



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

Assessorato dei lavori pubblici

Ente acque della Sardegna

Servizio Progetti e Costruzioni



**“Ristrutturazione vasca terminale linea Coghinas 1° in località Porto Torres -
Ristrutturazione vasca di carico di Casteldoria in agro di S.M. Coghinas -
Ristrutturazione vasca terminale linea Coghinas 2° in località Truncu Reale”**

CIG- 7291196547- CUP: I86B05000050002

PROGETTO ESECUTIVO

OGGETTO DELL'ELABORATO

Relazione Geologica

ID ELABORATO

R.21

SCALA

CODIFICA ELAB

R.21-ENAS539Rsg14R1

Responsabile dell'integrazione delle prestazioni specialistiche e coordinatore di progetto:

Ing. Damiano Galbo (H.E. s.s.)

Responsabile progettazione strutturale e geotecnica:

Ing. Pietro Diliberto (S.T.P. s.r.l.)

Collaboratori:

Ing. Ettore Galbo (H.E. s.s.)

Responsabile della progettazione idraulica:

Ing. Mariano Galbo (H.E. s.s.)

Collaboratori:

Ing. Damiano Galbo (H.E. s.s.)

Prof. Ing. Gabriele Freni

Ing. Fulvio Galbo (H.E. s.s.)

Ing. Piera De Luca (H.E. s.s.)

Il Responsabile Unico del Procedimento
Ing. Stefano Serra

Responsabile della progettazione impianti elettrici e TLC:
Ing. Giovanni Gabellone (H.E. s.s.)

Responsabile rilievi GPS/LS:

Geom. Alberto Bianco

Collaboratori:

Geom. Lorenzo Verme (H.E. s.s.)

Responsabile coordinamento sicurezza in fase di progetto:

Ing. Mariano Galbo (H.E. s.s.)

Collaboratori:

Ing. Giampiero Pili (S.T.P. s.r.l.)

Ing. Giovambattista Lombardo (H.E. s.s.)



(Capogruppo Mandataria)



(Mandante)

Prof. Ing. Gabriele Freni
(Mandante)

Dott. Geol. Mario Strinna
(Mandante)



Società cooperativa
(Mandante)

REV.	DATA	DESCRIZIONE REVISIONE	RED.	VER.	APPR.
1	Gennaio 2020	Controdeduzioni verificate	MS	PD	DG
0	Settembre 2019	PRIMA EMISSIONE	MS	PD	DG



INDICE

A. Premessa.....	pag. 2
B. Inquadramento geografico e aereo	pag. 3
C. Sintesi da progetto definitivo	pag. 8
 1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E STRATIGRAFICO	pag. 11
1.1 Caratteristiche tettoniche e stratigrafiche	pag. 11
1.2 - Caratteristiche geomorfologiche e idrogeologiche	pag. 16
1.2.1 - Idrografia superficiale e caratteristiche idrogeologiche ...	pag. 17
1.2.2 - Permeabilità nel contesto dell'area sensibile	pag. 19
1.3 - Inquadramento climatico	pag. 20
1.3.1 - Parametri meteo climatici	pag. 21
1.4 - Pericolosità geologica del territorio	pag. 23
 2. CONSIDERAZIONI GEOLOGICO TECNICHE DEL TERRENO	pag. 26
2.1 - Premessa	pag. 26
2.2 - Considerazioni geomeccaniche	pag. 26
2.3 - Considerazioni geotecniche da prove S.P.T	pag. 30
2.4 - Stima dei parametri geotecnici caratteristici	pag. 30
2.5 - Verifica sismica a rifrazione	pag. 33
2.5.1 - Classificazione sismica del sito e categoria di sottosuolo	pag. 35
2.5.2 - Dati sismici sul sito (spettri di risposta)	pag. 40
 3. CONCLUSIONI	pag. 43
 <u>ALLEGATI</u>	
PROVA SISMICA CON TECNICA	
MASW Vs30 SVOLTE SULLE TRE AREE DI PROGETTO	pag. 48
 1. PARAMETRIZZAZIONE GEOFISICA CON TECNICA MASW	pag. 49
1.1 - PREMessa	pag. 49
1.2 - TECNICA MASW	pag. 49
1.3 - Descrizione del metodo MASW	pag. 49
1.4 - Elaborazione dati	pag. 50
1.5 - Impianto Truncu Reale	pag. 51
1.6 - Impianto Porto Torres	pag. 55
1.7 - Impianto Casteldoria S.M. Coghinas	pag. 59



A. PREMESSA

Per la verifica dei terreni interessati dagli interventi nell'ambito del progetto di *"Ristrutturazione Linea Coghinas I e II – Ristrutturazione della Vasca terminale della linea Coghinas 1° in località Porto Torres - Ristrutturazione della Vasca di carico di Casteldoria in agro di S.M. Coghinas - Ristrutturazione della Vasca terminale della linea Coghinas 2° in località Truncu Reale-Sassari"*, è stato svolto uno studio geologico, prendendo atto della relazione geologica redatta nel 2014 in fase di progetto definitivo, su incarico dell'Ente Acque della Sardegna, dal Dott. Geol. Angelo Vigo **di cui lo scrivente Dott. Geol. Mario Strinna, conferma la validità a tutti gli effetti a conferma del proprio studio geologico redatto in fase di progettazione Esecutiva, con particolare riferimento:**

- Ricostruzione dell'assetto litostratigrafico del sedime di intervento al fine di definire la sequenza dei terreni;
- Problematica geotecnica connessa all'interazione opera-geologia locale;
- Definizione delle caratteristiche litotecniche basata su documentazione disponibile, edita e inedita;

L'area in progetto, facendo riferimento anche alla campagna di indagini geognostiche pregressa (redazione progetto definitivo) sia di tipo indiretto (sismica a rifrazione) che di tipo diretto (sondaggi geognostici), dalle quali sono stati ricavati gli elementi litostratigrafici necessari alla verifica di pericolosità geologica del sito, sono state definite dallo scrivente abbastanza esaustive e corrette ai fini di un riferimento tecnico a supporto del presente elaborato. In particolare sono stati eseguiti:

- a) n. 2 profili sismici a rifrazione con determinazione e restituzione tomografica delle velocità delle onde P;
- b) n.3 sondaggi a carotaggio continuo con esecuzione di prove SPT in foro e prelievo di campioni disturbati e semidisturbati;
- c) n.3 stendimenti sismici integrativi, sulle tre aree, tipo MASW per la definizione della corretta categoria sismica di sottosuolo;

Nello specifico i dati di dettaglio sono stati riverificati tramite esperienze pregresse svolte dallo scrivente nello stesso contesto territoriale e osservazione (dirette) di evidenze litologiche (Litofacies nella Formazione di Mores → **RESa**: calcareniti, calcari bioclastici, calcari nodulari a componente terrigena) in affioramento nell'area, costituente il principale substrato di tutto il territorio sensibile.



B. INQUADRAMENTO AEREO E GEOGRAFICO

L'area interessata dallo studio è situata all'esterno del contesto urbano di Sassari, in località denominata *Lu Saltu di La Pera*, ad una quota di circa 80 mt s.l.m.m. in una situazione sub pianeggiante compresa tra la Ferrovia statale e la strada Vicinale di La Crucca.

Corograficamente è inquadrabile nei seguenti Fogli Regionali:

- Foglio I.G.M. N. 459 sez. IV quadrante denominato “La Crucca” alla scala 1:25.000;
- Foglio 459-020 della Carta Tecnica della Sardegna alla scala 1:10.000 denominato “Ottava”

Coordinate Km Gauss-Boaga (Fuso 32)

- **X** = 1456006.1003 **E**
- **Y** = 4512708.1711 **N**



Figura 1 – Inquadramento su foto aerea lotto in esame



“Ristrutturazione vasca terminale linea Coghinas 1° in località Porto Torres - Ristrutturazione vasca di carico di Casteldoria in agro di S.M. Coghinas - Ristrutturazione vasca terminale linea Coghinas 2° in località Truncu Reale”

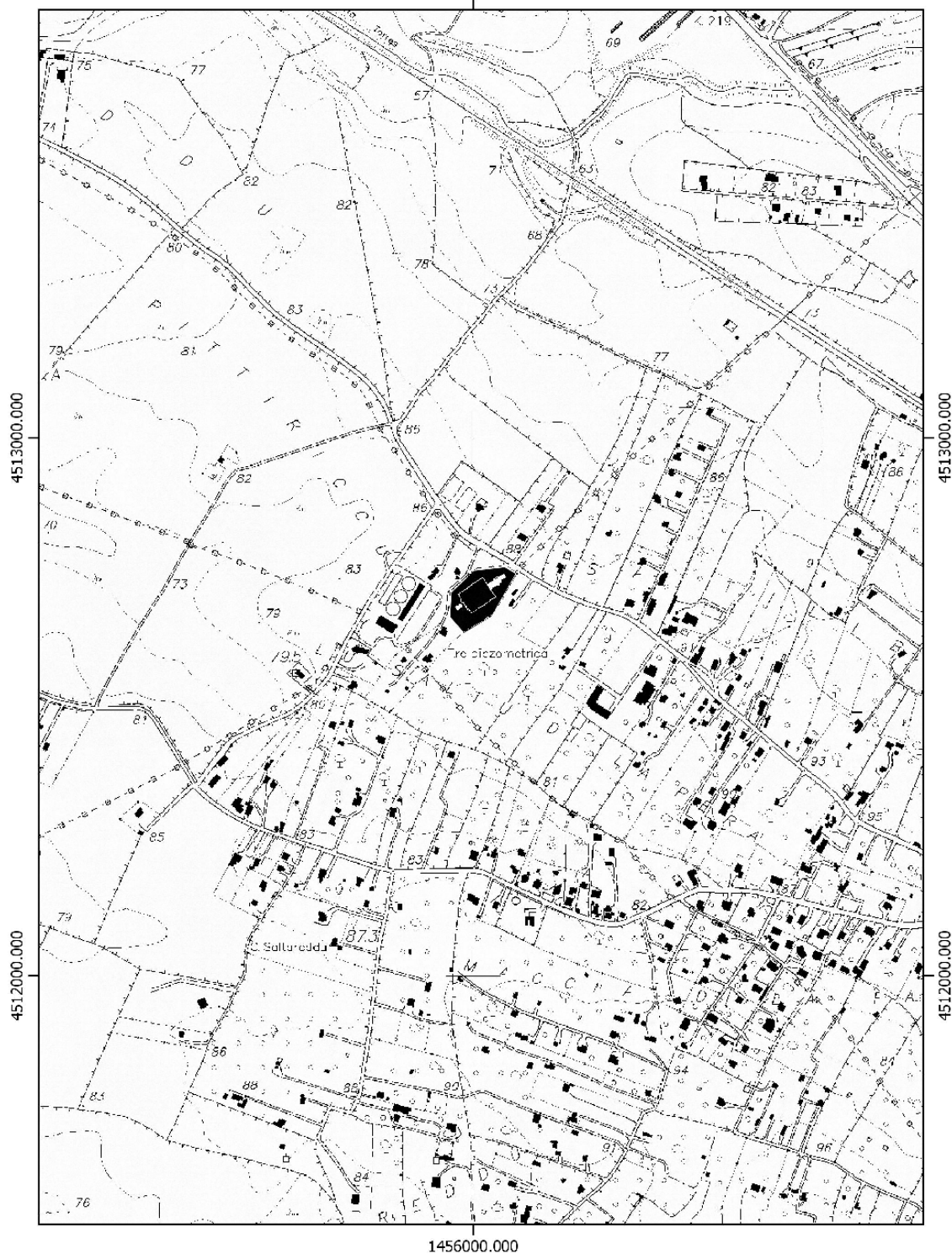
Progetto esecutivo

INQUADRAMENTO CARTOGRAFICO REGIONALE

CTR SCALA 1:10.000

FOGLIO 459-020 [OTTAVA]

1456000.000



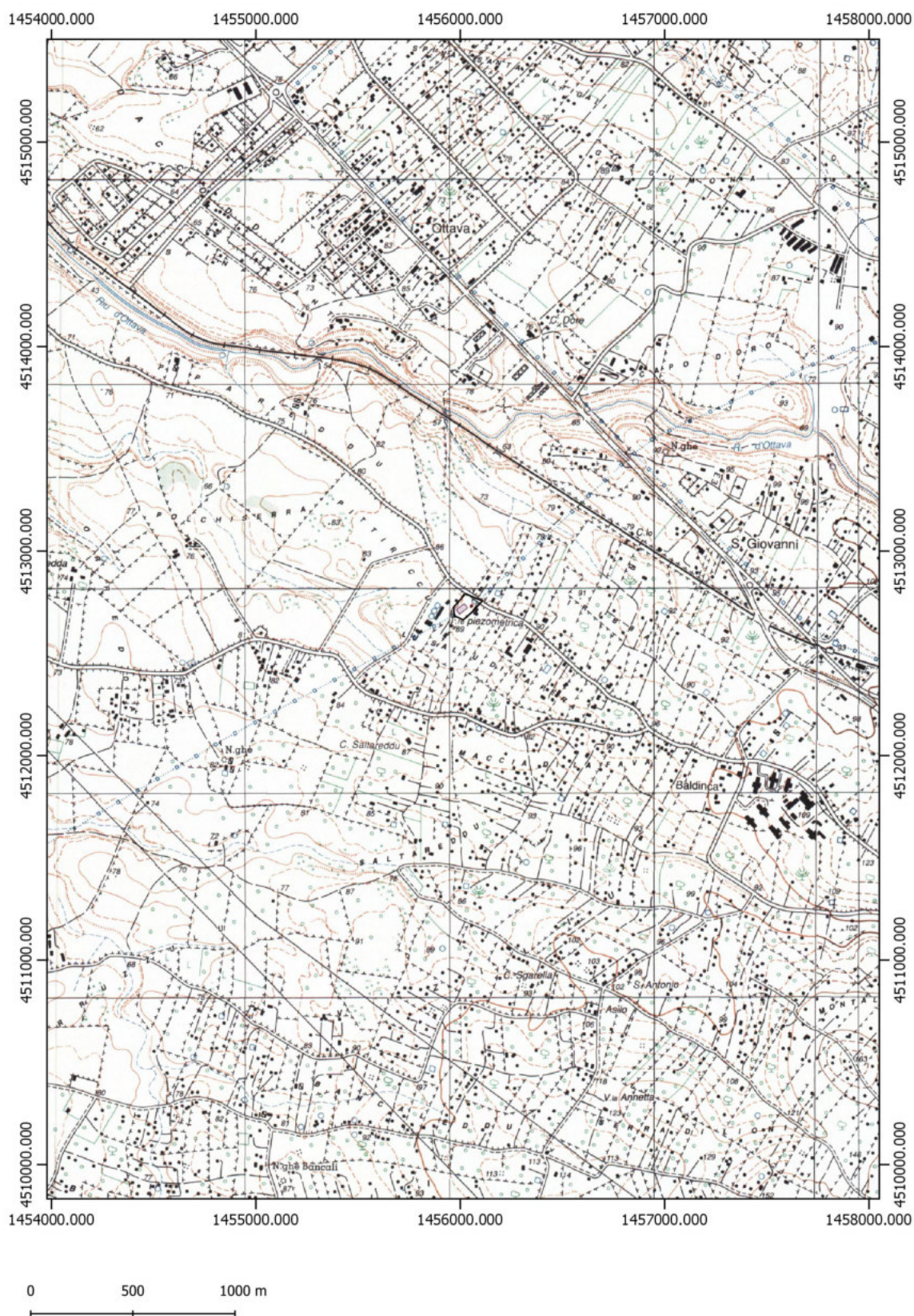
0 500 1000 m



“Ristrutturazione vasca terminale linea Coghinas 1° in località Porto Torres - Ristrutturazione vasca di carico di Casteldoria in agro di S.M. Coghinas - Ristrutturazione vasca terminale linea Coghinas 2° in località Truncu Reale”

Progetto esecutivo

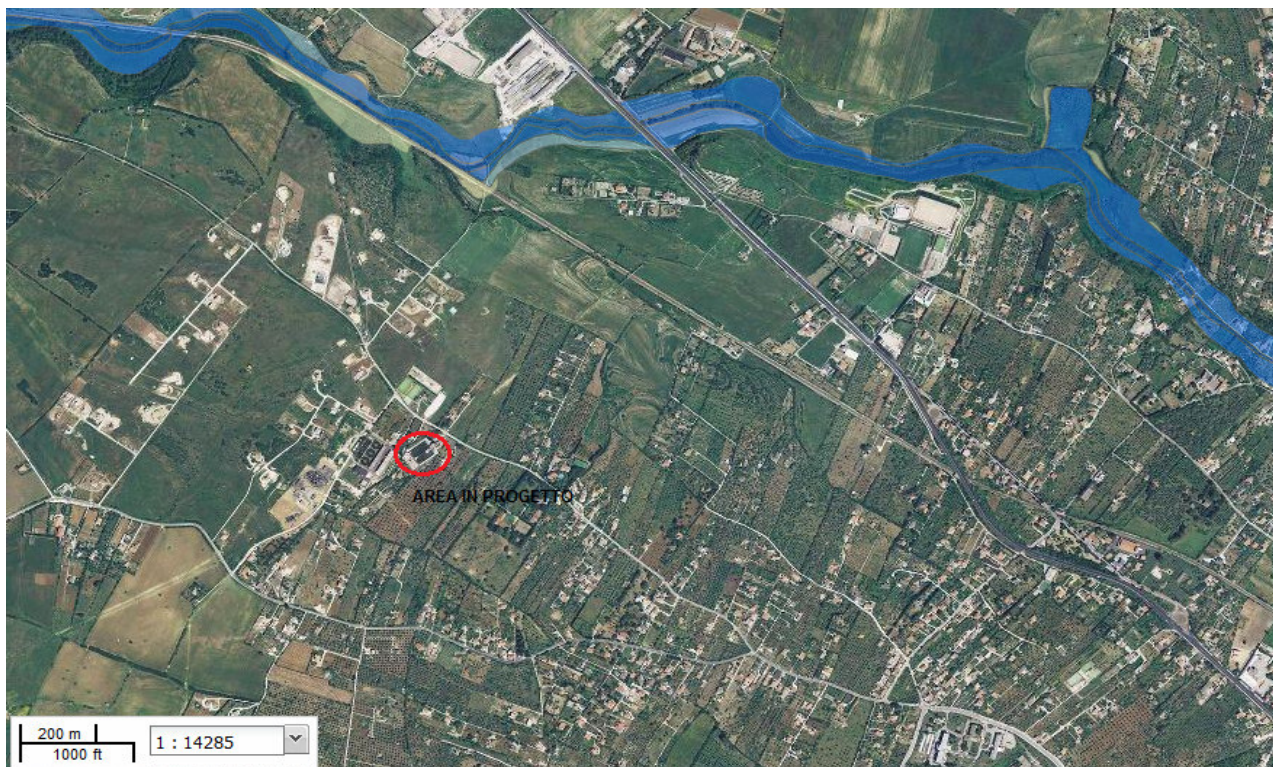
INQUADRAMENTO REGIONALE SCALA 1:25.000
IGM FOGLIO 459 SEZ. IV [LA CRUCCA]





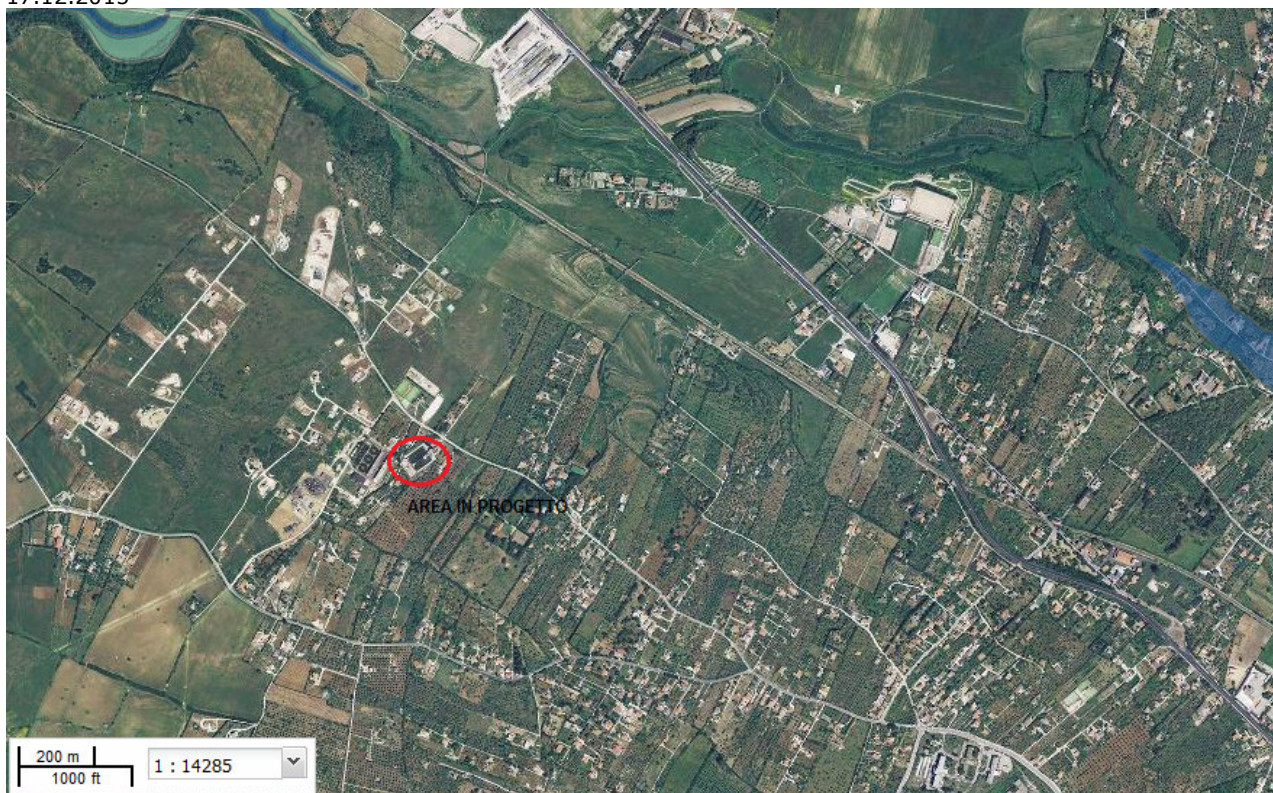
“Ristrutturazione vasca terminale linea Coghinas 1° in località Porto Torres - Ristrutturazione vasca di carico di Casteldoria in agro di S.M. Coghinas - Ristrutturazione vasca terminale linea Coghinas 2° in località Truncu Reale”

Progetto esecutivo



PSFF - Piano Stralcio Fasce Fluviali

Perimetrazioni delle aree caratterizzate da pericolosità idraulica mappate in ambito P.S.F.F. aggiornate alla data del 17.12.2015



Pericolo Idraulico REV. 41

Perimetrazioni delle aree caratterizzate da pericolosità idraulica mappate in ambito P.A.I. aggiornate alla data del 31/01/2018.



