios



CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA (MODELLO GEOTECNICO)

Dal precedente modello geologico desunto dalle indagini e dalle prove di laboratorio è stato possibile caratterizzare i terreni di posa della fondazione delle opere previste e ricostruire la base del modello geotecnico del sito in esame, facendo riferimento al volume significativo che rappresenta la parte di sottosuolo influenzata direttamente o indirettamente dalla costruzione del manufatto e che influenza il manufatto stesso.

Nel modello geotecnico vengono rappresentate le condizioni stratigrafiche, il regime delle pressioni interstiziali e la caratterizzazione fisico meccanica dei terreni e delle rocce.

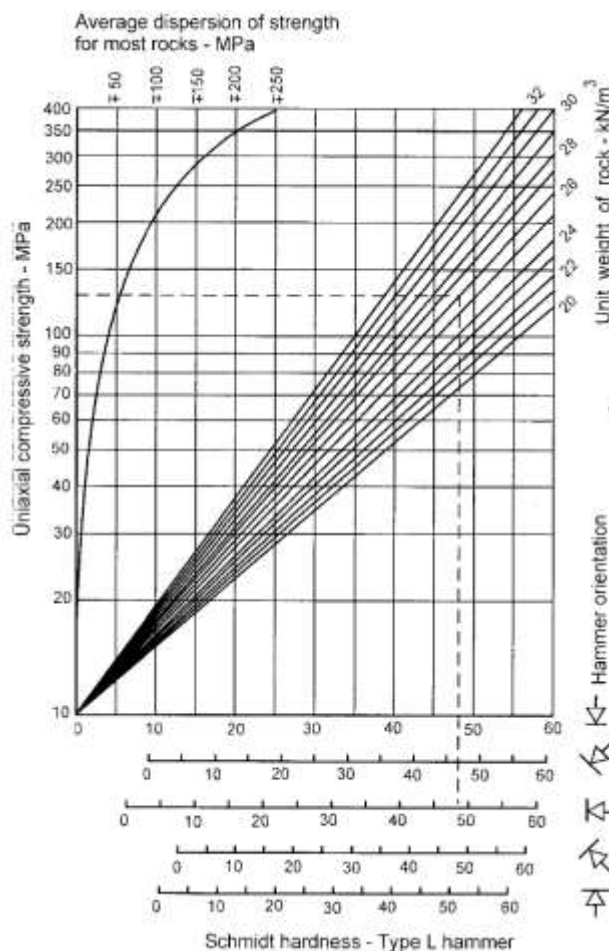
Come si evince dalla stratigrafia il primo strato, con profondità variabile, è caratterizzato prevalentemente da materiale sabbioso in matrice limo argillosa da poco plastico a plastico con una consistenza semisolida, con caratteristiche di resistenza al taglio caratteristiche delle sabbie con poca coesione.

Il secondo strato è rappresentato dal substrato basaltico alterato, in cui si è ritenuto opportuno effettuare la prova Point Load Test su frammenti di roccia di forma irregolare (in laboratorio) e prove sclerometriche eseguite in sito con l'ausilio del martello di Schmidt (sclerometro Geostone energia impatto 0.705 Nm) per stimare in via speditiva la resistenza a compressione uniassiale.

Prova sclerometrica



Il martello di Schmidt o sclerometro viene utilizzato per stimare la resistenza a compressione della porzione più superficiale della roccia su cui viene effettuata la misura. Lo strumento è costituito da una massa battente proiettata da una molla contro un'asta metallica di percussione appoggiata direttamente sulla roccia. Operativamente, per ogni punto di stazione, sono state effettuate 10 battute con il martello che consentono di ottenere 10 valori di rimbalzo (R). I 10 valori sono stati quindi mediati e successivamente corretti in funzione dell'inclinazione dello sclerometro al momento della misura, utilizzando il grafico riportato nel seguito. Infatti la specificazione è essenziale, in quanto il comportamento dello strumento al rimbalzo è funzione variabile dell'orientamento del martello in rapporto alla superficie (per effetto contrario o favorevole della gravità sul rimbalzo) e conseguentemente differenti sono le corrispondenze con i valori di resistenza uniaassiale.