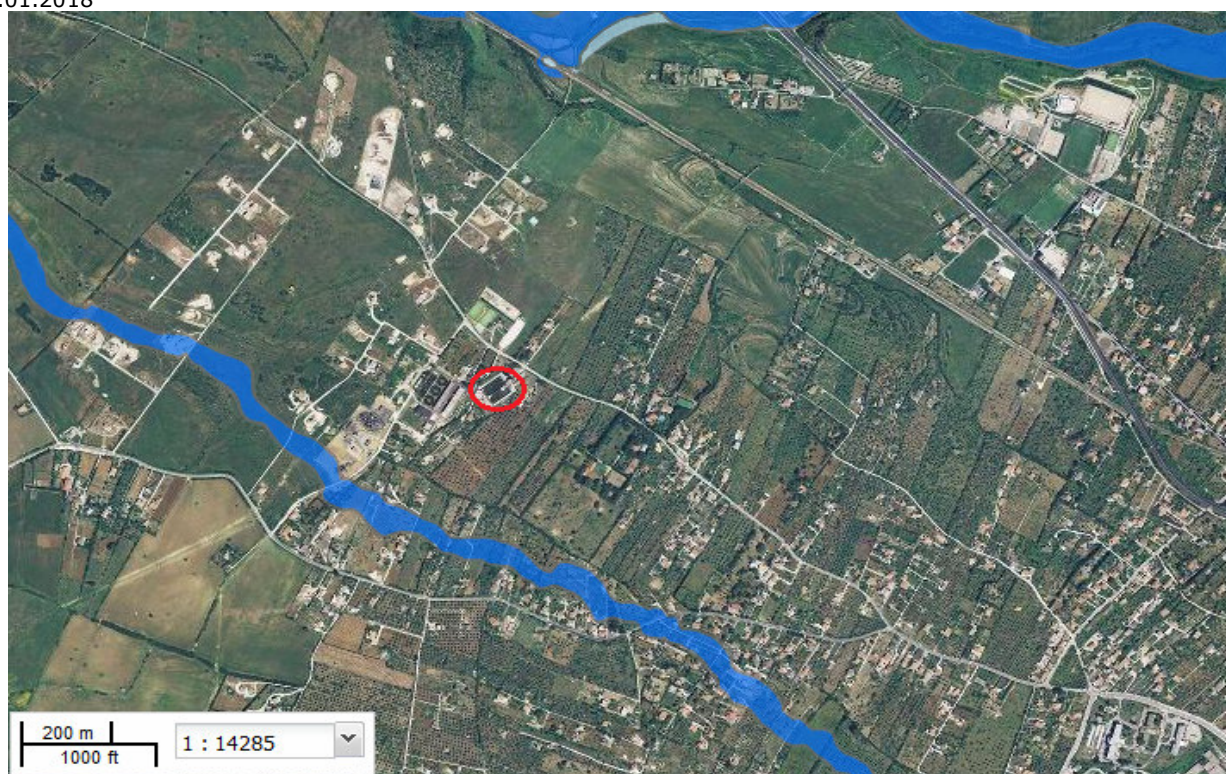
“Ristrutturazione vasca terminale linea Coghinas 1° in località Porto Torres - Ristrutturazione vasca di carico di Casteldoria in agro di S.M. Coghinas - Ristrutturazione vasca terminale linea Coghinas 2° in località Truncu Reale”

Progetto esecutivo



Pericolo geomorfologico REV 42

Perimetrazioni delle aree caratterizzate da pericolosità geomorfologica mappate in ambito P.A.I. aggiornate alla data del 31.01.2018



Perimetrazioni delle aree Art. 8

Pericolosità idraulica mappate a seguito di studi derivanti all'applicazione dell'Art. 8 comma 2 delle Norme di Attuazione del P.A.I. aggiornate alla data del 31/01/2018.



C. SINTESI DA PROGETTO ESECUTIVO

L'area è stata sottoposta a vincolo idrogeologico per gli effetti della Deliberazione N. 37/15 del 30.7.2009 della G.R., in base ai quali il C.F.V.A. ha esteso il vincolo idrogeologico di cui al Regio Decreto Legge 30.12.1923, n. 3267 alle aree delimitate dal PAI come aree di pericolosità da frana ai sensi della deliberazione della Giunta regionale n. 54/33 del 30 dicembre 2004 e s.m.i.

Attualmente (Rev 42 - Perimetrazioni delle aree caratterizzate da pericolosità geomorfologica mappate in ambito P.A.I. aggiornate alla data del 31.01.2018) l'area non evidenzia nessuna criticità legata alla pericolosità geomorfologica da frana, né tantomeno idraulica. La perimetrazione presente all'interno del portale Regionale della Sardegna evidenzia una rimanenza, esterna al progetto, di pericolosità da frana verso SW circoscritta (Rg2).

Il progetto Definitivo prevedeva la ristrutturazione della vasca terminale della Linea Coghinas in località Truncu Reale, consistente sia nel semplice risanamento delle strutture esistenti (vasca e condotte), sia nella realizzazione dei seguenti nuovi manufatti (schema semplificato a pag. 9):

- Linea By-Pass di alimentazione Tottubella, costituito da un torrino di disconnessione in c.a. a sezione circolare con raggio di 4,70 metri e altezza fuori terra di 8,25 metri, fondata su basamento monolitico in c.a. intestato a circa 4,60 metri di profondità dall'attuale p.c, con relativi tratti di condotte e camera di manovra;
- Demolizione e ricostruzione delle opere di erogazione e della relativa camera di manovra, su una platea in c.a. intestata a circa 4,40 metri di profondità;
- Realizzazione di camere interrato a profondità superiori a 4,00 metri, destinate alle opere di sezionamento, misura ed erogazione nei diversi rami di alimentazione.

In fase di sviluppo del Progetto Esecutivo, di concerto con la Stazione Appaltante, ENAS, sono state apportate delle variazioni all'organizzazione funzionale idraulica del sistema Truncu Reale, semplificandolo e migliorandone la futura fase di gestione. In tal senso, oltre a confermare gli interventi di ripristino strutturale corticale delle vasche, è stata prevista la realizzazione dei seguenti nuovi manufatti (ved. Planimetria di seguito):

- Nuova vasca di distribuzione e relativa camera di manovra in uscita;
- camera di sezionamento in ingresso in c.a.;
- pozzetto in c.a. per l'alloggiamento degli organi di sezionamento e misura sul by-pass generale della vasca.
- pozzetti in c.a. per l'alloggiamento delle valvole anticipatrice del colpo d'ariete;
- pozzetto in c.a. per l'alloggiamento delle erogazioni per Porto Torres e la zona industriale di Truncu Reale;
- Pozzetti in c.a. per l'alloggiamento degli organi di misura per le portate in uscita verso Tottubella;



“Ristrutturazione vasca terminale linea Coghinas 1° in località Porto Torres - Ristrutturazione vasca di carico di Casteldoria in agro di S.M. Coghinas - Ristrutturazione vasca terminale linea Coghinas 2° in località Truncu Reale”

Progetto esecutivo

- Pozzetto in c.a. di scarico.

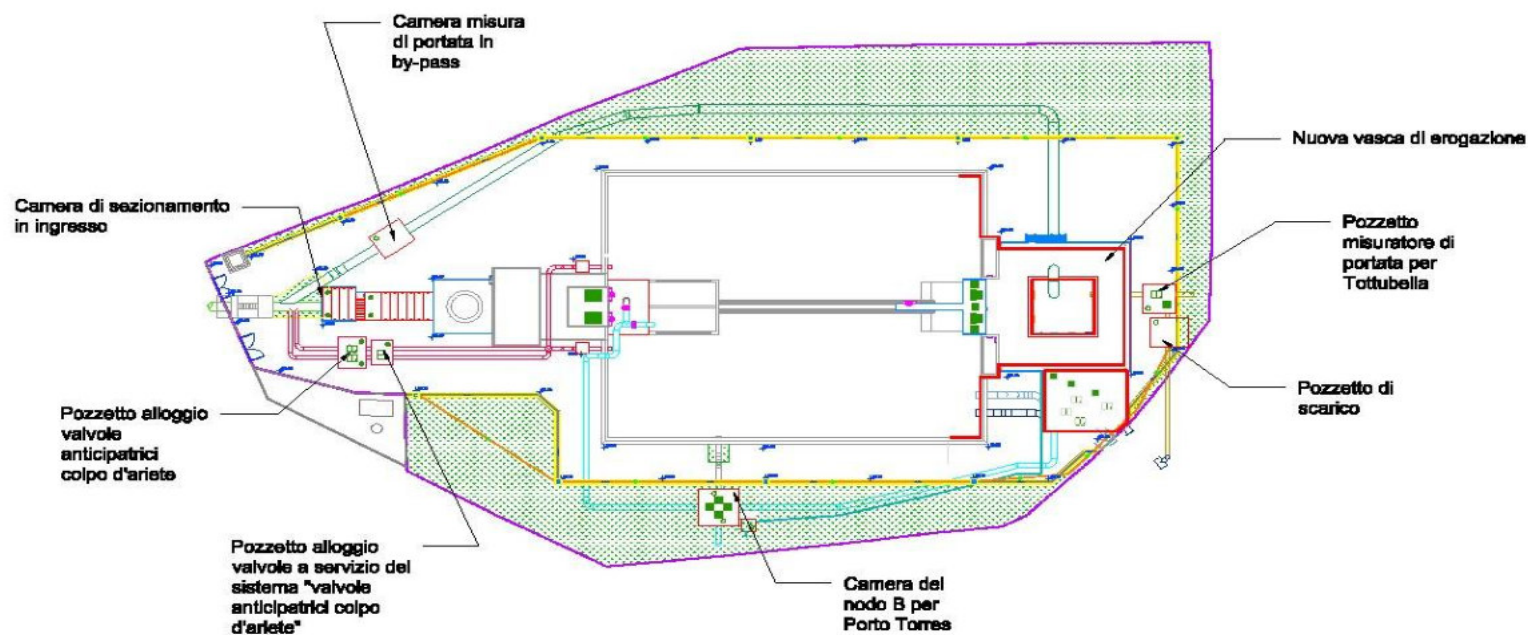
È, inoltre, previsto il rifacimento della copertura dell'esistente pozzetto per la misura della portata in ingresso. Tale copertura verrà realizzata mediante blocchi in calcestruzzo amovibili.

Inoltre, verrà realizzata una piastra in c.a., avente dimensioni in pianta pari a (5,90x9,00) m e spessore di 0,30 m come supporto per le nuove tubazioni in ingresso in vasca provenienti da Porto Torres.



“Ristrutturazione vasca terminale linea Coghinas 1° in località Porto Torres - Ristrutturazione vasca di carico di Casteldoria in agro di S.M. Coghinas - Ristrutturazione vasca terminale linea Coghinas 2° in località Truncu Reale”

Progetto esecutivo





1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO - STRATIGRAFICO

1.1 - Caratteristiche tettoniche e stratigrafiche dell'area vasta

I lineamenti fisiografici del territorio di Sassari, nella Sardegna nord-occidentale, derivano essenzialmente dall'evoluzione tettonica Terziaria e Quaternaria della Sardegna. La strutturazione crostale dell'isola si è realizzata durante l'orogenesi Varisca, che ha interessato tutto il Basamento Sardo con intense deformazioni, un metamorfismo sincinemato e un importante magmatismo post-collisionale. Il basamento sardo è un segmento della catena varisca europea, separatosi

dall'Europa solo nel Miocene inferiore (Burdigaliano). Le strutture fondamentali del basamento trovano la loro prosecuzione in Provenza e Catalogna (Alvarez, 1972; Arthaud & Matte, 1966; 1977; Cherchi & Montadert, 1982; Edel et al., 1981; Gattacceca et al., 2007; Matte, 2001) secondo la posizione pre-deriva Miocenica del blocco sardo-corso.

Circa un terzo dell'isola è coperto da sedimenti e vulcaniti del Carbonifero superiore-Permiano, del Mesozoico e del varisiche (Carmignani, Conti, Funedda et al; 2008). Terziario. Le formazioni più rappresentate sono di età miocenica; esse, infatti, affiorano con continuità da Golfo di Cagliari a quello di Sassari e rappresentano da sole oltre la metà degli affioramenti delle coperture post-

I maggiori spessori sono raggiunti nella “fossa sarda” (Vardabasso, 1962) o “rift sardo” (Cherchi & Montadert, 1982), in realtà costituiti da una serie di bacini sedimentari terziari (Oggiano et al., 2009) che interessano una fascia meridiana, più o meno continua tra il Golfo di Cagliari e quello di Sassari.

Dopo la sua evoluzione varisca, la Sardegna, benché al di fuori della zona orogenica alpina, si è trovata ai margini di due aree caratterizzate da fenomeni orogenici importanti: i Pirenei e gli Appennini. Successivamente, essa è stata interessata, prima a ovest e poi a est, da due episodi di rifting ad evoluzione oceanica: l'apertura del Bacino

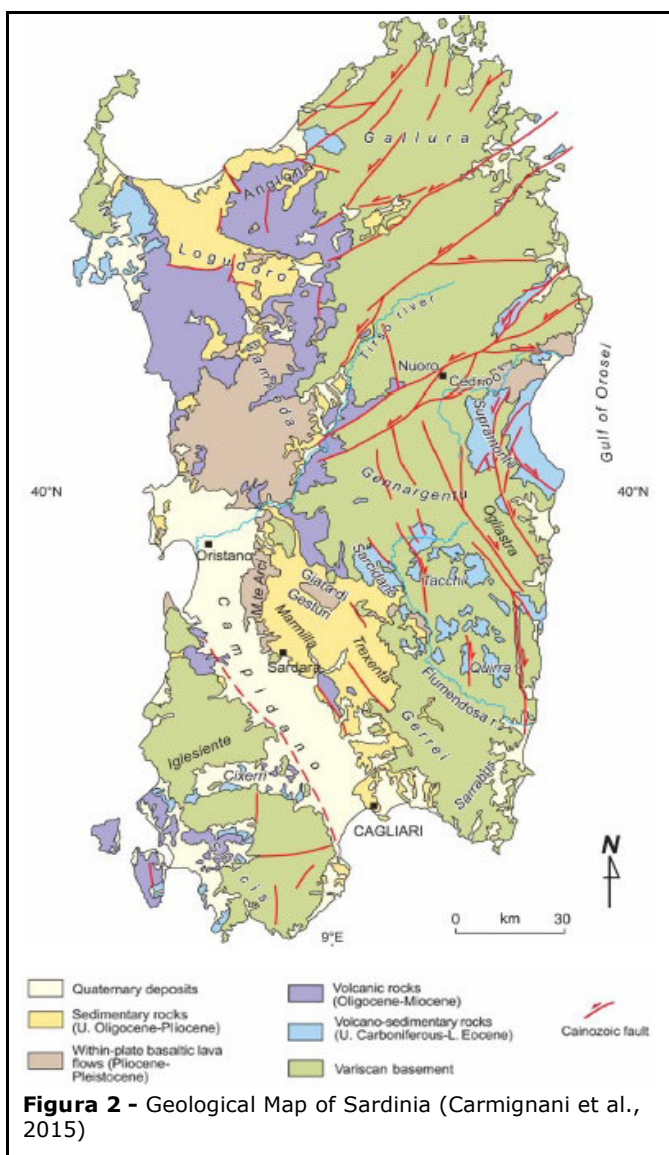


Figura 2 - Geological Map of Sardinia (Carmignani et al., 2015)

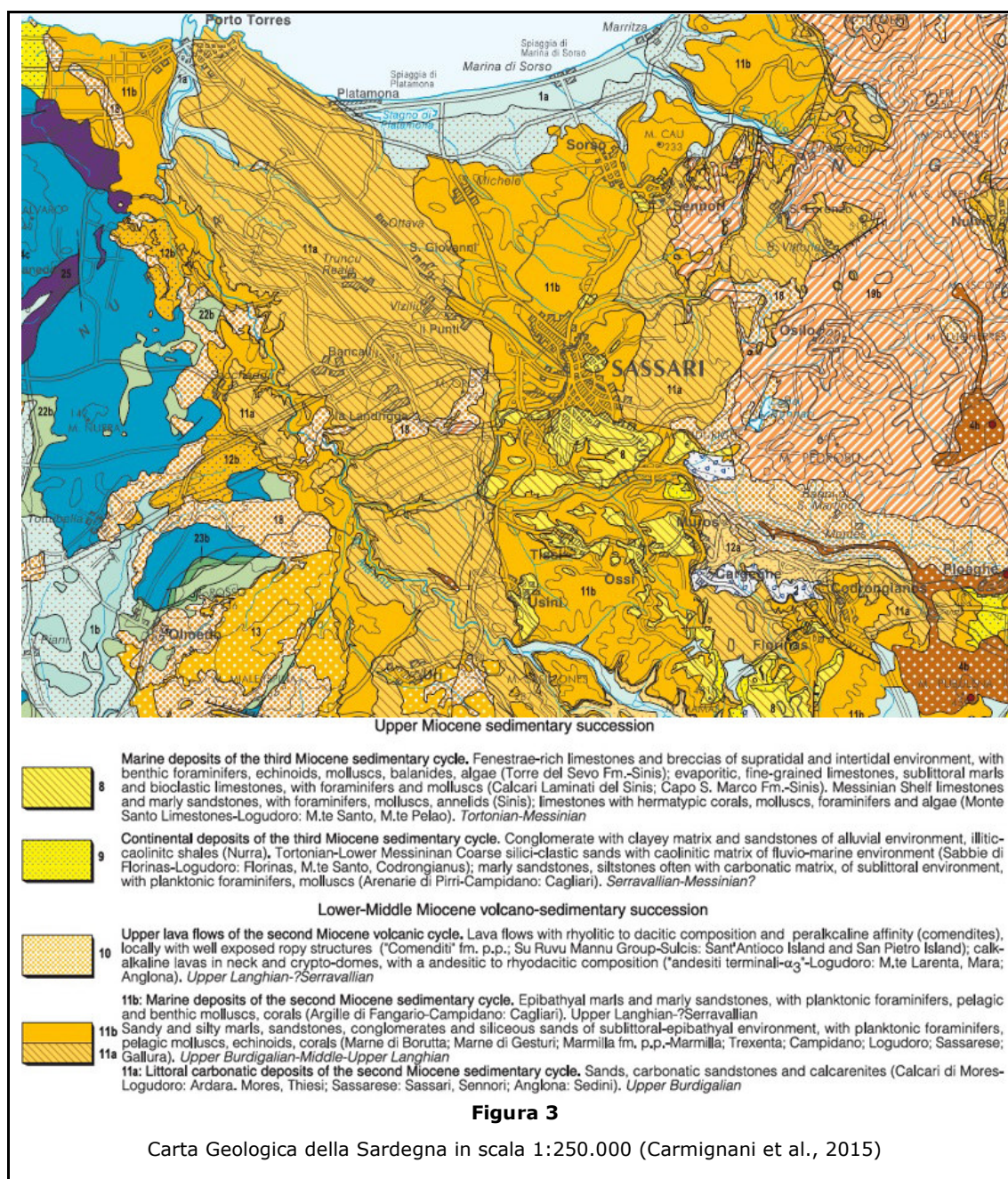


“Ristrutturazione vasca terminale linea Coghinis 1° in località Porto Torres - Ristrutturazione vasca di carico di Casteldoria in agro di S.M. Coghinis - Ristrutturazione vasca terminale linea Coghinis 2° in località Truncu Reale”

Progetto esecutivo

Balearico nel Burdigaliano e l’apertura del Tirreno centro-meridionale nel Miocene superiore-Pliocene.