I valori di resistenza a compressione ottenuta sono riportati nella seguente tabella:

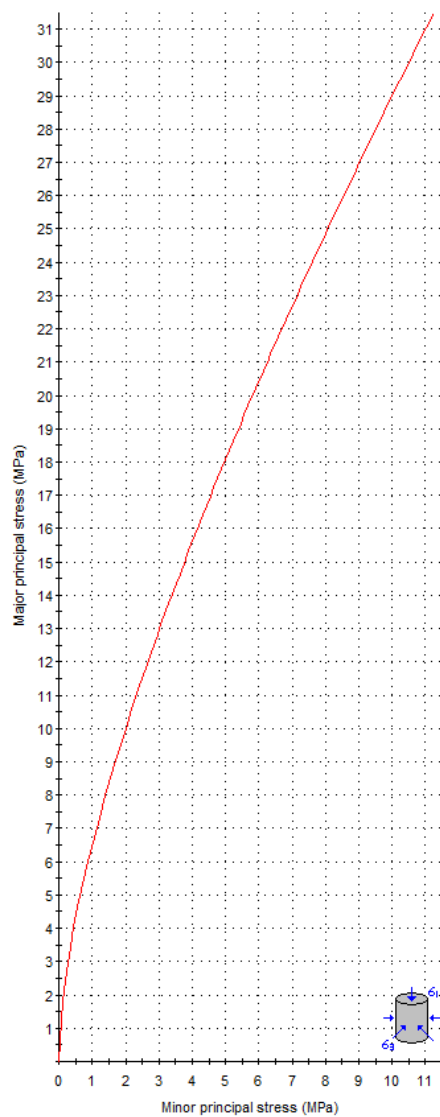
	tipo di prova	Resistenza a compressione monoassiale Mpa
Area B	sclerometrica: sulla sponda del Rio Bonorchis in dx idrigráfica	67 MPa

Col fine di stimare i parametri geotecnici del substrato roccioso, coesione (c) e angolo di attrito interno (ϕ), è stato utilizzato il metodo empirico di Hoek e Brown (2002) che considera il criterio di rottura lineare di Mohr-Coulomb.

Il calcolo è stato effettuato con il software gratuito RocLab il quale si basa su caratteristiche proprie dell'ammasso, valutabili tramite osservazioni in sito o con l'ausilio di tabelle sviluppate sulla base di una vasta raccolta di dati pubblicati in letteratura, attraverso cui è possibile stimare con una certa precisione i parametri di coesione e angolo di attrito interno necessari alle verifiche di stabilità, valutando i seguenti parametri:

- ✓ σ_{ci} : resistenza a compressione calcolato con il metodo Standard ISRM;
- ✓ GSI: indice di resistenza geologica (Geological Strength Index) stimato mediante l'esame visivo del grado di fratturazione dell'ammasso roccioso, viene espresso con un numero variabile da 10 (roccia scadente) a 100 (roccia intatta);
- ✓ m_i : coefficiente della roccia intatta calcolato in funzione del tipo di roccia;
- ✓ D: fattore di disturbo, adimensionale, dipendente da condizioni sovrainposte da azioni di disturbo di origine antropica. Il suo valore varia tra zero ed uno ($D = 0.0 \div 1.0$).