Lavori recenti (Carmignani et al., 1994a, Oggiano et al., 2009, Oggiano et al., 2011) hanno evidenziato come la Sardegna sia stata interessata dalla tettonica collisionale terziaria, con sviluppo di un sistema di faglie trascorrenti che inducono importanti transpressioni (Carmignani et al., 1992a; 1994a; 2004; Pasci, 1997), con sovrascorrimenti del basamento paleozoico sulla copertura post-varisica (M. Albo, M. Tuttavista, Supramonte), e transtensioni (bacini di Chilivani-Berchidda, Ottana), (Oggiano et al., 1995).





Nella successione oligo-miocenica sono intercalati prodotti vulcanici calcalcalini (ciclo vulcanico calcalcalino oligo-miocenico) riferibili alla subduzione nord-appenninica e alla relativa distensione post-collisionale (Beccaluva et al., 1994; Carmignani et al., 1994a; 1994c; 2001c; Lecca et al., 1997). Gli ultimi prodotti vulcanici riconosciuti nell'Isola sono rappresentati da basalti intraplacca connessi con l'apertura del Tirreno meridionale, attribuiti al ciclo vulcanico ad affinità alcalina, transizionale e subalcalina del Plio-Pleistocene.

La tettonica trascorrente di età oligo-aquitaniense rappresenta uno dei più importanti eventi deformativi della copertura post-varisica sarda da riferire alla collisione continentale terziaria tra la placca apula e il margine sud-europeo (Carmignani et al., 1992a; 1994a; Pasci, 1997; Pasciet al., 1998). In sintesi, la Sardegna settentrionale resta caratterizzata da una tettonica trascorrente sinistra (Oggiano et al., 1995), in cui si sono sviluppati limitati bacini transtensivi orientati NE-SW (bacino di Chilivani-Berchidda, Ottana, ecc.) e importanti strutture transpressive. A questi bacini e alle faglie che li strutturano, sembrano essere correlate le effusioni vulcaniche oligo-aquitaniense.

Con il Burdigaliano superiore in tutta l'Isola si ha un cambiamento del regime deformativo, che da trascorrente (con ampie zone soggette a transpressione e transtensione), diventa distensivo. Durante questo periodo sulla terraferma, depositi trasgressivi del Burdigaliano superiore-Langhiano si rinvenivano nel Logudoro e nel Sassarese proseguendo in mare nel Golfo dell'Asinara. In questo settore, la distinzione tra le strutture trascorrenti oligo-aquitaniense e i depositi associati ("1° ciclo") dalle strutture distensive del Burdigaliano e i relativi sedimenti ("2° ciclo") è facilitata dal fatto che le faglie dei due eventi hanno direzioni fortemente differenti.

Il bacino del Logudoro è un semi-graben, orientato NNW che si estende dall'altopiano di Campeda a sud fino alla zona di Ittiri e Ploaghe a nord; il margine occidentale è limitato da una serie di faglie dirette mentre quello orientale è caratterizzato dalla trasgressione miocenica su un substrato costituito prevalentemente dalle vulcaniti aquitaniense-burdigaliense.

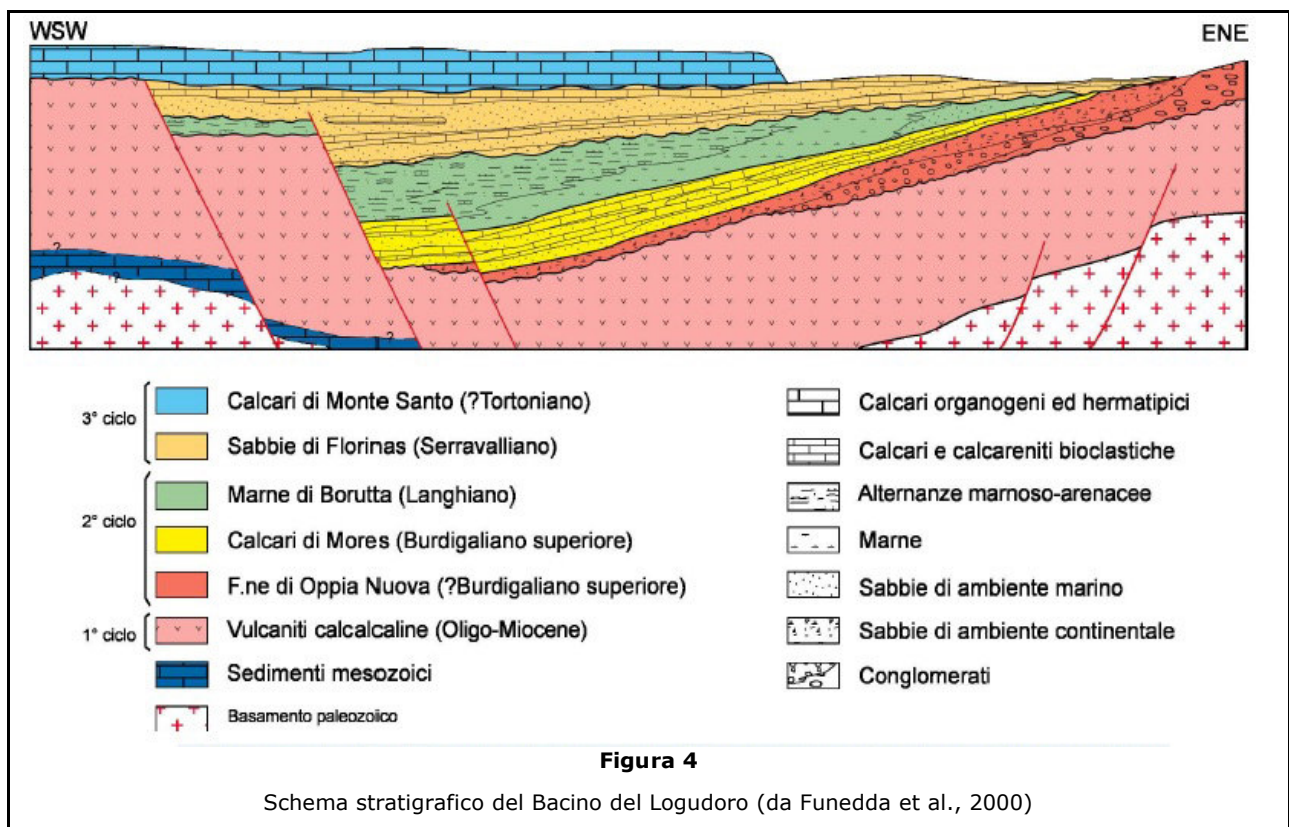
I sedimenti, procedendo da est verso ovest, mostrano un'evoluzione da ambienti prossimali a distali. Il riempimento del bacino è costituito da tre sequenze stratigrafiche principali: la più antica in quest'area è rappresentata esclusivamente da vulcaniti del Miocene inferiore e relative epiclastiti (1° ciclo tettono-sedimentario oligo-miocenico); la seconda sequenza è una successione sedimentaria costituita alla base da sedimenti clastici grossolani tipici di ambiente alluvionale, da conoide prossimale a delta, che passano a calcari litorali e sabbie, seguiti da siltiti e marne arenacee epibatiali (2° ciclo tettono-sedimentario oligo-miocenico). Questa seconda sequenza ha un'età che va dal Burdigaliano superiore fino al Langhiano, poggia con rapporti di onlap sulle sottostanti vulcaniti ed epiclastiti ed è interrotta superiormente da una superficie erosiva; la terza sequenza deposizionale (3° ciclo tettono-sedimentario oligo-miocenico) che arriva fino al



Tortoniano-(?)Messiniano, è costituita da sabbie fluvio-marine alla base e da calcari di piattaforma interna ricchi in alghe (Mazzei & Oggiano, 1990).

Gli stessi aspetti stratigrafici e strutturali sono evidenti anche nel bacino di Porto Torres che si sviluppa a NW, con cui il bacino del Logudoro è collegato tramite una complessa zona di trasferimento che inverte la geometria dei bacini. Le faglie NNW che strutturano i due bacini non affiorano con continuità: in genere si configurano come ristrette zone di taglio più che come singole superfici e, spesso, sono state riattivate a più riprese, sia durante l’evoluzione dei bacini miocenici che nel Pliocene.

Le successioni interessate dalla deformazione oligo-miocenica sono ricoperte in discordanza dagli espandimenti basaltici di età pliocenica, la cui messa in posto è collegata a un nuovo ciclo vulcanico connesso alla dinamica estensionale che ha interessato la Sardegna e il Tirreno nel Plio-Pleistocene; le datazioni radiometriche delle rocce vulcaniche hanno, infatti, fornito età comprese tra 5,3 e 0,14 Ma (Beccaluva et al., 1985). In sintesi, l’evoluzione sedimentaria nella Sardegna Settentrionale è caratterizzata da numerosi cicli trasgressivo-regressivi, fra loro alternati.



Poiché il bacino di sedimentazione del Logudoro-Sassarese è stato interessato durante il Miocene da diverse oscillazioni eustatiche e da instabilità tettonica, sono state distinte differenti



unità litostratigrafiche, riconducibili a due cicli sedimentari marini miocenici. Le unità stratigrafiche più significative, sono le seguenti:

- Formazione di Oppia Nuova (Burdigaliano medio-sup.): consiste di depositi silicoclastici di ambiente continentale, caratterizzati da transizioni verticali e laterali da sabbie grossolane, talvolta conglomeratiche, quarzoso-feldspatiche, a sabbie più fini e stratificazione piano-parallela o incrociata. Il passaggio verso l'alto a sabbie marine fossilifere e a calcari sabbiosi testimonia la graduale sommersione e lo stabilirsi di condizioni marine di un ambiente di piattaforma interna, che caratterizza la successiva unità (Barca, Spano et al., 2000);
- Calcarei di Mores (Burdigaliano superiore): le facies prevalenti consistono in biocalcareni detritico-organogene da biohermali a biostromali, deposte in ambiente di piattaforma medio-esterna; talvolta si presentano più friabili in conseguenza di una maggiore componente sabbiosa. Questa unità include sabbie quarzoso-feldspatiche, talvolta cementate, probabilmente legate a fasi regressive minori, tipiche di un ambiente caratterizzato da fondali costieri sabbiosi con livelli fossiliferi ricchi in echinidi, bivalvi e foraminiferi. Tali litologie poggiano generalmente con contatto netto sui prodotti piroclastici o sui tufi calcarei.
- Marne di Borutta (Burdigaliano superiore-Langhiano superiore): quest'unità, tipica di un processo di sedimentazione in ambiente marino profondo (circalitorale – epibatiale), poggianti sui calcari e sabbie dei “Calcarei di Mores”, affiora nel Sassarese e nel settore nord-occidentale e centrale del Logudoro. E' costituita da strati di marne, marne argillose, sabbie calcaree, che si alternano a strati marnoso arenacei, con livelli fossiliferi ed a livelli decimetrici più siltosi e cementati, con bioturbazioni (Barca et al., 2000).
- Sabbie di Florinas (Langhiano superiore- Serravalliano medio-sup.): la loro deposizione riguarda un periodo di breve emersione, per cui poggiano in discontinuità sulle “Marne di Borutta” e sui “Calcarei di Mores”, lungo una superficie erosiva. Si tratta di sabbie microconglomeratiche incoerenti, costituite da elementi quarzoso-feldspatici, indicanti un prolungato trasporto fluviale, con intercalate biocalcareni litorali. Affiorano soprattutto nei dintorni di Florinas e a sud di Ploaghe.
- Calcarei di Monte Santo area sensibile (Tortoniano-Messiniano inf.): è legata a una nuova fase trasgressiva (3° ciclo sedimentario miocenico), nella quale si depositarono calcari detritico-organogeni, di piattaforma con paleobatimetria che non superava probabilmente i 15-20 metri. Affiora in particolare in gran parte del tessuto urbano di Sassari.

Il complesso sedimentario miocenico, risulta in prevalenza ricoperto da colate basaltiche (tipicamente localizzate sulla sommità di altopiani) appartenenti al ben noto ciclo magmatico effusivo plio-quadernario e da litologie continentali quadernarie (nell'area di studio). Durante il Quadernario, l'instabilità climatica e i processi di erosione hanno generato soprattutto depositi di



versante, falde di detrito e depositi colluviali frequenti alla base di scarpate carbonatiche. Depositi alluvionali ciottolosi a elementi eterometrici grossolani e non cementati, costituiti da clasti appartenenti alle litologie affioranti, soprattutto calcarei e basaltici, affiorano lungo i corsi d'acqua presenti nell'area.

1.2 - Caratteristiche geomorfologiche e idrogeologiche del territorio

I lineamenti morfologico-strutturali di un territorio sono il risultato della combinazione di processi geodinamici legati sia all'azione di forze endogene (orogenesi, vulcanismo, tettonica, ecc.) sia esogene (agenti esterni come vento, acque correnti, gravità, ecc.), responsabili di processi di erosione e di sedimentazione, condizionando il modellamento delle superfici esposte. Il quadro morfologico del territorio di Sassari e i suoi dintorni rispecchiano la costituzione geolitologica e strutturale del Logudoro nord-occidentale, che conserva i segni d'importanti eventi geologici, legati al sistema di rifting

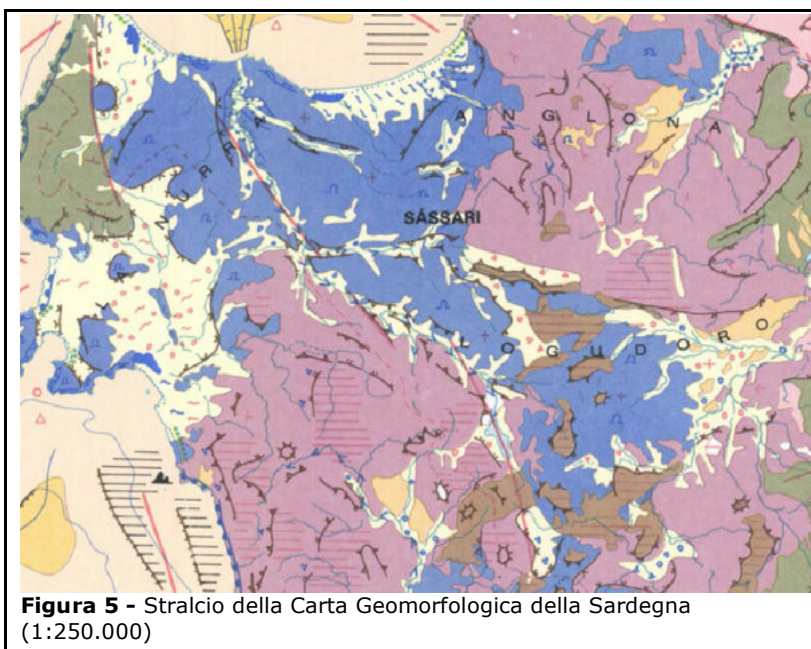


Figura 5 - Stralcio della Carta Geomorfologica della Sardegna (1:250.000)

Oligo-Miocenico, all'Orogenesi Alpina e alla neotettonica quaternaria, cui si attribuiscono la riattivazione delle lineazioni tettoniche e il ringiovanimento delle forme di rilievo.

Più a sud di Sassari, il paesaggio si contraddistingue per la presenza di superfici strutturali come plateaux basaltici, mesas su rocce calcaree e rilievi collinari asimmetrici dal profilo caratteristico (cuestas), separati da valli larghe con versanti dolci o poco acclivi. La presenza di rilievi tabulari emergenti e isolati rispetto alla morfologia circostante è il risultato di processi di erosione differenziale, che hanno determinato un'inversione del rilievo, per via dell'arretramento di tratti di versante e dello scalzamento dei margini, poiché l'erosione si manifesta preferenzialmente sui litotipi meno resistenti e competenti (sedimenti terziari e quaternari), non protetti dai banchi di roccia calcarea e/o dalle colate basaltiche.

La principale caratteristica morfologica del Sassarese, costituito prevalentemente da litologie calcareo-marnose della serie marina miocenica, è offerta da una serie di pianori (es. Serra Secca, San Quirico, Zinziodda, ecc.) costituenti un'estesa area ad andamento quasi tabulare declinante a nord-ovest verso il Golfo dell'Asinara e la pianura della Nurra, mentre a sud-est il terreno è

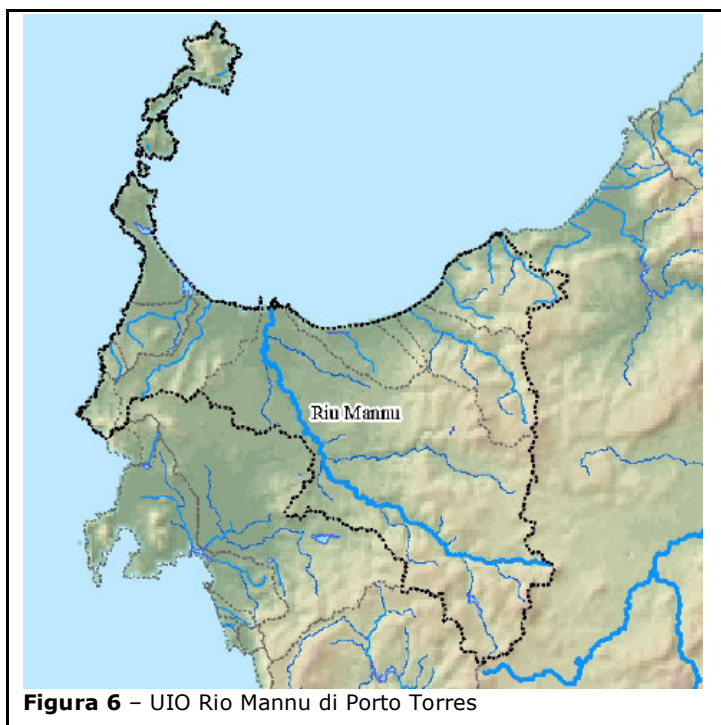


prevalentemente collinare. Il territorio, adagiato su un tavolato calcareo-marnoso è costituito localmente da valli e gole, più o meno incise che ne interrompono la continuità.

Per quanto riguarda la giacitura delle bancate calcaree e calcareo-marnose è, salvo lievi ondulazioni, quasi dovunque sub-orizzontale; l'assetto strutturale delle formazioni calcaree assunto nel territorio di Sassari presenta un andamento monoclinale, con pendenza oscillante tra gli 8° e i 12° verso NO. Poco più a sud di Sassari, l'andamento monoclinale della successione è interrotto lungo la linea Rio Mascari - Valle di Bunnari da una faglia il cui rigetto si aggira intorno ai 40 metri sia a "Sa Crabola" sia in prossimità di "Chighizzu". Questa lineazione tettonica è caratterizzata da una serie di valli più o meno incise, fra cui quella di Rio Mascari, Sa Crabola, Badde Olia Bunnari, ecc .., situate a ESE dell'area in esame. Lungo tali valli si possono osservare versanti e ripide pareti in rocce calcaree, in particolare in località Costa Chighizzu e Scala di Giocca, un'alternanza di strati di calcari detritico-organogeni e calcareniti, formano costoni rocciosi verticali o molto acclivi con esposizione sud-orientale. Queste forme di rilievo, sia per la giacitura dei litotipi affioranti (stratificazione e alternanza di calcari e calcari marnosi) sia per esposizione topografica sono interessate da processi di versante legati alla gravità, con potenziali fenomeni d'instabilità legati a crollo e/o ribaltamento, localizzabili a margine delle pareti verticali o subverticali che bordano i tavolati rocciosi a Est.

1.2.1 – Idrografia superficiale e caratteristiche idrogeologiche

Il territorio in esame appartiene all'Unità Idrografica Omogenea (U.I.O) del Mannu di Porto



Torres. Il bacino del Riu Mannu di Porto Torres, si sviluppa in una vasta area della Sardegna nord-occidentale, all'interno dell'area denominata "Fossa Sarda", che è stata interessata in diversi periodi da ripetute trasgressioni e regressioni marine e da numerose manifestazioni vulcaniche. È caratterizzato da un'intensa idrografia dovuta alle varie tipologie rocciose attraversate (vulcaniti oligo-mioceniche, complesso sedimentario miocenico, calcari mesozoici della Nurra, vulcaniti plio-pleistocenici e depositi quaternari).

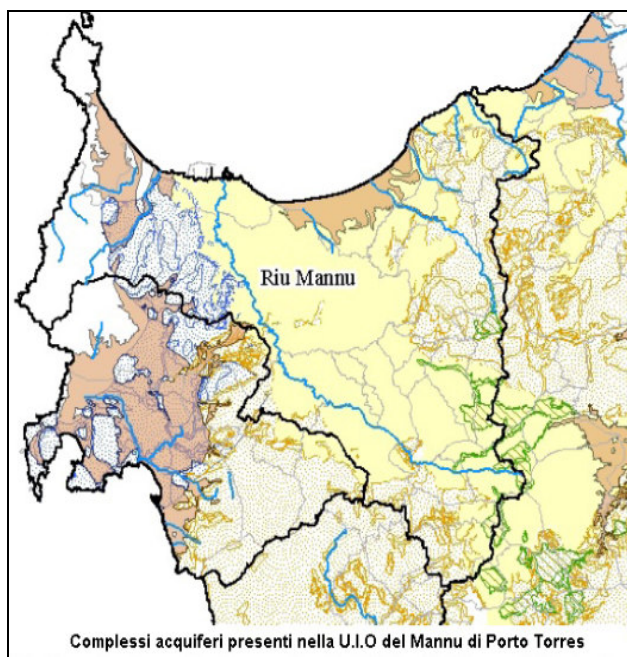
Nell'area esaminata non sono rilevabili sorgenti e non si evidenzia un reticolo

idrografico vero e proprio, soprattutto verso Sud. Infatti, si interseca una depressione assimilabile



ad un impluvio potenziale di I° ordine (Horton-Strahler) ma costantemente privo di deflusso idrico. L'esame della ricerca della falda freatica (archivio nazionale delle indagini nel sottosuolo – ISPRA legge 464/84) potenzialmente presente nell'areale ha evidenziato la localizzazione mediamente superiore ai 30 metri). In funzione di tale evidenza è facile supporre che l'acquifero sia costituito dalle calcareniti ed abbia uno spessore compreso tra 50 e 80 metri, sino al raggiungimento delle sottostanti ignimbriti, costituenti un basamento pressoché impermeabile.

Il Riu Mannu è il fiume più importante della Sardegna settentrionale, nasce dal monte Sa Figu (376 mt), si sviluppa in direzione sud est-nord ovest per una lunghezza di circa 65 chilometri fino a sfociare nel golfo dell'Asinara nei pressi di Porto Torres. L'area nella quale si sviluppa il corso d'acqua è caratterizzata da una serie di colline di media altezza, da falsipiani e tavolati modellati nei sedimenti calcarei di età miocenica. I suoi emissari hanno un andamento lineare, ortogonale alla linea di costa. L'idrografia del territorio è caratterizzata in prevalenza da corsi d'acqua a



regime torrentizio; la frequenza delle incisioni vallive è funzione del diverso grado di permeabilità delle formazioni geologiche di copertura, soprattutto in corrispondenza delle grosse bancate calcarenitiche.

Tra le principali aste fluviali riveste particolare importanza il Rio Ottava, che scorre a NW di Sassari su un'area d'impostazione tettonica, con andamento est-ovest. Il complesso acquifero, nell'ambito dell'unità idrografica omogenea del Mannu di Porto Torres, che caratterizza il settore in esame, è l' Acquifero Detritico-Carbonatico Oligo-Miocenico del Sassarese.

Tale complesso acquifero, in base alla litologia componente è costituito da una o più unità idrogeologiche con caratteristiche idrogeologiche sostanzialmente omogenee. In particolare si possono distinguere:

1. Calcari, calcareniti, arenarie marnose con subordinate marne e siltiti, conglomerati e arenarie, sono caratterizzati da permeabilità complessiva medio-alta; da medio-bassa a medio-alta per porosità nei termini detritici, medio-alta per fessurazione e/o carsismo nei termini carbonatici;
2. Marne, marne arenacee e siltose, conglomerati a matrice argillosa con subordinate arenarie, calcareniti e sabbie, con locali intercalazioni tufacee. Sono caratterizzati da permeabilità



complessiva medio-bassa per porosità; localmente medio-alta per porosità nei termini sabbioso-arenacei.

Le formazioni affioranti nel settore in studio sono rappresentate da terreni della successione sedimentaria marina del Miocene, e localmente da una debole copertura di depositi quaternari costituiti da falde di detrito, da depositi alluvionali e colluviali.

Dal punto di vista idrogeologico i sedimenti marini miocenici, si comportano come rocce variamente permeabili, in funzione della presenza di livelli marnoso-argillosi (non acquiferi), che in genere si alternano a strati sabbioso-arenacei (acquiferi). I calcari oligo-miocenici presentano una parziale capacità di immagazzinare acqua e sono da considerarsi rocce semipermeabili, poiché la relativa permeabilità è legata sia alla porosità interstiziale sia alla presenza di discontinuità nell'ammasso roccioso (permeabilità per fessurazione o per carsismo).

Terreni a media permeabilità sono le rocce calcareo-marnose e arenacee in cui il grado della permeabilità è legato alla presenza di fratture, di livelli argillosi intercalati ai pacchi calcarei o arenacei e, in via subordinata, all'effetto della loro alterazione; di permeabilità variabile possono essere considerati sedimenti sabbiosi e conglomeratici più o meno cementati.

Terreni con permeabilità scarsa o impermeabili sono rappresentati dalle marne argillose-arenacee della Formazione delle Marne di Borutta. Le bancate di calcari organogeni sono intercalate da livelli lenticolari di marne e marne calcaree, che trattengono l'acqua dei calcari sovrastanti dando luogo in genere a falde sospese. I depositi quaternari, rappresentati da coltri detritiche e da alluvioni grossolane a elementi etrometrici, allo stato sciolto o semicoerente, sono terreni a buona circolazione idrica per l'intrinseca porosità primaria, sede di falde freatiche superficiali.

1.2.2 - Permeabilità nel contesto dell'area sensibile

La permeabilità è una proprietà caratteristica delle terre/rocce ed esprime l'attitudine delle stesse a lasciarsi attraversare dall'acqua. Essa quindi si manifesta con la capacità di assorbire le acque piovane e di far defluire le acque sotterranee. Poiché i terreni e le rocce non sono corpi omogenei, è intuibile che all'interno degli stessi varino sia le caratteristiche chimico-fisiche, che le proprietà idrogeologiche. Vista la possibile disomogeneità, la permeabilità per le litologie considerate, non è rappresentata da un unico valore del coefficiente "K" (in cm/s) ma da un intervallo di questo.

Geologicamente nell'area sensibile affiorano rocce della serie marina miocenica rappresentati dalla litofacies nella Formazione di Mores, sovrastanti livelli di marne, marne argillose e marne calcaree ("Marne di Borutta"), che talvolta s'intercalano agli stessi calcari organogeni.

I terreni rilevati, in base alle caratteristiche geolitologiche, con particolare riferimento alla capacità d'assorbimento (tab. 1) possono essere suddivisi in 2 classi di permeabilità:



Grado di permeabilità	Valore di k (m/s)
alto	superiore a 10^{-3}
medio	$10^{-3} - 10^{-5}$
basso	$10^{-5} - 10^{-7}$
molto basso	$10^{-7} - 10^{-9}$
impermeabile	minore di 10^{-9}

- ✓ Classe 1- Permeabilità medio-alta per fessurazione: comprende la Litofacies di Mores caratterizzati da calcari bioclastici, calcari arenacei e calcareniti con permeabilità medio-alta per fessurazione e carsismo, localmente medio-bassa [$10^{-2} > K > 10^{-5}$];
- ✓ Classe 2- Permeabilità da bassa a impermeabile: comprende le marne, marne argillose, marne arenacee della “Formazione di Borutta” (Langhiano). Questi sedimenti presentano scarsa permeabilità per porosità e per fessurazione e, spesso costituiscono il letto su cui si accumulano le acque che s’infiltrano nelle bancate calcaree sovrastanti dando così origine a falde sotterranee medio-profonde, [$10^{-9} \geq K$].

In sintesi, non esistono condizioni attuali in cui l’attività in oggetto possa interferire con la geologia e l’idrologia del settore. Da quanto su esposto si evince che la struttura in progetto non aumenta il livello di rischio idraulico poiché non comporta ostacolo al naturale deflusso delle acque superficiali e sotterranee nell’area.

1.3 - Inquadramento climatico

L’area in esame mostra caratteri orografici omogenei con il territorio di Sassari, localizzato a ESE. Il territorio si sviluppa su una superficie calcarea che declina verso il Golfo dell’Asinara e si presenta a sud-est con un andamento prevalentemente collinare mentre a nord-ovest con un’ampia estensione pianeggiante (area della Nurra). Dal punto di vista altimetrico il territorio è situato per tutta la sua superficie tra m.0 e m.489 s.l.m con un’altitudine media di 225 metri sul livello medio del mare.

Per delineare i caratteri climatici dell’area vengono analizzati e descritti i principali parametri meteorologici: temperatura, piovosità e ventosità. A tal fine in primo luogo sono state acquisite le serie storiche dei dati pluvio-termometrici rilevati nelle stazioni meteorologiche ricadenti nel territorio in esame ed in quelle ubicate nel suo intorno.

In termini generali il territorio di Sassari è caratterizzato da un clima mediterraneo, tipico di gran parte della Sardegna, definito da un periodo di surplus idrico contrapposto a un altro, più lungo, di forte deficit, caratterizzato da elevate temperature. Un clima quasi bi-stagionale, condizionato dalla presenza di due fasi critiche, una invernale per le basse temperature, ed una estiva per la scarsa quantità di precipitazioni disponibili (Mitrakos, 1991).

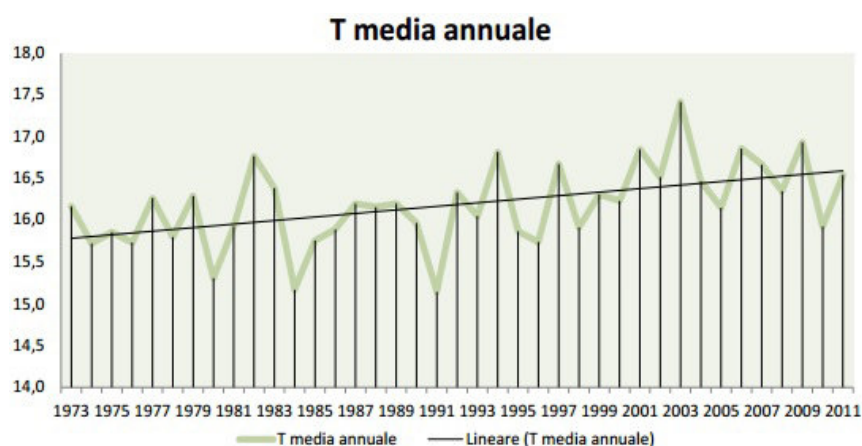


L'area è inoltre, solo per una modesta parte, condizionata dalla presenza del mare, influenza che viene meno per la presenza dei primi rilievi del basamento miocenico o per la presenza di formazioni collinari che raggiungono il mare con notevoli pendenze. Mentre più significativa è l'influenza di fattori legati alle attività antropiche, in particolare nel centro urbano e nelle aree industriali e artigianali, ma anche nelle aree coltivate che investono ampie superfici. La mancanza d'importanti rilievi determina un'uniformità delle caratteristiche macroclimatiche dell'area. Lo studio delle variabili climatiche è stato effettuato attraverso l'analisi dei dati rilevati dalla stazione termo-pluviometrica di Sassari, posta a 224 m s.l.m. su una serie derivata da più di 40 anni di osservazioni.

1.3.1 - Parametri meteo climatici

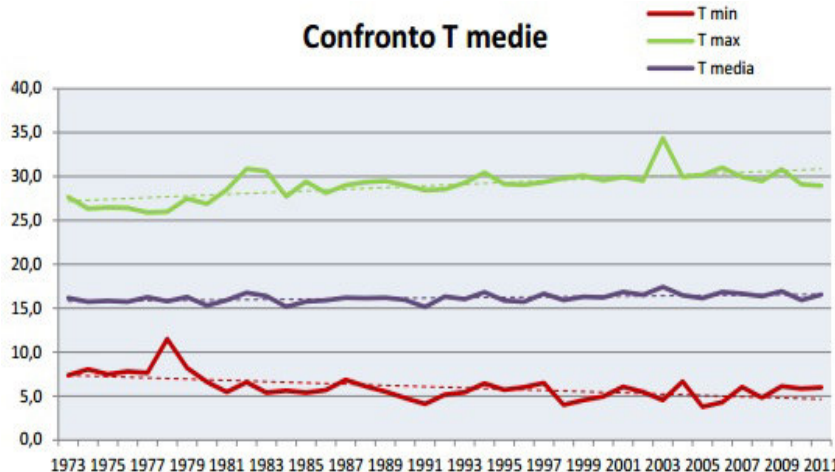
Temperatura

L'andamento medio annuo delle temperature rilevate dal 1973 al 2011 (riportato nei grafici sottostanti) ci permette di fare alcune considerazioni significative. Il valore medio della



Trend della temperatura media annuale rilevata dal 1973 al 2011. In questo lasso di tempo si è registrato un percepibile e discontinuo incremento dei valori.

Diagramma temperature, serie 1973-2011



Confronto tra la T medie minime invernali e le T massime medie estive

relazione geologica

temperatura risulta pari a 16,2°C. Il picco corrisponde al valore medio del 2003, di 17,4°C, mentre il valore più basso corrisponde a 14,2°C del 1976. Nel periodo di tempo considerato è possibile notare che negli anni l'andamento delle temperature medie minime è in continua diminuzione, mentre si registra un aumento delle medie massime. La temperatura media annuale ha avuto un aumento significativo, anche se non lineare, tra il 1992 e il 2003, per poi attestarsi negli ultimi anni su valori più stabili. Tuttavia la media annuale è aumentata di circa 2°C dal 1970 a oggi.

Pluviometria

Per quanto riguarda l'entità delle precipitazioni su base annuale, nel



sito dell’Agenzia Regionale del Distretto Idrografico della Regione Sardegna sono stati reperiti i dati relativi agli anni dal 1986 al 2007.

In questo periodo si è registrata una piovosità media di 615,9 mm con un massimo di 877,4 mm fatto registrare nel 2002 e un minimo di 354,4 mm, relative all’anno 2006. Di seguito viene riportato il grafico del cumulato di precipitazione relativo al periodo Ottobre 2010 - Aprile 2011 in Sardegna.

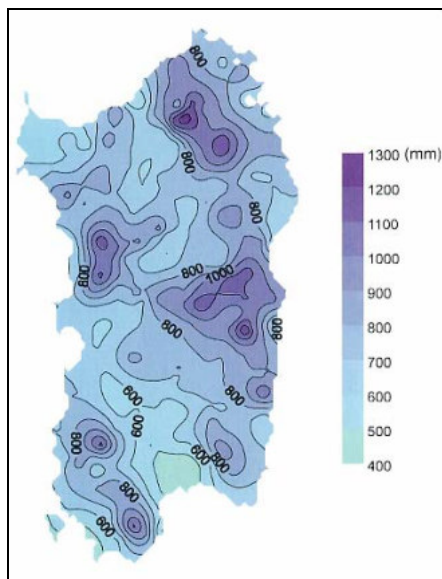


Figura 7- Estratto altezza regionale a rischio di desertificazione.

L’area del Comune di Sassari per quanto riguarda la quantità di precipitazioni annue non presenta caratteristiche differenti rispetto alle aree limitrofe. In questo contesto, già di per sé tendenzialmente siccitoso, occorre evidenziare che nell’ultimo cinquantennio ci sono stati periodi, anche abbastanza lunghi, con precipitazioni al di sotto della media. Questa variazione del regime pluviometrico, accompagnata dalle variazioni climatiche e da un aumento dei processi di degrado del suolo, ha fatto sì che la Sardegna sia tra le regioni d’Europa a maggiore rischio di desertificazione. Per questo motivo, con Deliberazione della Giunta del 29 agosto 2002, n. 29/17, ha predisposto uno stanziamento per la realizzazione di un Sistema Informativo Geografico (GIS) per il monitoraggio delle aree del territorio

Ventosità

% provenienza venti per intensità									
Classe velocità	NE	E	SE	S	SO	O	NO	N	Direzione non definita
Calma (V<1m/s)	-	-	-	-	-	-	-	-	30.9
Vento debole (1.0 ÷ 5.5 m/s)	2.0	3.6	4.2	16.8	11.4	6.5	5.9	10.5	-
Vento moderato (5.5 ÷ 10.7 m/s)	0.2	0.6	0.4	1.1	1.7	1.2	1.2	1.9	-
Vento forte (10.7 ÷ 17.4 m/s)	0.006	0.03	0.01	0.05	0.08	0.04	0.06	0.03	-
Burrasca (>17.4 ÷ 5.5 m/s)	0	0.0011	0.0003	0.0009	0.0012	0.0009	0.0018	0.0014	-

Fonte: Documento preliminare per il Piano Energetico Ambientale Comunale.

Ventosità nella stazione anemometrica di Preda Niedda (SS)

Si riporta un riepilogo delle misure di velocità e direzione rilevate nel periodo 1997-2009, dall’anemometro situato all’interno della stazione ubicata nella zona industriale Preda Niedda a Sassari. La direzione prevalente del vento è nord-ovest ed ovest.

Nota: in sintesi, Sassari presenta un clima temperato caldo di tipo mediterraneo. Gli inverni sono miti e umidi, le estati calde e secche. Le precipitazioni si concentrano soprattutto nei mesi invernali e autunnali. I dati pluviometrici differiscono a seconda dell’altimetria e della distanza dal mare, la media nel territorio comunale è di 588,2 mm/anno, ma notevoli differenze si riscontrano nelle stazioni localizzate nell’area urbana e in particolare nei quartieri meridionali, fino a un



massimo di 647,7 mm/anno presso la stazione meteorologica di Serra Secca, posta a 310 metri sul livello del mare. Secondo la Classificazione di Koppen il territorio di Sassari presenta un clima temperato di tipo Mediterraneo della zona C (Decreto del presidente della Repubblica n. 412 del 26 agosto 1993), caratterizzato da un lungo periodo di siccità estiva e inverni piovosi con temperature miti. Il mare contribuisce a determinare questo clima, il quale è temperato caldo, con escursioni termiche giornaliere ed annue modeste (inferiori a 21 °C): infatti il mare trattiene il calore estivo e lo rilascia durante l'inverno.

1.4 - Pericolosità geologica del territorio

Ad oggi (2019) il sedime (opere in essere della fase progettuale esecutiva) riverificata la pericolosità del territorio attraverso il portale Regionale aggiornato al 2015 (PSFF), al 2016 (PGRA), al 2018 (Pericolosità/Rischio geomorfologico rev. 42 ÷ Pericolosità/Rischio idraulico rev. 41 ÷ Art. 8 Idraulica), e Comunale, non evidenzia criticità legata a nessuna situazione di rischio sia da pericolosità idraulica sia da pericolosità da frana. Una criticità da frana si rileva a non meno di 150m dalle opere in progetto, quale risultante residua della tavola B3FR155 codice frana.

L'area sensibile, su cui è inserito il nostro progetto, per la sua posizione topografica e/o morfologica non ha dimostrato una particolare predisposizione all'allagamento e si colloca perciò in una zona, pressoché, priva di rischi idraulici. L'analisi dei luoghi conferma una situazione geomorfologica locale stabile, una condizione litologica e geostrutturale piuttosto definita con ottima caratterizzazione meccanica del substrato essenzialmente carbonatico. Allo stesso è associata la minima presenza di una copertura quaternaria a giacitura orizzontale e omogenea di materiale detritico alluvionale e/o eluvio-colluviale, costituito essenzialmente da livelli derivati dalla stessa alterazione del substrato.

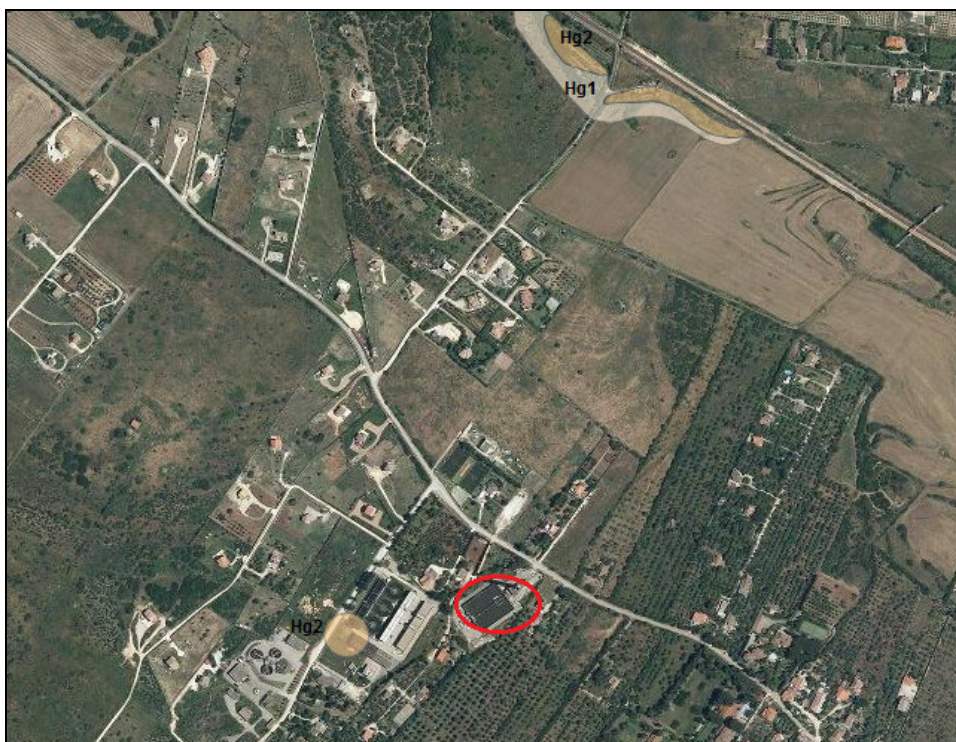


Figura 8 - Perimetrazioni delle aree caratterizzate da pericolosità geomorfologica mappate in ambito P.A.I. aggiornate alla data del 31.01.2018.