Analisi ammasso roccioso vasca A



Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 45 MPa
GSI = 22 $m_i = 20$ Disturbance factor = 0.2

Hoek-Brown Criterion

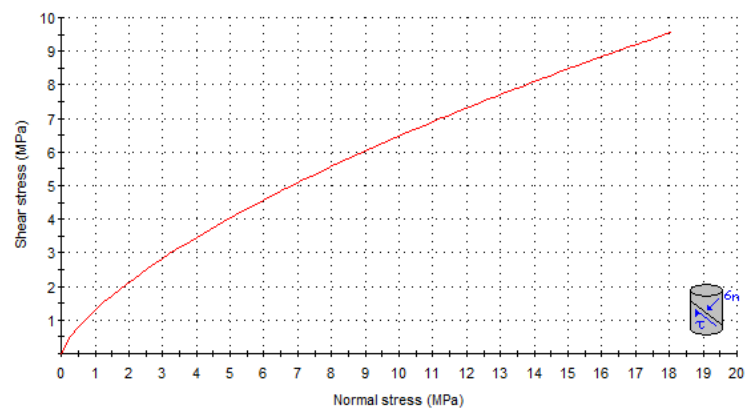
$m_b = 0.905$ $s = 0.0001$ $a = 0.538$

Mohr-Coulomb Fit

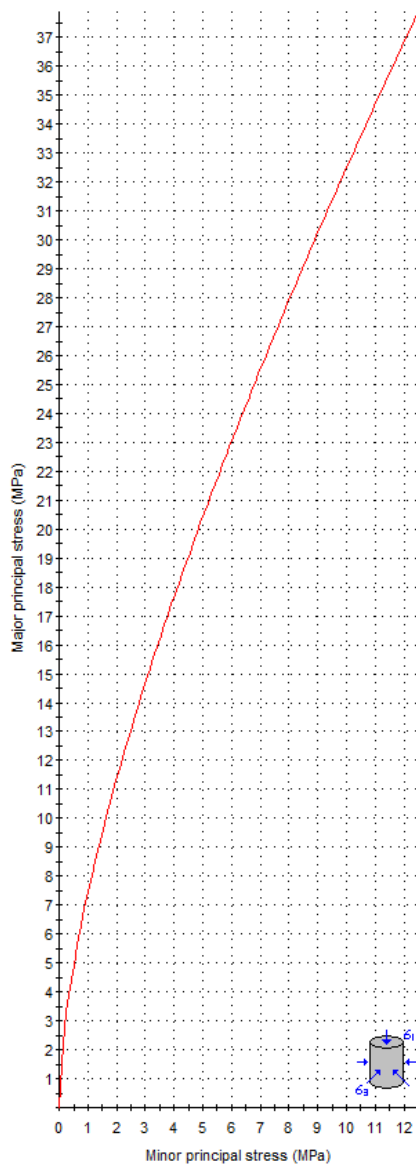
cohesion = 1.519 MPa friction angle = 25.24 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.005 MPa
uniaxial compressive strength = 0.304 MPa
global strength = 4.792 MPa
modulus of deformation = 1204.62 MPa



Analisi ammasso roccioso vasca B



Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 50 MPa
GSI = 20 $m_i = 20$ Disturbance factor = 0

Hoek-Brown Criterion

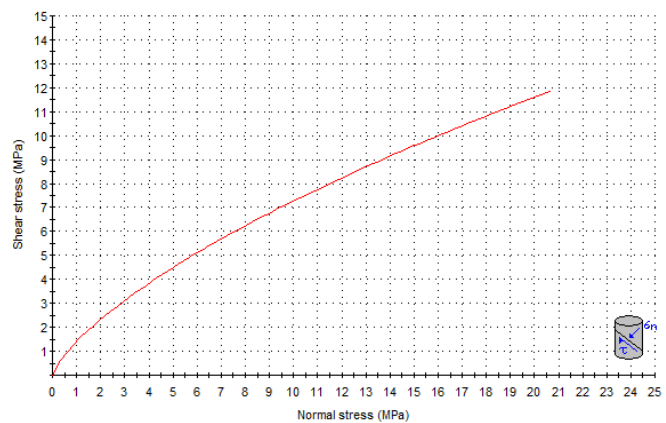
$m_b = 1.149$ $s = 0.0001$ $a = 0.544$

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 1.802 MPa friction angle = 27.22 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.006 MPa
uniaxial compressive strength = 0.398 MPa
global strength = 5.908 MPa
modulus of deformation = 1257.43 MPa



Il modello geotecnico dell'area di studio riprende quello geologico con l'indicazione dei parametri geotecnici che saranno utilizzati per le verifiche previste dalla normativa.