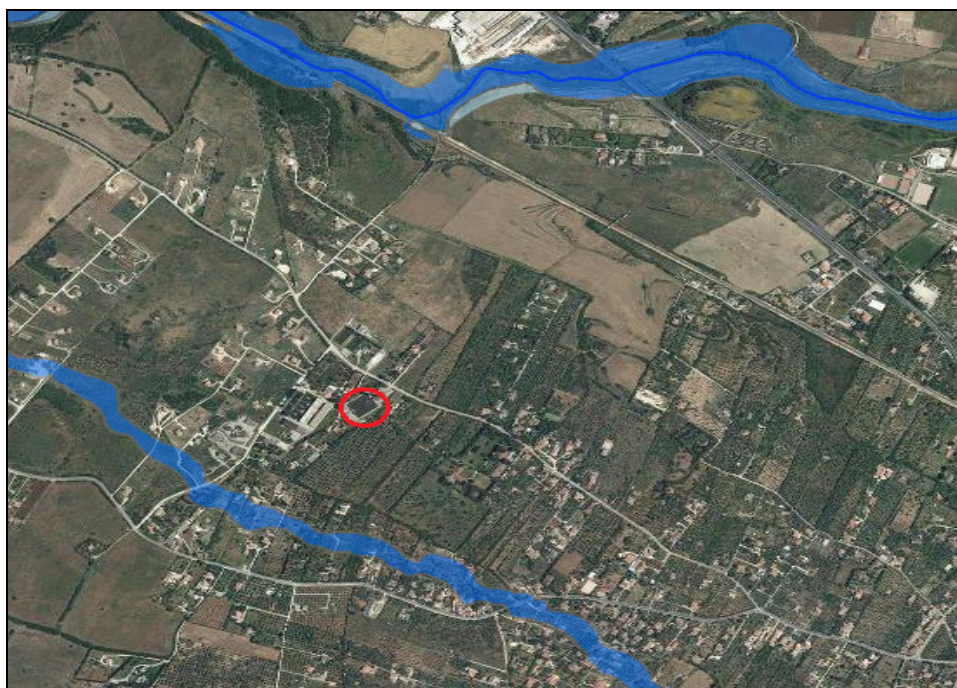


Figura 9 - Perimetrazioni delle aree caratterizzate da pericolosità idraulica mappate a seguito di studi derivanti dall'applicazione dell'Art. 8 comma 2 delle Norme di Attuazione del P.A.I. aggiornate alla data del 31/01/2018.



Le indagini svolte (definitivo Dott. Vigo 2014) evidenziarono “l’assenza di cavità con discontinuità di modesto rilievo” e “la relativa continuità dell’ammasso roccioso testimoniata dal recupero pressoché totale dell’acque di perforazione a partire dalla profondità di circa 3 m dal piano di calpestio”. Le opere in progetto non comporteranno scavi né sbancamenti importanti, migliorano nel contempo la funzionalità delle opere presenti, né determineranno una modificazione nell’equilibrio morfologico dell’area trattandosi di materiali essenzialmente litoidi, non comporteranno riduzione apprezzabile della capacità di bacino, né ostacolo incidente sullo scorrimento e/o smaltimento delle acque di precipitazione meteorica. Allo stato attuale, l’area di progetto ubicata in un paesaggio morfologico sub pianeggiante, non è interessata da processi gravitativi, vista la modesta pendenza, e la stessa antropizzazione urbanistica che lo contorna, né da fenomeni di erosione idrica concentrata. Pertanto, i processi morfogenetici attivi si limitano a fenomeni di dilavamento diffuso lungo le strade di lottizzazione ed a localizzata sedimentazione colluviale nelle aree libere. In sintesi: sono qui presenti le tipologie di terreni descritti in relazione geologica e che possono essere raggruppati secondo il seguente criterio geomeccanico:

Terreni del substrato granitoide Paleozoico:

- Litofacies : granodioriti biotitico-anfiboliche, a struttura inequigranulare, duri e compatti, diversamente fratturati

Terreni costituenti le coperture quaternarie:

- Depositi alluvionali: costituiti da materiali clastici, eterometrici, in genere incoerenti;
- Suoli colluviali derivanti dall’alterazione della roccia madre [di modesto spessore e poco profondi].



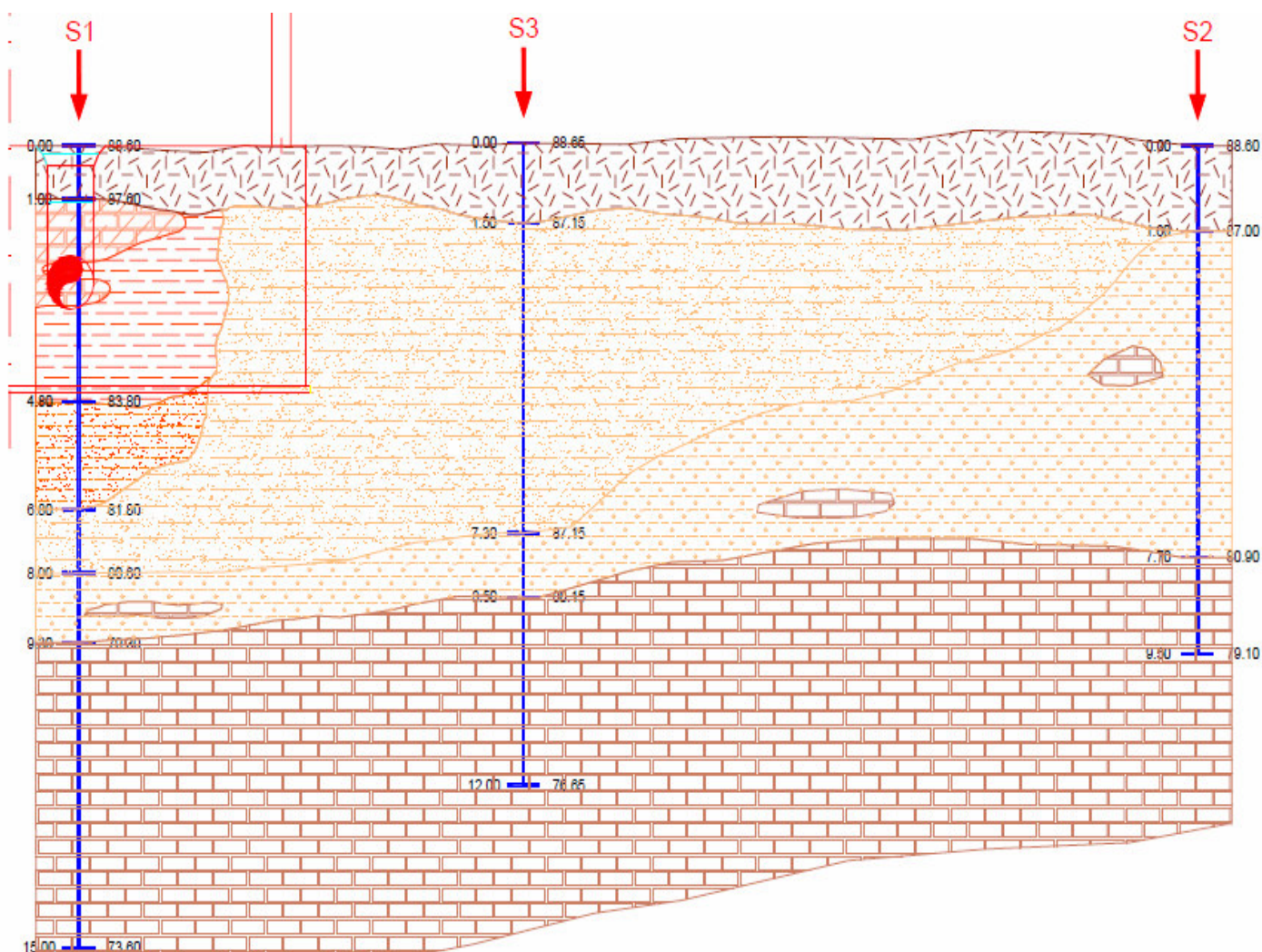
2. CONSIDERAZIONI GEOLOGICO TECNICHE DEL TERRENO

2.1 - Premessa

Sulla scorta delle indagini geognostiche e sismiche svolte a supporto della progettazione definitiva redatta dal Dott. Angelo Vigo nel 2014, per conto dell'EAS, ritenuta dallo scrivente in base alle verifiche più che esaustiva, e per tale ragione se ne prende atto per le considerazioni che seguono, portando ad affermare che l'area sensibile è impostata principalmente su litologie essenzialmente carbonatiche. Superato il suolo o riporto potente meno di un metro, sciolto e rimaneggiato, in tutti i sondaggi compare una spessa coltre di alterazione dei calcari bioclastici ed organogeni.

2.2 - Considerazioni geomeccaniche e litostratigrafiche

Dalle risultanze delle indagini, si rileva che le sezioni stratigrafiche evidenziano, nei primi metri, una notevole variabilità in eteropia dei litotipi.





Superato il suolo o riporto potente meno di un metro, sciolto e rimaneggiato, in tutti i sondaggi è evidente una spessa coltre di alterazione dei calcari bioclastici ed organogeni. Esaminando il sondaggio STr1, si presenta inizialmente come un’alternanza di clasti calcarenitici sani o debolmente alterati, alternati ad alterazioni argilloso-ghiaiose, compatte e consistenti, del colore rossastro tipico della facies residuale dei calcari, nota come “terre rosse”. Tale alternanza si ritrova sino a circa 4,80 metri dal p.c. ed indica un passaggio alla litofacies più massiva e cementata delle calcareniti (calcare organogeno o bioclastico) interessata da fratturazione e/o piccole paleo-cavità (probabilmente franate) generate per dissoluzione in ambienti paleoclimatici assai differenti. Le argille rosse, peraltro ben consolidate e ricche in matrice clastica grossolana, sono un chiaro segnale dell’assenza di fenomeni attivi e descrivono un contesto carsico relitto di scarsa rilevanza. Superati i 5.0 metri si ritrova un’altra facies nei calcari, in particolare delle calcareniti, legata alla completa dissoluzione/argillificazione del cemento carbonatico che dà luogo ad un litotipo residuale friabile, nel quale non è più riconoscibile, se non in rari livelletti, la struttura originaria della roccia madre. Si tratta di intercalazioni di limi sabbiosi, talora argillosi specie nel primo tratto, e sabbie ghiaiose, con abbondanti incrostazioni carbonatiche, talora debolmente coerenti. Il litotipo calcarenitico si può riconoscere a partire dagli 8.0 metri di profondità, inizialmente alterato e parzialmente destrutturato, ma semilapideo, passante dai 9,30 metri sino a fondo foro a calcare bioclastico campionato in carote lapidee, talora debolmente cariate e fratturate, alternate a passaggi calcarenitici più terrigeni e friabili.

Esaminando il sondaggio STr3, realizzato a circa 9,50 metri di distanza dal sondaggio STr1, presenta una stratigrafia correlabile con il precedente, ma con alcune sostanziali differenze nei primi metri: non si registra, infatti, la presenza di livelli lapidei intervallati a terre rosse, ma da 1,50 a 7,30 metri di profondità si ritrova un’unica facies destrutturata e costituita in prevalenza da sabbie più o meno limose, miste ad argilla e a microclasti, fortemente incrostate di carbonato di calcio, talora debolmente cementate, specie in profondità dove comincia a riconoscersi la struttura della roccia. Questo livello si presenta più omogeneo e compatto rispetto alle corrispondenti quote del STr1, al quale può correlarsi agevolmente solo dai 4,80 metri in giù. In profondità, sino a fondo foro si rileva la facies lapidea, inizialmente nei termini più calcarenitici, di colore avana, costituiti da livelletti terrigeni e molto friabili, intervallati da sottili patine argillose grigiastre, passanti dopo qualche decimetro a calcari bioclastici più lapidei e tenaci.

Esaminando il sondaggio STr2 mostra una unica facies di alterazione meno destrutturata e più vicina ai caratteri tessiturali dell’originario calcare bioclastico, sebbene con la parziale dissoluzione del cemento carbonatico in una matrice friabile e pulverulenta, talora prevalente in livelletti limosi, compatti e molto addensati. In nessuno dei tre fori di sondaggio è stata rinvenuta la falda freatica e solo nel sondaggio STr2 alcuni livelli sabbiosi acquiferi hanno evidenziato modeste venute



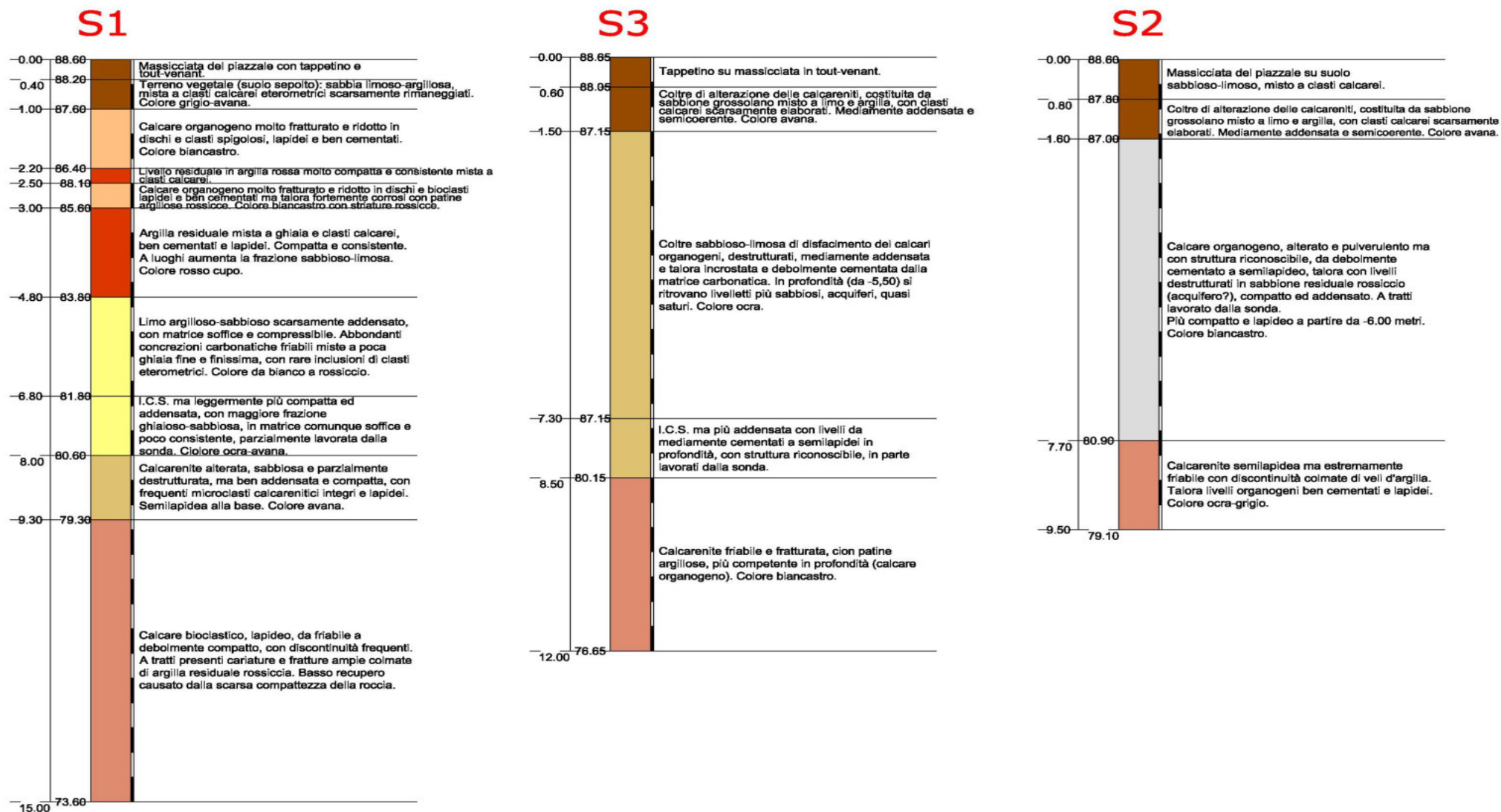
d’acqua, probabilmente derivanti da perdite o infiltrazione superficiale. Negli strati in roccia sono stati rilevati valori di RQD massimi del 55%.

A livello locale, si osserva una sostanziale continuità in profondità, dove prevale la calcarenite, alternata a livelli di calcare organogeno o bioclastico, a partire da profondità comprese tra 7,50 e 9,30 metri. Al di sopra della roccia sana si ritrovano le facies di alterazione, in contatto eteropico, con un grado di destrutturazione crescente dal sondaggio STr2 al sondaggio STr1, nel quale è presente un primo strato costituito da alternanze di roccia intensamente fratturata ma sostanzialmente sana e residui di argille, compatte ed estremamente consistenti. Tale peculiarità identifica, probabilmente, un orizzonte bioclastico superficiale scomposto localmente da discontinuità colmate dal materiale residuale: tale facies si può benissimo ricondurre a fenomeni di carsismo fossile, derivante da una circolazione idrica oramai estinta.



“Ristrutturazione vasca terminale linea Coghinas 1° in località Porto Torres - Ristrutturazione vasca di carico di Casteldoria in agro di S.M. Coghinas - Ristrutturazione vasca terminale linea Coghinas 2° in località Truncu Reale”

Progetto esecutivo





2.3 - Considerazioni geotecniche da prove S.P.T

In riferimento alle prove discontinue, in foro di sondaggio, sono state eseguite prove SPT ed in laboratorio al fine di caratterizzare, sotto il profilo litotecnico, i litotipi sollecitati dalle azioni di progetto.

Di seguito si riporta lo schema a consuntivo delle indagini, comprensivo della conversione del numero di Nspt in N₆₀.

Sondaggio	Litotipo	Profondità (m)	NSPT	N ₆₀
STR1	Limo argilloso	7.0 – 7.45	9	8
STR2	Calcare bioclastico alterato	5.30 – 5.75	rif	rif
STR3	Sabbia limosa in matrice carbonatica	4.0 – 4.45	34	36
STR3	Sabbia limosa in matrice carbonatica - umida	5.0 – 5.45	26	30

I valori di NSPT evidenziano un comportamento nettamente disomogeneo per ogni verticale di sondaggio: ciò ben si accorda con l’assetto litostratigrafico rilevato durante le indagini caratterizzato da ampie variazioni latero-verticali delle principali litofacies alteritiche.

In particolare spicca per il valore particolarmente contenuto rilevato in corrispondenza del sondaggio STR1, che conferma l’impressione di scarso addensamento e bassa resistenza al taglio osservata all’interno dello stesso strato omogeneo che va da 4,80 a circa 8,00 metri di profondità. Il carattere “puntuale” della prova e la presenza di livelli più incrostati in carbonato di calcio e ricchi in frazione sabbiosa, non consentono di generalizzare il risultato all’intero litotipo ma solo al livello indagato.

Le altre prove, al contrario, definiscono litotipi resistenti alla penetrazione e ben addensati nel sondaggio STR3, sino a giungere al rifiuto nel sondaggio STR2, eseguito sulla facies semilapidea.

Sondaggio	Litotipo	Ø deg	Cu Kg/cm ²	Ei (MPa)	Ed (KPa)
STR1	Limo argilloso	-	0.52	20	4950
STR2	Calcare bioclastico alterato	> 40	-	100	-
STR3	Sabbia limosa in matrice carbonatica	32.3	-	36	-
STR3	Sabbia limosa in matrice carbonatica - umida	31.7	-	31	-

2.4 – Stima dei parametri geotecnici caratteristici delle litologie presenti

Nell’ambito dei rilievi di superficie, delle indagini dirette e indirette condotte sul sito di intervento, e delle prove di laboratorio, si è giunti alla definizione dei principali litotipi che caratterizzano l’assetto litostratigrafico. Le indagini hanno consentito di verificare la natura del substrato carbonatico, le condizioni di giacitura, la continuità verticale dell’ammasso roccioso



(grado di fratturazione) e di identificare l'eventuale presenza di vuoti e discontinuità di rilievo, derivanti dall'alterazione per "carsismo" delle litologie carbonatiche.