AREA A					
Profondità dal p.c. (mt)	descrizione	Peso di volume γ (kg/m ³)	Coesione c (kg/cm ²)	Angolo di attrito φ °	Modulo elasticità dinamico (MPa)
0,00-0,90/2,40 max	Materiale basaltico eterometrico composto da blocchi, ciottoli e ghiaia immersi in matrice limo argillosa bruno scuro, umido, presenza di falda dopo 1,70 m dal p.c.	1800	0,04	19	900
0,90/2,40 - 2,80	Roccia basaltica in posto alterata e friabile al tetto, poi sempre più consistente	2400	15,29	25	1500
AREA B					
0,00-0,60	Materiale sabbioso immerso in matrice limo argillosa bruno scuro	1700	0,09	29	1500
0,60 - 3,20	Roccia basaltica in posto alterata e friabile, escavabile dalla benna con relativa facilità per circa 1,00 m, poi sempre più consistente	2400	18,35	27	2200

COMPATIBILITA' GEOLOGICA DELLE OPERE IN PROGETTO

Dallo studio e dall'analisi delle caratteristiche geologiche, geomorfologiche e idrogeologiche del sito oggetto di studio si evince che:

1. i litotipi geologici che caratterizzano il sito oggetto di studio sono rappresentati dalle litologie basaltiche del Plio-Pleistocene con deboli spessori di materiali alluvionali, eluviali e/o di riporto.
Il basamento lapideo è costituito dal basalto di colore bruno scuro e grigio, alterato e vacuolare negli strati più superficiali, mentre risulta compatto come si va in profondità. Durante l'esecuzione dei pozzetti geognostici il substrato basaltico alterato è risultato costituito prevalentemente da massi e ciottoli facilmente scavabili con l'escavatore sino alla profondità massima di 2,40 mt dal p.c., oltre tale profondità è risultato difficilmente aggredibile.
Il materiale di alterazione pedogenetica dello stesso è rappresentato prevalentemente da sabbie in matrice limo argillosa con valori di permeabilità da basso o nulla che creano una sorta di superficie impermeabile che permette la formazione di estese aree di acqua stagnante che in alcuni casi possono raggiungere una profondità di 50-80 cm;
2. Nella zona i processi geomorfologici presenti sono quelli tipici della dinamica fluviale, con fenomeni di erosione e deposito, mentre non sono presenti fenomeni associabili alla pericolosità da frana in senso lato;
3. Le indagini geognostiche e di laboratorio hanno evidenziato delle caratteristiche geotecniche del substrato basaltico in facies lapidea medio elevate in grado di sopportare le azioni delle opere previste in progetto, poiché tale litologia rappresenta l'area di sedime del piano di posa delle fondazioni delle traverse;
4. La prospezione MASW ha evidenziato la presenza del basamento sismico (bedrock) con $V_s > 800$ m/s superficiale nei primi metri di profondità, con una categoria di suolo di tipo A. In generale si registra un andamento costante delle V_s con la profondità, passando da valori minimi di 365 m/s a valori massimi di 2000 m/s.

In conclusione, per quanto sopra esposto e sulla base delle risultanze dello studio condotto, possiamo ritenere che non sono stati riscontrati possibili scenari di pericolosità geologica geotecnica tale da compromettere gli interventi previsti in progetto e pertanto si può affermare la compatibilità delle opere progettuali previste.

Il Progettista
(Sud Ovest Engineering S.r.l. – Abacus S.r.l.)