➤ Suolo e riporto

Massicciata del piazzale (circa 0,45-0,60 metri) sovrapposta al suolo naturale, limoso-sabbioso, a tratti argilloso, con elevata frazione ghiaiosa e frequenti frustoli vegetali. La massicciata presenta caratteri tipici delle ghiaie grossolane, incoerenti e scarsamente addensate, mentre il terreno naturale sottostante presenta un'abbondante frazione fine che lo rende debolmente coerente, ma si presenta comunque scarsamente addensato e mediamente compressibile. Il colore è variabile dal grigio-avana della massicciata al bruno rossiccio del suolo sepolto. Dato lo spessore scarsamente rilevante, è stato considerato come un unico livello incoerente, con i seguenti parametri mutuati da contesti simili:

- $\gamma_{\text{nat}} = 14.72 \text{ kN/m}^3$
- $\phi' = 25^\circ$
- $c' = 0.00 \text{ kPa}$

➤ Litofacies "terre rosse"

Alternanze decimetriche di clasti di calcare organogeno biancastro, compatti e lapidei, e livelli di argilla limosa rubefatta, mediamente consistente e compatta, con frequenti inclusi clacarei: si tratta della tipica facies di alterazione della roccia calcarea fratturata, nella quale i processi di dissoluzione chimica del cemento carbonatico determinano un progressivo disfacimento della roccia, che lascia il posto ad un litotipo residuale terroso, a matrice prevalentemente argillosa, fortemente arricchita in ferro, il quale tende ad ossidarsi dando il caratteristico colore rosso mattone. Il comportamento è prevalentemente coerente, per via della matrice argillosa, che però lega e trattiene solo in parte i frequenti livelli clastici, i quali si presentano invece fortemente attritivi. I parametri sono tratti in parte da letteratura ed in parte da studi dello scrivente su litotipi assimilabili.

- $\gamma_{\text{nat}} = 19.50 \text{ kN/m}^3$
- $\phi' = 20^\circ$
- $c' = 6.25 \text{ kPa}$
- $c_u = 40.00 \text{ kPa}$

➤ Litotipo Tr1

Alterazione della facies del calcare bioclastico, del quale rimane prevalentemente una matrice fine biancastra, argilloso-limosa, pulverulenta e facilmente elasticizzabile anche in presenza di bassi contenuti d'acqua. Si tratta di un litotipo mediamente coerente, talora con locali incrementi dovuti a incrostazioni carbonatiche. La compressibilità è elevata, ma non determinabile mediante prove edometriche a causa della presenza di microclasti e noduli che renderebbero l'esecuzione della prova scarsamente significativa. Colore biancastro grigio. Facilmente scavabile.



- $\gamma_{\text{nat}} = 16.26 \text{ kN/m}^3$
- $\gamma_{\text{sat}} = 17.49 \text{ kN/m}^3$
- $\phi' = 21^\circ$
- $c' = 24.04 \text{ kPa}$
- $c_u = 52.00 \text{ kPa}$

➤ Litotipo Tr2

Facies di alterazione delle calcareniti, sabbioso-limosa, con frequenti microclasti organogeni e incrostazioni carbonatiche. Si tratta di un litotipo semicoerente, a luoghi debolmente cementato dalla matrice carbonatica, che presenta una buona resistenza al taglio sia nel dominio attritivo che in quello coesivo. Da mediamente addensata ad ben addensata, soprattutto in profondità, dove si incontrano anche alcuni livelli acquiferi con deboli venute d'acqua. Colore da ocre ad avana. Scavabilità da buona a discreta.

- $\gamma_{\text{nat}} = 18.00 \text{ kN/m}^3$
- $\gamma_{\text{sat}} = 18.70 \text{ kN/m}^3$
- $\phi' = 31^\circ$
- $c' = 34.41 \text{ kPa}$
- $c_u = 125 \text{ kPa}$
- $E_i = 35 \text{ MPa}$

➤ Litotipo Tr3

Calcare bioclastico e calcareniti parzialmente alterate, ma con struttura ancora riconoscibile, talora semilapidee e compatte, di colore ocre-biancastro. Rappresentano il termine sabbioso-limoso di passaggio alla roccia sana, talora con livelli conservati intatti e lapidei, al limite friabili. Si caratterizza per un'elevata resistenza al taglio ed un buon addensamento che la rende scarsamente compressibile. Scavabile con difficoltà e solo con macchine di elevate prestazioni..

- $\gamma_{\text{nat}} = 20.21 \text{ kN/m}^3$
- $\gamma_{\text{sat}} = 20.25 \text{ kN/m}^3$
- $\phi' = 34.6^\circ$
- $c' = 31.77 \text{ kPa}$
- $E_i = 31.0 \text{ MPa}$

➤ Litotipo Tr4

Calcareniti ad elevata componente terrigena, talora in sottili lamine limoso-argillose. Lapidate, ma spesso estremamente friabili, passano con frequenza a livelli bioclastici più massivi e compatti, talora debolmente cariati con tracce di argille residuali rubefatte. Sotto il profilo geomeccanico sono da considerarsi una roccia scadente, poco coerente e scarsamente resistente al taglio, come dimostrano i parametri ottenuti con la teoria di Hoek e Brown. Questi ultimi, in senso assoluto, equivalgono comunque ad una terra di buona qualità. Scarsamente compressibile con buona



permeabilità per porosità primaria. La scavabilità è modesta e potrebbe richiedere, al limite, l'utilizzo del martello demolitore.

- $\gamma_{\text{nat}} = 20.13 \text{ kN/m}^3$
- $\gamma_{\text{sat}} = 21.52 \text{ kN/m}^3$
- $\phi' = 16^\circ$
- $c' = 79.00 \text{ kPa}$
- $E_i = 100 \text{ MPa}$

2.5 – Verifica sismica a rifrazione

La verifica si è esplicata mediante profili sismici al fine di fornire un quadro conoscitivo sismo-stratigrafico propedeutico alla corretta ubicazione e profondità delle verticali di sondaggio. *La scelta (preso atto delle verifiche 2014 Dott. A. Vigo) di tale tipologia di indagine è scaturita da un incontro tra Stazione Appaltante ed Agenzia del Distretto Idrografico, ritenendo più opportuno procedere all'utilizzo di metodi indiretti, in deroga a quanto previsto dal citato art.31, c.8 delle N.A. e al Protocollo tecnico "tipo" dedicato alle aree a Sink-Hole, valido per le aree in classe di pericolosità molto elevata (Hg4). Tale scelta, pienamente condivisa da tutti i soggetti coinvolti, trova spiegazione nella prossimità del sedime ad aree con fenomeni carsici accertati, i quali, tipicamente, sarebbero potuti risultare di difficile perimetrazione con approcci più convenzionali.*

Gli stendimenti (vedi relazione da progetto definitivo) sono stati ubicati secondo due direttrici che si intersecano approssimativamente in corrispondenza dell'area di futura ubicazione della vasca e delle relative camere di manovra. Come descritto nel Rapporto di Indagine redatto dal Dott.



Stendimento sismico

Geol. Alessandro Melis, gli stendimenti sono stati realizzati utilizzando 24 geofoni disposti con passo di campionamento (distanza intergeofonica) molto breve, pari a 3,0 metri per il profilo S1 e 2,5 metri per il profilo S2.

In entrambi i profili, il Dott. Angelo Vigo, evidenzia che si possono osservare diversi sismostrati, con un andamento della velocità delle onde P che mostra un

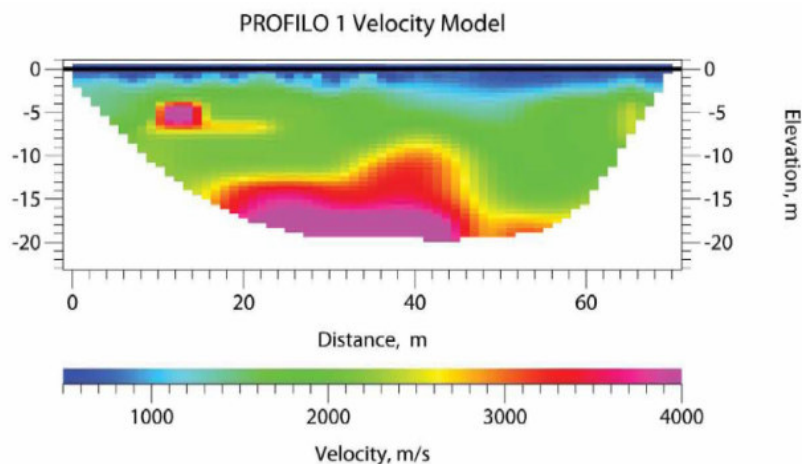
netto incremento all'aumentare della profondità, mentre sono meno pronunciate le variazioni laterali, le quali sono comunque sempre presenti, in particolare nel Profilo 1. Detti sismostrati, come è noto, non sono direttamente correlabili al substrato in termini litologici, se non a valle di indagini dirette che ne "tarino" la risposta sismica, ma dipendono unicamente dall'elasticità e dalla

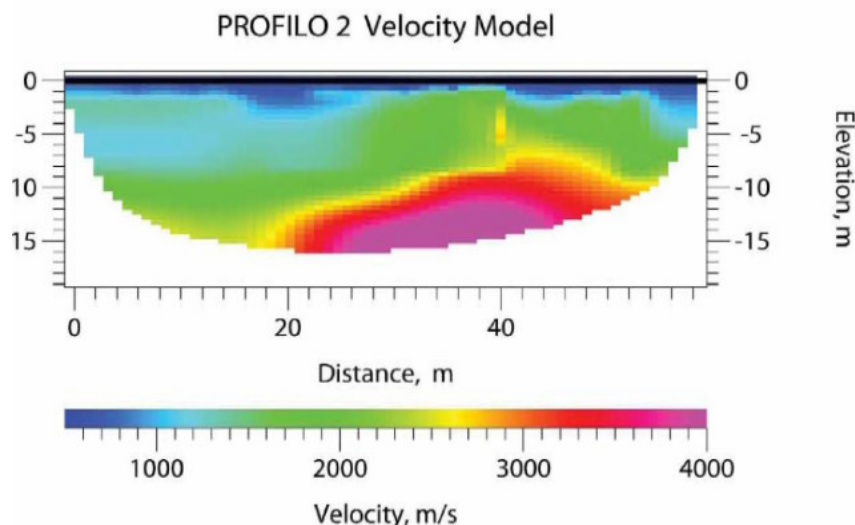


densità del mezzo attraversato dalle onde elastiche. I campi di velocità più elevate corrispondono generalmente a substrati lapidei, compatti, poco fratturati e insaturi, mentre le velocità più contenute si registrano in litotipi lapidei assai fratturati e in terreni sedimentari sciolti e ricchi di matrice organica.

In entrambi i profili, si possono distinguere quattro campi di velocità prevalenti, crescenti con la profondità. Le più contenute si registrano nei terreni superficiali, accreditati di velocità inferiori a 800m/s sino a profondità massime di circa 2-3 metri e giacitura pressoché orizzontale. Oltre tale profondità le tomografie dei due profili differiscono in maniera abbastanza netta. Nel Profilo 1, fatta eccezione per una piccola anomalia di cui si riferirà in seguito, si registra il passaggio netto a campi di velocità con medie di 2000 m/s (in verde), che si mantengono costanti sino al successivo sismostrato (giallo-rosso), con velocità comprese tra 2800 e 3500 m/s, rilevate a profondità di 7 metri al centro del profilo e oltre 16 all'estremità finale. L'ultimo sismostrato (viola) presenta velocità prossime ai 4000 m/s, e chiude la tomografia a 20 metri di profondità. Al di sotto del primo orizzonte, il Profilo 2 presenta un andamento latero-verticale assai più frastagliato, con un ampio sismostrato a bassa velocità (<1500 m/s) che interessa tutto il tratto iniziale sino a circa 7-8 metri di profondità, mentre nel tratto finale il contatto è netto e a profondità non superiori a 3 metri. Anche l'orizzonte sottostante, di conseguenza, presenta un andamento irregolare con una prominenza più superficiale sul settore centrale e finale del profilo ed un andamento assai più depresso nel tratto iniziale.

Nelle due tomografie sismiche non sono state registrate anomalie di rilievo legate alla presenza di vuoti carsici, che sarebbero chiaramente emersi come aree di bassa velocità ben delimitate, mentre è emersa una modesta anomalia di velocità in corrispondenza del tratto iniziale del Profilo 1, ad una profondità di circa 5-7 metri, dalla progressiva 9 alla 15, caratterizzata da velocità nettamente superiori (>3500 m/s) a quelle del contesto circostante sismostratigrafico limitrofo, probabilmente determinata da vecchie strutture interrate ed attualmente inutilizzate.

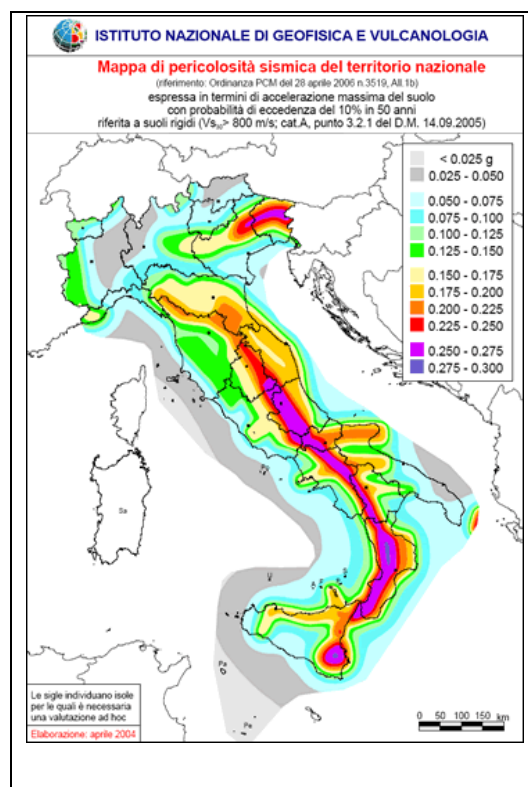




2.5.1 – Classificazione sismica del sito e categoria di sottosuolo

Secondo l’OPCM n. 3274/03 recante “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”, la classificazione sismica del territorio nazionale è articolata in 4 zone a diverso grado di sismicità (calcolato in base alla Peak Ground Acceleration, cioè il picco di accelerazione al suolo) espresso dal parametro a_g = accelerazione orizzontale massima convenzionale su suolo di categoria A. I valori convenzionali di a_g , espressi come frazione dell’accelerazione di gravità g , da adottare in ciascuna delle zone sismiche del territorio nazionale sono riferiti a probabilità di superamento del 10% in 50 anni ed assumono i valori riportati nella tabella sottostante:

- Zona 1: È la zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti. Comprende 708 Comuni o porzioni di essi per i quali $[a_g/g] \geq 0,25g$.
- Zona 2: Nei 2.345 Comuni o porzioni di essi per i quali $0,25g > [a_g/g] \geq 0,15g$ possono verificarsi terremoti abbastanza forti.
- Zona 3: Nei 1.560 Comuni o porzioni di essi per i quali $0,15g > [a_g/g] \geq 0,05g$ possono essere soggetti a scuotimenti modesti.
- **Zona 4: È la meno pericolosa. Nei 3.488 Comuni o porzioni di essi per i quali $[a_g/g] < 0,05g$ le possibilità di danni sismici sono basse.**





Zona	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10 % in 50 anni	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche)
	$[a_g/g]$	$[a_g/g]$
1	$> 0,25$	0,35
2	0,15-0,25	0,25
3	0,05-0,15	0,15
4	$<0,05$	0,05

L'area in esame è classificata come zona sismica 4, in riferimento al D.M. 14/01/2008:

L'Appendice A delle NTC 08 e le nuove NTC 2018 (al cap. 3.2. “Azione Sismica”) stabiliscono che le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla “*pericolosità sismica di base*” del sito di costruzione e sono funzione delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche che determinano la risposta sismica locale.

La “*pericolosità sismica*” in un generico sito è descritta sia in termini geografici sia in termini temporali ed i risultati dello studio di pericolosità sono forniti:

- In termini di valori di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A come definita al § 3.2.2), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR come definite nel § 3.2.1, nel periodo di riferimento VR, come definito nel § 2.4. Ai fini della presente normativa le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento PVR nel periodo di riferimento VR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:
 - a_g accelerazione orizzontale massima al sito;
 - F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
 - TC valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Nei confronti delle azioni sismiche, sia gli Stati limite di esercizio (SLE) che gli Stati limite ultimi (SLU) sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli Stati limite di esercizio (SLE) comprendono:

- Stato Limite di Operatività (SLO): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e le apparecchiature rilevanti in relazione alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;



- Stato Limite di Danno (SLD): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli Stati limite ultimi (SLU) comprendono:

- Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV): a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC): a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali. Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella Tab. 3.2.I.

Per valutare l'effetto della risposta sismica locale, vedi cap. 3.2.2 **“categorie di sottosuolo e condizioni topografiche”** delle NTC08 aggiornate nelle NTC 2018, **si può fare riferimento a un approccio semplificato**, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo e categorie topografiche di riferimento (Tab. 3.2.II e 3.2.III), attraverso la misura delle Vs30 o di altri parametri geotecnici. I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità VS per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2.

I valori di VS sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche. La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, VS,eq (in m/s), definita dall'espressione:



$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

con:

- h_i spessore dell’i-esimo strato;
- $V_{S,i}$ velocità delle onde di taglio nell’i-esimo strato;
- N numero di strati;
- H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da VS non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse.

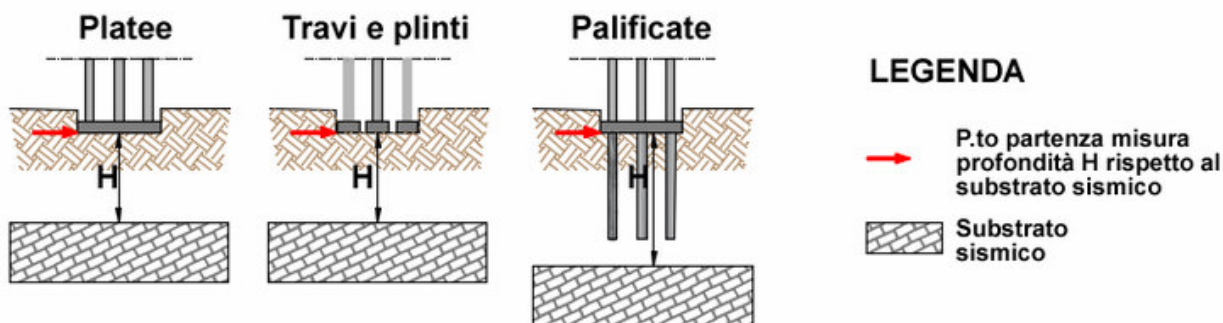
Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,eq}$ è definita dal parametro $V_{S,30}$, ottenuto ponendo $H = 30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità. Le categorie di sottosuolo che permettono l’utilizzo dell’approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II.

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</i> 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.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , 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.
C	<i>Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> 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.
D	<i>Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , 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.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Per la definizione della categoria sismica di sottosuolo si è ritenuto opportuno realizzare, sui siti di progetto (Truncu Reale - Porto Torres e Casteldoria) delle prove sismiche tipo MASW, da cui si è definita la seguente categoria di sottosuolo di riferimento (**Tab. 3.2.II - NTC 2018**).

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l’utilizzo dell’approccio semplificato.	
Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , 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



Substrato di appoggio delle fondazioni (sondaggi stratigrafici) litoide diversamente alterato.

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (Tab. 3.2.III):

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 $i > 30^\circ$

Si ricorda, che quando si calcolano i dati sismici locali è fondamentale considerare la Vita nominale V_N di un'opera, convenzionalmente definita come il numero di anni nel quale è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali.

Nelle NTC 2018 i valori minimi di V_N da adottare per i diversi tipi di costruzione sono riportati nella Tab. 2.4.I.

	TIPI DI COSTRUZIONE	Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinarie	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevate	100

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 $C_U \rightarrow V_R = V_N * C_U$.

Nelle NTC 2018 scompare la limitazione di 35 anni come periodo minimo di riferimento per la valutazione dell'azione sismica. Questo comporta valutazioni differenti del periodo di ritorno T_R per le Costruzioni temporanee e provvisorie. Rimangono inalterati i valori del coefficiente d'uso C_U , definito al variare della classe d'uso, come mostrato in Tab. 2.4.II.



“Ristrutturazione vasca terminale linea Coghinas 1° in località Porto Torres - Ristrutturazione vasca di carico di Casteldoria in agro di S.M. Coghinas - Ristrutturazione vasca terminale linea Coghinas 2° in località Truncu Reale”

Progetto esecutivo

Classe d'uso	I	II	III	IV
Coefficiente C_u	0,7	1,0	1,5	2,0

Classe I	Presenza occasionale di persone, edifici agricoli
Classe II	Normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziale. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente [...]
Classe III	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 con attività particolarmente pericolose per l'ambiente
Classe IV	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 [...]

2.5.2 - Dati sismici sul sito (spettri di risposta)

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna probabilità di superamento PVR nel periodo di riferimento, a partire dai tre parametri validi:

- a_g = accelerazione massima del terreno [$g/10$];
- F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_C^* = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale

I dati sismici dell'area sensibile, con Coordinate Km Gauss-Boaga area vasta (Fuso 32) X = 1456006.1003 E - Y = 4512708.1711 N hanno fornito i seguenti valori per un'accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (NTC 2018):

- Dati sulla costruzione (spettri di risposta):
 - Classe d'uso: 2 (normali affollamenti)
 - Vita Nominale: 50 anni
 - Coefficiente d'uso: 1.000000
 - Vita di riferimento: 50.000000 anni

⇒ **SLE** (N.T.C 2018)

- Dati sulla costruzione (**SLO**) Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.810000 (**SLO**) Periodo di ritorno: 30.11 (anni): Valori finali calcolati: $a_g = 0.0127 g \rightarrow F_0 = 2.5776 \rightarrow T_C^* = 0.1400 \text{ sec}$
- Dati sulla costruzione (**SLD**) Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.630000 (**SLD**) Periodo di ritorno: 50.29 (anni): Valori finali calcolati: $a_g = 0.0171 g \rightarrow F_0 = 2.5500 \rightarrow T_C^* = 0.1500 \text{ sec}$

⇒ **SLU** (N.T.C 2018)

- Dati sulla costruzione (**SLV**) Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.100000 (**SLV**) Periodo di ritorno: 474.56 (anni): Valori finali calcolati: $a_g = 0.0439 g \rightarrow F_0 = 2.5026 \rightarrow T_C^* = 0.3100 \text{ sec}$



“Ristrutturazione vasca terminale linea Coghinas 1° in località Porto Torres - Ristrutturazione vasca di carico di Casteldoria in agro di S.M. Coghinas - Ristrutturazione vasca terminale linea Coghinas 2° in località Truncu Reale”

Progetto esecutivo

-
- Dati sulla costruzione (**SLC**) Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.050000 (**SLC**) Periodo di ritorno: 974.79 (anni): Valori finali calcolati: $a_g = 0.0555 \text{ g} \rightarrow F_o = 2.5550 \rightarrow T_{c^*} = 0.3400 \text{ sec}$

Valori di riferimento NDSHA Neo Deterministic Seismic Hazard Assessment, Substrato roccioso DGA = 0.040-0.080 g



3. CONCLUSIONI

In conformità a quanto fin qui esposto si possono trarre le seguenti conclusioni, sulla scorta della relazione geologica redatta dal Dott. Angelo Vigo in fase di progettazione definitiva nel 2014:

- **Stato di fatto:** lo studio del 2014 (redatto dal Dott. Angelo Vigo) ha evidenziato che una porzione del territorio circostante l’impianto di sollevamento ENAS, è classificata a pericolosità Hg2 nell’ambito del PAI, a causa della presenza di cavità carsiche, accertata durante la fase di realizzazione ed ampliamento del vicino potabilizzatore gestito da Abbanoa S.p.A. Sulla base di detto studio geologico e geotecnica redatto dal Dott. Geol. Angelo Vigo per verificare l’esposizione del sedime a fenomeni di sink-hole in senso lato, riporta che essa è stata indagata mediante metodi diretti ed indiretti volti essenzialmente a ricercare la presenza di cavità carsiche che potessero dar luogo a sprofondamenti per crollo di volte calcaree, in particolare per effetto delle sollecitazioni indotte dalle opere in progetto. Le indagini sismiche hanno rivelato un contesto privo di anomalie di velocità riconducibili a carsismo attivo profondo e confermano, in generale, la stasi di importanti fenomeni di dissoluzione chimica. Quest’ultima si limita agli orizzonti superficiali, più esposti all’azione delle acque meteoriche che producono un diffuso disfacimento della roccia, regressivo con la profondità. Esso è evidente nel confronto tra le stratigrafie ed i profili sismici, in particolare tra i log dei sondaggi STR1 e STR3 e il Profilo 2, che intersecano il centro della vasca del By-Pass, dove si possono rilevare litotipi alterati, da limo-argillosi a limo-sabbiosi, dei calcari bioclastici sino a profondità comprese tra 7,70 e 9,30 metri di profondità, inoltre le profondità indagate non evidenziano vuoti carsici ma solo un evidente aumento progresso delle VP riconducibile alla maggiore compattezza ed elasticità della roccia. I litotipi presentano caratteristiche variabili da scadenti a buone, con un rapido incremento al progredire della profondità, cui corrisponde un’altrettanto rapida riduzione del grado di alterazione. La roccia lapidea si presenta come un’alternanza di livelli calcarenitici poco cementati e friabili e livelli di calcare organogeno più compatti e tenaci, localmente in eteropia di facies.

- **Stato di progetto esecutivo**

La presente relazione geologica (2019) ha verificato la compatibilità dei nuovi manufatti da realizzarsi. Le verifiche di sicurezza condotte agli stati limite sulle fondazioni delle strutture di nuova realizzazione hanno avuto esito positivo e i cedimenti, stimati in campo elastico, sono congruenti con il contesto rilevato.

- Nell’area d’interesse non sono stati rilevati fenomeni franosi in atto né segni che ne lascino presagire l’occorrenza; non è stata riscontrata la presenza d’alcun elemento tettonico attivo, quali faglie o dislocazioni in genere, che possano favorire l’innescarsi di dissesti di qualsiasi natura e provocare ripercussioni sulla stabilità delle opere in progetto. I possibili fenomeni



morfogenetici attivi, rappresentati dai processi di dilavamento diffuso, sono mitigati dalla presenza di coltre detritica superficiale stabilizzata da copertura vegetale, quindi non incidono in maniera rilevante (marginale) sulla stabilità dell'area di progetto. Le caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione analizzati in situ, unitamente ai valori di pendenza su cui giacciono le litologie, evidenziano la compatibilità degli stessi in funzione delle opere da realizzarsi.

▪ Geologicamente nell'area sensibile affiorano rocce della serie marina miocenica rappresentati dalla litofacies nella Formazione di Mores, sovrastanti livelli di marne, marne argillose e marne calcaree (“Marne di Borutta”), che talvolta s'intercalano agli stessi calcari organogeni. I terreni rilevati, in base alle caratteristiche geolitologiche, con particolare riferimento alla capacità d'assorbimento (tab. 1) possono essere suddivisi in 2 classi di permeabilità:

Grado di permeabilità	Valore di k (m/s)
alto	superiore a 10^{-3}
medio	$10^{-3} - 10^{-5}$
basso	$10^{-5} - 10^{-7}$
molto basso	$10^{-7} - 10^{-9}$
impermeabile	minore di 10^{-9}

- ✓ Classe 1- Permeabilità medio-alta per fessurazione: comprende la Litofacies di Mores caratterizzati da calcari bioclastici, calcari arenacei e calcareniti con permeabilità medio-alta per fessurazione e carsismo, localmente medio-bassa [$10^{-2} > K > 10^{-5}$];
- ✓ Classe 2- Permeabilità da bassa a impermeabile: comprende le marne, marne argillose, marne arenacee della “Formazione di Borutta” (Langhiano). Questi sedimenti presentano scarsa permeabilità per porosità e per fessurazione e, spesso costituiscono il letto su cui si accumulano le acque che s'infiltrano nelle bancate calcaree sovrastanti dando così origine a falde sotterranee medio-profonde, [$10^{-9} \geq K$].

In sintesi, non esistono condizioni attuali in cui l'attività in oggetto possa interferire con la geologia e l'idrologia del settore. Da quanto su esposto si evince che la struttura in progetto non aumenta il livello di rischio idraulico poiché non comporta ostacolo al naturale deflusso delle acque superficiali e sotterranee nell'area.

- La falda freatica superficiale non è rilevabile nell'area d'indagine, entro i primi metri di profondità. La presenza della falda idrica più profonda è legata al grado di fessurazione del substrato carbonatico in posto.



- I dati sismici dell'area sensibile, con Coordinate Km Gauss-Boaga area vasta (Fuso 32) **X** = 1456006.1003 **E** - **Y** = 4512708.1711 **N** hanno fornito i seguenti valori per un'accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (NTC 2018) definite, per ciascuna probabilità di superamento P_{VR} nel periodo di riferimento, a partire dai tre parametri validi:
 - a_g = accelerazione massima del terreno [$g/10$];
 - F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
 - T_C^* = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale.
- Dati sulla costruzione (spettri di risposta):
 - Classe d'uso: 2 (normali affollamenti)
 - Vita Nominale: 50 anni
 - Coefficiente d'uso: 1.000000
 - Vita di riferimento: 50.000000 anni
- **SLE** (N.T.C 2018)
 - Dati sulla costruzione (**SLO**) Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.810000 (**SLO**) Periodo di ritorno: 30.11 (anni): Valori finali calcolati: $a_g = 0.0127 g \rightarrow F_0 = 2.5776 \rightarrow T_C^* = 0.1400 \text{ sec}$
 - Dati sulla costruzione (**SLD**) Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.630000 (**SLD**) Periodo di ritorno: 50.29 (anni): Valori finali calcolati: $a_g = 0.0171 g \rightarrow F_0 = 2.5500 \rightarrow T_C^* = 0.1500 \text{ sec}$
- **SLU** (N.T.C 2018)
 - Dati sulla costruzione (**SLV**) Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.100000 (**SLV**) Periodo di ritorno: 474.56 (anni): Valori finali calcolati: $a_g = 0.0439 g \rightarrow F_0 = 2.5026 \rightarrow T_C^* = 0.3100 \text{ sec}$
 - Dati sulla costruzione (**SLC**) Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.050000 (**SLC**) Periodo di ritorno: 974.79 (anni): Valori finali calcolati: $a_g = 0.0555 g \rightarrow F_0 = 2.5550 \rightarrow T_C^* = 0.3400 \text{ sec}$

Per valutare l'effetto della risposta sismica locale, vedi cap. 3.2.2 “**categorie di sottosuolo e condizioni topografiche**” delle NTC08 aggiornate nelle NTC 2018, **si è fatto riferimento a un approccio semplificato**, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo e categorie topografiche di riferimento (Tab. 3.2.II e 3.2.III), attraverso la misura delle Vs30 o di altri parametri geotecnici. I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità VS per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2.



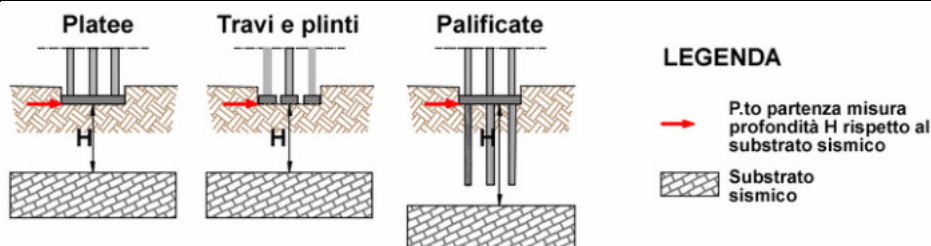
I valori di VS sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all’approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche. La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, VS_{eq} (in m/s), per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse. Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio VS_{eq} è definita dal parametro VS_{30} , ottenuto ponendo $H = 30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità. Le categorie di sottosuolo che permettono l’utilizzo dell’approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II.

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

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	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.
B	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.
C	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.
D	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.
E	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.

La definizione della categoria sismica di sottosuolo (risultati delle prove sismiche tipo MASW) sui siti di progetto (Truncu Reale - Porto Torres e Casteldoria), hanno assegnato un sottosuolo tipo B per tutte le aree di progetto oggetto di intervento. (**Tab. 3.2.II - NTC 2018**).

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l’utilizzo dell’approccio semplificato.	
Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
B	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



Substrato di appoggio delle fondazioni (sondaggi) litoide diversamente alterato.



“Ristrutturazione vasca terminale linea Coghinas 1° in località Porto Torres - Ristrutturazione vasca di carico di Casteldoria in agro di S.M. Coghinas - Ristrutturazione vasca terminale linea Coghinas 2° in località Truncu Reale”

Progetto esecutivo

Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (Tab. 3.2.III):

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 $i > 30^\circ$

Nelle NTC 2018 i valori minimi di V_N da adottare per i diversi tipi di costruzione sono riportati nella Tab. 2.4.I.

	TIPI DI COSTRUZIONE	Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinarie	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevate	100

Le azioni sismiche sulle costruzioni vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento **VR** che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale di progetto **VN** per il coefficiente d'uso **CU** → $VR = VN \cdot CU$.

Nelle NTC 2018 scompare la limitazione di 35 anni come periodo minimo di riferimento per la valutazione dell'azione sismica. Questo comporta valutazioni differenti del periodo di ritorno TR per le Costruzioni temporanee e provvisorie. Rimangono inalterati i valori del coefficiente d'uso CU, definito al variare della classe d'uso, come mostrato in Tab. 2.4.II.

Classe d'uso	I	II	III	IV
Coefficiente C_u	0,7	1,0	1,5	2,0

Classe I	Presenza occasionale di persone, edifici agricoli
Classe II	Normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziale. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente [...]
Classe III	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 con attività particolarmente pericolose per l'ambiente
Classe IV	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 [...]

▪ La localizzazione geologica e geomorfologica degli interventi in progetto presenta una condizione litologica e geostrutturale piuttosto definita, con buona caratterizzazione meccanica dei litoidi di base, in associazione alla presenza di materiale detritico eluvio-colluviale di modesto spessore stabilizzato da copertura vegetale, soprastante lo stesso substrato:

- Dall'analisi dell'area, che degrada moderatamente da SE verso NNW, non si evidenzia la presenza di accumuli detritici instabili, né tanto meno di massi ciclopici in condizioni di



equilibrio precario, trattandosi di una superficie sub pianeggiante, di natura rocciosa, modificata antropicamente dalle opere di urbanizzazione. Non sono state rilevate inoltre discontinuità tettoniche, responsabili della formazione d'incisioni profonde, di scarpate verticali o di repentine rotture di pendio. La mancanza di processi erosivi riconducibili al ruscellamento concentrato, di affioramenti rocciosi caratterizzati da scarpate o cornici verticali importanti e la presenza, anche se discontinua di una coltre superficiale stabilizzata da copertura vegetale, esclude e garantisce il manifestarsi di tale fenomeno erosivo;

- La stratigrafia dei terreni di fondazione analizzati in situ evidenzia la compatibilità degli stessi in funzione delle opere da realizzare. Trattasi, infatti, di terreni sufficientemente idonei dal punto di vista geomeccanico, trattandosi di litologie coerenti dure e compatte (Formazione di Mores), talora sottostanti un debole spessore di materiale detritico incoerente diversamente addensato (alterazione);
 - Nell'ambito degli interventi in progetto, appare oggettivamente verificata la stabilità della capacità portante dell'insieme terreno-fondazione, per l'incremento di tensione verticale indotta dalle nuove opere, secondo le modalità tecniche previste dal D.M. 11.03.1988 e succ. modificazioni, nonché NTC 2018.
- L'area di sedime, che ospiterà le opere in progetto, si presenta idonea all'intervento previsto in quanto, non evidenzia ostacoli di:
 - Natura geologica, idrogeologica o morfologica che impediscano l'utilizzazione prevista nel presente studio;
 - La stratigrafia, tipica dei terreni locali analizzati in situ, evidenzia la compatibilità degli stessi in funzione dell'opera da realizzarsi;
 - Natura geotecnica che impedisca l'utilizzazione prevista dal progetto a meno delle normali prescrizioni ingegneristiche.

Cagliari 13/09/2019 agg. Gennaio 2020

GEOLOGO [SEZ. A]

Dott. Mario STRINNA





“Ristrutturazione vasca terminale linea Coghinas 1° in località Porto Torres - Ristrutturazione vasca di carico di Casteldoria in agro di S.M. Coghinas - Ristrutturazione vasca terminale linea Coghinas 2° in località Truncu Reale”

Progetto esecutivo

PROVA SISMICA CON TECNICA MASW VS30 REALIZZATE SULLE TRE AREE DI PROGETTO



1. PARAMETRIZZAZIONE GEOFISICA CON TECNICA MASW

1.1 - Premessa

Il presente capitolo è relativo alla descrizione dei risultati di tre prospezioni geofisiche di tipo sismico con tecnica MASW Vs30 relativamente al progetto di “ristrutturazione vasca terminale linea Coghinas 2° in località Truncu Reale, Porto Torres e Casteldoria S.M. Coghinas”. L’indagine geofisica eseguita (Geotest srl Dott. Mario Strinna socio Direttore Tecnico) costituisce parte integrante legata alla caratterizzazione dei terreni di sedime del contesto “sensibile”.

1.2 - TECNICA MASW

Scopo dell’indagine è quello di ricostruire, per l’area in oggetto, l’andamento della velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità (V_s -z). Il modello sismico monodimensionale costituisce infatti l’aspetto principale sia nella stima degli effetti sismici di sito che nella definizione dell’azione sismica di progetto, in quanto consente di conoscere l’incidenza delle locali condizioni stratigrafiche nella modifica della pericolosità sismica di base (amplificazioni di natura litologica). Ciò permette una corretta progettazione strutturale in relazione alle condizioni sito specifiche, garantendo un adeguato livello di protezione antisismica delle costruzioni (O.P.C.M. 3274 e s.m.i; D.M. 14.09.2005; D.M. 14.01.2008 e succ. modificazioni NTC 2018).

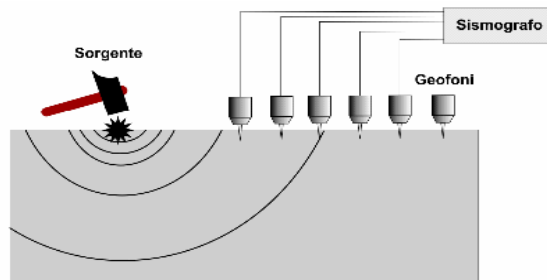
Nei capitoli successivi verranno descritte le modalità d’esecuzione delle misure sperimentali e l’interpretazione geofisica delle stesse.

1.3 - Descrizione del metodo MASW Multichannel Analysis of Surface Waves

Il metodo MASW consiste in tre fasi (V. Roma, 2002): (1) la prima fase prevede il calcolo della velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale; (2) la seconda fase consiste nel calcolare la velocità di fase apparente numerica; (3) la terza ed ultima fase consiste nell’individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , modificando opportunamente lo spessore h , le velocità delle onde di taglio V_s e di compressione V_p (in maniera alternativa alle velocità V_p è possibile assegnare il coefficiente di Poisson ν), la densità di massa ρ degli strati che costituiscono il modello del suolo, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (curva di dispersione) sperimentale e la velocità di fase (curva di dispersione) numerica corrispondente al modello di suolo omogeneo. L’analisi delle onde superficiali è stata eseguita utilizzando la strumentazione classica per la prospezione sismica a rifrazione disposta sul terreno secondo un array lineare da 24 geofoni con spaziatura pari a 1.5 m. Per ottenere una buona risoluzione in termini di frequenza, oltre ad utilizzare geofoni da 4.5 Hz, è stato utilizzato un sismografo a 24 bit.



Nell'esecuzione della prova MASW attiva è stato utilizzato come sistema di energizzazione una mazza di 10 Kg battente su piattello metallico. La sorgente è stata posta ad una distanza di 6 m dal primo geofono (Optimum Field Parameters of an MASW Survey", Park et al., 2005; Dal Moro, 2008).



Schema Tipo

Per eseguire le prove MASW è stata utilizzata la seguente strumentazione:

- Sismografo a 24 canali (mod. Jea 24), 24 bit
- 12 geofoni a frequenza propria di 4.5Hz;
- Spaziatura tra geofoni 1.5m;
- Tempo di acquisizione 2 s;
- Offset di 6m;
- Sorgente impulsiva: mazza battente da 10 kg.



Strumentazione JEA 247 ESAC

1.4 - Elaborazione dati

I dati sperimentali, acquisiti in formato SEG-2, sono stati trasferiti su PC e interpretati attraverso l'utilizzo di uno specifico programma di elaborazione (MASW della GEOSTRU).

Tale programma permette di elaborare i dati acquisiti con il metodo attivo. L'analisi consiste nella trasformazione dei segnali registrati in uno spettro bidimensionale "phase velocity-frequency (c-f)" che analizza l'energia di propagazione delle onde superficiali lungo la linea sismica. In questo grafico è possibile distinguere il "modo fondamentale" delle onde di superficie, in quanto le onde di Rayleigh presentano un carattere marcatamente dispersivo che le differenzia da altri tipi di onde



(onde riflesse, onde rifratte, onde multiple). Sullo spettro di frequenza viene eseguito un “picking” attribuendo ad un certo numero di punti una o più velocità di fase per un determinato numero di frequenze (vedi la curva di dispersione combinata presentata in allegato). Tali valori vengono successivamente riportati su un diagramma periodo-velocità di fase per l’analisi della curva di dispersione e l’ottimizzazione di un modello interpretativo. Variando la geometria del modello di partenza ed i valori di velocità delle onde S si modifica automaticamente la curva calcolata di dispersione fino a conseguire un buon “fitting” con i valori sperimentali.

1.5 - Impianto Truncu Reale

Nel mese di Gennaio 2020 è stata condotta una campagna di indagine geofisica nel corso della quale è stata eseguita una prospezione sismica utilizzando la tecnica MASW Vs30.

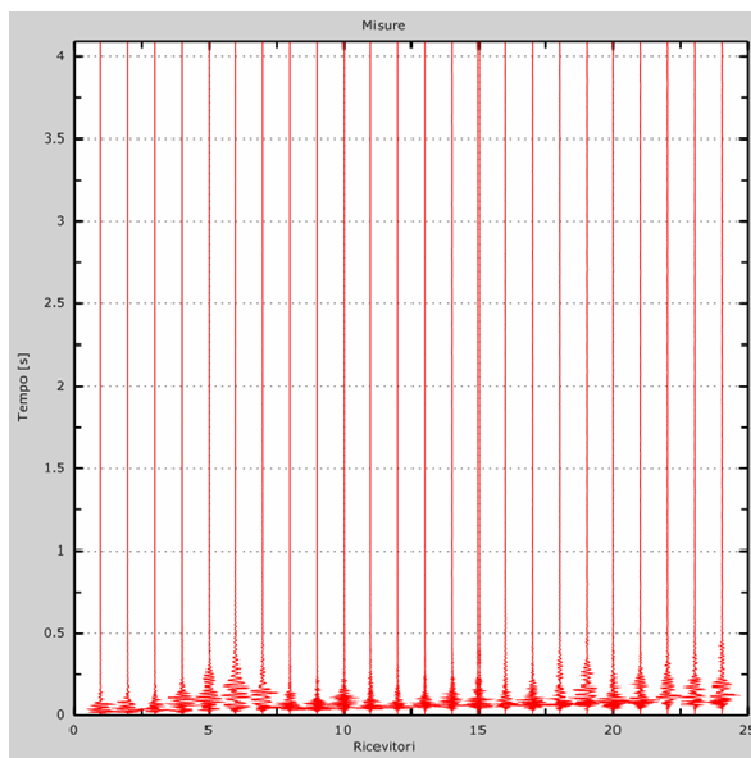


Ubicazione prospezione geofisica con tecnica MASW



Dati sperimentali

Nome delle tracce	masw\Truncu Reale
Numero di ricevitori	24
Distanza tra i sensori:	1,5m
Numero di campioni temporali	4096
Passo temporale di acquisizione	2 ms
Numero di ricevitori usati per l'analisi	24
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a	0 ms
L'intervallo considerato per l'analisi termina a	8190 ms
I ricevitori sono invertiti (l'ultimo ricevitore nel file è il primo per l'analisi)	



Tracce sperimentali

Profilo in sito

Numero di strati (escluso semispazio)	5
Spaziatura ricevitori [m]	1,5m
Numero ricevitori	24
Numero nodi	2



Strato 1

h [m]	2
z [m]	-2
Densità [kg/m ³]	1800
Poisson	0.2
Vs [m/s]	377.38
Vp [m/s]	616.26
Vs min [m/s]	188.69
Vs max [m/s]	754.75
Vs fin.[m/s]	377.380

Strato 2

h [m]	3
z [m]	-5
Densità [kg/m ³]	1800
Poisson	0.2
Vs [m/s]	596.79
Vp [m/s]	974.55
Vs min [m/s]	298.39
Vs max [m/s]	1193.58
Vs fin.[m/s]	596.790

Strato 3

h [m]	3
z [m]	-8
Densità [kg/m ³]	1800
Poisson	0.2
Vs [m/s]	628.13
Vp [m/s]	1025.73
Vs min [m/s]	314.07
Vs max [m/s]	1256.26
Vs fin.[m/s]	628.130

Strato 4

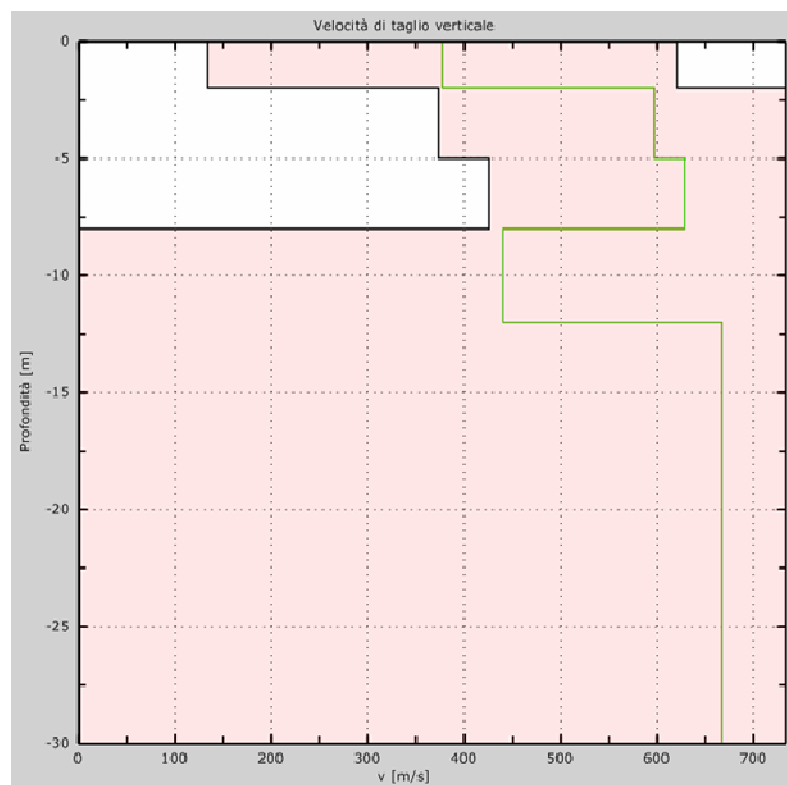
h [m]	4
z [m]	-12



Densità [kg/m ³]	1800
Poisson	0.2
Vs [m/s]	440.07
Vp [m/s]	718.63
Vs min [m/s]	220.03
Vs max [m/s]	880.13
Vs fin.[m/s]	440.07

Strato 5

h [m]	0
z [m]	-∞
Densità [kg/m ³]	1800
Poisson	0.2
Vs [m/s]	667.31
Vp [m/s]	1089.71
Vs min [m/s]	333.66
Vs max [m/s]	1334.63
Vs fin.[m/s]	667.310



Profilo Vs numerico (gradino verde ogni strato)



Piano di riferimento $z = 0$ [m] 0

Vs30 [m/s] 586

Tipo di suolo B

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

- La normativa applicata NTC 2018 e succ. modificazioni
- Il sito non è suscettibile di liquefazione e non è argilla sensitiva

1.6 - Impianto Porto Torres

Nel mese di Gennaio 2020 è stata condotta una campagna di indagine geofisica nel corso della quale è stata eseguita una prospezione sismica utilizzando la tecnica MASW Vs30.



Ubicazione prospezione geofisica con tecnica MASW

Dati sperimentali

Nome delle tracce

masw\Porto Torres

Numero di ricevitori

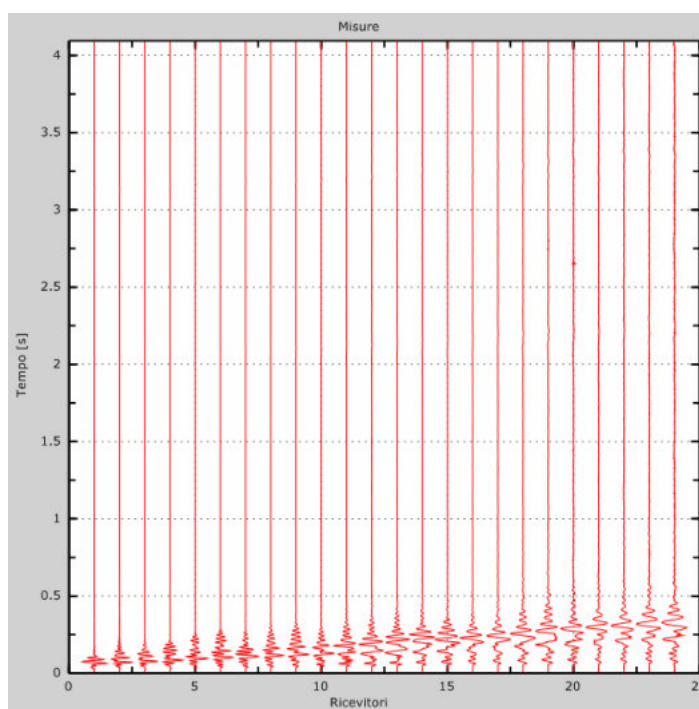
24



“Ristrutturazione vasca terminale linea Coghinas 1° in località Porto Torres - Ristrutturazione vasca di carico di Casteldoria in agro di S.M. Coghinas - Ristrutturazione vasca terminale linea Coghinas 2° in località Truncu Reale”

Progetto esecutivo

Distanza tra i sensori:	1m
Numero di campioni temporali	2048
Passo temporale di acquisizione	1ms
Numero di ricevitori usati per l'analisi	24
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a	0ms
L'intervallo considerato per l'analisi termina a	4094ms



Tracce sperimentali

Profilo in sito

Numero di strati (escluso semispazio)	5
Spaziatura ricevitori [m]	1.5m
Numero ricevitori	24
Numero modi	1

Strato 1

h [m]	2
z [m]	-2
Densità [kg/m ³]	1800
Poisson	0.2
Vs [m/s]	82.21



Vp [m/s]	134.25
Vs min [m/s]	41.10
Vs max [m/s]	164.42
Vs fin.[m/s]	82.210

Strato 2

h [m]	3
z [m]	-5
Densità [kg/m ³]	1800
Poisson	0.2
Vs [m/s]	423.60
Vp [m/s]	691.74
Vs min [m/s]	211.80
Vs max [m/s]	847.20
Vs fin.[m/s]	423.600

Strato 3

h [m]	3
z [m]	-8
Densità [kg/m ³]	1800
Poisson	0.2
Vs [m/s]	138.81
Vp [m/s]	226.68
Vs min [m/s]	69.41
Vs max [m/s]	277.62
Vs fin.[m/s]	138.810

Strato 4

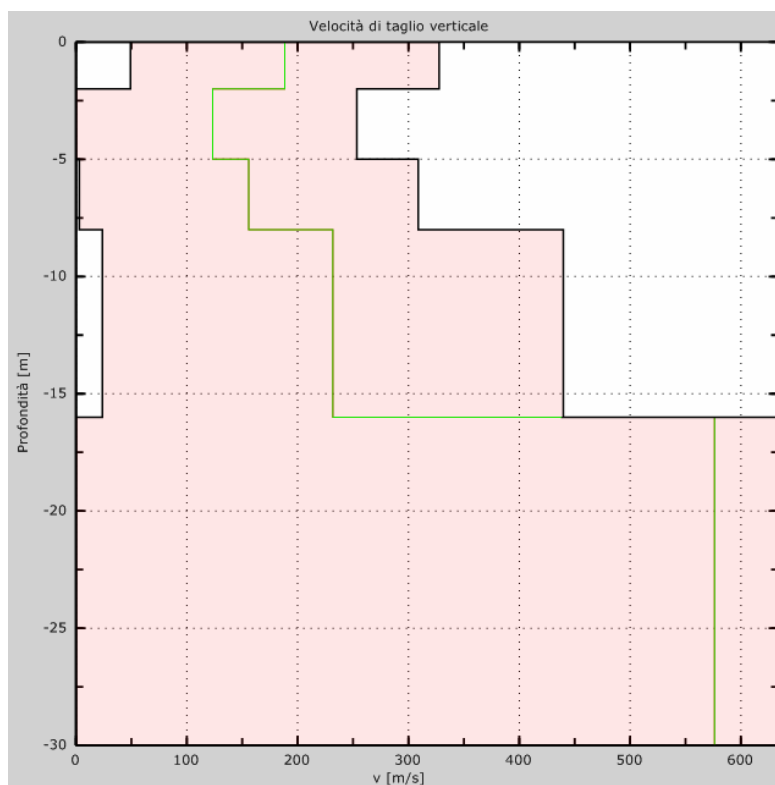
h [m]	4
z [m]	-12
Densità [kg/m ³]	1800
Poisson	0.2
Vs [m/s]	750.84
Vp [m/s]	1226.12
Vs min [m/s]	375.42
Vs max [m/s]	1501.67



Vs fin.[m/s] 750.840

Strato 5

h [m] 0
z [m] -00
Densità [kg/m³] 1800
Poisson 0.2
Vs [m/s] 444.82
Vp [m/s] 726.39
Vs min [m/s] 222.41
Vs max [m/s] 889.65
Vs fin.[m/s] 444.820



Profilo Vs numerico (gradino verde ogni strato)

Piano di riferimento z = 0 [m] 0

Vs30 [m/s] 368.05

Tipo di suolo B

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



- La normativa applicata NTC 2018 e succ. modificazioni
- Il sito non è suscettibile di liquefazione e non è argilla sensitiva

1.7 - Impianto Casteldoria S.M. Coghinas

Nel mese di Gennaio 2020 è stata condotta una campagna di indagine geofisica nel corso della quale è stata eseguita una prospezione sismica utilizzando la tecnica MASW Vs30.



Ubicazione prospezione geofisica con tecnica MASW

Nome delle tracce	masw\Casteldoria
Numero di ricevitori	24
Distanza tra i sensori:	2.0m
Numero di campioni temporali	2048
Passo temporale di acquisizione	1ms
Numero di ricevitori usati per l'analisi	24
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a	0ms

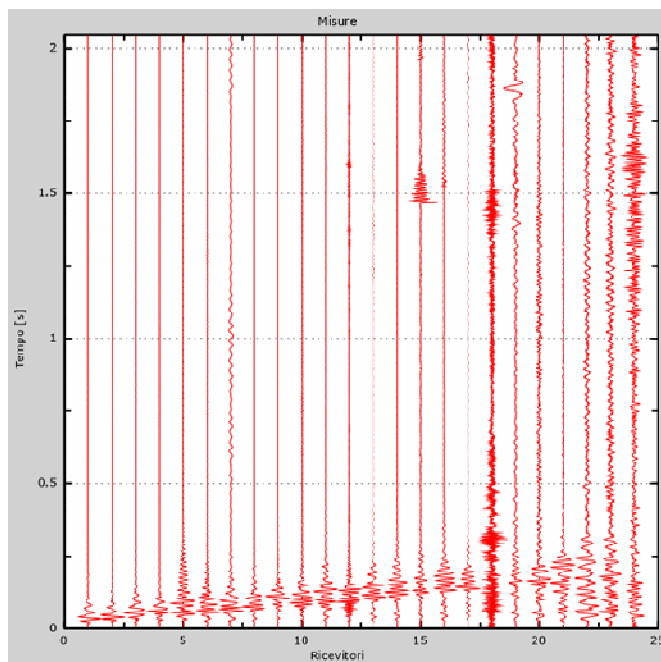


“Ristrutturazione vasca terminale linea Coghinas 1° in località Porto Torres - Ristrutturazione vasca di carico di Casteldoria in agro di S.M. Coghinas - Ristrutturazione vasca terminale linea Coghinas 2° in località Truncu Reale”

Progetto esecutivo

L'intervallo considerato per l'analisi termina a

4094ms



Tracce sperimentali

Profilo in sito

Numero di strati (escluso semispazio)	5
Spaziatura ricevitori [m]	2m
Numero ricevitori	24
Numero modi	1

Strato 1

h [m]	2
z [m]	-2
Densità [kg/m ³]	1800
Poisson	0.2
Vs [m/s]	211.78
Vp [m/s]	345.84
Vs min [m/s]	105.89
Vs max [m/s]	423.56
Vs fin.[m/s]	211.780

Strato 2

h [m]	3
-------	---



“Ristrutturazione vasca terminale linea Coghinas 1° in località Porto Torres - Ristrutturazione vasca di carico di Casteldoria in agro di S.M. Coghinas - Ristrutturazione vasca terminale linea Coghinas 2° in località Truncu Reale”

Progetto esecutivo

z [m]	-5
Densità [kg/m ³]	1800
Poisson	0.2
Vs [m/s]	349.42
Vp [m/s]	570.60
Vs min [m/s]	174.71
Vs max [m/s]	698.85
Vs fin.[m/s]	349.420

Strato 3

h [m]	3
z [m]	-8
Densità [kg/m ³]	1800
Poisson	0.2
Vs [m/s]	523.29
Vp [m/s]	854.53
Vs min [m/s]	261.65
Vs max [m/s]	1046.58
Vs fin.[m/s]	523.290

Strato 4

h [m]	4
z [m]	-12
Densità [kg/m ³]	1800
Poisson	0.2
Vs [m/s]	613.85
Vp [m/s]	1002.41
Vs min [m/s]	306.92
Vs max [m/s]	1227.69
Vs fin.[m/s]	613.850

Strato 5

h [m]	4
z [m]	-16
Densità [kg/m ³]	1800
Poisson	0.2



Vs [m/s]	968.82
Vp [m/s]	1582.08
Vs min [m/s]	484.41
Vs max [m/s]	1937.65
Vs fin.[m/s]	968.820

Strato 6

h [m]	5
z [m]	-21
Densità [kg/m ³]	1800
Poisson	0.2
Vs [m/s]	968.82
Vp [m/s]	1582.08
Vs min [m/s]	484.41
Vs max [m/s]	1937.65
Vs fin.[m/s]	968.820

Strato 7

h [m]	5
z [m]	-26
Densità [kg/m ³]	1800
Poisson	0.2
Vs [m/s]	968.82
Vp [m/s]	1582.08
Vs min [m/s]	484.41
Vs max [m/s]	1937.65
Vs fin.[m/s]	968.820

Strato 8

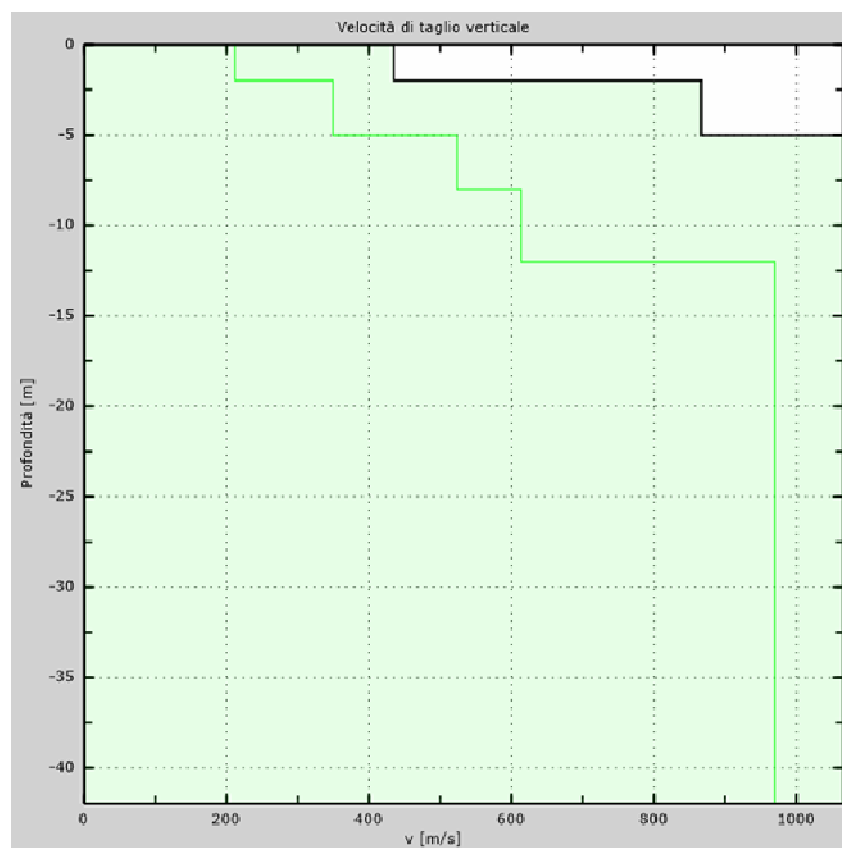
h [m]	6
z [m]	-32
Densità [kg/m ³]	1800
Poisson	0.2
Vs [m/s]	968.82
Vp [m/s]	1582.08
Vs min [m/s]	484.41



Vs max [m/s]	1937.65
Vs fin.[m/s]	968.820

Strato 9

h [m]	0
z [m]	-∞
Densità [kg/m ³]	1800
Poisson	0.2
Vs [m/s]	968.82
Vp [m/s]	1582.08
Vs min [m/s]	484.41
Vs max [m/s]	1937.65
Vs fin.[m/s]	968.820



Profilo Vs numerico (gradino verde ogni strato)



“Ristrutturazione vasca terminale linea Coghinas 1° in località Porto Torres - Ristrutturazione vasca di carico di Casteldoria in agro di S.M. Coghinas - Ristrutturazione vasca terminale linea Coghinas 2° in località Truncu Reale”

Progetto esecutivo

Piano di riferimento $z = 0$ [m] 0

Vs30 [m/s] 614

Tipo di suolo B

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

- La normativa applicata NTC 2018 e succ. modificazioni
- Il sito non è suscettibile di liquefazione e non è argilla sensitiva